MEMÓRIAS
DA
ACADEMIA DAS CIÊNCIAS
DE
LISBOA

CLASSE DE CIÊNCIAS

TOMO XLV

ACADEMIA DAS CIÊNCIAS
DE LISBOA

LISBOA • 2018

MEMÓRIAS
DA
ACADEMIA DAS CIÊNCIAS
DE
LISBOA

No pórtico do tomo XLV das *Memórias da Academia das Ciências de Lisboa – Classe de Ciências*, presta-se homenagem à memória dos Académicos Armando Lencastre, Artur Torres Pereira, Daniel Serrão, Jean-Pierre Contzen, João Lobo Antunes e João Pais que, com a sua dedicação e o seu saber, prestaram a esta Academia os mais altos serviços.

Título: Memórias da Academia das Ciências de Lisboa
Classe de Ciências
Tomo XLV
Edição: Academia das Ciências de Lisboa
Impressão: Gráfica 99
Data de impressão: Outubro
ISBN: 978-972-623-352-7
Depósito legal: 447397/18

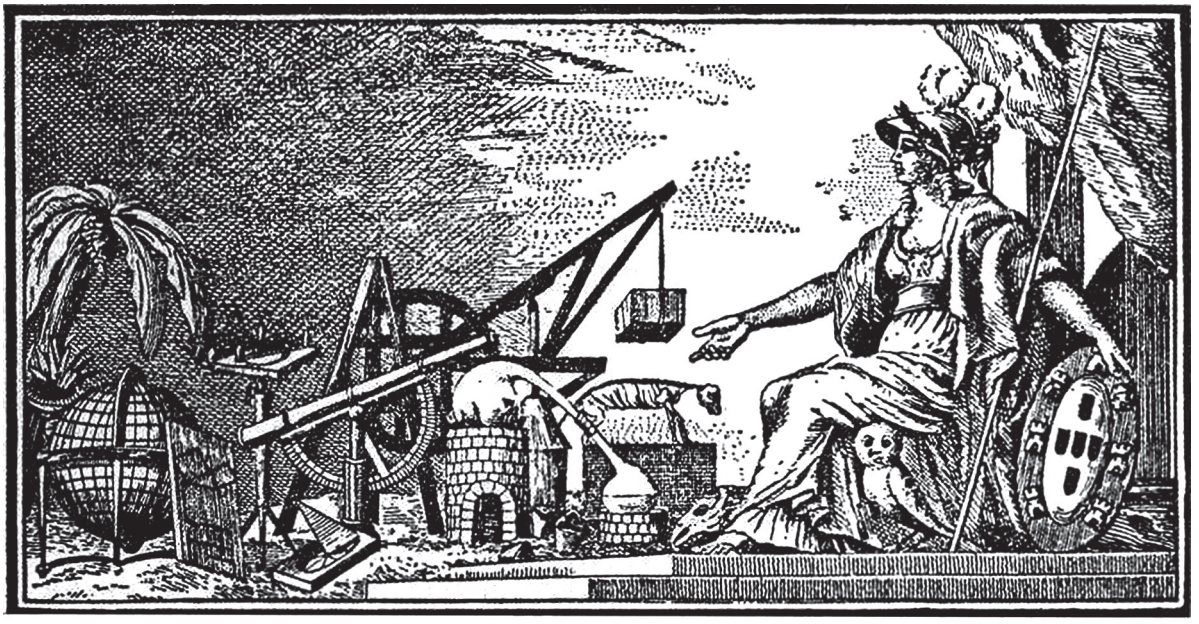
MEMÓRIAS
DA
ACADEMIA DAS CIÊNCIAS
DE
LISBOA

CLASSE DE CIÊNCIAS

TOMO XLV

ACADEMIA DAS CIÊNCIAS
DE LISBOA

LISBOA • 2018



A lógica matemática como empreendimento fundamentador[1]

Fernando Ferreira
(Universidade de Lisboa)

À memória do meu pai
Um homem bom (1926-2018)

I

Pode dizer-se que a lógica matemática nasceu com Gottlob Frege no final do século XIX fruto de preocupações ostensivamente filosóficas.[2] Atualmente é uma disciplina madura, vasta e munida de técnicas próprias altamente sofisticadas. Quem consultar o *The Journal of Symbolic Logic*, prestigiada revista da área, depara-se com artigos de natureza muito especializada, a maior parte dos quais debruçando-se sobre

[1] O escrito que o leitor tem entre mãos baseia-se numa comunicação à Sessão da Classe de Ciências da Academia das Ciências de Lisboa que se realizou a 15 de janeiro de 2009. Nesse mesmo ano, a 13 de novembro, tive a oportunidade de apresentar uma versão da mesma comunicação no Philosophy Colloquium da Universidade de Stanford (E.U.A.). Voltei a apresentá-la, anos mais tarde, a 17 de junho de 2013, no Séminaire PHIL-MATH do Institut d'histoire et philosophie des sciences et des techniques (CNRS/Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne/École normale supérieure), no Seminário de Lógica Matemática da Universidade de Lisboa, a 4 de julho e, ainda no mesmo ano (a 23 de outubro), no âmbito das Conferências de História e Filosofia das Ciências da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Naturalmente, a presente versão incorporou reflexões baseadas nas reações de membros das audiências, a quem agradeço o interesse e comentários. Neste aspeto, quero mencionar especialmente Fernando Dias Agudo, Bruno Dinis, Augusto Franco de Oliveira, Solomon Feferman, António Fernandes, Gilda Ferreira, Michael Friedman, Rui Vilela Mendes, Marcello Mamino, Luís Pereira, Christopher Porter, Reinhard Kahle, Sergei Tupailo e Mark van Atten.

[2] Gottlob Frege (1848-1925) redesenhou para sempre a disciplina da lógica com a construção de um cálculo formal de quantificadores. Também esteve na origem do programa logicista dos fundamentos da matemática e é hoje tido como o percursor da tradição analítica em filosofia.

problemas internos à própria lógica. De quando em quando surgem resultados que se aplicam a outras áreas da matemática. Ao contrário do que se poderia supor, dada a génese da disciplina, poucos são os artigos que abordam (pelo menos explicitamente) os fundamentos da matemática. Apesar dos seus resultados indubitavelmente profundos e da normal especialização da matemática, é justo dizer que a lógica matemática é uma disciplina cuja interação com o resto da matemática não tem sido caracterizada pela facilidade. Em contraponto, certas realizações da lógica matemática penetraram na esfera da alta cultura e, hoje, uma familiaridade superficial com elas faz parte da bagagem intelectual do homem culto: são exemplos disso os teoremas da incompletude de Gödel ou a noção de máquina de Turing. As técnicas da lógica matemática têm influenciado tremendamente outras áreas do saber, tendo encontrado campo fértil de aplicação não só nas ciências da computação como também na linguística e, naturalmente, na filosofia. A grande maioiria dos lógicos em universidades trabalha, hoje em dia, em departamentos de informática.

II

Na viragem do século XIX para o século XX deu-se uma notável confluência de ideias que desencadeou uma transformação da matemática só comparável ao aparecimento da axiomática na Grécia Antiga e à descoberta do cálculo infinitesimal no século XVII. Bernard Bolzano, Karl Weierstrass, Richard Dedekind, Georg Cantor, Gottlob Frege *et al.* contribuíram importantemente para esta confluência. Em 1902, Bertrand Russell descobre o célebre paradoxo que tem o seu nome e espoleta uma crise nos fundamentos da matemática.[3] Será, porém, talvez mais correto dizer que a descoberta do paradoxo dramatizou um debate vigoroso em torno de uma divisão, já existente ao tempo, entre tradicionalistas – aqueles que eram relutantes à mudança – e modernos – adeptos da nova matemática, com as suas grandes abstrações e a aceitação sem pejo do infinito atual. A lógica vai, naturalmente, estar no centro deste debate. Henri Poincaré, um notável matemático de pendor tradicionalista, comentou da seguinte forma mordaz o aparecimento do paradoxo: "*La logistique n'est plus stérile, elle engendre l'antinomie!*".[4] Os modernos afanaram-se em consertar os paradoxos.

A crise dos fundamentos da matemática vai prolongar-se até ao início dos anos trinta. Os modernos, por intermédio de Ernst Zermelo e outros, criam a teoria axiomática dos conjuntos **ZFC**, debaixo da qual se pode desenvolver praticamente toda a matemática. Foi-nos legada uma visão unificadora em torno da noção de conjunto, assim como o instrumento muitíssimo potente que é a própria teoria dos conjuntos. No âmbito deste enquadramento podem estudar-se, sob a mesma linguagem, os vários campos da matemática (álgebra, análise, geometria) facilitando, por isso, relações e inter-fecundações. Nesse inteirim, a posição tradicionalista radicalizou-se com o programa intuicionista e construtivista do matemático holandês L. E. J. Brouwer. O intuicionismo rejeita a lei do terceiro excluído e, na sua fase madura, aceita mesmo princípios que a contradizem.

David Hilbert, um dos matemáticos mais respeitados da época, entra na contenda em força nos anos vinte com um programa arrojado de fundamentação da matemática. Hilbert é um moderno que

[3] Em 1902, nas vésperas da publicação do segundo volume do *Grundgesetze der Arithmetik* de Frege, Bertrand Russell deteta uma contradição no sistema logicista de Frege. A contradição advém do facto de Frege permitir passar irrestritamente de um conceito para a sua extensão. O paradoxo também foi descoberto independentemente por Zermelo.

[4] Este comentário de Poincaré aparece num escrito de 1906, traduzido para português por A. J. Franco de Oliveira com o título "Matemática e lógica III" (in *Filosofia da Matemática. Breve Antologia de Textos de Filosofia da Matemática de Henri Poincaré*, Centro de Filosofia das Ciências da Universidade de Lisboa, 2010).

pretende fundamentar a nova matemática por meios tradicionais. No fundo, propunha uma síntese de posições opostas. O programa é bastante subtil mas, para efeitos deste escrito, basta mencionar dois aspectos. A componente técnica do programa concentrava-se num ponto fulcral: a demonstração da consistência dos sistemas axiomáticos da matemática abstrata e infinitista por meio de argumentos tradicionais – de facto, por meio de argumentos ainda mais exigentes epistemologicamente: argumentos finitistas. A nova disciplina da *teoria da demonstração* (ou *metamatemática*), inventada por Hilbert, tinha como objetivo obter essas demonstrações de consistência. O outro aspecto do programa de Hilbert que tem que ser aqui mencionado é o seguinte: o seu sucesso permitiria mostrar que o uso da matemática infinitista na demonstração de uma asserção finitista seria, em princípio, dispensável. Num certo sentido, o papel dos sistemas axiomáticos infinitistas resumir-se-ia à simplificação e organização dos raciocínios, pelo menos no que concerne a resultados finitistas. Hilbert depositava uma confiança ilimitada na sua proposta fundamentadora e, pode mesmo dizer-se, defendia-a com uma certa húbris. No Congresso Internacional de Matemática de Bolonha em 1928, desafia as melhores mentes matemáticas da nova geração a dedicar-se ao problema da consistência.[5]

III

O *dénouement* deu-se em 1931 com os célebres teoremas de incompletude de Kurt Gödel: o programa de Hilbert, tal como concebido originariamente, é impossível de levar a cabo. Deve ter-se em atenção que o trabalho fundamentador dos anos vinte do século passado era feito sob a liderança de alguns dos mais destacados matemáticos do tempo. Hilbert, como já se mencionou, era uma figura de primeira água (se não mesmo o matemático mais influente do seu tempo) e Brouwer era também um matemático muito respeitado. O matemático "normal", mesmo que não estivesse envolvido diretamente em questões de fundamentação, conhecia as disputas e seguia-as com interesse, senão mesmo com paixão. Com os teoremas de Gödel, abateu-se sobre a comunidade uma espécie de exaustão. Desde essa altura, as questões dos fundamentos deixaram de mobilizar a atenção da comunidade matemática como até então. Saunders MacLane, um conhecido matemático, disse nos anos oitenta que a filosofia da matemática tem estado adormecida desde 1931.[6] Não é tanto que a filosofia da matemática tenha deixada de ser cultivada. Ela continua a ser estudada nos departamentos de filosofia, onde possui um certo estatuto de prestígio. O problema é que as novas propostas têm atraído escassa atenção.

Ainda assim, a investigação em lógica matemática nunca se afastou completamente dos fundamentos. A partir dos anos trinta, a teoria da demonstração adotou bases epistemológicas mais gerais do que o finitismo, fossem elas de cariz construtivo ou – na sequência de trabalho seminal de Gerhard Gentzen nos finais dos ano trinta – hipóteses de boa-ordenação. A redução de sistemas clássicos a estas bases mais gerais tem sido objeto de atenção por parte dos lógicos e, depois de alguns sucessos inquestionáveis como a análise da predicatividade nos anos sessenta (Solomon Feferman, Kurt Schütte) e as primeiras análises de sistemas impredicativos (Gaisi Takeuti, William Howard, Wolfram Pohlers, Wilfried Buchholz), chega-se ao novo milénio com estudos cada vez mais exigentes tecnicamente e, nas palavras

[5] Esta comunicação encontra-se traduzida para português num apêndice de *Fundamentos da Geometria*, de David Hilbert. Edição revista e coordenada por A. J. Franco de Oliveira. Publicações Gradiva, 2003.
[6] In "Mathematical models: A sketch for the philosophy of mathematics", The American Mathematical Monthly, vol. 88(7), pp. 462-472, 1981.

de Michael Rathjen "a tender para o limite da tolerância humana". Per Martin-Löf, um mentor destes estudos fala, inclusivamente, dum segundo falhanço do programa de Hilbert.[7]

Há, porém, investigações de cariz fundamentador que não têm o carácter globalizador dos grandes sistemas tradicionais mas que, ainda assim, endereçam problemas problemas profundos e de interesse filosófico. No que se segue, vou discutir brevemente três exemplos. Os dois primeiros são relativamente recentes. O último reporta uma linha de investigação já com décadas de trabalho. Estas discussões não pretendem avançar teses. Têm como objetivo chamar a atenção para algumas perplexidades que me têm incomodado e que, na minha opinião, clamam por reflexão filosófica. O leitor observará certamente o carácter pontilhista das discussões.

IV

O programa da matemática reversa foi lançado em meados dos anos setenta por Harvey Friedman e, subsequentemente, desenvolvido por Stephen Simpson e os seus estudantes.[8] O objetivo do programa é encontrar, para cada teorema da matemática "usual", a axiomática mais fraca em que ele se pode deduzir. Trabalhando sobre uma certa teoria base, o que se mostra é que o teorema em causa permite deduzir os axiomas de que é consequência. Em termos pitorescos, mostra-se que o teorema implica os axiomas (o que explica a designação "reversa"). A restrição à matemática "usual" é uma delimitação operacional com vista a excluir áreas muito abstratas da matemática que emergiram com a teoria dos conjuntos: topologia geral, análise funcional abstrata, estruturas puramente algébricas de cardinalidade superior à numerável e, é claro, de modo a excluir a própria teoria dos conjuntos. Trata-se de uma restrição razoável numa primeira tentativa de classificar os teoremas da matemática em termos de "força dedutiva" e, como veremos, uma restrição que – num certo sentido – deixa muito pouco de fora.

Os estudos no âmbito do programa da matemática reversa têm vindo a revelar que grande parte da matemática, incluindo a matemática cientificamente aplicável, se pode desenvolver em sistemas relativamente fracos da aritmética de segunda-ordem – sistemas estes muito mais fracos do que a teoria dos conjuntos **ZFC**. Solomon Feferman tem defendido que apenas sistemas predicativos de segunda-ordem são necessários para as aplicações à ciência e as investigações em matemática reversa têm vindo a dar-lhe razão. O predicativismo é uma posição importante nos fundamentos de matemática, cuja tese central é a de que os conjuntos não têm uma existência autónoma, antes são dados através de definições (i.e., através de condições de pertença). Esta tese tem óbvio impacto na filosofia da matemática, em particular no que diz respeito aos chamados argumentos de indispensabilidade de Quine-Putnam.[9]

A matemática reversa tornou manifesto o facto de que a teoria dos conjuntos **ZFC** tem um poder dedutivo que largamente extravasa aquilo que tem sido necessário para desenvolver grande parte da matemática e, *a*

[7] Para a história recente da análise de sistemas impredicativos, consulte-se o soberbo "The proof-theory of classical and constructive inductive definitions. A forty-year saga, 1968-2008", de Solomon Feferman (in *Ways of Proof Theory*, pp. 7-30, organizado por R. Schindler, Ontos Verlag, Frankfurt, 2010). A citação de Rathjen encontra-se no seu "The realm of ordinal analysis", em *Sets and Proofs*, organizado por S. B. Cooper e J. K. Truss, Cambridge University Press, 1999. Martin-Löf menciona um segundo falhanço do programa de Hilbert em "The Hilbert-Brouwer controversy resolved?", publicado no volume *One Hundred Years of Intuitionism (1907-2007)*, organizado por M. van Atten et al., Birkhäuser Verlag, 2008.

[8] A referência canónica para este programa é o livro de Simpson intitulado *Subsystems of Second-order Arithmetic* (Springer-Verlag, 1998).

[9] Para a posição de Feferman sobre os argumentos de indispensabilidade, veja-se o seu artigo "Why a little bit goes a long way: logical foundations of scientifically applicable mathematics" (este artigo pode encontrar-se na colectânea *In the Light of Logic*, Oxford University Press, 1998).

fortiori, da matemática cientificamente aplicável. O poder dedutivo da teoria dos conjuntos e dos seus postulados transfinitos aparentemente não têm efeito no que diz respeito aos problemas "naturais" da matemática. Estamos perante uma situação enigmática que clama por explicação. Friedman é de opinião que a matemática atual não está a conseguir utilizar todo o poder dedutivo que tem à sua disposição. É certo que o fenómeno da incompletude de Gödel permite obter asserções matemáticas, logicamente simples, cuja verdade apenas se pode estabelecer em sistemas muito fortes e, desde o início dos anos setenta – fruto do trabalho de Martin Davis, Julia Robinson, Hilary Putnam e Yuri Matiyasevich – sabe-se que a impossibilidade de solução de certas equações diofantinas apenas se pode demonstrar em sistemas fortes. Porém, as equações diofantinas em causa são muito artificiais e não surgem (pelo menos ainda) naturalmente no trabalho do especialista em teoria dos números, sendo por estes vistas como meras curiosidades lógicas. Nos últimos anos, Friedman tem tentado descobrir asserções matemáticas "naturais" que necessitem de axiomas muito fortes para se demonstrarem mas parece-nos ser justo dizer que o impacto das suas investigações tem sido limitado.

Apesar de todo o seu sucesso, a matemática reversa apenas dá uma visão parcial da matemática corrente. A teoria base da matemática reversa está já construída sobre uma teoria da aritmética, sujeita ao fenómeno gödeliano da incompletude. Ora, há contextos da matemática em que a aritmética está ausente. Por exemplo, a geometria euclidiana é uma teoria eminentemente não aritmética. Um resultado de Alfred Tarski do final dos anos quarenta mostra que a geometria euclidiana é um subsistema de uma teoria completa e que, para além disso, se pode decidir algoritmicamente se uma asserção geométrica é verdadeira ou falsa.[10] Pode mesmo dar-se uma resposta à seguinte questão, quase esquecida, de Poincaré: "Ninguém duvida que a geometria euclidiana está isenta de contradição. De onde é que vem esta certeza e até onde é ela justificada?" Hilbert e Paul Bernays esboçaram uma demonstração finitista da consistência da geometria euclidiana nos anos trinta e, modernamente, existem demonstrações alternativas de Friedman e de mim próprio. Ao contrário da aritmética, a geometria euclidiana tem uma demonstração finitista de consistência.[11]

Os resultados de Tarski estão na raíz do desenvolvimento de uma área da teoria dos modelos (um ramo da lógica matemática) em que se podem desenvolver noções tipicamente geométricas como independência, dimensão, homologia, etc. O fenómeno de Gödel está ausente destas teorias e é popular designá-las por "teorias mansas". O caso das teorias o-minimais é um exemplo notável, com generalizações de grande alcance na geometria algébrica real. As teorias mansas têm vindo a forjar conexões à geometria algébrica (real e complexa), à teoria dos módulos, à teoria algébrica das equações diferenciais, etc. Estas teorias ocupam um lugar na geografia da matemática onde a componente gödeliana ou "selvagem" está ausente. Porém, as teorias mansas, por si só, são invisíveis à matemática reversa porque esta já se eleva sobre uma teoria base gödeliana, por mais fraca que seja.

---

[10] Estamos a referir-nos à geometria euclidiana elementar, i.e., nas palavras de Alfred Tarski à "parte da geometria euclidiana que pode ser formulada e estabelecida sem a ajuda da teoria dos conjuntos" (veja-se o artigo de Tarski "What is elementary geometry?" em *The Axiomatic Method with a Special Reference to Geometry and Physics*, organizado por L. Henkin, P. Suppes e A. Tarski, North-Holland, pp. 16-29). O sistema de Tarski permite, ainda assim, raciocínios que vão para além do que é tradicional admitir na geometria dos antigos Gregos (nomeadamente certos princípios de continuidade elementar). Se apenas admitirmos o postulado de continuidade círculo-círculo (o que talvez corresponda à geometria euclidiana tradicional), este sistema geométrico é indecidível (este facto, devido a Martin Ziegler, não é muito conhecido). Para estes e outros assuntos metamatemáticos da geometria euclidiana, pode consultar-se a secção 3 do artigo de Marvin J. Greenberg "Old and new results in the foundations of elementary plane Euclidean and Non-Euclidean geometries", American Mathematical Monthly, vol. 117(3), pp. 198-219, 2010.

[11] A pergunta de Poincaré aparece num escrito de 1891 intitulado "As geometrias não-euclidianas". Este ensaio encontra-se traduzido para português por A. J. Franco de Oliveira, *op. cit.* A minha demonstração de consistência baseia-se na interpretação duma teoria que contém a geometria euclidiana elementar numa teoria cuja consistência se pode demonstrar finitisticamente (veja-se a secção 5 de "Groundwork for weak analysis", The Journal of Symbolic Logic, vol. 67(2), pp. 557-578, 2002).

Num recente escrito, o lógico e matemático Angus Macintyre defende que o papel das teorias mansas em matemática não só é importante, como está mesmo bastante generalizado. Escreve, também, que em muita da matemática moderna a componente da teoria dos conjuntos é de interesse menor e que as noções realmente importantes são de natureza geométrica ou categorial (i.e., referentes à teoria das categorias).[12] É interessante observar que, duas décadas antes, o famoso matemático Alexander Grothendieck já tinha dito que (por vezes) as noções da teoria dos conjuntos podem dificultar a procura e o estudo dos conceitos matemáticos adequados. Sobre a topologia, Grothendieck escreveu: "Este carácter inadequado dos fundamentos da topologia manifesta-se desde o início por "falsos problemas" (pelo menos do ponto de vista da intuição topológica das formas) como o da "invariância do domínio", ainda que este problema tenha levado Brouwer a introduzir novas ideias geométricas importantes. Ainda agora, como nos tempos heróicos em que víamos pela primeira vez e com inquietude curvas a encher alegremente quadrados e cubos, quando nos propomos fazer topologia geométrica no contexto técnico dos espaços topológicos, somos confrontados em cada passo com dificuldades parasitas relacionadas com os fenómenos selvagens".[13] Destas discussões resulta que talvez se possa pôr hoje de pé um caso pela antiga distinção, entretanto obscurecida pela teoria dos conjuntos, entre raciocínio aritmético e raciocínio geométrico. Essa distinção aparece atualmente na forma binomial "selvagem/manso" e Anand Pillay, um especialista em teoria dos modelos, afirma mesmo que dar sentido à fronteira desta distinção é um assunto da matemática contemporânea.[14] A teoria dos modelos moderna está a tornar visível aspectos relevantes da paisagem matemática. Está a tentar encontrar a linguagem certa, os conceitos certos e o nível de generalidade certo para estudar e compreender partes centrais da matemática. Há que dar tempo ao desenvolvimento relativamente recente (desde meados dos anos oitenta) destas ideias da teoria dos modelos, mas afigura-se-nos que a lógica matemática – por intermédio destes estudos da teoria dos modelos – pode ajudar a dar uma visão mais fidedigna da paisagem matemática.

Quero terminar esta discussão com um fenómeno que me incomoda. Diz respeito aos pontos de encontro entre o manso e o selvagem. A teoria dos números é uma das disciplinas mais prestigiados da matemática (segundo Gauss, a teoria dos números é a "rainha da matemática"). Tem uma história longa desde a antiguidade, com Pitágoras, Euclides, Diofanto, etc e tem sido estudada por grandes matemáticos como Fermat, Euler, Gauss, Dirichlet, Riemann, Kummer, Chebyshev, Kronecker, Dedekind, Hadamard, de la Valée-Poussin, Hardy, Weil, Selberg, Roth, Baker, Deligne, Faltings, Wiles, Green, Tao e outros. Com os trabalhos de Grothendieck nos anos sessenta, a geometria algébrica adota a linguagem muito abstrata da teoria das categorias e, a seu tempo, esta linguagem tornou-se praticamente indispensável noutras disciplinas centrais da matemática, nomeadamente na teoria dos números. Ora, a teoria das categorias, quando formalizada em teoria dos conjuntos, parece requerer a postulação de cardinais inacessíveis (requer, portanto, níveis transfinitos muito altos). A demonstração, em meados dos anos noventa, do último teorema de Fermat (dificilmente um enunciado matemático pode ser mais simples e concreto) por Andrew Wiles utiliza esta linguagem extremamente abstrata. A opinião prevalecente

[12] Angus Macintyre, "Geometrical and set-theoretic aspects and prospects", The Bulletin of Symbolic Logic, vol. 9(2), pp. 197-212, 2003.
[13] In "Esquisse d'un programme" (1984), publicado em 1997 no volume *Geometric Galois Actions I: Around Grothendieck's Esquisse d'un Programme* (organizado por Leila Schneps e Pierre Lochak), London Mathematical Society Lecture Note Series 242, Cambridge University Press.
[14] Anand Pillay *et al.* in "The prospects for mathematical logic in the twenty-first century", The Bulletin of Symbolic Logic, vol. 7(2), pp. 169-196, 2001. O escrito de Pillay, intitulado "Model theory", é uma das contribuições de uma discussão sobre o futuro da Lógica Matemática: a contribuição de Pillay aparece entre as páginas 182 e 189.

entre os lógicos é a de que as demonstrações destas asserções concretas e naturais da aritmética não necessitam do aparato categorial que as acompanha e, em particular, não necessitam da postulação da existência de grandes cardinais.[15] Seria, de facto, muito surpreendente se não fosse assim. Por exemplo, a convicção – já anteriormente mencionada – de que a matemática "usual" se pode desenvolver em sistemas relativamente fracos seria dramaticamente posta em causa. Se bem que ninguém tenha ainda posto a questão nestes termos, é como se se acreditasse numa espécie de programa de Hilbert para a teoria das categorias: as categorias são muito convenientes para organizar os conceitos matemáticos e facilitar o trabalho, mas não são realmente necessárias para a demonstração de certos teoremas (estes podem demonstrar-se em sistemas relativamente fracos). Partilho a opinião dos meus colegas lógicos. Não obstante, penso que sem uma compreensão razoável da situação geral esta convicção não passa de um pré-julgamento do assunto – ainda que eventualmente apoiada em análises pontuais.

Em 2011, num encontro em Oberwolfach (Alemanha) sobre lógica matemática, Macintyre esboça – numa série de três lições – um argumento em que tenta mostrar que a demonstração de Wiles pode ser modificada de modo a poder ser formalizada num sistema predicativo da aritmética (a aritmética de Peano).[16] O esboço foi muito genérico e exigente, não se podendo dizer que a situação tenha ficado totalmente esclarecida. A estratégia de Macintyre tenta evitar o uso da teoria das categorias apoiando-se no chamado teorema da modularidade para curvas elípticas. Defende-se que tal teorema se pode formular na linguagem da aritmética e que se demonstra na aritmética de Peano. Seja como for, o trabalho de Macintyre é certamente um primeiro passo no sentido de abordar alguns pontos cegos da nossa compreensão lógica da matemática. Mesmo que seja ultimamente bem sucedida, a estratégia de Macintyre apenas se aplica a uma demonstração particular da teoria dos números (por mais representativa que esta seja do trabalho moderno) e não aborda o tema geral da remoção sistemática (ou aritmetização) da maquinaria da teoria das categorias, hoje tão ubíqua nos estudos modernos. Há uma clara dissonância entre o suposto papel organizacional da teoria das categorias que, como tal, não deve introduzir novos fenómenos selvagens e o facto da teoria parecer requerer a postulação de cardinais inacessíveis – o exemplo mais acabado de uma noção "selvagem". O papel da teoria das categorias nas áreas tradicionais da matemática não é bem compreendido pela lógica e está a ser pouco investigado.

A teoria dos números e, em particular, os estudos que levaram à solução do último teorema de Fermat fazem hoje parte do núcleo central da matemática "usual". A matemática reversa não tem endereçado estes problemas, nem tem abordado de um modo minimamente sistemático o problema da formalização destes resultados "usuais" em sistemas aritméticos de segunda-ordem. Está alheada deles e ainda muito centrada na matemática do final do século XIX, princípio do século passado. Em 2009, num encontro de matemática reversa em Chicago, levantei a questão deste alheamento.[17] A resposta que obtive foi, essencialmente, a de que ainda não chegou a altura para abordar estes assuntos por causa da grande complexidade das matérias envolvidas. Se bem que compreenda esta resposta, as perplexidades continuam.

---

[15] Uma demonstração do teorema de Fermat num sistema puramento aritmético seria mais simples apenas do ponto de vista de não usar noções matemáticas abstratas que extravasam aquelas que se podem exprimir na linguagem da aritmética. Do ponto de vista do comprimento e opacidade, a demonstração seria certamente muito mais complexa. Para quem esteja familiarizado com linguagens da programação, seria como se se programasse numa linguagem máquina ao invés de numa linguagem de alto nível.

[16] O encontro *Mathematical Logic: Proof Theory, Constructive Mathematics* teve lugar no Mathematisches Forschungsinstitut Oberwolfach entre 6 e 12 de Novembro de 2011.

[17] O *Workshop in Reverse Mathematics* teve lugar na Universidade de Chicago entre 5 e 8 de Novembro de 2009.

V

Terence Tao, medalhista Fields de 2006, escreveu em Maio de 2007 uma entrada no seu blogue intitulada "Soft analysis, hard analysis, and the finite convergence principle".[18] Nesta entrada, Tao fala informalmente de uma distinção entre princípios "*soft*" e princípios "*hard*" em análise matemática. Tipicamente, os primeiros são abstratos, infinitistas e sem conteúdo computacional. Estão ligados a conceitos como espaços de Hilbert, medida de Lebesgue, álgebras-sigma, etc e às suas propriedades qualitativas (p. ex., convergência, completude, compacidade, integrabilidade). São conceitos extremamente úteis e estão muito disseminados na análise matemática moderna e, dado o treino habitual do matemático, são relativamente fáceis de enunciar e utilizar. A análise "*hard*" está, por outro lado, associada a propriedades quantitativas e às computações a elas associadas. Tao menciona, como exemplos, as contagens finitas, a medida explícita de conjuntos limitados, os valores de integrais convergentes, etc. Grosseiramente, talvez se possa identificar a análise "*hard*" como a maneira de fazer análise até ao século XIX e a análise "*soft*" como o modo de proceder que veio a dominar a matemática do século XX.

Ainda que por vezes haja forma de relacionar os resultados da análise "*hard*" e da análise "*soft*" (por meio de "princípios de correspondência" ou "princípios de compacidade"), Tao expressou também a seguinte convicção, e cito: "a relação entre os dois tipos de análise é muito mais próxima do que apenas isto; em muitos casos, a análise qualitativa pode ser vista como uma abstração conveniente da análise quantitativa, na qual as dependências exatas entre as várias quantidades finitas estão eficientemente ocultadas por uma notação infinitária". É uma opinião arrojada e interessante. Tao defende que os resultados de análise abstrata podem esconder informação computacional profunda e que vale a pena tentar tornar explícita esta informação. Chama a este processo de *finitização* dos resultados qualitativos.

No seu blogue, Tao discute a finitização do seguinte princípio "*soft*", assaz conhecido dos estudantes universitários de análise matemática: toda a sucessão crescente e limitada de números reais é convergente. Chama a esta propriedade de *princípio da convergência infinita* e propõe-se encontrar a sua versão finitista. Depois de descrever várias tentativas falhadas e discutir as razões das suas insuficiências, Tao mostra-se satisfeito com um princípio a que chama princípio da convergência finita. O princípio (normalizado para o intervalo [0,1]) enuncia-se assim:

> **Princípio da convergência finita**. Dados $\varepsilon > 0$, $F: \mathbb{N} \to \mathbb{N}$ uma função e dados valores reais $0 \leq x_1 \leq x_2 \leq \ldots \leq x_r \leq 1$, com r suficientemente grande, dependendo de F e ε, então existe um número natural k tal que $1 \leq k \leq k + F(k) \leq r$ e tal que, para todos os números naturais n, m com $k \leq n, m \leq k + F(k)$, se tem $|x_n - x_m| \leq \varepsilon$.

É ilustrativo citar aqui a descrição que Tao faz deste princípio: "[o princípio] afirma que toda a sequência monótona, limitada, de comprimento finito, mas suficientemente grande, contém valores de meta-estabilidade de qualidade arbitrariamente grande com um erro pré-especificado de tolerância ε, na qual a duração F(k) da meta-estabilidade ultrapassa o seu começo k por uma função arbitrária F também ela especificada de início". A formulação "*hard*" do princípio é significativamente mais verborreita do que

[18] Ver http://terrytao.wordpress.com/2007/05/23/soft-analysis-hard-analysis-and-the-finite-convergence-principle/. O blogue foi publicado posteriormente em *Structure and Randomness: Pages from Year One of a Mathematical Blog*, pp. 17-29. American Mathematical Society, 2008.

a versão "*soft*", como observa. Tao também parece querer dar a entender que esta é uma das razões por que a matemática abstrata é importante: é mais simples e memorável, ainda que à custa de ocultar informação quantitativa. De seguida, formula uma versão do princípio da convergência infinita no contexto dos espaços de Hilbert e, numa aplicação impressionante, mostra que o lema da regularidade de Szemerédi – um resultado profundo da teoria combinatória dos grafos finitos – é consequência do princípio finitista correspondente. O ponto é que, segundo Tao, os princípios "*soft*" da análise matemática podem encerrar informação combinatorial (ou computacional) altamente não trivial.

O blogue de Tao atraiu de imediato a atenção dos especialistas em teoria da demonstração. Henry Towsner, num comentário do blogue, afirma que o princípio da convergência finita pode ser visto como uma aplicação de uma interpretação (dita "funcional") de carácter lógico, descoberta por Gödel em 1958 e que ficou conhecida por interpretação *dialectica*.[19] Tao, de facto, redescobriu um caso particular da interpretação de Gödel e, na sua terminologia colorida, diz ter obtido um resultado de meta-estabilidade. O artigo de Gödel foi objeto de investigação intensa nos anos sessenta e princípios dos anos setenta mas, na década seguinte, deixou de despertar grande interesse. A partir da década de noventa, Feferman e Ulrich Kohlenbach trouxeram novamente a interpretação *dialectica* para a atenção da comunidade lógica. Em particular, Kohlenbach combinou a interpretação de Gödel com uma noção de majoração e, com esta elaboração (denominada de interpretação funcional monótona), foi capaz de analisar certos resultados da matemática "*soft*" e dar-lhes um conteúdo computacional explícito (p. ex., o número r do princípio do convergência finita pode ser explicitamente calculado a partir de ε e F).[20] Estas aplicações podem ser descritas como a extração, guiada logicamente, de informação computacional a partir de certas demonstrações da matemática. Este método de analisar demonstrações é hoje conhecido por *proof mining*. Tem encontrado aplicações à teoria da aproximação, à teoria dos pontos fixos, à teoria ergódica e, muito recentemente, à teoria dos semi-grupos não lineares. Muitas destas aplicações encontram como fórum de publicação revistas não especializadas em lógica, notavelmente revistas de análise matemática aplicada.

Uma parte significativa das análises computacionais feitas pelo *proof mining* tornou-se possível porque não se pretende – ao contrário da interpretação original de Gödel – obter testemunhas de asserções existenciais mas apenas majorantes para essas testemunhas. Este relaxamento tem uma dupla vantagem. Permite a análise de demonstrações que usam certos princípios não construtivos (tipicamente princípios de compacidade) e abre a possibilidade de obter informação computacional independente de certos valores dos parâmetros (resultados de uniformização). Por exemplo, no princípio da convergência finita enunciado há pouco, o valor r apenas depende de ε e F e não dos valores x_1, x_2, x_3,... Do ponto de vista matemático, esta independência explica-se pelo facto do conjunto de todas as sucessões de números reais do intervalo fechado [0,1] formar (para a convergência simples) um espaço compacto. De facto, é por meio deste resultado de compacidade que Tao argumenta o princípio da convergência finita. Do ponto

[19] A interpretação de Gödel foi publicada em 1958 na revista suiça *dialectica* sob o título "Über eine bisher noch nicht benützte Erweiterung des finiten Standpunkte". Este artigo está traduzido para português com a título "Acerca de uma extensão até agora não utilizada do ponto de vista finitista" em *O Teorema de Gödel e a Hipótese do Contínuo* (segunda edição) de Kurt Gödel et al., organização e tradução de Manuel Lourenço, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 2009. O escrito de Gödel é uma tentativa de estender o ponto de vista finitista de modo a justificar a consistência da aritmética de Peano. Obtém-se uma extensão da teoria da aritmética recursiva primitiva (usualmente identificada com a teoria do raciocínio finitista) que inclue certas entidades abstratas: os funcionais computáveis de tipo finito (é, precisamente, na inclusão destas entidades abstratas que se vai além do ponto de vista de Hilbert, o qual apenas permite raciocínios finitistas sobre símbolos "concretos").
[20] Ver *Applied Proof Theory: Proof Interpretations and their Use in Mathematics* de Ulrich Kohlenbach, Springer, Berlin, 2008.

de vista da interpretação funcional monótona, a uniformização obtém-se através de um simples argumento de majoração (estes argumentos estão intimamente ligados aos sistemas formais de enquadramento da interpretação funcional). A recente interpretação funcional limitada de Paulo Oliva e de mim próprio já incorpora automaticamente (e de forma sistemática) os fenómenos de uniformidade que subjazem a estas considerações em torno de majorações.[21]

A interpretação *dialectica* e suas modificações providenciam um método para efetuar a finitização de teoremas "*soft*". A teoria destas interpretações mostra que, em princípio, é possível obter análises finitárias de teoremas demonstrados em sistemas axiomáticos relativamente fortes. Já em 1962, Clifford Spector abrira caminho para isso com a extensão da interpretação de Gödel a toda a aritmética de segunda-ordem (que, como se discutiu na secção anterior, cobre uma parte extensa e importante da matemática). Um ponto intrigante, levantado pelas novas análises, é o de que as condições de majoração não têm que estar associadas necessariamente a propriedades de compacidade. Isto significa que, por vezes, é possível obter uniformidades mesmo na ausência de compacidade. No entanto, de modo a efetuar estas análises, é necessário trabalhar com sistemas formais concebidos *à la carte*, em vez de trabalhar dentro de um só sistema globalizador (parece que, para analisar eficientemente certos resultados através das interpretações funcionais, é mister trabalhar com sistemas formais que deixem de lado material irrelevante, nomeadamente cujo conteúdo está relacionado com a teoria dos conjuntos). É também possível que existam "princípios de correspondência" baseados em considerações sobre majoração (e não de compacidade) que têm escapado ao matemático. Este facto pode estar relacionado com outro ponto intrigante, nomeadamente o facto do axioma da extensionalidade constituir um impedimento à extração de informação computacional. O princípio da extensionalidade não tem uma interpretação *dialectica* (nem monótona) e é mesmo refutado pela interpretação funcional limitada. Basta deitar um olhar atento para o seguinte caso particular do princípio da extensionalidade (formulado na aritmética de tipos finitos) para ver por que razão isso é assim:

$$\forall \Phi \forall f,g \in N^N \, [\forall n \in N (f(n)=g(n)) \Rightarrow (\Phi(f)=0 \Leftrightarrow \Phi(g)=0)].$$

(Aqui Φ é uma função que vai de N^N para N. O princípio diz que se duas funções f e g são extensionalmente as mesmas, então gozam das mesmas propriedades.) Com efeito, a quantificação universal "$\forall n \in N$" torna-se numa quantificação existencial quando o princípio acima é posto em forma prenexa (pois está no antecedente de uma implicação). É, num sentido preciso, impossível majorar n em termos (de majorantes) dos dados Φ, f e g.

O trabalho em *proof mining* e a teoria que o possibilita têm, na minha opinião, uma importância fundamentadora clara. Investigam as relações entre o finito e o infinito, entre o abstrato e o computacional. Tratam-se, evidentemente, de questões fundamentais. Para além disso, levantam questões intrigantes sobre a necessidade de sistemas formais *à la carte* e, também, sobre o papel do axioma da extensionalidade. Como é sabido, este axioma é uma das pedras de toque da teoria dos conjuntos. Mas será ele indispensável à matemática "usual"? Como foi referido na secção anterior, grande parte da matemática pode ser formalizada na aritmética de segunda-ordem. Ora, nunca é demais salientar que em aritmética

[21] Fernando Ferreira e Paulo Oliva, "Bounded functional interpretation", Annals of Pure and Applied Logic, vol.135, pp. 73-112, 2005. Mais acessível é o meu artigo "A most artistic package of a jumble of ideas", dialectica, vol. 62, pp. 205-222, 2008.

de segunda-ordem o axioma da extensionalidade nem sequer se pode formular convenientemente (observe-se que o funcional Φ mencionado atrás é de terceira-ordem).

VI

Antes de descrever o terceiro exemplo de cariz fundamentador, gostaria de tentar afastar uma certa perceção que os dois primeiros exemplos podem, à primeira vista, sugerir. Trata-se da perceção de que estes exemplos constituem uma crítica à teoria dos conjuntos. Ora, a teoria dos conjuntos desempenha um papel fundamentador central em matemática pois providencia o padrão contra o qual se avalia se os entes matemáticos existem ou não. Este padrão universal é relativamente recente em matemática e advém da pasmosa descoberta (empírica) de que as construções matemáticas se podem formalizar dentro da teoria dos conjuntos. Este *modus operandi* de construir entes matemáticos é a prática corrente da matemática atual. Devemos comparar esta situação com certos episódios da história da matemática. Um meu exemplo favorito é a introdução dos números complexos pelos matemáticos italianos renascentistas. Ao tempo, a postulação dum número imaginário **i** cujo quadrado é -1 e que opera aritmeticamente como os reais, tornou possível a resolução de equações algébricas do terceiro e quarto grau, inclusivamente no sentido de levar à descoberta de soluções reais através de cálculos envolvendo números imaginários. Porém, esta abordagem puramente operacional levantava várias questões: O que é que garante que a introdução de números imaginários não leva a resultados absurdos? O que é realmente um número cujo quandrado é -1? Hoje em dia estas questões são vistas como pueris e ultrapassadas pois, por exemplo, podemos ver os números complexos como pares de números reais munidos de operações convenientes. Basta, neste caso, estar na posse de noções muito simples da teoria dos conjuntos (p. ex., o produto cartesiano) para "representar" os números complexos.

Na matemática atual, as construções dos entes matemáticos, por vezes de grande delicadeza e elaboração, são feitas no âmbito da teoria dos conjuntos e, se bem sucedidas, são automaticamente aceites pelos matemáticos. Este é talvez o papel mais importante da teoria dos conjuntos para a prática matemática atual. A teoria dos conjuntos é, por assim dizer, o tribunal último para avaliar da existência, ou não, dos entes matemáticos. Neste papel, a teoria dos conjuntos não tem concorrência à altura, o que explica a sua centralidade na matemática.

VII

A estrutura aritmética $\langle \mathrm{N}, 0, 1, +, \cdot \rangle$ tem uma axiomatização que se pode considerar "canónica": os axiomas de Peano $\mathbf{PA}_1$. Claro que o fenómeno de Gödel se aplica e, por conseguinte, esta axiomatização é incompleta. Mas talvez se possa ver a situação do seguinte ponto de vista: pode ser que a incompletude advenha do facto da linguagem formal da aritmética de Peano não ser suficientemente expressiva para enunciar todas as formas possíveis de indução matemática. Sabemos quais são os axiomas da aritmética, só que a totalidade das propriedades dos números naturais não se deixa capturar por nenhuma linguagem formal. Consequentemente, as formas de indução matemática também não. Dado que $\mathbf{PA}_1$ contém todas as formas de indução exprimíveis na linguagem formal da aritmética, de certa forma pode dizer-se que $\mathbf{PA}_1$ faz o melhor possível debaixo dos constrangimentos linguísticos formais.

Pode agora colocar-se a questão de saber se também existe uma axiomatização "canónica" para a estrutura de segunda-ordem $\langle N, P(N), 0, 1, +, \cdot, \in \rangle$, onde P(N) é o conjunto de todas os subconjuntos de N. Esta axiomatização deve conter os axiomas de Peano, incluindo as formas de indução que podem ser expressos na linguagem de segunda-ordem (que contém variáveis não só para elementos de N mas também para subconjuntos de N), assim como axiomas de compreensão (formação de conjuntos de números naturais) para as condições exprimíveis na nova linguagem. Estes axiomas formam um sistema designado por $\mathbf{PA}_2$. No entanto, esta axiomatização não se pode considerar "canónica" na medida em que ainda faltam (pelo menos) formas do axioma da escolha formalizáveis na linguagem da aritmética de segunda-ordem.[22]

No início deste século foi proposta uma axiomática "canónica" para a estrutura de segunda-ordem.[23] Trata-se de juntar a $\mathbf{PA}_2$ o denominado axioma da determinação projetiva **PD**. Informalmente, defende-se a seguinte analogia:

$$\frac{\mathbf{PA}_1}{\langle N, 0, 1, +, \cdot \rangle} \sim \frac{\mathbf{PA}_2 + \mathbf{PD}}{\langle N, P(N), 0, 1, +, \cdot, \in \rangle}$$

Denote-se por 2^N o conjunto de todas as sucessões de valores boolianos 0 ou 1. A cada subconjunto Ω de 2^N associa-se um jogo J_Ω. Há dois jogadores, I e II, que jogam, começando com I, alternadamente valores boolianos um número infinito de vezes:

I	a_0	a_1	…	a_n	…
II	b_0	b_1	…	b_n	…

Diz-se que o jogador I ganha o jogo J_Ω se a sucessão intercalada de jogadas $\langle a_0,b_0,a_1,b_1,\ldots,a_n,b_n,\ldots\rangle$ está em Ω. Caso contrário, ganha II. Uma estratégia E para o jogador II (digamos) é uma função que a cada sequência binária de comprimento ímpar faz corresponder um valor booliano. O jogo acima desenrola-se de acordo com a estratégia E se, para todo o número natural n, $E(a_0,b_0,a_1,b_1,\ldots,a_n) = b_n$. Intuitivamente, E diz que o jogador II deve jogar b_n se, até essa altura, a sequência de jogadas tiver sido $\langle a_0,b_0,a_1,b_1,\ldots,a_n\rangle$. A estratégia E diz-se vencedora se os jogos que a sigam são necessariamente ganhos por II. Um subconjunto Ω de 2^N diz-se *determinado* se um dos jogadores tiver uma estratégia vencedora para o jogo J_Ω.

O conjunto 2^N tem uma topologia natural que dá origem ao chamado espaço de Cantor. Pode demonstrar-se facilmente que todo o conjunto aberto do espaço de Cantor é determinado. Em 1975, num *tour de force* técnico, Donald Martin mostra que todo o conjunto boreliano é determinado. Porém, nem todo o subconjunto do espaço de Cantor é determinado, pois isso contradiz o axioma da escolha. Um subconjunto do espaço de Cantor diz-se *projetivo* se se obtém a partir dos conjuntos borelianos por meio de um número finito de aplicações de duas operações: tomada de imagem contínua (por meio de funções contínuas do espaço de Cantor para o espaço de Cantor) e complementação.[24]

---

[22] A distinção, aqui aflorada, entre as axiomáticas $\mathbf{PA}_1$ e $\mathbf{PA}_2$ (considerando a primeira "canónica" e a segunda não) é especulativa. Este não é o sítio próprio para tentar argumentar pela distinção. Podemos, porém, avançar com dois argumentos preliminares. O primeiro diz respeito ao facto da aritmética de segunda-ordem falar sobre conjuntos e que, em $\mathbf{PA}_2$, a existência desses conjuntos é apenas garantida pelos axiomas de compreensão, circunscrevendo-se $\mathbf{PA}_2$ (portanto) a uma forma de *definibilismo*. Note-se que na aritmética de primeira-ordem estas questões não se põem (pelo menos diretamente), pois a aritmética de primeira-ordem não tem variáveis de conjunto. O segundo argumento apoia-se no fenómeno de Gödel: a incompletude de $\mathbf{PA}_2$ tem características que vão para além do fenómeno de Gödel (como acontece com as formas de escolha mencionadas no texto principal).

[23] Ver o artigo de W. Hugh Woodin, "The continuum hypothesis, Part I", Notices of the American Mathematical Society, 48(6), 567-576 (2001).

[24] O estudo dos subconjuntos definíveis da reta real (e de outros espaços métricos separáveis completos) é o tema da teoria descritiva dos conjuntos. Este assunto tem origem nas investigações dos matemáticos franceses Émile Borel, René-Louis Baire e Henri Lebesgue em torno da

A imagem contínua de um boreliano já não tem que ser um conjunto boreliano mas Mikhail Suslin demonstrou em 1917 que é um conjunto mensurável à Lebesgue. Surge, naturalmente, a questão de saber se todos os conjuntos projetivos são mensuráveis à Lebesgue. Depois de estudos profundos, o professor de Suslin, Nikolai Luzin, desabafa em 1925: "não sabemos nem nunca saberemos [se os conjuntos projetivos são mensuráveis à Lebesgue]".[25] Retrospetivamente, vê-se que este desabafo tinha razão de ser pois a questão não se pode decidir em **ZFC**. O *axioma da determinação projetiva* postula que todo o conjunto projetivo é determinado. Este axioma permite obter uma teoria muito elegante dos conjuntos projetivos. A partir de **PD** pode mostrar-se que todo o conjunto projetivo é mensurável à Lebesgue, tem a propriedade do subconjunto perfeito, a propriedade de Baire, etc. Em particular, as questões de Luzin têm resposta. Também se pode mostrar que toda a relação projetiva é uniformizável por uma função projetiva. Este resultado de Yiannis Moschovakis mostra que se podem fazer escolhas definíveis em aritmética de segunda-ordem e que, portanto, neste contexto não há uso essencial do axioma da escolha.[26]

Não é absolutamente nada evidente que **PD** seja consistente com os restantes axiomas da teoria dos conjuntos e, ainda menos, que se deva aceitar como um axioma. No final dos anos oitenta, Martin e John Steel mostraram que **PD** é consequência de axiomas que postulam a existência de grandes cardinais.[27] A postulação de grandes cardinais pode considerar-se uma generalização do axioma do infinito e faz parte da conceção iterativa dos conjuntos, um requisito da qual é ir tão longe quanto possível na escala dos números ordinais transfinitos.[28] Do ponto de vista dos fundamentos, o teorema de Martin e Steel diz que se aceitarmos uma certa conceção do universo dos conjuntos então devemos aceitar **PD**. Este teorema é, verdadeiramente, um marco na história da teoria dos conjuntos e, a meu ver, tem consequências muito interessantes para os fundamentos da matemática.

As fórmulas da linguagem da aritmética de segunda-ordem definem precisamente os conjuntos projetivos. No contexto desta aritmética, **PD** forma um esquema de axiomas que permite completar naturalmente a axiomática $\mathbf{PA}_2$ na medida em que as indecidibilidades conhecidas de $\mathbf{PA}_2$ **+ PD** são análogas às de $\mathbf{PA}_1$, i.e., são do tipo gödeliano. A proposta de um novo axioma **PD** é arrojada até porque, nas palavras de Hugh Woodin, "a verdade [de **PD**] apenas se torna evidente depois de muito trabalho".[29] Há uma diferença fundamental entre o tipo de evidência que se aceita para as axiomatizações "canónicas" das estruturas da aritmética de primeira e de segunda-ordem. Enquanto que no primeiro caso a evidência é puramente intrínsica, no segundo ela não o é pois extravasa a aritmética, emanando da teoria dos conjuntos. A temática da natureza da evidência dos axiomas e a noção (informal) de axiomatização "canónica" clamam por atenção e escrutínio filosófico.

---

passagem do século XIX para o século XX. Veja-se *Classical Descriptive Set Theory* de Alexander Kechris (Springer-Verlag, 1995) para uma moderna exposição do assunto.

[25] Nikolai Luzin foi um matemático russo e um dos fundadores da teoria descritiva dos conjuntos. Em 1917, o seu estudante Mikhael Suslin mostrou, ao contrário do que Lebesgue pensava, que a imagem contínua de um conjunto boreliano não é necessariamente um conjunto boreliano. Luzin e o seu aluno foram levados a estudar os conjuntos projetivos mas depararam-se com um impasse no seu estudo, o que motivou o desabafo de Luzin em 1925. Para mais informações sobre este assunto, ver o final da secção 2 de *Cantorian Set Theory and Limitation of Size* de Michael Hallett, Oxford, 1984.

[26] Ver referência da nota 23.

[27] Donald Martin e John Steel, "A proof of projective determinacy", Journal of the American Mathematical Society, vol. 2(1), pp. 71-125, 1989.

[28] Para esta conceção e a sua defesa veja-se o seguinte artigo de Kurt Gödel (traduzido para português por Manuel Lourenço): "O que é o problema do contínuo de Cantor?" in *O Teorema de Gödel e a Hipótese do Contínuo* (segunda edição) de Kurt Gödel et al., Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 2009. Também recomendo o artigo de Hao Wang "The concept of set" in *Philosophy of Mathematics. Selected Readings* (segunda edição), organizado por Hilary Putnam e Paul Benacerraf, Cambridge University Press, 1983.

[29] Ver referência da nota 22.

Penso que é interessante terminar esta discussão com algumas reflexões de Gödel que estão na origem do programa de estudo de grandes cardinais e da procura de novos axiomas. Uma questão importante da teoria dos conjuntos, enunciada ainda pelo próprio Cantor no século XIX, é a de saber qual é a cardinalidade do conjunto dos números reais. A hipótese do contínuo afirma que esta cardinalidade é a menor cardinalidade a seguir à cardinalidade dos números naturais. No final dos anos trinta, Gödel mostra que a hipótese do contínuo é consistente com **ZFC**. Uma década mais tarde, Gödel escreve um artigo à primeira vista expositório, mas realmente de carácter programático, intitulado "O que é o problema do contínuo de Cantor?".[30] Neste artigo, defende vigorosamente as suas ideias realistas (ou platonistas) a respeito da matemática. Segundo Gödel, mesmo que se viesse a demonstrar que a hipótese do contínuo fosse independente de **ZFC** (o que realmente veio a suceder em 1963 com o trabalho de Paul Cohen) isso "de maneira nenhuma resolveria o problema. Porque se o sentido dos termos primitivos da teoria dos conjuntos (...) é aceite como correto, segue-se que os conceitos da teoria dos conjuntos e os teoremas descrevem uma realidade bem determinada na qual a conjetura de Cantor tem que ser verdadeira ou falsa". Gödel insiste em afirmar que a axiomática **ZFC** não está fechada e instiga os investigadores a procurar novos axiomas para a teoria dos conjuntos.

O caminho até **PD** é, de acordo com alguns especialistas, um exemplo da descoberta de um novo axioma (para a aritmética de segunda-ordem). A hipótese do contínuo é, contudo, uma asserção da aritmética de terceira-ordem e **PD** não lhe toca. Será que existe uma axiomática "canónica" que decida a hipótese do contínuo? Ou será que a hipótese do contínuo é, contra Gödel, inerentemente vaga, como defendem alguns autores?[31] Os especialistas em teoria dos conjuntos têm-se debruçado sobre estas questões mas os resultados são, até ao momento, inconclusivos.[32] A hipótese do contínuo é, ainda hoje, um problema em aberto dos fundamentos da matemática.

VIII

Neste escrito dei alguns exemplos da lógica matemática como empreendimento fundamentador. As escolhas não pretenderam ser isentas, antes espelham ideias e preferências pessoais. A meu ver, as investigações reportadas no último exemplo são profundas e belas. G. H. Hardy disse famosamente que "there is no permanent place for ugly mathematics".[33] Apesar dos resultados da moderna teoria dos conjuntos estarem afastados do centro da matemática atual pensamos que eles, de uma forma ou doutra, encontrarão um lugar permanente na matemática. Os outros exemplos reportam investigações mais suscetíveis de interagir com o resto da matemática. De facto, penso que (apesar da beleza inquestionável de algumas ideias) o lugar permanente dessas investigações na matemática vai depender, em grande medida, das relações frutuosas que conseguirem estabelecer com o resto da matemática.

(Comunicação apresentada à Classe de Ciências
na sessão de 15 de janeiro de 2009)

[30] Ver referência da nota 26.
[31] Veja-se, por exemplo, Solomon Feferman in "Does mathematics need new axioms?", American Mathematical Monthly, vol. 106, pp. 99-111, 1999.
[32] O principal impulsionador dos estudos sobre a hipótese do contínuo e do universo dos conjuntos enquanto tal é H. Hugh Woodin. Vejam-se os seus dois artigos (até para acompanhar a evolução das suas ideias) "The continuum hypothesis, Part II", Notices of the American Mathematical Society, 48(7), 681-690 (2001) e "Strong axioms of infinity and the search for V", Proceedings of the International Congress of Mathematicians, Hyderabad, Índia, 2010.
[33] G. H. Hardy, *Apologia de um Matemático*, Edições Gradiva, Lisboa, 2007.

Evolução. Visão global de um não especialista… Energia… Matéria… Vida… Homem… Humanidade…

REFLEXÕES

Armando Lencastre†
Sócio efectivo da Classe de Ciências
Secção de Engenharia e outras Ciências Aplicadas

Não sou especialista, mas alguém com dúvidas que deseja ver esclarecidas. É nesta qualidade de aluno que me disponibilizei para expor estas Reflexões, nesta Sessão inaugural.[1]

… Energia… Matéria… Vida… Homem… Humanidade…

As reticências são símbolos do muito que espero aprender.

Visão Global – não especializada, convite ao diálogo inter classes Ciências e Letras, que estruturam a nossa Academia.

Até ao Homem, a Evolução obedece à Lógica dos **Campos Físicos** (Gravítico Quântico).

ENERGIA + LOGOS ⟶ FORMA (Matéria… Vida… **Homem**)
UMA TRÍADE CIENTIFICA
Domínio das ciências

O Homem: – Ser racional, Sujeito moral, *Sapiens-Demens,* Fruto esperado.

Diálogo entre Ciências e Letras

Se o Homem quiser poderá construir a **Humanidade**, em **Campo de Amor** que transcende os Campos Físicos.

HOMEM (se quiser) + AMOR ⟶ (Fraternidade) HUMANIDADE

Domínio das Letras

[…]

ENERGIA

Há 15 mil milhões de anos ter-se-á dado a "*Grande Explosão*".

[1] A A.C.L. tem duas classes: Ciência e Letras. Cada classe tem 35 sócios efectivos com 7 secções de 5 sócios cada uma. Estas reflexões constam do programa da Cerimónia Comemorativa. Comunicação da 1.ª Sessão.

Não é possível analisar o que se passa em tempo inferior ao **Tempo de Plank** igual a 5,6 x 10^{-44} s.

O "*Não Tempo*" … o "*Não Espaço*" desafiam a nossa imaginação.

Entre 10^{-35} e 10^{-32} s, o Universo expande-se para uma dimensão 10^{9} vezes maior, para uma esfera com 10 cm de diâmetro: é a época inflacionária.

Figura 1
GALAXIA Andrómeda. A Via Láctea vista do espaço teria o mesmo aspecto.

O Universo continua a expandir-se à velocidade da luz e terá hoje o diâmetro de 15.000 milhões de anos-luz, $15x10^{12}$ Giga Kilómetros.

Existem milhões de galáxias entre as quais a grande galáxia Andrómeda, parecida com a nossa Via Láctea, que está a 2,2 milhões de anos-luz. **O Sol** faz parte de um conjunto de estrelas que constituem a nossa galáxia com dez mil milhões de estrelas. O Universo não é um conjunto de objectos: é um Sistema de sistemas dentro de outros sistemas. É um **Holon**, a palavra criada para designar esta realidade. Deriva de Holístico: o Todo é mais do que a soma das partes.

O **Sol** gasta em cada segundo quatro milhões de toneladas de si mesmo para transformá-las em Luz. E é graças a esta Luz enviada para a Terra que nós existimos.[2]

É neste mar de Energia que navegamos a bordo da nossa Nave espacial, a nossa casa comum, a **Terra**, que como um Todo regula as suas parte, à semelhanças de um organismo vivo. Para esta realidade foi criada a palavra **Gaia**.(de GEA)

LOGOS

– Será o Cosmos Caos ou Logos?

Newton no tratado ("*Philosophia Naturalis Princípia Mathemática*"), mostrou o êxito da Física Matemática (da Lógica) no estudo do COSMOS.

Lorentz (*The Essence of Cháos)* demonstrou que até no CAOS há ordem.

O Universo comporta-se **não ao acaso**, mas obedece a um LOGOS cuja regulação inicial é notável**: é a Precisão das Constantes Cosmológicas**.

No Campo da Gravidade, a Matemática de NEWTON rege o **Macrocosmos** com tal precisão, que é possível prever eclipses passados e futuros. O planeta Plutão antes de ser observado já era conhecido só pelas leis de Newton.[3]

[2] O Sol já presta serviço há vários milhares de milhões de anos e ainda vai durar 4 a 5 mil milhões de anos.

[3] "O equilíbrio entre as forças de explosão do "Big Bang" e as forças da gravidade deve ter sido tal que, se no começo, a explosão diferisse em intensidade de um em 1060, o Universo que agora percebemos não teria existido; Se a expansão fosse mais forte, não teria havido tempo para a constituição das galáxias; se fosse mais fraca, rapidamente o Universo teria recuado para uma grande compressão." [DAVIES – Super – Força]

– A Física Quântica estuda o **Microcosmos** com tal precisão, que foi possível descrever o início do Universo a partir de 10^{-35} s. As suas equações são consideradas tão válidas, que hoje se gastam fortunas nos aceleradores de partículas, como o CERN, para estudar o processo.[4]

O Êxito da Física Matemática evidencia que no COSMOS reina o LOGOS e não o CAOS.

A Investigação Cientifica pressupõe um LOGOS que é procurado.[5]

FORMA (Matéria, Vida, Homem)

A **Matéria** é essencialmente *Energia com Forma*. $E = m c^2$

No início, na era inflacionária, o Universo era uma sopa indiferenciada de matéria e de radiações e as partículas chocavam rapidamente umas com as outras. As partículas mais numerosas eram os fotões, os electrões e os neutrinos, com as respectivas antipartículas.

Parece que a base elementar da Matéria são os QUARKS, cuja constituição ainda se desconhece. Uma teoria, meramente matemática, considera-os constituídos por segmentos energéticos que vibram como as **cordas** de uma guitarra.

Um conjunto de 3 quarks constitui um **NEUTRÃO**, sem carga eléctrica. Associando ao Neutrão uma carga eléctrica positiva – **POSITRÃO**, obtém-se o **PROTÃO**. A dimensão de um Protão é de 10^{-15} m, 10^{-3} nanómetros

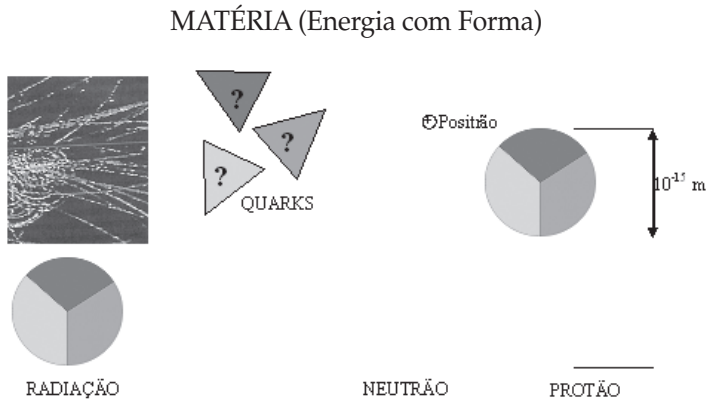


Figura 2

O fotão e as partículas sub-atómicas comportam-se como ondas ou partículas, é o **paradoxo**, **onda – partícula**, posto em evidência pela conhecida experiencia de YOUNG: uma fonte de luz, uma placa com duas fendas; uma chapa fotográfica.

Com as duas fendas abertas simultaneamente, aparece um padrão de faixas de brilho variado, um padrão de interferência, correspondente a **ondas**.

Se uma fenda estiver fechada, desaparece este padrão de interferência e obtém-se uma curva de distribuição de intensidade, como se obteria pela projecção de **partículas**.

Isto é, os elementos sub-atómicos ora se comportam como ondas, ora como partículas.

[4] "Os núcleos dos átomos mantêm-se unidos pela força nuclear forte, num mundo onde se esta força fosse alguns por cento mais forte, não haveria virtualmente hidrogénio. Nenhuma estrela estável, como o Sol, poderia existir, nem a água existiria. É duvidoso se a vida poderia existir." [DAVIES – "Deus e a Nova Física"]

[5] A evolução do nosso Universo, obedece a um Projecto, não é fruto de um mero Acaso, apesar das inúmeras tentativas aparentemente falhadas. Isto mostra que tudo o que é logicamente possível pode ser chamado à existência, desde outros seres racionais, que já se procuram noutros Planetas até à existência de Universos paralelos. É a Omnipotência Criadora.

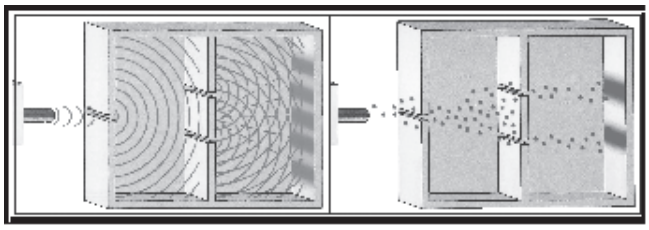


Figura 3
É o paradoxo Onda – partícula.

Suponhamos que se colocam detectores separados em frente das duas fendas a fim de saber para qual delas o fotão se dirige. Desaparece o padrão de interferência. O que permite concluir que os sistemas sub-atómicos evoluem para estados ondulatórios quando não observados e colapsam para o estado de partículas quando observados. Parece que a mente alcança em certo sentido o mundo físico (DAVIES – *o Átomo assombrado*).

Primeira dúvida. A passagem **da Energia para a matéria**.

A Forma mais simples da Matéria é o Hidrogénio, cujo átomo é constituído por um núcleo – um protão – circundado por um electrão.

O corte, em computador, de um átomo de Hidrogénio, num dado estado de excitação, mostra a probabilidade de aparecer o Electrão, nas zonas mais claras. Com outro, dos infinitos estados de energia possíveis, obter-se-iam imagens diferentes.

O núcleo é cerca de 20 000 veses menor do que o tamanho de um átomo.

"Para ver o núcleo, teríamos de tornar o átomo do tamanho da maior cúpula do mundo, a cúpula da Catedral de S. Pedro, em Roma. Num átomo assim, o núcleo teria o tamanho de um grão de sal. "

O núcleo dos átomos é constituído por nucleões (protões com carga eléctrica positiva e neutrões, electricamente neutros).

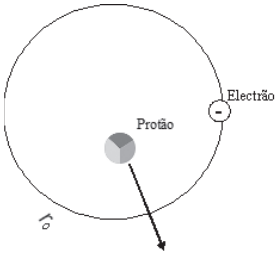
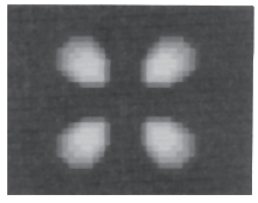


Figura 4
Átomo de Hidrogénio.



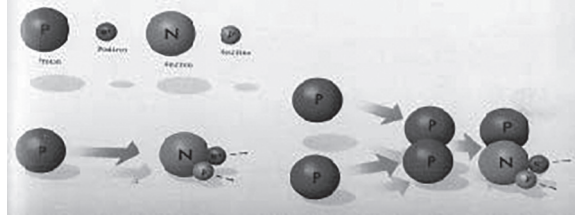


Figura 5
A fusão nuclear.

Auto – Organização e a Complexidade Crescente

Em estrelas como Sol, os átomos de Hidrogénio chocam e fundem-se: é a **fusão nuclear**. Nesta fusão, a carga eléctrica de um dos Protões é expulsa e dá origem a outro elemento, o **Hélio** (um Neutrão e um Protão, o núcleo é circundado por um electrão). Assim se obtém a energia solar, e a **bomba de Hidrogénio**.

Em estrelas mais quentes, a fusão continua e aparecem os átomos de **Carbono** (6 protões e 6 neutrões, rodeado por 6 electrões), e o átomo de **Oxigénio** (8 protões e 8 neutrões rodeados por 8 electrões).[6]

[6] Verifica-se que todos os núcleos possuem a mesma densidade, que é extremamente elevada, isto é, 20 x 1014 vezes a densidade da água, ou seja, 200 000 toneladas por milímetro cúbico. [CAPRA – O TAO da Física]

A nossa nave espacial, a **Terra** funcionou a seguir como **Fabrica Química** onde se formaram os restantes elementos, por complexidade crescente segundo a Classificação Periódica de MENDELEIEVE, tão lógica que o seu autor reservou lugar para elementos que ainda não se conheciam e que vieram posteriormente a ser descobertos e a ocupar os espaços vazios.

Também é admirável a ordem da simetria com que se organizam os cristais.

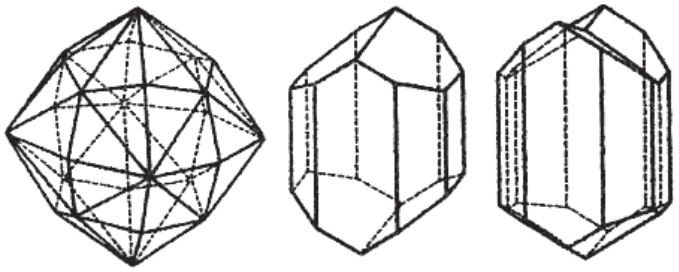


Figura 6

A Vida (*essencialmente FORMA*)

ENERGIA + LOGOS ⟶ VIDA

A combinação destes átomos entre si dá origem às **MOLÉCULAS** da Química Orgânica cada vez mais complexas, entre as quais Timina, Adenina, Citosina e Guanina, as que constituem o ADN.

Por complexidade crescente aparecem as CÉLULAS que se multiplicam, se diferenciam, se auto-organizam e dão os corpos dos seres vivos, até ao Homem.

A Fronteira entre a matéria viva e morta é considerada fluida.

Os primeiros seres vivos **monocelulares** foram moléculas que foram (*animadas*) donde vem a palavra animal. Que significa ser animado?

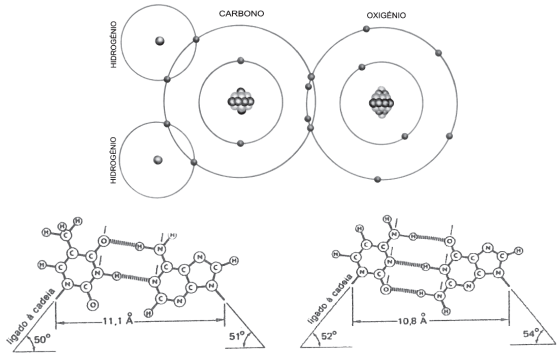


Figura 7

Figura 8

Tal como o pêndulo dum relógio parado precisa de um pequeno impulso para começar a trabalhar, também as células que originaram seres monocelulares precisaram de um impulso, de serem "*animadas*", para começarem a viver. Que tipo de impulso?

Segunda dúvida: a passagem da Matéria para a Vida

Tal como um livro, composto só de 24 letras é fundamentalmente forma, também a Vida é essencialmente FORMA:

Actualmente, são conhecidas cerca de um milhão e meio de espécies de plantas e animais.[7]

Há cerca de 3,5 milhões de anos surgem os primeiros seres vivos monocelulares, anaeróbios que irão produzir o oxigénio que constitui a atmosfera.

Há 2,5 milhões de anos, a vida adapta-se ao oxigénio, que a própria vida tinha produzido.

Há 500 milhões de anos, apareceram os vertebrados.

Há 300 milhões de anos os répteis expandem-se e dominam a Terra, é a idade dos dinossauros.

Há um milhão de anos aparecem os mamíferos, os antropóides (orangotango, gorila, chimpanzé) e finalmente o Homem. [ROSNAY – *A Origem da Vida*]

Há 500 milhões de anos – Aparecem os Vertebrados.

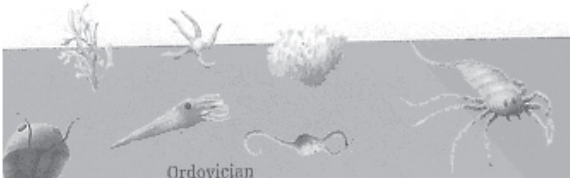


Figura 9

Há 100 milhões de anos – Idade dos Dinossauros e sua Extinção.

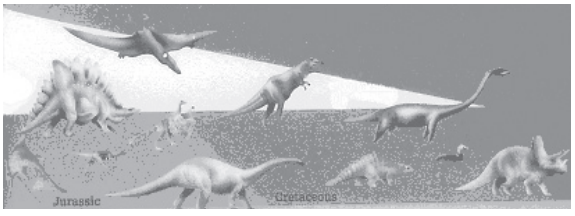


Figura 10

Há 1 milhão de anos – Aparecimento dos Mamíferos.

Figura 11

Rápida Evolução dos Primatas e Aparecimento do Homem

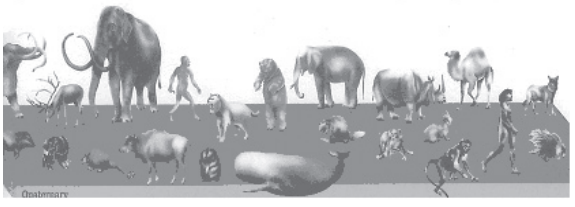


Figura 12

O HOMEM

O Homem é um ser racional, sujeito moral, *Sapiens-Demens*, Fruto esperado.

O Cérebro do Homem é o apogeu da FORMA. A totalidade do nosso encéfalo compõe-se aproximadamente 10 000 milhões de **neurónios**.[8]

Estes neurónios ligam-se uns aos outros através de **sinapses**, cujo número total atinge um valor da ordem de 10^{20}.

[7] Calcula-se que o número real é bastante superior, situando-se em cerca de quinze a vinte milhões de espécies. Já terão desaparecido entre oitocentos e mil milhões de espécies.

[8] Em termos de memória representam uma capacidade que ronda os 2,8 x 1020 bits. Desta capacidade fabulosa só utilizamos cerca de 10%. [MURRAY – *O Quark e o Jaguar*]

– O Homem ser racional

Os **nossos sentidos** dão-nos nossa **percepção do mundo**. É o sentido da vista, o órgão mais perfeito para o nosso cérebro «*realizar*», «*perceber*», o mundo exterior que nos rodeia. Daí se dizer em linguagem corrente «*a nossa visão*», quando pretendemos exprimir a «*nossa percepção*». Outros animais, tais como o morcego, cuja percepção é dada fundamentalmente pelo ouvido, ou como o cão, em que a percepção é dada fundamentalmente pelo olfacto, têm outras percepções do mundo que os rodeia.

O Homem limitado na sua experiência sensorial é dotado de **Razão** e de **Lógica**, daí o êxito da **Física Matemática**.

No entanto, a lógica tem limites, demonstrados pela própria Lógica:

É o **Teorema de incompletude de Gödel**, que define uma espécie de horizonte de compreensão determinado pelo número finito de escolhas já efectuadas. Ao alargar-se a fronteira do conhecimento, alarga-se também a nossa percepção do desconhecido.

Assim, na base do raciocínio há sempre **postulados** que se aceitam como sendo verdade sem qualquer prova. A **validade dos postulados** afere-se pela qualidade das suas consequências lógicas.

A **Intuição**, dá-nos uma sensação (mas não uma percepção) do Todo. A linguagem da Intuição é a linguagem dos músicos, dos poetas, dos pintores, da Arte, que nos permite comunicarmos uns com os outros, de formas diferentes da Razão.

As decisões mais importantes da nossa vida não emanam só da razão, mas mais da intuição: o casamento, os filhos, o altruísmo, o heroísmo… A Razão e a Intuição bem doseadas, com vista ao bem comum, geram o **Bom-Senso**.

Ensinava aos meus alunos: *para ser bom engenheiro é preciso uma tonelada de Matemática, duas toneladas de Física e dez toneladas de Bom Senso*.[9]

Os Mitos e as Parábolas podem ser a forma mais simples de traduzir realidades complexas. Os Mitos, em geral afirmam o *status- quo.* O mito do *Adamastor*, por exemplo, cantado por Camões e por Pessoa. As Parábolas em geral, contestam o *staus-quo*: a parábola do bom *Samaritano* contada por Jesus de Nazaré, o exímio educador por Parábola.

O **Pensamento Paradoxal** é a maneira de pensar que se situa entre a Razão e a Intuição. O pensamento paradoxal coloca suficientes contradições o que nos tenta a, por vezes, tudo esquecer, e preferir o silêncio total. Quando se batem palmas qual é o ruído provocado por cada mão.

No que se refere à existência de "Deus" Criador, muitas vezes me encontrei perante um pensamento paradoxal: parecia-me absurdo dizer "sim"; parecia-me absurdo dizer "não"…

Como é que Deus Omnipotente e Bom, tolera o mal? É o paradoxo que LEIBNITZ analisou, na sua *Teodiceia,* literalmente a *justificação de Deus*: no Mundo Físico são os Males largamente compensados pelo Bem; as grandes catástrofes ocorrem, geralmente, quando o Homem não respeita a Natureza; os males morais resultam do respeito absoluto de Deus, pela Liberdade do Homem.

O "*sim*" mostrava-me uma visão da Vida mais aceitável do que o "não". Era como escolher ver o filme da Vida a preto e branco ou a cores; e, à medida que mais meditava no "*sim*", mais radioso e mais claro se me apresentava o filme da Vida.[10]

---

[9] Nas grandes decisões que tive que tomar como engenheiro, estudados os assuntos, as soluções "apareciam" por intuição, havendo só depois que justificá-las pela razão, para que os outros também aderissem.

[10] Porem só consegui conformar-me com o Escândalo do Mal e não esperar milagre, quando meditei profundamente sobre o Mistério da Cruz.

PASCAL: "*O último acto da Razão pode ser reconhecer que há coisas que a ultrapassam.*"

Primeiro Postulado: Sou um ser racional. Reconheço que há coisas que ultrapassam a minha razão.

– O Homem sujeito moral

O neurologista J. P. CHANGEUX, no seu livro "*O Homem Neuronal*", é um dos maiores defensores da tese materialista de que tudo reside nos neurónios.

Posteriormente, em debate com o filósofo PIERRE RICOEUR, Changeux declara:

> "*O acontecimento decisivo (para o desejo deste debate) foi a seguinte pergunta que me encostou à parede. Como* ***pode um homem neuronal ser um sujeito moral****? Desde então, nunca mais deixei de reflectir sobre o que dá acesso ao livre exercício da razão.*

Parece difícil explicar como é que por processos determinísticos que comandam a química do Cérebro, pode subsistir capacidade para decidir. É certo que a nivel sub-atómico, os processos não são determinísticos, mas probabilísticos. Porém, a decisão do **Eu** não é probabilística, é **determinada**.[11]

Segundo Postulado: Sou um sujeito moral. Sou imputável com atenuantes, por isso considero a pena de morte injusta. O mesmo diria do inferno.

Onde está a sede deste "*eu*" que decide? É o ainda **mistério do *eu*.**

Terceira dúvida: a passagem do Instinto para a Moral.
Homo *Sapiens-Demens*.

> *Este universo, saído, ao que parece, de um acontecimento indizível de onde brotam a luz, a matéria, o tempo, o espaço, o devir, é arrastado numa aventura fabulosa de criação e de destruição (…)*
>
> *Assim, é toda a aventura cósmica, telúrica e biológica que parece obedecer a uma dialógica entre harmonia e cacofonia.*
>
> *O homem, oriundo desta aventura, possui a singularidade de ser cerebralmente* sapiens-demens*, isto é, de transportar consigo simultaneamente a racionalidade, o delírio, a hybris (a desmesura), a destrutividade. [*EDGAR MORIN – *A Humanidade da Humanidade]*

Nesta luta *sapiens-demens*, para navegar livremente num mar de pensamentos, dialécticos e contraditórios, e não cair na navegação sem rumo, diletante e inconsequente, necessito de um ponto de apoio, de um farol que sem me tirar a liberdade do caminho, me oriente a meta final. Por outras palavras, necessito de um **Valor Absoluto**, o qual, pela própria noção de absoluto, só pode ser um: a esse Valor se devem subordinar todos os outros valores.

Ao longo da história vários valores absolutos têm surgido: *A Verdade* que gerou as inquisições; *A Justiça* que gerou os goulags; *A Raça* que gerou os genocídios; *A Pátria* que gerou as pequenas e as grandes guerras.

Só o ***Amor*** não tem gerado movimentos de que a Humanidade se tenha arrependido. Por isso, por instinto, por educação e ao que me parece pela dedução lógica do que acabo de enunciar, escolhi o AMOR como valor absoluto".[12]

---

[11] Pessoalmente, apesar de reconhecer a grande influência da hereditariedade e da cultura no nosso comportamento individual. "Postulo", em nome da Dignidade intrínseca do Homem, Eu poder considerar-me um "sujeito moral" com direitos e obrigações, capaz de escolher entre o Bem e o Mal. – Justifica-se a Liberdade.

[12] Prólogo do meu livro "Meio Século ao serviço da Engenharia" – *Memórias Profissionais*, editado pela Ordem dos Engenheiros.

Amor (no sentido da palavra grega Ágape Fraternidade traduzida para latim por "Caritas" – a dádiva gratuita).

Terceiro postulado: O valor absoluto é o AMOR.

Como **corolário** concluo que: **"DEUS É AMOR",** como aliás foi afirmado por S. João há dois mil anos.

Deus "Campo "de Amor.

Numa tentativa de aproximar o "conceito" de Deus de uma "imagem" de Deus, mais próxima da compreensão científica e racional, tentei explorar a ideia de **Deus – "Campo" de Amor**, um pouco à semelhança de Deus, com o sopro, o vento, o ar a que se refere a Bíblia. O "*Campo*", designadamente o "*campo quântico*" (do infinitamente pequeno), mais se parece com um "espírito" do que com a "matéria granular".

Para crentes: Deus, como o *Campo da luz*, penetra nas pequenas fendas abertas no nosso egoísmo; como o *Campo de Gravidade*, atrai as pequenas parcelas do Amor que surgem no nosso coração. No *Campo Psíquico*, talvez *Quântico*, pela meditação interioriza-se a parte *Demens*: *Livrai-nos do Mal*, de perder a cabeça, às vezes, por motivos bem fúteis. Pela oração, comunica-se com os outros recordando-os.

A Meditação pode ainda ter um efeito *Placebo*, actualmente em estudo em muitas Universidades.

Terceiro Postulado: Sou *Sapiens-Demens*. Preciso de um farol – **Deus Campo de Amor**.

– O Homem produto do Acaso ou fruto esperado?

JACQUES MONOD, *em Acaso e Necessidade* proclamou as suas convicções ateístas afirmando que o homem não é uma criatura, mas sim «o produto de uma incalculável soma de acontecimentos fortuitos»: «*Tudo o que existe é fruto do acaso e da necessidade*»"

Nem no Campo flores
Nem no Céu estrelas
Me parecem belas
Como os meus amores

Uma quadra de Camões composta por 60 letras. Qual é a probabilidade de compor esta quadra extraindo ao acaso 60 letras do alfabeto? E se fossem os Lusíadas? Quanto tempo levaria um computador potentíssimo a fazer esta operação?

"Se considerarmos uma célula viva, composta por uma vintena de ácidos aminados cuja função depende de cerca de 2000 enzimas específicos, a probabilidade de se construir por acaso uma célula viva ao longo de uma evolução de muitos milhões de anos é da ordem de 10^{1000} contra um" [GUITON – *Dieu et la Science*].

E se em vez de uma célula se considerasse o cérebro humano com 10^{20} neurónios e 10^{20} sinapses?

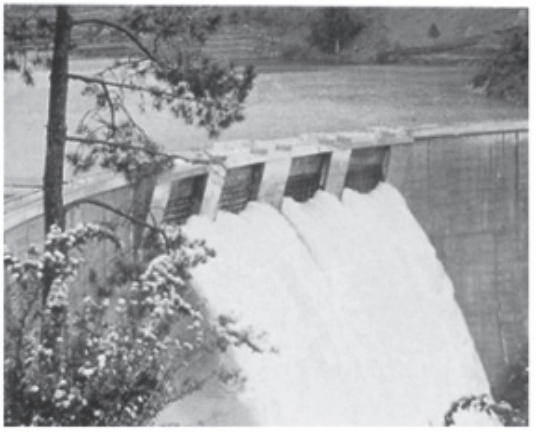
No entanto, é evidente que existe o tactear no aparecimento e desaparecimento das espécies. Mas é também evidente o **sentido** desse **tactear**: **a maior complexidade** das novas espécies até ao homem cujo cérebro é o sistema mais complexo da evolução.

"*Acaso*", uma palavra ainda mais ambígua do que a palavra "*Deus*". Mais aceitável seria falar do "*acaso com um sentido*".

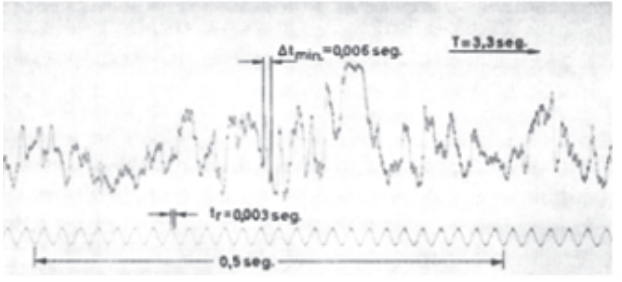
Considere-se uma tempestade no cume de uma serra. As gotas da chuva, ao atingirem o solo, formam sulcos, riachos, ribeiros, caem em cascatas, seguem em rios até atingirem o mar. Estes escoamentos, **aparentemente ao acaso, têm um sentido** que lhes é imposto pela gravidade, o Caminho do mar.

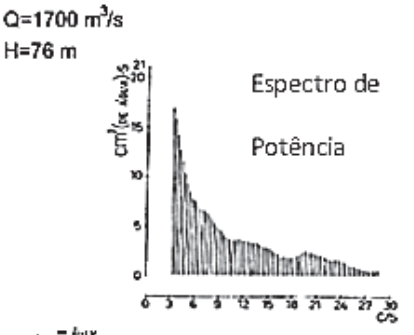
As grandes quedas de água parecem o reino do Caos absoluto. Para o estudo dos Descarregadores de Lâmina livre[13], como o da Barragem da Caniçada[14], estudei as flutuações de pressão e a dissipação da energia, por um colchão de água, no impacto no leito. O Logos, escondido no Caos, reapareceu quando a análise das medições, passou do domínio do tempo "t" para o da frequência "ω" por meio da transformada de FOURIER. É o **Espectro de Potencia**, já estudado, mas medido pela primeira vez na água.

Cataratas Iguaçu



Barragem da Caniçada





t ⟶ tempo

$$E_{ij}(\omega,t) = \frac{1}{8\pi^3}\iiint_{-\infty}^{+\infty} Q_{ij}(x,t)e^{-j\omega x}\partial\omega$$

ω ⟶ frequência

$$Q_{ij}(x,t) = \iiint_{-\infty}^{+\infty} E_{ij}(\omega,t)\, e^{j\omega x}\, d\tau(\omega)$$

Transformada de Fourier

$$S_{ik,l}(x,t) = \iiint_{-\infty}^{+\infty} F_{ik,l}(\omega,t)\, e^{j\omega x}\, d\tau(\omega)$$

Figura 13

[13] "Descarregadores de Lâmina Livre" Dissertação apresentada no meu concurso para Investigador do Quadro Pensamento do LNEC (1968).
[14] Lencastre, *Memórias Técnicas*, Vol III. LNEC (1994).

Tal como o Universo, a Terra, ou qualquer ser vivo, são sistemas dentro de sistemas que se auto--organizam: São HOLONS.

Também uma Bacia Hidrográfica se comporta com a mesma semelhança. Os movimentos aparentemente ao acaso, da fase líquida e da fase sólida, auto-organizam-se, em intima inter--dependência: plantando árvores nas cabeceiras, reduz-se o transporte sólido; lavrando as cabeceiras para o cultivo dos cereais, há erosão a jusante.

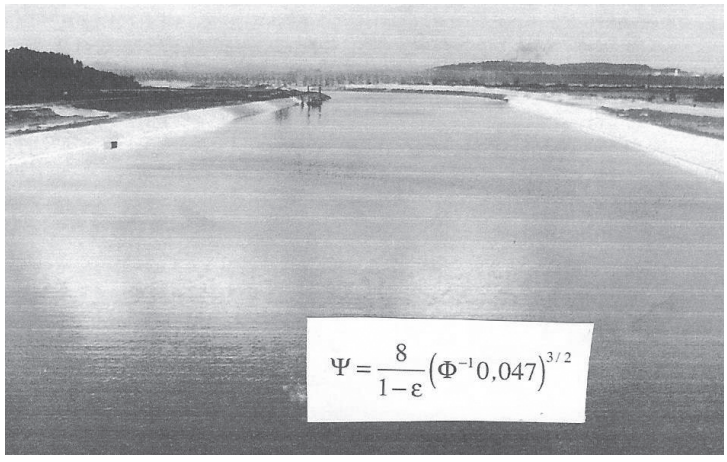


Figura 14

É o caso do Mondego que tive de estudar. Mesmo neste cerro de dois sistemas anárquicos, foi possível encontrar um logo, nas equações de MEYER-PETER e MÜLLER e a de EINSTEIN[15]

Na evolução, o acaso tem o **sentido da complexidade crescente** imposta por uma lei natural de **auto--ordenação**.

Esta ordem espontânea foi muito bem explicada por KAUFFMAN em "*O Universo, a nossa casa*", onde mostra que não somos simples produto do acaso, mas que são as leis naturais que preparam o nosso advento: ***o Homem é o fruto esperado*.**

Quarto Postulado:
"Prefiro ser filho de Deus do que filho do acaso".

Deus Pai, tão bem retratado no quadro "*O Regresso do Filho Pródigo*" de REMBRANDT.

"*Filhos de Deus*" é uma mais-valia intrínseca e inalienável da nossa dignidade. Dignidade própria e inalienável, tão importante para mim que, para lema da Academia de Engenharia, cuja fundação promovi, propus "*Pro Hotminis Diguitate Ingenium*"

Aos postulados é legítimo dizer "sim" ou "não", havendo que tirar as consequências lógicas dessa decisão. Os meus postulados conduzem a: **Liberdade, Igualdade**, **Fraternidade**, com DIGNIDADE.

Figura 15
O Regresso do Filho Pródigo – Rembrandt (1606-1669)
Hermitage, Leninegrado

[15] Lencastre, *Memórias Técnicas*, Vol III. LNEC (1994).

– Criação ou evolução

Darwin, em *Origem das Espécies através da Selecção Natural* (1859), constatou que é seleccionada a espécie que se adapta melhor às condições concretas do ambiente e que, sendo assim, é superior às outras espécies na "*luta pela vida*". A este processo chamou ***Selecção Natural***.

Mas também a observação mostra que a flecha da evolução passa pelos mais fracos. Na época dos dinossauros era um pequeno mamífero que transportava o futuro Homem.

No Bicentenário de Darwin é difícil não recordar a "guerra religiosa que provocou o seu livro" *A origem das espécies*.

"*No principio criou Deus o céu e a terra*; assim diz o relato mítico, simbólico e não científico, do primeiro capítulo da Bíblia. E no fim, o Criador *criou o Homem à sua imagem e semelhança*".

E, tendo criado o Homem, Deus descansou e entregou ao Homem a tarefa de construir o seu próprio futuro.

E, se Deus precisa de descansar também o **Homem deve descansar**, um dia por semana. Grande conquista social expressa nestes primeiros versículos da Bíblia.

Até na linguagem há evolução.

– *Sec. IV (a.C.): No princípio criou Deus o Céu e a Terra.* (Génesis – para nómadas do deserto)

– *Sec. I: No princípio existia o LOGOS, e o LOGOS estava em Deus, e por Ele tudo começou a existir.* (S. João) – Com influencias gnósticas.

– *Sec. IV:Creio em um só Deus: Pai, Filho (o LOGOS – gerado, não criado) e no Espírito Santo que procede do Pai e do Filho – Senhor que dá a Vida.* (Concilio de Niceia)

É a *Trindade Cristã* – Um só Deus transcendente. – É a *Tríade Cientifica*, uma só energia imanente.

– *Sec. XX:* ENERGIA + LOGOS ⟶ VIDA

Linguagens, em tempos diferentes para a mesma afirmação, que só traduz a existência de *um Ser transcendente que fundamenta e sustenta todas as coisas*.

Uns acreditam sem demonstrar, são fideístas; outros tambem sem demonstrar, preferem o eterno retorno, o acaso ou uma flutuação quântica são também fé fideísta porque não demonstram; outros não sabem, nem querem saber, talvez por algum comodismo ou talvez bloqueados pelo *paradoxo do Mal*.

Porem, não se pode ignorar a pergunta qual a origem da Energia? Quem fez as LEIS?

Pessoalmente, pela **Razão** e com **Intuição**, postulo e com a **Fé** acredito que transcendendo os campos físicos, existe um **Campo de Amor** que gera o LOGOS, dá a Vida e que fundamenta e sustenta tudo o que é logicamente possível.

As divergências, por vezes fortes entre *criacionistas* e *evolicionistas*, ainda hoje perduram.

Os **criacionistas**, ao quererem ver na Bíblia um livro científico, quando deviam admirar a cadência poética, com que o narrador, anterior à escrita do Génesis, transmite estes conceitos a povos nómadas; alguns **evolucionistas** focam-se mais no Acaso do que no LOGOS e esquecem-se que toda a linguagem é também evolucionista.

– A HUMANIDADE

HOMEM (se quiser) + AMOR (fraternidade) ⟶ HUMANIDADE

Nas Bodas de Ouro da Ordem dos Engenheiros (1988), há já 20 anos, fui convidado para fazer uma conferência sobre *O Exercício da Profissão de Engenheiro,* proferida na Cerimónia comemorativa.[16]

Concluí como segue:

> O Homem pelo Criador foi feito também criador. E conscientemente constituiu a primeira célula social, a família, e depois a tribo, a cidade, a nação, necessitando para isto, de meios tecnológicos.
>
> E será o Homem ajudado pela sua **tecnologia**, que constituirá uma nova entidade, ainda em gestação, a **Humanidade**, com consciência e moral próprias. Terá essa Humanidade que se libertar dos seus erros: a intolerância, a injustiça, a violência, a guerra, frutos do **ódio**, tão bem retratado por GOYA, no seu quadro um *fuzilamento*.

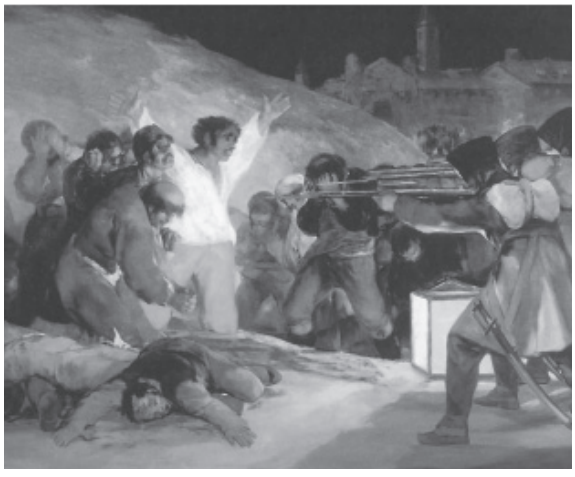


FIGURA 16
Um fuzilamento – Goya (Museu do Prado)

FIGURA 17
A Pietà de São Pedro – Miguel Ângelo (1497–1499)

> "Toda a intolerância e injustiça sofridas pelo Homem e o sofrimento dos que, amando, sofrem com quem sofre, foi esculpido na pedra, de forma intemporal, pela mão de MIGUEL ÂNGELO: a **pietà**, O **Amor**.
>
> "É pelo Amor, pela Fraternidade e não pelo ódio que a Humanidade, ainda na sua infância, atingirá a idade adulta de realização plena: verdade que, décadas atrás exigiria fé, mas que é por demais evidente nestes tempos de armas nucleares.

Assim terminei a minha palestra nas Bodas de Ouro da Ordem dos Engenheiros.

Aqui e agora, não só com tema, mas também em Instituição muito mais abrangente, permito-me fazer mais uma pequena reflexão, do domínio da **História**.

– *A Pietà de Miguel Ângelo* – Jesus de Nazaré, morto no regaço da Mãe.

[16] Publicada na Revista "Ingénium" e transcrita no meu livro "Meio Século ao Serviço da Engenharia" *Memórias Profissionais* editado pela Ordem dos Engenheiros e também neste livro.

– Nem na história da Humanidade, nem na literatura de Tragédia nada há que se compare à tragédia de piedade e horror da paixão de Jesus: a traição de Judas, a negação de Pedro; o lavar das mãos de Pilatos, a solidão, a submissão, a coroação de espinhos, a crucificação e agonia à vista da mãe e do discípulo amado. E, no final, este Jesus aniquilado, vencido, propagou-se no Império Romano. E, no fim, conquistou milhares de corações que por Ele morreram. [WILDE – "*De Profundis"]*

– Jesus de Nazaré, que sabendo que ia ser entregue para ser condenado à morte, não fugiu, antes se dirigiu voluntariamente para o local de entrega onde, em suprema agonia aguardou ser preso, (Agonia tão bem retratada no quadro de DE LA CROIX). Aqui se manifesta o respeito de Deus pela Liberdade do Homem. Liberdade dos algozes e também Liberdade do Mártir que não fugiu!... Quem iria seguir um fugitivo e por Ele morrer se fosse necessário?!...

Figura 18
Agonia no Jardim de Getsémani – Eugene Delacroix (1798--1863) (Rijksmuseum – Amesterdão)

Figura 19
Criança famélica vigiada pelo abutre – Kevin Cárter

Esta agonia prolonga-se em Todos os abandonados no corpo ou na alma: os sem abrigo, os injustiçados, os que vêem violados ao seus direitos de Homem.

"Direitos do Homem" que assentam em três pilares **liberdade, igualdade, Fraternidade.** Pilares que são o **sumário da Boa Nova de Jesus de Nazaré**.[17]

– Boa Nova que Santo Agostinho resumiu assim: "*AMA E FAZ O QUE QUERES*"

– Boa Nova que, anunciada há 2.000 anos, foi a semente que originou a "Declaração Universal dos Direitos do Homem", declarada mas ainda longe de ser praticada.

O pilar Fraternidade está muito fragilizado. Com a sua ruína, colapsa todo o edifício. Urge reforçá-lo, pelo menos até ao ponto em que se vença a FOME – *o Pão nosso de cada dia para todos*.

Tive fome e não me deste de comer!..., acusação muito grave no Supremo Tribunal da Consciência.

A fome mata 1 criança a cada 10 segundos. Quantas pessoas com fome de pão, com fome de AMOR?!...

Só com FRATERNIDADE, se poderá construir a HUMANIDADE.

Aqui e agora, que fazer a nível da Sociedade?

[17] Assunto desenvolvido no meu livro "Da Física e Metafísica à Boa Nova de Jesus de Nazaré", co-editado pela Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Sugiro:

– **Educação cívica, ética e deontológica intensa e generalizada**[18]

Acções estas, apoiadas numa **Legislação**, preparada, regulamentada e implementada com **bom senso**: a Lei *é feita para o Homem, não é o Homem feito para a Lei* (Jesus de Nazaré)

Recapitulando:

Nesta reflexão

– Enunciei o princípio holístico – os HOLONS

– Coloquei dúvidas: passagem da Energia para a Matéria (a *dualidade onda-particula); p*assagem da Matéria para a Vida (*O Impulso Vital); p*assagem do Instinto para a Moral (o *mistério do "Eu").*

– Postulei:

– Sou um **Sujeito moral**, *Sapiens-Demens*.

– Preciso de um **Valor Absoluto – Deus campo de Amor**.

– **Prefiro ser Filho de Deus do que filho do acaso**.

Liberdade, **Igualdade** e **Fraternidade com DIGNIDADE**.

Sugeri **Educação moral e cívica e deontológica, intensa e generalizada**.

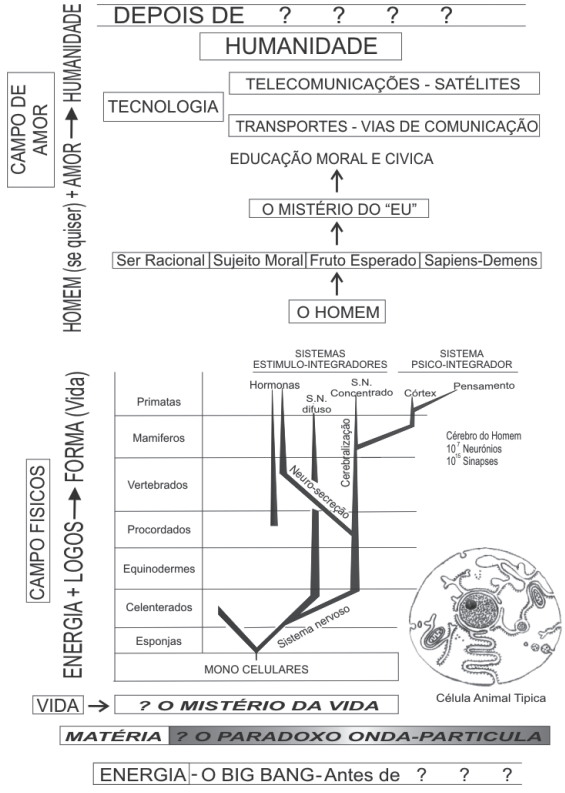


Figura 20

Poderia ainda ter invocado considerações sobre o "*Antes de?*" e o "Depois de?" perguntas mais do âmbito da Metafísica, que não se enquadrariam nesta exposição.

Tentei condensar, milhões de anos em trinta minutos, são reflexões que, simples na matéria, terão algum mérito na FORMA. Reflexões desenvolvidas no meu livro, "Da Física e Metafísica à Boa Nova de Jesus de Nazaré", cuja próxima segunda edição estou a preparar; livro também simples na Matéria, terá tido algum êxito na FORMA. Reflexões que desejo, de algum modo, sejam um incentivo ao tão necessário diálogo inter-disciplinar, um dos Objectivos da Nossa Academia, com as suas Classes de CIÊNCIAS E DE LETRAS.

Bem Hajam pelo vosso tempo e pela vossa atenção.

(Comunicação apresentada à Classe de Ciências na sessão de 5 de fevereiro de 2009)

[18] Obrigatória em todos os níveis de Ensino Publico e Privado; e também na televisão e na rádio, com intervenções curtas, (tipo publicidade), em tempos de antena alocados ou de preferência acordados nos contratos de concessão ou renovação.

Abertura das Comemorações do Bicentenário de Darwin na Academia das Ciências de Lisboa

E. R. de Arantes e Oliveira

Senhores Académicos,

Minhas Senhoras e meus Senhores,

Tenho a honra de saudar Vossas Excelências e de agradecer a vossa presença.

Ao pronunciar este pequeno discurso de abertura das comemorações do bicentenário de Charles Darwin na Academia das Ciências, começarei por observar que tais comemorações se revelaram importantes para a Academia, não só pelo interesse próprio do assunto, mas também por a sua promoção ter permitido demonstrar as virtualidades únicas da Instituição.

Para o tratamento do Tema, a que se deu o título "O Darwinismo 200 anos depois", foram de facto mobilizados sócios de todas as Secções da Classe de Ciências, e de duas (a de Filosofia e a de Economia) da Classe de Letras. Não houve da nossa parte nenhum propósito de bater recordes. A contribuição de tantas Secções para um objectivo comum surgiu naturalmente do aproveitamento das variadas capacidades dos nossos sócios e do interesse que estes revelaram por tal iniciativa. Mas raras vezes o saber concentrado na nossa Academia terá sido tão felizmente canalizado para uma determinada iniciativa.

E, se é certo que os nossos académicos exerceram, e alguns continuam a exercer, a sua actividade científica noutras instituições nacionais, nomeadamente em universidades, também o é que nenhuma destas poderia ter organizado um conjunto de conferências, a nível tão elevado, exclusivamente com membros seus. Exceptua-se o último Colóquio, sobre "Os Modelos Matemáticos da Evolução", que, embora coordenado por um académico da Secção de Matemática da Academia, será quase totalmente realizado por não-académicos. Por outras palavras, a Academia das Ciências revelou mais uma vez ser a instituição nacional que melhor poderia servir para lançar iniciativas deste tipo.

*

Tudo começou no ano passado quando, na qualidade de Presidente da Classe de Ciências, formei uma comissão com os membros da Classe especialmente interessados em colaborar nestas comemorações.

Depois de realizadas as reuniões consideradas suficientes, a comissão julgou adequado confiar-me o prosseguimento dos seus trabalhos, tendo-se os seus membros posto à minha disposição para, sempre que necessário, serem consultados a título individual. A estrutura organizativa das comemorações passou assim, de um órgão colegial, para um coordenador geral, que a Comissão dotou de um guião (suficientemente flexível para ser alterado se a necessidade o impusesse), e de um conjunto de consultores já familiarizados com o projecto. De entre estes, permito-me destacar o Director do Museu da Academia,

Prof. Telles Antunes, eminente naturalista a quem frequentemente recorri dado que a minha especialidade é, como nos primeiros tempos da Academia se dizia, a das "ciências do cálculo", e não a da "ciências da observação".

Antes de tomar essa deliberação, a Comissão fixara um tema geral, intitulado "O Darwinismo 200 anos depois", que tinha a grande vantagem de não pôr o acento tónico exclusivamente em Darwin, mas em todo o processo científico que Darwin desencadeou, sem esquecer todos os investigadores que o precederam, ou lhe sucederam, e os domínios científicos por estes influenciados. O termo "Evolução" foi evidentemente adoptado como palavra-chave e o tema geral foi decomposto em quatro colóquios, a saber:

I – "O papel de Darwin na Teoria da Evolução",
II – "Química e Biologia da Evolução",
III – "Evolução Biológica e Ciências Naturais",
IV – "Filosofia e Sociologia da Evolução",

aos quais propus juntar o quinto fora dos cânones habituais dos estudos sobre o Darwinismo, intitulado:

V – "Modelos Matemáticos da Evolução".

Este último colóquio terá de ser lançado no âmbito do Instituto de Altos Estudos da Academia, já que para a sua realização se recorrerá, como já disse, a especialistas externos. A respectiva organização foi naturalmente confiada à 1.ª Secção, a de Matemática.

Para evitar sobrecarregar excessivamente a actividade académica, seguiu-se o critério de realizar os colóquios nas quintas-feiras destinadas às sessões ordinárias da Classe de Ciências, como se se tratasse de sessões ordinárias em que, em vez de uma comunicação, ou quando muito duas, se realizarão três, ou mais.

Para cada colóquio foi nomeado um coordenador que apoiou a Classe na respectiva organização, e ao qual competirá garantir o cumprimento dos horários das apresentações e debates. Espera-se também destes coordenadores que desempenhem um papel importante na condução desses debates e que actuem como editores do livro que dos colóquios resultará.

A primeira comunicação deste primeiro colóquio será a do Professor Armando Lencastre, que timbrou em apresentar-se como um não-especialista, ou seja, como alguém que pretende lançar interrogações na esperança de obter respostas. Destas respostas, algumas poderão ser dadas já hoje, durante o debate a realizar no final do presente Colóquio, outras poderão ser fornecidas nos Colóquios que se seguirão.

A segunda comunicação será do Professor Carlos Almaça que, com a sua reconhecida competência, nos falará de "Darwin Revisitado".

Na terceira, a Professora Maria Salomé Pais, que acumula a autoria de uma comunicação com a coordenação do Colóquio, tratará do "Papel das Novas Tecnologias na Investigação Biológica".

*

Embora, ao escrever este meu singelo discurso, evitasse o mais possível sobrepor-me aos especialistas que tomaram sobre si a responsabilidade de apresentar comunicações, não resisti à tentação de alinhar eu próprio algumas ideias sobre a Evolução.

Veio-me ao espírito um livro de Schrödinger – o físico cujo nome está associado à equação que está na base da Mecânica Quântica –, intitulado "Vida, Espírito e Matéria".

Interrogou-se o autor sobre se seria de esperar uma evolução física da Humanidade, isto é, transformações relevantes do organismo humano susceptíveis de se tornarem gradualmente fixas por hereditariedade. Notando que, no caso do Homem, as mutações não passam em regra de pequenos saltos numa escada em que cada degrau corresponde, quando muito, a uma pequena vantagem, observou que podemos estar a aproximar-nos de um beco sem saída, sem que isso signifique necessariamente uma extinção da nossa espécie.

Ora, baseando-se as deduções de Darwin num número imenso de indivíduos dos quais apenas uma pequena fracção tem possibilidades de sobreviver ao cabo de sucessivas gerações, reconheça-se que, no homem civilizado, este mecanismo parece estar bloqueado, e em certos aspectos até invertido, já que é para nós penoso ver sofrer e morrer os nossos semelhantes. Por isso, têm-se introduzido aperfeiçoamentos legais e sociais tendentes a proteger a vida, suprimir o infanticídio, ajudar a sobreviver os doentes e os frágeis, impedir a eliminação natural dos menos aptos, e aumentar a duração da vida até aos limites do possível.

Se, num passado muito remoto, as guerras entre pequenas tribos parecem ter sido eficazes na selecção dos mais capazes, deixaram de sê-lo em tempos históricos, quando se transformaram em carnificinas completamente desprovidas de sentido. Também dos progressos da medicina e da cirurgia resultou um salvamento de vidas indiscriminado. E o progresso social, que compensa a dureza da vida em sociedade, dirige-se nitidamente para a protecção dos mais fracos. Nem a guerra, nem a medicina, nem o progresso social, parecem pois orientados para qualquer objectivo de selecção.

No entanto, ao contrário do que se passa nas plantas e nos escalões inferiores do reino animal, a inteligência do Homem permite-lhe determinar por escolha o seu comportamento: vantagem incalculável essa que pode contrabalançar a desvantagem de uma reprodução lenta e escassa, e ainda mais escassa pelo cuidado, biologicamente muito perigoso, posto em não deixar que a descendência exceda o número máximo acima do qual seria impossível assegurar a subsistência.

Mas a mesma inteligência que nos dá a faculdade de escolher faz-nos esperar que as coisas não aconteçam como se tivessem sido pré-determinadas. Por outras palavras, a marcha da História depende largamente das nossas acções. E, sendo assim, futuro biológico da espécie humana – que não é mais que a História numa larguíssima escala –, não deve ser olhado como um destino implacável, fixado *a priori* por leis da Natureza. Se é certo que, isoladamente, pouca influência poderemos ter na Sociedade, fica-nos a possibilidade de contribuir para persuadir um grande número dos nossos semelhantes a comungarem connosco na fixação de sistemas de valores e das normas que deles procedam.

E daí a vital importância do aperfeiçoamento das religiões e dos sistemas políticos.

(Comunicação apresentada à Classe de Ciências
na sessão de 5 de fevereiro de 2009)

Evo Devo – a proposta de Ron Amundson

Daniel Serrão†

Tenho muita honra em participar nesta comemoração darwiniana que se junta a tantas outras que, por todo o mundo, celebram o segundo centenário do nascimento deste grande naturalista inglês que, após muito estudo e reflexão, publica aos 50 anos de idade o seu famoso livro *A origem das espécies por meio da selecção natural ou a preservação das raças favorecidas na luta pela vida*.

Baseada em observações empíricas muito rigorosas, a teoria darwiniana da origem evolutiva das espécies, continua, ainda hoje, à procura de uma demonstração científica que cumpra os exigentes critérios da ciência experimental para a validação de uma qualquer teoria.

Desde logo o conceito de espécie que parecia solidamente fundamentado nos tempos de Darwin, porque era tributário de uma concepção fixista, foi progressivamente posto em causa.

Os critérios de Lineu que Darwin usou para definir uma espécie foram abandonados por Ernst Mayr, verdadeiramente um segundo Darwin, que cunhou um conceito biológico de espécie a qual, pode ser politípica no aspecto formal, exterior e aparente dos seres animais que a compõem, pois é constituída pelo grupo de populações naturais que se reproduzem entre si.

A questão passou a ser a da causa deste isolamento reprodutivo. Era uma causa ligada à morfologia, ao comportamento ou à restrição geográfica?

Ernst Mayr enfrenta esta questão no que passou a designar-se a teoria sintética da evolução que é, de facto, o novo darwinismo, definindo a espécie como uma comunidade reprodutiva, como um *pool* coerente de genes; os indivíduos que constituem, no seu conjunto, uma espécie reconhecem-se uns aos outros como potenciais parceiros sexuais e procuram-se para acasalarem e se reproduzirem, mantendo o seu *pool* genético.

A especiação passa a ter, com toda a evidência, um suporte genético. Daqui a convicção dos investigadores de que é no melhor conhecimento da expressão das informações pontuais do genoma, as quais chamamos genes, que estará a chave para o entendimento da especiação e, por acréscimo, da evolução formal e exterior dos seres vivos.

Desde o ser vivo unicelular primordial, a partir do qual se acredita que ocorreu, num tempo de milhares de milhões de anos, o desenvolvimento da «árvore da vida» coexiste na Terra um número incontável de seres vivos, de morfologia exterior muitíssimo variada, como a *Euglena mirabilis*, que se vê apenas ao microscópio, ou este Primata orgulhoso que é o Homem. O único que pode tentar descobrir e compreender os passos explicativos da sua própria origem e natureza.

A este trabalho mental tenho chamado *archeobiologia*, para significar que o pensamento lógico, aplicado à biologia, tem de ter sempre em conta a flecha do tempo. A evolução darwiniana é uma temporalidade, é uma sucessão de acontecimentos no tempo cósmico.

O genoma é, em cada ser vivo, o arquivo desta história temporal. Mas é um arquivo cifrado, de leitura muito difícil, mesmo depois de conhecido o código da cifra principal.

Falta, ainda, ligar os eleitos às causas, perceber o papel funcional de todos os produtos químicos que a informação genética organiza em estruturas e captar o sentido de todas as partes com as quais se constrói uma certa forma corporal – uma Euglena ou um Homem.

Agrupar a multidão das formas vivas que ocupam a terra, o mar e o ar no conceito de espécie é dizer, apenas, que essas formas vivas, seja a Euglena ou seja o Homem, são expressão material de um conjunto, um *set* de informações genómicas que tendem a perpetuar-se por auto-replicação, basicamente por duplicação do ADN e ARN, por um processo de clonagem – que é o mais simples, ou por conjugação sexual, nas espécies constituídas por seres vivos dimórficos.

Então, é no desenvolvimento embrionário que devem procurar-se os escondidos segredos da evolução por especiação.

Este regresso à Embriologia no estudo da evolução das formas vivas, tal como elas se apresentam no estado adulto, foi marcado pela criação de um Departamento de Biologia Evolucionista do Desenvolvimento, no ano 2000, na prestigiada Sociedade de Biologia Integrativa e Comparativa dos Estados Unidos.

A sigla adoptada para simplificar a comunicação deste novo conceito é Evo-Devo, Evolução e Desenvolvimento.

É para mim muito significativo que tenha sido um filósofo de formação, professor numa Universidade americana, a traçar as raízes históricas da nova concepção Evo-Devo, evolução e desenvolvimento.

Ron Amundson ao publicar em 2005 o livro que intitulou *A Mudança do Papel do Embrião no Pensamento Evolucionista* (*The Changing Role of the Embryo in Evolutionary Thought*), escreveu um trabalho fundamental para a compreensão deste novo olhar sobre o evolucionismo darwiniana que é a concepção Evo-Devo.

Qual é o cerne do seu pensamento?

Respondo de uma forma sintética: é a elaboração de uma síntese entre o campo da biologia evolucionista e o da biologia do desenvolvimento.

Ou seja, é um esforço para reunir os dados científicos da filogénese, da especiação, com os da ontogénese, da formação de cada indivíduo.

A tese Evo-Devo é surpreendentemente simples, é quase uma noção *prima face* que nem precisaria de ser demonstrada antes de ser usada e de provar a sua clara e autêntica fecundidade.

Na versão simples é assim: nenhuma espécie poderá evoluir se não modificar o seu modo de se desenvolver a partir do embrião unicelular, fase pela qual todas começam.

Sabe-se, hoje, que os genes reguladores do desenvolvimento embrionário são comuns a muitas espécies e esta descoberta veio dar algum suporte científico a uma nova concepção, dos finais do século XIX, enunciada por Haeckel em 1866 – a ontogenia recapitula a filogenia – que o século XX rejeitou como não sendo científica, lembra Amundson. Tentar ver na forma actual de um embrião animal em desenvolvimento a forma que teria apresentado um antepassado biológico muito menos evoluído revelou-se uma tarefa impossível com os limitados meios de observação disponíveis na época.

A doutrina dc Haeckel e seus seguidores foi abandonada por não ter sido obtida uma argumentação científica convincente.

Mas ela estava contida na metáfora darwiniana da «árvore da vida», porque na árvore os ramos emergem de um tronco comum e a ele ficam ligados.

Actualmente, a Evo-Devo, ao propor que a evolução não corresponde a modificações nos organismos, nem mesmo nas populações de organismos, mas a modificações da ontogénese, está a ser considerada como a «segunda síntese» sucedendo à de Ernst Mayr que introduziu os conhecimentos científicos da genética moderna na concepção darwiniana que era baseada, quase exclusivamente, na tipologia somática.

Amundson analisa com cuidado a disputa entre os paladinos da «síntese moderna» e os da «segunda síntese», entre geneticistas populacionais e geneticistas do desenvolvimento embrionário.

Para os primeiros, a partilha de genes entre uma e outra das comunidades de indivíduos era um absurdo, porque contrariava o princípio da esterilidade interespecífica que é o suporte do conceito genético de especiação. Para Mayr, cada comunidade de indivíduos encontra no seu *pool* genético a solução para as dificuldades de sobrevivência; mas fica sem solução para explicar como é que as alterações somáticas de uns tantos indivíduos de uma comunidade, ou seja, de uma espécie, são transmitidas à descendência. A hereditariedade dos caracteres adquiridos, as mutações ocasionais favoráveis, ou mesmo a especiação espontânea, não conseguiram resolver esta dificuldade de uma forma convincente.

Os defensores do conceito Evo-Devo usam a noção de «unidade de tipo» que seria a unidade das espécies baseada sobre modalidades idênticas de desenvolvimento embrionário.

Na perspectiva filosófica, há aqui um confronto entre dois conceitos de grande amplitude racional que são o conceito de unidade e o conceito de diversidade, que não são conceitos simples.

Raciocinando sobre os progressos da biologia molecular, especialmente a descoberta das sequências moleculares, Amundson argumenta que há um suporte biológico para a «unidade de tipo».

Com efeito, a descoberta de genes partilhados entre mamíferos e insectos, como o gene PAX6, que regula a criação de órgãos de visão em todas as espécies que os possuem, foi o ponto de partida para a identificação de outros genes reguladores, merecendo referência a existência de um gene que especifica o lugar para o desenvolvimento dos membros de todos os animais, sejam as asas dos pássaros ou os braços dos humanos.

A partilha de genes fundamentais para o desenvolvimento corporal, entre espécies muito afastadas entre si, é um dado científico adquirido. Em 2007, refere Amundson, investigadores alemães provaram que o gene FOXP2 influenciava tanto a aquisição de linguagem no Homem, como a aprendizagem do canto de cada uma das espécies de pássaros.

Também os genes presentes nos unicelulares, como os cianoflagelados, para a produção de proteínas de adesão celular, como a caderina e a tirosinocínase, são os mesmos que regulam a adesão e a comunicação entre as células dos metazoários como se nestes multicelulares cada célula vivesse como um ser unicelular, associado a outros unicelulares.

No seu livro, Amundson desenvolveu, em profundidade, os marcos essenciais da evolução histórica dos conceitos sobre os seres vivos.

Acentua que o essencialismo não aponta necessariamente para uma transcendência, nem apela a um qualquer agente sobrenatural.

O essencialismo é uma doutrina acerca das coisas naturais, assumindo que todas possuem essências.

Na leitura tradicional, as essências eram definidoras das condições intrínsecas, necessárias e suficientes para determinar, logicamente, que a coisa natural era o que era e como era; e porque os caracteres essenciais eram intemporais, as coisas eram eternas e imutáveis.

E mesmo se algumas coisas, como as entidades biológicas, careciam de descobertas científicas para a sua caracterização essencial, o essencialismo não é uma doutrina científica, mas é, sim, uma doutrina

a prior, metafísica. Não é uma verdade empírica, mas sim conceptual: a de que existem coisas naturais que são fixas, eternas e imutáveis.

A partir de 1970, este conceito foi contestado pelos filósofos da modernidade e da epistemologia crítica.

Adeptos de um novo realismo científico, eles concebem um outro essencialismo: as coisas naturais são vistas como categorias que desempenham um papel no quadro da lei natural e, quer a determinação das coisas por si próprias, quer a determinação dos factos causais que as fazem ser como são (as suas essências), são vistas como resultados empíricos, *a posteriori*.

Na perspectiva essencialista/realista, uma coisa é inicialmente definida de uma forma programática que orienta a investigação científica. Obtido, sobre ela, todo o conhecimento científico, a coisa pode ter uma definição explicativa que especifica a essência como o conjunto das propriedades causais, em virtude das quais, a coisa pode desempenhar o seu papel programático, na teoria científica.

Passando desta análise conceptual filosófica para a situação concreta dos seres vivos na teoria da evolução, uma perspectiva essencialista/realista terá de verificar se a análise científica e os seus resultados ao longo destes 200 anos permitem encontrar neles as propriedades causais, em virtude das quais eles suportam todo o programa da teoria da evolução.

Ora, o que Amundson observa é que as análises estruturalistas baseadas nas formas dos seres vivos e as análises funcionalistas do mesmo objecto vivo são conflituantes; e nestes 200 anos, a luta entre estrutura e função não se refere apenas aos factos observáveis no mundo biológico, mas, também, sobre quais os fenómenos que carecem de ser explicados.

Frequentemente os que estão num lado acusam os do outro lado de que «eles não dão explicações mas apenas descrições».

E Amundson pretende colocar-se fora desta polémica, que considera estéril, analisando a matéria de facto e ignorando os desacordos sobre o que é que necessita de ser explicado.

Esta postura relativista, no que se refere às explicações, não significa um relativismo quanto à verdade, nem quanto à adequação teórica das duas posições. O neo-darwinismo de Ernst Mayr é mais explicativo nuns domínios e o Evo-Devo noutros. O importante é reconhecer quais são os objectivos explicativos que se pretendem atingir. Ou seja, o que é que, afinal, queremos demonstrar quanto aos seres vivos que habitam o planeta Terra há alguns milhares de milhões de anos.

No seu livro, Ron Amundson apresenta os resultados de uma rigorosa investigação histórica sobre o que Darwin escreveu e sobre o que têm escrito os defensores da Síntese Evolutiva ou neo-darwinismo e conclui que estes retiraram ao darwinismo o componente estrutural, arguindo que o desenvolvimento é conceptualmente irrelevante.

A sua proposta, pelo contrário, tem na devida conta o crescimento impetuoso da genética molecular, a partir dos anos noventa, e propõe uma nova biologia do desenvolvimento como suporte de um super novo darwinismo.

Citando Rudy Raff, afirma que a comparação entre os biologistas da genética populacional e os da genética molecular é que «os primeiros estão interessados nas espécies e os segundos estão interessados nos corpos».

As duas concepções em contraste podiam ser assim sintetizadas:

Adaptacionistas – Os indivíduos não evoluem. As populações, sim. As populações evoluem por selecção natural.

Estruturalistas – Os indivíduos não evoluem. As ontogenias, sim. As ontogenias evoluem por modificação da ontogénese.

Muito está ainda por desvendar no controlo genético da ontogénese.

A já bem fundamentada distinção entre genes estruturais e genes reguladores – com resultados experimentais espectaculares como o de fazer aparecer olhos supranumerários nas antenas da mosca Drosophila, incluindo no embrião o gene que regula a formação do olho no Rato e no Homem – permite que se deva afirmar que não se pode identificar um gene por efeitos fenotípicos únicos; pelo contrário, eles são identificados pelas suas sequências moleculares e pelas suas performances na ontogenia. Reconhecemos que o desenvolvimento é um produto não apenas dos genes isolados, nem das interacções entre genes estruturais e genes reguladores, mas também resulta das interacções físicas das partes corporais no interior do embrião (os processos indutivos de Spaemann) e, até, de interacções do organismo em desenvolvimento com o meio externo. Para não referir a teoria simbiótica de Lynn Margulis.

É certo, argumento eu, que o conceito de «unidade de tipo» que estava presente no espírito dos grandes taxonomistas com as categorias classificativas anteriores à espécie – os reinos, as famílias, as classes – não resolve o paradoxo do desenvolvimento embrionário por diferenciação sucessiva a partir de cada zigoto.

Morgan reconheceu esta dificuldade no seu discurso de agradecimento do Prémio Nobel.

Outro Prémio Nobel, Gerald Edelman, não obstante a fecundidade do seu conceito de Topobiologia que valoriza o papel dos factores epigenéticos no desenvolvimento do embrião, reconhece que não tem uma explicação bastante da Ontogénese tridimensional.

É minha convicção que, quando for bem conhecido o processo biológico que permite a diferenciação celular em tipos muito diversos, conservando todas as células os mesmos genes, estará aberto o caminho para o entendimento da evolução morfológica, no tempo, e da sucessiva arrumação em espécies intrafecundas.

A «invenção» genética do esqueleto, que se expressa de forma muito diversa em espécies muito afastadas pela morfologia externa, e a possibilidade de jogar com as sequências moleculares do genoma de uma célula adulta e transformá-la em célula estaminal, igual a uma célula de um embrião de duas células, capaz de exibir todo o complexo e paradoxal processo de diferenciação em tecidos e órgãos tão diversos como um neurónio ou uma banal célula adiposa, ou até num ser completo e viável da mesma espécie, são duas linhas de investigação que poderão dar suporte à exigência filosófica de apresentar factos que, na perspectiva do essencialismo realista, comprovem, *a posteriori*, a verdade da teoria da evolução pela via do desenvolvimento ontogénico, que dá origem às diversas formas corporais, prestando, assim, uma homenagem ao primeiro Darwin, ao Darwin naturalista de há duzentos anos.

BIBLIOGRAFIA

Gerald Edelman – *Topobiotogy. An introduction to molecular Embryology*. Basic Books, Nova Iorque, 1988.

Ron Amundson – *Le retour de iembryologie: Les Dossiers de la Recherche* N.º 33, Nov. 2008, pp. 78-83.

Ron Amundson – *The changing role of the embryo in evolutionary thought. Roots of EVO-DEVO*. Cambridge Studies of Philosophy and Biology, Cambridge, 2005.

(Comunicação apresentada à Classe de Ciências
na sessão de 19 de fevereiro de 2009)

Darwin e a evolução das angiospérmicas[1]

João Pais†
Academia das Ciências de Lisboa. CICEGe, Departamento de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Campus de Caparica, 2829-516 Caparica.

Resumo

Expõem-se as preocupações de Darwin relativamente ao aparecimento das angiospérmicas, naquilo que designou como *abominable mystery*. Fala-se de cartas trocadas entre Darwin, Hooker, Ball e Saporta, que consideraram que o registo das angiospérmicas iniciais estava incompleto e previram que devia ter havido um periodo de diversificação anterior a meados do Cretácico num local remoto e desconhecido. Lembra-se que em 1860 e 1870, se admitia que a Terra teria apenas dezenas ou centenas de milhões de anos e o desenvolvimento das angiospérmicas parecia rápido demais. Todavia, levando em conta que só o Cretácico inferior durou cerca de 55 milhões, não sabemos se Darwin consideraria a evolução e diversificação das angiospémicas a partir dos meados do Cretácico como particularmente perturbadora para o gradualismo filético que defendia.

Faz-se, depois, análise sumária da informação atual relativamente ao aparecimento e desenvolvimento das angiospérmicas ao longo do Cretácico inferior e sua evolução ulterior.

Abstract

Darwin's concerns regarding the appearance of angiosperms, in what he designated an abominable mystery are exposed. Letters between Darwin, Hooker, Ball and Saporta are presented, considering that the recording of early angiosperms was incomplete and predicted that there must have been a previous period of diversification during the mid-Cretaceous in a remote and unknown region. In 1860 and 1870, it was assumed that the Earth would had only tens or hundreds of millions of years and the development of angiosperms was too fast. However, taking into account that only the Lower Cretaceous lasted about 55 million years, we do not know if Darwin consider the evolution and diversification of angiosperms from the mid-Cretaceous as particularly disturbing to phyletic gradualism which he advocated.

A summary analysis of the current information regarding the onset and development of angiosperms along the Early Cretaceous and its further development is presented.

FLORA DO MESOZOICO

No Triásico (há cerca de 245 milhões de anos) a vida retomou o seu percurso após as significativas extinções do final do Paleozoico. As plantas foram povoando as imensas áreas continentais

[1] Comunicação apresentada em 5 de Março de 2009 em sessão dedicada às comemorações do bicentenário de Darwin – Darwin duzentos anos depois

semidesérticas do continente de Gonduana em fragmentação, a partir das proximidades de áreas lacustres e ou pantanosas. No Jurássico (entre cerca de 200 e 145 milhões de anos), as coníferas dominaram a vegetação arbórea. Algumas extinguiram-se no final do Mesozoico (Cheirolepidiáceas – *Frenelopsis* spp, por exemplo) e estavam bem adaptadas a viverem sob stresse de humidade; tinham características xeromórficas bem marcadas, com folhas reduzidas, cutículas espessas e estomas profundos e reforçados. As plantas de porte mais reduzido estavam representadas por pré-espermatófitas como Cycadales, com plantas afins das cicas atuais e outras, com morfologia semelhante, mas que produziram as primeiras inflorescências, as Bennettitales. Os fetos abundavam.

No Cretácico inferior deu-se a última das grandes etapas da evolução das plantas – o desenvolvimento das angiospérmicas (plantas com flor). Num relativamente curto intervalo de tempo as angiospérmicas substituíram a maior parte dos elementos da flora contemporânea, ocupando parte significativa dos ecossistemas terrestres. No Cretácico superior tornaram-se no grupo dominante da vegetação, papel que ocupam na flora actual. As extinções relacionadas com o aparecimento e desenvolvimento das angiospérmicas afetou, sobretudo, os grupos de plantas com elas filogeneticamente relacionados, tais como as Cycadales, Caytoniales, Bennettitales e Gnetales.

Atualmente, as angiospérmicas representam mais de 400 000 espécies. Esta enorme diversidade traduz o resultado do enorme sucesso adaptativo, resultantes das inovações evolutivas do grupo.

Há cerca de 140 milhões de anos (Cretácico inferior) desenvolviam-se plantas afins das Gnetales atuais (*Welwithschia* e *Gnetum*), algumas extintas, como as Erdtmanithecales. Umas e outras tidas como relacionadas com as primeiras angiospérmicas, as plantas com flor que hoje dominam todos os ambientes terrestres.

A partir do Cretácico inferior (≈135 Ma) os espermatófitos que produzem sementes encerradas num fruto (angiospérmicas) apareceram discretamente. Os progressos conseguidos por estas plantas foram espetaculares.

DARWIN E O APARECIMENTO DAS ANGIOSPÉRMICAS

O aparecimento aparentemente súbito destas plantas no Cretácico inferior sempre intrigou os cientistas, nomeadamente Charles Darwin que o considerou como *the abominable mystery*. Em 22 de Julho de 1879 Joseph Hooker recebeu carta de Darwin onde este manifestava que "*the rapid development as far as we can judge of all the higher plants within recent geological times is an abominable mystery …Saporta believes that there was an astonishingly rapid development of the high plants, as flower- frequenting insects were developed and favoured intercrossing. I shd like to see this whole problem solved. I have fancied that perhaps there was during long ages a small isolated continent in the S. hemisphere which served as birthplace of the higher plants – but this is a wretchedly poor conjecture*."[2]

A 8 de Março de 1875, Darwin escreveu a O. Heer dizendo: "*plants of this great division must have been largely developed in some isolated area, whence owing to geographical changes, they at last succeed in escaping, and spread quickly over the world…"* (Friedman, 2009).

A 6 de Agosto de 1881, Darwin voltou a escrever a Hooker dizendo *"Nothing is more extraordinary in the history of the Vegetable Kingdom, as it seems to me, than the apparently very sudden or abrupt development*

[2] De carta de Darwin a Joseph D. Hooker, Director dos Jardins Reais de Kew, 22 Julho, 1879 (Cambridge University Library DAR 95: 485–488).

of the higher plants. I have sometimes speculated whether there did not exist somewhere during long ages an extremely isolated continent, perhaps near the South Pole." (Friedman, 2009).

Darwin utilizou o termo *"apparently"* reconhecendo que o registo fóssil era muito incompleto e manifestando o seu cepticismo relativamente a que a radiação evolutiva com a importância da verificada com o aparecimento e desenvolvimento das angiospérmicas nos meados do Cretácico pudesse ter sido tão abrupta. De facto, as plantas com flor não eram conhecidas, então, no registo fóssil até meados do Cretácico.

Um dos estímulos para estas ideias foi o trabalho de John Ball, botânico irlandês, "On the origin of the flora of the European Alps", apresentado na Royal Geographical Society a 9 junho de 1879. Dizia Ball:

> *"The appearance of the higher type of exogenous [dicotyledonous] plants is not disclosed by direct evidence until about the middle of the Cretaceous period. Then all at once, in deposits widely spread over the northern hemisphere, we encounter a crowd of species, belonging to very different types, but for the most part so nearly resembling living plants, that palæontologists do not hesitate to refer many of them to existing genera… But if, at the commencement of the earliest chapter of the history accessible to us, the evolution of the flowering plants, and especially of the exogens, had already proceeded so far, where, I would ask, must we look for the earlier forms, the ancestral types from which our present groups have sprung? And where again for the much more remote forms which served to bridge over the interval, so perplexing to the botanist, between the endogens [monocots] and the exogens?*

Ball expunha um dilema semelhante ao de Darwin*: "there is no alternative between abandoning the doctrine of evolution and admitting that the origin of the existing types of flowering plants is enormously more remote than the period as to which we have direct evidence. The difficulty to be got over is the utter absence of such evidence."*

Ball (1879) pensava que as angiospérmicas teriam evoluído inicialmente nos Alpes: *"a long pre-Cretaceous history of angiosperms was entirely absent from the fossil record until flowering plants later descended to lower elevations (where fossilization would be common)"*. Apoiava-se nos níveis de CO_2, excessivamente altos no Carbonífero (20 vezes mais elevados do que na atualidade) e o seu declínio ulterior (acumulação dos depósitos de carvão). Especulava, ainda, que os níveis de CO_2 desciam com a altitude. Conjeturava que as plantas com flor eram incapazes de suportar níveis elevados de CO_2 ao contrário de outros grupos de plantas. Concluía que um largo intervalo de tempo da evolução das angiospérmicas teria decorrido nas áreas alpinas até os níveis de CO_2 descerem significativamente.

Ball (1879) tinha argumentação semelhante à apresentada nas cartas de Darwin:

- o aparecimento súbito das angiospérmicas era ilusório;
- havia um longo intervalo de evolução antes do aparecimento das formas conhecidas nos meados do Cretácico;
- não havia registo fóssil anterior ao Cretácico correspondente a diversificação progressiva das angiospérmicas.

A diferença entre Darwin e Ball é este último assumir uma longa história das angiospérmicas que nunca teria ficado registada nos fósseis e Darwin admitia que houvesse registo geológico numa ilha ou continente remotos que teriam desaparecido.

G. de Saporta, eminente paleobotânico francês, que estudou fósseis do Mesozoico português, também estava surpreendido quanto à rápida diversificação das angiospérmicas considerando-o "*un phénomène des plus curieux"*. Na *Paléontologie Française, Plantes Jurassiques*, Saporta (1873) argumentava que havia

interdependência entre animais e plantas e descreveu mecanismo de coevolução. Considerava que a ausência de angiospérmicas no Jurássico tornara impossível a evolução de numerosos animais fitófagos. Saporta foi, assim, o primeiro a sugerir a contribuição dos insectos para a emergência e diversificação das angiospérmicas.

Saporta escreveu a Darwin em 16 de Dezembro de 1877[3] sobre coevolução (Frieman, 2009):

> *"The role that you attribute to insects in fertilization, coupled with the need for crossing, explains everything: the earlier poverty of the plant kingdom, reduced for so long in the absence of certain categories of insects, to anemophilous plants alone, whose number and diversity were never able to exceed a certain limit, and in which nutritive and succulent substances were never very abundant nor well diversified.*
>
> *Insects and plants have therefore been simultaneously cause and effect through their connection with each other, plants not being able to diversify without insects and the latter not being able to provide many pollen and nectar feeders so long as the plant kingdom remained poor in arrangements and was composed almost exclusively of anemophilous plants."*

Em 24 de Dezembro de 1877 Darwin respondeu a Saporta dizendo (Conry, 1972): *"your idea that dicotyledonous plants were not developed in force until sucking insects had been evolved seems to me a splendid one. I am surprised that the idea never occurred to me."*

Esta parece ter sido a única explicação aceite por Darwin quanto à "súbita" expansão das plantas com flor.

Hooker acreditava que as Gnetales (*Welwitschia*, em particular) podiam ser vistas como intermediárias entre gimnospérmicas e angiospérmicas. Mas, Darwin não estava tão interessado em procurar ancestrais das angiospérmicas mas sim explicar o seu desenvolvimento tão rápido.

De facto, a origem das angiospérmicas a partir de outras plantas com semente ainda permanece algo problemática; homologias, transformações de caracteres, reconhecimento dos ancestrais e das formas mais próximas não eram os problemas centrais de Darwin; centrava-se na história evolutiva dentro do grupo.

A concluir as edições da *Origin of Species*, Darwin escreveu: "*As natural selection acts solely by accumulating slight, successive, favourable variations, it can produce no great or sudden modification; it can act only by very short and slow steps. Hence, the canon of Natura non facit saltum, which every fresh addition to our knowledge tends to make more strictly correct...*" (Darwin, 1859, 1.ª edição; semelhante em 1872, 6.ª edição).

O aparecimento, aparentemente brusco, das angiospérmicas no registo fóssil constituiu para Darwin a evidência mais contraditória para a perspectiva gradualista da macroevolução. Mas, as angiospérmicas não foram o 1.º grupo a confrontar Darwin com a ausência de dados paleontológicos de diversificação gradual anterior a uma radiação morfológica e biogeográfica aparentemente abrupta.

> *"We continually over-rate the perfection of the geological record, and falsely infer, because certain genera or families have not been found beneath a certain stage, that they did not exist before that stage. We continually forget how large the world is, compared with the area over which our geological formations have been carefully examined; we forget that groups of species may elsewhere have long existed and have slowly multiplied before they invaded the ancient archipelagoes of Europe and of the United States."*(Darwin, 1859, 1872).

[3] Cambridge University Library, DAR 177: 34

Darwin chegou ao *abominable mystery* por as angiospérmicas constituirem o maior desafio aos seus pontos de vista sobre as etapas da inovação e o reconhecimento de que o registo fóssil é muito incompleto. *Abominable mystery* – como explicar os intervalos de diversificação, aparentemente abruptos, associados à origem das angiospérmicas? Darwin não aceitava que o ritmo das inovações evolutivas pudessem ser tão rápidas.

Só nos últimos anos tem vindo a ser decifrado o *abominable mystery*. Não se resume às angiospérmicas. É antes sobre a constatação de que a evolução pudesse ser rápida e potencialmente por saltação. Representava, para Darwin, a preocupação de que o aparecimento brusco e bem diferenciado de um grupo de organismos pudesse dar suporte às teorias criacionistas (Friedman, 2009). Revela reflexões sobre as limitações que Darwin, e outros evolucionistas, enfrentavam quando tentavam ler o registo fóssil incompleto.

Actualmente sabe-se que as fases iniciais de diversificação das angiospérmicas representam um intervalo relativamente longo, bem organizado, anterior a meados do Cretácico.

O registo do Cretácico inferior, com floras dominadas por espécies com flores pequenas e sem pétalas, era desconhecido de Darwin. O aparecimento das angiospérmicas é muito menos abrupto do que era assumido por Heer, Ball e Saporta nos anos de 1870 e 1880.

É notável que Darwin e Ball tenham concluído, correctamente, que o registo das angiospérmicas iniciais estava incompleto. Previram que devia ter havido um periodo de diversificação anterior aos meados do Cretácico.

Em 1860 e 1870, admitia-se que a Terra teria dezenas ou centenas de milhões de anos. Todavia, levando em conta que só o Cretácico inferior durou cerca de 55 milhões de anos, não sabemos se Darwin consideraria a evolução e diversificação das angiospémicas a partir dos meados do Cretácico como particularmente perturbadora para o gradualismo, e que motivou a correspondência com Hooker, Ball, Heer e Saporta (Friedman, 2009).

EVOLUÇÃO DAS ANGIOSPÉRMICAS

A diversidade específica das angiospérmicas combina com a estrutural. Vão desde pequenas plantas aquáticas a imponentes árvores de floresta. As flores vão desde muito pequenas (*Hedyosmum*) a gigantes (*Rafflesia, Amorphophallus*) e as sementes são minúsculas nas orquídeas ou gigantes nos coqueiros. Dominam a vegetação da maioria dos ecossistemas terrestres.

A maioria das plantas terrestres actuais tem história fóssil pelo menos desde o Triásico; as primeiras evidências de angiospérmicas incontestáveis datam do Cretácico inferior.

As angiospérmicas são muito diversificadas (cerca de 420 000 espécies actuais); há mais formas de angiospérmicas do que da totalidade das restantes plantas terrestres.

Os dados moleculares indicam relações filogenéticas entre as plantas com semente (Friis *et al.,* 2006). As angiospérmicas e as Gnetales, em conjunto com as extintas Bennettitales e Pentoxylales, são colocadas no grupo Antófita, baseado na agregação dos óvulos e dos orgãos produtores de pólen numa estrutura floral.

As estruturas semelhantes a flores ocorrem em grupos de não-angiospérmicas: Bennettitales, Gnetales (*Welwitschia, Gnetum*), e já tinham evoluído entre as Bennettitales no Jurássico médio (175 Ma).

Aspetos chave da biologia reprodutora associados com as flores das angiospérmicas, como polinização entomófila e modificação de orgãos para protecção e atração, apareceram antes, e talvez independentemente, noutros grupos.

Análises filogenéticas (sequências moleculares) levam a considerar *Amborella* como irmã de todas as angiospérmicas, com as Nymphaeaceae *s. l.* e as Austrobaileyales como os dois ramos seguintes (Friis *et al.*, 2006). Estas linhagens basais constituem o clado ANITA – *Amborella*, Nymphaeales, Illiciaceae, Trimeniaceae e Austrobaileyales. Terão divergido num estado inicial da linha principal de evolução das angiospérmicas antes da divergência dos 3 maiores grupos de angiospérmicas: magnolídeas *s.s.*, monocotiledóneas e eudicotiledóneas.

As monocotiledóneas são cerca de 22 % das angiospérmicas actuais. As eudicotiledóneas constituem cerca de 75%.

O estabelecimento da primeira aparição de angiospérmicas requer um quadro estratigráfico de elevada resolução e caracteres pelos quais os vários orgãos das angiospérmicas possam ser reconhecidos.

A flor das angiospérmicas é característica, com carpelos e estames muitas vezes rodeados pelo perianto. Os carpelos apenas ocorrem nas angiospérmicas. Os estames também são únicos e bastante uniformes.

Os pólenes das eudicotiledóneas têm 3 ou mais aberturas (tricolpados, triporados, tricolporados). Há formas com poros no equador ou distribuídos pelo grão (único nas plantas com semente); a maioria das não-eudicotiledóneas têm pólenes com apenas uma abertura. Entre as não-angiospérmicas com sementes há pólenes monoaperturados em *Ginkgo* e *Cycas*; têm parede lisa o que dificulta o reconhecimento de pólenes monoaperturados de angiospérmicas em microscopia óptica. Pólenes com 3 sulcos (um principal), arranjo semelhante ao das angiospérmicas com trisulcadas, são os de *Eucomiidites*, inicialmente atribuídos a angiospérmicas. Pólenes tipo *Eucomiidites*, encontrados *in situ* nos micrópilos das sementes de *Erdtmanispermum* do Cretácico inferior de Juncal (Portugal) e de Bornholm (Dinamarca) são semelhantes aos de angiospérmicas. Contudo, as aberturas em *Eucomiidites* não são simétricas nem estão colocadas perpendicularmente ao equador como nos tricolpados das angiospérmicas. A endexina é espessa, laminar e distribuída por todo o grão, como é típico das não-angiospérmicas com sementes (Mendes *et al.*, 2008, 2010).

Não são conhecidas angiospérmicas do início do Cretácico ou mais antigas. *Archaefructus lioaoningensis* e *Sinocarpus* do NE da China (Formação de Yixian) foram descritas como angiospérmicas jurássicas. Datações radiométricas recentes sugerem o limite Barremiano-Aptiano (Cretácico inferior) (Friis *et al.*, 2006).

As primeiras folhas de angiospérmicas datam do limite Barremiano-Aptiano (cerca de 125 Ma), do E dos EUA e da China. As mais antigas flores de angiospérmicas, carpelos, estames e sementes dispersas são da mesma idade e provêm de Portugal e dos EUA. Algumas floras (Torres Vedras) são pré-albianas (Barremiano tardio a Aptiano inicial) enquanto as de Juncal, Vale de Água, Catefica e Buarcos podem ser um pouco mais recentes (Friis *et al.*, 2006; Rey *et al.*, 2006; Mendes *et al.*, 2010).

Pólenes tricolpados do Barremiano superior-Aptiano mostram que as eudicotiledóneas se estabeleceram cedo em áreas geográficas alargadas.

As angiospérmicas estão documentadas desde a transição Barremiano-Aptiano. Antes disso, as evidências são pólenes monoaperturados do Hauteriviano que lembram os de angiospérmicas por pormenores da estrutura da parede. Não há outros fósseis, para além de pólenes, atribuíveis a angiospérmicas de rochas antebarremianas.

A 1.ª diferenciação maior das angiospérmicas ocorreu num intervalo de tempo relativamente curto (menos de 50 Ma), ao longo do Cretácico inferior.

Os dados paleobotânicos indicam que o clado ANITA, as Chloranthaceae, as magnolídeas *s. s*., eudicotiledóneas e monocotiledóneas iniciais, estavam representadas no Barremiano superior-Aptiano (125 Ma). Neste intervalo, as angiospérmicas não dominavam a vegetação cretácica mas a diversificação filogenética estava em curso. Muitas das linhagens de angiospérmicas do Barremiano-Aptiano estão extintas (Friis *et al*., 2006).

A diferenciação maior das 3 linhas das angiospérmicas (magnolídeas *s.s*., monocotiledóneas e eudicotiledóneas) deu-se no Cretácico superior.

A produção de óvulos por flor era reduzida na maioria das angiospérmicas do Cretácico inferior. Em muitas flores, o gineceu tinha um único carpelo ou tinha 3 carpelos livres. A região estigmática dos carpelos era reduzida e pouco elaborada. Muitas flores eram, provavelmente, polinizadas por insectos. Cada polinização apenas criava condições para fertilização limitada dos óvulos e para a produção de poucas sementes. Os carpelos das angiospérmicas do Cretácico inferior têm um ou poucos óvulos. Contudo, *Archaefructus* e *Sinocarpus* têm vários óvulos por carpelo; mostram que o aumento no número de óvulos se deu em estádios iniciais de algumas linhagens de angiospérmicas (Friis *et al*., 2006).

A organização dos carpelos de *Sinocarpus* e da flor de monocotiledónea trimera do Cretácico inferior de Portugal mostra que, pelo Barremiano tardio-Aptiano inicial havia fusão dos carpelos (sincarpia). Isto permitiu fertilizações múltiplas a partir de uma só polinização e pode ter sido uma das inovações iniciais mais importantes nas monocotiledóneas e eudicotiledóneas. A sincarpia é o modelo de organização dominante do gineceu nas angiospérmicas do Cretácico superior (Friis *et al*., 2006).

A produção de pólenes por estame parece ter sido baixa no Cretácico inferior. Os sacos polínicos são pequenos e estéreis em muitos estames. O potencial de dispersão polínica pode ter sido baixo devido à estatura das angiospérmicas primitivas. Frequentemente, os estames têm deiscência valvar, característica que, nas angiospérmicas actuais, está restrita a plantas polinizadas por insectos (Friis *et al*., 2006).

No Cretácico inferior há dois tipos principais de flores: nuas, sem perianto, como as de tipo *Hedyosmum* e *Archaefrutus*, e com perianto, com tépalas indiferenciadas, como *Endressinia* e *Virginianthus* (magnolídeas *s. s*.). O perianto de *Teixeiraea* (Ranunculales) do Aptiano superior-Albiano inferior de Vale de Água também é indiferenciado mas apresenta já transição de mais sépalas para mais pétalas. Onde faltava o perianto, a proteção era feita por brácteas florais à semelhança das plantas atuais, como *Hedyosmum*. As primeiras flores com cálice e corola diferenciadas são conhecidas a partir do início do Cretácico superior e representam as eudicotiledóneas nucleares. Nestas flores, o cálice tem o papel protetor mais importante; a corola está muitas vezes modificada para a atração de polinizadores (Friis *et al*., 2006).

Em muitas flores do Cretácico inferior os estames também parecem ter funcionado como proteção e atração. O primeiro aparecimento de flores com pétalas claramente diferenciadas deu-se no Cenomaniano inferior (cerca 100 Ma).

As angiospérmicas estavam diversificadas a nível específico em meados do Cretácico inferior, mas a diversidade dos 3 principais grupos era baixa. Preponderavam *taxa* actualmente extintos. Apenas são reconhecidas algumas linhagens atuais.

As angiospérmicas primitivas eram maioritariamente herbáceas ou pequenos arbustos. A meio do Cretácico inferior podem não ter tido um papel ecológico importante e deviam viver dispersas.

A polinização pelos insectos parece ter sido comum nas angiospérmicas do Cretácico inferior: morfologia dos estames e ocorrência de pólen em coprólitos.

Estas interpretações são consistentes com a discrepância entre a diversidade dos mesofósseis e as associações de pólenes dispersos das mesmas camadas. Em Buarcos (Aptiano superior a Albiano inferior) há conjunto rico de mesofósseis (mais de 100 *taxa*) mas os pólenes dispersos apenas incluem *Clavatipollenites* e *Asteropollis*, de plantas provavelmente polinizadas pelo vento.

A partir do Albiano os fósseis de angiospérmicas são associados mais facilmente a famílias atuais, são mais frequentes nas floras fósseis e estão mais distribuídas geograficamente: expansão filogenética e ecológica durante os meados do Cretácico, depois do estabelecimento inicial das principais linhas evolutivas.

A diferenciação das 3 linhas maiores das angiospérmicas atuais (magnolídeas *s. s.*, monocotiledóneas e dicotiledóneas) deu-se no início do Cretácico superior, há cerca de 100 milhões de anos. As primeiras flores, com cálice e corola diferenciados, datam do início do Cretácico Superior e representam as dicotiledóneas nucleares. Nas flores destas plantas, o cálice tem o papel protector mais importante. A corola está muitas vezes modificada para a atração de polinizadores.

As angiospérmicas primitivas eram maioritariamente herbáceas ou pequenos arbustos. A meio do Cretácico inferior podem não ter tido um papel ecológico significativo; deviam viver dispersas em matas dominadas por coníferas com destaque para as cheirolepidiáceas, como, por exemplo, *Frenelopsis* spp. No Cretácico superior já dominavam muitos ambientes à escala global. Muitas das sobreviventes da vegetação mais antiga estavam em extinção. Só no Paleogénico as angiospérmicas parece terem atingido importância ecológica semelhante à atual.

A partir do meio do Cretácico (≈100 Ma) até o final do Eocénico (≈34 Ma) a evolução das angiospérmicas coincidiu com a das aves, dos mamíferos e dos insectos (himnópteros e lepidópteros). Esta coevolução teve efeitos notáveis. Evoluindo em conjunto, os parceiros animais e vegetais encontraram vantagens mútuas, com transformações coordenadas de órgãos ou de comportamento. O animal beneficiou dos alimentos energéticos contidos na flor, nos frutos e nas sementes. As plantas beneficiaram da visita dos animais que disseminaram as sementes e o pólen assegurando o cruzamento genético. É sinal desta coevolução a adaptação espetacular entre a forma de algumas flores e as peças bocais dos animais que se alimentam de néctar e de pólen

Só no Paleogénico as angiospérmicas parecem ter atingido importância ecológica semelhante à atual. A partir daqui a vegetação evoluiu respondendo essencialmente às alterações climáticas e às condições ambientais. As áreas de povoamento das diferentes associações florestais modificaram-se profundamente devido às oscilações climáticas dos diferentes territórios, em parte devidas à deriva das áreas continentais.

BIBLIOGRAFIA

Ball, J. (1879) – On the origin of the flora of the European Alps. *Proceed. of the Royal Geographic Society and Monthly Record of Geography*, 1: 564 – 589.

Conry, Y. (1972) – *Correspondance entre Charles Darwin et Gaston de Saporta*. Presses Universitaires de France, Paris, 151 p.

Darwin, C. (1859) – *On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life*, 1st ed. John Murray, London, 440 p.

Darwin, C. (1872) – *The origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life*, 6th ed. John Murray, London, 423 p.

Friedman, W. E. (2009) – The meaning of Darwin's abominable mystery. *Amer. Jour. Botany* 96(1): 5-21.

Friis, E. M., Pedersen, K. R. & Crane, P. R. (2006) – Cretaceous angiosperm fl owers: Innovation and evolution in plant reproduction. *Palaeog., Palaeoclim., Palaeoec.*, 232: 251-293.

Mendes, M. M., Friis, E. M. & Pais, J. (2008) – *Erdtmanispermum juncalense* sp. nov., a new species of the extinct Erdtmanithecales from the Early Cretaceous of Portugal. *Rev. Palaeob. Palynology*, 149: 50-56.

Mendes, M., Friis, E., Pedersen, R. & Pais, J. (2010) – *Erdtmanitheca portucalensis*, a new pollen organ from the Early Cretaceous (Aptian-Albian) of Portugal with *Eucommiidites*-type pollen. *Grana*, 49: 26-36.

Rey, J., Dinis, J. L., Callapez, P. & Cunha, P. P. (2006) – *Da rotura continental à margem passiva. Composição e evolução do Cretácico de Portugal*. Cadernos de Geologia de Portugal. INETI, 75 p.

Saporta, Le Conte J. G. de (1873) – *Paléontologie française ou description des fossiles de la France 2e Série – Végétaux. Plantes Jurassiques*, T. 1. G. Masson, Éditeur, Paris, France. 521 p.

(Comunicação apresentada à Classe de Ciências
na sessão 5 de março de 2009)

Anatomia artística na escultura de Miguel Ângelo no renascimento italiano pleno

J. A. Esperança Pina[1]

O interesse pelo estudo do corpo humano, traduzido na análise da sua anatomia artística de superfície e na configuração e projecção dos órgãos internos, foi uma das principais características do Renascimento, no seu fogo imparável de descobrir, sendo o século XVI, conhecido também por século de Anatomia.

A Arte Renascentista mostra sempre os motivos de fundo em que se inspira, ou seja, um acentuado naturalismo, ou numa constante procura da verosimilhança, um forte interesse pelo homem, pela forma do seu corpo e pelas suas potencialidades expressivas, um gosto marcado pelo aprofundamento e aperfeiçoamento dos conhecimentos e meios técnicos e uma aspiração à monumentalidade, e uma realização muito mais comprometida nos aspectos das dimensões e conceptual.

O Homem faz parte da natureza, visto que é a medida de todas as coisas e a mais nobre e interessante criatura do universo.

Naturalismo, realismo, atenção à figura humana e estudo da Anatomia caracterizaram a escultura e a pintura no Renascimento.

Miguel Ângelo caracterizou os seus desenhos e esculturas, por uma Anatomia possante e exuberante, por uma monumentalidade sem par, por uma prodigiosa capacidade técnica e sobretudo por um dilacerante e genuíno amor pelo corpo humano.

A descoberta das estátuas de Apolo de Belveder e de Laocoonte e seus filhos atacados por serpentes, a dissecção de cadáveres autorizada pela Igreja, o estudo dos modelos vivos em movimento e ainda a associação de artistas com cientistas, como **Miguel Ângelo** e **Realdo Colombo**, são factos, que contribuíram indiscutivelmente para a grande obra do Renascimento.

O Renascimento pleno foi o período em que os artistas, não só dissecaram, mas também estudaram os seus modelos vivos em movimento. Foi com Miguel Ângelo, no início do século XVI, que se atingiu a mais bela forma, ao interpretar a fisiognomonia do corpo humano.

Miguel Ângelo estudou durante dois anos o cadáver humano e, também cadáveres de alguns animais, entre os quais o cavalo.

Fechado, só com o cadáver humano, Miguel Ângelo não se abandona a uma simples meditação sobre a precariedade das coisas humanas. Sem cansaço nem fastio estuda, desenha. A paixão que ele nutre pelo corpo humano, por essa maravilhosa máquina tão habilmente organizada, ultrapassa a melancolia de

[1] Professor Catedrático Jubilado da Faculdade de Ciências Médicas da U.N.L. e Professor Catedrático da Faculdade de Direito de Lisboa da U.C.P., Membro Efectivo da Academia das Ciências de Lisboa e ex-Reitor da Universidade Nova de Lisboa

espírito e o horror físico. Passa longas horas face a face com os mortos; é a vida que ele procura para além da morte; a pujança e a beleza na vida.

A sua base anatómica foi profundíssima e teve como projecto a realização de uma obra sobre o movimento e outra sobre o esqueleto humano. Gian Paolo Lomazzo escreveu: *"De forma a demonstrar o seu perfeito conhecimento da anatomia, exagerou os músculos ao extremo, e dessa forma enfatizou-os ainda mais, de forma a apresentá-los provenientes e orgulhosos nos corpos em que a natureza os tenha fortificado."*

Miguel Ângelo realizou grande quantidade de desenhos de Anatomia Artística.
A bacanal de crianças.
O estudo para um Cristo Ressuscitado.
A cabeça de Cleópatra.
Uma cabeça.
A cabeça de Leda.
A cabeça de um jovem.
A cabeça de um idoso.
Uma cabeça grotesca.
A cabeça de sátiro.
A cabeça de um malvado.
Cabeças diversas.

1. MIGUEL ÂNGELO NO INÍCIO EM FLORENÇA (1475–1492)

Miguel Ângelo Buonarroti nasceu em 6 de Março de 1467, em Caprese, uma pequena aldeia toscana da actual província de Arezzo, onde o seu pai ocupava o cargo de regedor. Pouco depois do seu nascimento a família Buonarroti retornou a Florença, onde tinha vivido há cerca de 300 anos. A família morava na zona de Santa Croce, onde, mais tarde Miguel Ângelo adquiriu uma casa, hoje transformada em Museu da Casa Buonarroti, onde estão expostas obras notáveis do artista.

Florença, considerada com o "berço do Renascimento", apresenta a sua riqueza invulgar em tesouros artísticos de arquitectura, escultura e pintura, sendo o embrião da carreira artística de Miguel Ângelo.

Aqui, o jovem Miguel Ângelo inicia, contra a vontade do pai, a sua aprendizagem no *atelier* do pintor Domenico Ghirlandaio. Depois de dois anos de aprendizagem na pintura do fresco, o jovem abandona o pintor para se dedicar à escultura. Nos jardins dos Médicis estuda a estatuária antiga, passando a frequentar a escola de escultura aí funcionando, onde aprendeu as técnicas da escultura. O talento de Miguel Ângelo chamou a atenção de Lourenço de Médicis, o Magnifico, que o passa a acolher no seu palácio, como um filho.

O desenvolvimento intelectual de Miguel Ângelo foi enriquecido através do seu contacto com os humanistas italianos mais famosos que pertenciam à corte dos Médicis.

Foi neste ambiente intelectual e artístico que surgiram as primeiras esculturas de Miguel Ângelo: a Madona da escada, a Batalha dos Centauros e o Crucifixo em madeira.

A Madona da Escada (1489-1492) da Casa Buonarroti, em Florença, apresenta a Virgem pensativa, com o Menino de dorso musculado aconchegando-se no seu seio. Todas as tensões parecem

desvanecer-se no cimo de uma escada, onde se encontram três *putti*, em que o mais próximo da Virgem segura um panejamento, provavelmente uma referência ao sudário da deposição de Cristo no túmulo.

O combate dos Centauros e dos Lipidários (1492) um mármore da Casa Buonarroti, em Florença, descreve a luta entre homens, quase todos despidos, e centauros dificilmente reconhecidos nas suas formas animais, acompanhados de algumas figuras de mulheres e cabeças femininas. Os dois antagonistas que se defrontam, combatem e morrem, pontuando com os seus corpos as tensões fundamentais da vida e da morte. Os corpos representados traduzem-se numa impressão de forte energia libertada. A figura central, com o braço direito levantado, deriva todo o movimento em espiral, que parece adivinhar no ritmo dos membros entrelaçados no centro da composição.

O Crucifixo (1492-93) em madeira policroma, da Igreja Santo Spirito, em Florença, provavelmente realizada depois da morte de Lourenço de Médicis, o Magnifico, para o Prior de Santo Spirito, que proporcionou a Miguel Ângelo, uma sala para que este realizasse estudos anatómicos. Cristo apresenta-se como um jovem com corpo desnudado, delgado e levemente retorcido, um autêntico cadáver, semelhante aos que estudava.

A cabeça inclinada para baixo, o dorso do nariz rectilíneo, as órbitas bem marcadas e a fenda labial transmitindo uma expressão de dor.

2. MIGUEL ÂNGELO SAI DE FLORENÇA (1494–1501)

Após a morte de Lourenço de Médicis, o seu filho Piero assume o poder em Florença, em 1492, não se conseguido impor contra a influência do frade domenicano Savonarola, sendo incapaz, em 1494, de impedir a invasão das tropas francesas de Carlos VIII. Por fim, é expulso pelo povo de Florença. Protegido pelos Médicis, Miguel Ângelo sente-se em perigo, fugindo da sua Florença, com dezanove anos, partindo para Bolonha onde esteve durante um ano, regressa a Florença por pouco tempo, antes de iniciar a sua primeira viagem a Roma.

Miguel Ângelo em Bolonha (1494–1495)

Em Bolonha travou conhecimento com o nobre Gianfrancesco Aldovrandi, que acolheu o artista em sua casa, tendo também Miguel Ângelo o amor pela literatura, tendo revelado ao nobre a obra dos três poetas toscanos: Dante Alighieri, Giovanni Bocaccio e Francesco Petrarca.

Foi neste ambiente intelectual, que obteve as primeiras encomendas de esculturas para o túmulo de São Domingos, fundador da Ordem Dominicana: o São Petrónio, o São Próculo e o Anjo ajoelhado com castiçal.

O São Petrónio (1494-95) do sarcófago de São Domingos, na Basílica de São Domingos, em Bolonha, padroeiro de Bolonha, com vestes de arcebispo, segura entre as mãos uma maqueta da cidade feita com casas pequenas, e duas torres, tipícas da cidade. A barba muito ondulada, os bulbos oculares fundidos, as sobrancelhas projectam amplas sombras sobre o rosto. A estátua apresenta-se estática com a perna esquerda livre e a perna direita de apoio. A túnica projecta sombras que o observador tem a impressão que o santo pretende abandonar a posição a todo o momento.

O São Próculo (1494-95) do sarcófago de São Domingos, na Basílica de São Domingos, em Bolonha, que provavelmente tinha na mão direita uma lança ou um machado, era soldado ou mártir nos tempos

da perseguição romana, está animada por um extraordinário vigor expressivo, apresentando o corpo um indicio de torção e o rosto enrugado.

O Anjo ajoelhado com castiçal (1494-95) do sarcófago de São Domingos, na Basílica de São Domingos, em Bolonha, com espesso vertimento muito pregueado, não deixa de bem reproduzir o seu corpo. A figura deste anjo é representada por um rapaz musculoso e ajoelhado, originando umas asas relativamente pequenas.

Miguel Ângelo em Roma (1496–1501)

Em Roma, na sua primeira viagem, Miguel Ângelo teve à sua disposição recursos ideais de observação e estudo. Os contactos com a nobreza romana permitiram-lhe ampliar os seus estudos iniciados nos jardins dos Médicis em Florença, desenvolvendo-lhe a tendência ao gigantismo. Para o Cardeal Riario, esculpiu uma estátua representando *O Baco* embriagado, em que manifesta os seus conhecimentos sobre a escultura helenística. Para o Cardeal francês Jean Bilhères-Lagraulas, criou para a sua capela funerária na Igreja de Santa Petronila, que foi demolida, e actualmente à direita da entrada da Basílica de São Pedro do Vaticano, a *Pietà*, constituindo uma das obras de arte mais célebres da escultura mundial.

O Baco (1496-97) do Museu Nacional de Bargello, em Florença, em tamanho natural representa o deus ébrio, com a boca aberta e os bulbos oculares vesgos cambaleando, sob a influência da bebida, não sendo uma figura muito alegre. Procura o equilíbrio com passos vacilantes e o tronco ligeiramente distorcido, com um olhar irritado, formas corporais delicadas, evidências de traços femininos, com características bissexuais, com a boca aberta e os olhos vesgos cambaleando, sob a influência da bebida, não sendo uma figura muito alegre. Apresenta uma coroa de hera e cachos de uvas nos cabelos, pequenos chifres na cabeça, que mal se vêem, a pele de um animal selvagem, provavelmente um tigre, na mão esquerda e uma taça para beber na mão direita.

O deus do vinho está acompanhado de um sátiro por trás da sua perna esquerda, que parece deleitar-se com um cacho de uvas. O pequeno sátiro, é um ser da mitologia grega, com pernas de bode, cauda e chifres. Neste conjunto, o pequeno ser híbrido desempenha também uma função de equilíbrio, como estabilizador de Baco.

A Pietà São Pedro do Vaticano (1498-99), na Basílica de São Pedro no Vaticano, representa uma união intima de dois seres, a linha três vezes quebrada de Cristo, harmonizando-se com o corpo de sua Mãe. A Virgem apresenta uma idade próxima da do seu Filho. O corpo de Cristo está inserido na linha de contorno do corpo de Maria, sublinhando a forte ligação entre a Mãe e o Filho. A mão esquerda de Maria segura e simultaneamente solta, isto é, apresenta o corpo morto. O cadáver quase nu, de linhas puras, está deitado sobre o manto drapejado da Mãe, e apenas o pé direito de Jesus toca o chão. A Pietá, de São Pedro do Vaticano mostra a Virgem muito jovem, não olhando para Cristo, com a cabeça inclinada, aceitando resignada a vontade divina

A Virgem tem um rosto muito doce e de grande beleza, enquadrado pelo véu que exalta a luminosidade da face, sem sinais de dor.

Cristo tem uma facialis com uma anatomia perfeita parecendo adormecido.

A sua mão apresenta os sinais do sacrifício

3. MIGUEL ÂNGELO DE REGRESSO A FLORENÇA (1501–1505)

Em 1501, Florença encontrava-se num breve renascimento intelectual. Miguel Ângelo, fortalecido pelo êxito que obtivera em Roma, recebeu numerosas e importantes encomendas: o Tondo Taoddei, o Tondo Pitti, o São Paulo, o São Pedro, o São Paulo e o São Pio para o altar Piccolomini da Catedral de Siena, o David, a Madona e Menino de Bruges e o São Mateus..

O Tondo Taddei (1504-05), da Royal Academy of Arts, em Londres, representa a Maria com o Menino e São João Baptista sendo um relevo inacabado, com a Virgem e Jesus já trabalhados e João Baptista representado de modo vago. Apresenta três personagens envolvidas numa actividade comum. Jesus foge, para os braços da Mãe, sentada no chão, por temer o voo de um pássaro, provavelmente um pintassilgo, símbolo do sofrimento que João Baptista lhe apresenta.

O Tondo Pitti (1504-05), da Royal Academy of Arts, em Londres, representa Maria com o Menino e São João Baptista, com a Virgem sentada numa pedra e enlaçando com ternura o Menino, que está de pé. Jesus apoia o cotovelo no livro aberto que está sobre os joelhos da mãe e sorri ternamente.

A cabeça de Maria tem um porte cheio de altivez, dirigindo o olhar para longe.

Os quatro Santos do Altar Piccolomini da Catedral, em Siena (1501-04) foram encomendados pelo Cardeal Franccesco Piccolomini, estando este altar situado na nave colateral da catedral. Parece não haver dúvidas, que as estátuas de São Paulo e de São Pedro foram executadas por Miguel Ângelo, enquanto as estátuas de São Pio e de São Gregório, originam incertezas sobre a sua execução.

São Paulo e São Pedro seguram com o braço esquerdo, prováveis textos sagrados por eles escritos.

São Paulo mostra-se extrovertido, com o nariz achatado, os caracóis, bem como as rugas da fronte e a base do nariz fazem lembrar auto-retratos de Miguel Ângelo.

São Pedro apresenta-se introvertido, inclina-se ligeiramente para um lado com o joelho direito dobrado e soerguido, parecendo iniciar a marcha, a cabeça inclinada com os bulbos oculares fixos no chão.

David (1501-04) da "Galleria dell Accademia", em Florença mostra David, rei de Israel, que armado de funda, derrotou o gigante filisteu Golias, libertando o seu povo da ameaça dos filisteus. David segura uma pedra na mão esquerda, preparando-se para enfrentar um combate que para todos seria impossível de vencer. David completamente nu, de mãos enormes sendo maior a direita, o rosto orgulhoso e audaz, o corpo musculoso de atleta, parecendo irradiar força, e traduzindo a tensão interior do personagem numa contida calma aparente. David é uma florificação da beleza masculina, ao mesmo tempo real e ideal.

A cabeça com prodigiosa vivacidade, com os cabelos anelados está virada para a esquerda, o seu olhar de violência selvagem, dirige-se para o infinito, enquanto o supercílio, franzido, fixa o inimigo com agressividade denotando a tensão do momento que antecede a acção. No pescoço, a veia jugular externa e os músculos anteriores e laterais estão bem evidenciados.

O dorso permite observar, entre outros, os músculos trapézio, longíssimo do dorso e glúteo máximo.

A mão direita permite ver no seu dorso a rede venosa superficial muito desenvolvida.

Madona e Menino de Bruges (1501-04) da Igreja de Nossa Senhora, em Brujes, apresenta a Virgem sentada com a perna esquerda cruzada sobre a direita e não tendo o filho ao colo, como tradicionalmente, mas entre os seus joelhos, parecendo começar a afastar-se da mãe. A criança muito musculada

parece querer dar o primeiro passo, mas o seu tronco mostra relutância em se separar do braço materno. O braço esquerdo da criança apoia-se na perna esquerda soerguida de Maria, que parece interromper a leitura, naquilo que se supõe ser a história dolorosa do que se irá desenrolar.

A Virgem apresenta-se introspectiva, tranquila e com finas feições, cujos bulbos oculares, sobrancelhas e lábios apresentam-se sinuosos e amplos.

O Menino tem as feições bochechudas e os dedos da mão direita entrelaçados com os da mão esquerda da mãe, num complicado gesto inédito na escultura. No deslizamento dos dedos parece estar patente uma certa relutância e simultaneamente um pedido de protecção à mãe.

São Mateus (1503-05) da Galeria da Academia, em Florença apresenta uma escultura inacabada. Só com muito esforço se reconhece o livro que o apóstolo segura na mão esquerda, enquanto a mão direita segura o manto. O corpo apresenta uma grande tensão de movimentos violentos e muito contraídos.

4. MIGUEL ÂNGELO EM ROMA (1505–1514)

Durante a sua estadia em Roma, em cerca de nove anos, esculpiu estátuas para o túmulo de Júlio II, entre 1505 e 1514.

O túmulo de Júlio II (1505-1545), da Igreja de S. Pietro *in Vincoli* (São Pedro no Cárcere), em Roma, iniciou-se em 1505, depois de Júlio II ter chamado Miguel Ângelo a Roma, com a idade de trinta anos, para lhe construir o seu túmulo. Só em 1945, trinta e dois anos após a morte do Papa e depois de numerosos conflitos com a família, é que o túmulo ficou finalmente concluído, tendo Miguel Ângelo afirmado que *a tragédia do túmulo lhe custou a juventude*.

O primeiro projecto, datado de 1505, pressupunha um colossal monumento independente, a ser colocado na capela-mor da Basílica de São Pedro, com quarenta estátuas, além de relevos em bronze para enaltecimento do Papa Júlio II. O projecto acabou por ser adiado, em detrimento da reconstrução da Basílica de São Pedro e da pintura do tecto da Capela Sixtina.

Após a morte do Papa, em 1513, os testamentários realizaram um segundo contrato com Miguel Ângelo, com a realização de um túmulo mais pequeno, quer no tamanho, quer no número de estátuas, tendo esculpido o escravo Moribundo e o Escravo Rebelde. Em 1516, 1525 e 1532, três novos contratos foram realizados voltando a diminuir o número de estátuas.

Paulo III, realizou o último contrato, tendo sido o mausoléu concluído e exposto, em 1542, não na Basílica de São Pedro, como estava previsto, mas na Igreja de São Pedro *in vincoli*, em Roma.

O túmulo definitivo de Júlio II resumiu-se a uma simples fachada com dois andares encostada a uma parede. No andar superior com esculturas não atribuídas a Miguel Ângelo, encontra-se o sarcófago de Júlio II, encimado pela Virgem com o Menino e ladeado por uma sibila e por um profeta. No andar inferior, com três esculturas atribuídas a Miguel Ângelo, encontra-se Moisés, ladeado à direita por Lia, representando a vida activa e à esquerda por Raquel representando a vida contemplativa.

Moisés (1542-45) apresenta a perna direita ligeiramente adiantada em relação à esquerda, disposto a levantar-se a qualquer momento. Com as tábuas dos dez mandamentos debaixo do braço direito, enquanto tem a mão esquerda no abdómen. Mostra o dorso atlético, braços musculosos e com as veias túrgidas pela tensão muscular. Aperta carinhosamente as barbas, pronto a erguer-se e a amaldiçoar a idolatria do seu

povo. Os dois chifres representam raios de luz. A lenda diz que Miguel Ângelo, entusiasmado com o seu trabalho, lhe atirou com o martelo e ordenou que falasse.

A cabeça mostra numerosas pregas cutâneas, resultantes da contracção dos músculos faciais da mímica.

O dorso da mão direita, apresenta a rede venosa superficial e a veia salvatela muito bem desenvolvidas.

O dorso da mão esquerda mostra muito bem, as veias interósseas, a arcada dorsal venosa e as veias posteriores do antebraço.

Miguel Ângelo depois do segundo projecto esculpiu Raquel e Lia.

A Raquel (1542-45) situada à esquerda representa a vida contemplativa. As mãos em prece e as pregas do hábito, embora discretamente, revelam as curvas múltiplas e subtis de um corpo alongado e disposto assimetricamente. O seu olhar dirige-se para cima podendo ser interpretado como contemplação.

A Lia (1542-45) situada à direita de Moisés representa a vida activa. O cabelo, apertado com um diadema termina com uma trança segura na mão direita. As longas vestes apresentam um corpete e uma gola. Uma faixa drapeada acentua a pequenez dos seios. A fertilidade de Lia é evocada por uma larga prega sobre o abdómen, pois foi mãe de seis filhos. O braço esquerdo estende-se ao longo do corpo e a mão segura uma grinalda. O seu olhar ao dirigir-se para baixo para um espelho seguro na mão direita, pode significar as suas raízes terrenas.

O Escravo moribundo ou adormecido (1513-16), do Museu do Louvre, em Paris, com o seu erotismo, tem mais a ver com o sono ou o despertar do que com a morte. O escravo mantêm-se calmo e distendido e inclina a cabeça sobre o ombro, apoiando-se na mão esquerda. A mão direita está sobre a correia colocada como uma faixa à volta do tórax, estando também no punho esquerdo. Este jovem descontraído e tranquilo mais parece imerso num profundo sono do que na morte.

O Escravo rebelde (1513-16), do Museu do Louvre, em Paris, mostra como é grande a sua vitalidade, com as saliências musculares bem evidentes. O escravo encontra-se em grande tensão nervosa, dobra-se e torce-se, estica a cabeça para a frente, tendo as mãos atadas atrás das costas, mas não conseguindo libertar-se.

Os escravos Boboli (1520-30) da Galeria da Academia, em Florença, **o escravo barbudo, o escravo despertando, o escravo jovem e o escravo atlante** foram realizados de acordo com o terceiro projecto para o túmulo de Júlio II, estando inacabados, tendo sido esboçados no essencial por assistentes e depois retrabalhados por Miguel Ângelo. As figuras inacabadas, que parecem tentar sair do mármore, e segundo vários autores viram uma ilustração directa da própria alma do artista em luta com a matéria.

5. MIGUEL ÂNGELO EM FLORENÇA (1514–1534)

Foi em Florença, que Miguel Ângelo criou, segundo ordens papais, os primeiros trabalhos arquitectónicos. João de Médicis futuro papa, idealizou com seu primo Júlio, o futuro Papa Clemente VII, grandes planos para a Igreja de São Lourenço. Leão X entregou a Miguel Ângelo a execução da Capela dos Médicis. Neste período realizou diversas esculturas: o Cristo ressuscitado, o Rapaz acocorado, os dois lutadores Hercules e Casco, a Victória, o Apolo / David e o Bruto. Clemente VII encomenda a Miguel Ângelo a realização da Biblioteca Laurenziana.

A Capela dos Médicis (1521-34) da Sacristia Nova da Igreja de São Lourenço, em Florença, apresenta na parede oeste, o túmulo de Lourenço de Médicis, duque de Urbino, na parede este da sacristia, o túmulo

de Juliano de Médicis, duque de Nemours e na parede sul da sacristia, o túmulo duplo de Juliano de Médicis, assassinado pela conspiração Pazzi em 1478 e de Lourenço de Médicis, o Magnífico.

O túmulo de Lourenço de Médicis, duque de Urbino está adornado por duas figuras reclinadas sobre o sarcófago, as alegorias da *Aurora*, à direita e do *Crepúsculo*, à esquerda. Superiormente às alegorias, colocado num nicho, encontra-se Lourenço de Médicis.

Lourenço de Médicis, duque de Urbino tem uma armadura e uma espécie de elmo leonino. Tem um ar pensativo, a cabeça apoiada na mão esquerda, numa pose entendida como simbolizando melancolia, O cotovelo esquerdo repousa num cofre rectangular com a cabeça de um animal.

O Crepúsculo não se adapta bem à cobertura convexa do sarcófago estando inacabado à volta da cabeça e dos membros. O homem é idoso, de porte atlético, apresentando-se exausta após um combate. O seu olhar é distante, quase indiferente, e as pernas estão cruzadas.

A Aurora não se adapta também à cobertura convexa do sarcófago estando inacabado ao nível dos pés. Tem uma expressão de dor e mágoa e o véu pode ser visto como símbolo de luto. Representa uma mulher gigantesca de formas sólidas, cuja nudez é sublinhada por uma faixa passada por baixo dos seios. O seu olhar é vazio, inexpressivo e carregado de angustia. A figura sonolenta traduz o esforço do despertar, entre a inércia e acção.

O túmulo de Juliano de Médicis, duque de Nemours está adornado por duas figuras reclinadas sobre o sarcófago, as alegorias do *Dia*, à direita e da *Noite*, à esquerda. Superiormente às alegorias, colocado num nicho, encontra-se Juliano de Médicis.

Juliano de Médicis, duque de Nemours veste um uniforme militar. A mão esquerda tem várias moedas e a mão direita segura um bastão. O bastão e as moedas podem ser uma referência às virtudes inerentes a um líder. Tem semblante melancólico, as mãos inertes sobre o bastão de comando, alegoria de vida activa, num momento de pausa e de ponderação. Encontra-se a meditar com gravidade triste.

A Noite está inacabada no braço e mão esquerda e no diadema na cabeça, apresentando o mocho sob o joelho esquerdo, a máscara de um sátiro por baixo do ombro esquerdo e uma grinalda sob o pé esquerdo. Exprime a paz do sono, símbolo directo da morte. A fadiga e o cansaço de viver exprimem-se plasticamente no corpo deformado pela maternidade.

O mocho é o símbolo da noite e **a grinalda** identificada como uma papoila, como símbolo da fertilidade ou do sono. **A máscara de um sátiro** pode ser entendida como símbolo do sonho e do pesadelo.

O dia tem inacabada a cabeça e a mão direita. Exprime o desespero num corpo de vigor. O movimento de torção acentua o dinamismo da figura. O contraste entre o rosto desbastado e o corpo lavrado, até ao limite e, perfeitamente polido em algumas partes, é acentuado pela luz e pela sombra, que dramatizam a expressão do sofrimento.

O túmulo duplo dos irmãos Juliano de Médicis e Lourenço de Médicis, o Magnífico, está muito inacabado e nada sumptuoso. A **Madona de Médicis**, situada no centro e esculpida por Miguel Ângelo, está flanqueada por **São Cosme** e por **São Damião**, santos patronos da família Médicis, não sendo por ele esculpidos.

A Virgem Médicis, representa uma composição não convencional da Virgem e do Menino, pelo facto do Menino voltar as costas ao observador e ao altar situado em frente na parede norte da sacristia. A Virgem com as pernas cruzadas, revela uma mistura de nobreza e de espontaneidade. Inclinada

ligeiramente para a esquerda de forma a oferecer o seio a um Menino de dimensão desproporcionada e cuja idade é inadequada ao acto. A Virgem mostra um rosto triangular

O Cristo ressuscitado (1519-21), da Igreja de Santa Maria Sopra Minerva, em Roma, apresenta Cristo desnudado. Cristo apresenta-se muscularmente muito desenvolvido. No entanto é pouco habitual num Cristo Ressuscitado, a inclusão dos instrumentos da Paixão, a corda, a esponja e a coroa de espinhos.

A cruz à direita de Cristo atrai a nossa atenção, em que as mãos muito desenvolvidas a agarram, sendo de realçar na mão direita, o dedo indicador separado dos restantes dedos dispostos transversalmente. A mão direita pode ser interpretada como um instrumento da Paixão, quer como uma Cruz triunfal, portanto como símbolo da Ressurreição.

O Jovem agachado (1524-25), do Museu do Ermitage, em São Pitesburgo, foi considerado como uma escultura destinada à Sacristia Nova da Igreja de São Lourenço. Para alguns representa a alma não nascida e para outros o génio da morte. É a imagem trágica do homem, dominado por uma força hostil, que sofre física e espiritualmente.

O Hércules e Casco ou Sansão (1525-28) da Casa Buonarroti, em Florença, destinava-se ao terceiro projecto para o túmulo de Júlio II. A escultura mostra a luta viril entre Hércules e Casco ou Sansão. As figuras estão entrelaçadas e torcidas apresentam-se com este aspecto, seja qual for o ângulo como são observadas.

A Victória (1525-30) do Palácio Vecchio, em Florença destinava-se ao terceiro projecto para o túmulo de Júlio II. Representa a luta entre um jovem vitorioso e um velho vencido, em que a mão direita sustém a ponta de um manto que se perde para trás. O jovem desnudado, com uma cabeça minúscula e os músculos do membro superior muito desenvolvidos. A cabeça do velho tem uma fronte estreita, o nariz helénico e a barba proeminente. É possível antever-se um símbolo do inevitável triunfo do tempo, incarnado por um jovem que triunfa sobre um velho limitado às contingências da idade.

Apolo ou David (1530-32) do Museu Nacional de Bargello, em Florença tem um objecto esférico, inacabado por baixo do pé direito: se quisesse representar o sol seria Apolo, se quisesse representar uma cabeça seria David. A mão esquerda por cima do ombro direito parece indicar que está a retirar uma seta do carcás. A total nudez, e a inclinação da cabeça para a esquerda dão à escultura um aspecto sereno e sensual.

Bruto (1530-40) do Museu Nacional de Bargello, em Florença, envolvido numa toga fixada ao ombro direito com uma pregadeira representando figuras. A cabeça encontra-se exageradamente para a esquerda realçado as saliências musculares das regiões esterno-cleido-mastóideia e lateral direita do pescoço. O olhar direito, as sobrancelhas enrugadas, os bulbos oculares encavados e os lábios apertados realçam um semblante poderoso. O cabelo espesso contrasta com a macieza da face e a toga.

A **Biblioteca Laurenzina** (1524-1534), em Florença, foi criada para acolher a valiosa colecção de manuscritos dos Médicis. Apresenta um vestíbulo situado num plano inferior à sala de leitura, estando ligados por intermédio de uma escadaria, de três lanços, combinando formas ovais e rectangulares. As paredes do átrio quadrado estão divididas em três planos. A verticalidade das paredes, acentua-se com janelas longas e colunas duplas. A sala de leitura clara e desenhada até ao mais ínfimo pormenor, tentando representar o acesso ao conhecimento de um novo humanismo. Apresenta uma forma rectangular, com janelas e pilastras alinhadas, com carteiras de madeira fixadas num estrado, idealizadas para uma leitura cómoda.

6. MIGUEL ÂNGELO NA VELHICE EM ROMA (1542-1564)

Na velhice Miguel Ângelo realizou apenas duas esculturas incompletas, a Pietà Bandini e a Pietà Rondanin, ocupando-se sobretudo da arquitectura, sendo de referir o palácio Farnese, parte da Porta Pia, a Praça do Capitólio e a cúpula da Catedral de São Pedro, no Vaticano.

A Pietà Bandini (1547-55) do Museu da Catedral, em Florença, é uma das últimas esculturas de Miguel Ângelo. Cristo morto, flanqueado pela Virgem, à esquerda e, por Maria Madalena, à direita. Desesperado com partes defeituosas do mármore, o artista teria partido o braço esquerdo da Virgem e o braço direito de Maria Madalena, teria também partido o braço esquerdo de Cristo e retirado a sua perna esquerda. Parece ter oferecido a estátua a um colaborador, que a restaurou e concluiu Maria Madalena.

Atrás, provavelmente Nicodemos, com barba e olhar triste, traduz sem dúvida um auto-retrato do artista.

A Pietà Rondanin (1552-53) do Museu de Castello dos Sforza, em Milão, mostra a Virgem e Cristo morto figurados em pé. Cristo emerge por um momento do estado informe ao qual parece novamente regressar. O seu corpo não passa de um esboço, surgindo encaixado no corpo maternal, determinando um bloco único com extraordinária expressividade.

O Palácio Farnese, em Roma, é o resultado do trabalho de vários arquitectos, sendo continuada a sua reconstrução por Miguel Ângelo, em 1546, por incumbência de Paulo III. Tem uma majestosa fachada, com cerca de 46 metros de largura, com três andares, tendo uma cornija, com uma altura anteriormente nunca vista e com uma decoração rica em pormenores, produzindo interessantes efeitos de luz e sombra.

A Porta Pia, em Roma, situada na original Via Pia de Pio IV, foi iniciada em 1561. Não foi totalmente construída por Miguel Ângelo, atribuindo-se-lhe contudo os planos do portal, as janelas falsas e as janelas do piso térreo, o ornato do arco superior e o remate original com duas esferas, símbolo heráldico da família dos Médicis.

A Praça do Capitólio, em Roma foi Miguel Ângelo em 1539, nomeado arquitecto-construtor, para as obras de transformação desta Praça. No centro com o ornato em forma de estrela, foi colocada a estátua equestre do Imperador e filósofo romano Marco Aurélio, oferecida por Paulo III ao senado de Roma. A estátua foi orientada de tal maneira que por trás desta ficasse o edifício medieval do Palácio dos Senadores, e à direita o Palácio dos Conservadores, do século XV, onde os Deputados tinham a sua sede.

A reconstrução da **Basílica de São Pedro**, no Vaticano, demorou 40 anos, tendo Miguel Ângelo sido nomeado por Paulo III, a 1 de Janeiro, e sendo o sétimo arquitecto superintendente da reconstrução.

A **cúpula da Basílica de São Pedro**, no Vaticano, que devia situar-se por cima do túmulo de São Pedro, ocupou Miguel Ângelo desde 1557 até à sua morte, em 1564, tendo sido concluída em 1590. Della Porta, respeitando as ideias mestras de Miguel Ângelo vem coroar o topo da cúpula, funcionando como um farol, um símbolo do poder da Igreja católica romana, abrindo assim a Basílica de São Pedro para a cidade de Roma e, para além dela a toda a Cristandade.

(Comunicação apresentada à Classe de Ciências
na sessão de 23 de abril de 2009)

A matemática da evolução e a evolução da matemática

Fábio Chalub

Inicialmente gostava de agradecer à Academia das Ciências de Lisboa, particularmente ao Prof. João Paulo Dias, o convite para falar num dos vários eventos comemorativos do ano Darwin. É bom notar que a matemática não foi esquecida nem se omitiu desta efeméride. De facto, há um consenso cada vez mais alargado da relevância da matemática nas ciências da vida, o que pode ser visto consultando algumas das referências bibliográficas [1,2].

O propósitos destas notas é discutir, brevemente, o que poderia ser chamado de "a matemática da evolução", ou seja, aqueles resultados, de cariz nomeadamente matemático cuja interpretação biológica é direta e, pelo outro lado, quais problemas originados na biologia precisam ainda de desenvolvimentos matemáticos que permitam sua melhor compreensão.

É um pouco difícil estabelecer uma data para o que poderia ser o início da biomatemática; por vezes arbitramos o problema dos coelhos de Fibonacci, de 1202 ("Um casal de coelhos demora um mês para o amadurecimento sexual; a partir deste momento, produz um novo casal por mês. Começando com um único casal, quanto casais estarão presente no mês n?") [3]. No entanto, apesar da inspiração biológica, este era apenas um problema perdido entre vários cujo objectivo era o de ilustrar algumas técnicas matemáticas.

Também Euler trabalhou em problemas de dinâmica populacional [4]; apesar de seu trabalho mostrar uma abordagem correcta e em larga medida moderna tanto do ponto de vista matemático como de modelação, sua motivação não era propriamente biológica: seu objectivo primário era mostrar que toda a população da Terra poderia ter sido gerada a partir apenas de um casal em alguns milhares de anos ("e não em centenas de milhares de anos como propõem alguns, em desacordo com as escrituras").

Muitos trabalhos, no entanto, deveriam ser mencionados (e não serão) como os de Bernoulli [5], sobre a varíola (que poderia ser considerado, sem muita dificuldade, o primeiro trabalho que reúne de forma original as técnicas matemáticas da época na solução de um problema biológico relevante), Leslie e as populações estruturadas (ainda hoje chamamos as matrizes usadas naquele trabalho de "matrizes de Leslie") [6] ou os de Verhust sobre a equação logística [7]. Estes têm um perfeito balanço entre a motivação biológica, o uso da matemática na formulação e solução de um problema e a interpretação do resultado obtido, voltando ao ponto de partida: a realidade. Uma recente revisão destes trabalhos, combinando a perspectiva histórica com o conteúdo científico pode ser visto em [8].

Nosso ponto de partida será no entanto diferente: quando, no início do século XX um grupo de investigadores, muitos dos quais com formação em física e matemática se uniu para produzir o que ficou conhecido como "síntese evolutiva moderna" [9]. Nosso caminho, ao longo deste artigo não terá nem

ambições de ser historicamente rigoroso, menos ainda de ser exaustivo. Inicialmente enunciaremos alguns resultados de cariz essencialmente matemático que deve convencer o leitor que uma boa compreensão da dinâmica populacional envolve o estudo da matemática; posteriormente mostraremos alguns resultados que, na opinião do autor, ainda necessitam de novas técnicas rigorosas para sua melhor compreensão.

Quando Darwin formulou a teoria da evolução [10], em meados do século XIX, não havia a menor indicação do mecanismo da hereditariedade; de alguma forma imaginava-se que o filho era uma mistura mais ou menos homogénea das características de seus genitores (a teoria do "blending"). Desta forma, dado tempo suficiente uma população deveria ser homogenizada: ou seja, todos os indivíduos seriam idênticos. Isto estava em óbvio desacordo com a realidade.

A explicação estava já disponível. G. Mendel descobrira a genética mais ou menos a mesma época em que Darwin desenvolveu os conceitos centrais da evolução [11]. Mas, ao contrário do inglês que recebeu muita atenção ainda em vida, os experimentos de cruzamentos de ervilhas do austríaco foram largamente ignorados em seu tempo.

A sua redescoberta, já no início do século XX, permitiu resolver o *puzzle* da variablilidade genética, e esta não apenas era compatível com a evolução, como era a peça que faltava. Neste contexto, gostava de aqui destacar o primeiro resultado essencialmente matemático de interesse para a genética: a lei de Hardy-Weinberg, cujo nome refere a trabalhos independentes, mas quase simultâneos de G. Hardy, matemático inglês e W. Weinberg (médico alemão) [12,13].

Teorema: *Se: i) os acasalamentos forem aleatórios; ii) a população for de tamanho infinito; iii) não houver enerals natural; iv) não houver mutações; v) não houver migração; então não há evolução (ou seja, as frequências de cada gene são invariantes no tempo).*

A demonstração é, do ponto de vista matemático, bastante elementar, usando apenas alguns resultados clássicos de combinatória. No entanto, este teorema explicou algo que àquela época intrigava os biólogos: como a evolução não leva a eliminação dos genes recessivos. A partir da segunda geração, mostra a lei de Hardy-Weinberg, se não houver nenhuma força evolutiva presente, as frequências não mais mudam. Ademais, a remoção de cada uma das hipóteses acima, isoladamente, leva a alterações na composição da população, mostrando que cada condição acima é suficiente para vermos evolução em uma população.

Um segundo resultado fulcral na evolução matemática é o Teorema Fundamental de Fisher, formulado por R. Fisher em 1930 [14], envolvendo um dos conceitos centrais da biologia evolutiva: o de *fitness*, ou seja a probabilidade de um certo indivíduo deixar descendentes na geração seguinte:

Teorema: *A taxa de crescimento do fitness médio de uma população é idêntico a variância do fitness médio a cada momento.*

A formulação acima é uma das mais usuais do teorema de Fisher; no entanto sua boa compreensão exige uma olhar mais apurado na demonstração. De facto, o que está por trás deste teorema é um lema que afirma que dada uma certa característica quantificável (traço) e que se mantenha de pai para filho,

então a diferença do valor médio deste traço entre duas gerações sucessivas é igual a covariância entre o traço e o *fitness* da geração antecessora. Aplicando o lema ao próprio *fitness*, temos o teorema acima. (A equação de Price generaliza o resultado de Fisher para ambientes variáveis, mas não veremos este resultado aqui [15].)

Como a variância é sempre não negativa, então uma consequência imediata é que o *fitness* médio é não decrescente, sendo constante apenas quando assume o mesmo valor em todos os indivíduos.

No entanto, a afirmação de que o *fitness* se mantém de pai para filho é extremamente forte: exclui uma grande categoria de características cuja modelação requer, geralmente, o uso da teoria de jogos.

Esta foi introduzida por Von Neumann e Morgenstern [16] no estudo de jogos e do comportamento económico. Posteriormente, Nash introduziu o conceito de equilíbrio que leva o seu nome. Nash era sobretudo um matemático, e apresentou duas demonstrações distintas da existência de equilíbrio, ambas baseadas centralmente em resultados generais. No primeiro caso, no teorema do ponto fixo de Kakutani [17]; no segundo, no teorema de Brouwer [18], um resultado geral que garante a existência de um ponto fixo em qualquer aplicação contínua do disco de qualquer dimensão em si próprio.

O equilíbrio de Nash tornou-se um conceito central em economia: a existência, em condições muito gerais, de uma configuração onde cada agente económico maximiza a sua utilidade. Para isto, foi necessário introduzir, do ponto de vista da modelação do problema real, o conceito de "racionalidade": cada um escolhe a estratégia que maximiza seu ganho.

Na biologia, evidentemente, não podemos usar tal conceito; no entanto, Maynard Smith e Price [18,19] pensaram na teoria de jogos de forma dinâmica: cada indivíduo faz aquilo para qual é geneticamente programado a fazer. Alguns destes comportamento serão bem sucedidos, outros nem por isto. O resultado é que a quantidade de descendentes deixada por cada tipo presente na população será variável, gerando uma dinâmica nas frequência. Os pontos de equilíbrio desta dinâmica serão, em algum sentido, o equivalente ao equilíbrio de Nash para os jogos evolutivos.

Assim, introduziram o conceito de estratégias evolutivamente estáveis (ESS). Dizemos que uma certa estratégia é um ESS se existir uma barreira de invasão positiva para qualquer grupo de indivíduos de estratégia distintas (mutantes). Como o conjunto de estratégias possíveis é compacto, existe uma barreira global. Isto significa que qualquer grupo pequeno de mutantes, ao entrar em uma população, terá um *fitness* médio inferior ao dos residentes. Desta forma sua frequência diminuirá na geração seguinte e tenderá a desaparecer com o tempo.

Apesar da ideia apelativa, um ESS não é necessariamente um atrator da dinâmica; antes pelo contrário é um estado que, ao ser atingido não é possível escapar (pelo menos com uma quantidade pequena de mutantes; quando permitimos grandes quantidades de indivíduos desviantes, a situação é distinta).

Claramente, as ideias dinâmicas percorrem a discussão anterior. Isto permitiu a Taylor e Jonker [20] definir a *dinâmica do replicador.* A taxa de variação (derivada temporal) da frequência relativa de um dado tipo é proporcional a diferença entre o *fitness* do tipo e o *fitness* médio da população. Imediatamente este é um sistema de *n-1* equações diferenciais (onde *n* é o número de tipos presentes na população). As técnicas de estudo são aquelas clássicas da teoria de equações diferenciais ordinárias, e, evidentemente, de sistemas dinâmicos. Veja também [21].

Uma ideia que está sempre por trás do uso de equações diferenciais na dinâmica populacional é que a quantidade de indivíduos na população em estudo é infinita. Claro que esta hipótese é irreal; no entanto (e esta é a expectativa), deve servir como boa aproximação quando a população é, de facto, muito grande.

Para corresponder a expectativa acima, devemos modelar uma população finita (e há muitas maneiras de fazer isto) e verificar se os resultados de interesse obtidos neste caso convergem (em algum dos muitos sentidos que esta palavra adquire em uma teoria matemática) para aqueles obtidos com o uso de equações diferenciais.

Uma primeira maneira de modelar a evolução de uma população finita é usar o chamado processo de Moran [21] (os resultados abaixo mantêm-se mesmo quando usamos o mais realista processo de Wright-Fisher [9,22]; de facto, é expectativa do autor que eles valham em condições muito mais gerais do que aquelas exigidas por estes dois processos).

O processo de Moran é definido de uma forma muito simples: considera-se uma população de tamanho fixo N, composta por dois tipos de indivíduos. Calcula-se o *fitness* de cada um dos tipos (a forma exata de cálculo depende da modelação do problema, sendo o mais usual considerar todos os possíveis pares, calcular o *fitness* a partir de sua identificação, em cada encontro, com o ganho dado por uma certa matriz dada e usando os conceitos de teoria de jogos; ou então simplesmente considerar os *fitness* constantes – o que é um caso particular do anterior); depois escolhe-se um indivíduo para morrer com probabilidade $1/N$ e outro (possivelmente o mesmo) para reproduzir com probabilidade proporcional ao *fitness*.

Continuamos este processo até que um estado estacionário seja obtido. Não é difícil perceber que os únicos pontos fixos desta dinâmica são dados pelos estados homogéneos (ou seja, toda a população de um mesmo tipo). Portanto, estes devem ser o estado final, sendo possível calcular a probabilidade de fixação (ou extinção) de um dado tipo.

Parece, a primeira vista, que temos um resultado em desacordo com o uso de equações diferenciais no mesmo problema, pois neste caso é possível termos estados estacionários para populações não homogéneas (como é o caso do exemplo que motivou a criação da teoria evolutiva dos jogos, o jogo conhecido como de Pombas e Falcões, que modela a evolução da agressividade animal).

O ponto central é que os processos discretos possuem estados transientes que, grosso modo, duram um tempo crescente com N. Desta forma, quanto maior a população, mas relevante será este estado. Uma população infinita, quando modelada via equações diferenciais, deve ser comparada com com o estado transiente e não com o estado final.

Do ponto de vista da álgebra linear, a modelação usando um processo discreto baseia-se em matrizes estocásticas. Estas têm sempre um valor próprio unitário, que descreve os estados estacionários finais. A equação diferencial surge a partir do estudo do maior valor próprio menor do que um, ou seja, do segundo valor próprio (que descreve o estado transiente mais relevante).

Assim, considerando que uma população é, na verdade, sempre finita, temos que a validade de uma equação diferencial como modelo para a dinâmica de uma população finita será necessariamente limitada no tempo (tão maior será a validade quanto maior for a população). Para estendermos a validade além deste limite devemos usar um modelo baseado em equações com derivadas parciais.

Mais especificamente, partindo da matriz de transição do processo de Moran, considerando populações progressivamente maiores e intervalos entre as sucessivas gerações Δt cada vez mais pequenos (mais

geralmente, relacionando ambos por $\Delta t=1/N^2$), e assumindo uma hipótese conhecida como "*weak selection principle*" (que não será discutido) obtemos que a $p(t,x)$, que descreve a densidade de probabilidade de encontrarmos uma eneral x de mutantes no instante t satisfaz uma equação a derivadas parciais

$$\partial_t p = \frac{1}{2}\partial_x^2 \left(x(1-x)p\right) - \partial_x \left(x(1-x)(\psi^{(A)}(x) - \psi^{(B)}(x))p\right)$$

definida para x no intervalo fechado de 0 a 1 [23].

A equação acima é a adjunta (num sentido clássico, chamado backward/forward de Kolmogorov) de uma importantíssima equação de genética populacional, chamada a equação de Kimura [24,25].

Esta equação tem coeficiente de difusão degenerado (igual a zero na fronteira do intervalo) o que gera alguma dificuldade em sua análise. Desta forma, é impossível fixar condições de fronteira (as fronteiras são absorventes, e portanto nada do que aconteça na fronteira pode afetar o interior do intervalo); assim a unicidade da solução (que deve ser o limite da solução do caso discreto) é garantida por outra via. Temos que obter leis de conservação do caso discreto (que são dadas pelos enerals próprios da matriz de transição adjunta) e eneralso-las para o caso limite.

Uma boa parte da matemática necessária para o estudo da equação acima teve que ser desenvolvida pelos autores. Infelizmente, vários resultados são específicos, e a situação geral ainda não está clara. De qualquer forma, como muitos outros exemplos de limites contínuos de processos discretos estão a ser trabalhados, temos a expectativa de que através de uma profusão de exemplos, a situação global comece a ser clarificada.

A análise toda acima omite um fator que dia após dia vem sendo considerado fundamental para a análise da evolução. Esta é, naturalmente, um processo em multi-escala [26]. Ou seja, genes organizam-se em indivíduos, indivíduos em sociedade, com todo tipo de organização intermédia. A evolução atua em todos estes níveis. No entanto, apesar de ser possível simular a evolução em vários níveis há uma carência clara na formulação de conceitos (como equilíbrio de Nash, por exemplo) para jogos com este grau de sofisticação.

Jogos de vários níveis tem sido usado com sucesso para o estudo por exemplo da evolução da ética, da cooperação e das normas sociais [27,28,29]. De facto, é genericamente aceite que a evolução em multi-nível é mais relevante para o estudo da evolução social do que da evolução biológica (é importante que haja um fluxo migratório relevante das unidades básicas de evolução – os genes no caso da biologia e os memes no caso da evolução social – de forma que haja alguma forma de generalização entre os vários níveis). Tais estudos tem sido feito, quase sem exeção, de forma numérica, havendo uma enorme lacuna de conhecimento matemático no estudo do que alguns chamam de "metapopulações". Este é apenas mais um exemplo onde mais trabalho rigoroso se mostra fortemente necessário.

Gostava finalmente de terminar chamando a atenção dos estudantes que a relação entre matemática e biologia vai muito além das "aplicações da matemática a biologia". Apesar de a história não ser tão longa quanto a das relações com a física, não há dúvida que este campo de trabalho não é mais uma promessa para o futuro, mas já um dos assuntos mais ativos da ciência moderna.

BIBLIOGRAFIA

1 – J. E. Cohen. Mathematics Is Biology's Next Microscope, Only Better; Biology Is Mathematics' Next Physics, Only Better. *PloS Biol* 2(12): e439 (2004).

2 – B. Sturmfeld. Can Biology Lead to New Theorems? Annual Report 2005 of the Clay Mathematics Institute (2005).

3 – Leonardo Pisano Bogollo (Fibonacci). Liber Abaci (1202).

4 – L. Euler. Recherches enerals sur la mortalite et la multiplication du genre humain. *Mem. Acad. R. Sci. Belles Lett. (Belg.)* 16, pp. 144–146 (1760).

5 – D. Bernoulli. Essai d'une nouvelle analyse de la mortalité causée par la petite vérole. *Mem. Math. Phy. Acad. Roy. Sci. Paris, anée 1760 (1766).*

6 – Leslie, P.H. The use of matrices in certain population mathematics. *Biometrika*, 33(3), 183–212 (1945).

7 – P. F. Verhulst. Notice sur la loi que la population poursuit dans son accroissement. Correspondance mathématique et physique 10: pp. 113–121 (1838).

8 – N. Bacaer. Histoires de mathématiques et de populations, Editions Cassini (2009).

9 – W. J. Ewens. Mathematical Population Genetics, Springer (2004).

10 – C. Darwin. On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life, John Murray (1859).

11 – J. G. Mendel. Versuche über Pflanzenhybriden Verhandlungen des naturforschenden. *Vereines in Brünn, Bd. IV für das Jahr, 1865* (1866).

12 – G. H. Hardy. Mendelian proportions in a mixed population. *Science* 28: 49–50 (1908).

13 – W. Weinberg. Über den Nachweis der Vererbung beim Menschen. Jahreshefte des Vereins für vaterländische *Naturkunde in Württemberg* 64: 368–382 (1908).

14 – R. A. Fisher. The Genetical Theory of Natural Selection, Clarendon Press, Oxford (1930)

15 – G. R. Price. Extension of covariance selection mathematics. *Annals of Human Genetics* 35: 485-490 (1972).

16 – J. v. Neumann, and O. Morgenstern, Theory of Games and Economic Behavior. Princeton, NJ. Princeton University Press (1944).

17 – J. Nash. Equilibrium points in *n*-person games *Proceedings of the National Academy of Sciences* 36(1):48-49 (1950).

18 – J. Nash. Non-Cooperative Games *The Annals of Mathematics* 54(2):286-295 (1951).

18 – J. Maynard Smith. Evolution and the Theory of Games. Cambridge University Press (1982).

19 – J. Maynard Smith. And G. R. Price. The logic of animal conflict, *Nature* 246:15-18 (1973).

20 – P. D. Taylor, P.D. and L. Jonker. Game dynamics and evolutionarily stable strategies, *Mathematical Biosciences* 40 145-156 (1978).

21 – J. Hofbauer and K. Sigmund. Evolutionary Games and Population Dynamics. Cambridge University Press (1998).

21 – P. A. P. Moran The Statistical Processes of Evolutionary Theory, Clarendon Press (1962).

22 – M. Nowak. Evolutionary Dynamics: exploring the equations of lfe. Belknap/Harvard (2006).

23 – F. A. C. C. Chalub and M. O Souza. From discrete to continuous evolution models: A unifying approach to drift-diffusion and replicator dynamics *Theoretical Population Biology* 76 (4), 268-277 (2009).

24 – M. Kimura. Solution of a process of random genetic drift with a continuous model. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 41: 144-150 (1995).

25 – M. Kimura. On the probability of fixation of mutant genes in a population. *Genetics*, 47: 713-19 (1962).

26 – L. Keller (ed). Levels of Selection in Evolution. Princeton University Press (1999).

27 – H. Ohtsuki, Y. Iwasa. 2004. How should we define goodness?– reputation dynamics in indirect reciprocity. *J. Theor. Biol.* 231 (1), 107–120 (2004). Erratum in: *J. Theor. Biol.* 232(4), 451 (2005).

28 – J. M. Pacheco, F. C. Santos and F. A. C. C. Chalub, Stern-judging: A simple, successful norm which promotes cooperation under indirect reciprocity. *PloS Comput. Biol.* 2 (12):e178 (2006).

29 – F. A. C. C. Chalub, F. C. Santos and J. M. Pacheco, The Evolution of Norms. *Journal of Theoretical Biology* 271 (2) (2006)

(Comunicação apresentada à Classe de Ciências
na sessão de 7 de maio de 2009)

Darwin and the somatic evolution of cancer

Jorge M. Pacheco[1], David Dingli[2]

Abstract

Hematopoiesis is the process responsible for maintaining the number of circulating blood cells that are undergoing continuous turnover. At the root of this process are the hematopoietic stem cells (HSC) that replicate slowly to self-renew and give rise to progeny cells that proceed along the path of differentiation. The process is complex with the cells responding to a wide variety of cytokines and growth factors. We discuss the mathematics of hematopoiesis based on stochastic cell behavior. Multiple compartments are introduced to keep track of each cell division event and increasing differentiation. The mathematical model is not only able to account for well-known features of hematopoiesis but it is also applicable to hematopoiesis across mammals and can be used to understand the dynamics of various disorders both in humans and in animal models. The fact that these dynamical processes are evolutionary conserved in nature brings cancer dynamics into contact with Darwinian evolution, providing a new perspective of looking at cancer progression and cure.

INTRODUCTION

Blood is composed of a variety of cells suspended in a fluid medium known as plasma. Circulating blood cells have a finite lifespan and are continuously being replaced by new cells produced in a process known as hematopoiesis. During post-natal life, in humans, hematopoiesis is restricted to the bone marrow, but in other mammals, the spleen can also contribute to blood cell formation. The average life-time of an erythrocyte (red blood cell) in humans is 120 days, neutrophils stay in the circulation for about 12 hours, while platelets survive in the circulation for approximately 14 days. In order to maintain relatively constant numbers of circulating blood cells, the total output from the bone marrow in a healthy adult human is of the order of 3.5×10^{11} cells per day [1]. This number is increased under conditions of higher demand (e.g. bleeding, infection or injury) or as a result of neoplastic transformation of hematopoietic cells as occurs in chronic myeloid leukemia (CML) [2] or polycythemia vera (PV) [3]. At the root of blood formation are the hematopoietic stem cells (HSC) that reside in the bone marrow [4,5]. The presence of these cells was initially inferred from bone marrow reconstitution experiments after total body irradiation in mice[4]. HSC make

[1] ATP – Group, Instituto para a Investigação Interdisciplinar, P-1469-003 Lisboa Codex, Portugal.
Departamentro de Matemática e Aplicações, Universidade do Minho, 4710-057 Braga, Portugal.
Academia das Ciências de Lisboa, 19, 1249-122 Lisboa, Portugal.
[2] Division of Hematology and Department of Molecular Medicine, Mayo Clinic Rochester, MN, United States of America.

bone marrow transplantation possible, a procedure that has provided curative therapy for a variety of otherwise lethal genetic/metabolic or neoplastic disorders [6]. Several investigators have developed models that capture this process at various levels of complexity [7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17]. Many of these models were developed with specific conditions in mind such as cyclic hematopoiesis [18] or hematopoietic reconstitution after stem cell transplantation. These models typically rely on differential equations, sometimes with delay to accommodate the diverse dynamics of hematopoietic disorders, but all models, to some extent 'compartmentalize' hematopoiesis based on the known physiology of the process. Although differential equations are excellent for modeling large populations, it is becoming clearer that the poolsizes of active HSC and the most primitive progenitors are small and so stochastic effects can be important. Moreover, it is now increasingly accepted that the behavior of individual cells throughout hematopoiesis is stochastic in nature [19,20]. Hence we shall employ here a stochastic model of hematopoietic cells and discuss our approach to modeling this process for human and other mammalian species [21].

Understanding the architecture and dynamics of hematopoiesis requires knowledge of HSC dynamics, although this is by no means sufficient. Hence, we start by considering the number of HSC that are contributing to blood formation, the rate of replication of these cells and how this pool of cells changes during human growth from birth to adult life. Subsequently, we discuss a model that connects HSC dynamics and bone marrow output as seen in healthy adults. Given the similarities of hematopoiesis in mammalian species, we show how allometric principles can be used to unify the dynamics of hematopoiesis across mammals.

Hematopoietic cells divide and differentiate under the influence of the marrow microenvironment that provides the necessary cues in the form of cell-to-cell contacts, cytokines and growth factors [22]. This environment also relates the cells together in space imposing a functional architecture on the process. Hence, hematopoietic cells together with the cues emanating from the rest of the body (e.g. erythropoietin, androgens, glucocorticoids, colony stimulating factors etc.) engage in a dynamic process that is able to rapidly respond, as a whole, to the various demands for cellular output.

When things go wrong, we face bone marrow disorders, which can be classified into either "failure syndromes" where one or more blood cell lineage is reduced or absent or "myeloproliferation syndromes" where one or more cell lineages are produced in excess. In particular, mutations in the stem cell compartment can give rise to the appearance of "new cell species", which compete with wild-type cells, very much in the same way, albeit at a nearly microscopic scale, that species compete for survival in macroscopic ecosystems. Cancer can then be modeled as an evolving eco-system, where Darwin's theory of natural selection plays a ubiquitous role. We briefly discuss some applications of our approach to understand the dynamics of a variety of disorders including chronic myeloid leukemia (CML) and paroxysmal nocturnal hemoglobinuria (PNH). We chose these disorders because in our view they illustrate different aspects of abnormal evolutionary dynamics in hematopoiesis.

HEMATOPOIETIC STEM CELLS

Active and reserve HSC

How many stem cells actively contribute to hematopoiesis in a given adult mammal? Until now, no unambiguous answer has been provided in the laboratory. Studies from patients with chronic granulomatous disease [23] suggest a number around 400, whereas experimental studies in patients who

underwent bone marrow transplantation indicate that, after the procedure, hematopoiesis is maintained by ~111 stem cells [24]. On the other hand, the demands on hematopoiesis are clearly different across mammals [25]: The total marrow output during the lifetime of a mouse is roughly the same as an adult human produces in a day. But what kind of HSC are we talking about? HSC are operationally divided into an 'active' pool (N_{SC})where cells are dividing and contributing to hematopoiesis and a 'reserve compartment' in which the cells are inactive and may be called upon to divide as necessary [26]. The current view is that cells in the active compartment occupy specific stem cell niches, and divide 'asymmetrically' so that one daughter cell remains in the HSC compartment that is, remains a stem cell (self--renewal) while the other starts the path towards differentiation (Figure 1). There is some evidence that once a HSC is selected to contribute to hematopoiesis, it can do so for a very long time, if not the lifetime of the mammal [27]. Indeed, it has been proposed that clonal succession in large mammals does not occur or perhaps occurs so slowly that it is very difficult to detect [28]. These observations have important implications on the evolution of mutant clones in the active HSC compartment [29,30,31]. In particular, under normal conditions one expects the active pool of HSC not to change in size.

Scaling of Active HSC across Mammals

In order to understand the current body of evidence, while providing a quantitative answer to the question posed at the start of this section, one may resort to allometric principles [32] combined with the above definitions of active and reserve HSC pools. In biological systems, many observables (Y) related typically to nutrient transportation, such as metabolic rate, tree trunk thickness etc often scale with mass as $Y \sim Y_0 M^b$ where b is typically a multiple of ¼.

Competing explanations for the origin of these exponents exist [33,34,35]. With respect to HSC and hematopoiesis, we note that (i) hematopoiesis has appeared only once during evolution (the similarities between the process across mammals support this), (ii) although hematopoiesis is distributed across various bones, it is functionally coupled by the circulation and so HSC effectively function collectively, and (iii) from the definition of the HSC, every active HSC is equally represented in the circulation of a given mammal. Under these premises, we can provide an allometric estimate of the size of the active stem cell pool in mammals (N_{SC}) as a function of their mass [36]. The best marker of cellular marrow output

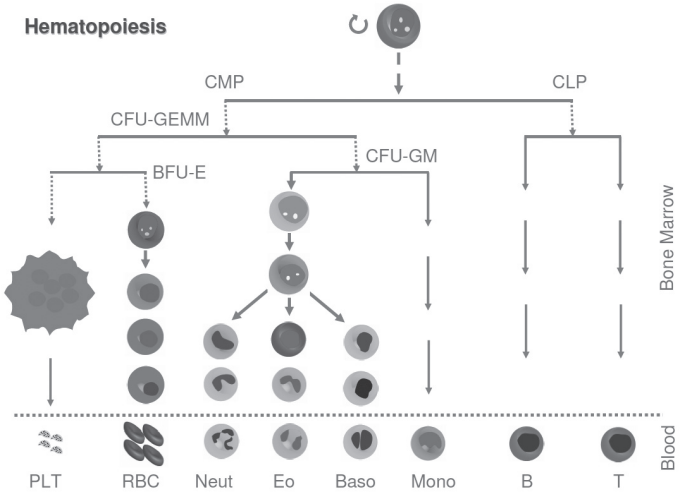


Figure 1

Hematopoietic tree. Hematopoiesis has a tree-like structure with the hematopoietic stem cells at the root of the process. Each cell division gives rise to progeny cells that can retain the properties of their parent cell (self-renewal, ↻) or differentiate, "*moving down*" the hematopoietic tree. As the progeny move further away from the HSC, their pluripotent ability is increasingly restricted (CMP: common myeloid progenitor; CLP: common lymphoid progenitor; BFU-E: erythroid burst forming unit; CFU-GM: granulocyte-macrophage colony forming unit).

is the total circulating reticulocyte count (R_T) that can be estimated in many mammals from knowledge of the blood volume, the red cell count and the percentage of reticulocytes present in the circulation. Taking into account the variable maturation rate of reticulocytes across species, we determined that R_T scales with the mass of the adult mammal as $R_T \sim M^{¾}$ [36]. From (iii) above, we are led to conclude that $N_{SC} \sim M^{¾}$. Therefore, if N_{SC} and the mass of *any* adult mammal are known, one can determine N_{SC} for *any other* adult mammalian species. Fortunately, this relationship has been determined for cats, allowing us to estimate that in humans $N_{SC} \approx 400$, in agreement with experimental observations [23]. The same relationship suggests that after bone marrow transplantation, a typical adult has $N_{SC} \approx 116$, again in excellent agreement with experimental data [24]. The scaling $N_{SC} \sim M^{¾}$ enables us to explore the size of the hematopoietic stem cell pool of other mammalian species. Our model predicts that 1 HSC can maintain hematopoiesis in a mouse for its lifetime [36], a prediction that is supported by experimental observations [37,38]. Naturally, this lower limit extends to the smallest mammal, a shrew with a mass of 3 gram. On the other hand, while there is no experimental validation of the active SC pool in elephants, our scaling predicts that an Asian Elephant (*Elephas maximus*, ~ 4500 kg) has an active stem pool comprising ~9600 cells. Naturally, the species specific HSC replication rate (B) also follows an allometric relationship with adult mass: HSC replicate at a rate which decreases with increasing mass ($B \sim M^{-¼}$) [36]. Interestingly, it has been proposed that the total number of hematopoietic stem cells is conserved across mammals [39], the total number lying somewhere between 11000 and 22000. Although there is (albeit limited) evidence that the number of HSC may be constant across mammals ranging from mice, rats to cats and humans and possibly elephants [25,40,41,42], this result apparently contrasts with the allometric considerations above. However, the estimates of $\sim 10^4$ stem cells do not distinguish between the active and the reserve pool. Our allometric estimates concern the active stem cell pool. Hence, it is gratifying that our estimates do not exceed the limits proposed even when extrapolated to the largest terrestrial mammals.

Implications on HSC dynamics

Since HSC are long lived cells, they are a population at risk of acquired mutation. The risk of mutation is related to their rate of replication, the number of cells and the lifetime of the animal [43]. Mutations in these cells can have serious implications leading to various tumors (e.g. CML [44], polycythemia vera [3] and myelofibrosis with myeloid metaplasia) or acquired marrow failure syndromes (e.g. PNH [45]). Given the relatively small size of the active HSC pool in humans and their slow rate of replication, it can be shown that stochastic effects may exert important effects on the evolutionary history of mutant clones [30]. The implications of these dynamics include the possibility of clonal expansion (with neutral drift or due to a fitness advantage), clonal extinction or even stability, features that are compatible with various diseases [46,47,48,49,50].

A COMPARTMENTAL MODEL OF HEMATOPOIESIS

The normal output from human adult hematopoiesis is 3.5×10^{11} cells per day [1]. However, the number of active HSC is ~ 400 cells, each dividing ~ once per year. This implies that the process scales across 9 orders of magnitude with respect to amplification, while cell replication rates vary from once a year to more than once a day. Experimental work suggests that hematopoiesis is organized in a tree-like structure involving many steps associated with progressive cellular replication and differentiation (Figure

1). At the root of the process lie the HSC that give rise to more committed progenitors. Interestingly, self--renewal is not a property restricted to HSC alone – more differentiated progenitors can also self-renew [51], albeit to a more limited extent and they can only give rise to a more restricted repertoire of cells. In other words, 'stemness' is a matter of degree – only the cells that lie at the root of the hematopoietic tree can give rise to all types of circulating blood cells.

Understanding the architecture and dynamics of hematopoiesis requires a determination of (i), the number of replication steps linking HSC to the cells found in the circulation [1], (ii) the rate at which the intermediate cells replicate, and (iii) the probability that the cells differentiate versus self-renewal. Moreover, it is thought that individual cell fate is determined stochastically [19,20], meaning that probabilistic considerations have to be accommodated. We have developed a model that captures many of the features of hematopoiesis based on the concept of compartmentalization (Figure 2) [21]. These compartments should not be considered as discrete anatomical structures but simply as a convenient accounting tool to keep track of the fate of each cell. The smallest compartment houses the active HSC, while the last (largest) compartment houses the cells that are leaving the bone marrow to enter the circulation.

For the purpose of the model, whenever a cell divides, both daughter cells have the same fate: they either differentiate or retain the properties of their parent (Figure 2). Although our model does not allow for asymmetric division of individual cells, on a population level, asymmetric cell division can be readily accommodated. A detailed analysis of the impact of the symmetry of cell division on evolutionary dynamics of mutations has been presented elsewhere [29]. We consider the dynamics in a compartment κ that harbors N_κ cells. Whenever a cell is chosen to divide, with probability ε both daughter cells differentiate and move to the next downstream compartment ($\kappa + 1$) and with probability $1 - \varepsilon$, both daughter cells remain in the same compartment (self-renewal) (Figure 2).

The rate of replication of cells in compartment κ is given by r_κ and the number of cells in any compartment remains constant (on average) since cells that are lost from one compartment due to differentiation are replaced by input from the upstream compartment ($\kappa - 1$) (Figure 2). These 'rules' apply to all compartments except the first that harbors the HSC since these cells undergo self-renewal and differentiation with equal probability to maintain their own population and provide cells to the next downstream compartment. In other words, $\varepsilon_0 = 0.5$. Finally, the output from the last compartment C reflects hematopoietic cell output.

In the absence of more specific data, we shall assume that ε is the same across

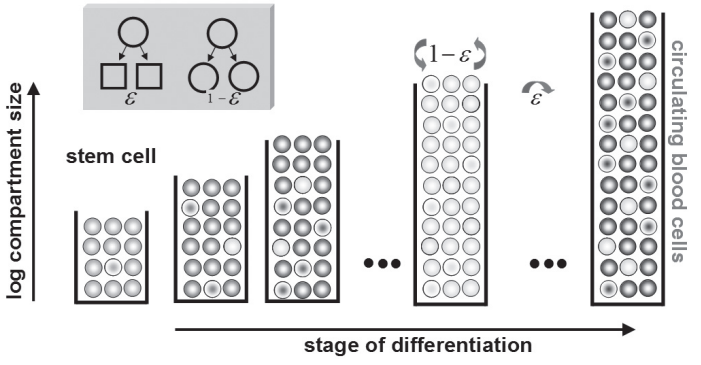


FIGURE 2

Compartmental model of stochastic hematopoiesis. Compartments represent different stages of cell differentiation. Normal cells (different colors) are represented with bright centers. Mutations may give rise to new cell lineages, often identified with cancer cells, here represented with dark centers. In each compartment, cells differentiate with probability ε, thereby "moving" into the subsequent compartment, whereas with the complementary probability they remain in the same compartment, contributing to self-renewal. The compartmental model of hematopoiesis allows one to identify how many stages of cell differentiation mediate between HSC and circulating bone cells, how long does a cell remain in each compartment, how often it divides in each compartment, etc. (see main text for details).

all compartments (see below). In any given time step, compartment κ loses on average $(2\varepsilon - 1) \cdot N_\kappa \cdot r_\kappa$ cells: with probability ε the compartment loses $N_\kappa \cdot r_\kappa$ cells per unit time step, and gaining new $N_\kappa \cdot r_\kappa$ cells with probability $(1 - \varepsilon)$. This net loss is compensated by replenishment from compartment $\kappa - 1$, by an amount that on average is given by $2\varepsilon \cdot N_{\kappa-1} \cdot r_{\kappa-1}$ per unit time: with probability ε, $2N_{\kappa-1} \cdot r_{\kappa-1}$ cells are exported from compartment $\kappa - 1$ into compartment κ per unit time step. Under stationary conditions, it follows that

$$2\varepsilon\, N_{\kappa-1} r_{\kappa-1} = (2\varepsilon - 1) N_\kappa r_\kappa \,. \quad (1)$$

If we assume further that $r_k / r_{k-1} = r$, equation (1) can be rearranged to yield

$$\frac{N_k}{N_{k-1}} = \gamma \equiv \frac{2\varepsilon}{2\varepsilon - 1} \cdot \frac{1}{r} \quad . \quad (2)$$

To the extent that $\gamma > 1$ one obtains an exponential increase in the size of each compartment [21].

In order to determine the model parameters, we utilized quantitative data for granulopoiesis since various stages of this process can be accurately determined from morphologic evaluation of the bone marrow. In this process, $\approx 10^{10}$ myeloblasts give rise to $\approx 1.4 \times 10^{11}$ myelocytes, a process that requires four divisions [52,53]. This input together with equation (2) leads to $\gamma \approx 1.9$. Equation (2) can be rearranged to estimate also the minimum number C of compartments that separate the HSC from the most mature cells. Since we know $N_0 = N_{SC}$ and N_C we get $C \approx 31$.

HSC on average replicate once per year [1,54] while the most committed granulocyte precursors can replicate up to 5 times per day [55]. Hence $r \approx 1.27$ and, from equation (1), we finally obtain $\varepsilon \approx 0.84$. This means that while cells retain a limited self-renewal capability, most replication events lead to cell differentiation. This is compatible with observations based on pulse-chase experiments [55].

Our model parameter estimates are based on the well defined data for marrow output, but the size of the active HSC may be more model dependent. Hence, we determined the robustness of parameters r and ε over a range of values of HSC for the same daily marrow output. We found that these parameters changed less than 4% when the active HSC was varied from 1 to 4000 cells, suggesting that these values are quite robust and 'characteristic' of hematopoiesis [21].

Testing the model

The model predicts that at least 31 divisions occur between HSC and circulating blood cells. This estimate is similar to what has been determined based on serial telomere shortening experiments [1,54]. Moreover, our model can determine the compartment where a neutral mutant clone appeared based on the fraction of the circulating mutant cells. It can also determine the life-time of such a clone based on its size. We utilized these features to test the model independently.

It is known that healthy adults have small populations of circulating neutrophils and erythrocytes that lack expression of GPI linked proteins such as CD55 and CD59 [56]. These cells have total or partial deficiency of *PIG-A*, an enzyme subunit required for GPI biosynthesis. Mutant cells can be detected using flow cytometry due to loss of specific cell surface proteins (e.g. CD55 and CD59) [45,57]. The *PIG-A* gene accumulates mutations at a normal rate [58] and since both neutrophils and erythrocytes lack these proteins, the mutation has to occur at the level of the CFU-GEMM (Figure 1). In healthy adults, the

frequency of mutant cells is of the order of $10 - 51/10^6$ neutrophils [56]. One can mathematically show that at any one time, it is more likely that a single founder clone is responsible for these mutant cells[31,59]. This implies that the mutation had to occur in one of 20,000 to 100,000 CFU-GEMM cells. The model would place these cells within compartments 5 to 8 ($\kappa = 5 - 8$) and estimate that these clones will persist between 61 and 120 days (with the longer times for the smaller compartment). This prediction is in excellent agreement with the reported observations [56].

Cell behavior across species

Humans are the best studied mammals and the model presented can accommodate a variety of human disorders without any modification [31,50,59,60,61]. However, the model is not restricted to humans and application of this framework to other well studied mammals would strengthen its credibility. Given that hematopoiesis emerged only once in evolution, we assume that hematopoiesis in other mammals exhibits the same tree-like structure, which scales with mass in the same way as $N_{SC}(M)$. Consequently, each adult species is characterized by its mass, with $N_{SC}(M) = N_0 M^{3/4}$ ($N_0 \approx 15.9 kg^{-3/4}$) [36] while the rate of HSC replication scales as $R(M) = R_0 M^{-1/4}$ ($R_0 \approx 2.9 kg^{1/4}\, yr^{-1}$) [36]. The size of each compartment (κ) grows as $N(\kappa) = N_{SC}(M)\gamma^{\kappa}$ while the compartment specific replication rate scales as $r(\kappa) = R(M)r^{\kappa}$ [21,62]. Using these relationships, the marrow output and HSC replication rates in various mammals can be determined and compared to experimental observations [62]. Model predictions for various mammalian species [62] are in remarkable agreement with what has been observed experimentally and provide support for the concepts and assumptions used to generate this model of hematopoiesis.

Interestingly, the average lifespan (L) of mammals (in the wild) also tends to scale allometrically with mass as $L(M) = L_0 M^{1/4}$ ($L_0 \approx 8.6 kg^{-1/4}\, yr$) [43]. The total number of divisions (T) that a HSC undergoes depends on the replication rate of the cell and on the lifespan of that mammal. Therefore, $T \sim M^{-1/4} \cdot \mathrm{M}^{1/4} \sim \mathrm{M}^0$, meaning that the total number of divisions that a typical HSC undergoes is independent of mass and should be similar across all mammalian species [62]. This result supports the Hayflick hypothesis which suggests that the number of divisions a cell can undergo is fixed [63], while providing a theoretical foundation for the suggestion by Shepherd et al [64]. These arguments which suggest that the HSC replication rate is dictated by the metabolic rate of the host species are also supported by experimental evidence. A single human HSC can rescue a lethally irradiated mouse with reconstitution of hematopoiesis [37,38]. If HSC had an 'intrinsic' (or built in) rate of replication (~1/year in the human body), it would not be possible for the mouse to survive such an experiment since it will take a very long time for hematopoiesis to recover. Rather, the murine environment and metabolism imposes a replication rate that is characteristic of the species in which the cell is hosted.

THE SOMATIC EVOLUTION OF HEMATOPOIETIC STEM CELL DISORDERS

So far we have been addressing normal hematopoiesis. However, the model should be capable of addressing also hematopoietic disorders, given the view of these as a stochastic competition between different cell lineages, under mutation-selection dynamics, across the hematopoietic tree. In this context, we believe the model discussed so far is ideally suited to model hematopoietic disorders

under this paradigm. As a result, the model has been used to understand the dynamics of chronic myeloid leukemia (CML) [61] in the presence and absence of therapy, and the clonal origin and evolution of multiple clones in paroxysmal nocturnal hemoglobinuria (PNH) [31,50,59]. Here we shall briefly address the evolutionary dynamics of CML and PNH and refer the readers to the appropriate references where the use of this model to understand such a diverse group of pathological states is discussed in depth.

Chronic myeloid leukemia

CML is the best studied human tumor and is characterized by the *bcr-abl* oncoprotein [44]. The disease starts in a HSC and is characterized by myeloproliferation and a high risk of transformation to acute leukemia. The disease burden can be monitored by quantitative reverse transcriptase polymerase chain reaction (Q-RT-PCR) and targeted therapy in the form of tyrosine kinase inhibitors such as imatinib is available. We used serial *bcr-abl* quantitation from patients treated with imatinib to determine (i) the number of leukemic stem cells driving the disease, (ii) the phenotypic effect of *bcr-abl* expression on CML cells, (iii) the fraction of CML cells responding to therapy and (iv) the effect of imatinib on the leukemic cells [61].

Our model naturally fits the 'two-slope' curve of the decline in *bcr-abl* with time due to therapy [65,66] – see Figure 3. This observation is due to the architecture and dynamics of hematopoiesis and how it is disturbed by CML itself. The model suggests that a single leukemic stem cell may be enough to drive CML [61]. Interestingly, the effect of *bcr-abl* is to enhance the self-renewal of CML progenitors ($\varepsilon_{CML} < \varepsilon_0$) leading to both myeloproliferation and increased hematopoietic output. This also implies that CML cells undergo a higher number of divisions before they appear in the circulation (Figure 3). These model predictions have experimental validation [67,68]. Imatinib reduces the fitness of mutant cells compared to normal ones, enabling the latter to take over hematopoiesis ($\varepsilon_{IMAT} > \varepsilon_0$). Moreover, at any time, perhaps 5% of the cells are reversibly responding to therapy [61]. The implications of stochastic dynamics on CML therapy are currently being evaluated. It is important to note that *bcr-abl* expression has no impact on the behavior of the leukemic stem cells. In other words, CML stem cell expansion can only grow by neutral drift, since they essentially do not 'feel' the effect of *bcr-abl* expression.

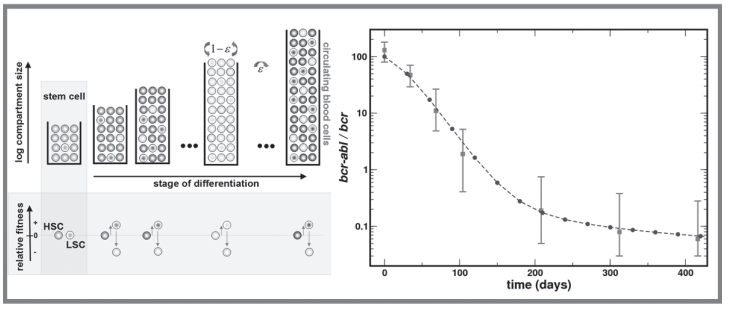


FIGURE 3

CML dynamics. We maintain the notation of Figure 2. In the lower left panel, we illustrate the relative fitness of each cell lineage in each compartment, which dictates the relative balance between the co-evolutionary dynamics of normal and cancer cells. Green cells represent cancer cells treated with imatinib, which, by changing their self renewal probability, effectively renders these cells disadvantageous with respect to normal (and cancer) cells, thereby reducing their impact in the overall evolutionary dynamics of CML (see main text for details). The right panel shows the impact of imatinib treatment on patients' disease burden as monitored by serial bcr-abl/bcr estimates, leading to the typical two-slope curve characteristic of this process.

Stochastic effects on CML dynamics

What is the impact of stochastic effects on CML? In humans this impact is sizeable and detectable, as illustrated in Figure 4.

Incorporating stochastic dynamics in our compartmental model of hematopoiesis turns out to be a non-trivial procedure. As a result we developed a hybrid model which allows us to decide how many of the 32 hematopoietic compartments should be treated stochastically. The results depicted in Figure 4 show that the stochastic effects extend well beyond the HSC compartment. First of all, our results show that in the overwhelming majority of patients the LSC population undergoes extinction before disease diagnosis (since the dynamics at the level of these cells follow a neutral Moran process). However, this is not the case for leukemic progenitors that have a fitness advantage in the absence of therapy. They are susceptible to imatinib treatment, and are the natural target for CML treatment. The model independently predicts a profile of the response dynamics to treatment which closely matches data from clinical trials. It further predicts that early diagnosis together with administration of imatinib opens the path to CML eradication, leading to the wash out of the aberrant progenitor cells, ameliorating the patient's condition while lowering the risk of blast transformation and drug resistance. In summary, imatinib can actually cure CML, despite not hitting HSC. These results illustrate the relevance of stochastic effects on the dynamics of acquired HSC disorders but also demonstrate how evolutionary dynamics can offer new insights towards fighting the "war on cancer".

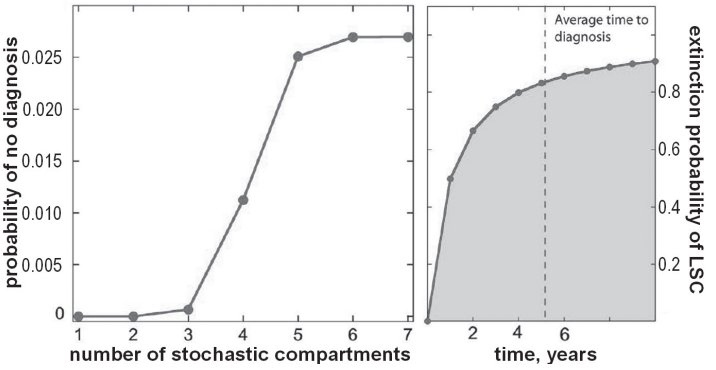


FIGURE 4

Stochastic effects on CML dynamics. On the left panel we show results for probability that CML is *not* diagnosed despite the disease being spawned by the appearance of a mutated stem cell in the HSC compartment. This probability has been computed by simulating one million virtual patients and computing the frequency of diagnosis. These simulations have been carried out treating stochastically a variable number of the smaller compartments, as indicated in the horizontal axes. The results indicate that treating more than the first 7 compartments stochastically may be redundant. On the right panel we plot the probability of stochastic extinction of leukemic stem cells in the HSC pool as a function of time, showing that, unlike conventional expectations rooted on deterministic thinking, stochastic extinction of the clone is a very likely event, both before and after diagnosis occurs.

Paroxysmal nocturnal hemoglobinuria

PNH is an acquired HSC disorder due to a mutation in the *PIG-A* gene leading to loss of many cell surface proteins that are anchored to the plasma membrane of cells via a phospholipid tag (GPI) [45]. The disease has many fascinating features including the presence of more than one distinct mutant clone (i.e. the same patient has two or more different clones with distinct mutations in *PIG-A*) [69], and despite the lack of specific, disease modifying therapy, a significant fraction of patients have resolution of the disorder [70]. The mechanism of clonal expansion is also unclear and a 'second hit' apart from *PIG-A* mutation has been considered necessary for clonal expansion since the *PIG-A* mutation itself does not give a fitness advantage to the cells. We utilized our model to show that (i) starting with a HSC that harbors a mutated *PIG-A*, it is most unlikely that a second independent mutation occurs in another HSC. Rather the second mutation will occur in a more committed cell such as a CFU-GEMM [31,50,59]. (ii) Similarly, we could determine that a second mutation in a different gene that enables clonal expansion would be unlikely, given that the mutation rate in PNH cells is normal [58].

The major issue then is to explain how the PNH clone expands to produce disease. To answer this question, we used stochastic simulations within the active HSC pool to map out the incidence of a mutation in *PIG-A*, and how that mutant cell can expand into a clone. We showed that neutral drift alone can lead to clonal expansion of the mutant and this is sufficient to explain the known incidence of the disease in the United States [50]. Moreover, our predictions of average clone size approach those that have been reported in large, population based studies. Finally, our model could predict the incidence of stochastic extinction of the clone – 12 to 15% which is in excellent agreement with what Hillmen et al reported [70]. Therefore, our model can provide rational explanations for many of the observed dynamics in this disorder.

DISCUSSION

Hematopoiesis is a highly complex process that results from the interactions between many different types of cells and the exchange of chemical messages between them. The process is rich in dynamics and has an underlying architecture that enables it to respond quickly to the various demands imposed by the body under both physiologic and pathologic conditions. Understanding these dynamics is essential if we want to make sense of a variety of pathological states that disturb this process. However, despite its complexity, the essential elements of blood cell formation can be captured by a model whereby cells divide and differentiate in a stochastic fashion. Although the model is 'coarse grained', its parameters are robust and seem to be applicable across mammals. The model is able to accommodate a variety of disorders including chronic myeloid leukemia, cyclic hematopoiesis and the clonal evolution and dynamics of paroxysmal nocturnal hemoglobinuria. Future work will build on this model so that it can be applied to an even wider range of hematopoietic disorders.

REFERENCES

1. Vaziri H, Dragowska W, Allsopp RC, Thomas TE, Harley CB, Lansdorp PM (1994) Evidence for a mitotic clock in human hematopoietic stem cells: loss of telomeric DNA with age. Proc Natl Acad Sci U S A 91: 9857-9860.
2. Holyoake TL, Jiang X, Drummond MW, Eaves AC, Eaves CJ (2002) Elucidating critical mechanisms of deregulated stem cell turnover in the chronic phase of chronic myeloid leukemia. Leukemia 16: 549-558.
3. Tefferi A (2003) Polycythemia vera: a comprehensive review and clinical recommendations. Mayo Clin Proc 78: 174-194.
4. McCulloch EA, Till JE (1964) Proliferation of Hemopoietic Colony-Forming Cells Transplanted into Irradiated Mice. Radiat Res 22: 383-397.
5. McCulloch EA, Till JE (2005) Perspectives on the properties of stem cells. Nat Med 11: 1026-1028.
6. Appelbaum FR (2007) Hematopoietic-cell transplantation at 50. N Engl J Med 357: 1472-1475.
7. Mackey MC (2001) Cell kinetic status of haematopoietic stem cells. Cell Prolif 34: 71-83.
8. Haurie C, Dale DC, Mackey MC (1998) Cyclical neutropenia and other periodic hematological disorders: a review of mechanisms and mathematical models. Blood 92: 2629-2640.
9. Haurie C, Dale DC, Mackey MC (1999) Occurrence of periodic oscillations in the differential blood counts of congenital, idiopathic, and cyclical neutropenic patients before and during treatment with G-CSF. Exp Hematol 27: 401-409.
10. Haurie C, Dale DC, Rudnicki R, Mackey MC (2000) Modeling complex neutrophil dynamics in the grey collie. J Theor Biol 204: 505-519.
11. Haurie C, Person R, Dale DC, Mackey MC (1999) Hematopoietic dynamics in grey collies. Exp Hematol 27: 1139-1148.
12. Colijn C, Mackey MC (2005) A mathematical model of hematopoiesis: II. Cyclical neutropenia. J Theor Biol 237: 133-146.
13. Colijn C, Mackey MC (2005) A mathematical model of hematopoiesis–I. Periodic chronic myelogenous leukemia. J Theor Biol 237: 117-132.

14. Shochat E, Stemmer SM, Segel L (2002) Human haematopoiesis in steady state and following intense perturbations. Bull Math Biol 64: 861-886.
15. Schmitz S, Franke H, Loeffler M, Wichmann HE, Diehl V (1996) Model analysis of the contrasting effects of GM-CSF and G-CSF treatment on peripheral blood neutrophils observed in three patients with childhood-onset cyclic neutropenia. Br J Haematol 95: 616-625.
16. Schmitz S, Loeffler M, Jones JB, Lange RD, Wichmann HE (1990) Synchrony of bone marrow proliferation and maturation as the origin of cyclic haemopoiesis. Cell Tissue Kinet 23: 425-442.
17. Wichmann HE, Loeffler M, Herkenrath P, Gerhardts MD, Wesselborg C, Wulff H (1983) Mathematische modelle in der haematologie Klinische Wochenschrift (Springer) 61: 935-940.
18. Foley C, Bernard S, Mackey MC (2006) Cost-effective G-CSF therapy strategies for cyclical neutropenia: mathematical modelling based hypotheses. J Theor Biol 238: 754-763.
19. Abkowitz JL, Catlin SN, Guttorp P (1996) Evidence that hematopoiesis may be a stochastic process in vivo. Nat Med 2: 190-197.
20. Gordon MY, Blackett NM (1994) Routes to repopulation–a unification of the stochastic model and separation of stem-cell subpopulations. Leukemia 8: 1068-1072; discussion 1072-1063.
21. Dingli D, Traulsen A, Pacheco JM (2007) Compartmental architecture and dynamics of hematopoiesis. PLoS ONE 2: e345.
22. Quesenberry PJ, Kittler E, Lowry P, Crittenden R (1993) Stromal regulation of hemopoiesis and the role of subliminal growth factor production. Leukemia 7 Suppl 2: S3-4.
23. Buescher ES, Alling DW, Gallin JI (1985) Use of an X-linked human neutrophil marker to estimate timing of lyonization and size of the dividing stem cell pool. J Clin Invest 76: 1581-1584.
24. Nash R, Storb R, Neiman P (1988) Polyclonal reconstitution of human marrow after allogeneic bone marrow transplantation. Blood 72: 2031-2037.
25. Abkowitz JL, Persik MT, Shelton GH, Ott RL, Kiklevich JV, Catlin SN, Guttorp P (1995) Behavior of hematopoietic stem cells in a large animal. Proc Natl Acad Sci U S A 92: 2031-2035.
26. Schofield R (1978) The relationship between the spleen colony-forming cell and the haemopoietic stem cell. Blood Cells 4: 7-25.
27. McKenzie JL, Gan OI, Doedens M, Wang JC, Dick JE (2006) Individual stem cells with highly variable proliferation and self-renewal properties comprise the human hematopoietic stem cell compartment. Nat Immunol 7: 1225-1233.
28. Abkowitz JL, Linenberger ML, Newton MA, Shelton GH, Ott RL, Guttorp P (1990) Evidence for the maintenance of hematopoiesis in a large animal by the sequential activation of stem-cell clones. Proc Natl Acad Sci U S A 87: 9062-9066.
29. Dingli D, Traulsen A, Michor F (2007) (A)symmetric stem cell replication and cancer. PLoS Comput Biol 3: e53.
30. Dingli D, Traulsen A, Pacheco JM (2007) Stochastic dynamics of hematopoietic tumor stem cells. Cell Cycle 6: 441-446.
31. Traulsen A, Pacheco JM, Dingli D (2007) On the Origin of Multiple Mutant Clones in Paroxysmal Nocturnal Hemoglobinuria. Stem Cells 25: 3081-3084.
32. Huxley JS (1932) Problems of relative growth. Dial Press, New York, USA.
33. West GB, Brown JH, Enquist BJ (1999) The fourth dimension of life: fractal geometry and allometric scaling of organisms. Science 284: 1677-1679.
34. West GB, Brown JH (2005) The origin of allometric scaling laws in biology from genomes to ecosystems: towards a quantitative unifying theory of biological structure and organization. J Exp Biol 208: 1575-1592.
35. Banavar JR, Maritan A, Rinaldo A (1999) Size and form in efficient transportation networks. Nature 399: 130-132.
36. Dingli D, Pacheco JM (2006) Allometric scaling of the active hematopoietic stem cell pool across mammals. PLoS ONE 1: e2.
37. Spangrude GJ, Smith L, Uchida N, Ikuta K, Heimfeld S, Friedman J, Weissman IL (1991) Mouse hematopoietic stem cells. Blood 78: 1395-1402.
38. Lemischka IR, Raulet DH, Mulligan RC (1986) Developmental potential and dynamic behavior of hematopoietic stem cells. Cell 45: 917-927.
39. Abkowitz JL, Catlin SN, McCallie MT, Guttorp P (2002) Evidence that the number of hematopoietic stem cells per animal is conserved in mammals. Blood 100: 2665-2667.
40. McCarthy KF (1997) Population size and radiosensitivity of murine hematopoietic endogenous long-term repopulating cells. Blood 89: 834-841.
41. McCarthy KF (2003) Marrow frequency of rat long-term repopulating cells: evidence that marrow hematopoietic stem cell concentration may be inversely proportional to species body weight. Blood 101: 3431-3435.
42. Gordon MY, Lewis JL, Marley SB (2002) Of mice and men...and elephants. Blood 100: 4679-4680.
43. Lopes JV, Pacheco JM, Dingli D (2007) Acquired hematopoietic stem cell disorders and mammalian size. Blood 110: 4137-4139.

44. Goldman JM (2004) Chronic myeloid leukemia-still a few questions. Exp Hematol 32: 2-10.
45. Luzzatto L, Bessler M, Rotoli B (1997) Somatic mutations in paroxysmal nocturnal hemoglobinuria: a blessing in disguise? Cell 88: 1-4.
46. Massey GV, Zipursky A, Chang MN, Doyle JJ, Nasim S, Taub JW, Ravindranath Y, Dahl G, Weinstein HJ (2006) A prospective study of the natural history of transient leukemia (TL) in neonates with Down syndrome (DS): Children's Oncology Group (COG) study POG-9481. Blood 107: 4606-4613.
47. Tricot G, Mecucci C, Van den Berghe H (1986) Evolution of the myelodysplastic syndromes. Br J Haematol 63: 609-614.
48. Zipursky A (2003) Transient leukaemia–a benign form of leukaemia in newborn infants with trisomy 21. Br J Haematol 120: 930-938.
49. Bose S, Deininger M, Gora-Tybor J, Goldman JM, Melo JV (1998) The presence of typical and atypical BCR-ABL fusion genes in leukocytes of normal individuals: biologic significance and implications for the assessment of minimal residual disease. Blood 92: 3362-3367.
50. Dingli D, Luzzatto L, Pacheco JM (2008) Neutral evolution in paroxysmal nocturnal hemoglobinuria. Proc Natl Acad Sci U S A 105: 18496-18500.
51. Marley SB, Lewis JL, Gordon MY (2003) Progenitor cells divide symmetrically to generate new colony-forming cells and clonal heterogeneity. Br J Haematol 121: 643-648.
52. Donohue DM, Reiff RH, Hanson ML, Betson Y, Finch CA (1958) Quantitative measurement of the erythrocytic and granulocytic cells of the marrow and blood. J Clin Invest 37: 1571-1576.
53. Finch CA, Harker LA, Cook JD (1977) Kinetics of the formed elements of human blood. Blood 50: 699-707.
54. Rufer N, Brummendorf TH, Kolvraa S, Bischoff C, Christensen K, Wadsworth L, Schulzer M, Lansdorp PM (1999) Telomere fluorescence measurements in granulocytes and T lymphocyte subsets point to a high turnover of hematopoietic stem cells and memory T cells in early childhood. J Exp Med 190: 157-167.
55. Cronkite EP, Fliedner TM (1964) Granulocytopoiesis. N Engl J Med 270: 1347-1352.
56. Araten DJ, Nafa K, Pakdeesuwan K, Luzzatto L (1999) Clonal populations of hematopoietic cells with paroxysmal nocturnal hemoglobinuria genotype and phenotype are present in normal individuals. Proc Natl Acad Sci U S A 96: 5209-5214.
57. Parker C, Omine M, Richards S, Nishimura J, Bessler M, Ware R, Hillmen P, Luzzatto L, Young N, Kinoshita T, Rosse W, Socie G (2005) Diagnosis and management of paroxysmal nocturnal hemoglobinuria. Blood 106: 3699-3709.
58. Araten DJ, Luzzatto L (2006) The mutation rate in PIG-A is normal in patients with paroxysmal nocturnal hemoglobinuria (PNH). Blood 108: 734-736.
59. Dingli D, Pacheco JM, Traulsen A (2008) Multiple mutant clones in blood rarely coexist. Phys Rev E Stat Nonlin Soft Matter Phys 77.
60. Dingli D, Antal T, Traulsen A, Pacheco JM (2009) Progenitor cell self-renewal and cyclic neutropenia. Cell Prolif 42: 330-338.
61. Dingli D, Traulsen A, Pacheco JM (2008) Chronic myeloid leukemia: origin, development, response to therapy and relapse. Clin Leukemia 2: 133-139.
62. Dingli D, Traulsen A, Pacheco JM (2008) Dynamics of haemopoiesis across mammals. Proc Biol Sci 275: 2389-2392.
63. Hayflick L, Moorhead PS (1961) The serial cultivation of human diploid cell strains. Exp Cell Res 25: 585-621.
64. Shepherd BE, Kiem HP, Lansdorp PM, Dunbar CE, Aubert G, Larochelle A, Seggewiss R, Guttorp P, Abkowitz JL (2007) Hematopoietic stem cell behavior in non-human primates. Blood 110: 1806-1813.
65. Michor F, Hughes TP, Iwasa Y, Branford S, Shah NP, Sawyers CL, Nowak MA (2005) Dynamics of chronic myeloid leukaemia. Nature 435: 1267-1270.
66. Roeder I, Horn M, Glauche I, Hochhaus A, Mueller MC, Loeffler M (2006) Dynamic modeling of imatinib-treated chronic myeloid leukemia: functional insights and clinical implications. Nat Med 12: 1181-1184.
67. Brummendorf TH, Mak J, Sabo KM, Baerlocher GM, Dietz K, Abkowitz JL, Lansdorp PM (2002) Longitudinal studies of telomere length in feline blood cells: implications for hematopoietic stem cell turnover in vivo. Exp Hematol 30: 1147-1152.
68. Marley SB, Deininger MW, Davidson RJ, Goldman JM, Gordon MY (2000) The tyrosine kinase inhibitor STI571, like interferon--alpha, preferentially reduces the capacity for amplification of granulocyte-macrophage progenitors from patients with chronic myeloid leukemia. Exp Hematol 28: 551-557.
69. Hillmen P, Hows JM, Luzzatto L (1992) Two distinct patterns of glycosylphosphatidylinositol (GPI) linked protein deficiency in the red cells of patients with paroxysmal nocturnal haemoglobinuria. Br J Haematol 80: 399-405.
70. Hillmen P, Lewis SM, Bessler M, Luzzatto L, Dacie JV (1995) Natural history of paroxysmal nocturnal hemoglobinuria. N Engl J Med 333: 1253-1258.

(Comunicação apresentada à Classe de Ciências
na sessão de 7 de maio de 2009)

From Charles Darwin to evolutionary genetic algorithms

Rui Dilão

Abstract

The concepts of evolution and natural selection escaped from the context of biology and entered mathematics, physics and computer science. These concepts inspired powerful optimization methods, enabling the analysis and calibration of complex mathematical models of all kinds of phenomena and depending of hundreds of parameters. These mathematical models often describe evolutionary processes in biology but are also associated with mathematical applications of difficult engineering problems. These new class of methods are called evolutionary genetic algorithms and are one of the best available techniques to analyze ill posed problems in general associated with irregular data sets.

INTRODUCTION

The theory of evolution, synthesized by Charles Darwin in 1859, [Dar], introduced an ensemble of arguments that explains the evolution, the variability and the environmental adaptation of all life forms.

Life forms evolve and adapt in an ever-changing environment and are very robust to these changes (resilience). In the turn of the nineteenth to the twenty century it has been observed that life is anchored in some form of "genetic" information contained in organisms, and occasional or random events occurring at the molecular level have an important role in evolution and adaptation.

One of the mechanisms that has an important role in biology, in physics and in engineering is randomness. Evolution occurs due to random environmental forces and random molecular interactions that occur in nature. Then, selective mechanisms, in some cases associated with environmental conditions as temperature, humidity, etc., choose the fittest. In 1953 Miller [Mil] showed with an experiment that the building blocks of life, the aminoacids, spontaneously form in an aquatic environment subjects to random extreme events (heat and electric discharges). More recently the same observations where corroborated by analyzing the chemical composition of volcanic steams [Joh].

To better understand the role of randomness in evolution, we present a mathematical model aiming to describe the first steps of the embryonic development of the fruit fly *Drosophila melanogaster*. This mechanism is shared by all insects and arthropods and, as we shall see, give some clues on the molecular processes that are in the origin of the complexity and evolution of organisms. This mathematical model takes the form of a mixed system of ordinary and partial differential equations depending on a large number of unknown parameters that are very difficult if not impossible to measure. The mathematical model is based on the assumption of randomness of the forces occurring at the molecular level.

Then, we calibrate the parameters of the model with the available experimental data, making predictions about the behavior of the biological system. For the calibration technique, we developed an *evolutionary genetic algorithms* enabling to fit experimental data (noisy) of very complex systems to mathematical models with an arbitrarily large number of parameters. These evolutionary genetic algorithms are based on the random choice of parameter configurations with subsequent selective procedures. The biological problem analyzed here and the calibration techniques were both inspired by the Darwin evolutionary reasoning.

The success of a mathematical model in the description of developmental processes depends on the possibility of finding the set of realistic parameters that best fits the dynamic characteristics of the systems under analysis. The dynamic properties of the mathematical model have a predictive nature and enable to interfere with the biological system under controlled conditions.

THE DARWIN LEGACY

The ideas of evolution, natural selection, common descent and struggle for life are commonly associated with the name of Charles Darwin. In fact, in 1809, Lamark first used the concept of evolution to discuss the altering of a species into another (transmutation of species). Latter, in 1844, Chambers wrote: "new species were produced from previous ones in a progressive sequence leading to humans". In 1803, Malthus introduced the concept of struggle for life in the context of the dynamics of tribal groups. For Darwin, it was the competition inside the species and its relations with the environment that leads to the "survival of the fittest". In 1850, Spencer, a philosopher of sciences, introduced the generic expression "struggle for life".

The concept of natural descent appeared for the fist time in 1932 in the Darwin notebooks in the form of a diagram called the tree of life. In this diagram, it is suggested that different organisms could have evolved from a common ancestor. For the general public, this idea appeared for the first time in print in 1858 by Wallace.

The contribution of Darwin was to frame all these concepts together and to give a reasonable explanation of evolution, funded in observations [Dar]. In the Galápagos islands, Darwin found new species that have a common ancestor with other continental species. Darwin argued that natural selection exists in regions of the globe where geographic barriers were somehow imposed, and geographic migrations from a common ancestor are in the origin of the differentiation between individuals, leading to speciation. It was necessary to wait almost 100 years to make the first experiments in laboratory on evolution and natural selection (Luria-Delbrük experiment, 1943, [Lur]), showing that evolution and selection are separated and independent processes, confirming the Darwinian point of view.

THE FORMATION OF *DROSOPHILA* SEGMENTS

One of the characteristics of arthropods (insects, spiders, centipedes, shrimps, trilobites, etc.) is the formation, during the first hours of development, of protein segments along the embryo. These segments are bands formed by proteins that are expressed along the antero-posterior axis of the embryo. In Figure 1, we show the band structure of some of the proteins of the embryo of *Drosophila*.

The number of protein segments changes from species to species and it is believed that this feature is inherited from some ancestral arthropod. The importance of these segments, formed during the first hours of development, is due to the fact that their positions determine the body plans of the adult larvae at a later stage of development, Figure 2.

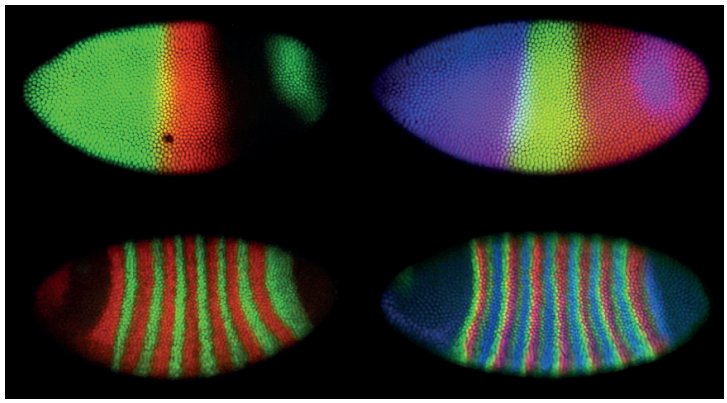


Figure 1
Protein segments in the embryo of the fruit fly *Drosophila melanogaster*. (Data from the FlyEx database). On the two top figures we see the segments of the gap-gene family of proteins. On the two bottom figures, we show the segments of the pair-rule and the segment-polarity families of proteins. These bands form during the first two hours after fertilization of the *Drosophila* egg. In *Drosophila*, the pair-rule family shows 7 bands and, for example, in some centipedes this family develops 9 bands. The small dots in the figure show the localization of nucleus and the different color are the markers of different proteins. At this phase of development, there are no cellular membranes and the nucleus of the embryo are not isolated from each other by the usual cellular membrane. This structure is called a syncytium. In animals, during development the first stages of development, there is also a syncytial phase.

The biological events leading to the formation of the protein patterning in *Drosophila* are the following ([Dri] and [Nüs]): In the Drosophila egg, some mRNAs of maternal origin (*bicoid*, *nanos*, *caudal*, *hunchback*, *etc.*) are placed near the poles of the oocyte by the mother's ovary cells, defining the antero-posterior axis of the embryo. For example, the regions of deposition of *bicoid* and *nanos* mRNAs determines the regions of the embryo where the head and the posterior organs of the larva will latter be developed. Initially, the oocyte has only one nucleus, but fertilization triggers nuclear duplication by mitosis without the formation of cellular membranes (syncytium), Figure 1. The formed nucleus distribute near the internal wall of the embryo. Simultaneously, fertilization triggers the translation of the deposited maternal mRNAs to proteins. These proteins are localized near the external nuclear membranes of the recently formed nucleus.

After fertilization, the first 13 nuclear divisions occur without the organization of cellular membranes around the nucleus (the embryo is a syncytium), giving rise to the syncytial blastoderm. The cytoplasmic membranes only become completely formed three hours after fertilization, in the interphase following the 14^{th} mitotic cycle, just before the onset of gastrulation.

Figure 2
Segmentation of the *Drosophila* larvae. These segments begin to appear 7 hour after fertilization and are completely formed 15 hours after fertilization. Their positions correspond to the localization of the expressed pair-rule proteins, expressed during the first two hours of development (Figure 1). This suggests that the body plan of *Drosophila* is established very early during development.

During the syncytial stage, the transcribed zygotic genes are divided in three main families: gap, pair-rule and segment-polarity genes. The proteins resulting from their expression define broad segmentation patterns along the antero-posterior axis of the embryo as shown in the two first pictures of Figure 1. The proteins with origin in the maternal mRNAs form (steady) gradients along the antero-posterior axis of the embryo. In the beginning of cleavage cycle 14, proteins of maternal origin act as transcription factors (activators or inhibitors) for gap-genes, pair-rule and segment polarity genes.

There are several models aiming to describe proteins steady gradients in *Drosophila* early development. Some models are based on the hypothesis of protein diffusion along the antero-posterior axis of the embryo, [Hou, Alv2]. Other models are based on the diffusion of mRNA of maternal origin, [Dil1, Dil2, Dil3, Dil4]. The protein diffusion hypothesis is sometimes justified by the absence of cellular membranes during the first 14 cleavage cycles of the embryo, and has been proposed by Nüsslein-Volhard and co-workers in the late eighties, [Dri]. However, this hypothesis implies several characteristics for the embryo and for the protein dynamics that have never been observed. The mRNA diffusion hypothesis is supported by the recent observation of the gradient of the bicoid mRNA of maternal origin, [Spi]. In order to decide which is the mechanism that best describe the segmental patterning as shown in Figure 1, Dilão and co-workers introduced several mathematical models aiming to the describe the patterns of Figure 1. These models are based on the hypothesis of diffusion of the maternal origin mRNA, together with localized protein production without diffusion, [Dil1, Dil2, Dil3, Dil4].

In order to test the pattern formation mechanisms in *Drosophila*, some details are necessary in the description of models. Optimally, these details should include measurements of protein and mRNA formation rates, degradation rates and diffusion coefficients. Also direct measurements of protein concentrations would be desirable. However, the values of these parameters change from embryo to embryo and it is not technically possible to measure simultaneously in the same embryo all these parameters.

Most of the biological information on patterning is in the form of the fluorescent images as shown in Figure 1. The relationship between different proteins, mRNAs and genes are purely qualitative. For example, in Figure 3, we show, the biological information of some of the known interaction between the proteins of maternal origin, the mRNAs and the gap-genes, in Drosophila early development.

In the double graph of Figure 28, the green-solid represent activation interactions and the red arrows inhibitory mechanisms. The symbols associated with the vertices of this double-graph represent a particular substance into one of its forms: gene, mRNA or protein. A particular formalism has been developed in order to transform graphs describing genetic regulatory networks into a mathematical model, [Alv1] and [Dil3].

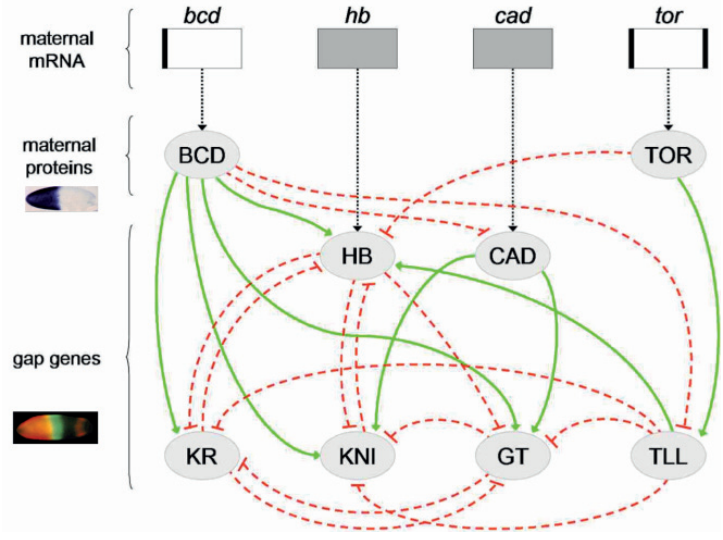


Figure 3
Double graph of interactions describing the genetic network associated with the maternal and gap-gene phase of Drosophila early development. Solid-arrows represent activation of a gene by a protein and the red-dotted arrows show inhibitory interactions. Black arrows represent translation of a protein from the corresponding mRNA (Figure from [Alv2]).

For the particular case of the activation of Bicoid protein (BCD) by bicoid mRNA (bcd), represented by the sub-graph with two vertices at the top left of Figure 3, we have assumed that bicoid mRNA diffuses along the antero-posterior axis of the embryo. The mathematical model associated to this sub-graph is described by the partial differential equation ([Dil2]),

$$\frac{\partial R}{\partial t} = -dR + D\frac{\partial^2 R}{\partial x^2}$$

$$\frac{\partial B}{\partial t} = aR$$

where $R(x, t)$ and $B(x, t)$ are the concentration of bcd and BCD, respectively. These concentrations are defined along the antero-posterior axis of the embryo ($x \in [0,L]$), and we assume zero-flux boundary conditions. The embryo length is $L = 0.5$ mm. In the beginning of the developmental process there is the deposition of bcd at some (unknown) region of the antero-posterior axis of the embryo and this concentration of bcd ($R(x, 0)$) is also unknown. This deposition region is the interval $[I_1,I_2]$, somewhere along the embryo with length L. In this model, the Bicoid protein does not diffuse, it is translated by the ribosomal machinery that exists outside the nuclear membranes. The diffusion of bicoid mRNA is driven by Brownian motion (molecular chaos) eventually along microtubules distributed along the embryo, [Dil2].

The model equations presented above with the boundary and initial conditions have seven free parameters, but theoretical analysis shows that it is only possible to determine four independent parameters, ([Dil2]). Anyhow, all the parameters are unknown and the experimental data is in the form of fluorescent signal proportional to protein concentration. The technique to calibrate the model equations with the experimental data is to use evolutionary genetic algorithms — essentially we must choose the set of parameters that best fit the theoretical model. If the fit is good, we believe that the model is sufficiently accurate to make predictions about the system.

In Figure 4, we show the fit of the model solutions with the experimental data. The model predictions are

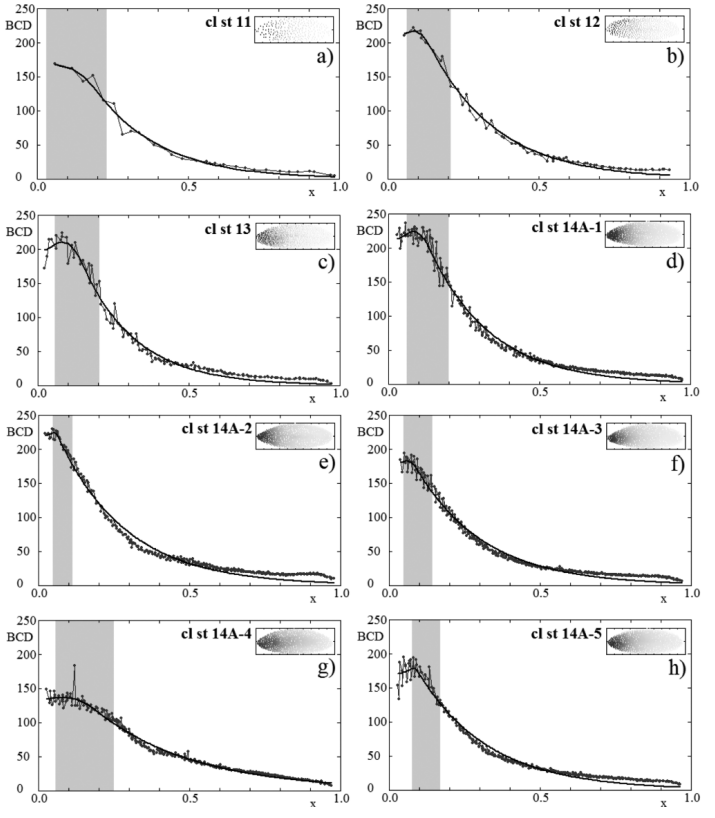


FIGURE 4

In blue, we show the experimental distribution of BCD (Bicoid protein) along the antero-posterior axis of the embryo of Drosophila, for different embryos in different stages of development. The small two-dimensional distribution within each frame is the two-dimensional gradient of protein BCD. The blue graph is the antero-posterior distribution taken along the middle axis of the embryo. The black line is the best steady solution of the model equations and the grey region is the region where bcd mRNA were initial deposited by the mother ovary cells. Both the grey regions and the model parameters were determined with an evolutionary genetic algorithm, [Dil1]. The agreement between the diffusion model and the experimental data is very good, with relative errors in the range 5-8%. This Figure is reprinted from [Dil2].

denoted by the black lines and are the steady-state solution of the partial differential equation shown above. Each graph represents the distribution of the protein Bicoid measured in vitro and in a different embryo. Each picture corresponds to a different choice of the parameters. We don't list the choice of parameters but in the following we describe the evolutionary genetic algorithm approach used to determine the parameter values.

EVOLUTIONARY GENETIC ALGORITHMS

The determination of the parameters that best fit the noisy data (blue lines) shown in Figure 4 is called an optimization problem. In this more technical context, we introduce now some concepts borrowed from biology. The reason for this is due to the fact that we have no guesses about parameters values and the data is not continuous, preventing us from using smoothing techniques. This is a situation very similar to the natural mechanisms leading to biological evolution: there are no preferential choices for the generation of diversity and the selection acts only *a posteriori*.

As we have to choose the set of parameters that characterize our particular problem, we call a population to the compact set of all the possible parameter values. In the model equations described above, we have seven parameters, and therefore the population is represented by a compact subset of R^7. An individual of a population is a choice of a point of this set. Within this set of points, we can reproduce, mutate, swarm, etc., provided the new or modified parameter values remain in the compact set. So the question is to know which individual (set of parameters) best fits the experimental data.

A genetic algorithm is a procedure to randomly choose individuals of the population that best fit the model with the experimental data. The selection of the best candidates is done by a criterion that can be, for example, the minimization of a least square deviation function. This procedure to be effective must be implemented in such a way that convergence to a best local or global solution is achieved.

The simpler form of a genetic evolutionary algorithm is the Covariance Matrix Adaptation Evolutionary Strategy, developed by Hansen, [Han]. The implementation of this algorithm follows the following steps:

1 – Choose an initial individual (the Darwinian ancestral) p_0 of the population (the full set of parameter values for the model) and let $C = I_n$ be a covariance matrix, where I_n is the $n \times n$ identity matrix.

2 – From the multivariate Gaussian distribution with covariance matrix C and mean value p_0, sample λ offsprings. For each offspring or set of parameter values calculate the solution of the model equations and then calculate the fitness function, a chi-squared distributions, for example. From the best μ ($\mu<\lambda$) offsprings, according to the fitness function, recalculate a new mean value p_0 and a new (unbiased estimator of the) covariance matrix C.

3 – Repeat these steps several times. After several iterations, the best individual ever found is a candidate for the best choice of the model parameters.

In general, the genetic algorithm just described has a fast convergence for a local or global optimal solution. The fits of figure 4 have been obtained with a similar technique.

This algorithm admits generalizations for the cases where there are conflicting goals, [Dil1, Dil4], and the solutions of the optimization problem is not unique. In the context of multiple goals, we have a multi-objective or Pareto type optimization problem and evolutionary genetic algorithms are a good choice for an unbiased search of realistic solutions of multi-parameter models. For example, in Figure 5, we show, several (non-unique) Pareto optimal solutions for the distribution of proteins Bicoid and Caudal in the embryo of *Drosophila*. In each picture, we show a different instance of the Pareto optimal solution of the model equations for the same experimental data set. In this case, the model equations do not minimize simultaneously the two experimental data sets. This is a characteristics of multi-objective optimization techniques where non-unicity is the rule. Obviously, this is a feature of all the living organisms where individuals of the same species are characterized by different sets of parameters (Pareto optimal), with different performances relative to different properties.

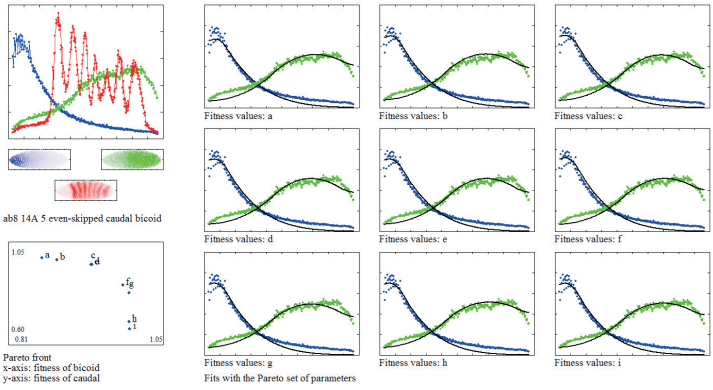


FIGURE 5
In the picture on the top-left we show the concentration of the proteins Bicoid (blue), Caudal (green) and Even-skipped (red) along the antero-posterior axis of the embryo of *Drosophila*. On the nine figures on right we show Pareto bi-objective optimal solutions of the model equations for the same experimental data, [Dil1]. Each picture corresponds to a different set of parameter values on the Pareto front of this bi-objective optimization problem. In the lower left we show the Pareto front (set of optimal solutions) on the Bicoid-Caudal fitness space. The parameter values have obtained with a evolutionary genetic algorithm for multi-objective optimization problems, [Dil1].

CONCLUSIONS

Evolutionary genetic algorithms are a class of probabilistic algorithms that can be used to search for solutions of optimization problems, without having any *a priori* knowledge about the solutions or about its regularity properties. These algorithms mimic the evolution-selection duality reasoning as proposed by Darwin. Here, we have shown how to use evolutionary genetic algorithm ideas to solve uni-objective and bi-objective Pareto type optimization problems from developmental biology. On the other hand, the biological problems presented here have its roots in the work of Darwin.

REFERENCES

[Alv1]- F. Alves and R. Dilão, A simple framework to describe the regulation of gene expression in prokaryotes, *Comptes Rendus Biologies*, **328** (2005) 429-444.

[Alv2]- F. Alves and R. Dilão, Modeling segmental patterning in Drosophila: Maternal and gap genes, *J. Theor. Biol.* 241 (2006) 342-359.

[Dar]- C. Darwin, On the Origin of Species by means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life, London: John Murray, 1859.

[Dil1]- R. Dilão, D. Muraro, M. Nicolau and M. Schoenauer, Validation of a morphogenesis model of Drosophila early development by a multi-objective evolutionary optimization algorithm. In: C. Pizzuti, M. D. Ritchie and M. Giacobini (Eds.): EvoBIO 2009, Lec. Notes in Computer Science, vol. 5483 (2009) 176-190.

[Dil2]- R. Dilão and D. Muraro (2010), mRNA diffusion explains protein gradients in Drosophila early development, *J. Theor. Biol.* 264 (2010) 847-853.

[Dil3]- R. Dilão, Muraro D (2010), mRNA diffusion explains protein gradients in Drosophila early development, *PLoS ONE*, **5** (5) (2010) 1-10 (e10743).

[Dil4]- R. Dilão and D. Muraro, Calibration and validation of a genetic regulatory network model describing the production of the protein Hunchback in Drosophila early Development, *Comptes Rendus Biologies*, 2010, in press.

[Dri]- W. Driever, C. Nüsslein-Volhard, A gradient of Bicoid protein in Drosophila embryos, *Cell* 54 (1988) 83-93.

[Han]- N. Hansen, The CMA Evolution Strategy: A Tutorial, 2008.

[Hou]- B. Houchmandzadeh, E. Wieschaus and S. Leibler, Establishment of developmental precision and proportions in the early Drosophila embryo, *Nature* 415 (2002) 798-802.

[Joh]- A. P. Johnson, H. J. Cleaves, J. P. Dworkin, D. P. Glavin, A. Lazcano, J. L. Bada, The Miller Volcanic Spark Discharge Experiment. *Science* 322 (2008) 404.

[Lur]- S. E. Luria and M. Delbrück, Mutations of Bacteria from Virus Sensitivity to Virus Resistance, *Genetics* 28 (6) (1943) 491–511.

[Mil]- S. L. Miller, A Production of Amino Acids Under Possible Primitive Earth Conditions, *Science* 117 (1953) 528-528.

[Nüs]- C. Nüsslein-Volhard, Coming to life. How Genes Drive Development. Yale University Press, New Haven, 2006.

[Spi]- A. Spirov, K. Fahmy, M. Schneider, E. Frei, M. Nooll and S. Baumgartner, Formation of the bicoid morphogen gradient: an mRNA gradient dictates the protein gradient, D*evelopment* 136 (2009) 605-614.

(Comunicação apresentada à Classe de Ciências
na sessão de 7 de maio de 2009)

Anatomia artística do renascimento em Itália (VIII)

Pintura do renascimento pleno (século XVI)
Miguel Ângelo Buonarroti

J. A. Esperança Pina

O interesse pelo estudo do corpo humano, traduzido na análise da sua anatomia artística de superfície e na configuração e projecção dos órgãos internos, foi uma das principais características do Renascimento, no seu fogo imparável de descobrir, sendo o século XVI, conhecido também pelo século da Anatomia.

A Arte Renascentista, mostra sempre os motivos de fundo em que se inspira, ou seja, um acentuado naturalismo, ou numa constante procura da verosimilhança, um forte interesse pelo homem, pela forma do seu corpo e pelas suas potencialidades expressivas, um gosto marcado pelo aprofundamento e aperfeiçoamento dos conhecimentos e meios técnicos, uma aspiração à monumentalidade e uma realização muito mais comprometida nos aspectos das dimensões e conceptual.

O Homem faz parte da natureza, visto que é a medida de todas as coisas e a mais nobre e interessante criatura do universo.

Naturalismo, realismo, atenção à figura humana, e estudo da Anatomia, caracterizaram a pintura no Renascimento.

Miguel Ângelo caracterizou a sua pintura por uma Anatomia possante e exuberante, por uma monumentalidade sem par, por uma prodigiosa capacidade técnica e sobretudo por um dilacerante e genuíno amor pelo corpo humano.

1. MIGUEL ÂNGELO DE REGRESSO A FLORENÇA (1501–1505)

Em 1501, Florença encontrava-se num breve renascimento intelectual tendo Miguel Ângelo realizado a sua primeira pintura, o Tondo Doni.

O **Tondo Doni** (1504-06) da Galeria dos Ofícios, em Florença é a primeira pintura e a única que não é um fresco de Miguel Ângelo, representando a Sagrada Família. Parece um rasgo de valentia para um artista cuja ferramenta eram o malho e o cinzel. A primeira pintura de Miguel Ângelo foi considerada por muitos como uma obra enganadora, de composição complicada, de uma cor irritante, cheia de pormenores bizarros. Não se parecia com nada do que se tinha visto em Florença, mas era de um modernismo exagerado, quase chocante. Dizia-se que aquilo era pintura de escultor.

Ao fundo, à direita encontra-se São João Baptista, vestido com uma pele olhando para o céu. Sobre um muro, nus masculinos dispõem-se sentados. São José, já envelhecido, meditativo, e barbeado, situa-se atrás de Maria. A virgem agachada, jovem e acolhedora, representada como uma mulher robusta e com braços descobertos, ocupa uma grande parte da pintura. Sobre o regaço tem um livro,

e volta-se para trás para receber de São José o Menino Jesus. O Menino tem a imagem de vitalidade e de força.

Nas pinturas da Sagrada Família, o grupo Virgem, São José e o Menino situam-se num círculo com o Menino no centro. Mas Miguel Ângelo rejeita esta ordem banal e fácil. Se tivesse esculpido este grupo, tê-lo-ia feito do mesmo modo, sendo uma composição no espaço vista e pensada por um escultor que tem o hábito da terceira dimensão

2. MIGUEL ÂNGELO EM ROMA (1505–1514)

Durante a sua estadia em Roma, em cerca de quatro anos, entre 1508 e 1512, pintou o fresco do teto da Capela Sistina

O teto da Capela Sistina, um fresco de Miguel Ângelo realizado após contrato com Paulo II, é uma das maiores obras de pintura da História da Arte. De início o artista não se sente vocacionado, por não se sentir pintor, mas acaba por lançar-se nesta tarefa com incrível energia e acaba por executar o fresco do teto praticamente sozinho.

Miguel Ângelo alarga o plano do programa de pintura planeado no contracto com Paulo II, de tal modo que, em vez dos doze apóstolos previstos e alguns motivos ornamentais, aparecem cerca de trezentas figuras. Executou as figuras pintadas como se fossem relevos, prova que Miguel Ângelo pensava mais como escultor do que como pintor.

Os frescos do teto da Capela Sistina representam nove episódios do livro da Génesis, vinte nus masculinos, sete profetas e cinco sibilas, pendentes de canto com quatro episódios da História do Povo de Israel, oito frescos nos tímpanos e catorze frescos nas lúnulas, representando episódios da salvação de Israel.

Episódios do livro da génesis

A Embriaguez de Noé

A Embriaguez de Noé mostra Noé, ébrio e desnudado, encostado a um tonel, com os seus três filhos: ao centro Jaftet, que cobre a nudez do pai; ao lado dele, Can, que faz troça de Noé; e atrás, Sem, que tenta moderar o provocador Cam. Noé surge de novo em fundo, escavando a terra com uma pá. A nudez dos corpos não pode ser encarada como uma provocação mas antes, natural e espontaneamente.

A cabeça de Noé representa um velho adormecido, com a face muito marcada por rugas muito acentuadas, com cabelos e barba branca.

O Dilúvio Universal

O Dilúvio Universal mostra as águas elevando a Arca acima da terra visível, e cobrindo já tudo, à excepção dos cumes das montanhas. À esquerda e à direita, onde as pessoas tentam desesperadamente salvar-se. No cimo da arca está pousada uma pomba, que ao regressar, confirma a Noé que o Dilúvio acabou. A cena mostra o sentido da tragédia que envolve tudo e está evidente em toda a parte e nos pormenores, como na contorção dos corpos robustos e no forte entrelaçamento dos membros. Observam-se cenas de amor, de egoísmo, e outras que traduzem o instinto da conservação.

A Arca em madeira maciça completamente fechada, mostra desesperados a martelar numa tentativa de penetrar no seu interior. Adiante, uma barcaça preste a voltar-se, pelo peso dos seus ocupantes e por aqueles que tentam subir.

Numa pequena ilha, um pai segura o filho nos braços, e numa tenda improvisada, alguns jovens bebem vinho contido num barril, para inconscientes, não sentirem a morte.

Numerosos fugitivos tentam subir para uma pequena porção de terra. O pânico atinge um intensidade quase paroxística, nas mães com os filhos, no homem que transporta a sua mulher às costas em pânico, na mulher que trepa para uma árvore cujas folhas foram arrancadas pela tempestade e na resignação da mulher deitada no chão, sorrindo à espera da morte.

O Sacrifício de Noé

O Sacrifício de Noé apresenta um tema que pode aludir a acção de graças de Noé após o Dilúvio, com personagens bem equilibradas numa estrutura complexa e bem estruturada. Ao fundo, atrás da mesa, está Noé com o braço direito levantado como que tentando estabelecer alguma ordem. À esquerda a nora levanta a mão e vira a cabeça para não ouvir e à direita, a mulher sussura-lhe palavras ao ouvido. Diante da mesa de Noé os seus três filhos estão ocupados com o sacrifício de animais. Um filho agarra um carneiro, outro senta-se sobre um carneiro degolado e o terceiro carrega lenha. O filho sentado sobre o carneiro degolado, estende a uma adolescente, o que não parecem ser as vísceras do animal já sacrificado.

O Pecado Original

O Pecado Original é apresentado em forma de tríptico, com a árvore do Bem e do Mal, ao centro, Adão e Eva no jardim de Éden, à esquerda e, a expulsão do paraíso do primeiro casal humano, à direita. Os relevos musculares são muito exagerados, existindo um equilíbrio dinâmico, pleno de tensão, com a libertação de energia nos corpos de Adão e Eva. A cena está vazia de todo o sentido dramático, com figuras bem constituídas e cheias de sensualidade

A árvore do Bem e do Mal tem enrolado no tronco a serpente tentadora com cabeça de mulher. À esquerda, o jardim de Éden, com algumas rochas e um tronco de árvore seca. Eva repousa sentada apoiando-se no cotovelo direito, enquanto estende o braço esquerdo para receber a maça que lhe oferece a serpente. Adão encontra-se em pé parecendo querer colher uma maça com a mão direita, o que está em desacordo com a Génese, em que a maça lhe é entregue por Eva.

Um anjo sem asas vestido de vermelho apoia no pescoço de Adão, a ponta da sua espada e expulsa do paraíso o primeiro casal humano.

A Criação de Eva

A Criação de Eva mostra Adão deitado depois de adormecido por Deus, que retirou uma das suas costelas, com a qual moldou Eva. A carregada energia desta imagem é tão irresistível, que a origem de Eva parece resultante da força magnética do gesto de Deus.

Deus apresenta-se com uma forma super-humana com vestimentas pesadas, longas barbas e cabeça ligeiramente inclinada para a frente, olhando fixamente para Eva, numa relação de calorosa intimidade.

Adão permanece inconsciente.

A Criação de Adão

A Criação de Adão exprime a transmissão da alma, conseguindo-se uma justaposição dramática do Homem e de Deus sem paralelo. À esquerda, encontra-se Adão sobre um pedaço de terra, com a cabeça voltada em direcção a Deus. Deus flutua envolvido num manto, acompanhado de uma figura misteriosa e de querubins. As mãos de Deus e de Adão parecem sobrenaturais, aparecendo com grande nitidez a projecção dos músculos e dos tendões, especialmente os da eminência tenar.

Adão, fisicamente completo, com o corpo repousando, estendido, indolente, apoiado sobre o cotovelo direito. A cabeça está voltada, numa atitude delicada em direcção a Deus, sendo o membro superior esquerdo que se estende em direcção ao seu Criador de dimensões desproporcionadas.

O rosto de Adão exprime um sentimento de ternura e quase perfeição e o pescoço apresenta relevos musculares bem marcadas

Deus é um ancião vigoroso com uma musculatura bem desenvolvida, flutuando envolvido num manto agitado pelo vento. Encontra-se acompanhado por personagens misteriosas. Uma delas, envolvida pelo seu braço esquerdo, parecer tratar-se de um curioso ser andrógino, com cabeça de mulher mas desprovido de seios e ostentando a saliência dos músculos deltóide direito e bicípete esquerdo muito desenvolvidos. As restantes figuras são querubins nus e felizes, à excepção do que se situa por baixo do seu braço direito, configura rebeldia.

A cabeça de Deus é a de um velho de cabelos brancos, com rosto marcado por rugas profundas e acentuadas.

A Separação da Terra e da Água

A separação da Terra e da Água apresenta Deus, envolvido numa vasta túnica com as suas mãos criadoras abençoando e com o rosto majestoso. É acompanhado por três querubins, flutuando acima das águas, sendo a porção azul situada acima entendida como o céu.

A Criação dos Astros

A Criação dos Astros, com Deus, suportado pelos anjos, com grande tensão. O sol nasce da sua mão direita e a lua da sua mão esquerda, ordenando ao Sol e à Lua, que se coloquem nos seus lugares. À esquerda, Deus, depois de ter feito germinar plantas, afasta-se no espaço para continuar a criação.

O Criador avança impetuoso, com os braços abertos, com a energia do seu corpo atlético e com uma expressão severa e concentrada. Encontra-se rodeado por quatro querubins, inquietos e ansiosos, em que um deles resguarda os bulbos oculares para se proteger da luz solar.

A Separação da Luz e das Trevas

A Separação da Luz e das Trevas mostra Deus envolto em massas nebulosas, pairando entre uma zona de luz e uma zona sombria, que remete para a luz e as trevas. O seu corpo tem os grupos musculares, contraídos, traduzindo grande actividade motora.

Nus masculinos

Os Nus masculinos (1509-11), em número de vinte, situam-se nos quatro cantos de cinco frescos representando episódios do livro de Génesis. São exemplos magistrais da representação do corpo humano

de jovens, sentados em plintos, acumulando as suas forças em massas corporais compactas apenas pela firmeza do perfil, abandonando-se em leves movimentos, podendo ser entendidos, como intermediários entre o humano e o divino.

O homem constitui uma unidade inseparável, uma síntese harmónica indivisível de corpo e espírito, segundo a divisão aristotélica da vida.

A *mímica* é a arte de expressar o pensamento, sendo o seu principal carácter a sua espontaneidade, pois nasce de uma maneira irreflexiva, como expressão natural de afectos que agitam o ânimo.

A Anatomia de superfície da *facialis*, permite reconstruir um gesto e controlar uma atitude, sendo o conhecimento dos músculos faciais da mímica indispensáveis para dar uma expressão que esteja de acordo com a acção que se quer representar.

Os nus masculinos apresentam diversos tipos de mímica, que traduzem, a atenção, a reflexão, o sofrimento, a dureza, o choro, o riso, a tristeza e o terror.

Um ***nu*** em atenção com concentração.
Um ***nu*** em atenção com luta interna.
Um ***nu*** em reflexão.
Um ***nu*** em reflexão com inquietação.
Um ***nu*** em flexão com pensamentos sombrios.
Um ***nu*** em sofrimento com resignação.
Um ***nu*** com dureza.
Um ***nu*** com dureza agressiva.
Um ***nu*** com malvadez.
Um ***nu*** com malvadez raivosa.
Um ***nu*** com riso malicioso.
Um ***nu*** com riso cínico.
Um ***nu*** com tristeza.
Um ***nu*** com tristeza desgostosa.
Um ***nu*** com tristeza em desprezo.
Um ***nu*** com terror por medo.
Um ***nu*** com terror expectante.

Profetas e Sibilas

Miguel Ângelo preenche os tímpanos e pendentes, com **Profetas e Sibilas**, figuras sentadas. O significado particular dos Profetas e Sibilas é sublinhado pelo seu tamanho que muitas vezes ultrapassa em muito o das outras figuras do teto da Capela Sistina. Os Profetas eram considerados videntes do Antigo Testamento que tinham feito profecias, entre outras, o do nascimento de Cristo. As Sibilas eram videntes femininas da Antiguidade, cujas profecias eram interpretadas de um ponto de vista cristão como anunciando também a chegada do salvador. O projecto original previa doze Apóstolos, que foram substituídos por sete Profetas e cinco Sibilas, sentados em tronos, cada um munido com o livro das profecias, à excepção do Profetas Jonas, e que se dispõem alternadamente a partir do altar da Capela Sistina.

O Profetas Zacarias com dimensões desproporcionadas, envolvido numa ampla túnica, projecta a sua sombra na parede, com os bulbos oculares fixos, folheia as páginas do livro de profecias. Atrás encontram-se dois *putti* imobilizados, olhando para o livro das profecias e parecendo escutarem a leitura do profeta. O profeta com mímica de reflexão, com dois sulcos frontais incompletos e o supercílio apresenta-se em **S** itálico, cuja concavidade medial olha superiormente.

A Sibila Délfica com aspecto juvenil, beleza sedutora, elegante e vigorosa, determinada, segura numa mão o manto e noutra um pergaminho. Atrás dois *putti* parecem imobilizados, em torno de um livro aberto. A *facialis* é paradigmática da figura feminina, com grande beleza e um rosto com feições sedutoras e delicadas, que a aproxima das primeiras virgens de Miguel Ângelo.

O Profeta Joel com uma expressão séria e atenta, absorvido na consulta de um pergaminho. Atrás dois *putti*, um lê com ar solene e, outro transporta o livro de profecias, com a boca entreaberta e apontando com a mão direita, como se algo de importante esteja a transmitir. O Profeta com mímica de dureza com dois sulcos frontais e um metópico, além de dois sulcos verticais, a cabeça do supercílio sitiado mais inferiormente e um sulco mentual muito bem marcado.

O Profeta Isaías de uma beleza viril, parece assaltado por uma dúvida. Interrompendo a leitura, conserva o dedo entre as páginas do livro. Tem o rosto virado para um *putto*, que escuta inquieto, o que este lhe comunica. O Profeta com mímica de atenção com grande concentração, apresenta um sulco frontal incompleto, sulcos órbito-palpebrais bem marcados e sulco naso-labial muito evidente

A Sibilai Eritreia imagem soberba, adquiriu unidade dinâmica com braços poderosamente musculados. a mão esquerda folheia as páginas de um livro, e o membro superior direito estende-se ao longo do corpo. Um *putto* acende uma cadeia e o outro esfrega os bulbos oculares.

A Sibila Cúmica é uma personagem feminina enigmática correspondendo à imagem, de uma vidente cujos poderes poderão ser ilimitados e inquietantes. Tem um corpo com formas gigantescas e masculinas, em contraste com os traços marcados e rugosos de um rosto de velha e muito ameaçadora. A Sibila sustenta com desconfiança, o livro da sabedoria. A sua cabeça minúscula, marcada pela idade, não se harmoniza com o corpo viril, com grandes seios e os pés muito desenvolvidos.

O Profeta Ezequiel volta-se para a direita com as vestes esvoaçando, agitando-se no seu pequeno assento e inclinando-se para diante. Na mão esquerda segura um rolo de pergaminho e a mão direita está aberta num gesto de inquisição. O Profeta com mímica de dureza agressiva, apresenta três sulcos frontais incompletos e a bochecha com sulcos dispostos obliquamente. A rima palpebral esquerda permite observar o bulbo ocular olhar medialmente.

O Profeta Daniel aparenta juventude sugerindo energia e movimento. Entre as suas pernas está um *putto*, que suporta o peso de um enorme livro sobre a cabeça e os ombros. O profeta com mímica de reflexão e inquietação, com sulcos fronais incompletos, um sulco metópico e os sulcos naso-geniano, genio-labial, bem marcados. A fenda labial dispõe-se horizontalmente.

A Sibila Pérsica sentada de perfil, curvada sobre si própria muito corcovada. Parece ser míope pela dificuldade em fazer a leitura do texto, no livro que segura nas mãos.

A Sibila Líbíca apresenta a elasticidade de movimentos, combinada com um sentido de beleza, robustez e juventude, e tendo o contorno dos ombros nus e os braços atléticos, que seguram um grande livro aberto. O perfil recurvado, e a posição das pernas e dos pés conferem a esta Sibila um aspecto elegante.

O Profeta Jeremias no seu assento, encurvado, encostando a cabeça na mão direita, com a sua veneranda velhice, absorvido no sofrimento das misérias humanas. Atrás, uma das figuras baixa a cabeça em sinal de contrição e de dor. O Profeta com mímica de reflexão e inquietação, com numerosos sulcos frontais completos e incompletos e um sulco naso-genial. A porção inferior da *facialis* não se observa por estar escondida com a mão direita.

O Profeta Jonas ocupa um lugar proeminente, em posição oposta ao altar, que não tem nem livro nem pergaminho, e que é retratado numa posse de extraordinário dinamismo, com as massas musculares do membro inferior muito desenvolvidas. É acompanhado por uma planta em fundo e o peixe a seu lado, especificamente referido no Livro de Jonas. O Profeta com mímica de atenção com admiração apresenta um sulco frontal incompleto e o sulco orbicular inferior muito bem marcado. A rima das pálebras permite observar o bulbo ocular olhar medialmente. A rima da boca tem uma forma trapezóidal, permitindo mostrar a língua e os dentes maxilares.

Pendentes dos cantos com episódios da História do Povo de Israel

As cenas dos pendentes dos cantos do tecto da Capela Sistina ilustram a libertação do povo judeu.

Judite e Holofernes representa a viúva judia, Judite, depois de ter entrado no campo das tropas inimigas e decapitado o líder, Holofernes. Sai para entregar à sua serva a cabeça do opressor. Judite coloca a cabeça de Holofernes, numa bandeja que a serva trás na cabeça. A cabeça de Holofernes é provavelmente um auto-retrato de Miguel Ângelo. Judite de costas aparece no momento em que acaba de colocar a cabeça de Holofernes na bandeja da servente. Os gestos ponderados parecem ser os de um rito sagrado.

David e Golias representa o gigante filisteu, Golias, caído de rosto no chão depois de ter sido atingido pela funda de David, levanta a espada para o decapitar, enquanto três soldados observam a cena. O jovem David em pleno movimento, maneja a espada com a mão direita, enquanto segura a cabeça de Golias, com a mão esquerda.

A punição de Ãma apresenta três cenas separadas. À esquerda, o rei da Pérsia, Xerxes, aparece com a sua jovem mulher judia, Ester, e o seu primeiro-ministro, que pretende erradicar o povo judeu. À direita da imagem, Xerxes, ouve a leitura da crónica do seu reino e manda chamar o tio de Ester, Mardoqueu. Depois de Ester ter revelado as intrigas de Amã e as boas intenções do seu tio, o primeiro-ministro do Império Persa, Amã é executado. A execução observa-se na cena central. Xerxes em tronco nu, com saliências musculares muito desenvolvidas no pescoço, tronco e membro superior direito, ordena a execução de Amã, com dureza agressiva, apontando com o dedo indicador direito.

A serpente ardente representa o episódio em que Deus envia serpentes venosas como castigo do povo de Israel por se queixar d'Ele. Só quando Moisés eleva uma réplica da serpente, em bronze, é que o perigo mortal é afastado, mas apenas dos que olharem para ela. À direita da imagem, os judeus maldizentes são aterrorizados pelas serpentes venosas, e à esquerda são salvos por contemplarem com fervor a serpente de bronze. Os judeus maldizentes, aterrorizados pelas serpentes venosas, apresentam mímicas de terror com tortura dolorosa.

Antepassados de Cristo

Miguel Ângelo distribuiu os Antepassados de Cristo ao longo de 14 lunetas e 8 tímpanos, sendo duas lunetas retiradas, as localizadas na parede do altar, para dar lugar ao Juízo Final. Essas duas lunetas

continham: uma, Abraão, Isac, Jacob. Judá, marcava o início da linha dos Antepassados de Cristo; e a outra, com Peres, Hesron, Rame. Continua na primeira luneta da parede norte com Aminadad, depois com Naassão na parede sul. Daqui segue em zigue-zague entre as paredes norte e sul até à parede de entrada, onde se conclui com José e Jacob e José, o pai e o avô de Cristo.

Para representar os Antepassados de Cristo, Miguel Ângelo encontrou fontes de inspiração nos manuscritos com iluminuras do Evangelho de São Mateus ou nos medalhões quadrilobados de Gioto na Capela da Arena, em Pádua. Mas se os Antepassados de Cristo na Capela da Arena podem ser identificados pelos seus atributos, os frescos de Miguel Ângelo não contém esses atributos. As 14 *lunetas* são acompanhadas de inscrições pintadas com os nomes dos Antepassados mas não permitem uma identificação individual, devendo também estar relacionadas com os 8 *timpanos* situados superiormente.

Josias descansa com tranquilidade estando deitado com o joelho direito semiflectido e o joelho esquerdo completamente flectido, com uma figura feminina muito atenta e um *putto* acompanhando o seu descanso.

Ezequias calvo com grandes barbas brancas, em reflexão profunda com um *putto* apoiado. À sua frente, uma figura feminina em reflexão com inquietação deitado com os membros inferiores cruzados e estendidos, a mão direita sobre o joelho esquerdo e a mão esquerda segurando as vestes.

Aminadad a pentear-se com muita tristeza, mas imprimindo movimentos com as pernas cruzadas que parecem acompanhar os movimentos dos braços.

Naassão reflectindo com inquietação, ao olhar uma moldura oval com os cotovelos flectidos e apoiados na coxa esquerda.

Booz repousa tranquilamente, segurando um *putto* com a mão direita e apoiando a sua cabeça com a mão esquerda.

Obed apresenta uma mímica de atenção e luta íntima e olhar estático. A mão esquerda segura um bordão encimado com uma figura que parece ser uma réplica da sua própria cabeça.

David em grande reflexão, com os braços cruzados parecendo mostrar abandono e impotência, incapaz de reacção. Atrás de si uma mulher parece querer entregar-lhe algo que o possa fazer sair da sua atitude.

Salomão em grande concentração, realiza uma construção, utilizando linha com o novelo seguro na mão direita, enquanto a mão esquerda vai enrolando a linha numa armação. As pernas cruzadas parecem acompanhar os movimentos do membro superior esquerdo.

Abia com a cabeça virada para a esquerda e apoiada no ombro apresenta a mímica em tranquilidade reflexiva.

Josafat muito concentrado escreve segurando com a mão esquerda o papel, apoiado na coxa direita com o joelho flectido.

Joram olha com atenção para um local que lhe é indicado por um *putto.*

Acaz acompanhado por dois *putti,* com a mão esquerda no peito parece estar emocionado, exprimindo uma atitude de reverência e de concentração.

Manassés com admiração tem um *putto* ao colo com a cabeça apoiada na sua mão esuerda, enquanto a seus pés, num berço se encontra outro *putto.*

Amón sentado e flectido, as pernas e os braços cruzados traduzem a posição característica do sono.

Salathiel com um *putto* agachado ao seu colo, ambos olhando com concentração, tendo a mão esquerda em supinação o que pode significar uma disponibilidade para aceitação.

Eliacim olha para a direita com atenção acompanhada por um *putto*, com a mão direita em pronação, podendo esta posição representar incapacidade para reagir.

Azur com a cabeça semiflectida, com atenção e admiração, a mão direita com os dedos ligeiramente flectidos e o dedo indicador apontando, para que o *putto* possa olhar para qualquer local.

Sadoc com a mão esquerda no mento e as pernas cruzadas denota reflexão profunda com inquietação.

Achuim com os braços cruzados e os joelhos flectidos apresenta um estado de sofrimento com resignação.

Eleazar com muita atenção segura um *putto*, sendo observado por uma figura que os bulbos oculares muito abertos e espantados. Os calcanhares estão encostados e os dedos afastados dando a sensação de movimento.

Jacob pensativo e com grande sofrimento, com um *putto* brincando e um jovem situado atrás com tristeza exprimindo desgosto.

Mathan é a figura representativa de um jovem contemporâneo, em reflexão com pensamentos sombrios, com a perna direita suportada pela coxa esquerda e a mão esquerda flectida sobre o pé, enquanto a mão direita se apoia no ombro.

3. MIGUEL ÂNGELO EM ROMA (1534-1541)

O JUÍZO FINAL

Em 1534, Miguel Ângelo instala-se definitivamente em Roma, onde passará os últimos trinta anos da sua vida. Após a morte de Clemente VII, o novo papa, Paulo III, contratou imediatamente Miguel Ângelo, com sessenta anos, para pintar o fresco na parede atrás do altar da Capela Sistina, com cenas cristãs, temas da Divina Comédia de Dante. Cerca de trezentas e noventa figuras, muitas delas com mais de dois metros de altura, com corpos nus, com dificuldade em distinguir mortais, anjos e santos, uma vez que os anjos não têm asas e os santos sem auréolas e só a alguns foram associados os símbolos do seu martírio. Atendendo a que Miguel Ângelo apresenta as suas figuras sem um esquema hierárquico e em muitos casos sem atributos, apenas alguns podem ser identificados com alguma aceitação. Através de uma resolução do Conselho de Trento o discípulo de Miguel Ângelo, Daniele de Volterra, foi incumbido de tapar a nudez das figuras, mas agiu com tanto cuidado que o fresco acabou por não ser muito adulterado.

Cristo, rodeado de anjos e santos, preside ao juízo e profere a sentença com gestos imperiosos, no esplendor da sua auréola, enquanto a Virgem representa a misericórdia ligada à justiça divina.

Por cima de Cristo, em duas lunetas, encontram-se figuras com instrumentos da Paixão, à direita elevam a cruz de Cristo e, à esquerda elevam a coluna da flagelação.

À esquerda de Cristo estão as figuras notáveis da história de Israel. À direita de Cristo as figuras representando a árvore genealógica de Jesus e provavelmente as dez sibilas da Antiguidade.

Por baixo de Cristo encontram-se os anjos tocando as trombetas que anunciam a ressurreição. À esquerda algumas figuras situam-se no purgatório. À direita as figuras representam a ascensão para Cristo.

Na parte inferior do fresco, encontra-se à direita, a ressurreição dos mortos e, à esquerda o inferno.

O Cristo como juiz e a Virgem do Juízo Final, uma imagem decidida e equilibrada no momento de se levantar. Ergue a mão direita num gesto de condenação e chama os eleitos com a esquerda. O ciclo descrito pelo movimento oposto dos braços mantém-no em equilíbrio e dá-lhe majestade. Ao lado de Cristo está a Virgem, numa atitude receosa e a ela recorrem com o olhar, os pecadores.

A lúnula da esquerda, apresenta anjos erguendo a cruz.

A lúnula da direita apresenta com anjos atléticos a levantar a coluna da flagelação e outro anjo com a coroa de espinhos.

As Personagens Bíblicas são distribuídas pela árvore genealógica de Jesus e por um grupo de mulheres. A árvore genealógica, por ordem cronológica refere-se a: **Abraão**, sua mulher **Sara**, o filho de ambos **Isac**, casado com **Rebeca**, e de cujo matrimónio nasceu **Jacob** e **Esaú**. Jacob foi pai de **Judá**, fundador de uma das doze tribos de Israel. Aparecem depois os parentes mais próximos: **Isabel**, prima da Virgem, e Zacarias, dos quais nasceu **João Baptista**, tradicionalmente apresentado como intercessor perante Cristo, e representado por uma colossal estatura. A figura de costas é **José**, o carpinteiro, casado com Maria. As mulheres são apresentadas em baixo e à direita, sendo identificadas, **Judite** de costas, a viúva que decapitou Holofernes, e **Niobe**, a mais orgulhosa das mulheres da mitologia clássica, uma mulher pagã no Paraíso, com os seios desnudados, e sendo agarrada pela sua filha ajoelhada. A figura mais próxima e sentada aos pés de Cristo mostra **São Lourenço**, aterrorizado, parecendo esquivar-se da maldição divina, com a grelha do martírio.

As figuras da história de Israel, apóstolos e mártires

À esquerda de Jesus pode ver-se muitos protagonistas do Antigo e do Novo Testamento. Na parte superior direita estão figuras notáveis da história de Israel, como **Moisés**, o rei **David**, o rei **Salomão** e o juiz **Samuel**. Junto a este está **Josué**, sucessor de Moisés, com a sua mão direita numa posição idêntica à mão de Cristo. Os apóstolos são representados por **Pedro**, com as chaves. Também vemos seu irmão **André**, **Santiago** e seu irmão **João**, discípulo favorito de Jesus, com a pele de animal. Atrás está **Maria Madalena** e um pouco distanciado está **Paulo**. Na parte superior esquerda estão os Padres da Igreja. Inferiormente estão representados os mártires, cada um segurando o instrumento com que foi martirizado. **Bartolomeu** com a faca com que foi esfolado vivo, mostra a sua pele, deformada com uma face angustiada, representando o auto-retrato de Miguel Ângelo. O profeta **Isaías** com a serra. O portador da cruz identificado com o **Bom Ladrão** e a outra figura representa **Simão de Cirene**, que ajudou a transportar a Cruz até ao Calvário. **Catarina de Alexandria** com a roda com que foi torturada, apesar de ter morrida decapitada. **São Brás** com dois pentes de cardar. **São Sebastião** com várias setas.

O toque para a ressurreição com os anjos anunciando o momento da verdade e tendo consigo a lista dos bons e dos maus. Anjos tocam longas trombetas cujo som vai iniciar a ressuscitação. A maior parte dos ressuscitados são condenados, com demonstra o enorme livro, em que estão escritos os seus nomes. Quatro vezes mais pequeno é o livro dos que ascendem ao Paraíso.

A ressurreição dos mortos, através do toque das trombetas, com homens e mulheres envolvidos em mortalhas, emergindo da terra onde foram inumados, com movimentos lentos e entorpecidos. Um homem luta para tentar levantar a lápida que o cobre. A potência alucinante desta cabeça sem partes moles parece já ter vida, vendo com assombro a vida renascer. Alguns ressuscitados já são de novo humanos, outros começam a estar revestidos por partes moles ou mantêm-se ainda como esqueletos.

A ascensão mostra corpos ressuscitado subindo para o Paraíso, submetidos a uma lei contrária à da gravidade. Um dos ressuscitados pede ajuda desesperadamente, mas os anjos estão ocupados, lutando pela salvação de vários homens que os demónios disputam. Dois dos eleitos estão a ser içados por um bem-aventurado que utiliza um rosário como corda.

O purgatório apresenta seres humanos misturados com anjos, em actos desesperados não manifestando a certeza da redenção e outros ascendem pelo seu próprio esforço, sem a ajuda dos anjos. Miguel Ângelo quis representar os sete pecados capitais, sendo apenas dois identificados, a avareza e a injúria. A avareza está representada numa figura com uma bolsa atada à cintura e umas chaves. A injúria está representada por um homem em que um diabo agarra os seus órgãos genitais com tal força, que os bulbos oculares estão saindo das órbitas e os dedos a serem mordidos. O homem desesperado, agarrado por um demónio cobre o rosto com um gesto incrédulo e resignado. Aparenta desespero, remorso, terror e um aniquilamento físico e espiritual. Para este homem melhor teria nunca ter nascido.

O inferno é apresentado com a barca de **Caronte**, que segundo Dante, atravessa os pantanos de Aqueronte, transportando os condenados, marcado por um brutal dramatismo, devido aos movimentos violentos dos corpos e da sua expressividade monstruosa. À direita está **Mimos** que recebe os condenados, transportados na barca de Caronte e superiormente a ele observa-se **Lucifer**. À esquerda um homem lança-se nas chamas da caverna do Inferno e observa-se a cabeça de um condenado. Caronte apresenta uma cabeça monstruosa. A cabeça tem orelhas de burro e olhos muito abertos. Mimos com uma serpente enrolada que lhe morde o pénis, e com orelhas de burro. Mimos em cuja imagem se reconhece Biagio de Cesena, o mestre de cerimónias do Papa Paulo III, que criticou a nudez das imagens da Capela Sístina. A cabeça de um condenado à entrada da caverna do inferno, com o aspecto da morte no escuro.

7. MIGUEL ÂNGELO EM ROMA NA VELHICE (1542-1564)

Na velhice, Miguel Ângelo realizou a pintura dos dois frescos parietais da Capela Paulina, que levou até ao fim com muito esforço, por várias doenças que afastaram frequentemente o velho artista do seu trabalho.

Capela Paulina

A Capela Paulina (1542-50) contem os últimos frescos de Miguel Ângelo, e segundo Giorgio Vasari, levou a pintura até final com muito esforço. O artista tinha setenta e cinco anos quando terminou os dois frescos na capela privada de Paulo III. Várias doenças afastaram frequentemente o velho artista do seu trabalho. Os dois frescos, situados nas paredes laterais da capela, mostram cenas importantes da vida dos apóstolos Paulo, o patrono onomástico do papa e Pedro, o fundador do papado.

A conversão de Saulo capta o momento em que Saulo, perseguidor dos cristãos, vê uma luz no céu e ouve a voz de Cristo, que pergunta a Saulo porque o persegue. Atordoado e cego pela luz divina, Saulo cai do cavalo e converte-se ao Cristianismo. Muda o seu nome para Paulo e torna-se num dos mais ardentes defensores da nova fé. Trata-se de uma imagem de Cristo vingador, rápido como o relâmpago, que esmaga Paulo demasiado fraco e humano.

São Paulo é um homem idoso fulminado por um Deus atlético, entrevendo-se em São Paulo um auto-retrato de Miguel Ângelo. Todo o fresco aparece circundado por putti e seres amedrontados, com corpos contorcidos, e com mímicas de medo e de terror.

A Crucificação de São Pedro descreve o martírio do apóstolo, supliciado em Roma, durante as perseguições de Nero. São Pedro considerou-se indigno de sofrer a mesma morte de Cristo, tendo pedido para ser crucificado com a cabeça para baixo.

O carrasco cava um buraco para enterrar a cruz. Um velho com grande estatura tem os braços cruzados. Um jovem indiferente à sua própria segurança, esboça um gesto de protesto agarrado à cruz, sendo acalmado por um idoso. Diversas personagens apresentam sinais de espanto e de medo

EM CONCLUSÃO

A pintura de Miguel Ângelo mostra um total interesse pelo Homem, pela forma do seu corpo e pela sua potencialidade expressiva e uma aspiração à monumentalidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bartz, Gabriele & König, Eberhard (2007). *Michelangelo Buonarroti 1475-1564*. h.f. ullmann.

Bradbury, Kirsten (2000). *Michelangelo*. Parragon Publishing Books.

Campos, Deoclecio Redig De (1972). *Chapelle Sixtine et Chapelle Pauline*. Paris: Grange Batelière.

Cirri, Caterina & Ricci, Simona (2011). *The Sistine Chapel*. Scala Group S.p.A.

Cumming, Robert (2006). *Guias Essenciais, Arte*. Porto: Civilização, Editores, Lda.

Duchet-Suchaux & Pastoureau (2008). *La Bible et les Saints,* Tout l'art. Paris: ÉditionsFlammarion.

Esperança Pina, J. A. (2010). *Anatomia Humana da Locomoção: Anatomia de Superfície e Artística*, 4.ª edição. Lisboa: Lidel.

Bradbury, Kirsten (2000). *Michelangelo*. Parragon Books.

Brion, Marcel (1976). *Miguel Ângelo* (3.ª edição). Lisboa: Editorial Aster.

Furse, John (1975). *Michelangelo and His art.* The Hamlyn Publishing Group Limited.

Girardi, Monica (2000). *ArtBook Rafael*. Madrid: Sociedad Editorial Electa España S.A.

Grömling, Alexandra (2001). *Miguel Ângelo Buonarroti. Vida e obra.* KöNEMANN.

Harris, Nathaniel (1981). *A Arte de Micheangelo*. Rio de Janeiro: The Hamlyn Publishing Grup Limited.

Heusinger, Lutz (1974). *Michel-Ange. Vie et ouvres par ordre chronologique*. Firenze: Becocci Editore.

Heydenreich, Ludwig H. & Passavant, Günter (1974). *Le temps des genies, Renaissance Italienne 1500-1540.* L'Univers des Formes, Éditions Galimard.

Janson, H.W. (1998). *História da Arte.* Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.

Legrans, Gérard (1999). *Arte do Renascimento*. Lisboa: Edições 70.

Lapouge, Gilles (1973). *L'Univers de Michel Ange*. Paris: Scépel.

Llorens, Tomás. *Miguel Angel*. El Arte y Sus Creadores n.º 10. Madrid: Historia 16.

Lopes, Maria Fernanda (Coordenação da edição) (1996). *História da Arte, volume 6, O Renascimento (II) e o Maneirismo, pag.30-37.* Editorial Planeta – De Agostini.

Luchinat, C. Cidini (2007). *Michelangelo as sculptor*. Federico Motta Editore.

Müntz, Eugéne (2006). *Michelangelo 1475-1564.* Grange Books.

Norton, John (1974). *Painting and Drawing Children*. New York: Watson-Guptill, Publications.

Pijoan, José (1972). *História da Arte. volume 6*. Mem Martins: Publicações Europa-America Lda.

Pijoán, José (1979). *Miguel Ánge. Summa Artis, Historia General del Arte, volume XIV, Renascimento Romano y Veneciano.* Madrid: Espasa-Calpe, S.A.

Renault, Cristophe (2002). *Reconnaître les Saints et les personnages de la Bible.* Paris: Éditions Jean-Paul Gisserot.

Sala, Charles (2001). *Miguel Ângelo. Escultor, Pintor e Arquitecto*. Paris: Editions Pierre Terrail.

Thoenes, Cristof (2012). *Raphael 1483-1520, L'invention de la Haute Renaissance*. Koln: Taschen.

Toman, Rolf (2000). *A Arte da Renascença Italiana – Arquitectura, Escultura, Pintura e Desenho*. Köln: Könemann (Edição Portuguesa).

Zöllner, Frank, Thoenes, Cristof & Pöpper, Thomas (2008). *Miguel Ângelo 1475-1564, Obra completa.*Taschen.

Michel-Ange et Raphael au Vaticam: Cidade do Vaticano: Edizioni Musei Vaticani.

(Comunicação apresentada à Classe de Ciências
na sessão de 4 de junho de 2009)

Leite de Vasconcellos, Joaquim Fontes e a estação paleolítica de Casal do Monte[1]

Miguel Telles Antunes[2], João Luís Cardoso[3] e Luís Raposo[4]

Resumo

Palavras-chave: Academia das Ciências de Lisboa – Leite de Vasconcellos – Joaquim Fontes – História da Arqueologia – Paleolítico Inferior e Médio – Casal do Monte

Após apresentação dos Académicos intervenientes neste processo, J. Leite de Vasconcellos e J. Fontes, alude-se à história da descoberta de importante espólio paleolítico em Casal do Monte e, em especial, à colecção oferecida à Academia das Ciências de Lisboa por J. Fontes, agora inventariada e estudada. Nela estão representados os principais tipos de artefactos, de sílex e quartzito do Paleolítico Inferior e Médio, que aí ocorrem. Dá-se conta de resultados de novos trabalhos que melhor esclarecem as condições e estratigrafia da jazida.

Abstract

Key-words: Lisbon Academy of Sciences – Leite de Vasconcellos – Joaquim Fontes – History of Archaeology – Lower and Middle Palaeolithic– Casal do Monte

After presenting the Academicians J. Leite de Vasconcellos and J. Fontes that intervened in this field, we deal with the History of the discovery of the very important Palaeolithic site at Casal do Monte, near Loures, Lisbon. Special attention is paid to the collection from Casal do Monte that was offered by Fontes to the Lisbon Academy of Sciences and is now studied for the first time. The main types of Lower and Middle Palaeolithic implements, mainly in flint and some in quartzite, are represented. An account is provided of recent field work that resulted into a much better knowledge of the site's conditions and stratigraphy.

1 – ARTEFACTOS PALEOLÍTICOS NO MUSEU DA ACADEMIA DAS CIÊNCIAS E OS ACADÉMICOS LEITE DE VASCONCELLOS E JOAQUIM FONTES

Ao tentarmos caracterizar o espólio do Museu Maynense, da Academia das Ciências de Lisboa, reencontrámos um conjunto de peças paleolíticas do Casal do Monte oferecidas por Joaquim Fontes a pedido de Leite de Vasconcellos, antigo Director daquele Museu.

[1] Comunicações apresentadas em 20 de Outubro de 2009.

[2] Academia das Ciências de Lisboa, R. da Academia das Ciências, 19, 1249-122 Lisboa; CICEGE, FCT da UNL, Monte de Caparica. migueltellesantunes@gmail.com

[3] Universidade Aberta (Lisboa) e Centro de Estudos Arqueológicos do Concelho de Oeiras (Câmara Municipal de Oeiras) – cardoso18@netvisao.pt

[4] Museu Nacional de Arqueologia, Praça do Império, 1400-206 Lisboa – luisraposo@mnarqueologia.dgpc.pt

Na sequência, é com o maior gosto que registamos e agradecemos a pronta adesão dos arqueólogos João Luís Cardoso e Luís Raposo no estudo das peças em causa, que ora apresentamos no âmbito do Instituto de Altos Estudos da Academia.

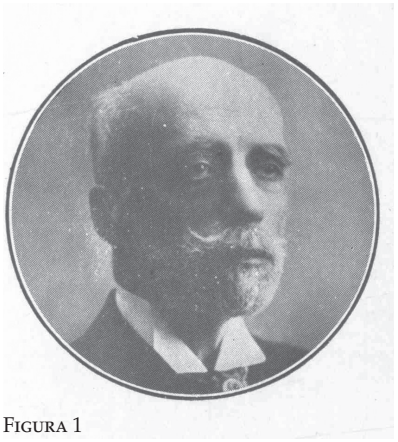


Figura 1
Retrato de José Leite de Vasconcellos (1858-†1941) em 1924.
ARQUIVO DA ACADEMIA DAS CIÊNCIAS DE LISBOA.

Pouco há a acrescentar quanto a esta personalidade, José Leite de Vasconcellos Pereira de Mello (Fig. 31), conhecido simplesmente por José Leite de Vasconcellos. A sua valiosa obra na Academia já foi focada (Antunes, 2008). Verificam-se constância da vocação museológica, conservação e preservação de património, divulgação perante o grande público e especialistas, estudo e Investigação.

A temática abrange Etnologia, Arqueologia, Filologia e Numismática. Destaque-se o Elogio proferido aquando do Centenário do nascimento, em 20 de Novembro de 1958, por António Augusto Mendes Corrêa, de que existe cópia dactilografada com retoques manuscritos, datada de 20/11/1958, no Processo de Leite de Vasconcellos como Académico na Academia das Ciências de Lisboa (Corrêa, 1958). Aproveitámos esta contribuição.

Leite de Vasconcellos: Homem de Ciências, Homem de Letras. Uma avaliação global da obra requereria vários especialistas, o que talvez não importe porque é óbvio o consenso em considerá-la de valor excepcional.

A par de publicações menores, a pasta contém documentos que estão longe de documentar toda a sua actividade. Permite, todavia, seleccionar temas, ou efemérides que bem testemunham da actividade do visado, das lutas que travou em prol da Academia, da Ciência e do País.

As relações com a Real Academia das Sciencias começaram com o pedido de informações acerca do Prémio de S.M. El-Rei, referindo ser autor do livro *A evolução da linguagem* (1886). Escreveu do Cadaval em 3 de Agosto de 1887, manifestando a qualidade de "Facultativo municipal".

Proposto Sócio Correspondente em 15 de Fevereiro de 1894, manifestou empenho notável nas actividades académicas, traduzido também pela elevada frequência. O trabalho foi intensíssimo. Chegou a sugerir sessões nocturnas.

Tarde na vida, auxiliado por secretários, prosseguiu pesquisas em casa, apesar do débil estado de saúde. Foi redactor de Pareceres e representou a Academia em Congressos. Indício de actividade é a enumeração de cargos que desempenhou, com realce para os de Professor da Faculdade de Letras de Lisboa, Professor da Aula de Numismática da Biblioteca Nacional e Director do Museu Etnográfico Português. Apurámos o seguinte:

– Sócio Correspondente, Secção de História e Arqueologia, desde 1894;
– Representante da ACL no Congresso Arqueológico do Cairo (1909);
– Sócio Efectivo de História e Arqueologia, em 1910;
– Agregado à Secção de Ciências Económicas (1911);
– Representante da ACL no Congresso Arqueológico Internacional, Roma, Outubro de 1912;
– Director do Museu Maynense (1913 – 1933);

– Membro do Conselho Administrativo (1914 -);
– Ocupante provisório da vaga por morte de Bulhão Pato (1914);
– Presidente da Comissão do Dicionário da Língua (1917).
– Passagem da Secção de História para a de Literatura (1919);
– Agregado à Secção de História (1920);
– Passagem à Secção de Filologia (data?), seu Presidente em 1927;
– Membro da Secção de Ciências Filológicas (1937) e Presidente.

O interesse pela Filologia foi relevante, bem como a defesa da Academia. Retenhamos uma intervenção (6.5.1920) em que, a propósito de haver quem aplicasse o termo *antiga* à Academia das Ciências de Lisboa, sem dúvida com conotações depreciativas no contexto do tempo, em que a Academia vinha a ser atacadíssima. Isto aconteceu a nível governamental, privilegiando a 'Academia de Ciências de Portugal', instituição paralela criada em 1908 para esvaziar e tentar destruir a Academia das Ciências; congregava o ressentido Teófilo Braga e outros que não haviam sido eleitos para esta, que beneficiava de financiamentos à custa do Ministério da Instrução.

Leite de Vasconcellos rejeita aquele procedimento. Segundo manuscrito assinado, que consta do seu Processo e vale a pena transcrever [sic]:

> «A palavra antiga, se significa que uma cousa ou ideia a que se aplique existe ha muito tempo (por exemplo: a antiga Academia das Sciencias de Lisboa), tambem significa que uma cousa ou ideia já não existem (por exemplo: a antiga Academia da Historia Portuguesa).
>
> Perante este duplo emprego do adjectivo, póde muita gente imaginar, sobretudo lá fóra, que dizendo-se Antiga Academia das Sciencias de Lisboa, se quer significar o 2.º caso, e que ipso facto se substitue a Academia de Sciencias de Portugal, vindo pois nós a tropeçar no escolho de que pretendemos fugir.
>
> Por isso eu voto contra a denominação de Antiga, aplicada á nossa Academia.
>
> Lx.ª. 6-V-920.
>
> O Socio efectivo
> José Leite de Vasconcellos.
>
> P.S.
> Certamente sería preferível dizer Academia Nacional das Sciencias de Lisboa.»

A 'Academia de Ciências de Portugal' extinguiu-se após a morte de Teófilo (1924) e perante a incapacidade do seu elemento mais notório depois daquele: António Cabreira (1868-†1953). Este, ostentava a imagem de preclaro sábio matemático – sem justificação, porque pouco valia, apesar da encenação recheada de retratos majestáticos em farda de académico, colares e condecorações.

A Academia das Ciências tem prestado enorme contributo para o desenvolvimento científico e cultural do País. As vertentes arqueológicas são menos conhecidas. Uma, a pedido de Leite de Vasconcellos (1896), consistiu na cedência, *a título provisório,* do claustro para instalar a secção epigráfica e lapidar do Museu Etnográfico. Acabou por resolver a situação, procedendo à liberação do claustro.

Outra vertente foi a luta pela Academia, atrás aflorada. Teófilo Braga estava despeitadíssimo. Em 1894 havia sido eleito Vice-Presidente, então exercendo a Presidência. Porém, não foi reeleito.

Havia apresentado numerosas comunicações, situação que veio a alterar-se ao conseguir estabelecer a 'Academia de Ciências de Portugal', onde passou a apresentá-las, o que, em si, seria irrelevante.

Maiores golpes vieram a seguir à implantação da República. Pressurosamente, o Governo provisório liderado por Teófilo esbulhou a Academia da sua tipografia, que tão relevantes serviços vinha a prestar. A perseguição está bem patente pela data de aprovação com publicação logo no dia seguinte, 3 de Novembro. A pretexto da boa gestão dos dinheiros públicos, eram muito dificultados os pagamentos de fundamentais trabalhos em curso; quase correspondia, na prática, à paralisação.

Leite de Vasconcellos foi lutador decisivo contra aquela actuação. Pouco depois enviou ao Presidente da Assembleia-geral da Academia um Relatório, por ele redigido, em que salienta a impossibilidade de dar execução àquela disposição legislativa.

É insuficiente a documentação referente à actuação no Museu Maynense, de que foi Director desde 5.12.1913. Ainda assim, há aspectos a assinalar, em parte de flagrante actualidade.

Desde logo, recorreu ao espólio existente para ministrar aulas de Numismática a alunos da Faculdade de Letras, então no mesmo edifício. Em acta (6.5.1915), refere a falta de numerosas moedas, e propõe a inventariação e o recrutamento de um Conservador. O tema seria tratado em vasto trabalho sobre Numismática publicado nos *Arquivos da Universidade de Lisboa.* Citando:

> "…o que pretendi foi livrar a minha responsabilidade, e ao mesmo tempo dizer á Academia que não cuide que possue monetario muito importante, quando isso não é verdade. De moedas de ouro … ainda não encontrei por ora senão tres: … uma dupla-peça de D. João V, um triente visigotico e uma moeda arabica, ao passo que na sinopse de Aragão se menciona uma totalidade de 125 moedas d'aquele metal." Nem estas escaparam.

A necessidade de catalogar o Museu é recorrente. Leite de Vasconcellos voltou à carga (1.3.1919), propondo para o efeito o Consócio Félix Alves Pereira, posição que reitera em carta (18.7.1921) ao Secretário-geral.

Por outro lado, o Administrador da Casa da Moeda oficiara (22.6.1933) para a Academia pedindo o inventário do "numofiláceo" da Academia para ser integrado no Museu da Casa da Moeda, nos termos de Legislação que a isso obrigava todas as colecções numismáticas em estabelecimentos do Estado. É exemplar a resposta de Leite de Vasconcellos (29.6.1933) ao Secretário-geral. Pede dispensa do cargo de Director do Museu e propõe para lhe suceder o Coronel Henrique Ferreira Lima. Na prática, inviabilizou o pedido da Casa da Moeda, que despojaria ainda mais o património da Academia.

Resultam como conclusões óbvias o reconhecimento do elevado mérito e alta qualidade do contributo de Leite de Vasconcellos; a sua dedicação às causas que defendeu; bem como o empenhamento nas actividades e na corajosa defesa da Academia.

Enriqueceu as colecções do Museu ao pedir espécimes paleolíticos colhidos por Joaquim Fontes em Casal do Monte (Vasconcellos, 1914-1915: 390-395) (Fig. 32).

Além desta colecção, mas registadas com fichas semelhantes e porventura também obtidas por Leite de Vasconcellos, existe um conjunto de peças arqueológicas: machado de pedra polida, machados e

estatuetas de liga de cobre (possivelmente bronze), uma pequena ara, lucernas, e mais.

Três meses antes do passamento, em 12 de Fevereiro de 1941, um dos secretários escreveu uma carta ao Secretário-Geral. Trata de um tema ainda tão actual como o *Vocabulário* da Academia, acrescentando:

> "Quanto ao pedido que me faz para eu ir à Academia devo dizer-lhe mais uma vez que eu pelo estado geral da minha saúde e da falta de vista, … estou completamente incapaz de me ocupar de assuntos académicos. O pouco tempo que eu posso trabalhar tenho de o ocupar nos meus próprios trabalhos, ajudado por vários secretários. …
>
> Nunca posso andar só, nem subir escadas, etc. Muito sinto não poder ir.
>
> Afectuosamente me subscrevo: [Assinatura pouco legível, acompanhada do nome claro escrito por outrem]."

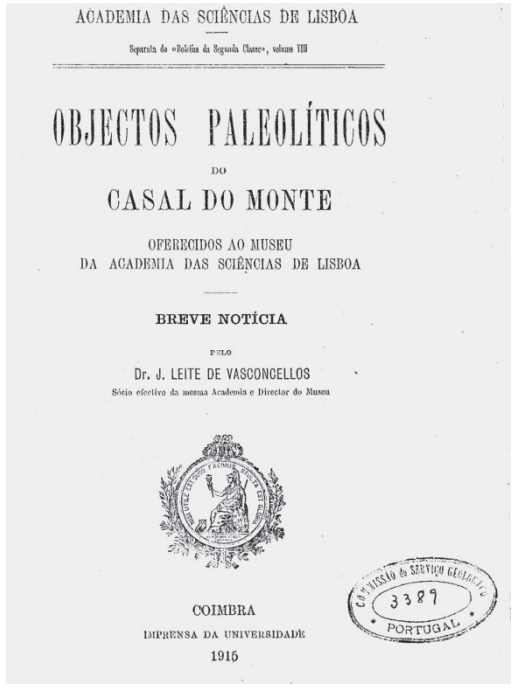
Globalmente, é de reconhecer a actuação valiosa de um dos Sócios mais produtivos e criativos, justificando a Homenagem da Academia das Ciências de Lisboa e da Direcção do Museu Maynense em particular.

Joaquim Moreira Fontes (Fig. 3), ainda estudante, descobriu sítios com indústrias paleolíticas. Entre os mais relevantes contam-se os do Casal do Monte, proveniência do material doado à Academia, correspondendo a um pedido de Leite de Vasconcellos.

Em 15 de Março de 1945, foi eleito Sócio Correspondente da Academia das Ciências de Lisboa, Classe de Ciências, Secção de Medicina. Perfilava-se uma dupla carreira, a de médico e arqueólogo. O seu desempenho granjeou-lhe reconhecimento, em particular através da outorga de distinções, portuguesa e espanholas: Cavaleiro da Ordem de Avis, da Ordem de Isabel a Católica, e da Ordem de Alfonso XII.

Nos quinze anos entre a eleição e o falecimento, a actividade como Sócio parece limitada. Apresentou uma só Comunicação, em 2 de Julho de 1959, intitulada *O Museu Arqueológico de Odrinhas.*

Talvez não surpreenda a escassez em face dos múltiplos afazeres: como Subdirector do Instituto de Investigação Científica Bento da Rocha Cabral, onde colaborou com Mark Athias e Kurt Jacobsohn; Presidente da


ACADEMIA DAS SCIÊNCIAS DE LISBOA

Separata do «Boletim da Segunda Classe», volume VIII

OBJECTOS PALEOLÍTICOS

DO

CASAL DO MONTE

OFERECIDOS AO MUSEU
DA ACADEMIA DAS SCIÊNCIAS DE LISBOA

BREVE NOTÍCIA

PELO

Dr. J. LEITE DE VASCONCELLOS

Sócio efectivo da mesma Academia e Director do Museu

COMBRA

IMPRENSA DA UNIVERSIDADE

1915

COMISSÃO DE SERVIÇO GEOLÓGICO
3389
PORTUGAL

Figura 2
Capa de separata de J. Leite de Vasconcellos (1915) dedicada ao espólio paleolítico de Casal do Monte oferecido por Joaquim Fontes ao Museu Maynense da Academia das Ciências de Lisboa.

Figura 3
Retrato de Joaquim Fontes (1892-†1960) em 1945.
ARQUIVO DA ACADEMIA DAS CIÊNCIAS DE LISBOA.

Associação dos Arqueólogos Portugueses; Médico-Cirurgião e Cirurgião-Parteiro dos Hospitais Civis de Lisboa; Professor da Faculdade de Medicina da Universidade de Lisboa; enfim, Presidente da Câmara Municipal de Sintra.

Deixou obra de mérito em Medicina e Arqueologia, da qual se destacam os trabalhos sobre as jazidas do Casal do Monte.

2 – DESCOBERTA DA ESTAÇÃO PALEOLÍTICA DE CASAL DO MONTE POR J. FONTES

Joaquim Fontes foi Professor Catedrático da Faculdade de Medicina de Lisboa, onde ingressou em 1919 como 2.º Assistente. No decurso da sua carreira médica desenvolveu diversas actividades e colaborações, sendo autor de publicações em revistas nacionais e internacionais no campo da fisiologia e da obstetrícia.

A sua paixão de juventude pela Arqueologia permaneceu ao longo de toda a vida. Quando faleceu, era Presidente da Associação dos Arqueólogos Portugueses, cargo que exercia ininterruptamente desde 1944. Enquanto Presidente da Câmara Municipal de Sintra, na década de 1950, promoveu o estudo de estações arqueológicas do concelho, do que resultaram as Jornadas Arqueológicas de Sintra. As respectivas actas foram editadas pelos Serviços Geológicos de Portugal no âmbito das comemorações, em 1957, do seu primeiro centenário – que, na verdade, é o da criação da segunda Comissão Geológica de Portugal.

Os motivos para esta aparentemente inesperada ligação, sem precedentes, têm de ser procurados na segunda década do século: Fontes era frequentador assíduo do Museu da instituição, então em franco declínio. Paul Choffat, velho e doente, encontrava-se só, apenas acompanhado de um antigo colector de Carlos Ribeiro. Via naquele jovem cheio de vontade uma possibilidade de garantir a continuação dos trabalhos arqueológicos, em boa hora encetados por Carlos Ribeiro, Pereira da Costa, Nery Delgado e poucos mais.

JOAQUIM FONTES 1916

INSTRUMENTS PALÉOLITHIQUES

DANS LA

COLLECTION DE PRÉHISTOIRE DU SERVICE GÉOLOGIQUE

Etudes 2 à 5

Service Géologique du Portugal
LISBONNE
Octobre — 1916

Figura 4
Capa de separata de artigo de J. Fontes editado pelo 'Service Géologique du Portugal'.

Como disse um director daquela Instituição, António de Castelo Branco,

> "Entre Joaquim Fontes e Paul Choffat bem cedo se estreitaram laços de amizade; ao primeiro era grato encontrar, entre os mais velhos, quem nele acreditasse e estivesse disposto a ampará-lo; o segundo, perto já do fim da vida, contemplava, com benevolência e simpatia, os progressos do jovem estudante (…). Pouco antes de falecer, ditando as suas últimas disposições, Choffat ofereceu a Joaquim Fontes os seus livros de arqueologia" (Castelo-Branco, 1961: 180).

Assim, ao então aluno de Medicina, a um passo de se licenciar (o que viria a verificar-se em 1917), foi dada oportunidade de publicar na prestigiada revista da Instituição materiais paleolíticos, inéditos, do acervo daquele Museu (Fontes, 1915/1916, 1918) (Fig. 34).

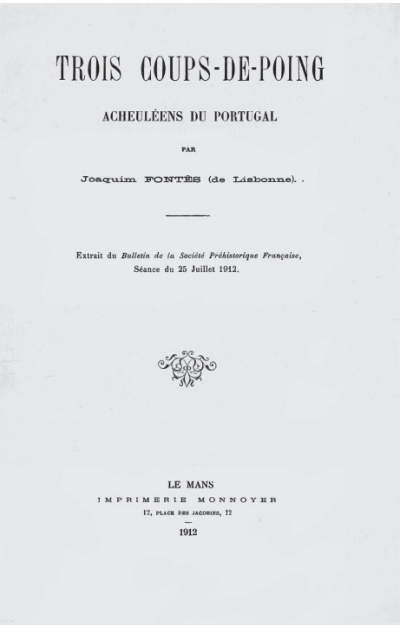
Essa ligação afectiva explica a doação aos Serviços Geológicos da correspondência com arqueólogos portugueses e espanhóis (Cardoso & Melo, 2005). Configura caso, possivelmente único, da

investigação em Portugal: o estabelecimento de relações científicas efectivas, embora efémeras, entre conceituados pré-historiadores que desenvolviam investigações em Espanha e um jovem estudante português, à margem dos apoios dos organismos oficiais. Assim, teve oportunidade de participar nas escavações das cavernas asturo-cantábricas efectuadas pelo conde de la Vega del Sella (Cardoso, 2006).

De novo se pode levantar a questão: porquê esta aceitação internacional de um (ainda) estudante de medicina? A resposta remete para o cerne desta comunicação: na época, Fontes era, por via da descoberta da estação do Casal do Monte, o português mais indicado para interlocutor dos investigadores que pretendessem informações sobre o ainda quase desconhecido período mais recuado da história humana no território português, ao contrário do verificado além-fronteiras – onde há muito tinha sido evidenciada a importância da presença humana paleolítica. Essa realidade depressa tornou Fontes conhecido no estrangeiro, onde divulgou as suas investigações sobre o Paleolítico dos arredores de Lisboa em comunicações a congressos. Apresentou-as às sétima e oitava sessões do Congresso Pré-Histórico de França, em Nîmes (Fontes, 1911) e Angoulême (Fontes, 1913a). Ainda em 1913, o estudo de exemplares do Casal do Monte (Fontes, 1913b) foi apresentado em Genebra à 14.ª Sessão do Congresso Internacional de Antropologia e Arqueologia Pré-Históricas. No ano anterior tinha publicado outro sobre exemplares da mesma origem (Fontes, 1912) (Fig. 5). Tanto bastou para que, antes dos 20 anos, o seu nome fosse tomado como referência internacional na matéria, no respeitante a Portugal.

Tudo começou com um passeio a um local do concelho de Loures chamado Casal do Monte, perto da Póvoa de Santo Adrião, em 17 de Outubro de 1909. O então finalista do Liceu de Camões, acompanhado de seu irmão, Victor Fontes e de um colega, Santa Rita (todos, depois, professores da Universidade de Lisboa), viu que abundavam sílices dispersos à superfície do terreno basáltico:

> "Observei com attenção todos os bocados que encontrei, mostrando-os depois tanto ao Sr. Dr. Leite de Vasconcellos como ao Sr. Dr. Alves Pereira. Ambos estes senhores foram da minha opinião, isto é, que os sílices mostravam trabalho humano. Foi assim que descobri a estação" (Fontes, 1910a: 94) (Fig. 6).



TROIS COUPS-DE-POING

ACHEULÉENS DU PORTUGAL

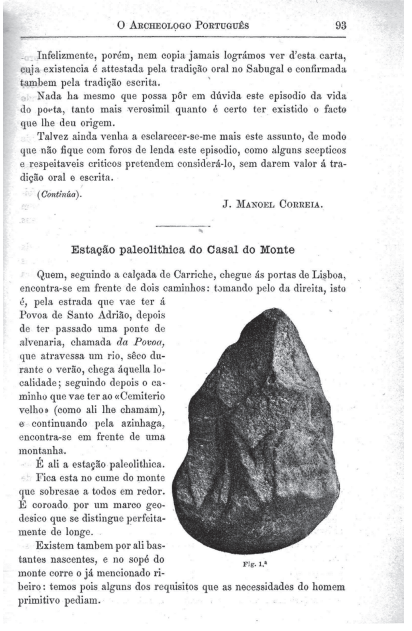
PAR

Joaquim FONTÈS (de Lisbonne).

Extrait du *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, Séance du 25 Juillet 1912.

LE MANS
IMPRIMERIE MONNOYER
17, PLACE DES JACOBINS, 17
1912

FIGURA 5
Capa da separata de um dos artigos publicados no estrangeiro por Joaquim Fontes sobre as indústrias paleolíticas do Casal do Monte.



O ARCHEOLOGO PORTUGUÊS 93

Infelizmente, porém, nem copia jamais lográmos ver d'esta carta, cuja existencia é attestada pela tradição oral no Sabugal e confirmada tambem pela tradição escrita.

Nada ha mesmo que possa pôr em dúvida este episodio da vida do poeta, tanto mais verosimil quanto é certo ter existido o facto que lhe deu origem.

Talvez ainda venha a esclarecer-se-me mais este assunto, de modo que não fique com foros de lenda este episodio, como alguns scepticos e respeitaveis criticos pretendem considerá-lo, sem darem valor á tradição oral e escrita.

(*Continúa*).

J. MANOEL CORREIA.

Estação paleolithica do Casal do Monte

Quem, seguindo a calçada do Carriche, chegue ás portas de Lisboa, encontra-se em frente de dois caminhos: tomando pelo da direita, isto é, pela estrada que vae ter á Povoa de Santo Adrião, depois de ter passado uma ponte de alvenaria, chamada *da Povoa*, que atravessa um rio, sêco durante o verão, chega áquella localidade; seguindo depois o caminho que vae ter ao «Cemiterio velho» (como alli lhe chamam), e continuando pela azinhaga, encontra-se em frente de uma montanha.

É alli a estação paleolithica.

Fica esta no cume do monte que sobresae a todos em redor. É coroado por um marco geodesico que se distingue perfeitamente de longe.

Existem tambem por alli bastantes nascentes, e no sopé do monte corre o já mencionado ribeiro: temos pois alguns dos requisitos que as necessidades do homem primitivo pediam.

Fig. 1.ª

FIGURA 6
Página do primeiro artigo de Joaquim Fontes sobre a estação paleolítica de Casal do Monte, publicado em *O Arqueólogo Português*, 15 (1910): biface de quartzito.

A descoberta não tardou em ser publicada em *O Arqueólogo Português*, graças ao interesse que lhe atribuiu o então Director do Museu Etnológico Português, Leite de Vasconcellos; mantém-se como estação-tipo das ocorrências paleolíticas do Complexo Vulcânico de Lisboa. Versão idêntica do mesmo trabalho foi publicada em edição de autor, com nota prévia de António Aurélio da Costa Ferreira, Professor de Ciências Naturais de J. Fontes no Liceu de Camões, resultante do relatório por este apresentado à Sociedade Portuguesa de Ciências Naturais (Fontes, 1910b).

Enfim, estudo mais desenvolvido surgiu na revista "Materiais", dirigida por Francisco Tavares de Proença Júnior, onde é mencionada, pela primeira vez em Portugal, a "Época musteriana", a "mais largamente representada no Casal do Monte", a par de outras designações estabelecidas na nomenclatura arqueológica internacional (Fontes, 1910c).

A importância atribuída à estação está patente nas palavras de Leite de Vasconcellos na Assembleia Geral da Associação dos Arqueólogos Portugueses, a 17 de Maio de 1910 (Sequeira, 1911: 155):

> "Seguidamente o sr. Leite de Vasconcellos, refere-se ao descobrimento feito pelo sr. Joaquim Fontes, que classifica de importantíssimo. Entre nós conhecia-se muito pouco dessa época, limitando-se quasi os descobrimentos de estações paleolithicas, à estação de Cesarêdo (sic). O Museu Ethnologico possue uma série de objectos offerecidos por aquelle estudante e achados no Casal do Monte."

Com efeito, seguindo o hábito vigente, foram distribuídos materiais pelos principais museus portugueses, com destaque para o espólio doado ao Museu dos Serviços Geológicos, onde foi estudado (Breuil & Zbyszewski, 1942) (Fig. 7).

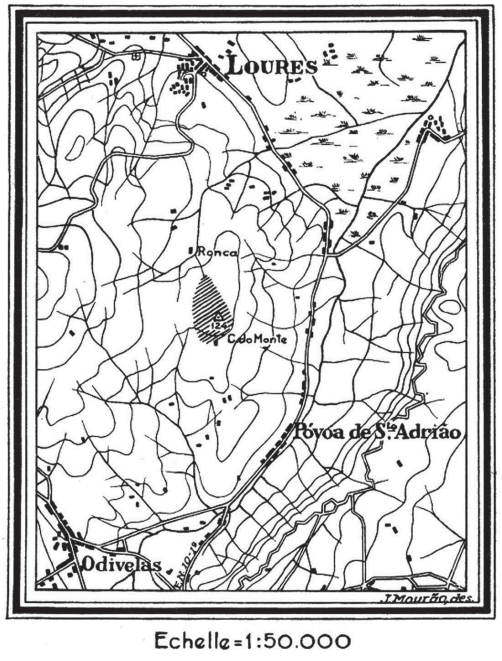


Fig. 1 — La station de Casal do Monte au N.O. de Póvoa de Santo Adrião

FIGURA 7
Delimitação cartográfica da estação paleolítica de Casal do Monte segundo a distribuição no terreno dos materiais recolhidos (Breuil & Zbyszewski, 1942, Fig. 1).

Outros conjuntos, de menor monta, foram enviados ao Museu Etnológico e aos museus da Casa Pia de Lisboa, de Ciências Naturais de Madrid, e Arqueológico de Tetuão, decerto em relação com uma viagem a Marrocos (Gonzalbes Cravioto, 2008).

É nesse âmbito que se compreende o conjunto enviado à Academia das Ciências de Lisboa, cujo Museu era dirigido por Leite de Vasconcellos, com quem Fontes manteve estreita relação até o falecimento em 1941, como se comprova pelo tom afectuoso e de íntima amizade que transparece da correspondência entre ambos. E compreende-se que assim fosse, pois foi Leite de Vasconcellos quem esteve na origem da afirmação da vocação arqueológica de Fontes. Este, viria a ser médico, tal como aquele, embora sem chegar a trocar o exercício da profissão pelo da Arqueologia.

Em um postal do Arquivo do LNEG, remetido por Leite a Fontes (Fig. 8), a propósito da estação que agora nos ocupa, lê-se:

"Caro amigo

Anda-me a apetecer uma ascensão ao Casal-montês; e então com este lindo sol a provocar-nos, e a fazer-nos reluzir diante de nós as pedras paleolíticas!

Se quiser ir Domingo, mande diser pelo telefone. Eu estaria no Arco do Cego às 9 ½.

Seu am. Ob.
Leite".

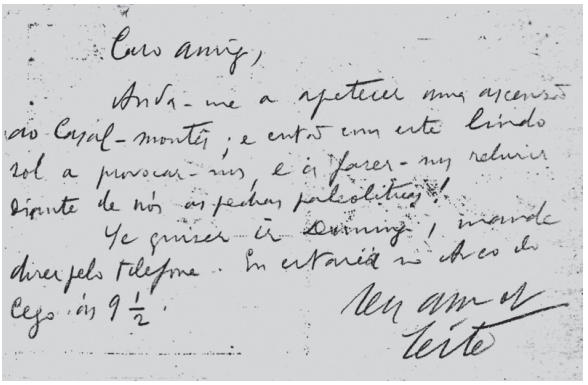


Figura 8
Postal remetido por J. Leite de Vasconcellos a Joaquim Fontes, s/ data, relativo a uma projectada saída de ambos a Casal do Monte (Arquivo do LNEG).

O tom familiar comprova a confiança que existia entre ambos, partilhando cumplicidades, interesses e vivências comuns. As idas ao Casal do Monte, onde os instrumentos de sílex translúcido juncavam o solo, de tonalidades cor de mel, avermelhadas, ou ambarinas, conferidas pelas impregnações de óxidos e hidróxidos de ferro do substrato basáltico, despertavam o interesse dos dois, e esteve na origem da oferta, por Joaquim Fontes, ao Museu da ACL de uma colecção representativa destes artefactos, anos volvidos sobre a descoberta e publicação da estação. A razão é-nos dada pelo próprio Leite, então Director do Museu da Academia, em notícia lida em sessão da assembleia geral de 4 de Março de 1915 e publicada no *Boletim da Segunda Classe* (Vasconcellos, 1915) (Fig. 2):

"Por não existirem no Museu da ACL documentos da Idade da pedra lascada, ao passo que existem alguns de outras idades lusitanicas, da da pedra polida, da do bronze, da do ferro, da romana, pedi ao meu amigo Joaquim Fontes, estudante laureado da Faculdade de Medicina de Lisboa, o qual possue abundante colecção paleolítica, dois ou três objectos d´esta idade, que viessem preencher a lacuna do nosso Museu. O Sr. Fontes foi alem do meu pedido, porque, em vez de dois ou três, entregou-me dezasseis objectos de quartzite e sílex (…)".

Esses artefactos serão de seguida apresentados, não sem antes se chamar a atenção para uma faceta do ilustre académico: em vez de, ele próprio, ter sido o ofertante da colecção – o que facilmente poderia concretizar se fosse esse o seu desejo, dadas as inúmeras possibilidades de recolha, aquando das suas recorrentes visitas à estação – antes preferiu que fosse o seu descobridor e jovem amigo a fazê-lo, associando deste modo o seu nome ao Museu da Academia. Assim, discretamente, se revelavam traços da sua personalidade.

3 – A COLECÇÃO DE ARTEFACTOS PALEOLÍTICOS DE CASAL DO MONTE, NO MUSEU DA ACADEMIA DAS CIÊNCIAS DE LISBOA: INVENTÁRIO

O Museu da Academia das Ciências de Lisboa conserva a totalidade dos exemplares de artefactos paleolíticos do Casal do Monte oferecidos por Joaquim Fontes.

Embora a selecção por ele realizada constitua um conjunto quantitativamente reduzido, importa sublinhar a sua representatividade por ser composto por peças muito típicas do sítio e das suas principais ocupações humanas: a do Paleolítico Inferior / Acheulense e a do Paleolítico Médio / Mustierense.

Em relação ao Acheulense, salienta-se a ocorrência dos emblemáticos bifaces, "coup-de-poings" na expressão da época, ou "faztudos", no saboroso dizer de Leite de Vasconcellos. Os dois exemplares desta tipologia dão conta de diversidades assinaláveis, sendo:

– um em sílex, de secção triédrica, quase configurando um triedro;
– outro de quartzito, secção plana e contorno geral cordiforme.

Sem ser possível atribuir cronologias diferenciadas, é tentador, em todo o caso, atribuir o primeiro a procedimentos tecnológicos mais arcaicos e o segundo a fases mais evoluídas do complexo acheulense.

Quanto ao Mustierense, que representa a maior parte da colecção, é de notar a preocupação de representar os utensílios mais característicos desta fase, os raspadores, sem todavia esquecer alguns dos traços tipológicos particulares das indústrias de Casal do Monte, como é o caso das pontas perfurantes.

Utensílios bifaciais (Fig. 9)

1 – Triedro ou biface triédrico, piriforme, sobre nódulo de sílex. O anverso, apresenta a superfície cortical nodular em toda a zona proximal, assim como na zona mesial central; o retoque de conformação é subvertical a oblíquo na extremidade distal, permitindo destacar esta bastante, a ponto de configurar uma espécie de bico perfurante. O reverso é plano, sendo constituído por um levantamento de conformação, no que se reforça a intenção geral triédrica da peça, e por dois levantamentos periféricos de regularização da extremidade distal, permitindo melhor destacá-la. Rolamento moderado; cor acastanhada.

2 – Biface plano parcial subcordiforme, sobre lasca cortical extraída de seixo de quartzito. A lasca-suporte é de tipo acheulense, com talão em posição SW do contorno; a primitiva face de lascagem é visível na zona central no anverso (entendido este como a face mais trabalhada; vista da esquerda no desenho). O anverso apresenta retoque de conformação subhorizontal e periférico a moderadamente penetrante em todo o contorno. O reverso está preenchido maioritariamente pela superficial cortical primitiva do seixo, e por retoque de conformação bilateral, periférico a moderadamente reentrante, limitado às zonas mesial e distal. Rolamento moderado; cor acastanhada.

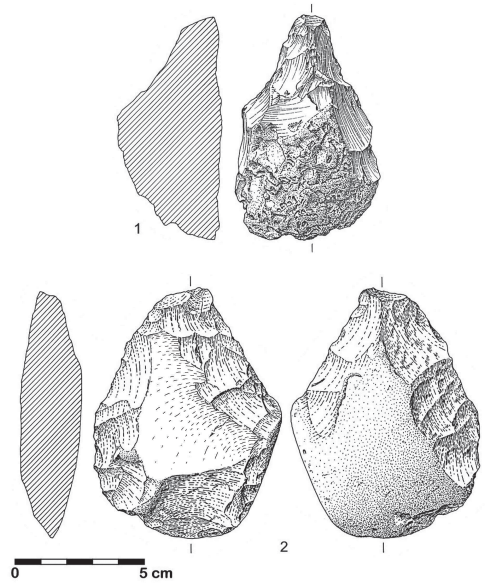


Figura 9
Peças paleolíticas de talhe bifacial, de Casal do Monte. Museu Maynense da Academia das Ciências de Lisboa. Desenhos de Bernardo Ferreira.

Utensílios sobre lasca (Fig. 10)

1 – Raspador duplo convexo-recto, em sílex, partido na extremidade distal. A face externa é composta pelos levantamentos subsistentes da lasca-suporte e por duas sequências de retoque de raspador: a da esquerda, directa e contínua, a da direita, alternante e descontínua. A face interna é unicamente constituída pela superfície de lascagem. Ausência de rolamento; cor acastanhada.

2 – Lasca Levallois retocada, em sílex. Na face externa, apresenta quatro grandes levantamentos com orientações indicadoras da predeterminação da lasca-suporte, e ainda retoque periférico: linear e contínuo na zona mesial e distal direita, descontínuo e denticulado na zona mesial esquerda. Na face interna e em quase todo o contorno apresenta retoque de conformação periférico para além da superfície de lascagem. Ausência de rolamento; cor acastanhada.

3 – Furador sobre lasca laminar, em sílex. Lasca subrectangular, com uma falsa crista central, micro-retoques ou denticulações periféricas e ponta perfurante no ângulo direito da extremidade distal. Ausência de rolamento; cor acastanhada.

4 – Furador sobre lasca inicial, em sílex. A face interna é constituída pela superfície de lascagem; a face externa, pela superfície cortical e por retoque marginal, descontínuo. A ponta perfurante é obtida por retoque periférico subvertical na extremidade esquerda proximal. Ausência de rolamento; cor acastanhada.

5 – Furador sobre lasca cortical, em sílex. A face interna é constituída pela superfície de lascagem; a face externa, pela superfície cortical e por retoque periférico a reentrante na aresta distal, contínuo, por vezes de tendência denticulada. A ponta perfurante é obtida por retoque de regularização, bilateral, e situa-se na extremidade esquerda mesial. Ausência de rolamento; cor negra.

6 – Raspador simples convexo sobre lasca de descorticamento, em sílex. A face interna é constituída pela superfície de lascagem; a externa, por uma placa residual de córtex na zona distal direita, por dois levantamentos subsistentes da lasca-suporte e por uma sequência de retoque de raspador muito extensa, preenchendo o contorno desde a zona distal esquerda até a zona proximal direita. Retoque periférico, oblíquo a subvertical e tendencialmente denticulado. Ausência de rolamento; cor acastanhada.

7 – Lasca Levallois retocada, em sílex. Na face externa, apresenta dois grandes levantamentos obtidos a partir da zona proximal e um levantamento menor, obtido a partir da zona distal direita, todos com orientações indicadoras da predeterminação da lasca-suporte, e ainda retoque periférico, contínuo e alternante, estendendo-se da zona proximal esquerda à zona distal direita, onde adquire inclinação subvertical. Na zona mesial direita apresente um dorso. A face interna é constituída pela superfície de lascagem. Na extremidade proximal apresenta uma espécie de ponta perfurante. Ausência de rolamento; cor acastanhada.

8 – Raspador simples recto sobre lasca de descorticamento, em sílex. Na face externa apresenta córtex na zona distal e no lado direito, onde constitui um dorso. Ainda nesta face, a zona central é preenchida por um

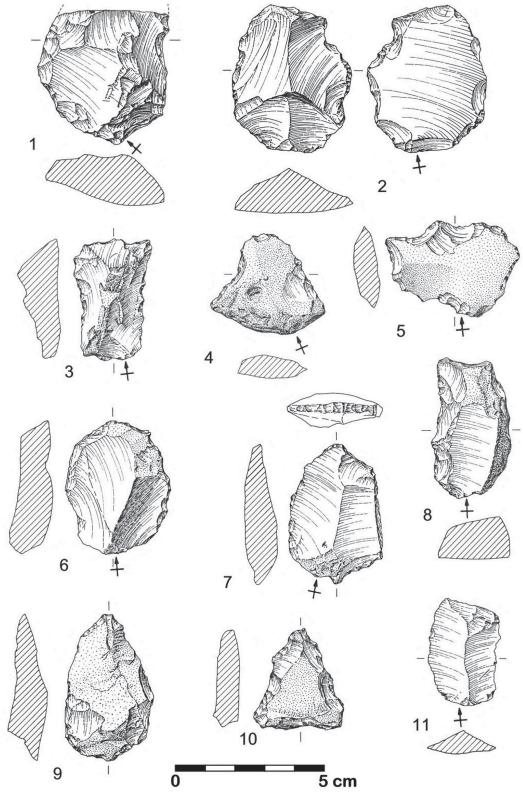


Figura 10
Peças paleolíticas sobre lasca, de Casal do Monte. Museu Maynense da Academia das Ciências de Lisboa. Desenhos de Bernardo Ferreira.

levantamento pré-existente da lasca-suporte e por uma sequência desenvolvida de retoque de raspador, oblíquo, contínuo e moderadamente reentrante, em todo o lado esquerdo. Este retoque estende-se à zona distal axial e direita, onde apresenta inclinação subvertical. A extremidade distal esquerda configura uma ponta perfurante. A face interna é constituída pela superfície de lascagem. Ausência de rolamento; cor acastanhada.

9 – Ponta perfurante sobre lasca de descorticamento, em sílex. A face externa é constituída pelo córtex, por levantamentos moderadamente reentrantes na zona proximal esquerda, por levantamentos periféricos na zona proximal e mesial direita e por retoques subverticais definidores da ponta perfurante na extremidade distal. A face interna é constituída pela superfície de lacagem e por dois levantamentos extensivos de adelgaçamento. Ausência de rolamento; cor acastanhada.

10 – Ponta denticulada, de tipo Tayac, em sílex. Lasca de forma subtriangular, com retoque de tendência denticular, oblíquo a subvertical, extensivo a quase todo o contorno. A face interna é constituída pela superfície de lascagem. Ausência de rolamento; cor acastanhada.

Restos de talhe (Fig. 10)

11 – Lasca laminar atípica, em sílex. A tendência laminar é conferida por dois levantamentos paralelos, oblíquos, obtidos a partir da zona do talão, interceptados numa aresta central que se desenvolve até a extremidade distal, onde é interrompida por um conjunto de três levantamentos de truncagem. Não apresenta retoque. Sem rolamento, cor clara.

Núcleos (Fig. 11)

1 – Núcleo poliédrico sobre nódulo de sílex, com uma plataforma de exploração silhueta vagamente triangular, desviadas.

2 – Núcleo poliédrico sobre nódulo de sílex, com duas plataformas de exploração opostas, delimitando uma superfície de debitagem de tendência laminar, quase prismática, sem contudo configurar a volumetria característica dos núcleos deste último tipo. Rolamento moderado; cor acastanhada.

3 – Núcleo globuloso sobre nódulo de sílex, com uma plataforma de exploração obtida por talhe bifacial. Rolamento moderado; cor acastanhada.

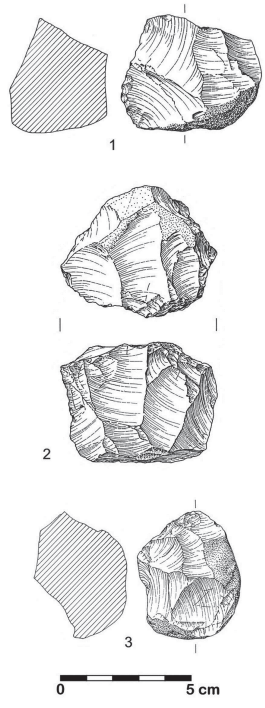


Figura 11
Peças paleolíticas de Casal do Monte: núcleos poliédricos. Museu Maynense da Academia das Ciências de Lisboa. Desenhos de Bernardo Ferreira.

4 – INTEGRAÇÃO HISTÓRICA E CRONOLÓGICO-CULTURAL DO ESPÓLIO À LUZ DAS INTERVENÇÕES RECENTES

Descontados alguns achados isolados por Fonseca Cardoso no vale da ribeira de Alcântara (Cardoso, 1895), antecedidos de recolhas por Carlos Ribeiro na área de Santo Antão do Tojal mas publicadas muito mais tarde (Fontes, 1918), pode dizer-se que o primeiro grande sítio paleolítico detectado na zona de Lisboa foi o do Casal do Monte. Joaquim Fontes compreendeu bem o alcance da sua descoberta, de que deu conta em sucessivas notas e trabalhos, como se disse.

Nos estudos acima referenciados, pode verificar-se como Fontes detectou, em certos casos pela primeira vez, a ocorrência em Portugal de tipos de utensílios e culturas mais característicos do Paleolítico inferior e médio europeu. O sítio do Casal do Monte, pela grandeza da colecção, sempre aumentada em sucessivas prospecções, apresenta-se como uma inesgotável base de dados. Dele se referem "coup-de--poings", pontas, furadores, raspadores… de vários tipos e subtipos, notáveis pelas dimensões, muito pequenas na maioria, às vezes muito grandes, atribuíveis a diferentes culturas paleolíticas. É compreensível, por isso, o interesse de Leite de Vasconcellos em obter amostragem do local.

Depois do Casal do Monte, numerosos outros locais do mesmo tipo, menos importantes, foram registados em todo o "Complexo Vulcânico de Lisboa" como resultado de uma intensa prospecção da área, naquilo que se pode considerar uma das mais pitorescas páginas da história das investigações arqueológicas em Portugal (Raposo e Carreira, 1994). Nela, além de Fontes, distinguiu-se uma geração de jovens (muitos ainda estudantes; mais tarde, conservadores de museus e professores universitários), como Félix Alves Pereira, Luís Chaves ou Vergílio Correia, a par de eclesiásticos ou autores ligados à revista "Brotéria", como os Padres Jesuítas Bovier-Lapierre, Luisier e Eugénio Jalhay.

Já no final do período em consideração, outros se juntariam à actividade dos pioneiros: Afonso do Paço, J. Camarate França, Maxime Vaultier, Jean Ollivier, Abel Viana, O. da Veiga Ferreira e, muito especialmente, Henri Breuil e Georges Zbyszewski. Foram inventariados mais de uma centena de sítios atribuíveis ao Paleolítico (v. inventários iniciais: de Paço, 1934 e 1936; Jalhay e Paço, 1941; Ollivier, 1951; inventários recentes de Marques, 1986 e de Cardoso, Zbyszewski e André, 1992), embora muitos dos locais não sejam verdadeiras estações arqueológicas, mas tão-só achados avulsos ou, no extremo oposto, enormíssimas "manchas de ocupação".

Em jeito de balanço, Ollivier viria a descrever esta ampla mancha de ocupação: (Ollivier, 1951: 68-69).

> "A região que nos ocupa coincide, na sua maior parte, com os derrames basálticos do Terciário [na verdade, verificou-se depois serem fini-secundários]. Ela estende-se entre o Norte e o Oeste de Lisboa com um desenvolvimento de cerca de dezasseis quilómetros. Poder-se-ia delimitá-la sumariamente através de uma linha que, partindo do Norte da capital, passasse pelo Zambujal, o Norte de Loures, D. Maria, Rio de Mouro, Paço d'Arcos, depois remontando pela margem direita do Tejo iria dar a Lisboa"

O sítio do Casal do Monte sobressaía sobre os demais, pela quantidade impressionante e pela diversidade tipológica (e, presumia-se, cronológica) dos materiais líticos nele recolhidos. Porém, olhando as limitações dos estudos iniciais, é hoje evidente que, na falta de sequências estratigráficas e outros métodos de datação mais sólidos, se recorria com excesso a paralelismos tipológicos e de longa distância, baseados em poucas peças ou até em traços que mais apropriadamente deveriam ser atribuídos a particularismos das matérias-primas e dos suportes líticos disponíveis em cada local (caso, por exemplo, da dimensão geralmente pequena dos utensílios, que tanto chamou a atenção de Fontes no caso do Casal do Monte).

Foi Breuil, só ou com Zbyszewski, quem introduziu, no início dos anos de 1940, um novo método de estudo das indústrias líticas permitindo dar novo sentido a estes sítios e às correspondentes colecções. Ollivier registava com entusiasmo:

> "Há um novo método, mais seguro e com o qual se pode conseguir uma classificação, simultaneamente racional e objectiva, do paleolítico dos arredores de Lisboa: é o método do sábio pré-historiador Pe. H. Breuil, membro do Instituto, professor do Colégio de França e do Instituto de Paleontologia Humana de Paris"; "este

método permite, enfim, entrever a solução de um problema, há muito proposto" (Ollivier, 1941). Tratava-se do "métodos das séries" ou "das pátinas", segundo o qual os instrumentos se podem ordenar cronologicamente, dos mais aos menos antigos, em resultado da maior ou menor exposição aos agentes meteóricos, da intensidade do rolamento, eolização, coloração externa e rubefacção que apresentem.

O Casal do Monte adquire nova importância neste contexto, dadas a grandeza, diversidade e, até certo ponto, a tipicidade dos seus conjuntos líticos, que permitiam constitui-lo em sítio-chave. Com efeito, Breuil e Zbyszewski, ao estudarem a colecção depositada por Fontes no Museu dos Serviços Geológicos de Portugal, estabeleceram uma sequência de indústrias e períodos cronológico-culturais que passou a constituir uma "tabela de referência" de toda a região dos arredores de Lisboa, por ser baseada no maior e mais completo conjunto conhecido. Teríamos, assim, uma sucessão de oito séries, abarcando a totalidade do Paleolítico e mesmo períodos mais recentes da Pré-História (v. síntese em Marques, 1986: 76-79).

As séries I a III, mais antigas, pertenceriam ao Paleolítico Inferior, sendo datáveis de um enorme e mal definido período de tempo, provavelmente desde há mais de 500 mil até uns 100 mil anos; a elas associam-se instrumentos tais como os bifaces, certos núcleos de tipo poliédrico, alguns raspadores, etc.

A série IV representa a transição do Paleolítico Inferior para o Paleolítico Médio, enquanto a série V representa o Paleolítico Médio, datável de entre cerca de 100 mil e de 30 mil anos. Nesta destaca-se grande profusão de raspadores de gumes denticulados, furadores, pontas, núcleos discóides e Levallois, assim como de lascas deles provenientes.

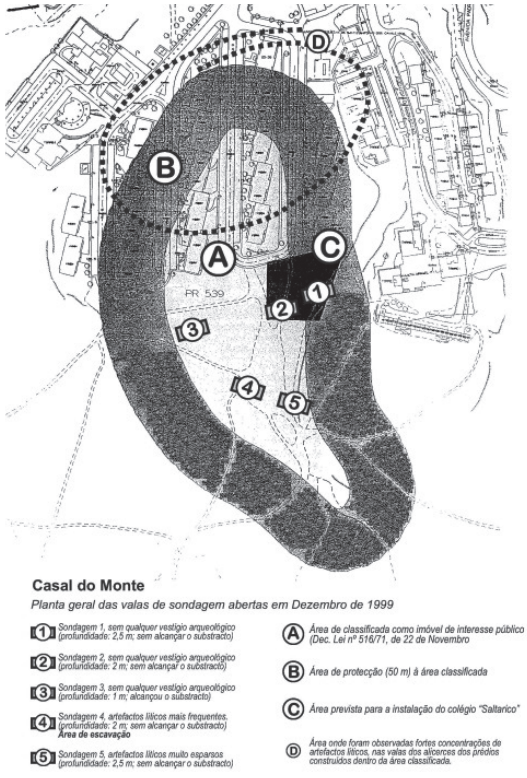


Figura 12
Casal do Monte. Planta das valas de sondagem abertas em Dezembro de 1999.

A série VI, do Paleolítico Superior, datável do final de Idade Glaciária (30-10 mil anos), surge representada por instrumentos julgados característicos e exclusivos deste período: buris, raspadeiras, pontas foliáceas, lâminas, por vezes retocadas, etc.

Finalmente, as séries VII e VIII foram atribuídas a períodos pós-paleolíticos.

Muitos autores mostraram, desde cedo, cepticismo relativamente ao "método das pátinas" (v. as reservas expressas por Manuel Heleno citadas em Cardoso, Zbyszewski e André, 1992: 34). A possibilidade de instrumentos contemporâneos apresentarem desgastes diferentes, se ao longo do tempo estivessem expostos a condições meteóricas também diferentes, foi enfatizada. Porém, a resposta a tais dúvidas era dada por Ollivier no texto citado, ao invocar o argumento da autoridade:

"seria um erro supor que tal método, se pode aplicar sem uma vasta experiência e muita prática, isto é, sem longos anos de observação e estudo de tudo quanto diz respeito à arqueologia pré-histórica" (*idem, ibidem*). O referido método fez o seu percurso até a actualidade, continuando, no essencial e à falta de melhor, a ser seguido pela generalidade

dos autores que têm referido o Paleolítico dos arredores de Lisboa (v. Cardoso, Zbyszewski e André, 1992, onde se reflecte sobre os limites do método).

Em finais da década de 1960, quando a urbanização na área envolvente do Casal do Monte começou a ameaçar o local, procedeu-se à sua classificação oficial como "imóvel de interesse público", concretizada em 1971.

Contudo, data também desta época uma progressiva relativização da importância do sítio, pelas razões metodológicas acima evocadas e, principalmente, por novos achados paleolíticos na região de Lisboa, especialmente de gruta e, depois, de ar livre, com melhores condições de datação e de diagnose cronológico-cultural.

Para o efeito, procedeu-se à prospecção superficial sistemática da área do sítio ainda subsistente e foram abertas quatro valas de sondagem por meios mecânicos (Fig. 12).

Os últimos trabalhos arqueológicos em Casal do Monte tiveram lugar em 1999 sob direcção de um dos signatários (L. R.). Visavam detectar a possível ocorrência de achados em contextos estratigráficos, com eventual estabelecimento de sequências fechadas susceptíveis de consolidar ou aprofundar, corrigindo, as seriações baseadas no aspecto físico superficial das peças em diagnoses tipológicas elementares.

Uma destas valas foi objecto de estudo estratigráfico detalhado e de escavação arqueológica num dos lados (Fig. 13).

A indústria aqui recolhida correspondia, no essencial, aos padrões já conhecidos:

– seja no que respeita a matérias-primas, com ampla preponderância do sílex e presença quase residual de quartzito e quartzo (Fig. 14),
– ou a suportes (elementos nodulares de sílex, seixos rolados de quartzito, seixos mal rolados ou blocos de quartzo filoniano), alterações de superfície ou diversidade tipológica (Fig. 15).

Estes dois últimos aspectos forneceram indicações que permitem avaliação mais precisa das condições de jazida, funcionalidade e diacronia do local. Assim, verifica-se:

(a) a grande predominância dos utensílios atribuíveis tecno-tipologicamente ao Paleolítico Inferior e especialmente ao Paleolítico Médio;

(b) a presença residual de rolamento de arestas e de índices de eolização medianos a fracos; e

(c) a ocorrência abundantíssima de restos de talhe, documentando, aparentemente, a totalidade das cadeias operatórias líticas.

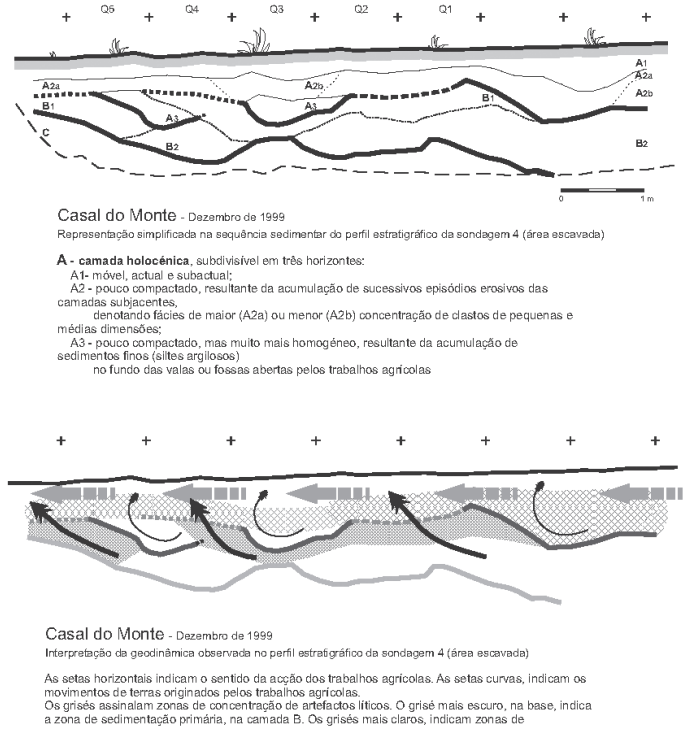


Figura 13
Casal do Monte. Sequência sedimentar do perfil estratigráfico da sondagem 4 (representação simplificada). Ver Fig. 12.

A enorme abundância dos conjuntos artefactuais de Casal do Monte, que se repete, em menor grau, em dezenas de locais em toda a região, foi notada desde o início. Breuil e Zbyszewski (1942: 53-54) referem-se nestes termos aos factores que atraiam o Homem pré-histórico para a região de Lisboa:

> "De um modo geral, parece que a região de Lisboa, limitada a Oeste pelo Oceano, a Sul e a Este pelo baixo vale e pelo estuário do Tejo (muito mais importante outrora do que hoje) tenha sido uma região relativamente povoada. Encontramos aí com efeito um conjunto muito denso de acampamentos pré-históricos ou de 'focos', muito próximos uns dos outros e recobrindo quase unicamente os tufos basálticos dos arredores da capital. É de crer que o número muito elevado destas estações (quase 2 estações por quilómetro quadrado) seja a indicação de condições particularmente favoráveis para a vida nesses tempos. A proximidade do rio e do mar devia favorecer a pesca, ou antes a colheita de moluscos. A abundância das nascentes de água, indispensáveis ao Homem, devia atrair os animais necessários ao abastecimento em carne fresca dessas antigas populações de caçadores. Enfim, a vegetação devia incitar os habitantes da época a procurar o relevo suave das colinas basálticas, de preferência aos maciços calcários, sobretudo cobertos de mato espinhoso".

Na área em que se inclui o Casal do Monte, a situação pode ter explicações ainda mais estruturadas, baseadas na articulação funcional entre sítios arqueológicos. Foi o que um de nós realizou em relação ao Paleolítico Médio (Raposo, 1993, 1995), tendo presente um território em volta dos sítios de Santo Antão do Tojal, em plena "várzea de Loures", que Breuil e Zbyszeswki (1943: 47-48) consideravam constituir como que um elemento nodal na paisagem paleolítica:

> "Parece que se está em Santo Antão do Tojal em presença de um grande centro paleolítico, mas que tenham sido as zonas envolventes, dominando a planície baixa e pantanosa, as habitadas ou pelo menos frequentadas... Este terraço (planície baixa) devia ser nessa época envolvido por pântanos e devia ser um excelente local de caça frequentado, entre outros animais, pelo elefante antigo".

Com efeito, a disposição espacial dos locais atribuíveis a este período na bacia hidrográfica do rio Trancão permite sugerir certa organização funcional do espaço habitado pelos caçadores-recolectores, muito provavelmente *Homo sapiens neanderthalensis*. Na "várzea de Loures", ocorrem os locais de Santo Antão e

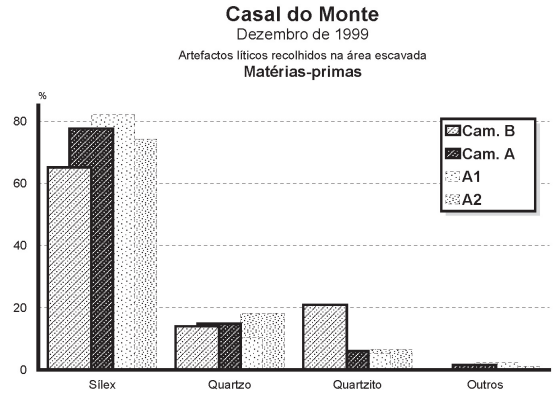


Figura 14
Casal do Monte. Distribuição percentual das matérias-primas pela área escavada em Dezembro de 1999.

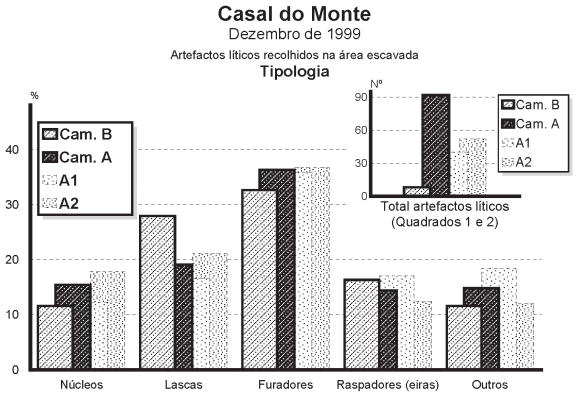


Figura 15
Casal do Monte. Distribuição percentual das tipologias dos artefactos líticos pela área escavada, Dezembro de 1999.

de São Julião do Tojal; na ligação entre a bacia e os planaltos circundantes, situava-se a gruta do Correio-Mor, com ocupação do Paleolítico Médio (Zbyszewski *et al.*, 1987); nestes planaltos, registam-se numerosos locais entre 100 e 200 metros de altitude, dos quais se salientam, pela grandeza, os que se implantam imediatamente sobre os vales (Casal do Monte e Casal do Mortal, a Sudoeste; Pintéus/Chão de Minas, a Norte); enfim, em posição mais afastada da bacia e a altitudes acima dos 200 metros, sobre vales profundos que recortam serras e planaltos, assinalam-se locais com vestígios fugazes deste período – gruta e algar de Salemas, este datado de há cerca de 29 mil anos (Antunes *et al*. 1990: 134), gruta do Pêgo do Diabo.

Trata-se de sítios bastante diferenciados:

– alguns, aparentemente a maioria, podem ser classificados como locais de obtenção de matéria-prima e fabrico de utensílios pela enorme quantidade das suas indústrias líticas, onde abundam subprodutos de talhe, e pela localização (Casal do Monte, Mortal, Chão de Minas/Pintéus);

– outros, pela variedade dos instrumentos líticos e localização no fundo do vale, sobre rotas preferenciais de movimentação de grandes herbívoros (elefantes, rinocerontes, cavalos, etc.), podem ser classificados como locais de abate (sítios de Santo Antão do Tojal);

– outros ainda, pela grandeza e composição das indústrias líticas e localização a meio caminho entre os precedentes, podem ser classificados como bases residenciais (gruta do Correio-Mor);

– outros, finalmente, em posição periférica relativamente ao centro da bacia e a maior altitude, contendo conjuntos industriais reduzidos, podem ser classificados como locais de frequência ocasional, porventura em surtidas de caça a animais sobre substrato rochoso, mais acidentado (gruta e algar de Salemas).

O sítio do Casal do Monte adquire nova importância nesta óptica regional. Tendo deixado de constituir uma sequência-tipo válida para toda a região, passa a ser a ser o melhor exemplo de oficina de talhe a baixa altitude, estrategicamente posicionada sobre a bacia, a curta distância e com ângulo visual sobre bases residenciais e territórios de captação de recursos adjacentes.

CONCLUSÕES

Além de elementos históricos e da discussão de vários aspectos, podemos chegar às conclusões seguintes.

1. O estudo aqui apresentado evidencia o interesse de Leite de Vasconcellos pelas importantes descobertas de materiais paleolíticos em Casal do Monte e pela obtenção de espécimes que enriqueceriam o espólio do Museu da Academia das Ciências de Lisboa; bem como a pronta colaboração de Joaquim Fontes, o descobridor do sítio, ao oferecer um variado e valioso conjunto de peças.

2. São evidenciadas as relações de excelente cooperação e mesmo de amizade entre os intervenientes, Leite de Vasconcellos e J. Fontes, bem como o contexto histórico.

3. O inventário dos 16 objectos em causa, mais ou menos rolados, revela a presença de 2 atribuíveis ao Acheulense/ Paleolítico Inferior e os demais ao Mustierense/ Paleolítico Médio:

(a) **utensílios bifaciais (bifaces)** (dois): um de sílex, triédrico, e outro de quartzito, plano, de contorno cordiforme. É tentador atribuir o primeiro a procedimentos tecnológicos mais arcaicos e o segundo a fases mais evoluídas do complexo acheulense.

(b) **utensílios sobre lasca** (dez) – raspador duplo convexo-recto, em sílex; – lasca Levallois retocada, em sílex; – furador sobre lasca laminar, em sílex; – furador sobre lasca de sílex, ponta perfurante; – furador sobre lasca cortical, de sílex, aresta distal de tendência denticulada, ponta perfurante; – raspador simples, convexo, sobre lasca, em sílex; – lasca Levallois, de sílex, distal direita, indicadora da predeterminação da lasca-suporte e retoque periférico, ponta perfurante proximal; – raspador simples, recto, em sílex, retocado, ponta perfurante; – ponta perfurante em sílex; – ponta denticulada de tipo Tayac, em sílex.

(c) **Restos de talhe** (um): – lasca laminar, atípica, em sílex.

(d) **Núcleos** (três): – núcleo poliédrico sobre nódulo de sílex, com uma plataforma para extracção de lascas; – núcleo poliédrico sobre nódulo de sílex, com duas plataformas de exploração opostas; – núcleo globuloso sobre nódulo de sílex, com plataforma de exploração obtida por talhe bifacial.

4. Embora o conjunto de Casal do Monte oferecido ao Museu da Academia seja quantitativamente reduzido, importa sublinhar a sua representatividade por incluir nesta óptica regional peças muito típicas do sítio e das suas principais ocupações humanas: a do Paleolítico Inferior / Acheulense e a do Paleolítico Médio / Mustierense.

5. O importante sítio do Casal do Monte é o melhor exemplo de oficina de talhe a baixa altitude, estrategicamente posicionada a curta distância e com boa visibilidade sobre áreas residenciais e de captação de recursos.

BIBLIOGRAFIA

ANTUNES, M. T. (2008) – José Leite de Vasconcellos (Ucanha/ Tarouca, 7.7.1858 – † Lisboa, 17.5.1941) / A Real Academia das Sciencias de Lisboa e o Museu Etnográfico. *O Arqueólogo Português*, Série IV, Volume 26, 2008: 161-182.

ANTUNES, M.T., CABRAL, J.M.P., CARDOSO, J.L., PAIS, J. e SOARES, A.M. (1990) – Paleolítico médio e superior em Portugal: datas 14C, estado actual dos conhecimentos, síntese e discussão. *Ciências da Terra*. Lisboa. 10, p. 127-138

BREUIL, H. & ZBYSZEWSKI, G. (1942) – *Contribution à l´étude des industries paléolithiques du Portugal et de leurs rapports avec la géologie du Quaternaire. Les principaux gisements des deux rives de l´ancien estuaire du Tage*. Vol. 1. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, 23. Lisboa.

BREUIL, H. e ZBYSZEWSKI, G. (1943) – Le Quaternaire de Santo Antão do Tojal. *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, 24, p. 43-70. Lisboa.

CARDOSO, J. L. (2006) – Arqueólogos portugueses nas Astúrias nos inícios do século XX. Uma contribuição para a História da Arqueologia Peninsular. *Colóquio Astúrias e Portugal. Relações históricas e culturais (Lisboa, 2005)*. Actas: Academia Portuguesa da História, p. 191.233.

CARDOSO, J. L. & MELO, A. A. (2005) – Correspondência de Joaquim Fontes (1892-1960). Contributos para a História da Arqueologia Peninsular. *Estudos Arqueológicos de Oeiras*. Oeiras. 13, p. 195-321.

CARDOSO, J. L.; ZBYSZEWSKI, G. e ANDRÉ, M. C. (1992) – *O paleolítico do Complexo Basáltico de Lisboa*.. Oeiras: Câmara Municipal de Oeiras. (Estudos Arqueológicos de Oeiras, 3).

CASTELO-BRANCO, A. de (1961) – O Professor Joaquim Moreira Fontes e os Serviços Geológicos. *Arqueologia e História*. Lisboa. Série VIII, 10, p. 175-182 (Em Memória do Professor Doutor Joaquim Fontes).

CORRÊA, António A. Mendes (1958, em 20/11/1958) – Elogio de Leite de Vasconcelos na Academia das Ciências de Lisboa. Apresentado em Sessão comemorativa do Centenário do Nascimento do Prof. Dr. J. Leite de Vasconcelos.

FONTES, J. (1910a) – Estação paleolítica de Casal do Monte. *O Arqueólogo Português*. Lisboa. 15, p. 93-96.

FONTES, J. (1910b) – *Estação paleolítica de Casal do Monte*. Nota introdutória de A. A. da Costa Ferreira. Lisboa: Tip. do Anuário Comercial, 7 p.

FONTES, J. (1910c) – Indústrias paleolíticas do Casal do Monte. *Materiais para o Estudo das Antiguidades Portuguesas*. Leiria. 1 (2), 5 p. (separata).

FONTES, J. (1911) – Contribution à l´étude de la période paléolithique en Portugal. *7.º. Congrès Préhistorique de France (Nîmes, 1911)*. Actas. Nîmes, p. 137-145.

FONTES, J. (1912) – Trois coups de poing acheuléens du Portugal. *Bulletin de la Société préhistorique Française*. Le Mans: Imprimerie Monnoyer. Separata, 3 p.

FONTES, J. (1913a) – Note sur le Moustérien en Portugal. *8.º. Congrès Préhistorique de France (Angoulême, 1913)*. Actas. Paris, p. 342-350.

FONTES, J. (1913b) – Sur quelques types inédits de coups de poing du Portugal. 14.º. *Congrès International d´Anthropologie et d´Archéologie Préhistoriques (Genebra, 1912).* Actas. Genebra, 2, p. 351-354.

FONTES, J. (1915/1916) – Station paléolithique de Mealhada. *Comunicações da Comissão do Serviço Geológico de Portugal*. Lisboa. 11, p. 7-15.

FONTES, J. (1918) – Instruments paléolithiques dans la collection de Préhistoire du Service Géologique. *Comunicações da Comissão do Serviço Geológico de Portugal*. Lisboa. 12, p. 3-16.

GONZALBES CRAVIOTO, E. (2008) – Notas de historiografia arqueológica: la visita de Joaquim Fontes a Tetuán y Tamuda (Marruecos) en 1923. *Revista Portuguesa de Arqueologia*. Lisboa. 11 (1), p. 285-295.

JALHAY, E. e PAÇO, A. (1941) – Páleo e Mesolítico Português. *Anais da Academia Portuguesa de História*, Lisboa. 4, p. 11-101

MARQUES, G. (1986) – Paleolítico de Loures – balanço e perspectivas de trabalho. In *Loures – Tradição e Mudança, 1.º Centenário da Formação do Concelho (1886-1986)*. Loures: Câmara Municipal de Loures, p. 50-79

OLLIVIER, J. (1951) – Industries anciennes du Paléolithique d'Amadora. *O Arqueólogo Português*. Lisboa. Nova Série, 1, p. 63-82

PAÇO, A. do (1934) – Carta paleolítica e epipaleolítica de Portugal. *Trabalhos da Associação dos Arqueólogos Portugueses*. Lisboa. Série VII, 1, p. 23-47

PAÇO, A. (1936) – Páleo- e mesolítico Português. *Revista de Guimarães* Guimarães. 46 (3/4), p. 221-230

RAPOSO, L. (1993) – O Paleolítico. In J. Medina (ed.), *História de Portugal, 1: O Começo*. (coord. V.S. Gonçalves). Lisboa: Ediclube, p. 22-99.

RAPOSO, L. (1995) – Ambientes, territorios y subsistencia en el Paleolítico Medio de Portugal. *Complutum*. Madrid. 6, p. 57-77.

RAPOSO, L.; CARREIRA, J. R. (1994) – Os primeiros habitantes da região de Lisboa. *Lisboa Subterrânea*. Lisboa: Museu Nacional de Arqueologia, p. 31-38.

SEQUEIRA, G. de Matos (1911) – Acta n.º. 49. Sessão da Assembleia Geral de 17 de Maio de 1910. *Boletim da Associação dos Arqueólogos Portugueses*. Lisboa. Série V, 12 (1), p. 152-158.

VASCONCELLOS, J. Leite de (1915) – *Objectos paleolíticos do Casal do Monte oferecidos ao Museu da Academia das Ciências de Lisboa. Breve notícia*. Coimbra: Imprensa da Universidade, 8 p. (separata do Boletim da Segunda Classe, 8).

ZBYSZEWSKI, G.; FERREIRA, O. da Veiga; LEITÃO, M. & NORTH, C. T. (1987) – O Paleolítico da Gruta do Correio-Mor (Loures). *Setúbal Arqueológica*. 8, p. 7-27. Setúbal.

(Comunicação apresentada à Classe de Ciências
na sessão de 29 de outubro de 2009)

O Debate Histórico e Contemporâneo sobre as Alterações Climáticas

Filipe Duarte Santos
Universidade de Lisboa (ce3c.ciencias.ulisboa.pt)

1 – BREVE HISTÓRIA DOS CONCEITOS DE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NATURAIS E ANTROPOGÉNICAS

Os registos históricos levam-nos a concluir que antes do século XVIII desconhecia-se a existência de climas passados diferentes dos contemporâneos. Porém em meados daquele século a observação de fósseis em várias rochas encontradas nos locais mais diversos, desde as zonas costeiras até ao alto das montanhas, levou à identificação de épocas geológicas com climas diferentes. Na sua *Histoire Naturelle*, que começou a ser publicada em 1749, Georges-Louis Leclerc, Conde de Buffon, reconheceu que a superfície da Terra tinha sido profundamente transformada pela ação dos oceanos, das chuvas, do escoamento das águas, dos ventos, dos sismos e dos "fogos subterrâneos". Considerou ainda que a idade da Terra não poderia ser os 6000 anos indicados na Bíblia mas superior a 75000 anos, talvez até milhões de anos.

O final do século XVIII ficou marcado pela controvérsia entre, por um lado, James Hutton (1726-1797) e os Plutonistas, defensores da teoria de um contínuo ciclo geológico em que as rochas se transformam em sedimentos marinhos por meio da meteorização e com a pressão e o calor do interior da Terra ressurgem formando montanhas e, por outro, Abraham Werner (1749-1817) e os Neptunistas, defensores de que as rochas se formaram através da cristalização de minerais nos oceanos primordiais da Terra.

No início do século XIX um suíço, Jean-Pierre Perraudin, guia de montanha e caçador, foi o primeiro a convencer-se de que em tempos passados os glaciares cobriam uma grande parte dos vales alpinos. A prova estava nos grandes blocos de pedra que, ao serem arrastados pelos glaciares, deixaram sulcos na rocha e ficaram pousados de forma errática quando os gelos se retiraram lentamente devido a uma mudança para um clima mais quente. Em 1815 comunicou as suas ideias ao naturalista Jean Carpentier (1786-1855) e, mais tarde, ao Engenheiro Ignaz Venetz, encarregado de estudar as flutuações observadas na extensão dos glaciares e o seu impacto na economia da região do Valais, que inicialmente se mostraram muito céticos. Mas a teoria foi ganhando audiência e acabou por ser defendida pelo professor de história natural da Universidade de Neuchatêl, Louis Agassiz (1807-1873), que se tornou num conhecido geólogo, glaciologista e paleontologista. A questão que surgiu imediatamente e para a qual não havia resposta era saber qual a razão da mudança climática.

Os primeiros trabalhos científicos sobre o balanço radiativo na atmosfera e sobre aquilo que se viria a designar por efeito de estufa devem-se a Joseph Fourier (1768-1830), o matemático e físico francês nascido em Auxerre que se celebrizou com a série de Fourier e pelo estudo das vibrações e da condução do calor. Nos anos de 1780, o naturalista e alpinista suíço Horace-Bénédict de Saussure (1740-1799)

construiu um heliotermómetro no qual se podia medir a temperatura numa série de compartimentos separados por vidro, colocados numa caixa de cortiça enegrecida e sobrepostos na direção da radiação solar direta, concluindo que a temperatura aumentava à medida que nos aproximamos do fundo da caixa. Fourier, ao comparar a atmosfera terrestre à caixa de vidro de Saussure, concluiu que "a temperatura à altura do solo aumenta devido à interposição da atmosfera, porque o calor solar enfrenta menos obstáculos para penetrar o ar, quando se encontra no estado de luz, do que enfrenta para tornar a atravessar o ar quando convertido em calor obscuro" (Fourier, 1824; 1827). Este calor era afinal aquilo que William Herschel (1738-1822) estudou cerca de 1800 e designou por raios caloríficos ao medir a temperatura para além do extremo vermelho do espectro da radiação solar e que hoje reconhecemos como a radiação infravermelha. Outro passo importante nos primeiros estudos sobre o balanço energético na atmosfera da Terra foi o cálculo da constante solar realizado por Claude Pouillet (1791-1868) entre 1837 e 1838. Obteve o valor de 1228 W/m^2, que embora próximo do atual de 1367 W/m^2, foi controverso durante todo o século XIX.

A designação de efeito de estufa para descrever a absorção da radiação infravermelha na atmosfera teve a sua origem na caixa de vidro de Sausurre mas a analogia com o que se passa numa estufa de vidro para plantas é errónea. Nesta a radiação solar aquece o ar interior que, por estar confinado num espaço fechado e não poder circular para fora da estufa por meio de movimentos de convecção, atinge uma temperatura mais elevada do que a do ar exterior. A prova definitiva de que o aquecimento não tem a ver com a absorção da radiação infravermelha pelo vidro foi dada pelo físico americano Robert W. Wood (1868-1955) que substituiu o vidro de uma estufa por uma substância transparente à radiação visível e à infravermelha, a halita (NaCl), e constatou que a estufa continuava a aquecer.

Em meados do século XIX sabia-se que o ar absorvia a radiação infravermelha mas não se conheciam quais os gases que teriam essa propriedade e em que grau. As primeiras medições da capacidade de absorção da radiação infravermelha pelos gases constituintes da atmosfera – azoto, oxigénio, vapor de água, dióxido de carbono (CO2), metano (CH4), ozono – foram feitas a partir de 1859 pelo físico e matemático de origem irlandesa John Tyndall (1820-1893). Nestas experiências Tyndall concluiu que o vapor de água é o mais importante gás com efeito de estufa, ou seja, aquele cujas moléculas têm maior capacidade de absorção da radiação infravermelha (Tyndall, 1863). Concluiu ainda que o CO_2, o CH_4 e o O_3 são também gases com efeito de estufa, mas que o azoto, oxigénio e hidrogénio são praticamente transparentes à radiação infravermelha. Tyndall foi o primeiro a concluir que se não existisse vapor de água na atmosfera, a superfície da Terra estaria coberta de gelo e que variações nas concentrações atmosféricas de vapor de água e de CO_2 conduziriam a mudanças climáticas ao fim de algum tempo. Uma maior concentração de CO_2 conduziria a uma atmosfera com temperatura média mais elevada.

Uma das razões do interesse de Tyndall em estudar as propriedades radiativas dos gases constituintes da atmosfera era tentar perceber a causa do período glacial pré-histórico cujos glaciares tinham deixado registos em várias regiões do mundo, semelhantes aos que Perraudin identificou pela primeira vez nos Alpes. Observações mais recentes revelaram que a extensão dos glaciares durante o último período glacial era enorme estendendo-se a vastas áreas do norte da América do Norte e do norte da Eurásia. A procura da causa desta profunda mudança climática gerou um grande interesse e controvérsia em meados do século XIX.

Svante Arrhenius (1859-1927), um cientista sueco, prémio Nobel da química em 1903, e um dos fundadores da química física, tentou também resolver o enigma da época glacial pré-histórica. A sua tese consistia em postular uma variação da concentração atmosférica de CO_2 provocada, por exemplo, por alterações na atividade vulcânica. A consequente variação da temperatura média da atmosfera poderia ser depois amplificada pelo vapor de água, conduzindo à alternância de períodos glaciais e períodos interglaciais com um clima relativamente quente, como o atual. Para provar a sua tese era necessário calcular a variação da temperatura média da atmosfera que resultaria de baixar ou aumentar a concentração de CO_2. Arrhenius fez esse cálculo baseado na absorção, emissão e transmissão da radiação infravermelha emitida pela superfície terrestre tendo em conta o perfil da temperatura na troposfera e chegou á conclusão que a duplicação da concentração de CO_2 provocaria um aumento da temperatura média global da atmosfera à superfície entre 5.º e 6.º C (Arrhenius, 1896). Reconheceu também que as emissões de CO_2 resultantes de algumas atividades humanas iriam inevitavelmente provocar um aumento da concentração atmosférica desse gás. Porém não estava minimamente preocupado com as consequências desta interferência antropogénica sobre o sistema climático. Pelo contrário, no seu livro "Worlds in the Making" (Arrhenius, 1908) afirma que o aumento da concentração de CO_2 irá providenciar um melhor clima para a humanidade no futuro, "especialmente nas partes mais frias da Terra". Segundo ele seriam necessários 3000 anos para que a concentração de CO_2 duplicasse, ou seja, aumentasse do valor pré-industrial de 280 ppmv (partes por milhão em volume) para 560 ppmv. Note-se que atualmente a concentração está em 400 ppmv.

A possibilidade de uma relação entre as atividades humanas e o clima manteve-se afastada dos interesses dos cientistas até 1938 quando o engenheiro Guy Steward Callander, especialista nas tecnologias do vapor e da combustão e climatologista amador, teve a audácia de apresentar uma comunicação na Royal Meteorological Society de Londres (Callendar, 1938) onde afirmou que o aumento da temperatura média global de 0,4.º C observado entre 1880 e 1930 era resultante das emissões de CO_2 para a atmosfera provocadas pela combustão dos combustíveis fósseis – carvão, petróleo e gás natural. As suas conclusões baseavam-se na análise de séries de temperatura obtidas em mais de 200 estações meteorológicas espalhadas pelo mundo e em observações do recuo dos glaciares das montanhas. O artigo de Callendar foi recebido com grande ceticismo e praticamente esquecido. Questionava-se a argumentação de que o aumento da concentração atmosférica de CO_2 provocasse um aumento da absorção da radiação infravermelha porque se tinham efetuado medições demonstrando que as bandas de absorção do espectro do CO_2 ficavam saturadas apenas com concentrações muito baixas (Santos, 2007).

O problema só ficou esclarecido depois da segunda grande guerra mundial como consequência indireta dos grandes investimentos feitos pelos EUA em investigação científica nos mais variados domínios, incluindo as ciências da atmosfera. Gilbert Plass, um físico teórico doutorado na Universidade de Princeton, fez nos anos de 1950 estudos e cálculos sobre radiação infravermelha para um grupo experimental da Universidade de John Hopkins e nos tempos livres interessou-se pela hipótese avançada de novo nessa época de uma relação causal entre as épocas glaciares e variações cíclicas da concentração do CO_2 atmosférico. Dedicou-se então ao estudo do modo como o CO_2 absorve a radiação infravermelha nos vários níveis da troposfera e concluiu, tal como Arrhenius anteriormente, que o aumento da sua concentração provoca um aumento da temperatura da atmosfera à superfície.

A parte essencial da explicação é simples mas os detalhes quantitativos têm mais complexidade (Santos, 2012). Quando se aumenta a concentração de CO_2, ou de outro qualquer gás com efeito de estufa, na troposfera, a radiação infravermelha que este gás emite (um gás em equilíbrio emite e absorve a mesma quantidade de radiação em cada comprimento de onda) para o espaço exterior passa a ter origem a uma maior altitude dado haver mais gás nessa camada da atmosfera. Contudo, tendo em atenção que a temperatura na troposfera decresce com a altitude, o CO_2 passa a emitir para o espaço exterior em regiões onde a temperatura é mais baixa. De acordo com a teoria da radiação de Max Planck, a quantidade total de radiação infravermelha absorvida e emitida por um gás diminui quando se baixa a temperatura. Deste modo, os gases com efeito de estufa a maior altitude emitem menos radiação infravermelha para o espaço exterior. Cria-se assim um desequilíbrio energético, a que se chama forçamento radiativo, entre o fluxo radiativo solar, predominantemente de luz visível, absorvido pela Terra e o fluxo radiativo no infravermelho emitido pela alta troposfera para o espaço exterior. Por outras palavras a Terra passa a emitir menos energia para o espaço exterior do que a energia que recebe do Sol, o que contraria o princípio da conservação de energia. O equilíbrio repõe-se mediante um aumento da temperatura da troposfera, que intensifica o fluxo radiativo no infravermelho para o espaço exterior. Note-se que o aumento da temperatura da atmosfera à superfície gera retroações positivas e negativas no sistema climático. A predominância das retroações positivas relativamente às negativas gera um aumento adicional da temperatura (Santos, 2012).

O valor atual do forçamento radiativo efetivo no topo da troposfera, provocado pela acumulação de gases com efeito de estufa, é de 2,29 Wm^{-2} (IPCC, 2014). Mais de 90% da energia que a Terra absorve devido a este forçamento radiativo positivo é armazenado no oceano, especialmente nas suas águas mais superficiais. Entre 1971 e 2010 a Terra armazenou em média uma potência de 213 TW (TW = Tera Watt ou 10^{12} W), ou seja, uma energia de 213 TJ (10^{12} Joules) por segundo. Este aumento de energia corresponde a um fluxo radiativo médio incidente sobre toda a superfície da Terra de 0,42 Wm^{-2}. É difícil apreciar o gigantismo destas quantidades de energia. Talvez ajude dizer que a Terra está a ser forçada a armazenar, em média, por segundo, uma energia equivalente à energia libertada por 3 bombas atómicas, do tipo da que foi lançada em Hiroshima (6 de Agosto de 1945), devido á acumulação de gases com efeito de estufa de origem antropogénica na troposfera. Calcula-se que entre 1971 e 2010 cerca de 93% dessa energia foi armazenada nos oceanos, aumentando a temperatura principalmente das massas de água mais superficiais, cerca de 3% provocou a fusão do gelo oceânico no Ártico, de campos de gelo na Gronelândia e na Antárctica e de glaciares das montanhas, cerca de 3% aqueceu a superfície dos continentes e apenas cerca de 1% aqueceu a atmosfera (IPCC, 2014).

A humanidade está atualmente confrontada com o problema das alterações climáticas antropogénicas cuja solução não é fácil e depende sobretudo de sermos capazes de mudar o nosso paradigma energético global caracterizado por uma enorme dependência, da ordem de 80%, nos combustíveis fósseis. Há essencialmente dois tipos de resposta às mudanças climáticas: a mitigação e a adaptação. A primeira é uma intervenção humana para reduzir as fontes e potenciar os sumidouros de gases com efeito de estufa. A adaptação é um processo de ajustamento ao clima atual e futuro e aos seus efeitos. Nos sistemas humanos a adaptação procura moderar os impactos gravosos e explorar as oportunidades benéficas. Nos sistemas naturais a intervenção humana pode facilitar o ajustamento desses sistemas ao clima futuro.

Antes de passarmos à análise da situação atual importa mencionar como evoluiu a procura de uma explicação para as mudanças do clima passado, em especial a alternância entre períodos glaciais e interglaciais, que motivaram as primeiras investigações sobre a relação entre o clima e os gases com efeito de estufa.

O clima da Terra tem variado profundamente desde o início da formação da atmosfera há mais de 4500 milhões de anos. Houve eras de glaciação com a formação de extensos campos de gelo nas regiões polares que alternaram com épocas relativamente quentes sem gelos polares, mais frequentes (Santos, 2007a). As atuais calotes polares começaram a formar-se há apenas cerca de 35 milhões de anos, primeiro na região oriental da Antárctica e depois, muito mais tarde, há cerca de 5 milhões de anos, no Ártico. Sobrepostas a estas oscilações climáticas de longo período, motivadas pela tectónica das placas, pela formação e erosão das montanhas e por variações nas correntes oceânicas que transportam energia térmica das regiões equatoriais para as polares, encontramos nos últimos 5 milhões de anos, outras de período muito menor, que é possível identificar e estudar detalhadamente nos campos de gelo da Gronelândia e da Antárctica. Nos últimos 650 000 anos o clima da Terra apresentou uma alternância entre períodos glaciais frios, com uma duração aproximada de 80 000 a 100 000 anos e períodos interglaciais relativamente quentes, com uma duração típica de 10 000 a 20 000 anos. A principal causa destas oscilações, identificada por Milutin Milankovitch na primeira metade do século XIX (Milankovitch, 1930), são forçamentos de natureza astronómica resultantes de pequenas variações na excentricidade da órbita da Terra em torno do Sol, na inclinação do eixo da Terra e no seu movimento de precessão. A última época glacial teve início há aproximadamente 120 000 anos e um máximo há cerca de 20 000 anos. Nessa época a temperatura média global da atmosfera era inferior, entre 5.º a 7.ºC, à que agora se observa e o nível médio do mar estava 100 a 120 m abaixo do nível atual. Presentemente estamos num período interglacial particularmente estável em que a temperatura, nos últimos 8000 anos, teve apenas variações pequenas. A estabilidade do clima e a temperatura relativamente elevada criaram condições especialmente favoráveis ao desenvolvimento das civilizações que floresceram nos últimos 6000 anos. Note-se porém que o *Homo sapiens* já viveu em duas épocas glaciais e duas interglaciais. Surgiu em África na aproximadamente 200000 anos durante a penúltima época glacial e estava já na Europa durante a última. Análises feitas nos gelos da Gronelândia e da Antártida permitem concluir que a concentração atmosférica de CO_2 tem uma forte correlação com a temperatura média global porque a capacidade do CO_2 se dissolver nas águas superficiais do oceano aumenta quando a sua temperatura baixa. A variação do CO_2 não foi a causa da mudança climática natural de alternância entre períodos glaciais e interglaciais mas um efeito desta. Atualmente a situação é inversa: o aumento antropogénico da concentração do CO_2 é que está a provocar uma alteração climática.

2 – A INSTITUCIONALIZAÇÃO DAS RESPOSTAS AO DESAFIO DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS ANTROPOGÉNICAS

No final da década de 1970 a comunidade científica e os governos de alguns países mais desenvolvidos reconheceram a necessidade de intensificar o desenvolvimento da investigação sobre o clima no quadro de programas internacionais. Após a Conferência Mundial do Clima realizada em Genebra no ano de 1979 o International Council of Scientific Unions (ICSU) e a Organização Meteorológica Mundial (WMO) lançaram o World Climate Research Program (WCRP). As preocupações sobre as consequências

do aumento da concentração atmosférica dos gases com efeito de estufa tornaram-se mais generalizadas nas Nações Unidas e em 1985 por iniciativa da ICSU, WMO e do Programa das Nações Unidas para o Ambiente (UNEP) realizou-se em Villach, na Áustria, a "International Conference on the Asssessment of the Role of Carbon Dioxide and of other Greenhouse Gases in Climate Variations and Associated Impacts" (WMO, 1986). A conferência e os documentos científicos que a sustentaram foram preparados por um conjunto de cientistas entre os quais se destacou Bert Bolin, professor de meteorologia na Universidade de Estocolmo entre 1961 a 1990.

A Conferência de Villach marcou um ponto de viragem na perceção governamental e pública da problemática do aquecimento global. Como é natural, os cientistas presentes insistiram fortemente na necessidade de intensificar o esforço de investigação embora adotando uma posição moderadamente ativista sobre a gravidade do problema face aos conhecimentos já adquiridos e à necessidade de lhe dar respostas adequadas.

Nos anos seguintes a questão do aquecimento global tornou-se um tópico frequente nos meios de comunicação social e passou a integrar a agenda das preocupações dos movimentos ambientalistas. Uma das razões que despoletou um interesse crescente foram as ondas de calor e secas que se verificaram em vários pontos do globo e em particular nos E.U.A. no ano de 1988 e que alguns cientistas entre os quais James Hansen, associaram e divulgaram como sendo uma manifestação do aquecimento global. Contudo a nível mundial, o número de cientistas que se dedicavam integralmente a esta problemática era apenas da ordem das poucas dezenas e estavam dispersos em várias áreas da ciência.

Era necessário focar as investigações e promover a cooperação interdisciplinar para poder responder às questões que se colocavam no caminho para a negociação e regulamentação política internacional de controlo da interferência humana sobre o clima. Incentivados por estas preocupações a WMO e a UNEP criaram em 1988 o Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC) com o objetivo de promover uma avaliação científica, técnica e socioeconómica da problemática das alterações climáticas. Em nenhum outro tipo de avaliação científica se reúne um tão grande número de cientistas das ciências físicas, naturais e sociais e tecnólogos provenientes dos mais variados países e com formações profissionais muito diversas, com o objetivo comum de analisar a problemática do clima e das suas alterações. Sob a direção esclarecida de Bert Bolin o IPCC produziu o seu primeiro relatório em 1990 (IPCC, 1990) que, porém, teve um impacto muito limitado ao nível governamental nos centros de decisão política. Desde essa data foram publicados mais quatro relatórios de avaliação, o quinto e último em 2014 (IPCC, 2014).

3 – O CONSENSO E O CETICISMO SOBRE AS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

Entre os cientistas que se dedicam ao estudo do clima recente, existe um largo consenso sobre a origem antropogénica da mudança climática observada. Desde 2004 que se têm realizado análises sobre os pontos de vista expressos por aqueles cientistas em artigos científicos publicados em revistas com sistema de arbitragem por pares (Oreskes, 2004). Conclui-se que tais artigos revelam um consenso crescente que atualmente se situa em 97-98% (Doran, 2009; Anderegg, 2010; Cook, 2013). No que respeita à opinião pública a percentagem dos que reconhecem a origem antropogénica da mudança climática é bastante variável a nível de continente e de país. A percentagem média de acordo nos países europeus é

significativamente superior à dos EUA (Pelham, 2009). As posições públicas sobre a natureza e gravidade da mudança climática antropogénica são determinadas por muitos fatores entre os quais se destacam os de natureza política, ambiental e energética (Engels, 2013).

Há movimentos organizados de apoio a vários tipos de narrativas de ceticismo ou negação das alterações climáticas antropogénicas. Estes movimentos são particularmente fortes nos EUA e atraem financiamentos avultados em grande parte provenientes das grandes empresas do setor dos combustíveis fósseis. De acordo com Robert Brulle (Brulle, 2013) há nos EUA cerca de 91 organizações, especialmente *think tanks* relacionados com o Partido Republicano, que procuram evitar a mitigação das alterações climáticas, tanto a nível estadual como federal, por meio de vários tipos de ações. O orçamento total daquelas organizações no período de 2003 a 2010 foi cerca de 7000 milhões de dólares mas nem todo o orçamento foi usado em campanhas de negação das alterações climáticas antropogénicas (Brulle, 2013). Tais campanhas têm tido um sucesso apreciável em confundir a opinião pública e sobretudo em evitar ou adiar as políticas públicas de mitigação nos EUA.

4 – SITUAÇÃO ATUAL E PERSPETIVAS FUTURAS

Apesar destas circunstâncias o Presidente Barack Obama tem-se esfoçado por desenvolver uma política climática de mitigação baseada no reconhecimento do risco associado às alterações climáticas com origem antropogénica. Em 11 de novembro de 2014 a China e os EUA, respetivamente o primeiro e o segundo país com maior volume de emissões de gases com efeito de estufa a nível mundial, assinaram um acordo de cooperação para reduzir as respetivas emissões e desenvolverem as energias renováveis. Os EUA comprometem-se a reduzir as emissões entre 26% e 28% até 2025, relativamente a 2005, e a China irá travar o crescimento das suas emissões em 2030.

Recorde-se que a União Europeia tem tido objetivos de mitigação muito mais ambiciosos do que os EUA. As emissões de gases com efeito de estufa da UE diminuíram 19% entre 1990 e 2013 enquanto no mesmo período o PIB aumentou 45%. Este desacoplamento demonstra que é possível seguir uma política efetiva de mitigação sem contudo comprometer o crescimento económico. Nos EUA as emissões de gases com efeito de estufa aumentaram 14,4% de 1990 a 2006 e desde então têm tido uma tendência de redução, embora se tenha registado um aumento de 2% entre 2012 e 2013. Há uma forte polarização política sobre a questão das alterações climáticas entre o Partido Republicano, que se opõe à mitigação devido ao seu impacto negativo sobre o setor económico dos combustíveis fósseis, e o Partido Democrático que tem uma postura mais moderada.

Na UE a situação é diferente. Efetivamente a UE concordou na adoção de um objetivo de redução das emissões de gases com efeito de estufa de, pelo menos, 40% em 2030 relativamente a 1990. Concordou ainda com uma quota para as energias renováveis em 2030 de, pelo menos, 27% e um objetivo indicativo de aumento da eficiência energética de 27%. Houve também acordo em reduzir até 2030 as emissões associadas ao Regime de Licenças de Emissão da UE em 43% relativamente a 2005 e de 30% nos sectores fora desse regime.

Quanto maior for o aumento da temperatura média global da atmosfera à superfície mais gravosos serão os impactos das alterações climáticas. A análise dos impactos nos diversos setores socioeconómicos e sistemas bio-geofísicos em função do aumento da temperatura permitiu estabelecer um largo consenso

científico sobre a necessidade de evitar um aumento maior do que 2.ºC relativamente ao período pré-industrial. Este limiar, inicialmente proposto pela UE, acabou por ser também reconhecido e adotado na 15.ª Conferencia das Partes da Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas, realizada em Copenhaga em 2009 (UNFCCC, 2009). Note-se que a temperatura média global da atmosfera à superfície subiu já 0.86.º C desde o período anterior à Revolução Industrial.

Estudos recentes demonstraram que a temperatura média global da atmosfera é determinada em grande parte pelas emissões cumulativas de gases com efeito de estufa num período de tempo anterior. Esta dependência conduziu à introdução do conceito de "orçamento de carbono" remanescente que corresponde à quantidade de gases com efeito de estufa, especialmente CO_2, que é possível emitir num dado período de tempo de modo a não ultrapassar no futuro um determinado limite superior da temperatura. De acordo com o último relatório do IPCC (IPCC, 2014) para haver uma probabilidade elevada da temperatura média global não ultrapassar 2.º C, as emissões de CO_2 no período de tempo de 2011 a 2050 devem ficar restritas ao intervalo de 870 a 1240 $GtCO_2$ (Gt = Giga (10^9) toneladas). Isto significa que o orçamento de carbono remanescente é cerca de 1000 Gt CO_2. Emitir para a atmosfera uma quantidade superior implica uma probabilidade elevada de ultrapassar 2.º C de aumento da temperatura média global.

A pergunta que naturalmente se coloca de seguida é saber quais as quantidades de combustíveis fósseis correspondentes ao referido orçamento de carbono. Convém começar por distinguir entre recursos fósseis e reservas fósseis. Os primeiros são estimativas das quantidades de combustíveis fósseis que poderão ser extraídas do subsolo com a tecnologia atual ou futura sem ter em consideração limitações decorrentes do custo da exploração e extração. Os recursos fósseis incluem o petróleo não convencional (areias betuminosas e o *tight oil* ou petróleo de xisto) e o gás natural não convencional ou gás de xisto. As reservas constituem um subconjunto dos recursos e correspondem aos combustíveis fósseis cuja extração do subsolo é economicamente rentável na atualidade. Estas reservas estão estimadas em 1,294 x 10^{12} barris de petróleo, 1,92 x 10^{14} m^3 de gás natural, 728 Gt de carvão e 276 Gt de lenhite (McGlade, 2015). A combustão da totalidade destas reservas conduziria à emissão de 2900 Gt de CO_2 valor que é muito superior ao orçamento de carbono.

Conclui-se assim que a mitigação da mudança climática antropogénica não irá resultar da escassez de combustíveis fósseis – carvão, petróleo e gás natural – mas da eventual vontade de os substituir por outras fontes primárias de energia com menor intensidade carbónica, ou seja, com um menor volume de emissões de CO_2 por unidade de energia. Considerando que, como foi já referido, cerca de 80% das atuais fontes primárias de energia globais são combustíveis fósseis e a consequente importância económica e financeira desse setor energético à escala mundial torna-se clara a enorme dificuldade em reduzir as emissões de CO_2 de modo a não ultrapassar o limite dos 2.º C. Os referidos estudos (McGlade, 2015), indicam que para não ultrapassar 2.º C será necessário não utilizar à escala global no período de 2010 a 2050 um terço das reservas de petróleo, metade das reservas de gás natural e 80% das reservas de carvão. A prática da extração ilimitada de combustíveis fósseis das atuais reservas pelos países que as detêm até à sua completa exaustão é incompatível com o objetivo de mitigação que cumpre o limite dos 2.º C. Conclui-se ainda que o investimento na procura de novos recursos de combustíveis fósseis é também incompatível com aquele limite. Estamos perante conclusões cientificamente incontornáveis mas cujas consequências são extremamente difíceis de aceitar.

A robustez científica desta problemática deu origem em 2012 a um movimento de desinvestimento nos combustíveis fósseis (*fossil fuel divestment*) que está a ter um crescimento extraordinário em vários países e especialmente entre os jovens nas universidades Americanas. De acordo com um estudo recente da Universidade de Oxford (Ansar, 2013) o movimento de desinvestimento nos combustíveis fósseis é o que cresceu mais rapidamente de entre todos os anteriores movimentos de desinvestimento, incluindo os que visaram o apartheid e o consumo de tabaco. A campanha é fomentada principalmente pela frustração causada pela extrema lentidão do processo de mitigação em vários países desenvolvidos, em particular os EUA, e pela ausência de acordo num plano efetivo de redução global das emissões que inclua todos os países. Em março de 2013 havia nos EUA 256 Universidades que tinham aderido à campanha de desinvestimento. No caso de Harvard 72% dos estudantes votaram a favor da venda das ações de grandes empresas de combustíveis fósseis pertencentes ao fundo de doações da Universidade, avaliado em 32000 milhões de dólares, o maior fundo universitário do mundo. Casos análogos verificaram-se em Universidades Australianas e na Europa na Universidade de Glasgow. No Reino Unido o jornal The Guardian está a colaborar ativamente com a campanha de desinvestimento nos combustíveis fósseis.

Apesar das referidas enormes dificuldades em não se ultrapassar 2.º C de aumento da temperatura média global da atmosfera à superfície relativamente ao período pré-industrial, este continua a ser o objetivo principal da COP21 (Conferencia das Partes n.º 21) da Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas que se irá realizar em Paris de 30 de novembro a 11 de dezembro de 2015. A COP20, realizada em Lima, Perú, entre 1 e 14 de dezembro de 2014, chegou a um acordo, designado Apelo de Lima para a Ação Climática, no qual os países devem apresentar as previstas contribuições nacionais de mitigação (intended nationally determined contributions – INDC) até 1 de outubro de modo a que o Secretariado da UNFCCC possa preparar até 1 de novembro um relatório com o efeito esperado à escala global do conjunto das contribuições nacionais. Uma das tarefas da COP 21 será verificar se esse compromisso agregado global é ou não suficiente para evitar ultrapassar os 2.º C e, caso não seja, procurar promover novos compromissos nacionais de mitigação. Contudo a COP 21 irá também procurar chegar a acordos sobre o financiamento de ações de adaptação às alterações climáticas, especialmente nos países menos desenvolvidos e mais vulneráveis, sobre desenvolvimento de uma economia de baixo carbono, sobre transferência tecnológica e sobre a calendarização dos compromissos de mitigação e adaptação e sua implementação.

REFERÊNCIAS

Anderegg W R L, Prall J W, Harold J and Schneider S H 2010 Expert credibility in climate change Proc. Natl Acad. Sci. USA 107 12107–9

Ansar, A., B. Caldecott and J. Tilbury, 2013, Stranded assets and the fossil fuel divestment campaign: what does divestment mean for the valuation of fossil fuel assets? Smith School of Enterprise and the Environment, University of Oxford

Arrhenius, S., 1896, On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature, Philosophycal Magazine, 41, 237-276.

Arrhenius, S., 1908, Worlds in the Making, New York: Harper and Brothers.

Brulle, R., Institutionalizing delay: foundation funding and the creation of U.S. climate change counter organizations, Climatic Change, 122, 681-694.

Callendar, G.S., 1938, The artificial production of carbon dioxide and its influence on climate, Quaterly Journal of the Royal Meteorological Society, 64, 223-240.

Cook, J. et al., 2013, Quantifying the consensus on anthropogenic global warming in the scientific literature, Environmental Research Letters, 8, 024024 (7pp).

Doran, P. and Zimmerman, M., 2009, Examining the scientific consensus on climate change, EOS Trans. Am. Geophys. Union 90 22–3

Engels, A., et al., 2013, Public climate-change skepticism, energy preferences and political participation, Global Environmental Change, 23, 1018-1027.

Fourier, Joseph, 1824, Résumé théorique des propriétés de la chaleur rayonnante », *Annales de chimie et de physique*, vol. 27, p. 236-281

Fourier, Joseph, 1827, Mémoire sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires », *Mémoires de l'Académie royale des sciences de l'Institut de France*, vol. 7, p. 569-604

IPCC, 1990, Intergovernmental Panel on Climate Change, Reports prepared for IPCC by Working Groups I, II and III, United Nations Environmental Program and World Meteorological Organization, Cambridge University Press.

IPCC, 2014, Intergovernmental Panel on Climate Change, 5thAssessment Report, WGI, WGII and WGIII (http://www.ipcc.ch/report/ar5/)

McGlade, C. and P. Ekins, 2015, The geographical distribution of fossil fuels unused when limiting global warming to 2.º C, Nature, 517, 187-190

Milankovitch, M., 1930, Matematische Klimalehre und Astronomische Theorie der Klimaschwankungen, in Hanbuck der Klimatologie, W.Koppen and R.geiger (Editors), Vol.1, Part A pag. 1-176, Berlin, Borntraeger

Oreskes, N., 2004, Beyond the ivory tower. The scientific consensus
on climate change, Science 306, 1686

Pelham, Brett, 2009, Awareness, Opinions About Global Warming Vary Worldwide. The Gallup Organization.

Santos, F.D., 2007, A Física das Alterações Climáticas, *Gazeta de Física*, Volume 30, Fascículo I, pp. 48-57

Santos, F.D., 2007a, *Que Futuro? Ciência, Tecnologia, Desenvolvimento e Ambiente*, Lisboa, Gradiva

Santos, F. D., 2012, Alterações Globais, desafios e riscos presentes e futuros, Fundação Francisco Manuel dos Santos, Lisboa.

Tyndall, J., 1863, On Radiation through the Earth's Atmosphere, Philosophical Magazine, ser. 4, 25: 204-205.

UNFCCC, 2009, United Nations Framework Convention on Climate Change Conf. Report 43 http://unfccc.int/resource/docs/2009/cop15/eng/11a01.pdf

WMO, 1986, Report of the International Conference on the Assessment of the Role of Carbon Dioxide and of other Greenhouse Gases in Climate Variations and Associated Impacts, Villach, 1985, WHO, n.º 661.

(Comunicação apresentada à Classe de Ciências
na sessão de 5 de novembro de 2009)

Sistemas globais de navegação por satélite GNSS

José Joaquim Pereira Osório
jposorio@fc.up.pt

INTRODUÇÃO

Em comunicações anteriores [2,3] foram abordados aspectos essenciais da evolução das Técnicas Espaciais para a Localização e Navegação por Satélite, com o reconhecimento de uma área em permanente desenvolvimento e a apresentação dos modernos Sistemas Globais de Navegação por Satélite, GNSS – *Global Navigation Satellite Systems.* O enorme interesse destes Sistemas, em aplicações da mais diversa natureza (Figura 1), tem provocado uma especial atenção em alguns países, aquilo que por vezes se designa por *"THE WORLWIDE RACE IN GNSS".*

Figura 1
GNSS – Aplicações.

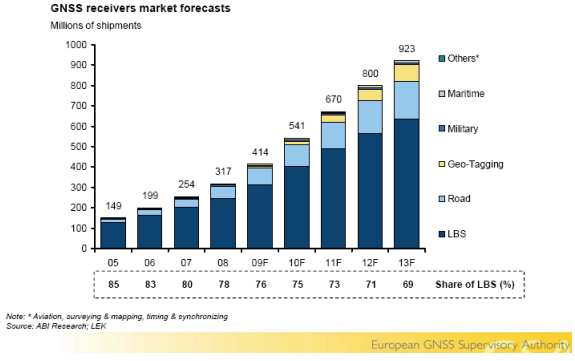


Figura 2
Previsão do mercado de receptores GNSS.

Esta grande diversidade de aplicações dos GNSS permite prever uma significativa evolução, nos próximos anos, no mercado de receptores (Figura 2):

SISTEMAS GLOBAIS OPERACIONAIS

Os dois Sistemas Globais já operacionais, GPS – *Global Positioning System* (EUA) e GLONASS – *GLObal NAvigation Satellite System* (Rússia), foram já apresentados em comunicação anterior [2]. Agora, serão abordados, apenas, aspectos do seu estado actual e dos desenvolvimentos previstos.

GPS – Sistema Global de Posicionamento

– 24 Satélites em 6 Planos Orbitais
– 4 Satélites em cada Plano
– Inclinação 55°
– Altitude 20200 km
– Período orbital 12 horas

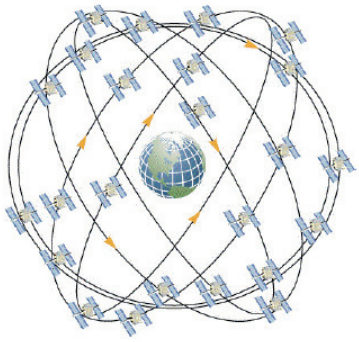


FIGURA 3
Constelação GPS.

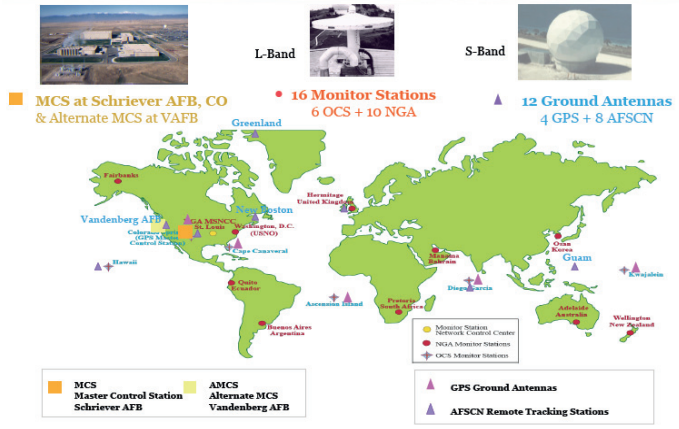


FIGURA 4
GPS – Segmento de Controlo Terrestre.

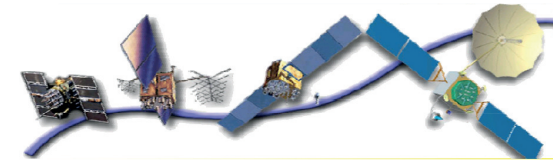
Aquele número de Satélites corresponde à configuração nominal. Devido à grande fiabilidade do Sistema, o número de Satélites operacionais é, correntemente, superior ao da configuração nominal.

O Programa de modernização dos Satélites pode ser representado por (Figura 5):

Bloco IIA/IIR
Serviço Padrão
Uma só Frequência – L1 L1 – 1575,42 MHz
λ = 19,05 cm
Código de Navegação Corrente – C/A

Serviço de Precisão
Código P(Y) – L1Y e L2Y L2 – 1227,60 MHz
λ = 24,45 cm
Código Y – Navegação Militar (EUA)

Bloco IIR-M, IIF
IIR-M: Todas as capacidades dos satélites IIA/IIR, mais
Segundo Sinal Civil – L2C
Código M – L1M e L2M



Bloco IIA/IIR Bloco IIR-M, IIF Bloco III

FIGURA 5
Programa de modernização dos Satélites.

IIF: Todas as capacidades dos satélites IIR-M, mais
Terceiro Sinal Civil – L5 L5 – 1176,45 MHz
2 Relógios de Rubídio e 1 de Césio λ = 25,50 cm
Duração prevista de 12 anos

Bloco III

Compatibilidade com todos os anteriores
Quarto Sinal Civil – L1C
Erro nas distâncias 4 vezes menor que em IIF
Maior disponibilidade
Melhor integridade

Novos sinais civis

Segundo sinal civil – L2C
- Concebido para satisfazer objectivos comerciais
- Maior exactidão através da correcção ionosférica
- 1° satélite em órbita: Setembro de 2005 (GPS IIR-14M)
- 24 satélites: ≈ 2016

Terceiro sinal civil – L5
- Concebido para satisfazer as necessidades de socorros urgentes
- 1° satélite em órbita: Março de 2009 (GPS IIR-20M)
- 24 satélites: ≈ 2018

Quarto sinal civil – L1C
- Concebido com parceiros internacionais para a interoperabilidade dos diferentes GNSS
- Início previsto com os satélites do BLOCO III
- 1° satélite em órbita: ≈ 2014
- 24 satélites: ≈ 2021

O espectro dos respectivos sinais está representado na Figura 6:

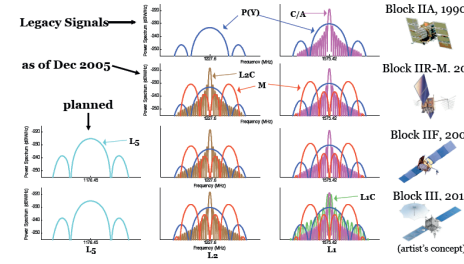
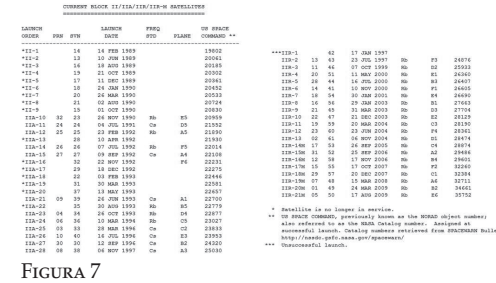


FIGURA 6
Espectro dos sinais.

Seguem-se alguns dados relativos à Constelação GPS actual (Figura 7):



CURRENT BLOCK II/IIA/IIR/IIR-M SATELLITES

LAUNCH ORDER	PRN	SVN	LAUNCH DATE	FREQ STD	PLANE	USN SPACE COMMAND **
*II-1		14	14 FEB 1989			19802
*II-2		13	10 JUN 1989			20061
*II-3		16	18 AUG 1989			20185
*II-4		19	21 OCT 1989			20302
*II-5		17	11 DEC 1989			20361
*II-6		18	24 JAN 1990			20452
*II-7		20	26 MAR 1990			20533
*II-8		21	02 AUG 1990			20724
*II-9		15	01 OCT 1990			20830
IIA-10	32	23	26 NOV 1990	Rb	B5	20959
IIA-11	24	24	04 JUL 1991	Cs	B3	21552
IIA-12	25	25	23 FEB 1992	Rb	A3	21890
*IIA-13		28	10 APR 1992			21930
IIA-14	26	26	07 JUL 1992	Rb	F5	22014
IIA-15	27	27	09 SEP 1992	Cs	A4	22108
*IIA-16		32	22 NOV 1992		F6	22231
*IIA-17		29	18 DEC 1992			22275
*IIA-18		22	03 FEB 1993			22446
*IIA-19		31	30 MAR 1993			22581
*IIA-20		37	13 MAY 1993			22657
IIA-21	09	39	26 JUN 1993	Cs	A1	22700
*IIA-22		35	30 AUG 1993	Rb	B5	22779
IIA-23	04	34	26 OCT 1993	Rb	D4	22877
IIA-24	06	36	10 MAR 1994	Rb	C5	23027
IIA-25	03	33	28 MAR 1996	Cs	C2	23833
IIA-26	10	40	16 JUL 1996	Cs	E3	23953
IIA-27	30	30	12 SEP 1996	Cs	B2	24320
IIA-28	08	38	06 NOV 1997	Cs	A3	25030

***IIR-1		42	17 JAN 1997			
IIR-2	13	43	23 JUL 1997	Rb	F3	26076
IIR-3	11	46	07 OCT 1999	Rb	E2	25933
IIR-4	20	51	11 MAY 2000	Rb	E1	26360
IIR-5	28	44	16 JUL 2000	Rb	A3	26407
IIR-6	14	41	10 NOV 2000	Rb	F1	26605
IIR-7	18	54	30 JAN 2001	Rb	B4	26690
IIR-8	16	56	29 JAN 2003	Rb	B1	27663
IIR-9	21	45	31 MAR 2003	Rb	D3	27704
IIR-10	22	47	21 DEC 2003	Rb	E2	28129
IIR-11	19	59	20 MAR 2004	Rb	C3	28190
IIR-12	23	60	23 JUN 2004	Rb	F4	28361
IIR-13	02	61	06 NOV 2004	Rb	C1	28474
IIR-14M	17	53	26 SEP 2005	Rb	C4	28874
IIR-15M	31	52	25 SEP 2006	Rb	A2	29486
IIR-16M	12	58	17 NOV 2006	Rb	B4	29601
IIR-17M	15	55	17 OCT 2007	Rb	F2	32260
IIR-18M	29	57	20 DEC 2007	Rb	C1	32384
IIR-19M	07	48	15 MAR 2008	Rb	A4	32711
IIR-20M	01	49	24 MAR 2009	Rb	B2	34661
IIR-21M	05	50	17 AUG 2009	Rb	E6	35752

* Satellite is no longer in service.
** USN SPACE COMMAND, previously known as the NORAD object number; also referred to as the NASA Catalog number. Assigned at successful launch. Catalog numbers retrieved from SPACENEWS Bulletins: http://nasdo.gsfc.nasa.gov/spacenews/
*** Unsuccessful launch.

FIGURA 7
GPS – Constelação actual.

GLONASS – Sistema Global de Navegação por Satélite

– 24 Satélites
– 3 Planos orbitais, separados 120°
– 8 Satélites por plano orbital, separados 45°
– Inclinação 64°,9
– Altitude média 19100 km
– Período orbital 11h 16m

Figura 8
Constelação GLONASS.

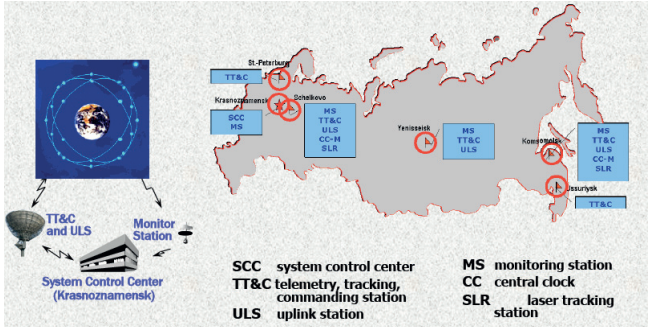


Figura 9
GLONASS – Segmento de Controlo Terrestre.

Cada satélite da constelação tem uma frequência própria de emissão – técnica FDMA (Frequency Division Multiple Access):

$L1 \in [1598.0625, 1609.3125]$
$L1 = 1602\ \text{MHz} + (n \times 0.5625)\ \text{MHz}$
$L2 \in [1242.9375, 1251.6875]$
$L2 = 1246.0\ \text{MHz} + (n \times 0.4375)\ \text{MHz}$

onde n (canal de RF) é um inteiro. Dois satélites em posições opostas, relativamente à Terra, têm o mesmo valor de n.

Dois tipos de Serviço:
Padrão – Código C/A na L1
Disponível a qualquer utilizador
Precisão – Código P nas duas frequências
Militares e utilizadores especiais

Apresentam-se, a seguir, dados actuais da Constelação GLONASS (Figura 10):

GLONASS constellation status, 14.11.2009г.

Total satellites in constellation	19 SC
Operational	16 SC
In commissioning phase	-
In maintenance	3 SC
In decommissioning phase	-

GLONASS Constellation Status at 14.11.2009 based on both the almanac analysis and navigation messages received at 16:00 14.11.09 (UTC) in IAC PNT TsNIImash

Orb. pl.	Orb. slot	RF chnl	# GC	Launched	Operation begins	Operation ends	Life-time (months)	Satellite health status		Comments
								In almanac	In ephemeris (UTC)	
I	2	-4	728	25.12.08	20.01.09		10.7	+	+ 14:59 14.11.09	In operation
	3	05	727	25.12.08	17.01.09		10.7	+	+ 14:59 14.11.09	In operation
	6	-4	701	10.12.03	08.12.04	18.06.09	71.2	-	- 09:33 06.07.09	Maintenance
	7	06	712	26.12.04	07.10.05		58.7	+	+ 16:30 14.11.09	In operation
	8	06	729	25.12.08	12.02.09		10.7	+	+ 16:31 14.11.09	In operation
	9	-2	722	25.12.07	25.01.08		22.7	+	+ 16:30 14.11.09	In operation (L1 only)
	10	-7	717	25.12.06	03.04.07		34.7	+	+ 14:59 14.11.09	In operation
	11	00	723	25.12.07	22.01.08		22.7	+	+ 14:59 14.11.09	In operation
II										
	13	-2	721	25.12.07	08.02.08		22.7	+	+ 15:59 14.11.09	In operation
	14	-7	715	25.12.06	03.04.07		34.7	+	+ 16:14 14.11.09	In operation
	15	00	716	25.12.06	12.10.07		34.7	+	+ 16:30 14.11.09	In operation
III	17	04	718	26.10.07	04.12.07		24.7	+	+ 14:59 14.11.09	In operation
	18	-3	724	25.09.08	26.10.08		13.8	+	+ 14:59 14.11.09	In operation
	19	03	720	26.10.07	25.11.07		24.7	+	+ 14:59 14.11.09	In operation
	20	02	719	26.10.07	27.11.07		24.7	+	+ 15:41 14.11.09	In operation
	21	04	725	25.09.08	05.11.08		13.8	+	+ 16:30 14.11.09	In operation
	22	-3	725	25.09.08	13.11.08	31.08.09	13.8	-	- 00:31 31.08.09	Maintenance
	23	03	714	25.12.05	31.08.06		46.7	+	+ 16:30 14.11.09	In operation
	24	02	713	25.12.05	31.08.06	02.11.09	46.7	-	- 13:16 02.11.09	Maintenance

Figura 10
GLONASS – Constelação actual.

Evolução prevista do Sistema GLONASS (Figura 11):

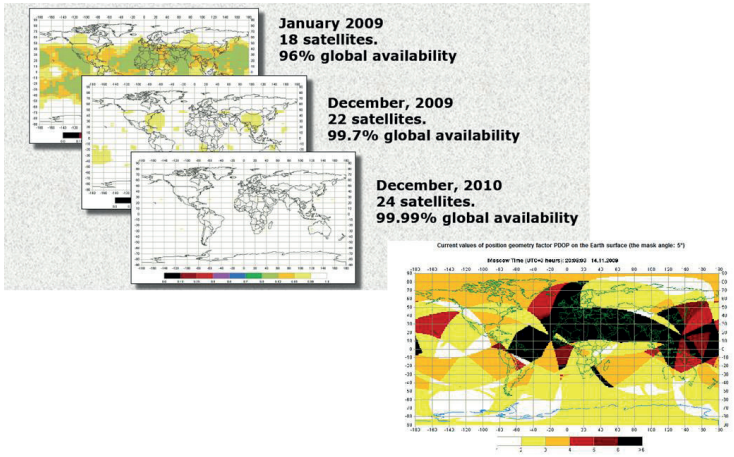


FIGURA 11
Evolução prevista.

A evolução do Sistema GLONASS, em termos de exactidão, está representada na Figura 12 e o programa de modernização na Figura 13:

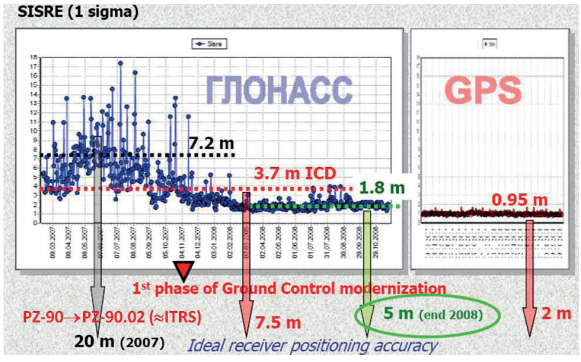


FIGURA 12
Evolução na Exactidão.

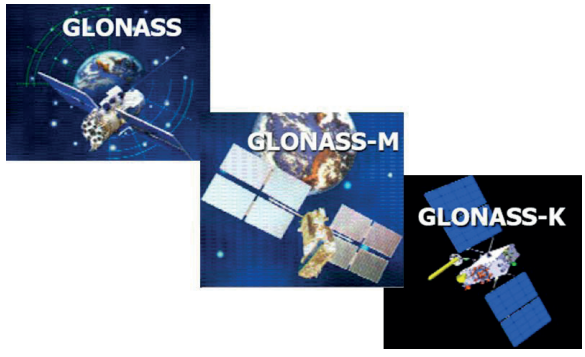


FIGURA 13
Programa de modernização.

O Programa de Modernização inclui, ainda:

- Continuação do plano de desenvolvimento da navegação por satélite
- Missão experimental dos satélites "Glonass-K" – 2010
- Plano de melhoria da exactidão do GLONASS
- Modernização do segmento de controlo terrestre
  - Extensão da rede de controlo terrestre
  - Aperfeiçoamento do sistema de tempo e da órbita
  - Extensão da rede de monitorização
- Modernização do sinal baseada no CDMA
- Novos sinais nos satélites "Glonass-K"

- Interoperabilidade com o GPS e com o futuro Sistema Galileo
  - Sinais
  - Referência geodésica
  - Sistema de tempo
- Outras modernizações do Sistema GLONASS baseadas em novos satélites.

Convirá destacar os seguintes aspectos:

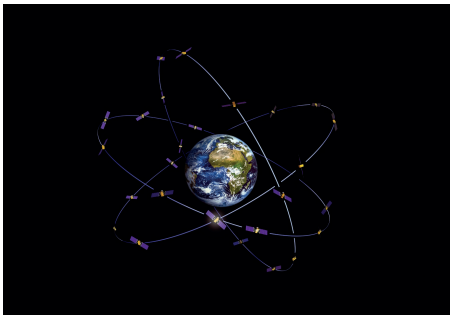
- O Programa GLONASS continua com alta prioridade na política do Governo Russo
- O Programa GLONASS está em fase de desenvolvimento e está garantido até 2020
- O aperfeiçoamento do GLONASS é um grande objectivo
  - Desempenho comparável ao do GPS e do futuro Galileo no final de 2011
  - Constelação completa, 24 satélites, no final de 2010
  - Implementação de novos sinais para melhorar a qualidade dos serviços a disponibilizar a utilizadores tanto militares como civis
- Compatibilidade e interoperabilidade com os outros GNSS.

SISTEMAS GLOBAIS EM FASE DE IMPLEMENTAÇÃO

Dos Sistemas Globais presentemente em fase de implementação destacam-se dois: Galileo – Sistema Europeu de Navegação por Satélite (UE) e COMPASS/Beidou – Chinese GNSS (China).

GALILEO

A configuração nominal do Sistema e as características dos satélites são as seguintes:



27+3 satélites
3 Planos orbitais
Inclinação 56°
Órbitas circulares
Altitude 23222 km
Período 14h 22m

Figura 14
Constelação Galileo

Dimensão 2,7x1,1x1,2 m
Paineis solares com 13 m
10 sinais da banda L, para navegação, entre os 1200 e os 1600 MHz
Banda C para comunicação com o Segmento de Controlo
Peso de 700 kg
Relógio principal: Maser de Hidrogénio (0,45ns/12 horas)
Relógio atómico de Rubídio como recurso (1,8ns/12 horas)

Os 10 sinais de navegação serão distribuídos por 4 tipos de serviço, disponíveis à escala mundial e independentemente de outros Sistemas:

OS – Open Service (Interoperabilidade com o GPS)

Gratuito para o utilizador; mercado de massas; localização e informação de tempo simples;

SOL – Safety-Of-Life Service

Oferecido e garantido a casos críticos dos transportes, por exemplo, marinha e aviação; integridade; autenticação do sinal;

CS – Commercial Service

Codificado; exactidão elevada; serviços garantidos;

PRS – Public Regulated Services

Codificado; integridade; disponibilidade contínua.

Além destes 4 serviços, o Galileo representará uma contribuição importante da Europa no esforço internacional em operações de Busca e Salvamento:

Search and Rescue

Quase tempo real; preciso; possibilidade de ligação bidireccional.

O plano de frequências está indicado na Figura 15.

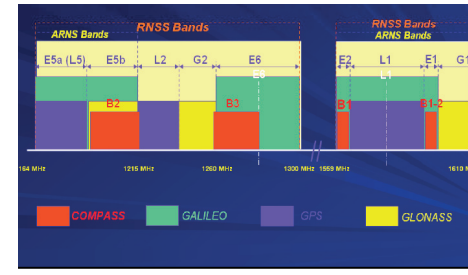


Figura 15
Plano de frequências.

Até agora, foram colocados em órbita 2 satélites experimentais: GIOVE A e GIOVE B.

GIOVE A: Galileo In-Orbit Validation Element

Lançado em Dezembro de 2005, está operacional desde Janeiro de 2006 (Figura 16).

Figura 16
GIOVE A

As principais missões previstas com este primeiro satélite experimental são as seguintes:

- Assegurar a utilização das frequências atribuídas, pela União Internacional de Telecomunicações, ao Sistema Galieo
- Validar, em órbita, tecnologias críticas tais como os relógios atómicos
- Testar as novas características dos sinais emitidos, tais como a sua resistência a interferências e a multicaminho

- Permitir o desenvolvimento de receptores para o Sistema Galileo
- Estudar a radiação nas zonas onde os satélites Galileo irão orbitar a Terra.

GIOVE B

Colocado em órbita, em 27 de Abril de 2008, com o objectivo de testar os padrões frequência (Primeiro Maser de Hidrogénio no Espaço) e os novos sinais Galileo (Figura 17).

Figura 17
GIOVE B

Presentemente, prevê-se a colocação em órbita de dois satélites em 2010 e outros dois em 2011 (IOV – In-Orbit Validation Phase).

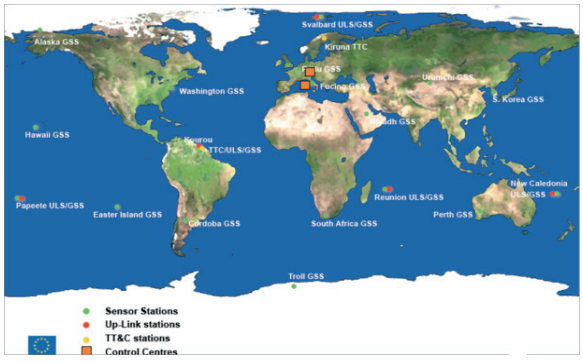


Figura 18
Segmento de Controlo do IOV.

Figura 19
Estação de Controlo, Fucino.

Como exemplo de Estação de Controlo do IOV apresenta-se a Estação de Fucino, Itália (Figura 19).
A situação actual do Galileo pode ser resumida do seguinte modo:

- GIOVE A e GIOVE B operacionais
- Fase de Validação em Órbita em curso, com 2 satélites previstos para 2010 e 2 para 2011
- Aprovada a fase seguinte "Full Deployment (FOC)"
- Contratos previstos até ao final de 2009
- Serviços Galileo disponíveis em 2013

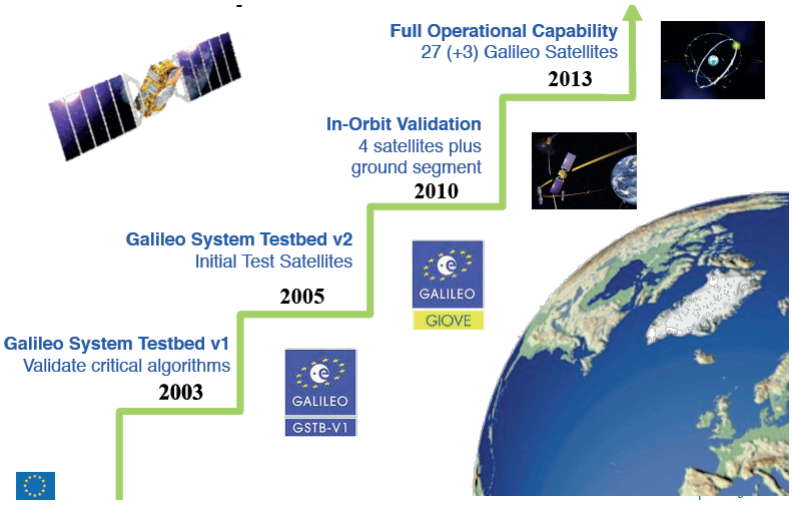


FIGURA 20
Evolução do Galileo.

COMPASS/Beidou

A decisão de desenvolver um Sistema independente de Navegação por Satélite remonta aos anos 80.

Primeira fase:

O primeiro satélite Beidou (Figura 21) foi colocado em órbita no ano 2000; o sistema de demonstração Beidou foi concluído e utilizado em 2003.

Foram iniciados diferentes serviços, incluindo localização, tempo e comunicações de mensagens curtas, na região da China.

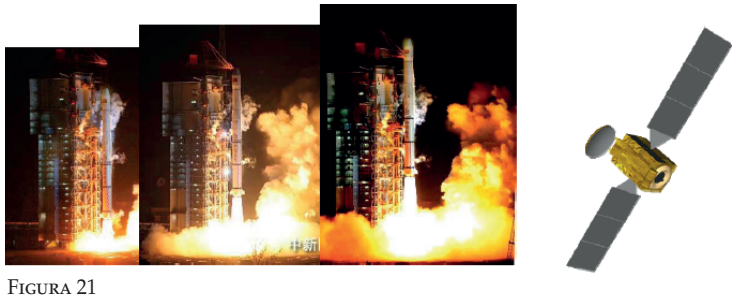


FIGURA 21
Primeiro satélite Beidou.

Segunda fase:

O primeiro satélite MEO foi colocado em órbita em Abril de 2007 (Figura 22); prevê-se o início do serviço regional em 2010 e do serviço global entre 2015 – 2020. Como um sistema global, espera-se que o COMPASS venha a cobrir toda a área Ásia – Pacífico pela primeira vez em 2010.

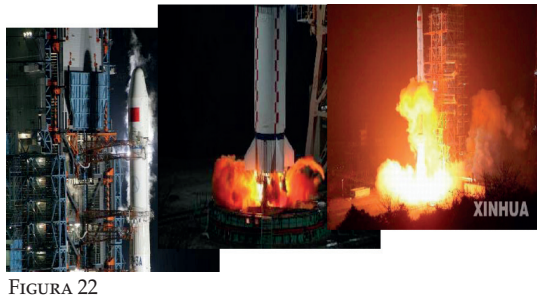


FIGURA 22
Primeiro satélite MEO.

As frequências utilizadas no COMPASS/Beidou são B1, B2,B3 (Figura 15).
Haverá dois tipos de Serviços Globais e dois tipos de Serviços Regionais:

Serviços globais

- Serviço Aberto: Acesso livre aos utilizadores
  Exactidão no posicionamento – 10 m
  Exactidão no tempo – 20 ns
  Exactidão na velocidade – 0,2 m/s
- Serviço Autorizado: Elevada integridade, mesmo em condições desfavoráveis.

Serviços regionais

- Serviço diferencial em áreas extensas
  Exactidão no posicionamento – 1 m
- Serviço de mensagens curtas

Há interesse na cooperação internacional com os seguintes objectivos:

- Compatibilidade e Interoperabilidade
  Com sistemas múltiplos, tanto no que respeita aos sinais como às referências geodésicas e de tempo
  UN/ICG (United Nations/International Committee on GNSS)
  Com os Sistemas GPS e Galileo
- Teste de Receptores GNSS e sua certificação
- Desenvolvimento de futuras tecnologias de Navegação
- Implementação de serviços de Busca e Salvamento baseados nos GNSS

SISTEMAS DE EXTENSÃO ESPACIAIS

Os Sistemas de Extensão Espaciais, SBAS – *Satellite Based Augmentation Systems*, Figura 23, são sistemas de satélites geoestacionários, auxiliares do posicionamento em tempo real e da navegação, como extensão aos GNSS, com o objectivo de melhorar os seus níveis de exactidão, integridade e disponibilidade. Os satélites emitem, ainda, um sinal da banda L, como o L1 dos satélites GPS, aumentando desta forma o número de satélites disponíveis para a fixação de posições.

O EGNOS – *European Geostationary Navigation Overlay Service* é um Sistema de Extensão Espacial que permite melhorar a exactidão dos sinais de navegação por satélite na Europa. Consiste em repetidores a bordo de três satélites geoestacionários, localizados a longitudes europeias (Figura 24), ligados a uma rede de cerca de 40 estações terrestres e quatro centros de controlo (Figura 25). As estações terrestres EGNOS recebem sinais dos satélites GPS; a informação sobre a exactidão e a segurança destes sinais é disponibilizada aos utilizadores através de retransmissores a bordo dos satélites

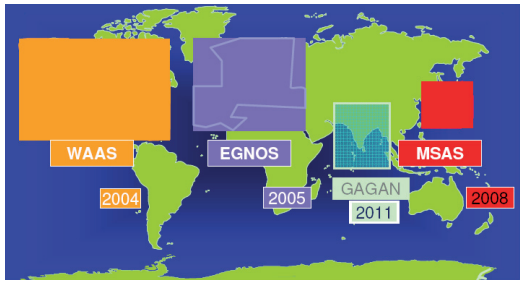


Figura 23
Sistemas de Extensão Espaciais.

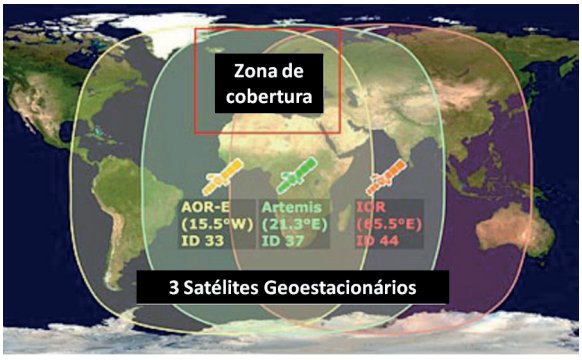


Figura 24
EGNOS – Segmento Espacial.

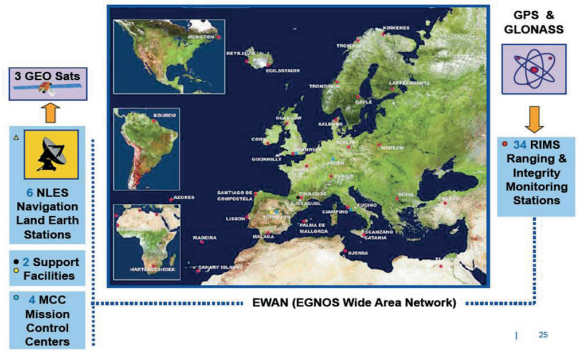


Figura 25
EGNOS – Segmento de Controlo Terrestre.

geoestacionários. Deste modo, o posicionamento pode ser feito a menos de 2 metros, muito superior aos 20 metros quando se recorre unicamente ao GPS.

O Estado actual do Sistema EGNOS pode ser resumido:

- O EGNOS está já a difundir sinais considerados de excelente qualidade
- Em 1 de Abril de 2009, a responsabilidade do Programa foi transferida da Agência Espacial Europeia (ESA) para a Comissão Europeia (EC)
- Em 1 de Outubro de 2009 foi anunciado oficialmente o início dos serviços do EGNOS
- O Serviço Aberto (Open Service) está agora disponível, sendo um serviço gratuito
- A certificação do Sistema EGNOS está prevista para 2010
- Está a ser estudada a extensão do Serviço a outras áreas geográficas
- Procura-se um novo retransmissor para substituir o satélite Artemis em 2011.

O WAAS – *Wide Area Augmentation System* é um auxiliar da navegação aérea desenvolvido pela Administração Federal dos Estados Unidos como extensão ao GPS, com o objectivo de melhorar os seus níveis de exactidão, integridade e disponibilidade. Pretende-se com o WAAS garantir que qualquer aeronave possa recorrer ao GPS em todas as fases do voo, incluindo aproximações de precisão a qualquer aeroporto dentro da sua área de cobertura (Figuras 26 a 28).

Figura 26
WAAS.

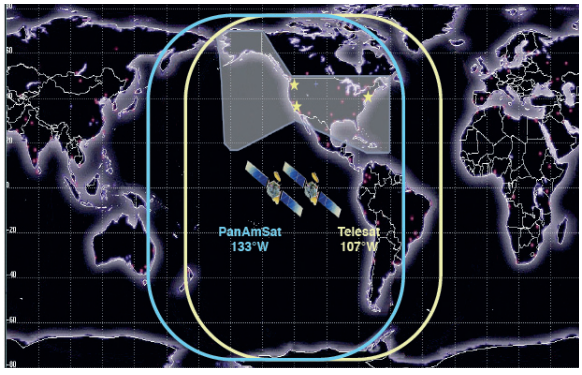


Figura 27
WAAS – Segmento Espacial.

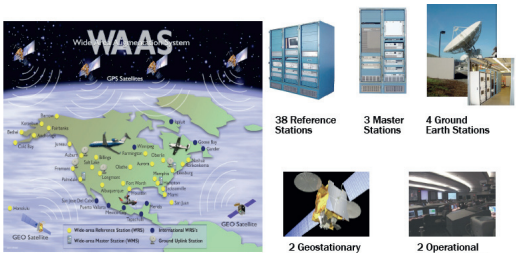


FIGURA 28
Segmento de Controlo Terrestre.

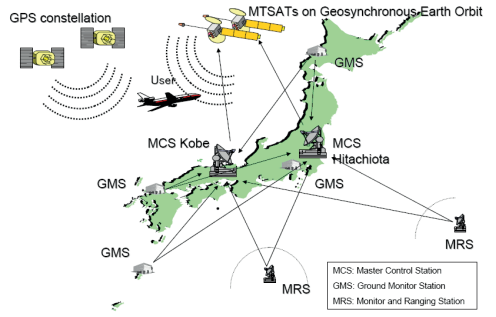


FIGURA 29
MSAS.

O MSAS – *MTSAT Satellite-based Augmentation System* é um Sistema de Extensão Espacial, desenvolvido pelas autoridades japonesas, destinado a cobrir toda a sua área geográfica (Figura 29).

O Segmento Espacial e o Segmento de Controlo Terrestre do MSAS estão representados, respectivamente, na Figura 30 e na Figura 31:

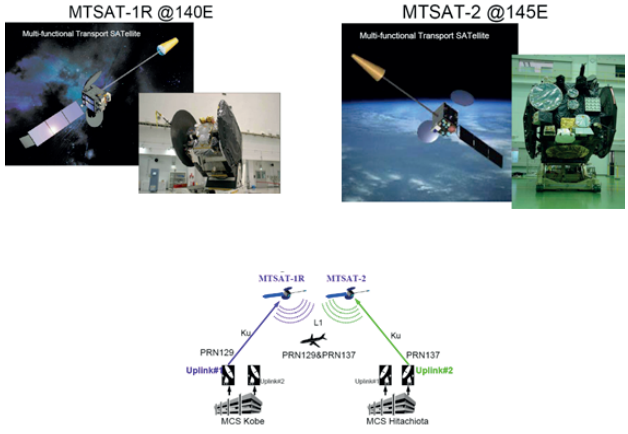


FIGURA 30
MSAS – Segmento Espacial.

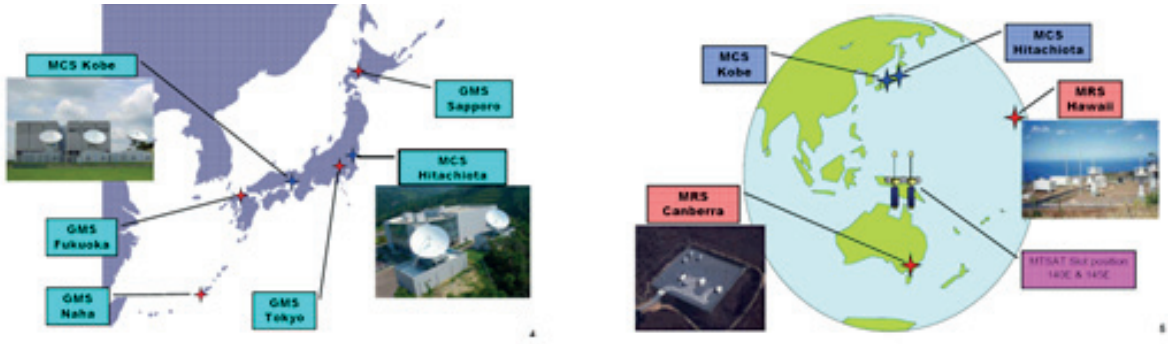


FIGURA 31
MSAS – Segmento de Controlo Terrestre.

FIGURA 32
QZSS.

O QZSS – *Quasi-Zenith Satellite System* (Figura 32) está concebido de modo a que, pelo menos, um de três satélites esteja próximo do zénite na região do Japão. As órbitas geossíncronas dos três satélites são elípticas e inclinadas em diferentes planos orbitais de tal modo que o seu traço na Terra seja sempre o mesmo, isto é, os seus elementos orbitais estão sujeitos às seguintes limitações: a = 42.164 km, e = 0,06--0,09, i = 39-47°.

O Segmento Espacial e o Segmento de Controlo Terrestre do QZSS estão representados, respectivamente, na Figura 33 e na Figura 34:

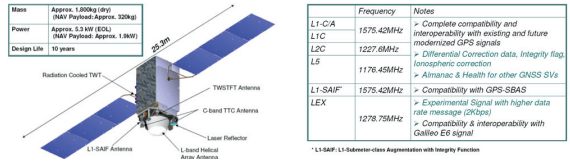


FIGURA 33
QZSS – Segmento Espacial.

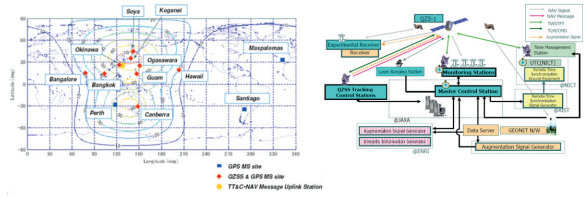


FIGURA 34
QZSS – Segmento de Controlo Terrestre.

O GAGAN – GPS *Aided GEO Augmented Navigation* é um Sistema de Extensão Espacial, com satélites geossíncronos, na zona do oceano Índico, Figura 35 e Figura 36.

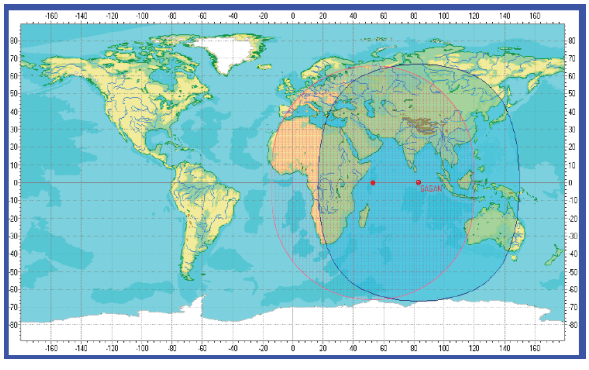


FIGURA 35
GAGAN.

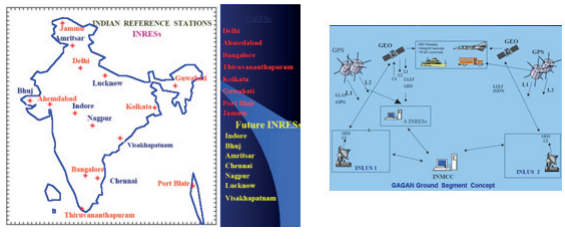


FIGURA 36
GAGAN – Segmento de Controlo Terrestre.

O IRNSS – *Indian Regional Navigation Satellite System* está planeado para ser um Sistema de Navegação autónomo, sobre a região da Índia. Será constituído por 7 satélites, sendo 2 Geosíncronos e 3 Geoestacionários. Atendendo ao reduzido número de satélites, será transmitido um modelo ionosférico constituído por uma grelha de 80 pontos, para aumentar a precisão do posicionamento aos utilizadores de uma só frequência (Figura 37).

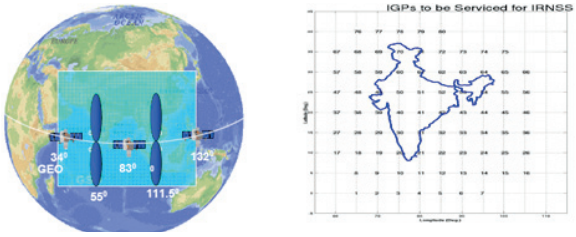


FIGURA 37
IRNSS.

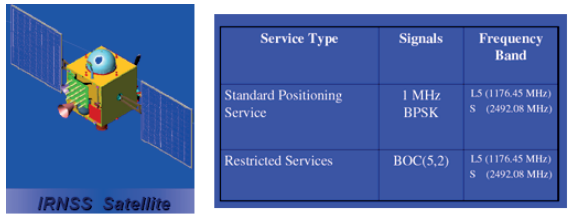


FIGURA 38
Satélite IRNSS e características dos sinais.

O calendário previsto para a implementação do Sistema é o seguinte: 1 satélite no final de 2009, 3 satélites entre 2010 e 2011, esperando-se completar a constelação durante 2012.

SISTEMAS DE EXTENSÃO LOCAL

Presentemente, estão ao dispor dos utilizadores diferentes tipos de Sistema de Extensão Local, como, por exemplo, os Sistemas baseados em observações terrestres, GBAS – *Ground Based Augmentation Systems*, que, a seguir, se indicam.

LAAS – *Local Area Augmentation System*, para apoio à navegação aérea (Figura 39).

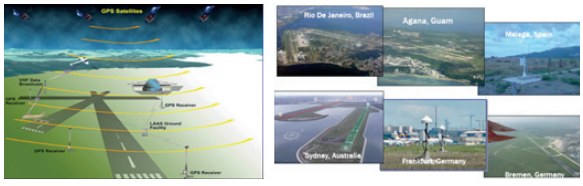


FIGURA 39
LAAS.

ESTAÇÕES DGPS – GPS DIFERENCIAL

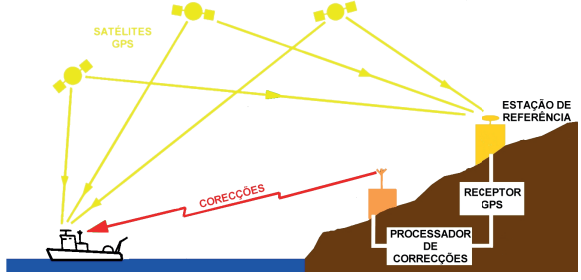


FIGURA 40
GPS Diferencial.

Com este procedimento, o erro associado à posição obtida com o DGPS (nível de confiança de 2σ) varia entre 0,5 m e 1 m, perto da estação DGPS, aumentando cerca de 0,2 m por cada 100 km de distância à estação DGPS.

DGPS em Portugal

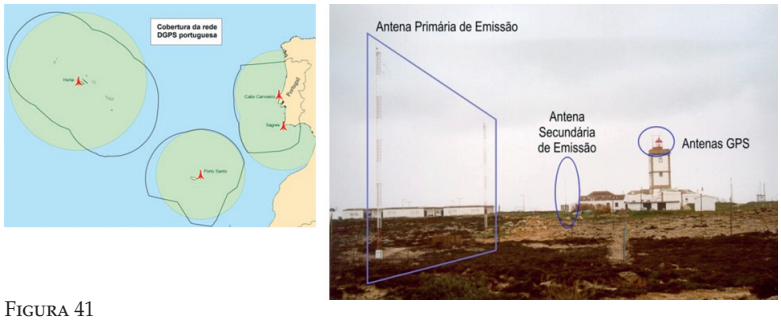


Figura 41
Estações DGPS em Portugal.

GEONET – Rede de Estações GNSS Permanentes

Com base num projecto de cooperação nacional, sob a nossa responsabilidade e envolvendo a Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP), a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (FCTUC), o Instituto Politécnico da Guarda (IPG), o Instituto de Investigação Científica Tropical (IICT) e a Academia da Força Aérea (AFA), foi criada a Rede GEONET – Rede de Estações GNSS Permanentes (Figura 42).

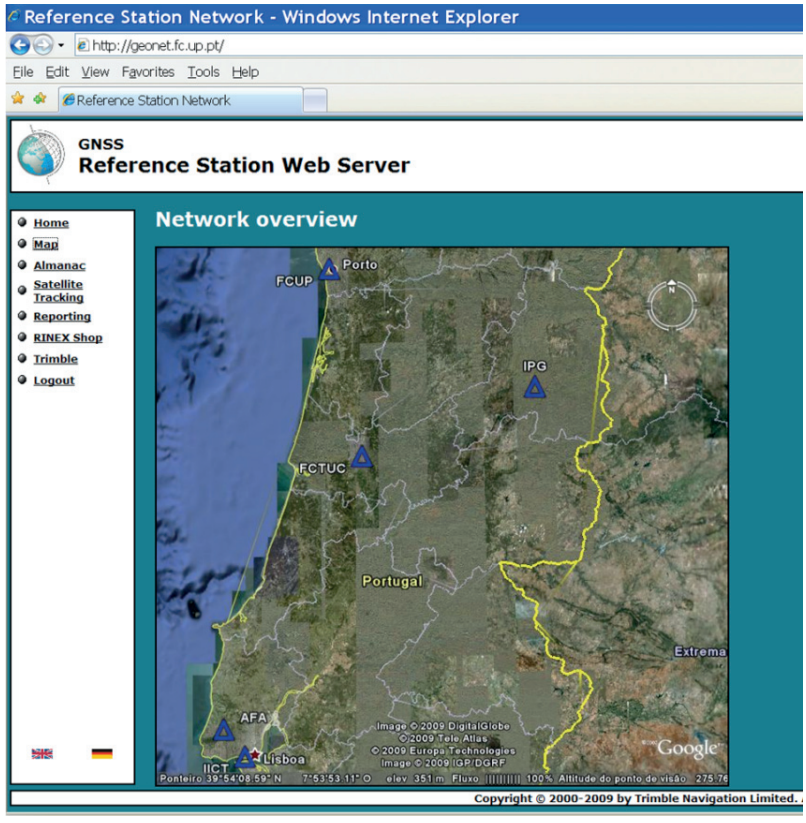


Figura 42
GEONET – Localização das Estações.

Nas Figuras 43 e 44 são apresentados alguns aspectos da Estação GNSS da FCUP.

Todas as restantes Estações da GEONET estão equipadas com Receptores GNSS análogos ao da FCUP e a Estação do IPG, também, com uma Estação Meteorológica. A título de exemplo, inclui-se a informação sobre as condições de observação em todas as Estações num dado momento (Figura 45).

FIGURA 43
Estação GNSS da FCUP.

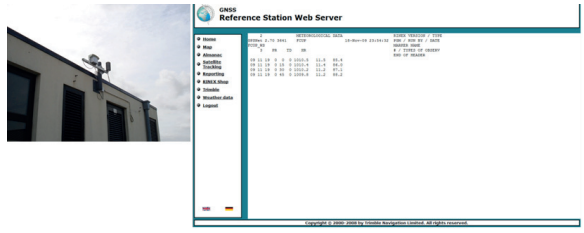


FIGURA 44
Estação Meteorológica da FCUP.

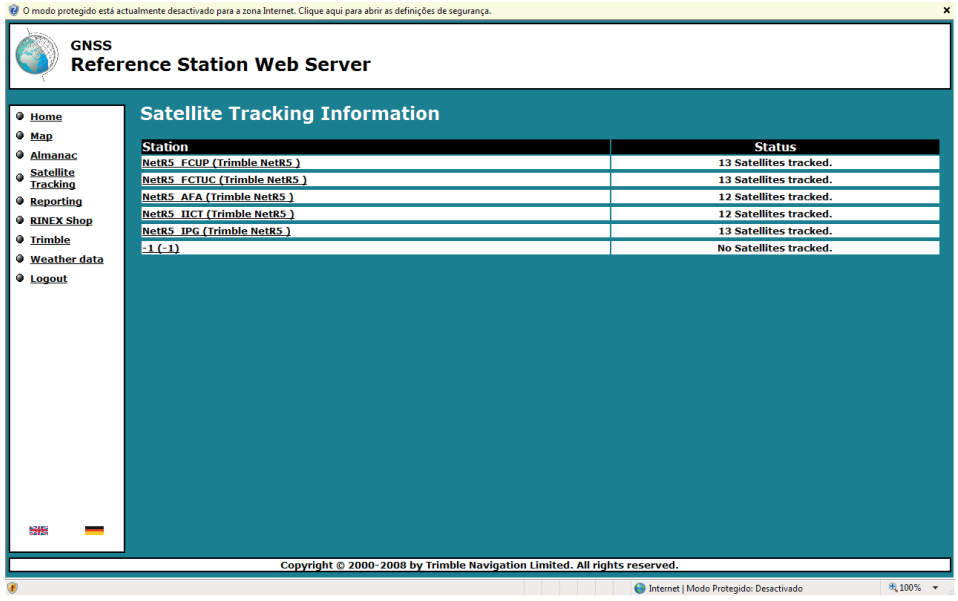


FIGURA 45
GEONET – 2009.11.19, 0h 45m.

CONCLUSÃO

Em comunicação anterior, foi feita, de passagem, uma breve introdução aos Sistemas Globais de Navegação por Satélite então existentes, o Sistema Global de Posicionamento (GPS), sistema americano, e o Sistema Global de Navegação por Satélite (GLONASS), sistema russo. Nesta exposição, foi dada particular atenção ao seu estado actual de desenvolvimento e às fases de modernização previstas para os próximos anos.

A grande diversidade de aplicações, desde as mais correntes até às que requerem uma maior exactidão, tem despertado muito interesse nos países mais desenvolvidos, em diferentes zonas geográficas,

seja na criação de novos Sistemas Globais ou de Sistemas de Extensão.

Relativamente aos primeiros, há que referir o Sistema Galileo, da responsabilidade da Comissão Europeia, e o Sistema Chinês COMPASS/Beidou, ambos em clara fase de implementação.

Quanto aos Sistemas de Extensão, devemos distinguir, ainda, Sistemas Espaciais de Sistemas de Extensão Local. Presentemente, estão em fase de desenvolvimento diferentes Projectos Espaciais, cobrindo áreas geográficas específicas, onde se destacam: EGNOS (Europa), WAAS (EUA), QZSS e MSAS (Japão) e GAGAN/IRNSS (Índia).

No âmbito de Sistemas Locais foram considerados os LAAS – *Local Area Augmentation Systems* e o DGPS – GPS Diferencial. Neste contexto, foi apresentada a Rede GEONET, Rede de Estações GNSS Permanentes, da nossa responsabilidade.

BIBLIOGRAFIA

[1] Monteiro, S., *A rede DGPS portuguesa*, Comunicação, FCUP, Porto, 2005.

[2] Osório, J. Pereira, *Posicionamento e Navegação por Satélite: Dos Satélites Balão ao Sistema Galileo*, Memórias da Academia das Ciências de Lisboa, Classe de Ciências, T. XLIII, Vol. I, pp. 275-300, 2006.

[3] Osório, J. Pereira, *Sistemas de Referência Internacionais*, Academia das Ciências de Lisboa, 2008 (para publicação).

[4] Munich Satellite Navigation Summit 2009, Munich, Germany, 3-5 March 2009.

[5] Third Meeting of the International Committee on *Global Navigation Satellite Systems (ICG)*, organized jointly by the US State Department and the Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, USA, 8 – 12 December 2008.

[6] United Nations/China/European Space Agency *Training Course on the Use and Applications of Global Navigation Satellite Systems*, Beijing, China, 4 – 8 December 2006.

[7] http://www.munich-satellite-navigation-summit.org/Summit2009

[8] http://www.oosa.unvienna.org/oosa/SAP/gnss/icg/icg03/presentations.html.

(Comunicação apresentada à Classe de Ciências
na sessão de 19 de novembro de 2009)

Justificação do tema

Artur Torres Pereira†

Senhores Presidentes,
Prezados Consócios,
Senhoras e Senhores,

Breves palavras para fundamentar a decisão da Academia das Ciências de Lisboa de se associar ao cinquentenário da oração de Charles Percy Snow "As Duas Culturas", promovendo a sessão de hoje.

Outras importantes Academias o fizeram este ano. A Royal Society numa sessão pública em 5 de Maio, e a New York Academy of Sciences que lhe dedicou um simpósio, de um dia inteiro, em 9 de Maio. Fica bem a iniciativa da Academia das Ciências de Lisboa

A minha justificação não termina assim. Ela compreenderá ainda uma dezena de interrogações.

As "Duas Culturas", a científica e a humanística, considerada cultura tradicional com ênfase para a literatura, estariam encerradas sobre si próprias, desconheciam-se, quando não se menosprezavam. Havia muito preconceito: Quando o futuro prémio Nobel da Física Andrew Huxley trocou os estudos clássicos pela física, o seu *headmaster* na Westminster School criticou-o por trocar a virtude pelo prazer.

À iliteracia cultural dos cientistas correspondia uma análoga iliteracia científica do grupo literário e humanista. Esse fosso impediria o progresso social?

Em 1962 o crítico literário Frank Leavis desencadeou o mais feroz e humilhante ataque a Snow. A controvérsia universalizou-se até hoje.

Estamos perante um problema de Educação que Snow quis antecipar, e que incluía algum pessimismo político-ideológico?

Quanto dos passos gigantes da Revolução Científica e Molecular devem (se devem) ser obrigatoriamente ensinados no ensino secundário (ou no universitário)?

Não têm conseguido os cientistas corrigir com apreciavel êxito a sua iliteracia cultural? E não deve uma literacia cultural básica no século XXI contemplar alguma informação científica, mesmo quando electivamente aplicada aos que vão cultivar as humanidades?

Mas que aprendem as crianças e os jovens hoje? A constatação da ineficácia do ensino em geral, e não só em língua inglesa, levou a Instituição Civitas a publicar este ano um livro com o amargurante titulo. "From Two Cultures to No Culture". Já não se trata das crianças aprenderem a traduzir Horacio ou a resolver equações algébricas – o problema é se elas estão a aprender alguma coisa.

Noutro plano, que conhecimentos científicos deverão ter os líderes intelectuais e humanistas que significativamente nos governam, fazem as leis e definem as políticas? É tão útil, como julga a Comissão

Parlamentar de Tecnologia, Educação e Ciência, a criação dum gabinete de assessoria científica aos potenciais legisladores?

E ainda, será inocente que os que se envolvem e preocupam hoje com as "Duas Culturas" sejam maioritariamente cientistas? Leavis não o perdoaria.

E não existe um manifesto desequilíbrio no apoio universitário oficial, dedicado à preocupação científica desvalorizando as ciências humanas e sociais?

Ainda noutro plano, não é lamentável, relembrou Dean Kawen na sessão de Nova Iorque, que não obstante existir muita gente altamente qualificada em Ciência bem como nas Artes e Humanidades, na prática mais de 6 000 milhões de pessoas no mundo não pertençam a qualquer desses dois grupos (privilegiados? São simplesmente pobres, não-educados e ignorantes, sem culpa alguma nessa condição de *outsiders*?

Todos estes problemas foram generosamente apresentados à cidade há 50 anos, e durante 50 anos discutidos; como os poderemos validar, melhorar ou refutar hoje?

Finalmente, a distinção entre as convencionais "Duas Culturas" pode ser iludida por uma Unidade de Conhecimento que remotamente parte do recuado século das Luzes, com a então incipiente Ciência que viria a agigantar-se? Na Unidade de Conhecimento de Edward Wilson a sua Mandala dos quatro sectores interdisciplinares de Política Ambiental, Biologia, Ciências Sociais e Ética pode acabar por unir as "Duas Culturas", anulando o fosso para que Snow nos alertou?

Dois académicos da Classe de Letras e dois da de Ciências vão manifestar-se e esclarecer-nos nesta sessão comemorativa.

(Comunicação apresentada à Classe de Ciências e Letras
na sessão de 26 de novembro de 2009)

Palavras de abertura da sessão conjunta das duas classes da Academia das Ciências de Lisboa comemorativa do cinquentenário de C. P. Snow

E. R. de Arantes e Oliveira

Em boa hora, a Academia das Ciências de Lisboa decidiu comemorar, em sessão conjunta das suas duas Classes, o cinquentenário da obra mais famosa de Charles Percy Snow: "*As duas culturas e a Revolução Científica*". Agradeço ao Professor Artur Torres Pereira, coordenador do Colóquio, e aos oradores que ele convidou, nomeadamente ao Presidente da Classe de Letras, Professor Adriano Moreira, o facto de se terem prontificado a colaborar nesta emblemática iniciativa.

No século XVIII, alguns iluministas levaram o seu entusiasmo pela cultura científica ao ponto de a elevarem acima da humanística. O nosso estimado Abade Correia da Serra escreveu na sua introdução às "Memórias Económicas", justo orgulho da Academia, "que o estudo da literatura nacional parecerá porventura a alguns menos próprio para o aumento da agricultura, das artes e da indústria". Mas acrescentou: "se esta observação é justa pelo que toca à língua e à poesia, longe está de justificar-se pelo que respeita à história da nação". Considerava pois o célebre Abade que a língua e a poesia eram "menos próprias para o desenvolvimento da agricultura, das artes e da indústria", mas via toda a utilidade no estudo da História.

Paradoxalmente, à medida que os anos foram passando e a Ciência progredindo, os modelos literários e artísticos adquiriram importância como instrumentos de investigação científica. Efectivamente, o esforço de imaginação que contribui para a elaboração de uma obra literária, de uma pintura, de uma escultura, dotam os modelos científicos de algo que, embora não se exprima por palavras ou equações, tem para os investigadores um inegável interesse. É que a imaginação permite intuir o ser. E, assim, compor um livro, pintar um quadro, ou dar forma a uma estátua, podem revelar algo que nos estava oculto. Não chegou o grande teólogo suíço Hans Urs von Balthazar a escrever que a contribuição dos artistas foi frequentemente mais importante que a dos teólogos para o desenvolvimento da Teologia?

A própria História não dispensa a colaboração dos Humanistas. Por outras palavras, os modelos que os Historiadores elaboram não podem limitar-se a um simples e seco conjunto de factos. Daí a fórmula de Eça: *sobre a nudez forte da verdade o manto diáfano da fantasia*.

Mas, ao contrário do que acontece nas nossas livrarias, cada vez mais invadidas por lixo histórico-literário que se vende abundantemente sem qualquer vantagem para a Cultura, é necessário que os escritores, fruindo embora da liberdade da criação artística, não invoquem esta para ocultar ou distorcer a Realidade. Nas Artes, tal como nas Ciências, o rigor é indispensável.

*

Permitam-me que lhes fale um pouco do meu percurso intelectual. Chamemos-lhe um estudo de caso.

No que se refere à cultura humanística, tive a felicidade de conhecer e beneficiar da influência directa do Padre Manuel Antunes, saudoso mestre e orientador espiritual. No que se refere à científica, marcaram-me profundamente dois professores que me prepararam para cultivar a Matemática e as suas aplicações: Francisco Dias Agudo no Liceu Gil Vicente, e Aureliano de Mira Fernandes no Instituto Superior Técnico.

Lembro que a Matemática é como a Música: ou se começa a cultivar cedo, ou é de perder a esperança de a tratar acima do nível elementar. Ao contrário do que pensam os leigos, a principal motivação dos investigadores na Matemática, sobretudo na Matemática pura, é o lado estético do que criam. E a História revela que muitas das contribuições para a Matemática se deveram em grande parte a cientistas jovens, por vezes muito jovens. Mais rapidamente que nas outras ciências, os anos que passam secam as fontes da inspiração.

Quando entrei no IST, levava uma boa base devida sobretudo a Dias Agudo. Num curso de engenharia, a Matemática tem uma insubstituível função formadora, mas essa acção não se limita ao rigor e à lógica. A perícia na análise exige artifícios cuja descoberta constitui uma ginástica indispensável para estimular o engenho o qual, como o nome indica, e diariamente nos era lembrado na Escola, é o que caracteriza os engenheiros.

Não esqueço porém mestres de outro tipo, como Pardal Monteiro, o arquitecto. Se não tivesse frequentado a sua cadeira de História de Arquitectura do curso de engenharia civil, talvez não tivesse aceitado escrever, a par de Santiago Calatrava, um dos artigos de um livro de prestígio editado pelos empreiteiros da Estação do Oriente. A minha contribuição de engenheiro tomou a forma de um texto densamente escrito, ainda que levemente ilustrado. Em contraste, Calatrava, o arquitecto, recorreu maciçamente à linguagem icónica: pondo de lado o apoio de qualquer texto, apresentou uma sucessão de belíssimos esboços executados na fase de projecto.

Quando Frederico Mayor era Director-Geral da UNESCO, nomeou-me *Coordenador Geral da Década Mundial do Desenvolvimento Cultural*, cargo para que considerava apropriado – cito palavras suas – o meu *perfil de engenheiro com fortes preocupações culturais*. Razões de política interna da Organização impediram que o projecto de Mayor se concretizasse. Formalmente nomeado, nunca cheguei pois a ser empossado. Igualmente se gorou uma tentativa seguinte: a de me nomear *número 2* do sector da Cultura. Neste caso, a culpa foi minha: optei por ser Director do LNEC, função para que fora quase simultaneamente convidado.

Tinha-se-me aberto porém, alguns anos antes, uma nova frente de actividade humanística: a da investigação histórica. Única das Ciências Humanas em que me tornei investigador, a pesquisa da História transformou-se numa paixão que curiosamente se intensificou depois de ter reentrado no LNEC, onde muitos anos antes me treinara como investigador científico. Todos os dias, depois de um breve almoço na cantina do Laboratório, passava umas duas horas na Torre do Tombo ou na Biblioteca Nacional. E sempre que me deslocava a outros centros de cultura, portugueses ou estrangeiros, frequentava bibliotecas e arquivos. Pude assim publicar vários trabalhos. A Academia Portuguesa da História elegeu-me seu sócio honorário, como antes o fizera a Sociedade de Geografia. E tudo isto se passou depois dos saudosos anos em que, sucedendo a Teixeira da Mota, fui Presidente da Academia de Marinha.

*

Sublinho, para concluir, que não constitui exagero afirmar que o interesse pelas Humanidades é normal entre os membros da Classe de Ciências. Poderia mencionar numerosos exemplos, não só do

passado, como da actualidade. Não me compete fazê-lo. Mas não resisto a apontar, de entre os contemporâneos, três académicos que não figuram entre os oradores: Miguel Telles Antunes, Director do Museu Maynense, que vem pondo ao serviço da Academia uma profunda cultura humanística, José Esperança Pina que temos visto abordar temas de Artes Plásticas com uma profundidade que resulta da formação de anatomista, e Luís Aires-Barros, professor jubilado de engenharia de minas, hoje Presidente da Sociedade de Geografia de Lisboa.

(Comunicação apresentada às Classes de Ciências e de Letras
na sessão conjunta de 26 de novembro de 2009)

Das duas culturas a consiliência

Daniel Serrão†

Peço licença para iniciar esta comunicação com uma referência pessoal e também académica.

Ouvi falar de C. P. Snow, pela primeira vez, nesta sala, quando apresentei em 1985 a minha comunicação inaugural como recém-eleito académico correspondente. O Presidente, o Prof. Pinto Peixoto, que sempre recordo com emoção e saudade, comentou a minha apresentação e referiu o nome de C. P. Snow.

Apanhado na ignorância de quem era e o que escrevera este autor, nada disse; mas logo tratei de ler o seu ensaio *As duas culturas* [1] e desde então tenho acompanhado as reflexões que foram aparecendo, em especial o texto de Stefan Collini, incluído, em 1993, na edição Canto, da Imprensa da Universidade de Cambridge. Fiquei a conhecê-lo bem.

Agradeço ao Senhor Presidente e ao Professor Torres Pereira o convite para intervir nesta Sessão Comemorativa dos 50 anos de apresentação (e posterior publicação) da Rede Lecture na Universidade de Cambridge por Sir Charles Percy Snow, intitulada *The Two Cultures and the Scientific Revolution*.

O meu objectivo, em 30 minutos exactos, é oferecer uma resposta actual às questões levantadas por Lorde Snow no seu famoso ensaio.

1. PERGUNTO-ME QUE QUESTÕES LEVANTOU SNOW NO SEU ENSAIO CUJO SUCESSO, DENTRO E FORA DO REINO UNIDO, TANTO O SURPREENDEU?

A primeira, e a mais radical, pode ser enunciada assim, tal como foi colocada há 50 anos e em referência, muito directa, à sociedade britânica. Há duas grandes culturas, dois distintos universos culturais.

Um é habitado e praticado pelos intelectuais que criam arte, escrevem livros e se ocupam e preocupam com a origem e destino de cada ser humano e com a condição humana, em geral.

Poetas, romancistas, historiadores, ensaístas, compositores, clássicos e modernos, dramaturgos, actores de teatro e cinema, executantes musicais – constituem alguns dos agentes desta cultura intelectual, criativa, aberta aos indivíduos e à sociedade.

O outro é constituído pelos que procuram obter o conhecimento do mundo natural em todos os seus aspectos. Esta procura é a Ciência e os seus cultores são designados pelo tipo particular da sua pesquisa. São astrónomos, físicos, químicos, biólogos, matemáticos e, na ciência aplicada, engenheiros, mineralogistas, botânicos ou agrónomos, zoólogos ou veterinários, etc.

Estes cultores das ciências usam um método rigoroso, a experimentação, formulam hipóteses e enunciam conclusões; ou apresentam novas hipóteses para nova investigação. Os cientistas investigam para

criar factos e resolver problemas concretos. Não se ocupam dos indivíduos mas sim dos problemas tecnológicos do viver social.

Para Snow as pessoas que vivem integradas numa ou noutra destas duas culturas e nela se realizam como seres humanos inteligentes, desconhecem-se mutuamente, nalguns casos criticam-se ou chegam, mesmo, a atacar-se.

Para ilustrar esta situação Snow refere um diálogo possível entre dois representantes das duas culturas:

– Já leu o *King Lear* de Shakespeare? Não, respondeu o cientista; que logo ripostou: e você, sabe enunciar a segunda lei da termodinâmica? Claro que o «intelectual» não sabia.

Com abundantes referências a cientistas ingleses, como Lord Ruthfel Ford e outros, Snow apresenta a primeira metade do século XX como tempo do sucesso da revolução industrial que as duas guerras potenciaram. E afirma, claramente, que foram os cientistas e não os intelectuais que ajudaram as democracias a ganhar as duas guerras.

Mas, sendo ele próprio um romancista e ensaísta de sucesso, não deixa de referir a importante intervenção social dos «intelectuais» dar um contributo positivo à humanização da Ciência e à prevenção riscos da ciência aplicada.

Depois de algumas considerações de política educativa e de gestão de recursos, Snow apela ao *closing the gap betwen our cultures*, porque, diz, enquanto estas duas actividades intelectuais cresceram separadas nenhuma sociedade foi capaz de pensar com sabedoria (*wisdom*).

2. QUE SUCEDEU NESTES 50 ANOS EM RELAÇÃO COM O APELO DE SNOW?

Responderei com uma leitura pessoal, um pouco dispersa, por economia do tempo, de alguns dos dados mais significativos das respostas que encontrei.

Em primeiro lugar direi que os intelectuais europeus do seu tempo que designarei, genericamente, por fenomenologistas e existencialistas não fizeram nenhum esforço de compreensão dos cientistas ou das profundas modificações introduzidas na vida social pelos desenvolvimentos espectaculares das tecnociências. Nem Husserl, nem Heidegger, nem Lévinas, nem Jaspers, nem Sartre, nem mesmo Paul Ricoeur, que foram *les maitres à penser* dos anos que se seguiram ao fim da Segunda Guerra Mundial, deram qualquer sinal nas suas obras – nas quais se encontra, aliás, um profundo e difícil exercício da inteligência reflexiva – de se terem apercebido de como o mundo concreto das pessoas e dos objectos tecnológicos, à sua volta, se tinha transformado radicalmente.

Penso, mas precisaria de muito tempo para me justificar, que Merleau-Ponty teria sido capaz de se dar conta destas transformações e de as pensar fenomenologicamente, se não tivesse morrido em 1961, com 53 anos de idade e em plena produção intelectual. As notas dos seus três Cursos no Collège de France, de 1957 a 1960, dão indícios bastantes desta possibilidade [2].

Para mim, o sentido profundo da contestação na Faculdade de Filosofia de Nanterre, em Maio de 68, antes de evoluir para o folclore político-social da esquerda festiva francesa, era o do desconhecimento, ou indiferença, dos «intelectuais» pelo que, de facto, acontecia no mundo real de todos os dias em que os estudantes viviam. Daqui a contestação que tanto perturbou Paul Ricoeur.

Por sua vez, as religiões organizadas, nomeadamente a Igreja Católica, também não se deram conta de como o mundo estava a mudar, por exemplo, com a velocidade de transmissão de imagens, textos

e palavras e de toda a informação em geral. Houve o Concílio Vaticano II, que foi de *aggiornamento*, e pudemos assistir, depois, à estratégia de João Paulo II que deu um sentido pessoal e dinâmico à relação entre a Igreja e as pessoas e culturas de todo o mundo. Mas permanece um sentido de desconfiança da cultura humanística de base teológica, face à cultura técnico-científica, em especial na sua versão de cultura aplicada.

As duas culturas continuam activas, mas separadas.

Introduzi esta breve nota porque a cultura religiosa é um componente importante da cultura dita, apenas, intelectual, por oposição à outra cultura, a cultura científica; e há uma longa e penosa história de conflitos entre ciência e fé religiosa, entre atitude mental científica, dita racional, e atitude mental de fé, baseada na revelação; e, depois, elaborada e analisada racionalmente, claro está.

Houve sempre cientistas com fé na Ciência e fé na Revelação, que acomodam, em si, as duas atitudes mentais, sem conflitos.

Como sempre houve, igualmente, cientistas apenas com fé na Ciência, acreditando que um dia o conhecimento científico resolverá todos os enigmas da origem do Universo, da origem da vida e da origem do homem autoconsciente e capaz de pensamento reflexivo e simbolizador, elaborado pelas estruturas cerebrais. Estes cientistas acreditam que o recurso à fé resulta, tal como no homem primitivo, da ignorância sobre a estrutura do mundo natural e do medo que tal ignorância lhe provoca. Estão equivocados mas é um equívoco resultante da separação e mútuo desconhecimento das duas culturas, desconhecimento que Snow assinalou e criticou. O seu apelo para que a separação entre as duas culturas terminasse não foi ouvido, nem por filósofos nem por teólogos.

Os cientistas continuaram acastelados no seu mundo próprio, feito de factos concretos e de teorias explicativas, mais ou menos credíveis, a aguardarem confirmação; e os ditos «intelectuais» permanecem ensimesmados no mundo das ideias abstractas, do formalismo lógico e da hermenêutica dos textos.

3. MAS HAVERÁ PERSPECTIVAS NOVAS QUE POSSAM DAR SATISFAÇÃO AO APELO DE SNOW?

Há e curiosamente partiram da cultura científica quando seria de esperar que surgissem da reflexão apurada dos «intelectuais».

Refiro-me a um bioquímico e a um sociobiologista, ambos americanos.

O bioquímico é Van Rensselaer Potter, Professor numa Faculdade de Medicina do Wisconsin, com uma importante obra científica no domínio da bioquímica do cancro, tendo sido Presidente da American Society of Cancer Research.

O sociobiologista é Edward Wilson, investigador do Museu de Zoologia Comparada da Universidade de Harvard.

Vejamos, em síntese, o contributo dado por estes cientistas para tentar acabar com o fosso entre as duas culturas.

Potter, cientista mas profundamente preocupado com o futuro da Humanidade, propôs a criação de uma nova disciplina científica para o desenvolvimento de uma estratégia de sobrevivência que servisse de ponte para o futuro.

A esta nova disciplina chamou Bioética e num artigo publicado em 1970 apresentou as suas razões que vou sintetizar[3,4,5,6,7].

Sem citar Snow, autor que provavelmente nunca leu, afirma a existência de duas culturas científicas dedicadas ao ser humano, a saber: a das ciências humanas e sociais e a das ciências biológicas.

Os cultores destas duas grandes áreas científicas, divididas em numerosas especialidades, como a biofísica, a bioquímica e a genética moleculares, a morfologia e fisiologia normais e patológicas, de um lado, a filosofia, a antropologia, a história, a geografia humana, a economia, a sociologia e a teologia, do outro lado, desconhecem-se mutuamente; mas precisam de se entender porque este desencontro ameaça a sobrevivência dos indivíduos e, a prazo, a da espécie humana.

O entendimento entre os que sabem do *Bios*, ou seja, de tudo o que se refere à natureza física dos seres humanos, e os que sabem do *Ethos*, ou seja, da forma particular de ser e de estar dos homens no mundo, deve resultar de uma nova disciplina científica, a que denominou bioética, para marcar que nela se faz a reunião da ciência do *Bios* com a ciência do *Ethos*.

Como nova disciplina tem de ter um objectivo próprio e uma metodologia específica.

Para Potter a metodologia da nova disciplina é a de um cruzamento horizontal entre todos os saberes das ciências naturais, que conhecem todos os aspectos do corpo humano e do seu funcionamento, com todos os saberes de todas as ciências humanas e sociais que sabem tudo sobre todos os aspectos que particularizam o modo próprio dos seres humanos viverem, como indivíduos e como membros dos grupos sociais em que estão inseridos.

Potter vê este cruzamento como uma relação cibernética, de *feedback*, entre os dois saberes, cada vez mais facilitada pela tecnologia informática moderna.

Esta a metodologia. E o objecto, qual é?

Potter é muito claro. O bioeticista tem de conseguir criar, com o cruzamento e interacção dos saberes, uma nova sabedoria; e esta nova sabedoria é a de colocar a simbiose dos saberes sempre ao serviço do melhor bem de cada ser humano e da melhoria da condição humana, em geral.

Escrevi, um dia, que esta pode ser a grande e generosa utopia para o século XXI que pode conseguir, como na parte final do seu ensaio Snow pedia, que a economia se torne mais justa, a política mais responsável, a ecologia mais sensata e a religião mais alegre.

A proclamação de Van Potter num livro de 1971 intitulado *Bioethics, Bridge to the Future*, no qual reuniu vários ensaios e pequenos artigos sobre o tema, não teve nenhum acolhimento nos Estados Unidos e muito menos na Europa. Só nos anos 80 o seu pensamento começa a ser estudado e divulgado em Congressos Internacionais e em reuniões de Bioética, como ética médica, mas nas quais é já considerado o conceito mais abrangente de bioética segundo Potter. Assisti em Tóquio, no Congresso Mundial de Bioética, a uma apresentação em vídeo da sua conferência inaugural, já que a sua idade avançada lhe não permitiu a deslocação. Morreu, algum tempo depois, com 90 anos, como o humilde e responsável cientista e intelectual que foi ao longo da sua vida. Bem pode afirmar-se que nele se realizou o desejo de Snow de unir as duas culturas.

A Bioética de Potter evoluiu, depois, para uma bioética global em que o *Bios* não é apenas o do Homem mas o de todos os seres vivos e o *Ethos* refere-se à forma de serem e de estarem no mundo, tanto os animais como os vegetais, cada um segundo a sua natureza.

À bioética global vão os ecologistas, os economistas e os políticos buscar argumentos para caucionar as suas propostas. O conceito de impacte ambiental é, na sua origem, um derivado da bioética global.

4. VEJAMOS AGORA, PARA TERMINAR, A MAIS MODERNA E MAIS AMBICIOSA PROPOSTA PARA RESPONDER A SNOW

O seu autor, Edward O. Wilson, apresentou-a em 2000 num ensaio intitulado *On Sciences and the Humanities*. Um ano depois debateu a sua proposta num Simpósio efectuado na Academia das Ciências de Nova Iorque e reproduzido nos seus *Annals* (volume 935), nesse mesmo ano, com edição de António Damásio e outros. Em 1998 tinha publicado os fundamentos teóricos da sua proposta num livro assim intitulado: *Consilience: The Unity of Knowledge* [8,9].

Partiu do princípio de que as duas culturas – e cita expressamente o ensaio de C. P. Snow – são consilientes, há que conseguir realizar a unidade de todo o conhecimento.

Wilson afirma que há três áreas de conhecimento: as ciências naturais, as ciências sociais e as humanidades. As ciências sociais podem usar em parte os métodos das ciências naturais e em parte os das ciências humanísticas pelo que aceita a tese das duas culturas de Snow.

Trata-se, diz, de uma descontinuidade epistemológica; numa e noutra cultura há múltiplas disciplinas, bem evidentes no ensino organizado pelo sistema educativo, cada uma com os seus princípios, os seus métodos e os seus critérios de validação.

Mas será uma descontinuidade permanente e insolúvel?

Como as tentativas de realizar estudos interdisciplinares tem dado resultados medíocres, ou pouco significativos, Wilson considera que a melhor proposta para resolver a dicotomia entre a ciência e as humanidades é a de avançar para a unidade do conhecimento, tornando universal a metodologia da descoberta das relações causa/efeito, que foi, até hoje, o garante do sucesso da Ciência.

Aceitando que o ser humano é um caso especial no conjunto dos seres vivos naturais, propõe que o seu estudo se faça a partir da biologia mas criando e desenvolvendo pontes de entendimento e de comunicação para outros saberes, ou seja, áreas de consiliência.

Exemplifica referindo que a física das partículas é consiliente com a química atómica e esta com a química-física das macromoléculas; a química-física macromolecular, por sua vez, é consiliente com a genética e a biologia celular, e por aí fora, seguindo os passos de uma complexidade crescente até aos níveis superiores da ecologia humana e da neurociência cognitiva.

As novas disciplinas, como a neurociência cognitiva, ou a genética humana que vai dos genes ao comportamento social dos humanos, a sociobiologia humana, também conhecida por psicologia evolutiva, que estuda as bases biológicas e a história evolutiva de todas as formas de comportamento social humano. Depois deve referir-se a biologia ambiental que oferece uma compreensão profunda do mundo vivo, no qual a espécie humana evolui e ao qual se tem sabido adaptar, tanto no corpo como na inteligência.

No campo das ciências sociais as novas disciplinas a citar são a psicologia cognitiva e a antropologia biológica que são consilientes com as disciplinas que acabei de referir e que emergiram de uma base biológica. Na prática a busca da consiliência, feita pelos cultores destas novas disciplinas, acontece em dois níveis, que deverão ser complementares.

O primeiro é o das causas próximas que explicam funcionalidades como as do comportamento social humano. Por exemplo, a neuro-química que explica a dependência de certas drogas, como o álcool e a heroína.

O segundo nível de explicações biológicas é o que tem em conta a evolução (neste sentido, propus, nesta Academia e noutras publicações [10] uma nova disciplina que chamei «Archeobiologia») e procura causas últimas, ou seja, as «forças» que moldaram o novo cérebro e os novos comportamentos dos humanos.

Esta é a proposta global de Wilson, apresentada da forma mais sintética possível.

Do meu ponto de vista, a consiliência funciona bem no campo das ciências naturais, da Física à Biologia. Funciona igualmente bem numa área nova que referi como Antropologia biológica, usando o princípio archeobiológico, como o fez Merlin Donald na sua obra *Origins of the Modern Mind*, cuja edição em português promovi através da Fundação Calouste Gulbenkian.

Mas já funciona menos bem se considerarmos que a proposta de Wilson tem uma agenda semi-secreta que é a de reduzir todas as manifestações do espírito humano, incluindo a maravilhosa criação de toda a cultura exterior simbólica, que nos envolve e na qual vivemos como pessoas livres, a um simples produto da física, da química, das macromoléculas, dos genes e epigenes; e, finalmente, dos neurónios corticais.

Anulando, sem hesitação, toda a autonomia criativa própria dos cultores das humanidades.

É certo que sem estruturas físicas, sem reacções químicas, sem ligações co-valentes, sem ADN e ARN, sem um córtex pré-frontal supra-orbitário a funcionar bem, nenhum ser humano jamais poderia viver e sentir a beleza de um pôr-do-sol sobre o mar, incendiado de um vermelho estranho, e depois cantar, como o poeta brasileiro Djavan, o samba que começa assim: «eu quero ver o pôr-do-sol, lindo como ele só».

O debate final do Seminário de Nova Iorque, com a participação de representantes das humanidades e intervenções do público, desvelou a tal agenda semi-secreta de Wilson. Para ele, explicaram, a inteligência e a cultura são entidades e processos materiais, que não existem num plano acima do mundo tangível e portanto estão, intrinsecamente, abertos a uma análise científico-natural; a sua recusa de que a inteligência e a cultura exprimem propriedades emergentes, independentes dos níveis inferiores de organização, não foi acolhida com simpatia pelos participantes.

Mas Wilson confia no sucesso das disciplinas de fronteira e espera que uma destas, a Antropologia biológica, apresentará, um dia, uma completa explicação biológica e sociobiológica de todos os aspectos dos seres humanos e das suas formas de viver no mundo natural, incluindo a transformação das percepções em valores estéticos e éticos e em ideias abstractas.

Quando chegar esse dia não haverá mais espaço para a formulação de questões metafísicas. Nem para falar de duas culturas, claro está.

5. EPÍLOGO

Enquanto esse dia não chega – e eu não o espero porque não partilho da fé e da esperança de Edward Wilson – vamos tentar responder ao apelo de Snow, ensinando humanidades básicas nos cursos científicos, e ciências básicas nos cursos humanísticos; para que uma nova geração descubra as consiliências possíveis e se prepare para conhecer e admirar Fernando Pessoa/Álvaro de Campos entre os exercícios de cálculo integral; porque:

O binómio de Newton é tão belo como a Vénus de Milo.
O que há é pouca gente para dar por isso.
Óóó– óóóóóóóó –óóóóóóóoóóóóóóóó
(O vento lá fora)

BIBLIOGRAFIA

[1] SNOW, C. R – *The Two Cultures*. Cambridge University Press, 1998.
[2] Merleai-Ponty, Maurice – *A Natureza*. Curso do Collège de France. Martins Fontes, São Paulo, 2006.
[3] Potter, van Rensselaer – *Bioethics, the Science of Survival*. Perspectives in Biology and Medicine, 14, 1970, pp. 127-153.
[4] Potter, van Rensselaer – *Bioethics, Bridge to the Future*. Englehood Cliffs, Prentice Hall, 1971.
[5] Potter, van Rensselaer – Humility with Responsibility – a Bioethics for Oncologists. *Cancer Research*, 35, 1975, pp. 2297-2306.
[6] Potter, van Rensselaer – Getting to the Year 3000: Can Global Bioethic Overcome Evolution's Fatal Flaw? *Perspectives in Biology and Medicine*. 34. 1990. pp. 89-98.
[7] Potter, van Rensselaer – Global Bioethics: linking genes to Ethical behaviour. *Perspectives in Biology and Medicine*, 39, 1995, pp. 118-131.
[8] Wilson, Edward O. – *How to Unify Knowledge? Unity of Knowledge. The Couver gence of Natural and Human Science*. Ed. A. Damásio et al. Annals of the New York Academy of Sciences, Vol. 935, 2001, pp. 12-17.
[9] Wilson, Edward O. – *Consilience: The Unity of Knowledge*. Knopl. New York. 1998.
[10] Serrão, Daniel – *Archeobiologia e Bioética: um encontro não conflituoso – Diálogo e Tempo*. Homenagem a Miguel Baptista Pereira (coord, de Anselmo Borges, Antonio Pedro Pita e João Maria André), Fundação Eng. Antonio de Almeida. Porto, 2000, pp. 235-264.

(Comunicação apresentada à Classe de Ciências e Letras,
na sessão conjunta de 26 de novembro de 2009)

A Academia das Ciências de Lisboa e *As Duas Culturas* de Charles Percy Snow

F. R. Dias Agudo

Charles Percy Snow, que veio a ser Sir Charles Snow e, mais tarde Lord Charles Snow, dizia-se cientista por formação (graduado em Química pela Universidade de Leicester, doutorou-se em Física na Universidade de Cambridge, tendo trabalhado em física nuclear durante 20 anos) e escritor por vocação (foi um romancista de renome).

Numa Rede Lecture[1], que pronunciou em Cambridge em 7 de Maio de 1959, reconhecia haver entre os intelectuais literários (que a si próprios se designavam por intelectuais, como se não existissem outros) e os cientistas das ciências exactas e naturais um abismo de incompreensão mútua, por vezes – especialmente entre os jovens – hostilidade e aversão e, sobretudo, falta de entendimento. Era, pois, como se existisse uma cultura literária oposta a uma cultura científica e, por extensão, humanidades, por um lado *versus* ciências exactas e naturais, por outro, sem quaisquer pontes entre as duas culturas.

Ora, se recuarmos 180 anos até 1779, verificamos como os fundadores da Academia das Ciências de Lisboa criaram uma instituição com Ciências de Observação (meteorologia, química, anatomia, botânica, história natural), Ciências de Cálculo (aritmética, álgebra, geometria, mecânica, astronomia) e Belas Letras (língua e história portuguesas), proporcionando, pois, o convívio entre literatos e homens de ciência, ponto de vista que se manteve na reforma de 1851, com uma 1.ª Classe para ciências matemáticas, físicas e naturais (hoje chamada Classe de Ciências) e uma 2.ª Classe para ciências morais e políticas e belas letras (hoje Classe de Letras). Mas não se julgue que esta ligação entre as várias especialidades, defendida pelos académicos fundadores, era bem aceite por todos os intelectuais portugueses, pois a Academia começou logo a suscitar as maiores antipatias, a ser atacada por aqueles que lhe não perdoavam uma nova atitude mental, em discordância com a cultura tradicional da época, toda voltada para as belas letras – para uma das culturas, portanto, a que se referiria mais tarde Charles Snow. Por isso mesmo, o grande pensador Joaquim de Carvalho, que começou por ser sócio correspondente da Classe de Letras da Academia das Ciências de Lisboa em 1922 e, dez anos depois, se tornou seu sócio efectivo da Classe de Ciências (na secção de história da ciência), afirmou, em discurso proferido na sessão inaugural do Instituto de Altos Estudos da Academia[2] que "quando o Duque de Lafões fundou a Academia das Ciências de Lisboa, talvez sem o pressentir com clareza, encerrava o ciclo de uma cultura".

[1] As *Rede Lectures* eram uma velha tradição da Universidade de Cambridge, iniciadas na segunda metade do século XVII, com origem numa doação feita à universidade por Sir Robert Rede, Presidente do Supremo Tribunal de Justiça.

[2] Publicado em 1932 pela Imprensa da Universidade de Coimbra, pois a Revolução de 1910 havia despojado a Academia da sua própria tipografia e as suas *Memórias* estiveram suspensas de 1914 a 1937.

Na sua conferência, Snow criticava também os que se opunham à revolução científica[3], que para ele significava a aplicação da ciência à resolução de problemas concretos, em particular nas relações da ciência com a indústria.

Ora, também neste aspecto a Academia das Ciências de Lisboa foi modelar. A par da sua acção para o adiantamento da instrução nacional, e não se limitando à parte especulativa da ciência, ela procurou tornar-se um importante veículo do progresso com base na utilidade da ciência (veja-se a divisa que adoptou[4]), incentivando numerosos trabalhos de interesse para o País (melhoramento da agricultura, publicação das célebres *Memórias Económicas*, em 5 volumes, com comunicações sobre assuntos bem práticos, Instituição Vacínica – de que emergiu o Conselho Superior de Saúde Pública, concessão de prémios para a obtenção de novos processos de química industrial e para a elaboração de planos de rega, publicação das Efemérides Náuticas para o meridiano de Lisboa e com grande interesse para a astronomia náutica portuguesa); e em 1919 aparece entre os 16 membros de todo o Mundo que fundaram um Conselho Internacional de Investigação, origem do Conselho Internacional das Uniões Científicas, ICSU das iniciais em inglês e hoje chamado Conselho Internacional para a Ciência – a maior organização científica mundial, não governamental, cujo principal objectivo é encorajar a actividade científica para o bem da Humanidade.

Mas, voltando à conferência de Charles Snow, o primeiro exemplo que dá da oposição entre cultura científica e cultura literária é o de uma história segundo a qual um dos grandes lentes mais sociáveis de Oxford, A.L.Smith, apareceu em Cambridge para jantar. Sentava-se à direita do presidente e gostava que todos à sua volta participassem na conversa, embora não fosse imediatamente encorajado pelas expressões dos seus vizinhos. Dirigiu algumas alegres palavras, de cunho oxfordiano, ao que tinha à sua frente e em troca recebeu um grunhido. Depois experimentou o que estava à sua direita e obteve outro grunhido. Então, com grande surpresa sua, olharam os dois um para o outro, dizendo:"Sabe do que está ele a falar?", "Não tenho a menor ideia". Perante este facto, Smith começava a irritar-se. Mas o presidente, intervindo como um emoliente social, pô-lo à vontade, dizendo: "Oh!, aqueles são matemáticos! Nós nunca lhes dirigimos a palavra".

Poucos anos mais tarde é o conhecido matemático americano, nascido em Budapeste, Paul Halmos que, numa outra conferência[5], afirmava: "Entristece-me ver que pessoas cultas nem sequer sabem que existe o assunto de que me ocupo", querendo com isto significar que desconhecem a essência da matemática, a qual, para muitas delas, chega a confundir-se com o que faz qualquer contabilista (nunca tive jeito para contas, dizem, ao referirem-se à sua falta de aptidão para aquela disciplina).

Continuamos, de facto, a viver numa época em que se generalizou a ideia de que a matemática é assunto árido, desumanizado, desenvolvido por uma pequena minoria, essencialmente jovem, que usa uma linguagem demasiado hermética para ser entendida por não iniciados – o que leva certos humanistas a desprezá-la por completo. E, afinal, como escrevi noutros locais[6], a sua evolução, desde os

[3] A conferência veio a ser publicada pela Universidade de Cambridge com o título *The Two Cultures and the Scientific Revolution.*
[4] NISI UTILE EST QUOD FACIMUS, STULTA EST GLORIA (Se não for útil o que fizermos, a glória será vã).
[5] Pronunciada em 12/12/1967 na Universidade de Illinois na celebração do centenário desta universidade e publicada no *American Scientist*, 56, 375-389, 1968. A conferência deu origem a uma lição intitulada "A Matemática como uma arte criativa", que proferiu em Edimburgo em 07/05/1973 e publicada pela Royal Society of Edinburgh nesse mesmo ano.
[6] Cf. "A Matemática no Mundo Contemporâneo", *Memórias da ACL (Classe de Ciências)*, XXIII, 1980; "Ambiente sócio-cultural e criação matemática – o exemplo de Portugal na época de Quinhentos", *A Universidade e os Descobrimentos*, INCM, 1993; "Matemática: Bela ou Monstro?", *Matemática e Cultura II*, Centro Nacional de Cultura, SPB Editores, 1995.

primórdios, mostra que sempre foi ciência viva, acompanhando (e determinando) o desenvolvimento cultural da Humanidade, com motivações que, as mais das vezes, se devem buscar na necessidade de resolver questões bem práticas postas pela vida de todos os dias ou problemas suscitados por outras ciências. O que também acontece, porém, é que, muitas vezes, o matemático resolve afastar-se do problema concreto a que um dado modelo é aplicável, ou não se dá por satisfeito com ele e, libertando-se das aplicações imediatas, indaga (e descobre ou inventa) novas propriedades do modelo ou cria modelos novos; e, em geral, é nestes períodos de reflexão teórica que surgem os resultados mais surpreendentes, as sínteses mais notáveis, as teorias abstractas mais poderosas, os grandes avanços do conhecimento.

Ao estudar estruturas quantas vezes bem abstractas, mas susceptíveis de virem a ser aplicadas, ao fazer conjecturas, ao construir as suas teorias, ao tomar as suas decisões (quanto à validade de uma proposição), o matemático é fortemente influenciado por considerações estéticas; considera frequentemente a sua actividade como uma arte, falando da beleza, da elegância, da simplicidade de um enunciado, ou de uma prova, da harmonia dos números e das formas; e, à semelhança do que acontece com a música e a pintura, não raras vezes tira da matemática grande satisfação espiritual quando descobre (ou inventa) novos conceitos ou novas proposições.

Já Fernando Pessoa afirmava que "O binómio de Newton é tão belo como a Vénus de Milo./ O que há é pouca gente para dar por isso."[7]

Mas não é necessário sair da nossa Academia para defender tal ideia. No elogio histórico de Daniel Augusto da Silva, o grande Gomes Teixeira (dois académicos que foram dos maiores matemáticos portugueses de todos os tempos) escreveu: "um trabalho matemático é, para quem o sabe ler, o mesmo que um trecho musical para quem o sabe ouvir, um quadro para quem o sabe ver, uma ode para quem a sabe sentir. Assim como admiramos na música a harmonia dos sons, na escultura a harmonia das formas, na pintura a associação da harmonia das formas e das cores, na matemática, como na poesia, encantam-nos as harmonias das ideias criadas pela imaginação, sem a qual não há poeta e sem a qual não há geómetra".[8]

Continuemos dentro da nossa Academia para ver mais exemplos de como aqui se entendem as duas culturas.

O nosso confrade Jorge Calado, juntando à sua situação de categorizado especialista em termodinâmica a de notável melómano e profundo conhecedor da arte da fotografia, dizia, numa comunicação aqui trazida em Novembro de 1985, acreditar que os processos de criação científica ou artística são análogos; que, numa dada época, físicos, matemáticos, químicos, novelistas, pintores, fotógrafos e músicos fazem todos o mesmo, cada um à sua maneira. Defendia que Turner, o grande pintor inglês dos elementos em fúria, do fogo e da água, da água e do ar, fazia termodinâmica por outros meios e que Boltzmann, o físico austríaco da teoria cinética dos gases e da mecânica estatística, pintava a física à maneira de Seurat.

O conhecido professor de físico-químicas Rómulo de Carvalho desenvolveu entre nós importantes trabalhos de história da ciência; como sociólogo, publicou *O Texto Poético como Documento Social*[9], com a contribuição de poetas, ao longo da nossa história, para a apreciação da sociedade em que viviam; e,

---

[7] *Obra Poética,* Companhia Aguilar Editora, R. Janeiro, 2.ª ed.,1965.
[8] *Panegíricos e Conferências,* ACL, Imprensa da Universidade de Coimbra, 1925.
[9] Fundação Calouste Gulbenkian, 1995.

transmutado em António Gedeão, produziu belos poemas, como aquele que inclui:[10] Encontrei uma preta / que estava a chorar, / pedi-lhe uma lágrima / para a analisar. / (…) / Ensaiei a frio, / experimentei ao lume, / de todas as vezes / deu-me o que é costume: / nem sinais de negro, / nem vestígios de ódio. / Água (quase tudo) / e cloreto de sódio.

Também recordo que o saudoso presidente Pinto Peixoto me referiu algumas vezes a satisfação que o confrade Vitorino Nemésio sentia ao conversar com ele sobre os problemas da física moderna, como antes a sua curiosidade o levara a iniciar-se na biologia molecular e genética com Aurélio Quintanilha, açoreano da Terceira como ele. E daí nasceram as célebres palestras radiofónicas "Se bem me lembro" em que juntava a cultura humanística com a cultura científica e que coligiu no livro *Era do Átomo / Crise do Homem,* publicado em 1976; e poemas de *Limite de Idade* (1972) que dedicou àquele seu conterrâneo e amigo.

Como afirmou o nosso confrade Carvalho Rodrigues, se Gedeão foi o poeta da ciência clássica, Nemésio foi o poeta da ciência moderna e para isso soube dialogar com especialistas que lhe satisfizessem a curiosidade pelos grandes problemas da ciência. Não fez como aqueles que, com um uso inadequado de terminologia científica e extrapolações abusivas fazem, para mostrarem uma falsa erudição, afirmações sem qualquer sentido – como as reveladas por Alan Sokal e Jean Bricont no livro *Imposturas Intelectuais* publicado entre nós pela Gradiva em 1999 acerca de famosos intelectuais franceses.

Mas continuando com exemplos da ligação entre as várias culturas, em que a Academia é fértil, Esperança Pina aqui trouxe, recentemente, belas comunicações sobre anatomia artística na escultura, e depois na pintura, de Miguel Ângelo no Renascimento Pleno, em que combinou os seus conhecimentos de grande especialista de anatomia humana com a apreciação de célebres obras que se encontram nos muitos museus que visitou.

E não temos nós engenheiros na Classe de Letras, médicos que cultivam as letras e as artes?

Realçando a importância de um diálogo frutuoso entre as duas classes, termino com o que eu próprio afirmei na comunicação "O papel das academias – um problema actual", que aqui trouxe em Junho de 1991: Uma academia de ciências deve ser hoje uma instituição vocacionada, por excelência, para estes estudos interdisciplinares, integradores, para tratar com alguma profundidade os complexos problemas do progresso do conhecimento; e a nossa, embora inserida na linha das primeiras academias científicas dos tempos modernos – as quais, a par da criação de ciência, não descuravam a utilidade das suas aplicações – não deixou de incluir também, nos seus propósitos, a defesa da língua e história portuguesas, e daí o ser hoje uma academia que engloba as ciências em sentido lato, desde as exactas e naturais até às ciências humanas e sociais, propiciadora, portanto, de uma fusão das duas culturas a que se referia Sir Charles P. Snow.

[10] *Poesias Completas [1956-1967],* Livraria Sá da Costa Editora, 10.ª ed., 1987.

OBRAS CONSULTADAS

Carvalho, Rómulo de, *O Texto Poético como Documento Social*, F.C. Gulbenkian, 1995

Cristóvão, Fernando et al. (org.), *Nemésio, Nemésios – Um saber plural*, Ed. Colibri, 2001

Dias Agudo, F.R., "A Matemática no Mundo Contemporâneo", *Memórias da Academia das Ciências de Lisboa (Classe de Ciências)*, Tomo XXIII, 1980

——- "Contribuição da Academia das Ciências de Lisboa para o Desenvolvimento da Ciência", *História e Desenvolvimento da Ciência em Portugal*, ACL, 1986 (Colóquio realizado em 1985)

——- "Ambiente sócio-cultural e criação matemática – o exemplo de Portugal na época de Quinhentos", *A Universidade e os Descobrimentos*, INCM, 1993

——- "Matemática: Bela ou Monstro?", *Matemática e Cultura II*, Centro Nacional de Cultura, SPB Editores, 1995

Gedeão, António, *Poesias Completas [1956-1967]*, 10.ª ed., Livraria Sá da Costa Editores, 1987

Gouveia, M.ª Margarida Maia, *Vitorino Nemésio, Estudo e Antologia*, ICALP, Min. Ed. e Cultura, 1986

Snow, C. P., *As Duas Culturas*, Publicações Dom Quixote, 1985

Sokal, Alan e Bricmont, Jean, *Imposturas Intelectuais*, Gradiva, 1999

(Comunicação apresentada às Classes de Ciências e de Letras
na sessão conjunta de 26 de novembro de 2009)

Regularização fluvial do Baixo Mondego

Armando Lencastre†

Estes estudos foram iniciados, sob minha orientação, ainda eu pertencia ao quadro permanente do LNEC, como Chefe de Divisão de Hidráulica Fluvial e Urbana.

Após a minha saída do LNEC, em 1968, foi-me pedido que assumisse a orientação dos estudos, já no exercício de profissão liberal na minha sociedade Hidroprojecto. Foram muitos os colaboradores nesta tarefa.

O Rio Mondego é um pequeno rio comparado com os grandes rios da Península Ibérica. É, no entanto, o maior curso de água integralmente em território português. Nasce na Serra da Estrela, a uma altitude de 1547 m e, após um percurso de 227 Km, desagua no Oceano Atlântico, junto da Figueira da Foz. A sua bacia hidrográfica, tem uma área de 6671 Km^2.

Até Coimbra, o rio Mondego é um rio de montanha, com um leito encaixado num vale estreito e por vezes profundo, com importantes quedas de nível e uma forte capacidade de transporte sólido. Neste trecho confluem o Dão, o Alva e o Ceira.

Do ponto de vista agrícola e florestal, predominam: os bosques e florestas (pinheiro bravo fundamentalmente); as terras aráveis (utilização agrícola em sequeiro) e os terrenos incultos, sobretudo na zona mais elevada.

A erosão média na bacia do Mondego (até Coimbra) era de cerca de 2000 litros por Km^2 e por ano, cerca de 5 vezes a média do continente.

Desde a época da construção do Convento de Santa Clara-a-Velha o leito do Mondego, em Coimbra, terá subido cerca de 15m.

A jusante de Coimbra, o vale constitui uma extensa planície aluvionar onde, o rio construía o seu próprio leito, cavando nos sedimentos por ele transportados e depositados. É o **Baixo Mondego**.

Os principais afluentes são: Ançã, Foja, Cernache, Ega Arunca e Pranto.

A altitude varia entre 50 e 400 m.

Na planície do Baixo Mondego ocorriam frequentemente cheias que, invadiam os campos, com altas velocidades, depositando os seus sedimentos.

A situação, foi pela primeira vez estudada globalmente pelo Padre Estêvão Cabral da Companhia de Jesus Estêvão Cabral que, no final do século XVIII, projectou e fez construir novo leito quase em linha recta na zona central da planície aluvionar. Este projecto de Estêvão Cabral consta da Memória Económica da Academia Real das Ciências de Lisboa de 1791, publicada em 1929. Esta obra veio provocar desequilíbrio no leito do rio: a substituição de um leito sinuoso por um leito rectilíneo, fez com que as inclinações do "Rio Novo" fossem muito maiores do que as do "Rio Velho". E a natureza começa a repor as

inclinações naturais. As cotas do leito baixam a montante e sobem a jusante, diminuindo consequentemente a capacidade de transporte do rio. Entre 1872 e 1930 o leito do rio subiu 2,32 m em Lares, 1,50 m em Montemor e apenas 0,30 m em Coimbra.

A situação, no início dos nossos estudos, era a seguinte:

– em muitos pontos o leito do rio estava acima dos campos;

– durante a estiagem, grande parte dos leitos não passavam de extensos areais;

– o material sólido transportado era fundamentalmente constituído por areia.

A inundação começava para o caudal em Coimbra de 200 m^3/s cuja duração, em ano médio era de 45 dias.

PLANO GERAL (1970)

Em face do exposto, impunha-se um plano Geral para a bacia, isto porque, sendo o rio uma unidade geomorfológica, não se poderia tratar da zona de jusante ignorando-se o que se passa a montante. Este Plano foi elaborado pelos Serviços Hidráulicos sob a orientação do Eng.º Rui Alves da Silva Sanches.

Os caudais em Coimbra teriam então valores indicados no quadro.

– caudal de estiagem (vários dias)	< 1 m^3/s
– caudal médio anual	80 m^3/s
– cheia de 25 anos	2900 m^3/s
– cheia de 100 anos	3700 m^3/s
– cheia de 1000 anos	5000 m^3/s
– erosão média	2 $m^3/Km^2/ano$

De acordo com este Plano Geral:

– Promoveu-se a arborização e a correcção torrencial na cabeceiras;

– A construção de pequenas barragens nas zonas de montanha.

– A construção de grandes barragens – **Sistema Aguieira – Raiva – Fronhas projectado, construído e gerido pela EDP**.

Aproveitamento da Aguieira

O aproveitamento da Aguieira cria uma albufeira com a capacidade total de 430 milhões de metros cúbicos e, em exploração normal, a albufeira situa-se entre as cotas 117 e 126 m.

Tem dois descarregadores de cheias com capacidade de vazão de 1000 m^3/s cada um.

A Central tem três grupos turbo-bomba, reversíveis, de 100 MW cada; o caudal turbinado é da ordem dos 500 m^3/s para os três grupos; o caudal bombado é no máximo de 460 m^3/s.

A energia produtível, em ano médio, deverá rondar os 260 GWh, não considerado as bombagens.

O escalão da Raiva

O escalão da Raiva é constituído por barragem: do tipo gravidade, com duas comportas de segmento, com 34 metros de altura; sendo a central incorporada na barragem e equipada com dois grupos bolbo com uma potência de 20 MW. O caudal turbinado é da ordem dos 150 m^3/s para os dois grupos.

O escalão da Raiva contribui com um acréscimo de energia, em ano médio, de 50 GWh.

Os caudais turbinados na Aguieira durante o período de maior consumo de energia, são armazenados na Raiva e bombeados para a Aguieira durante os períodos de menos consumo, aproveitando o excesso de produção na rede, principalmente nos aproveitamentos a fio de água, no Rio Douro.

A barragem de Fronhas

A barragem de Fronhas controla os caudais do Alva na defesa contra cheias, transferindo-os através de túnel para a Aguieira, reforçando apreciavelmente a produtividade desta central.

O túnel de ligação entre as albufeiras de Fronhas e Aguieira tem uma extensão total de cerca de 8 Km e permite uma transferência de 309 x 10^6 m^3 em ano médio, o que permite um reforço de produção energética de 50,2 GWh, em ano médio, nos escalões de Aguieira e Raiva.

Resumindo, para jusante da Aguieira há que considerar o seguinte:

– Caudal de cheia descarregado na Aguieira 2.000 m^3/s

– Caudal de estiagem turbinada na Raiva 2x75 m^3/s

Após a construção da Barragem da Aguieira e de Fronhas convém distinguir, para efeito de sistematização:

– a parte de montante da bacia, dominada pelas albufeiras de Aguieira e Fronhas com área de 37500 Km^2 equivalente a 56% do total;

– a parte entre a Raiva e Coimbra, com 1207 Km^2 (18% do total), correspondendo à secção de Coimbra a bacia de 4957 Km^2 ou seja 74% do total;

– a zona a jusante de Coimbra com área de 1714 Km^2 (26% do total) que foi o objectivo dos Estudos por mim orientados.

AÇUDE – PONTE EM COIMBRA

O açude tem como objectivos principais:

– permitir derivar o caudal para a rega superficial, por gravidade

– armazenar cerca de 0,6 X 10^6 m^3 que permitem uma autonomia de 7 horas para a rega.

Os objectivos secundários são:

– servir de base a uma ponte rodoviária para um tráfego diário de cerca de 10 000 veículos por dia; a um passeio de peões, a condutas de água, de esgoto e a cabos eléctricos;

– criar um lago artificial em Coimbra, com melhoria de condições climáticas e paisagísticas.

Os condicionamentos impostos ao açude resultam fundamentalmente da segurança indispensável na cidade de Coimbra e da garantia da passagem do caudal sólido para jusante; há também que assegurar a passagem de peixes nos períodos de fecho das comportas.

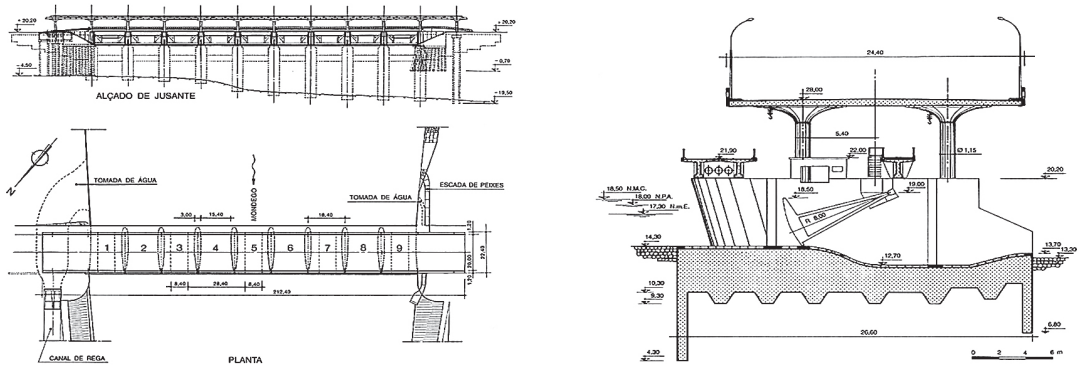
As sobreelevações introduzidas pelo açude, são:

CAUDAL (m3/s)	SOBREELEVAÇÕES (m) – NÚMERO DE VÃOS		
	9	8	7
1200	0,06	0,12	0,21
2000	0,13	0,24	0,44

A manobra das comportas é automática por níveis, com gerador local de energia. Há duplicação de todos os circuitos e aparelhos, comando à distância e comando local com accionamento manual.

– Admite-se a avaria de duas comportas sem risco para a cidade de Coimbra.

As características do açude em Coimbra constam da Figura 1.



Planta e alçado

Corte transversal

Figura 1
Açude-ponte em Coimbra.

Para garantir a passagem do caudal sólido, o açude é do tipo móvel, isto é, tem comportas em toda a secção do rio: 9 comportas de 15,40 m de comprimento por 4,20 m de altura, suportadas por pilares de 3 m de espessura cuja fundação pode atingir 20 m abaixo do leito do rio.

Para garantir a passagem de peixes estabeleceu-se uma escada de peixes, para as espécies já existentes (lampreia e enguia) e para outras espécies com que no futuro se pretenda povoar o rio.

OBRAS COMPLEMENTARES EM COIMBRA

A construção do Açude em Coimbra cria um plano de água permanente à cota 18, impedindo o bom escoamento dos esgotos da cidade e ainda os níveis freáticos.

Para resolver a situação construiu-se um colector pluvial, um colector doméstico e um dreno ao longo da Av. Fernão de Magalhães.

Os esgotos domésticos vão ligar á Estação de Tratamento localizada no bloco suburbano.

Os acessos rodoviários à ponte, estão indicados na figura.

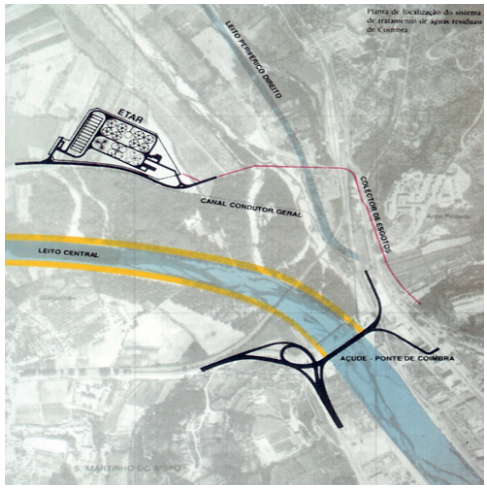


FIGURA 2
Localização do Açude-ponte e obras complementares.

O antigo Mosteiro de Santa Clara parcialmente soterrado e submerso, foi recuperado.

REGULARIZAÇÃO FLUVIAL E DEFESA CONTRA CHEIAS

No estudo, concluiu-se que seria mais vantajoso abandonar os leitos secundários e concentrar os caudais que chegam a Coimbra num único leito regularizado: assegurava-se assim mais facilmente a estabilidade do leito e reduzia-se a construção de diques e a sua conservação.

Assim, regularizou-se todo o leito aberto no Séc. XVIII, e criaram-se dois Leitos Periféricos, Esquerdo e Direito que recebem os afluentes das margens.

Porem, por razões de transporte sólido, encostou-se o leito central à margem esquerda do Campo, de modo a recolher as águas do Ega e sobretudo do Arunca.

O troço abandonado do Rio Velho constitui uma óptima infraestrutura para desportos aquáticos.

O Leito Central, numa extensão de 36 Km, garante o escoamento dos caudais líquidos e dos caudais sólidos afluentes a Coimbra, das bacias dos afluentes laterais a jusante de Coimbra.

O Leito Central tem uma secção transversal composta por um leito menor, de fundo móvel e margens fixas, e por um leito maior, de fundo e margens fixas.

No dimensionamento do Leito Central, as incertezas inerentes aos valores estimados dos caudais sólidos por arrastamento médios e dos caudais dominantes afluentes lateralmente, a jusante de Coimbra, têm pouco significado em face das outras incertezas do cálculo.

Na Figura 3 apresenta-se um esquema dos valores considerados no dimensionamento do Leito Central.

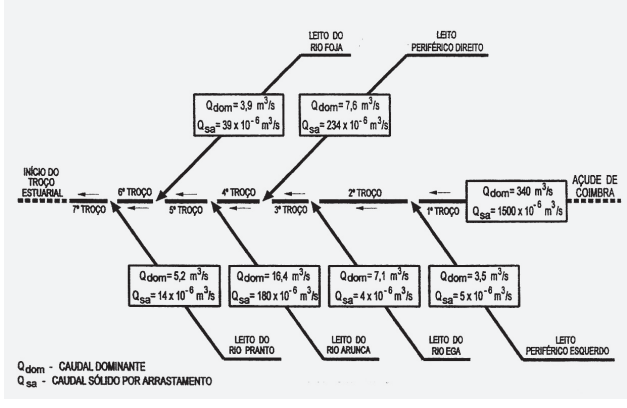


FIGURA 3
Caudais dominantes e caudais sólidos por arrastamento afluentes ao leito central.

O dimensionamento de leitos regularizados com fundo móvel é um problema técnico-económico multifacetado e relativamente complexo.

Há que considerar aspectos de estabilidade hidráulica e estrutural das obras, em particular no que respeita à resistência à erosão dos revestimentos dos diques e dos taludes do leito menor e no que se refere à estabilidade das fundações dos diques.

A escolha entre várias soluções tecnicamente possíveis foi feita com base em critérios de carácter **económico**, tendo em conta condicionamentos urbanísticos e rede de vias de comunicação.

A largura do leito maior deveria ser o menor possível. Porem por razões de estabilidade estrutural, e também por razões paisagísticas, a altura dos diques não deveria exceder os 5,00 m.

Houve ainda que prever uma folga destinada a encaixar pequenas variações do nível de superfície livre devidas à ondulação provocada pelo vento, ou variações locais da rugosidade do escoamento.

De salientar a necessidade de reduzir a inclinação do leito nos primeiros 8 Km, para garantir um equilíbrio do fundo móvel. Esta redução foi obtida à custa de 11 quedas de 0,5 m cada uma.

Para o dimensionamento do leito menor utilizou-se o conceito de *caudal dominante* ou seja o caudal que, escoando-se em regime permanente, é equivalente, do ponto de vista de modelação do fundo móvel, à sucessão de caudais líquidos variáveis que ocorrem ao longo do ano.

Este caudal dominante tem o valor de 340 m^3/s em Coimbra e de 380 m^3/s no Estuário.

O dimensionamento foi feito tendo em consideração as Teorias do Regime para prédimensionamento e comparação; e um modelo matemático para afinamento final, baseado nas leis de transporte sólido (MEYER-PETER).

O valor do caudal sólido em Coimbra era de 7,5 l/s. Após as obras de correcção de cabeceiras e da construção da Aguieira estimou-se um valor de 1,5 l/s.

Para a determinação dos caudais sólidos afluentes a jusante de Coimbra criaram-se estações de medição nos principais afluentes.

O perfil transversal tipo do leito tem uma largura que varia entre 88 m e 142 m; a profundidade é variável de 3,70m a 4, 5 m (Figura 4).

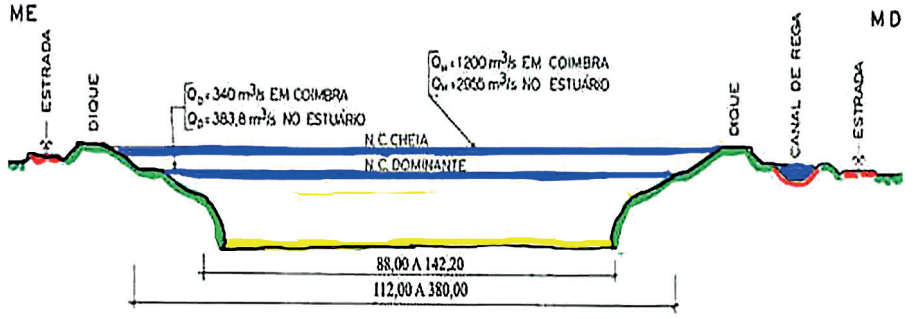


Figura 4. Secção do Leito Central.

O quadro reúne os cálculos realizados

Método	Raio hidráulico (m)	Largura média (m)	Velocidade média (m/s)	Inclinação do fundo (x 10 -3)	Coeficiente de Stricker (m 1/3/s)
Lacey	2.23	89.18	1.55	0.501	40.83
Blench	2.13	109.93	1.44	0.505	38.71
Simons e Albertson	3.94	86.84	0.99	0.048	57.28
Modelo matemático	3.75	98.45	0.82	0.314	28.70

O leito maior que, de acordo com o Plano Geral, deveria conter a cheia centenária foi, sob minha proposta, dimensionada para conter a cheia de 25 anos 1200 m^3/s em Coimbra e cerca de 3000 m^3/s no estuário; o leito menor tem larguras que variam de 112 m a 380 m e é limitado por diques com alturas variáveis de 2,70 m a 4,60 m.

Nos troços rectos a golena e os diques foram revestidos de vegetação, do tipo prado permanente, podendo por isso ser explorados para forragens (375 ha). O leito maior será ocupado pelo escoamento em média 20 dias por ano.

Os taludes do leito menor, e a golena e diques do leito maior em curvas, são revestidos com enrocamentos.

As dimensões das obras do leito central são:

– comprimento	35 815 m
– volume de escavação	16×10^6 m^3
– volume de aterro (diques)	7×10^6 m^3
– volume de enrocamento (revestimentos)	$0{,}55 \times 10^6$ m^3
– área de revestimentos vegetais	$0{,}50 \times 10^6$ m^2

Inundação controlada dos campos

Como os diques são submersíveis, em princípio, em cada 25 anos, previu-se inundação dos campos, de jusante para montante, a partir de determinadas secções criteriosamente escolhidas, por forma a minimizar os efeitos das inundações e a destruição dos diques. Previu-se para isso a compartimentação dos campos, aproveitando os canais de rega, caminhos e estradas.

Construíram-se quatro descarregadores laterais, de 200 m^3/s cada, entrando sucessivamente em funcionamento de jusante para montante.

REGA E ENXUGO

A área total do perímetro de rega é de 15 000 ha.

O volume anual de água em ano médio a derivar para a rega é de cerca de 140 a 150 $\times 10^6$ m^3, consoante se adoptar a rega por aspersão ou a rega superficial.

A rede primária de rega dos campos do Baixo Mondego é constituída fundamentalmente por três canais principais de rega.

O primeiro canal, tem início imediatamente a jusante da tomada de água da margem direita da Barragem móvel.

Foram utilizados os leitos abandonados como rede natural e principal de enxugo.

A rede primária está dimensionada para 4,2 l/s.ha.

A rede principal e as estações elevatórias serão dimensionadas tendo em conta o armazenamento possível nas redes de enxugo.

GESTÃO DO SISTEMA

Para auxílio de gestão dos sistemas, construíram-se os seguintes modelos, entre outros.

– Modelo matemático para simulação do escoamento não permanente entre Aguieira e Coimbra

Estes modelos foram baseados na integração das equações de Saint-Venant.

Modelo matemático para o estudo do transporte sólido e do perfil longitudinal do leito

Para prever o impacto das barragens na evolução do perfil do leito do rio, foi desenvolvido um modelo matemático. Este simula a interacção entre o perfil longitudinal e o transporte de sedimentos, do rio.

O modelo tornará possível gerir e regularizar a remoção de areias do leito do rio, bem como prever a sua evolução nos perfis transversais dos pilares das pontes e de outras estruturas hidráulicas.

Modelo matemático para simulação de uma rotura da barragem da Aguieira

Na parte inferior do vale, para avaliar os efeitos da cheia, considerou-se um modelo bidimensional com condições-fronteira variáveis. Os valores de descargas em Coimbra foram tomados como condições-fronteira de montante; as condições-fronteira de jusante foram o nível da maré, perto do estuário do rio.

Podemos observar que alguns dos vales marginais começam a estar inundados, enquanto outros permanecem ainda secos.

Para este problema foram feitos diversos mapas das condições de cheia, de modo a fornecer linhas orientadoras essenciais para as autoridades locais do vale, de modo a poder estabelecer, em caso de acidente na barragem, os procedimentos e acções imediatas a tomar.

Modelos matemáticos num sistema de previsão hidrológica

Estes modelos visam assegurar a defesa da parte baixa da cidade de Coimbra.

Para isso, é necessário conhecer não só a propagação da cheia da Raiva, como atrás se referiu, mas também prever a cheia em Coimbra a partir da precipitação na zona não controlada da bacia do Mondego, a jusante da barragem da Aguieira.

As razões são as seguintes: o caudal máximo de protecção, em Coimbra é de 2000 m^3/s; mas como só o Ceira, que não é controlado, pode debitar 800 m^3/s, é necessário reduzir a descarga da Aguieira e Fronhas para 1200 m^3/s;

Ora, o tempo que decorre desde que começa a chover na bacia do Ceira, até que a ponta de cheia atinge Coimbra, é sensivelmente igual ao tempo de propagação da cheia entre Aguieira e Coimbra.

Para que a acção seja eficaz é, portanto, necessário actuar na Aguieira imediatamente após se ter conhecimento de que a cheia se começou a formar no Ceira, isto é, quando ocorre uma determinada precipitação. A Fig. mostra a Bacia Hidrográfica do Ceira.

Neste sentido, foram preparados dois modelos:

– modelo para conversão da precipitação em escoamento, a ser utilizado na parte superior da rede hidrográfica; este modelo funciona simultaneamente com base nas medições de precipitação e nas previsões da mesma; o modelo foi testado e os resultados são apresentados no gráfico da Fig.
– modelo de conversão dos caudais assim obtidos em caudais medidos em Coimbra.

Haverá um efeito de interacção entre os modelos de previsão hidrológica a utilizar e o sistema de recolha de elementos, sua transmissão e processamento, para que melhores resultados possam ser obtidos.

Além destes instrumentos matemáticos projectaram-se também os meios físicos necessários para uma boa gestão.

Conflitos de interesse – O Acidente

As múltiplas utilizações, apresentam objectivos contraditórios e condicionantes. Essas condicionantes implicam que se assegure a retenção de uma quantidade de água suficiente para a produção de energia, irrigação e manutenção dos caudais mínimos prescritos, ao mesmo tempo que se assegura uma capacidade disponível para a protecção contra cheias.

Em 27 de Janeiro de 2001, ocorreu na Bacia do Mondego uma *cheia natural* que, sem regularização pelas Barragens da Aguieira e de Fronhas, teria atingido 2800 m^3/s, a que corresponde um período de retorno ligeiramente inferior a 25 anos; com uma gestão adequada, esta cheia deveria originar, em Coimbra, uma *cheia amortecida* ligeiramente inferior a 1200 m^3/s. Acontece que a cheia em Coimbra foi de 2000 m^3/s, a que corresponde um período de retorno de mil anos. Além disso, o dique da margem esquerda, na zona do atravessamento da auto-estrada, estaria cerca de um metro abaixo da cota devida e começou a ser galgado. Se tivesse sido reparado de emergência com sacos de areia, e não com material a granel utilizado, ter-se-ia evitado a catástrofe que inundou os campos, destruiu os diques, destruiu bens e pôs em risco vidas.

O acidente ocorreu por gestão inadequada das cheias, da manutenção dos diques e da sue reparação de emergência. Teria bastado que uma só das três gestões referidas tivesse sido feita de forma adequada para que o desastre não se tivesse verificado. Isto aconteceu apesar do esforço e dedicação manifestados por todos os técnicos dos organismos intervenientes: Estado, EDP, Associação de Regantes. Todos estes esforços, ao que parece, falharam por insuficiências institucionais, na gestão dos conflitos de interesses.

(Comunicação apresentada à Classe de Ciências
na sessão de 4 de fevereiro de 2010)

Daniel Serrão: "Na Academia das Ciências"

Artur Torres Pereira†

Senhores Presidentes,
Senhores Académicos,
Minhas Senhoras e meus Senhores,
Professor Daniel Serrão,

Não podia recusar este pedido: a apresentação do livro "*Daniel Serrão – Na Academia das Ciências*". Em singelas palavras apresentar um livro pressupõe o conhecimento do seu conteúdo, sua leitura com comentário, algo sobre outras obras do autor, do seu estilo literário e, por fim, não economizar nos encómios.

Assim começaram as minhas dificuldades. Não se trata de um livro na acepção tradicional. Serão só 25 anos de invulgar colaboração na Academia das Ciências de Lisboa?

Que procurar, para poder categorizar esta obra? Seja-me permitido recorrer a George Steiner e invocar uma das suas muitas especulações – a da oralidade. A oralidade que desde o alvor da nossa condição humana permitiu o entendimento. A incipiente vivência humana não se perdia, transmitia-se oralmente – o bardo ia reproduzindo narrativas épicas. O registo não oral, a escrita, viria mais tarde mas já quando os gregos e os hebreus tinham registado definitivamente a sua especulação filosófica ou o empenhamento religioso, subsistiam, como marcos milenários e para a eternidade, os dois expoentes máximos da oralidade ocidental – Sócrates e Jesus da Nazaré. Não deixaram escritos mas os seus discípulos ou seguidores transformaram o seu Verbo no mais grandioso espólio intelectual e ético da humanidade.

Com este artifício, posso agora preguntar, onde entra Daniel Serrão? O conteúdo do livro são as suas comunicações e orações, de diversa índole, apresentadas nesta Academia sob forma oral. Todos os que pudemos ouvir o seu discurso sedutor, sentimos a sua presença física, o confronto olhos nos olhos, a retórica gestual como diria Steiner, ou o discurso flamante como o saudou Luís Archer. Foram sempre experiências vividas.

Vou portanto tecer alguns comentários à convicção, à verdade, ao sentido ético, ao amor à Vida e para com a Vida, e à inquietação intelectual, ouvidas nesta Academia durante um quarto de século, e agora reunidas em livro. A ele voltarei.

Antecipando agora outras obras e actividades do autor, e da sua vida, recordarei que para comemorar os 80 anos, 65 colegas, amigos e admiradores (cientistas, humanistas, eclesiásticos, políticos) colaboraram numa outra publicação "*Daniel Serrão – um retrato*". No meu singelo depoimento salientei o homem de cultura interrogando o nosso tempo revelando sentidas preocupações sociais. Professor de Bioética e

de Ética Médica foi perito desta arte, ouvido e respeitado aquém e além fronteiras. Envolveu-se com fundamentada convicção no direito à Saúde, nas políticas de Saúde e no ensino médico. Cientista de mundividência cristã colocou-se no lado humanístico na interrupção voluntária da gravidez, na procriação medicamente assistida e destino dos embriões, na clonagem, no estádio terminal do homem, na eutanásia, tendo deslizado por entre todas estas delicadas áreas com particular competência e brilhantismo, com um espírito inquieto e irrequieto que a todos nós pareceu um espelho de virtude.

Farol significativo da Faculdade de Medicina do Porto, iluminou para cá do Douro, com brilho ímpar as nossas cidades, muitas europeias sediando o Conselho da Europa, a Unesco e a Comissão Europeia, e notavelmente a Santa Sé na Ponteficia Accademia per la Vita, da qual foi membro ordinário desde a fundação em 1994, até passar a membro honorário no seu octogésimo aniversário.

Voltando novamente ao livro que hoje apresento. Aceite a originalidade da obra de Daniel Serrão e o registo oral em que valorizámos as comunicações e orações, devo referir-me a algumas mais significativas. Daniel Serrão esforçou-se por apresentar alternadamente comunicações de caracter científico que traduziram a experiência ímpar do morfologista, com outras de caracter mais geral enquadrando os graves problemas éticos e médico-sociais emergentes, e que careciam de tratamento académico.

Destacarei nas primeiras aspectos relevantes de oncologia, e reflectidas preocupações de archeobiologia, especulada em vários temas. O outro grande grupo abrange diversas intervenções sobre Bioética, bem como o Serviço de Saúde Português e Política de Saúde.

Em resumo o livro compendia 25 anos de colaboração deste académico ilustre e prolífico, que neste particular não consente par possível. Mas é fundamental assinalar que o livro apresenta 25 intervenções, fracção muito curta dos mais de 150 trabalhos publicados. Sorte a minha (e alívio para V. Ex.ªs) não ter de fazer a apresentação global!

Dentre as múltiplas comunicações que versam a Bioética destacarei o "Nascimento, Apogeu e Crise na Bioética – uma reflexão algo desalinhada", proferida em 2008. É material amadurecido muito rico. Historia muito pedagogicamente o significado das palavras ética e bioética baseado em Pellegrini, e portanto nos significados distintos dum ramo da Filosofia, especulando sobre o certo e o errado da nossa conduta num plano abstracto, ou quando a reflexão se dirige a situações concretas como as decisões médicas sobre a vida.

Descreve a história que protagonizou nos principais areópagos de Bioética criados na Europa a partir de 1980. A sua constante, honrosa e tantas vezes destemida presença resultou quer de convite pessoal dada a competência que era reconhecida, quer de representação oficial do País. Até há meses representou a Academia das Ciências de Lisboa no Conselho Nacional de Ética para as Ciências da Vida.

Porquê o desalento? Daniel Serrão foi sentindo um controlo político em todos aqueles comités. Fala de Utopia do século XXI uma vez que diversas forças não resistiram ou resistirão a tornarem-se proprietárias da Bioética enegrecendo a sua nobre e legítima independência. Essas forças são a Política, a Economia, a Ecologia e a Religião. Antevê que venha a ser Utopia porque a política não se torna mais responsável, a economia não se torna global mas mais justa, a ecologia não aparenta ser sensata, e a religião não arrasta mais liberdade e alegria. Responsabilidade, justiça, sensatez e liberdade e alegria – marcas naturais e aspirações da Bioética humana para o autor – que se poderão perder numa questão de tempo. E conclui "que a Bioética nunca seja, ela própria, um poder. Mas antes um conselho e um apelo oferecidos à reflexão dos poderes".

À Saúde, ao Sistema de Saúde, à reforma do Serviço Nacional de Saúde dedicou Daniel Serrão a melhor atenção, competência técnica e criatividade. No livro que apresentamos figuram três importantes estudos. Todo o seu anterior empenhamento foi reconhecido superiormente tendo sido nomeado em 1996 presidente do Conselho de Reflexão sobre a Saúde. Este elaborou em 1997 um exaustivo Relatório com centenas de páginas, destacando os três pilares fundamentais para uma reforma do Serviço de Saúde em Portugal.

O primeiro seria a consagração e disponibilidade dos clínicos gerais, desejavelmente organizados em grupos privados, com remuneração contratualizada. São eles que referenciam os doentes para os hospitais e os acompanham de volta, no seu compreensivo papel de clínico geral – médico de família.

O segundo pilar necessário será a informatização geral de sistema, a funcionar como *intranet*. Lembrando que tudo o que pode ser digitalizado transcende as barreiras do tempo e do lugar, a informatização gerará, acentua o autor, um sistema de Saúde integrado e virtual. Todos os que devem ter acesso a tudo referente ao doente tê-lo-ão, não se perdendo o contacto humano nem desfigurando o Acto Médico. Finalmente o último pilar da ambiciosa reforma será a criação dum Instituto Financiador que pagará serviços mas não sustente instituições.

A ambição do notável Relatório do Conselho de Reflexão sugere por fim a criação dum Conselho Nacional de Saúde, totalmente independente, com larga representação de todos os interesses e competências ligados à Saúde. A história mostrou que em 13 anos nenhuma legislatura parlamentar teve sensibilidade para tal criação.

Todavia nem tudo se perdeu de tão porfiado trabalho. Refiro-me à actividade dos clínicos gerais em grupo. Algo se está a passar embora omitindo a paternidade. Com efeito desde há cerca de quatro anos que se foram constituindo grupos, designados por USF (Unidades de Saúde Familiar) mas não privados. A modalidade privada, da maior importância para a população, ainda não funciona. Daniel Serrão merece todo o aplauso por ter conseguido impor no Relatório de 1997 a importância fundamental do Clínico Geral. Lembremos que a carreira de Clínica Geral foi criada em 1982 por Paulo Mendo, com a colaboração do saudoso Guilherme Jordão. Esta carreira inicialmente imposta aos jovens médicos foi-se desenvolvendo com muita dificuldade, e com o geral desagrado crítico dos clínicos internistas. É-me muito grato recordar ter sido a Faculdade de Medicina de Lisboa, por meu intermédio, a primeira na Universidade Portuguesa a academizar tal área de ensino quando em 1987 criou a disciplina de Clínica Geral.

Para concluir, vou referir-me à ultima comunicação que Daniel Serrão proferiu na Academia em 2009 sobre "As Duas Culturas" numa sessão que tive a oportunidade de organizar para comemorar os 50 anos da apresentação da conferência de Charles Percy Snow intitulada "The Two Cultures and the Scientific Revolution".

Daniel Serrão apelida aqueles dois distintos universos culturais, de cultura intelectual e cultura científica, e logo se interroga como e porque se mantiveram inconciliáveis ao fim de 50 anos. Parece dirigir uma responsabilidade mais acutilante aos intelectuais por neste intervalo temporal não quererem ver ou compreender as profundas alterações da vida social e do mundo, resultantes do espectacular desenvolvimento das tecnociências. Os intelectuais, nem filósofos nem teólogos, não ouviram Snow, e cita eruditos e curiosos exemplos de Heidegger a Ricoeur, ou a contestação de Nanterre antes dela enveredar, como assinala, "para o folclore político-social da esquerda festiva francesa". Reafirma que as duas culturas continuam activas mas separadas.

Na minha intervenção, referi que "à iliteracia cultural dos cientistas corresponde uma análoga iliteracia científica do grupo literário e humanista". Quanto é que este fosso impedia o progresso social? Snow já havia denunciado um problema de educação. A iliteracia recíproca não deve ser precocemente corrigida no ensino secundário? É na Inglaterra de 2009 que se publica um livro com o amargurante titulo "From Two Cultures to No Culture", afinal a crítica ao ensino das crianças e adolescentes na actualidade.

Daniel Serrão lembra por fim que houve perspectivas novas para satisfazer o apelo Snow, as de Van Potter e de Edward Wilson, ambos cientistas, um bioquímico e outro entomologista. Potter tentava eliminar aquele fosso criando uma nova disciplina, a Bioética, reunindo o Bios com o Ethos. Não teve grande êxito mas subsistiu uma Bioética Global que economistas e políticos estão a aproveitar, conclui Daniel Serrão.

A mais moderna especulação já data deste século. Wilson procura uma Unidade do Conhecimento – a Consiliência. Ele considera as duas culturas consilientes, urgindo realizar a unidade de todo o conhecimento, e estabelecer as pontes do entendimento e da comunicação entre os vários saberes ou áreas de consiliência. Os quatro campos interdisciplinares vertidos para a Mandala (Relação Homem-Cosmos) que Wilson esquematizou são a Política Ambiental, a Biologia, as Ciências Sociais e a Ética.

Embora passe a fazer parte da História da Ciência, a teoria da Consiliência de Wilson, algo confusa, não favoreceu a desejada ponte entre as duas culturas. Mas Wilson ficará por certo ligado à Sociobiologia e sobretudo à Psicologia Evolutiva para que derivou, e que hoje nos parece ser uma ferramenta indispensável para compreender o homem actual e o seu comportamento.

Minhas Senhoras e Meus Senhores,

É regra no final de cada comunicação, já discutida, o Presidente da Mesa interrogar a assembleia de académicos sobre se o trabalho acabado de proferir deva ser publicado nas *Memórias da Academia das Ciências*. Proclamarei que nunca com tanta propriedade a consagração dessa oralidade foi transcrita nas nossas Memórias, que hoje o autor recolheu para volume único que tentei singelamente apresentar-vos.

(Comunicação apresentada à Classe de Ciências
na sessão de 1 de julho de 2010)

Anatomia artística na Mesopotâmia I
Suméria, Acádia, Neosuméria e Babilónia

J. A. Esperança Pina[1]

PERÍODOS HISTÓRICOS DA MESOPOTÂMIA

Os períodos históricos da Mesopotâmia estenderam-se entre 3000 e 539 a.C. A Suméria, entre 3000 e 2500 a.C. A Acádia entre 2500 e 2150 a.C. A Neosuméria entre 2150 e 2015. A Babilónia entre 2015 e 1500 a.C. A Assíria entre 1500 e 612 a.C. A Neobabilónia entre 612 e 539 a.C.

SUMÉRIA (3000-2500 A.C.)

Na Suméria acima das classes sociais estava o rei, considerado o intermediário entre o deus e a população, sendo simultaneamente chefe político e religioso. "Patesi" ou "Lugal" era o título dado aos chefes locais. Subordinado ao rei, havia o clero que administrava os bens do templo. Ao lado da aristocracia burocrática existia a população e os escravos. Os interesses do rei e do Estado, as expedições comerciais, a administração dos celeiros do estado, os bens da casa real, o tesouro público e os impostos, era feita por uma aristocracia burocrática, cujos funcionários estavam colocados sob a autoridade de um intendente ou nubanda.

O Intendente Ebih-il (3000-2500 a.C.), procedente de Mari, pertence ao Museu do Louvre, em Paris, aparece como uma personagem obesa, atarracada, com a cabeça rapada, atento às ordens do seu rei e simultaneamente seu fiel devoto.

A Suméria foi governada pelas dinastias arcaicas, situadas em Kish, Uruk, Ur, Kish, Lagash e Umma.

Na dinastia de Kish distinguiram-se Mebararagesi e Mesilim.

Na dinastia de Uruk distinguiram-se Enmerkar e Gilgamesh, famoso pelos feitos que realizou.

Na 1.ª dinastia de Ur distinguiram-se Meskalmdug, Akalandug e Mesannepadda.

Na dinastia de Lagash distinguiram-se Ur-Nanshe, Eutemena e Uruimogina.

Na dinastia de Umma distinguiu-se Lugalzagesi.

O capacete de Meskalmdug (3000-2500 a.C.), em ouro, procedente de Ur, encontra-se no Museu do Iraque, em Bagdad, sendo este capacete típico dos soberanos sumérios, reproduzindo as tranças, os caracóis e a orelha.

A 1.ª dinastia de Ur ficou famosa pelo cemitério real de Ur. A necrópole continha os dezasseis túmulos dos reis mais importantes, sendo de destacar a do rei Akalandug, da rainha Puabi e a mais famosa, a do rei Meskalmdug, conhecida pelo poço da morte.

[1] Membro Efectivo da Academia das Ciências de Lisboa. Professor Catedrático Jubilado da Faculdade de Ciências Médicas da U.N.L. Professor Catedrático da Faculdade de Direito de Lisboa da U.C.P. Ex-Reitor da Universidade Nova de Lisboa.

Na necrópole do rei Meskalmdug, encontraram-se os restos mortais de 74 corpos humanos inumados no poço da morte, sendo soldados, servos, músicos, e membros do clero. Estes indivíduos foram narcotizados no momento da inumação do seu Senhor para podê-lo servir no Além, e muitas de jóias em ouro, prata, lápis-lazúli, vasos, liras, harpas, barcos, entre outros.

O colar constituído por elementos triangulares alternados em ouro e lápis-lazúli (3000 a.C.) pertence ao Museu do Iraque, em Bagdad.

O colar em lápis-lazúli e coralina (3000 a.C.) encontra-se no Museu do Iraque, em Bagdad.

O diadema constituído por folhas de ouro (3000 a.C.) pertence ao Museu do Iraque, em Bagdad.

O cálice em ouro com linhas modernissimas (3000 a.C.) encontra-se no Museu do Iraque, em Bagdad.

O punhal em ouro com cabo em lápis-lazúli e bainha muito trabalhada (3000 a.C.) pertence ao Museu do Iraque, em Bagdad, sendo uma verdadeira obra de ourivesaria.

Os instrumentos musicais representam cenas de mistérios ou representações teatrais com indivíduos mascarados, parecendo situar-se no limite da religião e da arte, e na fronteira entre a magia e o culto, como a harpa de Ur.

A harpa de Ur (3000-2500 a.C.) decorada em madrepérola, pasta vítrea e lápis-lazúli, encontra-se no Museu Britânico, em Londres.

Apresenta na caixa quatro cenas: a primeira, com Gilgamesh, o herói pré-histórico entre dois touros; a segunda, disfarçada de leão e um lobo fazem um sacrifício; a terceira, com máscaras de animais tocando instrumentos musicais; a quarta, um escorpião e um cabrito a dançarem.

A caixa-de-ressonância da harpa de Ur apresenta na parte superior a cabeça de um touro, em ouro.

O estandarte de Ur com figurinhas recortada em concha, madrepérola e fundo em lápis-lazúli (3000--2500 a.C.), pertence ao Museu Britânico, em Londres, com duas faces laterais, a face da guerra e a face da paz, apresentando cenas mitológicas e lendárias.

A face da guerra, apresenta três registos: o registo inferior com o rei e os escudeiros no carro de guerra em quatro posições, observando-se os inimigos pisados; o registo intermédio, apresenta os vencedores cobertos com capacetes e mantas, conduzindo os prisioneiros; o registo superior mostra cada dois prisioneiros atados dorso a dorso, apresentados ao rei, acompanhado com o vizir e atrás um escudeiro segurando as rédeas de um carro vazio.

A face da paz apresenta também três registos: o registo inferior com animais destinados a puxar os carros de guerra; o registo intermédio com cabreiros, vaqueiros, lavradores levando ao palácio os seus produtos; o registo superior com o rei sentado, em conselho com seis dignitários, bebendo, enquanto servos vão dando serventia, e atrás do rei encontram-se um cantor e um harpista.

O bode macho de Ur (3.000-2.500 a.C.) em prata, ouro e lápis-lazúli, procedente do túmulo da rainha Subad, encontra-se no Museu Britânico, em Londres.

O bode macho tem um aspecto demoníaco estando preso numa árvore, sendo os dois cornos em lápis-lazúli, certamente com alguma relação com o Além.

As placas com orifício central são quadrangulares, em argila, com uma abertura no centro, sendo utilizadas para verter água sagrada ou o sangue dos sacrifícios e, uma vez realizado este ritual, eram suspensas nas paredes do templo.

A placa com orifício central de Ur-Nanshe (3000-2500 a.C.), em calcário, pertence ao Museu do Louvre, em Paris. Apresenta à esquerda da sua banda superior, o Rei com o típico faldellin ou "kaunakés".

Está representado com maior tamanho em relação às outras personagens, simbolizando a sua importância e categoria. Na sua frente os seus quatro filhos, seguidos por um funcionário, todos contemplando o soberano. Trata-se de um acto em que a família real preside a uma cerimónia comemorativa do início das obras de um templo. A banda inferior apresenta a segunda parte da cerimónia, representando o banquete seguido neste tipo de actos. O rei está sentado no trono e levanta a taça para brindar. Atrás, encontra-se um criado com uma garrafa pronto e encher de novo a taça, e adiante um alto funcionário e os três filhos do rei.

As estelas, com forma rectangular, relatam factos históricos de importância para a cidade-estado.

A estela dos abutres de Eannatum (3000-2500 a.C.), em calcário, procedente de Tello, encontra-se no Museu do Louvre, em Paris. Descreve uma campanha entre as cidades de Umma e Lagash, em que esta saiu vencedora. Numa face da estela, observa-se o "Patesi" de Lagash, marchando adiante da sua infantaria protegido com uma pele espessa, e os soldados protegidos com o escudo e armados com lanças em posição ofensiva, pisando os cadáveres dos inimigos.

Os cones de inscrição são feitos em terracota com textos dispostos em filas horizontais.

O cone de inscrição de Uruimgina (3000-2500 a.C.), em terracota procedente de Tello, pertence ao Museu do Louvre, em Paris. O cone descreve determinações reais, como a redução de taxas e o fim de abusos cometidos no passado.

Os vasos são frequentes, sendo de salientar o vaso de Eutemena.

O vaso de Eutemena (3000-2500 a.C.), em prata e bronze, procedente das escavações em Lagash, encontra-se no Museu do Louvre, em Paris. É um recipiente com forma ovóide assente em quatro pés. O corpo é de prata e a base de cobre, ostentando uma decoração gravada a cinzel, mostrando uma águia, leões, veados e touros.

A escultura na Suméria está representada por numerosas estatuetas, traduzindo as características morfológicas dos sumérios.

Os Sumérios tinham cabeça redonda com testa curta e nariz proeminente em forma de bico de águia. A cabeleira é longa, dividida em mechas caindo sobre os ombros, barba comprida e cortada em quadrado. Estas características estão bem marcadas no grupo de orantes masculinos e femininos, em gesso (3000 a 2500 a.C.), procedentes de Tell Asmar, pertencem ao Instituto de Arte Oriental, em Chicago.

As estatuetas do deus Abu e de uma deusa (3000-2500 a.C.), procedentes de Tell Asmar, em gesso misturado com betume, encontram-se no Museu do Iraque, em Bagdad, demonstram a expressão de uma humanidade cujas mãos estão juntas e os olhos voltados para o céu. Os adoradores apresentam linhas geométricas, espáduas arredondadas e cotovelos angulosos, dorso trapezoidal, e saiote em tronco de cone. A cabeça está enterrada nas espáduas. Os olhos são enormes, tensos para o invisível, como se estivessem hipnotizados.

A estatueta de um adorador (3000-2500 a.C.), em alabastro, procedente de Eridu pertence ao Museu do Iraque, em Bagdad, é diferente das estatuetas de Tell Asmar. Tem as mãos juntas numa atitude ritual e o corpo com um longo vertimento que esconde os pés. Dorso bem moldado e as espáduas arredondadas. Cabeça dolicocéfala assentando num pescoço desenvolto e olhos incrustados. O cabelo está substituído por uma touca cónica.

A estatueta de Dudu (3000-2500 a.C.), proveniente de Tello, em pedra vulcânica encontra-se no Museu do Iraque, em Bagdad, está sentado, com olhar firme, cabeça calva, dorso nu e mãos juntas ao peito.

As estatuetas de adoradores (3000-2500 a.C.), em alabastro, provenientes de Tell Chuera, pertencem ao Museu de Damasco, apresentam linhas geométricas, dorso trapezoidal, cotovelos angulosos, barbas, com cabelo comprido e saiotes em forma de sino.

A estatueta de uma adoradora (3000-2500 a.C.), em gesso, proveniente de Nippur, encontra-se no Museu do Iraque, em Bagdad. Tem um vestido longo com a espádua direita nua. A face tem um aspecto distinto, e os olhos com aspecto oriental.

A estatueta de um adorador (3.000-2.500 a.C.), em calcário, procedente de Nippur, pertence ao Museu do Iraque, em Bagdad. Está em pé, com o dorso nu, apresentando as mãos juntas num gesto expressivo, e os olhos incrustados fitando o invisível. Espáduas arredondadas, cotovelos angulosos e destacados de um dorso trapezoidal. A parte superior do corpo mostra uma anatomia de superfície perfeita e a parte inferior está escondida pelas roupagens esquematizadas com um saiote enrolado.

A cabeça feminina (3.000-2.500 a.C.), em gesso, procedente de Mari, encontra-se no Museu de Damasco, apresenta-se com véu, e mostra os olhos muito penetrantes com um sorriso misterioso.

A cabeça do rei Lamgi-Mari (3000-2500 a.C.), em pedra, procedente de Mari, pertence ao Museu Arqueológico, em Alepo, apresenta uma expressão pensativa.

A cabeça do rei Iku-Shamagam (3000-2500 a.C.), em pedra, procedente de Mari, encontra-se no Museu Arqueológico, em Alepo, mostra uma expressão de admiração.

A cabeça do rei Nani (3000-2500 a.C.) em pedra, procedente de Mari, pertence ao Museu Arqueológico, em Alepo, mostra uma expressão enigmática.

A cabeça do rei Meunier Idi-Narum (3000-2500 a.C.), em pedra, procedente de Mari, encontra-se no Museu Arqueológico, em Alepo, mostra uma expressão expectante.

A estatueta de cantora ou cantor (3000-2500 a.C.), em gesso, procedente de Mari, pertence ao Museu de Damasco, em Alepo, está sentada e há dúvidas quanto ao seu sexo.

O casal acéfalo abraçado (3000-2500 a.C.), em gesso, procedente de Mari, encontra-se no Museu Arqueológico, em Alepo, representa dois seres animados pela paixão.

ACÁDIA (2500–2150 A.C.)

A Suméria, situada na parte central da Mesopotâmia, país das cidades-estados e dos reis sacerdotes tornou-se rapidamente num estado militar e administrativo unificado, originando assim o primeiro império do mundo.

Sargão I de Acádia, um semita, copeiro de profissão, revoltou-se contra o poder instituído e iniciou a dinastia de Acádia, na cidade de Kish, reinando 56 anos. Sucedeu-lhe o seu filho Rimush e depois o irmão deste, Manishtushut. Depois de 37 anos, ocupou o trono Narâm-Sin, neto de Sargão I, que dilatou o império. Após Narâm-Sin, o trono foi ocupado por seu filho, Shar-Kali-Sham, cujo reinado durou 25 anos, até que um povo nómada originário nas montanhas do nordeste, os Guti, saquearam e destruíram os restos do império acádio.

As victórias de Narâm-Sin ficaram registadas na célebre Estela da Victoria (2250 a.C.), esculpida num bloco de granito róseo, pertencente ao Museu do Louvre, em Paris. Nesta estela, Narâm-Sin imortalizou-se a si e ao seu exército vitorioso, como monumento comunitário, cuja conservação se deve ao facto de ter sido pilhada para Susa, onde foi descoberta. Na Estela da Victoria, observam-se os soldados reais

avançar numa encosta de montanha. Em cima, solitário diante dos inimigos vencidos, encontra-se Narâm-Sin. Tem na cabeça, um capacete com chifres, reservado aos deuses e representa o símbolo do poder. Tem um avental de pele, com arco e flecha. Seguem o rei os soldados vencedores, numa fila ondulada, enquanto a seus pés estão os vencidos, mortos, fugitivos ou suplicantes.

A escultura na Acádia está representada por estátuas mutiladas e muito danificadas, esculpidas em diorite.

A cabeça, procedente de Ninive, representando Sargão ou o seu neto, Narâm-Sin (2500 a.C.), em bronze, pertence ao Museu do Iraque, em Bagdad. Apesar de não ter olhos, outrora embutidos com materiais preciosos, conserva um ar majestoso de comovedora humanidade. A riqueza do enquadramento do rosto, com a boca e os lábios sensuais esboçando um ligeiro sorriso irónico ou desdenhoso. O cabelo entrançado e a barba fina encaracolada são tratados com incrível precisão sem perderam o seu carácter orgânico nem se tornarem num simples ornamento. Apesar dos olhos enucleados feita por uma mão destruidora, a máscara guardou toda a sua nobreza.

A estátua de Manishtushu, filho de Sargão (2500 a.C.), em diorite, pertence ao Museu do Louvre, em Paris, apresenta apenas o vestido, sulcado em diagonal com muitas ondulações.

Os pés da estátua de Narâm-Sin (2500 a.C.), em diorite, procedente de Susa, encontra-se no Museu do Louvre, em Paris, apresenta bem evidenciadas as veias superficiais do dorso do pé.

A estela acadiana (2450-2285 a.C.), em alabastro, em dois fragmentos, procedente de Nasriyeh, no sul do Iraque, pertence ao Museu do Iraque, em Bagdad, comemorando uma cena de vitória. Observa-se o desfile de prisioneiros e como habitualmente estão nus, desfilando. Todas as precauções são tomadas precavendo uma evasão, com cordas passadas nos cotovelos e um instrumento que passa pelo pescoço para evitar movimentos. Os membros são finos, a cabeça do tipo dolicocéfalo, cabelos compridos, e com bigode, ou bigode e barba.

A estela acadiana (2450-2285 a.C.), em alabastro, num fragmento, procedente de Nasriyeh, encontra-se no Museu do Iraque, em Bagdad. Observam-se dois soldados, com espada à cintura, capacete provavelmente em pele e transportando o espólio. A mão direita tem a correia de um gládio e na mão esquerda a ansa de um jarro, talvez de metal.

NEOSUMÉRIA (2150–2015 A.C.)

Os sumérios, depois de terem sido expulsos os Guti, voltaram a organizar-se em cidades-estados, com alguma autonomia, sendo Lagash e Ur, as mais importantes, dando origem ao renascimento da Suméria, para constituírem a Neosuméria.

Em Lagash, com Urbaba, Gudea e Ur-Ningirsu, constituíram a dinastia de Lagash, sendo com Gudea, que foi alcançado o máximo esplendor da Neosuméria.

Em Ur, Ur-Nammu fez um golpe de estado e implantou a 3.ª dinastia de Ur. O seu filho Shulgi, recebeu um país consolidado, e a este rei se fica a dever a promulgação do mais antigo código de leis, o código de Shulgi, com trinta artigos. Com Amar-Sin e depois com o seu irmão Shu-Sin, a 3.ª dinastia de Ur alcançou o seu apogeu. A decadência de Ur deu-se com Ibbi-Sin, que não conseguiu resolver a grave crise económica, e sobretudo os ataques dos amorreus a oeste, e dos elamitas a este.

A escultura na neosuméria está representada por numerosas estátuas, sendo de salientar cerca de trinta, do Patesi de Lagash, Gudea.

A estátua de Gudea em pé (2200 a.C.), em diorite, encontra-se no Museu do Louvre, em Paris, personifica a anatomia do corpo humano. Gudea está representado de pé, tendo as mãos cruzadas sobre o peito, os pés evidenciados, os dedos da mão afilados e as unhas bem tratadas. Apresenta-se de frente, provavelmente olhando para um deus, com modéstia, mas confiante na justiça da sua causa. A boca e as mãos não expressam o diálogo, pois apenas os olhos são capazes.

A estátua de Gudea com um vaso nas mãos (2200 a.C.), em calcite, pertence ao Museu do Louvre, em Paris. O vestuário tem grande simplicidade deixa nu a espádua e o braço direito, algumas pregas na axila e outras no antebraço esquerdo.

A estátua de Gudea "o arquitecto" (2200 a.C.), em diorite, procedente de Tello, encontra-se no Museu do Louvre, em Paris. A estátua está decapitada, com uma tábua gravada, e sobre os joelhos outra tábua prestes a ser trabalhada, observando-se o estilete e a régua graduada, os instrumentos de um construtor.

A estátua do pequeno Gudea sentado (2200 a.C.), em diorite, procedente de Tello, pertence ao Museu do Louvre, em Paris. A cabeça está envolvida num turbante, usado em determinadas cerimónias religiosas. No saiote está reproduzido o texto de orações. Observa-se a desproporção do tronco, mãos e pés. A cabeça está metida entre os ombros com pescoço potente e curto. Os músculos do membro superior direito foram reproduzidos com vigor e realismo. A estátua tem um texto gravado, relatando um documento comemorativo do lançamento da primeira pedra de um edifício.

A cabeça de Gudea com turbante (2200 a.C.), em diorite, procedente de Tello, pertence ao Museu do Louvre, em Paris. A cabeça com turbante, apesar do vandalismo que a mutilou, não perdeu a sua expressão dominadora. Os olhos fixos, as maças do rosto e a boca, traduzem uma personalidade vigorosa e inteligente de homem voluntarioso. Imagem que se afirma sem necessidade de recursos ornamentais.

A estátua de Ur-Ningirsu (2100 a.C.), em alabastro, procedente de Tello, encontrando-se a cabeça no Museu Metropolitano, em Nova York e restante porção da estátua no Museu do Louvre, em Paris. Ur--Ningirsu, filho de Gudea deixou uma estátua em pé orando. Tal como as estátuas de Gudea têm a mesma simplicidade e a mesma elegância aristocrática.

A estela de Gudea (2200 a.C.), em calcário, procedente de Tello, pertence ao Museu de Pergamo, em Berlim. A estela apresenta o "patesi" seguir vacilando, sem quase mover os pés, seguindo atrás de dois camareiros da corte celestial. A estela, muito mutilada não permite ver a face da deusa sentada no trono, mas atrás, muito impressionado com a cena encontra-se um deus com dois pares de cornos.

Além das estátuas de Gudea e de seu filho encontraram-se também estátuas femininas.

A estátua de mulher com touca (2200 a.C.), em esteatite, procedente de Tello, pertence ao Museu do Louvre, em Paris. A mulher da touca é provavelmente a mulher de Gutea, Não há dúvida de que se trata de uma dama de elevada condição social a julgar pelo vestido de duas peças, com adorno simples, mas elegante, e pelo colar com várias voltas ao pescoço. Uma touca apertada com uma faixa, escondendo-lhe o cabelo.

A estátua de cabeça feminina (2200-2100 a.C.), em mármore, procedente de Ur, encontra-se no Museu da Universidade de Filadélfia. A estátua identificada como uma princesa neosuméria e também como uma divindade, apesar da mutilação que lhe destruiu parte do rosto, manteve o seu encanto e o olhar não perdeu a sua estranha expressão.

BABILÓNIA (2015-1500 A.C.)

A Babilónia constituía a região meridional da Mesopotâmia que se estendia entre os rios Tigre e Eufrates, e em que uma pequena cidade, Babilónia, se converteu na capital politica do pais. O território da Babilónia incluía os antigos países da Suméria e da Acádia, estendendo-se a sul até ao Golfo Pérsico, e a este com o Elan, o actual Kuzistão.

PALEOBABILÓNIA (1894-1595 A.C.)

Os amorritas ao instalarem-se na Babilónia passaram a desempenhar um papel político, económico, cultural e religioso, fundando a dinastia amorreita, que governou a Babilónia cerca de 300 anos.

Hammurabi pode unificar territorialmente a Mesopotâmia, tendo no final do seu reinado compilado o seu famoso Código. Samsu-Iluna, sucessor de Hammurabi teve de fazer frente a numerosas tribos cassitas, que queriam penetrar em Babilónia. Os sucessores de Samsu-Iluna tiveram de enfrentar momentos ainda mais difíceis, até que Samsu-Ditana, não pode fazer frente a um inesperado ataque dos hititas chefiados por Mursil, que, depois de pilharam e incendiaram Babilónia, regressaram ao seu país na longínqua Anatólia, deixando um vazio de poder.

O Código de Hammurabi (1800 a.C.), procedente da Escola Paleobabilónica de Susa (Irão), pertence ao Museu do Louvre, em Paris. Está gravado numa estela cónica em diorite, com cerca de 2,25 metros de altura e quase 2 metros de circunferência na base. Representa a primeira grande sistematização da História do Direito.

É constituído por 282 artigos de direito penal, processual penal, civil e administrativo, sem estabelecer entre eles uma separação nítida, unificando as anteriores legislações, proporcionando uma homogeneidade jurídica. É a primeira grande sistematização na história do direito, mas apresenta aspectos claramente repressivos, como a lei de talião, ou seja, castigo igual à culpa, desforra igual à ofensa recebida. Com a promulgação do código iniciou-se uma reforma judicial de grande alcance, mas sem excessivas preocupações sociais. A igualdade jurídica estabeleceu-se para todos os cidadãos, mas de um modo elitista, já que a aplicação das suas normas não era idêntica para todos os cidadãos.

O Código de Hammurabi apresenta na porção superior da estela, o soberano de pé, recebendo Shamash, deus do sol e da justiça. Hammurabi e Shamash têm olhos muito abertos de modo a estabelecer uma relação entre um deus e um homem. Hammurabi, tem o braço direito num gesto de quem fala, como se estivesse apresentando o seu Código.

A escultura na Paleobabilónia tem tendências contraditórias, continuando o estilo das estátuas de Gudea.

A provável cabeça de Hammurabi (1800 a.C.), em esteatite, proveniente de Susa, pertence ao Museu do Louvre, em Paris. A fácies apresenta um aspecto envelhecido, fatigado, e emagrecido transmitindo um ar adoentado. Os lábios pregueados esboçam serenidade, as maças do rosto descarnadas, os olhos abertos e mais pequenos que o habitual.

A estátua acéfala do príncipe Idi-ilum, governador de Mari (2000 a.C.), em esteatite, proveniente de Mari, encontra-se no Museu do Louvre, em Paris. A estátua representa um príncipe aristocrático, vestido com elegância harmoniosa.

A estátua do príncipe Ishtup-Ilum, governador de Mari (2000 a.C.), em esteatite, proveniente de Mari, pertence ao Museu Arqueológico, em Alepo. Apresenta as mãos juntas, os pés descalços, semelhante às atitudes de Gudea, mas mostrando a brutalidade da face, atenuadas pela barba e bigode.

É de realçar a parte direita do dorso, ombro e braço direito do príncipe Ishtup-Ilum, com texto gravado e mostrando uma perfeita anatomia de superfície.

A cabeça de Puzur-Ishtar (2000 a.C.), em diorite, encontra-se no Museu de Pergamo, em Berlim. Apresenta os lábios esboçando um ligeiro sorriso, as maças do rosto proeminentes e os olhos abertos em observação.

A cabeça de guerreiro (1800 a.C.), em pedra, proveniente de Mari, pertence ao Museu Arqueológico, em Alepo. Apresenta os lábios rasos esboçando um ligeiro sorriso, nariz arqueado ou aquilino muito desenvolvido e olhos salientes animando o rosto.

A deusa com vaso (1800 a.C.), proveniente de Mari, encontra-se no Museu Arqueológico, em Alepo. As orbitas sem olhos, com o nariz selvaticamente destruído, apresentando um ar sério, com as bochechas finamente modeladas e o rosto ovalar enquadrado pela cabeleira que recobre os ombros. As mãos sustentam um recipiente contendo a água da fertilidade.

O adorador ajoelhado (1800 a.C.), em bronze e ouro proveniente de Larsa, pertence ao Museu do Louvre, em Paris. O adorador faz uma promessa pela vida de Hammurabi, estando ajoelhado, com barba, em que a face e as mãos estão folheadas a ouro. O joelho direito na terra parece ter um gesto de súplica e a mão direita ao nível da boca.

O marceneiro trabalhando (2000 a.C.), em terracota, proveniente de Warka, encontra-se no Museu do Louvre, em Paris.

O músico tocando harpa (2000 a.C.), em terracota, proveniente de Warka, pertence ao Museu do Louvre, em Paris.

A pintura na Paleobabilónia encontrava-se no palácio real de Mari. Várias salas apresentavam pinturas murais realizadas a têmpera sobre gesso, sendo as cores utilizadas, os amarelos, os verdes, os azuis e sobretudo os vermelhos. As pinturas muito danificadas e fragmentadas, mostram cenas de guerra e religiosas, e também cenas da vida diária nos seus aspectos mais simples.

O Ordenador dos Sacrifícios, (1750 a.C.), proveniente de Mari, encontra-se no Museu do Louvre, em Paris. A pintura descreve uma cena ritual. À direita, uma personagem proeminente, cujo corpo gigantesco está parcialmente destruído, é talvez o próprio rei a abrir o cortejo. Segue-se o sacrificador, de bastão empunhado, assistido por um ajudante barbudo que conduz um touro preparado para o sacrifício.

MESOBABILÓNIA (1570-625 A.C.)

Desaparecida a dinastia amorreita, com a ocupação desta cidade pelos hititas, que pilharam e incendiarem Babilónia, tendo depois regressado ao seu país, na longínqua Anatólia. Deixaram um vazio de poder, o que foi aproveitado pelos Povos do Mar, que passaram a controlar Babilónia durante cerca de 25 anos, constituindo a dinastia do Paises do Mar, que terminou com a retirada destes povos, resultante da pressão dos cassitas, que instituíram a dinastia cassita, que se manteve no poder cerca de 576 anos.

Não se sabe muito, sobre os primeiros reis cassitas, sendo Ulam-Buriash que recuperou territórios ao sul e estabilizou as fronteiras do norte. Seguiram-se Kurigalzu I e Burna-Buriash III, que mantiveram boas relações com os faraós egipcíos. Kastiliash IV, foi feito prisioneiro pelos assírios e com isto terminou a dinastia cassita.

Na cidade de Isin, Marduk-Kabit-Akhkhes-Hu iniciou a dinastia de Isin, com a duração de 130 anos. Com Nabucodonosor I, regressou o esplendor a Babilónia e a conquista do Elan.

Durante cerca de 274 anos, Babilónia conheceu cinco dinastias estrangeiras, com numerosos e incapazes reis, sendo este período conhecido por período obscuro.

A dinastia assíria, com a duração de 122 anos, inicia-se com Nabu-Nasir, em 747 a.C. durante os quais as influências e o domínio efectivo assírio se tornaram uma realidade, com grandes reis assírios, como Sargão II e Senequerib. O período mesobabilónico terminou com a morte de Assurbanipal, quando os caldeus se apoderaram do trono de Babilónia para constituírem a dinastia caldeia.

A escultura na Mesobabilónia apresenta as estelas esculpidas, os "kudarrous", blocos de pedra negra, em diorito, encontrando-se nos santuários, com numerosas inscrições.

No "kadurru", o rei Mélishipak apresenta a sua filha à deusa Nana (1200 a.C.), em diorite, procedente de Susa, encontra-se no Museu do Louvre, em Paris. Lembra a estela de Gudea, continuando a religião a ocupar um lugar importante nesta civilização.

No "kadurru", a procissão de guerreiros (1500 a.C.), em bronze, proveniente de Susa, pertence ao Museu do Louvre, em Paris. É um baixo-relevo representando a comemoração de uma vitória, com quatro guerreiros em marcha munidos com uma arma curva.

A estátua acéfala da rainha Napir-Asui mulher de Untash-Huban, (1250 a.C.), em bronze, proveniente de Susa, encontra-se no Museu do Louvre, em Paris. Apesar de mutilada, traja um vestido de estilo, e parece deslizar num tapete de um salão de recepções.

A estátua de portador de oferendas (1500 a.C.), em prata, proveniente de Susa, pertence ao Museu do Louvre, em Paris. O portador transporta numa mão, o animal para um sacrifício.

A estátua de portador de oferendas (1500 a.C.), em "electrum", proveniente de Susa, encontra-se no Museu do Louvre, em Paris. O portador transporta numa mão, o animal para um sacrifício.

A cabeça de um alto dignitário com barba (1500 a.C.), em cobre, proveniente de Amadan, pertence ao Museu Metropolitano de Arte, em Nova York. Representa um homem com fácies demonstrando gravidade, com o cabelo achatado sob um turbante que aperta a fronte. A barba permite mostrar as "maçãs do rosto", um bigode curto e os lábios finos e fechados e as órbitas sem olhos. No conjunto a estátua acompanha a meditação silenciosa deste monarca ou deste sacerdote, com aspecto severo.

NEOBABILÓNIA (625-538 A.C.)

Terminada a dinastia cassita, os caldeus, apoderaram-se do trono da Babilónia, iniciando a dinastia caldeia.

O primeiro rei foi Nabopolosar I, a que se seguiu Nabuconosor II, que reinou 42 anos, um dos monarcas da Antiguidade que reunia excelentes dotes militares, administrativos e políticos e pelos relatos que a Bíblia dele faz acabou por se apoderar de Jerusalém. A Nabucodonosor II sucederam Amel-Marduk, Neriglissar e Labasi-Marduk, reis sem importância histórica. Seguidamente o exército babilónico entregou a realeza a Nabónedo, personalidade estranha com fortes convicções religiosas e depois Bell-Harra--Usur (Baltasar). As poucas simpatias que suscitou entre os sacerdotes babilónicos seguidores de Marduk, levaram a entregar Babilónia ao rei dos Persas, Ciro II.

Babilónia foi a mais importante de todas as cidades mesopotâmicas, tanto pelo seu prestígio político e religioso, como pela sumptuosidade das suas construções. Cidade catalogada pela Bíblia como símbolo do orgulho humano e causadora do arrasamento de Jerusalém e do exílio dos seus habitantes, tendo conhecido várias destruições ao longo da sua dilatada história.

A vista aérea das escavações arqueológicas efectuadas no sítio de Babilónia, permite distinguir à direita, o resto da muralha que protegia a cidade, e em baixo as ruínas do palácio de Nabucodonosor II. Este rei foi o mais audacioso construtor da antiguidade, não só da capital do Império, mas das grandes cidades do sul da Mesopotâmia. Palácios, templos, jardins suspensos, canais, ruas, pontes, muralhas e fortificações, fizeram reviver em Babilónia a época de esplendor de Hamurabi e tornaram-na a mais rica e a maior cidade do mundo.

A grande obra do período paleobabilónico centrou-se na reconstrução de Babilónia. A cidade tinha a forma de um rectângulo irregular rodeado de uma dupla muralha e um profundo fosso cheio de água. O Eufrates dividia a cidade em duas partes, a cidade antiga e a cidade nova, comunicando entre si através de uma ponte.

A cidade nova tinha pequenas dimensões, estava ocupada fundamentalmente por bairros residenciais, sendo abastecida de água por um canal com origem no Eufrates.

A cidade antiga continha grandes palácios, sobretudo o palácio real de Nabucodonosor II, numerosos santuários como o santuário do deus Marduk, e as instalações administrativas e oficiais. Aqui se encontrava a via processional, com origem na porta de Isthar, enorme fortificação com duas grandes torres quadrangulares e um arco central, com cerca de 12 metros de altura, decoradas com ladrilhos vidrados, representando animais sagrados, em relevo. A via processional atravessava a cidade antiga e terminava no Santuário de Marduk e no Palácio Real.

Uma parte da via processional encontra-se no Museu de Pergamo, em Berlim, estando decorada com relevos vidrados representando leões.

A porta de Isthar (580 a.C.) pertence ao Museu de Pergamo, em Berlim, a que se seguia a via processional, tudo revestido com ladrilhos vidrados e decoradas com animais sagrados.

Um leão da porta de Isthar (580 a.C.) encontra-se no Museu de Pergamo, em Berlim.

Um dragão da porta de Isthar (580 a.C.) pertence ao Museu de Pergamo, em Berlim.

Um touro da parede da via processional encontra-se no Museu do Louvre, em Paris.

Parte das paredes do salão do trono, do palácio real de Nabucodonosor II, existem no Museu de Pergamo, em Berlim, estão revestidas com mosaicos esmaltados, com temas animais e vegetais, como símbolo da vida.

O zigurate colossal conhecido pelos assírios por El-temen-na-ki (casa dos alicerces do céu e da terra), tem sido identificado com a mítica Torre de Babel, constituindo um dos mais famosos monumentos da história da arte. Tinha sete andares com mais de 90 metros de altura e uma base com 2000 metros quadrados.

Os Jardins suspensos foram construídos por Nabucodonosor II para agradar a sua mulher Amytis, filha ou neta do rei medo Astíages, para que a princesa tivesse a ilusão de viver entre a vegetação do seu país. Faziam parte do palácio real encontrando-se grandes variedades de plantas, como palmeiras, figueiras, oliveiras, salgueiros, laranjeiras, amendoeiras, romãzeiras, macieiras, entre outras.

Os Jardins suspensos eram deslumbrantes, como se pode observar numa passagem do filme *Alexandre*, de Oliver Stone.

(Comunicação apresentada à Classe de Ciências
na sessão de 22 de julho de 2010)

Duarte Pacheco e a fórmula de Mira Fernandes: "O justo equilíbrio entre a inteligência que especula e a vontade que executa"

E. R. de Arantes e Oliveira

Um dos grandes merecimentos de Alfredo Bensaúde como Director do IST foi ter sabido adaptar a Portugal o modelo estrangeiro que o inspirou.

A Escola formou assim, não um exército de técnicos normalizados, mas gerações de engenheiros extremamente diversificados a que deu garantia de qualidade.

Duarte Pacheco foi, entre todos esses engenheiros, um dos mais ilustres.

Seria errado chamar-lhe um produto típico do IST, porque ninguém houve menos típico do que ele. Foi de facto um homem verdadeiramente singular, fora de todos os esquemas.

No entanto, se não tivesse frequentado o Instituto, para onde entrou em 1917 e que o formou como engenheiro electrotécnico em 1923, dificilmente teriam desabrochado nele as extraordinárias qualidades que lhe reconhecemos.

Não me parece deslocado falar de Duarte Pacheco começando por evocar o nosso falecido confrade Mira Fernandes, seu mestre.

Foi-me contado pelo Professor Morbey Rodrigues, colaborador de Mira Fernandes no antigo Instituto Superior de Ciências Económicas e Financeiras – ISCEF, que, na manhã do dia seguinte ao do desastre que vitimou Duarte Pacheco, ao chegar à Escola, encontrou Mira Fernandes à entrada, com os olhos vermelhos de quem chorara. Num jeito muito próprio, pronunciou umas misteriosas palavras: "*Hoje, perdoo-lhe tudo, tudo…!*", o que muito preocupou Morbey Rodrigues que, não sabendo ainda o que se tinha passado, julgou que essas palavras lhe eram dirigidas, e que um tal perdão se referia a qualquer falta que ele, Morbey, teria inadvertidamente cometido.

Sem ser em si mesmo facilmente explicável, este episódio revela no entanto como foram estreitas as relações entre esses dois grandes espíritos, Mira Fernandes e Duarte Pacheco, até que algo aconteceu que veio a esfriá-las quase até ao ponto de rotura.

Duarte Pacheco foi de facto um dos discípulos dilectos de Mira e foi este quem, em Novembro de 1925, o convidou para professor interino do Instituto Superior Técnico. No ano seguinte, seria professor catedrático.

Sabe-se pouco sobre a actividade profissional de Duarte Pacheco nos dois anos que se seguiram à formatura. Foram certamente anos de formação, como assistente, sob a orientação exigente do mestre. Efectivamente, numa época em que os estudos de pós-graduação não estavam formalizados, nem em Portugal nem no resto da Europa, os docentes formavam-se individualmente, em estreita ligação com um professor.

A formação de Duarte Pacheco para professor deve ter-se iniciado antes mesmo da formatura. Nem por ter sido curta terá sido menos sólida: o mestre era excelente e o discípulo fulgurante. Este foi de resto rápido e eficaz em tudo o que fez na vida, o que não o impediu de atingir um espantoso grau de amadurecimento em muito do que empreendeu.

Escreveu o Prof. Caetano Beirão da Veiga a propósito dos talentos matemáticos de Duarte Pacheco: "Demonstrava o teorema mais complexo com a mesma naturalidade com que qualquer hábil mecânico desintegra de uma máquina as suas peças, e depois as reajusta. Quando o Duarte expunha, recebia-se a impressão de tudo ser fácil… Um dia, em que passeávamos ambos pelas ruas de Lisboa, manifestei-lhe o meu sincero espanto por essa faculdade extraordinária de compreender, num relance, as mais complexas e variadas questões de matemática e de as expor com o ar de serem banalidades correntes. Eis a sua réplica: *Então não há vocações musicais que levam certas pessoas, ignorando completamente as regras da música, a tocar em qualquer instrumento harmonias deliciosas? Se você acha que tenho essa faculdade, admita ser, talvez, um dom com que nasci e que, portanto, não tem merecimento próprio*".

O Dr. José António Madeira, seu secretário no Ministério da Instrução Pública, revelou que ele, quando Ministro desta pasta, acalentava vir a licenciar-se em Matemática na Universidade de Coimbra, uma vez terminadas as suas funções no Governo.

As suas extraordinárias qualidades pedagógicas estavam associadas, por um lado, a um admirável poder de síntese. Mas tinha outras capacidades que seduziam os alunos. O mesmo Beirão da Veiga escreveu ainda no seu depoimento: "Com aquele sorriso aberto sempre a iluminar-lhe a fisionomia insinuante, quando perante a lousa negra a sua mão nervosa e frágil impelia, em veloz carreira, o giz branco, reconhecia-se que, naquela alma privilegiada crepitava a chama intensa de um portentoso talento". Acresce que desenhava admiravelmente.

A vivacidade, a juventude, a própria mímica, contribuíram para o seu êxito pedagógico nessa formosíssima mas terrível cadeira de Matemáticas Gerais que foi martírio de inúmeros estudantes e, por consequência, de muitíssimos docentes.

Disse-me o Professor Mendes de Magalhães, seu antigo aluno, que se lembrava de o ver escrever em sucessivos quadros pretos, brandindo o ponteiro quando não escrevia. Enchia-os a todos e o contínuo limpava-os à medida que voltavam a ser necessários.

A vida afastou-o da cátedra.

Um dos depoimentos mais impressionantes que nos foi deixado a este respeito foi o do Professor Herculano de Carvalho.

Escreveu ele que, em 1936, quando Duarte Pacheco deixou pela primeira vez o cargo de Ministro das Obras Públicas e voltou ao IST, se tinha "desabituado da função docente e acostumado ao estudo doutros problemas". "O regresso à matemática foi-lhe custoso a despeito das suas excepcionais aptidões. A faculdade de expor com vivacidade, precisão e clareza, essa nunca a perdeu; mas o cultivo da matemática exige o contínuo adestramento de certa faculdade de abstracção à qual nenhuma outra actividade faz comparável apelo."

Refere ainda Herculano de Carvalho: "Pouco tempo depois, Duarte Pacheco era chamado para a presidência da Câmara Municipal de Lisboa, posto transitório para o regresso ao seu Ministério das Obras Públicas. Quando me deu parte desse convite, saíamos nós os dois do Instituto a caminho de sua casa, na Rua Fialho de Almeida. Nunca esquecerei esse nosso passeio, lento e interrompido por

inúmeras paragens, que para mim seria o último em que poderia falar com o amigo, admirado e querido, num plano de perfeito entendimento humano …. Naquela tarde era ele que sentia a necessidade de se expandir com alguém que sabia ser seu verdadeiro amigo. Através das suas palavras tomei consciência do drama que dentro dele se desenrolava e vi como, ao contrário dos que muito supunham, Duarte Pacheco sentia os serenos atractivos da vida de professor. "*Nem você calcula, disse-me por fim, a dificuldade que tive em retomar a minha vida de estudo e o cumprimento dos meus deveres de professor. Mas consegui e já me sentia inteiramente adaptado e feliz com a minha missão de ensinar. Sou agora chamado, mais uma vez, para outras coisas. Sei que não posso, nem certamente deveria, resistir, mas também sinto que o meu afastamento da Escola é desta vez definitivo. Estou liquidado como professor…* ". E abraçou-me a chorar. Quantas vezes tenho evocado esses momentos impressionantes em que me foi dado ver como o sofrimento humano pode resultar até do choque íntimo de duas altas qualidades a solicitarem para destinos diversos".

Herculano de Carvalho cita mais adiante uma elegante frase de Mira Fernandes pronunciada na abertura solene do ano lectivo no Instituto Superior Técnico em 1926, a qual definia, a seu ver, de forma admirável, o objectivo da formação numa escola de engenharia, que é o de conseguir, no espírito dos seus diplomados, "*o justo equilíbrio entre a inteligência que especula e a vontade que executa*".

Acrescenta: "Ora é justamente este equilíbrio que eu admiro na acção construtiva de Duarte Pacheco. Nada é feito antes de preconcebido e meditado. A falta de método que tinha na distribuição do tempo do seu labor pessoal dizia-lhe respeito só a ele, e não prejudicava o exame aprofundado e minucioso das questões que estudava. O que parece isolado e fruto da inspiração do momento integra-se finalmente numa obra harmónica, certamente pré-estabelecida". "Veja-se, por exemplo, a formidável projecção da cidade de Lisboa no sentido por ele iniciado com a construção do Técnico: ali se tem encontrado lugar para tudo e tudo se baseou no seu esquema, estudado há 25 anos! Claro que temos de louvar a sua intuição e a faculdade rara que possuía de ver no futuro mas, em plano mais amplo que o das rígidas classificações da filosofia, não serão essas qualidades dons excelsos da *inteligência que especula*?"

A fórmula lapidar de Mira Fernandes sugere um método para abordar o estudo da personalidade e da obra de Duarte Pacheco, se aceitarmos que, para ele, cada obra devida à *vontade que executa* foi simultaneamente um modelo que lhe alimentou a *inteligência que especula*.

Primeiro, foi a matemática e os seus esquemas abstractos, depois o professorado, depois ainda a direcção do IST. Daqui saíram duas linhas: uma, a da instrução pública que começa e rapidamente termina no Ministério respectivo; outra, a das obras públicas, em que se distinguem dois planos: o da Cidade de Lisboa e o plano nacional.

Os esquemas foram sendo cada vez mais amplos, mas o IST constituiu, como se vê, uma placa giratória para dois destinos. Foi aqui, neste lugar, que ele adquiriu as vivências e forjou instrumentos que lhe serviram em posições mais elevadas. Foi pois este o seu laboratório, o laboratório onde voltou, uma vez e outra vez, depois de ter sido ministro.

Foi talvez este o segredo duma espantosa eficiência a que tudo sacrificou: a saúde, que estava longe de ser famosa, e até mesmo a constituição de uma família.

*

O programa de Duarte Pacheco como Director do IST centrou-se nas novas instalações do Instituto.

Ainda na época de Alfredo Bensaúde, pôs-se a hipótese de levar o IST para fora do Conde Barão. Ventura Terra chegou a elaborar um projecto arquitectónico.

Foi porém Duarte Pacheco quem escolheu o local onde o IST hoje se levanta. Fê-lo muito à sua maneira, mesmo antes de ser Director. Citando mais uma vez Beirão da Veiga, "eis que se mete na Câmara Municipal de Lisboa coberto com o simples título de professor do Instituto e, de alto a baixo, esquadrinha a planta da Cidade".

Quando chegou a altura, escolheu para projectista o Arquitecto Pardal Monteiro, que viria a ser também catedrático do IST.

Confessou este mais tarde: "a comparação do programa com o custo inevitável das obras correspondentes chegou a afigurar-se ao meu espírito como bastante para tornar inviável a obra". "Convenci-me pois de que mais uma grandiosa ideia brotara em cérebro de portugueses para ter que vir a ser arrumada, passados os primeiros ímpetos, na prateleira das aspirações". "Contudo alguém a meu lado, dotado de uma fé e de uma força de vontade que até então não conhecera em ninguém, alguém para quem a palavra dificuldade parecia constituir precisamente um incentivo para vencer, queria, exigia quase, que, se necessário fosse, se inventasse a solução pela qual a obra se tornasse realizável".

De início, faltava efectivamente tudo e o edifício que Duarte Pacheco visionava, embora sem luxos, exigia quantia vultuosa que impossível seria arrancar ao Ministério das Finanças.

Pacheco imaginou então uma solução genial pela sua originalidade: adquirir terrenos com área muito mais extensa do que a necessária ao Instituto, urbanizar a zona rústica correspondente e vender as parcelas assim valorizadas para conseguir os fundos suplementares exigidos pela construção. Foi assim que a participação do Estado na construção do IST se reduziu a vinte mil contos, levantados na Caixa Geral dos Depósitos, com que se compraram várias quintas.

Pôde pois ser lançada a primeira pedra do Pavilhão Central no dia 27 de Novembro de 1929.

"Depois, diz Beirão da Veiga, veio a época das trocas, das dificuldades opostas pelos proprietários, das influências pessoais dos expropriados, da campanha dos descrentes e das insinuações dos despeitados. E ele, quase sozinho, lutou contra todas essas forças contrárias. Porém, convencendo, venceu". "Foi assim que Duarte Pacheco começou a inspirar confiança no conceito público e a ser respeitado como alguém, não somente capaz de sonhar coisas grandes, como de as realizar." Acrescenta: "Foi, desse magnífico edifício, o engenheiro que vislumbrou o conjunto, o arquitecto que discutiu a estética e o pormenor, o capataz que fiscaliza o trabalho, o pagador que liquida as férias e até o pedreiro, o pintor, o servente que maneja a pedra, prepara a tinta, coadjuva o obreiro". "No Instituto foi tudo: o cérebro e o braço, a inteligência e a acção, a força e a fé. Simultaneamente, impelia ao trabalho os operários e conciliava os desejos dos colegas; escutava as aspirações dos estudantes e tratava com os fornecedores; pensava nos assuntos pedagógicos da Escola e ajustava tarefas com os obreiros; contratava com os vizinhos, manobrava os empreiteiros e transaccionava com várias empresas; preleccionava matemática nas aulas e conferenciava com o Governo e com a Câmara para solucionar obstáculos e conquistar apoios."

Mesmo depois de ter trocado a direcção do Técnico pelo Governo, Duarte Pacheco continuou a interessar-se profundamente pela obra da Escola. Segundo o seu já citado secretário, José António Madeira, "não tinha horas certas para as suas frugais refeições. Era no entanto bastante pontual nas visitas que fazia quase diariamente às obras do novo Instituto onde nessa época se procediam aos trabalhos de terraplanagem executados por potentes escavadoras. Coberto de poeira, deixava aquele local ao escurecer, para jantar apressadamente e dirigir-se de novo, sempre no mesmo ritmo veloz, para o Terreiro do Paço, onde permanecia até às primeiras horas da manhã".

Foi em 1936, já depois de ter sido uma primeira vez Ministro das Obras Públicas, que começaram a ser utilizados os novos edifícios do IST.

*

Pressionado pelas evidentes dificuldades económicas, Pardal Monteiro procurou "tirar partido das grandes massas e do equilíbrio da composição, tentando dar a esse conjunto uma expressão de harmonia, de calma e de sobriedade que conduzisse a obter um efeito de grandiosidade arquitectural simplesmente à custa dos volumes da construção, o que é sempre incomparavelmente mais difícil que tentá-lo à custa da riqueza decorativa e ornamental".

Foi assim levado a enveredar abertamente pelos caminhos de uma estética moderna, no que foi entusiasticamente apoiado por Duarte Pacheco que, no gosto e no modo de trabalhar com arquitectos e artistas plásticos, sempre revelava uma grande cultura e extraordinária sensibilidade.

São de Duarte Pacheco as seguintes palavras: "Qualquer construção urbana é fundamentalmente um trabalho arquitectónico … e, em questões arquitectónicas, só os arquitectos têm a necessária formação cultural e aptidão profissional. Os engenheiros só devem intervir… para estudar a estabilidade da obra, os materiais de construção e outros aspectos ligados com a execução".

Segundo António Pedro Rafael, um luso-americano que, na Universidade de New Hampshire, apresentou em 1991 uma tese de mestrado sobre Duarte Pacheco, existia uma estreita relação entre este e os arquitectos. Keil do Amaral e Faria da Costa, por exemplo, que começaram as suas carreiras no princípio da década de 40, não compreendiam por que razão Duarte Pacheco os consultava tão frequentemente. Alvitravam que constituíam uma espécie de "oposição a Sua Majestade", uma oposição que impedia o Ministro de cair na auto-suficiência e na deificação.

É significativo, quanto a este ponto, que fosse Itália o país estrangeiro que mais parece ter admirado, tanto que o escolheu para passar os quatro meses da sua, aparentemente única, viagem ao estrangeiro, realizada logo após ter sido obrigado a deixar o Ministério das Obras Públicas.

*

Teve uma carreira política curta, mas espantosamente produtiva.

Chegado ao Ministério da Instrução Pública com 28 anos de idade, sem qualquer experiência de Governo, lá permaneceu durante duzentos e vinte e vinte e nove dias e se distinguiu pelos princípios que estabeleceu e pela quantidade enorme dos variadíssimos problemas que abordou e resolveu".

Embora consciente de que uma actividade legislativa frenética pode constituir uma tentação para governantes pouco experientes, e só se desculpa se, como no caso de Duarte Pacheco, for acompanhada de realizações que a justifiquem e contrabalancem, seja-me permitido considerar o número de diplomas da sua responsabilidade nos Ministérios por onde passou como um indicador para avaliar a eficiência do Ministro.

Enquanto Ministro da Instrução, assinou, segundo o seu já mencionado secretário José António Madeira, cerca de 100 decretos e portarias e outros tantos, ao sair, deixou delineados. Muitos destes diplomas resultaram de extensos e documentados relatórios e tiveram poderosa influência na ordenação de todos os tipos de ensino.

Segundo José António Madeira: "Era tal o labor dispendido que se viu na necessidade de aumentar o quadro de pessoal do seu gabinete e, mesmo assim, todos estávamos extenuados. Só o Ministro permanecia infatigável nessa vigília constante, fanaticamente absorvido nos grandiosos problemas que o

seu génio iluminado havia concebido. Vi-o passar noites inteiras numa actividade inquebrantável que a todos espantava… Aquele rapaz de 28 anos, cheio de dinamismo e flexibilidade de inteligência. Queria reformar depressa toda a instrução em Portugal, preocupando-o sobremaneira a velocidade do seu trabalho. Neste sentido não se mostrou bom psicólogo, pois naqueles primeiros tempos em que a situação política estava ainda longe da consolidação, era de aconselhar moderação para não descontentar muita gente ao mesmo tempo. A cada diploma que publicava forte reacção se formava em seu redor, convergindo uma massa enorme de descontentes que, à viva força, queriam avistar-se com ele". "Fez renascer o problema da cultura científica, nomeando uma comissão para elaborar o projecto da Junta da Educação Nacional, antecessora do actual Instituto para a Alta Cultura. A sua saída prematura do Ministério não lhe permitiu assinar esse notável diploma que constituía na época um dos maiores sonhos da sua vida. O seu plano de fomento científico era grandioso, havendo já delineado, como só ele sabia arquitectar, as receitas para essa nova e poderosa instituição".

*

Quando passou a dirigir o Ministério das Obras Públicas, possuía já alguma experiência política. Conhecia pois a importância que tem o tempo certo como factor de eficácia, bem como a necessidade de aproveitar as oportunidades e de estar assim preparado para elas.

Sabendo, como ninguém, que os Ministros hão-de ser julgados pelo que não chegaram a fazer, mais que pelo que fizeram, tinha bem a noção de que cada dia que passa representa para o Ministro, se mal aproveitado, um rol de oportunidades perdidas.

Da primeira vez em que foi Ministro das Obras Públicas, mais precisamente, das Obras Públicas e Comunicações, esteve no Governo de 5 de Julho de 1932 a 28 de Janeiro de 1936. Beirão da Veiga recordava-se de lhe ter ouvido dizer, ao entrar, que a máquina que acabava de lhe ser confiada "se encontrava descoordenada, que os serviços não tinham eficiência, e que a primeira coisa a fazer para ser possível realizar alguma obra nacional e condigna consistia em reajustar as peças eliminando-lhe as folgas".

Aperfeiçoar essa máquina foi com certeza uma das suas primeiras preocupações. Entendendo que os quadros do Estado devem ser de alta qualidade, e por isso bem remunerados, parece ter sido a alma do diploma que passou a regular as remunerações da função pública até aos anos 60. Em 1938, enquanto nas empresas privadas o vencimento de entrada para um engenheiro era de 1200 escudos por mês, no Estado entrava-se com 1600, o que permitia seleccionar rigorosamente os técnicos de que havia necessidade. Quer na Câmara Municipal de Lisboa, quer nos Correios, tanto as admissões como as promoções passaram a fazer-se por concursos públicos. Tencionava introduzir sistema semelhante nas Obras Públicas, mas não teve tempo de o fazer.

A reparação da máquina a que comparava o Ministério das Obras Públicas exigiu, durante os três anos e meio em que pela primeira vez a manejou, cerca de 600 diplomas, o que corresponde a uma média de 15 mensais.

*

O segundo período em que esteve no Ministério das Obras Públicas iniciou-se em 25 de Maio de 1938 e terminou tragicamente devido a um acidente rodoviário ocorrido a 16 de Novembro de 1943.

Durou pois cerca de quatro anos e meio, durante os quais o Ministro fez publicar 666 diplomas legislativos, isto é, uma média de 12 a 13 mensais. Presidia também, nessa época, à Comissão Administrativa da Câmara Municipal de Lisboa, lugar de onde continuava a intervir nos assuntos da Cidade.

E, no entanto, delegava pouco. Era por natureza um centralizador. Voltando a citar Beirão da Veiga: "Ele tudo via, tudo estudava, tudo ponderava. Nada onde fosse aposta a sua assinatura deixava de ter prendido a sua reflexão. E, portanto, cada decreto, portaria ou despacho, surgido nas páginas do Diário do Governo, que emanasse do Ministério das Obras Públicas era índice iniludível de trabalho, mais ou menos longo, do próprio Ministro".

Salazar deixou a seguinte apreciação: "O Ministro tinha o raro condão de adaptar a grandeza da concepção às proporções do País. Construir para um século era a divisa, porque, paradoxalmente, uma nação modesta não pode construir só para vinte anos; a excessiva e documentada duração do provisório ensinava-nos que tudo devia ser definitivo. A perfeição da obra material, e até da construção jurídica quando lhe cabia fazê-la e a realizava com a facilidade dos matemáticos para o direito, derivava da rara compleição intelectual, dessa extraordinária feição do espírito igualmente apto para as grandes linhas e para as pequenas coisas, para idear, particularizar e construir, como se a grandeza e beleza do conjunto não fossem senão o somatório ou a resultante da perfeição do pormenor. O Engenheiro Duarte Pacheco detestava as improvisações e os expedientes, como indignos da seriedade da inteligência e da gravidade do tempo. Por isso se resignava a adiar os problemas até ao seu estudo exaustivo e à sua integração no conjunto de outros problemas afins. Mas questão estudada a sério ficava definitivamente resolvida, sem que mais se viesse a sentir a necessidade de tocar na traça geral das soluções".

*

A construção das novas instalações do IST pode ser assimilada ao que hoje se chamaria um grande problema civil.

Ocorre-me citar a propósito as conclusões de uma obra publicada em França em 1987, sobre as opções estratégicas e os grandes programas civis[1]:

"Uma sociedade encontra um reflexo de si mesma no destino do que empreende. A percepção desta imagem transforma o seu comportamento, bem como a sua capacidade de agir ou de reagir. Usa-se, para qualificar este efeito, termos muito variados (como *prestígio*, *poder mobilizador*, *lugar deixado ao sonho*), cuja escolha se baseia frequentemente na intenção de enaltecer ou de denegrir. Mas a existência do efeito em questão e a sua influência sobre o dinamismo colectivo não devem ser postas em causa … Na racionalização do recurso aos grandes programas não seria lógico desprezar este elemento irracional, porque os grandes programas têm de facto contribuído eficazmente para combater a síndroma da decadência e da derrota inelutável que, no nosso País (neste caso, a França, mas podia ser Portugal) marcou toda uma geração. Ignorar esta dimensão nas análises que precedem o seu lançamento não seria pois judicioso. Naturalmente, tudo é questão de medida: fundar um grande projecto exclusivamente sobre o seu valor simbólico, sem o integrar numa estratégia coerente nem o articular com justificações objectivas, seria evidentemente excessivo. E, como se trata de um excesso ao qual o poder político, que se alimenta de símbolos, é naturalmente conduzido, o perigo é real … Mas também não é conveniente levar a juventude a sonhar o seu destino exclusivamente com base no que se passa *lá fora*, nem esperar que a balança de pagamentos do país tenha, sozinha, o poder de alimentar esses sonhos juvenis. A este respeito, o que nos parece ser a pior das atitudes, a mais execrável das acções, é a prática sistemática de denegrir".

[1] Cohendet, Patrick; Lebean, André, *Choix stratégiques et grands programmes civils*, Economica Ed., Paris, 1987

Foi o êxito que obteve no IST que lhe deu força política e fez calar os maledicentes. Por isso, o já referido luso-americano António Pedro Rafael pôde dizer: "a história de Duarte Pacheco não começou com o Estado Novo, mas começou com a sua *alma mater*, onde, aos 27 anos, superintendeu na construção de uma complexo monumental moderno, sobre uma colina de pastos e campos de semeadura".

No seu laboratório, que era o IST e as suas obras, Duarte Pacheco não se limitou a aprender a liderar trabalhos de equipa, a planear de forma integrada, a conhecer os homens que poderiam vir a dar-lhe apoio em projectos futuros.

Aprendeu mais: compreendendo o poder mobilizador dos "grandes programas", exercitou-se a promovê-los ao serviço de uma política, que era a sua, de dinamização e relançamento da própria sociedade nacional.

Informaram-me de que, da sua viagem a Itália, país de que sofreu uma influência não exclusivamente cultural, trouxe a ideia de um desses projectos: uma auto-estrada do Minho ao Algarve.

Foi claramente um "voluntarista", no sentido que deu a essa palavra Dominique Wolton[2]. Segundo este autor: "*O voluntarismo supõe uma vontade firme de reformas e a consciência de ir no bom sentido. Acompanha-o a certeza de que a opinião pública virá um dia a apoiar essas reformas. Mas elas são sempre o apanágio de uma minoria que não é forçosamente a clic tradicional, já que esta tende a preferir a gestão à inovação ou ao risco*".

Seja-nos permitido, neste ponto, chamar a atenção para a grande pureza de Duarte Pacheco como político. Cite-se mais uma vez Beirão da Veiga que escreveu: "Sempre, através da sua carreira luminosa pelas cadeiras do Poder, conservou esse feitio oposto à publicidade laudatória, às referências corriqueiras, ao reclame elogioso, ao panegírico quotidiano e grotesco que, tantas vezes, torna ridículos e escarnecidos os almejados heróis". "Um outro aspecto característico da sua contextura moral revelava-se na atitude admirável de jamais haver utilizado a força política de que dispunha, ou a influência pessoal de que gozava, em benefício próprio, da sua família ou de seus amigos. Estes eram, em respeito por tal princípio, os grandes sacrificados, pois, como César, não admitia que se lhes lançasse a menor suspeita." "Não criou, em sua volta, camarilhas servis de aduladores incontinentes, mas selectos grupos de homens inteligentes, capazes, hábeis e vigorosos trabalhadores."

As seguintes observações do mesmo autor parecem-nos extremamente reveladoras da mentalidade e da personalidade política de Duarte Pacheco: "Tinha uma religião: a Pátria. E, a Pátria, simbolizava-a o Estado. Para colaboradores não ia buscar amigos, mas sim competências, não pessoas que o servissem a ele próprio, como homem público, mas sim aqueles que, integrando-se nos vastos planos que lhe enchiam a imaginação, melhor julgava poderem servir o Estado." "As qualidades altas de destemido realizador levaram-no a não hesitar ou fraquejar perante interesses privados. O bem geral, no seu conceito de estadista, sobrepunha-se sempre a qualquer benefício ou vantagem particular do cidadão, fora este o seu mais querido amigo. Para ele existia uma única entidade com direitos incontroversos: o Estado. Perante esta entidade, por ele quase divinizada, só reconhecia obrigações." "Apegado a este férreo critério governativo, incompatibilizou-se com muitos amigos sinceros, com vários admiradores… O homem público não cedia o passo à cordialidades do homem privado. O amigo afundava-se, mas a obra prosseguia." "O seu coração não era duro, como alguns deduziam das aparências. A sua contextura moral é que se revestia de uma rijeza invulnerável."

[2] Wolton, Dominique, "*La dernière utopie: la naissance de l'Europe démocratique*", Flammarion, 1993.

Outra observação importante: "Nunca ninguém foi mais severo com o dispêndio dos dinheiros públicos".

E, finalmente, algo bastante esclarecedor sobre as suas relações com o regime político que serviu: "Se suspeitasse que, com precário fundamento em divergências ideológicas, se perpetrava um acto violento, como, por exemplo, o afastamento do serviço activo do Estado de qualquer funcionário dotado de valor efectivo, com base em vagas informações, tendenciosas ou exageradas, logo punha, em defesa da justiça, a sua inteligência, a sua influência, e até o seu prestígio político".

*

Em 15 de Novembro de 1943, o "ritmo veloz" que Duarte Pacheco impusera à sua vida pública foi quebrado na recta de Pegões, cerca de Vendas Novas. O Ministro e três colaboradores regressavam de uma sessão de trabalho em Vila Viçosa, onde haviam estudado o arranjo do largo fronteiro ao Paço Ducal. Era tarde para chegar a Lisboa a tempo de participar no Conselho de Ministros marcado para a tarde desse fatídico dia 15 de Novembro. Mas sempre apressado, e na ânsia de chegar a horas, ordenou ao motorista que imprimisse ao carro toda a velocidade. Essa ordem revelar-se-ia fatal para ele próprio, para um dos seus colaboradores e para o pobre motorista, vítimas da própria dedicação.

Quase todos os depoimentos que recolhi sobre Duarte Pacheco foram escritos para serem publicados. Podem, por tal motivo, ter perdido autenticidade como testemunhos. Pareceu-me pois ter especial interesse dar ideia da impressão que causou o acidente, e da aura que cercava o Ministro, através do diário de um colaborador próximo que não imaginava vir a ser um dos seus sucessores e não esperava que esse diário fosse dado a conhecer: o meu próprio Pai. Eis o que este escreveu:

15 de Novembro: *Cerca das 9 horas, depois do jantar (lembro-me bem, tinha completado 10 anos na antevéspera e estava sentado à mesa quando alguém chamou o meu Pai para atender uma chamada telefónica), recebi uma notícia que me chocou profundamente: num desastre de automóvel tinha morrido o Eng. Jorge Gomes de Amorim e ficado gravemente ferido o Ministro Duarte Pacheco. Os Engenheiros Carmona (chefe de gabinete) e Mesquita Lima tinham recebido ferimentos de menor gravidade. Preveniram-me de que o Ministro devia chegar ao Cais do Sodré – o desastre fora próximo de Vendas Novas – próximo das nove. Muito amigo do Eng. Amorim, chefe da Repartição dos Jardins enquanto estive na Câmara, pessoa encantadora a quem devo inúmeras amabilidades e provas de atenção e apreço, e grande admirador e amigo do Eng. Duarte Pacheco, a notícia perturbou-me muito. Fui imediatamente para o Cais do Sodré, onde me juntei ao Eng. Rodrigues de Carvalho, Presidente da CML, e a numerosas outras pessoas que, impressionadíssimas, me confirmaram que o Eng. Duarte Pacheco tinha uma perna espatifada e a outra partida. Desde logo se afigurou como certo que, na melhor das hipóteses, teria de sofrer amputação. Depois, a intervalos, foram chegando mais notícias, O Ministro vinha a caminho de Lisboa onde se preparava tudo para a intervenção cirúrgica. A ambulância parara em Águas de Moura devido, ou a pane, ou ao inquietante estado do doente. Cerca das 22h 30m dizia-se que havia dúvidas sobre se poderia ser trazido para Lisboa, devido à perda de sangue. Pouco depois das 23h o Presidente do Conselho, o Ministro do Interior e outras entidades embarcaram para Setúbal com dois médicos de nomeada, portadores de plasma para aplicação ao doente. A reacção ao plasma, a evolução do seu estado, os pormenores dolorosos do desastre, a notícia da hora da chegada do pobre Amorim, às duas horas da madrugada, outros tantos degraus da via dolorosa que percorri com amigos e admiradores dos sinistrados… As últimas notícias do Eng. Duarte Pacheco nesta triste madrugada preparam o nosso raciocínio para o inevitável. Se se salvar ficará inutilizado, horrivelmente mutilado. Para quem conhece a vivacidade e a energia deste homem excepcional, afigura-se impossível encarar a sobrevivência…*

16 de Novembro: *Deitei-me perto das 4h 30m. De manhã, soube a notícia: o Eng. Duarte Pacheco falecera às 6h 30m. Digiro esta notícia recordando sucessivamente pormenores do meu trabalho com ele. E quando os resumo e os traduzo em conclusões, constato que o considero um homem raro. Sempre pensei que ainda um dia lhe poderia mostrar a minha admiração e a minha dedicação que, nos tempos do serviço na Câmara, o meu espírito de pensar livremente, sem peias e sem subserviências, poderão ter tornado menos aparente. Dia de tragédia, este …*

17 de Novembro: *Assisti aos funerais. Impossível chegar até à Câmara Municipal. Um mar de gente em derradeira homenagem … A vida não parará. Ninguém é insubstituível. Mas em breve se começará a verificar a extensão da tremenda perda que o País sofreu.*

(Comunicação apresentada à Classe de Ciências
na sessão de 4 de novembro de 2010)

Percepção individual do risco e o problema do aquecimento global

Jorge M. Pacheco
ATP – Group, Instituto para a Investigação Interdisciplinar, P-1649-003 Lisboa Codex, Portugal
Departamento de Matemática e Aplicações, Universidade do Minho, 4710-057 Braga, Portugal
Academia de Ciências de Lisboa, R. Academia das Ciências, 19, 1249-122 Lisboa, Portugal
jmpacheco@math.uminho.pt

A preservação de um bem comum, como seja o clima, constitui um dos desafios mais importantes das sociedades modernas, exigindo uma acção coordenada à escala global. De um modo geral, problemas envolvendo acção colectiva podem ser formulados, no âmbito de teoria de jogos, como problemas de bens públicos envolvendo cooperação. Neste trabalho apresentarei uma abordagem de sistemas dinâmicos (evolutivos) para uma ampla classe de problemas de cooperação, em que a tentativa de minimizar as perdas futuras transforma o risco de fracasso numa questão central no processo de decisão. Esta abordagem mostra que, no contexto actual onde é imperativo cooperar para mitigar os efeitos adversos das alterações climáticas, decisões tomadas no seio de grupos pequenos, onde quer a percepção de risco quer os requisitos de cooperação são elevados, aumentam significativamente as oportunidades de conseguir coordenar a acção colectiva, permitindo desta forma escapar à denominada "tragédia dos comuns". Discuto ainda a que escala os problemas de bens públicos globais poderão ser resolvidos de forma mais eficaz: Em vez de cimeiras mundiais, envolvendo todos os agentes envolvidos, que, como demonstro, poderão revelar-se contra-producentes, é mais eficaz encontrar acordos locais envolvendo pequenos grupos que, cumulativamente, poderão conduzir a uma significativa acção colectiva à escala global. Finalmente, se o tamanho desses grupos exibir heterogeneiddae, o modelo aqui explorado prevê que os resultados poderão ser ainda mais favoráveis.

INTRODUÇÃO

Cooperação envolve incorrer num custo para conferir um benefício a outrem. Não cooperar significa abster-se de incorrer em qualquer custo, não conferindo, também, qualquer benefício. Em problemas de bem público (nalguns casos, como os tratados aqui, também designados por dilemas sociais de bem público), os diferentes indivíduos de um grupo poderão (ou não) cooperar; o benefício produzido com base na contribuição dos que cooperaram, é igualmente repartido por todos. Desta forma, as vantagens individuais imediatas de não cooperar, e assim não incorrer em qualquer custo, poderão sobrepor-se à vantagem de uma acção colectiva cooperadora uma vez que, desde que alguém coopere, haverá sempre uma quota-parte do bem público a receber, a custo zero. Este raciocínio simples está na base do que se observa repetidamente em experiências comportamentais, em que se constata um

rápido declínio da cooperação, conduzindo ao que comummente se designa por tragédia dos comuns [1]. Um excelente exemplo desta classe de problemas de bem público diz respeito à mitigação dos efeitos do aquecimento global, que tem sido classificado como um dos maiores dilemas de bens públicos que os seres humanos enfrentam, e aquele que a humanidade não se pode dar ao luxo de perder [2-6]. Com efeito, uma vez que o bem-estar do nosso planeta é um bem indivisível, acessível por todos, indivíduos, regiões ou nações podem optar por não cooperar, não efectuando qualquer esforço, na esperança de beneficiar dos esforços dos outros [1- 12]. Por sua vez, as nações e os seus líderes procuram encontrar colectivamente um objetivo cuja concretização não é certa, estando sujeito a um risco [13]. Este tipo de incertezas tem acontecido várias vezes ao longo da história da humanidade [14, 15], desde a caça em grupo [16,17] passando pela adopção voluntária de medidas de saúde pública [18] ou outras escolhas relacionadas com eventos futuros [19,20]. Regra geral, os investimentos ou esforços que visam a mitigação de perdas futuras vai depender de quão provável essas perdas parecem ser no presente – como se constatou em experiências comportamentais recorrendo a um jogo repetido [3] – em que a percepção do risco se revelou como uma variável incontornável ao lidar, nesse caso, com o problema das alterações climáticas. Neste trabalho, apresentarei uma abordagem evolutiva aplicável a uma ampla classe de problemas de ação coletiva em que o risco de fracasso do grupo desempenha um papel central nas decisões individuais.

MODELO

Vamos para o efeito considerar uma população de tamanho Z em que os indivíduos se envolvem em dilemas sociais de N-pessoas caracterizados por um conjunto limitado de comportamentos: Cooperar (***C***) ou Não-cooperar (***D***). Os participantes do jogo partem com uma dotação inicial b. ***Cs*** contribuem com uma fracção c da sua dotação, enquanto que os ***D***s não contribuem. Vamos requerer um investimento colectivo mínimo para garantir qualquer benefício: se um dado grupo de tamanho N não contém pelo menos M ***Cs*** (ou, de forma equivalente, um esforço coletivo Mcb), todos os participantes perderão as suas dotações (ou o que resta delas) com uma probabilidade r (o risco); caso contrário, todos os participantes mantêm o que têm. A imposição de limiares para se concretizar o bem público reflecte situações comuns à maioria dos empreendimentos públicos já mencionados, e que se estende também a dilemas de acção colectiva envolvendo não-humanos [19-21], em que é necessário um esforço mínimo combinado para alcançar um objetivo coletivo. Este é sem dúvida o caso de acordos ambientais internacionais (ver [5, 6, 11, 12] para mais detalhes), que exigem um número mínimo de ratificações para entrar em prática (ver também [3, 24, 25]).

Jogadores racionais que participem neste dilema numa única jogada vão optar por não cooperar, uma vez que ***D***s conseguem sempre um retorno maior em grupos mistos. No entanto, este raciocínio ignora as dinâmicas coletivas (envolvendo toda a população), onde um processo contínuo (e, eventualmente, de longo prazo) de revisão comportamental [9, 26] tem lugar. Para o efeito, usarei a teoria de jogos evolutiva para modelar a evolução comportamental no seio da população [9, 27-29], em que os indivíduos tendem a copiar os outros sempre que estes sejam mais bem sucedidos. Esta abordagem evolutiva permite assim a alteração dos comportamentos individuais à medida que o tempo passa, sendo que, provavelmente, esses comportamentos serão influenciados pelo comportamento (e realizações) de outros,

conforme demonstrado anteriormente no contexto de doações de bens públicos [30-32]. Por exemplo, os acordos ambientais internacionais podem ser vulneráveis a renegociações, da mesma forma que indivíduos podem acordar metas intermédias ou avaliar as consequências reais e futuras das suas escolhas ao rever a sua posição [5, 6, 9, 11-13].

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No âmbito da teoria de jogos evolutiva, a evolução no tempo da fracção x de ***C***s (e 1- x de ***D***s) numa grande população ($Z>>N$) é ditada pelo denominado gradiente de selecção $\dot{x}$ ($\mathrm{d}x/\mathrm{d}t$, a taxa de variação da fracção de ***C***s na população), associado à equação do replicador $\dot{x} = x(1-x)(f_C - f_D)$ [33-35], em que f_C (f_D) corresponde ao *fitness* dos ***C***s (***D***s), aqui associado ao payoff médio de cada tipo de jogador, correspondente ao retorno médio devido à sua participação nos dilemas de bem público (ver secção Métodos para mais detalhes técnicos do modelo).

De acordo com a equação de replicador, a fracção de ***C***s (***D***s) vai aumentar na população sempre que $\dot{x} > 0$ ($\dot{x} < 0$). A Figura 1 mostra que, na ausência de risco, $\dot{x}$ é sempre negativo, levando à extinção dos ***C***s ($x = 0$), tragédia dos comuns) independentemente da fracção inicial de ***C***s.

A presença de risco, no entanto, leva ao aparecimento de dois equilíbrios internos, tornando assim viável a cooperação: Nesta situação, tanto os ***C***s (para $x < x_L$) como os ***D***s (para $x > x_R$) estão em desvantagem evolutiva (quando em minoria, ver topo da Figura 1). A co-existência entre ***C***s e ***D***s

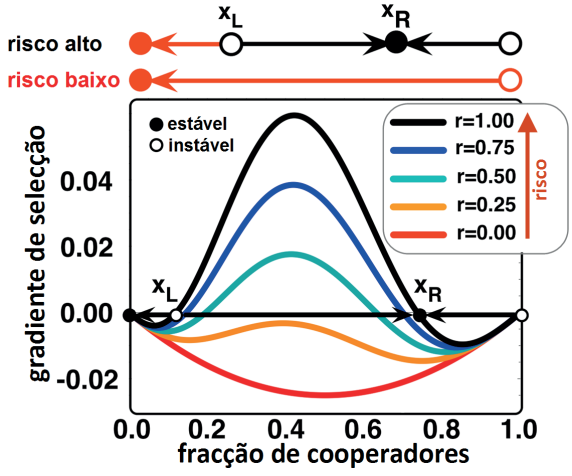


Figura 1
Gradientes de selecção para diferentes valores do risco. Para cada fracção x de ***C***s, se o gradiente de selecção $\dot{x}$ for positivo (negativo), a fracção de ***C***s tende a aumentar (diminuir). Aumentando a percepção individual do risco (r) conduz à alteração da dinâmica comportamental na população, tornando a cooperação viável, através do aparecimento de dois pontos fixos internos, um estável e outro instável (N=6, M=3 e c=0.1).

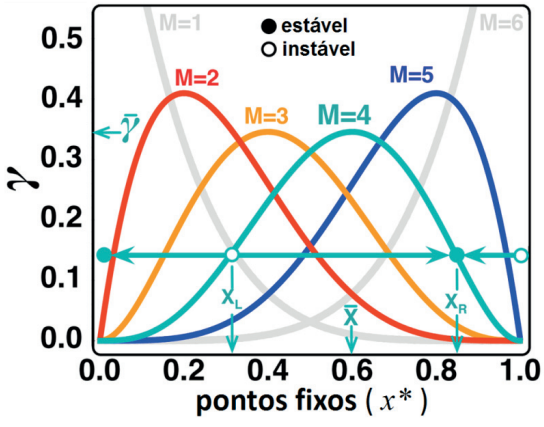


Figura 2
Raízes internas x^* de $\dot{x}$ para diferentes valores do rácio custo-risco $\gamma = c/r$, para grupos de tamanho fixo (N=6) e diferentes valores do limiar M. Para cada valor de γ podemos traçar uma linha horizontal, cuja intersecção com as curvas de $\dot{x}$ nos dão os valores de x^*, que definem os pontos fixos da equação do replicador (M=4 e γ=0.15 no caso mostrado). Círculos ocos representam pontos fixos instáveis (x_L), enquanto circulos a cheio representam pontos fixos estáveis (x_R). Quando $\gamma = \overline{\gamma}$ (cujo valor depende de M), ocorrerá apenas um ponto fixo interno para $x = \overline{x}$ (ver Métodos para mais detalhes), enquanto que para $\gamma > \overline{\gamma}$ não ocorrerá qualquer ponto fixo interno.

torna-se no entanto estável para uma composição de equilíbrio dada por x_R, cujo valor absoluto aumenta com r. Ao mesmo tempo, a coordenação colectiva torna-se mais fácil de atingir para risco elevado, uma vez que a barreira de coordenação x_L ocorre para valores cada vez mais baixos com o aumento de r.

O aparecimento de dois equilíbrios internos na presença de risco pode ser estudado analiticamente, como efectuado na secção Métodos. Na Figura 2, mostra-se a localização destes equilíbrios em função do rácio custo-risco $\gamma = c/r$, para diferentes valores do limiar de realização do bem público M. Cenários com nenhum, um e dois pontos fixos interiores são possíveis, dependendo se γ é maior, igual ou menor, respectivamente, a um valor crítico $\overline{\gamma}$ (definido na secção Métodos através de uma equação implícita).

Assim, o rácio custo-risco γ desempenha um papel central ao ditar a viabilidade de um estado de cooperação generalizada: Intuitivamente, quanto menor for a contribuição necessária, mais fácil será atingir esse estado globalmente cooperativo. Da mesma forma, quanto maior for a percepção do risco em jogo, mais fácil se torna ultrapassar este dilema de cooperação. A Figura 2 mostra também o papel desempenhado pelo limiar M: para valores fixos (e baixos) de γ, aumentar M significa maximizar a cooperação à escala global (aumento de x_R) ao mesmo tempo que se dificulta a sua própria emergência (aumento de x_L).

Na realidade, porém, as populações são finitas e, nalguns casos, podem inclusivamente ser pequenas, como em muitos empreendimentos coletivos, da caça em grupo e conflitos entre tribos, até a projectos colectivos envolvendo pequenas comunidades, ou mesmo relações macro-económicas entre nações e as já famosas cimeiras mundiais em alterações climáticas, onde o tamanho do grupo e da população são comparáveis e da ordem das poucas centenas [5, 6, 14, 15, 19, 20, 22, 23, 36].

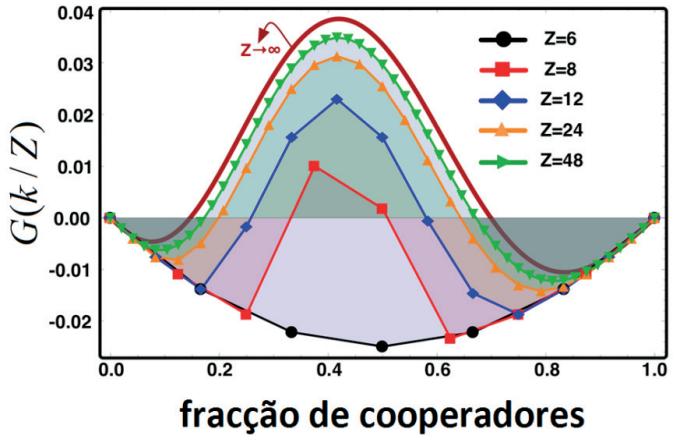


Figura 3

Gradientes de selecção para populações finitas de diferentes tamanhos. Para cada fracção κ/Z de **C**s, se o gradiente de selecção $G(\kappa/Z)$ for positivo (negativo), a fracção de **C**s tende a aumentar (diminuir). Cada linha representa $G(\kappa/Z)$ para um tamanho de grupo fixo (N=6), variando o tamanho da população, maximizando o risco (r=1). À medida que o rácio N/Z aumenta, a viabilidade da cooperação diminui. Em particular, quando N=Z, a tragédia dos comuns é inevitável e independente do risco. Num quadro de alterações climáticas, este resultado equivale a afirmar que tentar um acordo através de uma única cimeira envolvendo todos os agentes políticos será infrutífero. (N=6, M=3 e c=0.1).

Para tamanhos de população destas ordens de grandeza, os efeitos estocásticos desempenham um papel importante e a dinâmica comportamental é melhor descrita por um gradiente de selecção calculado num formalismo de populações finitas, que designaremos por $G(\kappa/Z)$ [35, 37] (e que está definido na secção Métodos, como sendo igual à diferença entre as probabilidades de aumentar e diminuir o número de **C**s de uma unidade).

Na Figura 3 ilustra-se o comportamento de $G(\kappa/Z)$ para um tamanho de grupo N constante e risco máximo (r=1), variando o tamanho da Z população. Como se constata, o rácio N/Z desempenha um papel determinante na dinâmica global: Enquanto que para $N/Z << 1$ $G(\kappa/Z)$ exibe um comportamento qualitativamente semelhante ilustrado na Figura

1, já quando N e Z são comparáveis, a emergência da cooperação é inviável, independentemente da percepção do risco. Num quadro de alterações climáticas, este resultado equivale a afirmar que tentar um acordo através de uma única cimeira envolvendo todos os agentes políticos revelar-se-á infrutífero. Apesar da simplicidade do modelo, este resultado não deixa de encontrar suporte no formato e histórico das cimeiras globais já realizadas.

Também neste contexto a distribuição estacionária [38] da população, que caracteriza a prevalência, no tempo, de uma dada composição da população, assume um papel importante. Efeitos estocásticos, por sua vez, podem ser ampliados na presença de erros de diferentes tipos (como mutações comportamentais [39] ou erros de imitação [37, 40], por exemplo). Por conseguinte, eles podem desempenhar um papel importante no comportamento colectivo ao nível da população.

Na Figura 4 são mostradas as distribuições estacionárias para diferentes valores de risco, para uma população de tamanho $Z = 50$, em que $N = 6$ e $M = 3$. A Figura 4 permite constatar que a população passa a maior parte do tempo em configurações onde prevalecem **C**s, independentemente da condição inicial. Esta é uma consequência directa dos efeitos estocásticos acima mencionados, que permitem o "tunneling" através da barreira de coordenação associada com x_L, tornando-a irrelevante por forma a que as configurações dominantes ficam associadas a populações maioritariamente cooperadoras.

Para além da percepção de risco, o tamanho do grupo também deve ser considerado, por forma a avaliar qual a melhor escala para se chegar a um estado de cooperação global. Naturalmente que atingir a cooperação à escala global poderá ser tentado a diversas escalas, desde uma escala regional até a acordos globais, como os que têm sido tentados, sem sucesso, nas cimeiras globais levadas a cabo até hoje [12, 41].

Assim, mesmo confrontado com um problema global, a sua solução pode ser tentada através da combinação de vários acordos locais. Como se pode depreender dos resultados ilustrados na Figura 3, os níveis de cooperação são mais elevados e concretizam-se para valores de risco mais baixos quando o tamanho dos grupos é pequeno comparado com o tamanho da população mesmo que, para valores de M/N mais elevados, a coordenação seja mais difícil de alcançar.

De uma forma geral, os resultados do modelo mostram que, com o aumento do tamanho do grupo, a cooperação é inibida em ambos os cenários. Quando

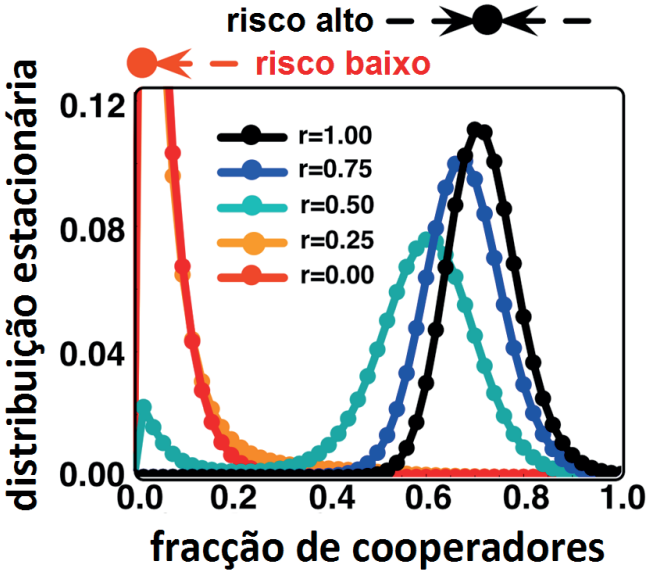


Figura 4
Distribuição estacionária que exibe a prevalência no tempo de cada configuração da população, caracterizada pela fracção k/Z de **C**s (Z=50, tendo sido incorporadas mutações comportamentais e erros de imitação). Para risco elevado, efeitos estocásticos *i*) transformam cooperação colectiva no comportamento dominante e *ii*) favorecem a ultrapassagem das barreiras de coordenação, o que torna a cooperação como um comportamento viável, independentemente da configuração inicial da população. (N=6, M=3 e c=0.1).

aplicado ao problema de controle da temperatura global, os resultados sugerem que acordos descentralizadas entre grupos menores (pequeno *N*), possivelmente com foco em questões específicas de cada região, onde o risco é alto e realização do objetivo envolve requisitos difíceis (*M* relativo elevado), pode ser preferível a cimeiras mundiais, dada a maior facilidade em aumentar a probabilidade de se chegar a um estado de cooperação global. Isto é particularmente relevante uma vez que, à presente data, a percepção coletiva do risco envolvido não é necessariamente alta, enquanto as restrições sociais, económicas e tecnológicas ainda exigem custos consideráveis de mitigação às partes envolvidas [6].

O sucesso da auto-organização da cooperação no seio de grupos pequenos, quando comparado com dilemas globais, levanta naturalmente a questão de como esses grupos devem ser organizados para maximizar as chances de cooperação. Até agora, assumimos que todos os grupos de indivíduos eram idênticos. No entanto, a dinâmica sócio-política assenta muitas vezes numa forte diversidade de papéis e posições [10]. Como discutido anteriormente no contexto de cimeiras internacionais [5], os países ou regiões fazem parte de complexas redes de alianças que se sobrepõem em parte, podendo envolver quer os vizinhos geográficos, quer outros agentes numa estrutura que transcende a geografia. Da mesma forma, a diversidade de posições geográficas, ou de configurações sociais ou políticas, significa que alguns jogadores podem desempenhar um papel central e grangear um estatuto global, dado poderem participar num maior número de "dilemas coletivos" do que outros.

O número total e o tamanho dos dilemas enfrentados por cada indivíduo pode ser visto como um resultado de uma rede complexa de interacções, onde os nodos representam indivíduos, e as ligações representam trocas, investimentos coletivos ou interesses compartilhados [28, 30, 42-50]. Como exemplificado na Figura 5, cada vizinhança de uma estrutura deste tipo pode representar um grupo com uma dimensão definida, por exemplo, pelas ligações de um dado indivíduo. Na Figura 6 mostramos o efeito de introduzir este tipo de heterogeneidade ou diversidade de tamanhos de grupo no problema em questão, comparando os gradientes de seleção em ambientes heterogéneos com os obtidos anteriormente em populações bem misturadas. Adoptamos, para o caso de populações heterogéneas, distribuições de conectividade em lei de potência, associadas a redes de interação livres de escala [51] (ver Métodos) e um *M* constante (Figura 6A) bem como um *M* variável (Figura 6B).

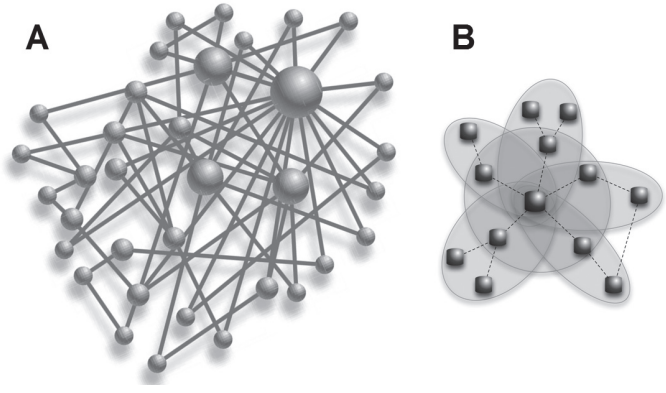


Figura 5
A. ilustração de uma rede heterogénea contendo 35 nodos, onde uma minoria destes exibe um elevado número de ligações, enquanto que a maioria tem um pequeno número de ligações. **B**. Detalhe de uma vizinhança, e da forma como a rede pode ser usada para definir grupos de tamanho *N* variável (identificado, na figura, pelas diferentes áreas sombreadas), envolvendo um indivíduo e todos os seus (por exemplo) primeiros vizinhos. De realçar que, desta forma, um indivíduo tipicamente participa em mais do que um grupo, de acordo com o que se observa na prática.

Obtemos, desta forma, uma distribuição do tamanho dos grupos e número de jogos disputados por cada jogador que seguem, eles próprios, uma lei de potência. Como mostrado na Figura 6, uma rede de contactos heterogénea muda a

localização do equilíbrio interno, sem alterar quer a natureza do jogo efectivo quer a natureza dos equilíbrios internos. No entanto, o impacto de uma tal diversidade no tipo de jogo associado com cada grupo local é considerável: Em grandes grupos a coordenação é mais fácil de atingir (*M/N* é pequeno), mas a co-existência ocorre para uma fracção menor de colaboradores; em pequenos grupos, pelo contrário, a coordenação é mais exigente (*M/N* aumenta) mas, uma vez superada, a maioria dos membros do grupo irão realmente cooperar. Assim, em ambientes heterogéneos obtém-se, numa única população, uma combinação dos diferentes cenários retratados nas figuras anteriores. A Figura 6A indica que, sempre que o risco é elevado, a introdução de diversidade de grupos contribui acima de tudo para aumentar o valor de x_R associado à configuração de equilíbrio estável, bem como um aumento (mas mais pequeno) do tamanho da bacia cooperativa de atracção. Porque a coordenação é facilmente alcançada em grandes grupos, os jogadores altamente conectados nos centros desses grupos irão adquirir um *fitness* mais elevado. Sempre que tais centros sejam ocupados por ***C***s (como já discutido em [46]), estes irão influenciar os participantes de grupos mais pequenos (a maioria) a cooperar, permitindo assim aos pequenos grupos superar os requisitos mais exigentes de coordenação. O resultado líquido é uma redução do valor de x_L na população. Uma vez ultrapassada esta barreira de coordenação, a co-existência será determinada pelo pequeno tamanho da maioria dos grupos, o que leva a uma prevalência de ***C***s em x_R. A mesma tendência mantém-se, com menos intensidade, sempre que assumimos que, em vez de um *M* fixo, um *M* variável, como mostrado na Figura 6B. Independentemente do limite escolhido, a fracção de equilíbrio de colaboradores é claramente melhorada em ambientes heterogéneos.

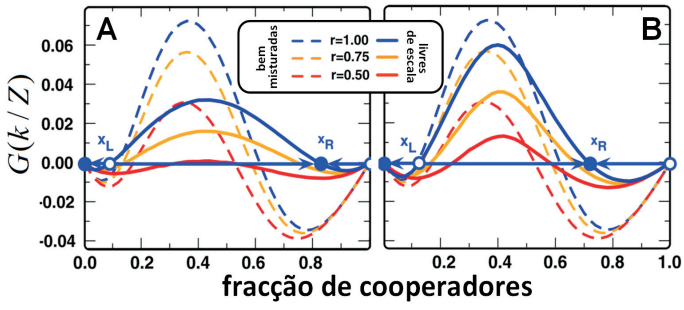


FIGURA 6

Dinâmica evolutiva em populações heterogéneas. As linhas a cheio mostram os gradientes de selecção $G(k/Z)$ para redes de interação heterogéneas (ver Figura 5) de tamanho Z e grau médio $\langle\zeta\rangle$, comparadas com os resultados obtidos para populações bem misturadas com propriedades correspondentes (linhas a tracejado). As redes exibem comportamento livre de escala (ver detalhes em Métodos) e foram criadas usando o algorítmo de crescimento e ligação preferencial de Barabási-Albert [47, 51]. Em ambos os casos o tamnho da população é Z=500, tendo-se que $\langle\zeta\rangle$=6, dando origem a grupos de tamanho médio N=7. **A**. Neste caso, mantivemos o limiar M constante e igual a 3. **B.** Neste painel mantivemos N/M constante satisfazendo a relação $M=3N/7$ assegurando o mesmo valor para o tamanho médio dos grupos na população. Comparado com o comportamento exibido em populações bem misturadas, redes heterogéneas facilitam a ultrapassagem da barreira de coordenação, conduzindo a regimes de coexistência em que a prevalência de ***C***s aumenta.

Em suma, o aumento do risco transforma um dilema em que ***C***s são sempre desvantajosos num novo dilema em que ***C***s podem prevalecer. O impacto do risco é aumentado na presença de mutações comportamentais e erros de decisão, bem como sempre que a coordenação global é tentada numa maioria de pequenos grupos sob rigorosos limiares de cooperação. A combinação de um tamanho médio pequeno para grupos com a diversidade inerente às redes de interacção melhora ainda mais as possibilidades de cooperação.

É imperativo referir que, embora o nosso modelo possa ser simples o suficiente para ser aplicado como metáfora de uma grande variedade de dilemas coletivos em que a gestão de risco desempenha um papel importante, inevitavelmente o mesmo modelo é omisso no que concerne muitas das

complexidades inerentes aos processos de decisão humana. Ao lidar com as alterações climáticas – um exemplo da classe de problemas a que esta formulação se pode aplicar – países (ou regiões ou qualquer unidade de negociação que se configure como mais apropriada) terão ao seu dispôr mais e melhor informação, o que vai condicionar o seu processo de decisão em dimensões que este modelo não consegue incorporar. Ao optarmos por limitar o comportamento dos indivíduos a escolhas binárias, estamos a ignorar todo um gradiente de contribuições possíveis por parte de quem optar por contribuir, bem como a ignorar o facto de que as expectativas de quem contribui, no que concerne os retornos esperados, podem também diferir no tempo previsto para esse mesmo retorno. Escusado será dizer que outros mecanismos [10, 29, 52-58], desde relações de parentesco (as famílias políticas) à reciprocidade (directa e indirecta), ou mesmo mecanismos de punição ou seleção a vários níveis, bem como medidas exógenas que promovam ou condicionem a aplicação e viabilidade de acordos, podem contribuir para ampliar ainda mais a janela de oportunidade para a cooperação prosperar na presença de risco.

Apesar da sua simplicidade, esta abordagem vem providenciando pistas importantes para a compreensão das complexas dinâmicas de cooperação associadas às negociações sobre mudanças climáticas e governança global, levando ao desenvolvimento de novas metodologias matemáticas e computacionais para simulação e previsão de escolhas colectivas. Em particular, para além dos resultados aqui reportados, os nossos modelos (ver, e.g., [63-68]) têm salientado o potencial de uma perspetiva policêntrica ou "bottom--up" – defendida, por exemplo, pela Prémio Nobel Elinor Ostrom – na abordagem destes problemas globais [54, 69]. Esta abordagem visa assim definir uma alternativa ao tradicional paradigma "top-down", apoiado em cimeiras mundiais, e que fracos resultados têm oferecido até ao momento. Também neste contexto temos descrito a melhor forma de desenhar sanções e instituições de monitorização [65], assim como as dinâmicas sociais e políticas criadas pela patente desigualdade de riqueza que observamos [66], e de que forma podemos tirar partido dessa diversidade para promover a cooperação internacional.

MÉTODOS

Raízes internas da equação do replicador em populações infinitas e bem misturadas. Vamos supor uma população infinita, bem misturada, com uma fracção x de ***C***s e uma fracção complementar (1-x) de ***D***s. Amostragem aleatória leva a grupos cuja composição segue uma distribuição binomial.

Assim, pode-se escrever o *fitness* médio de ***C***s (f_C) e ***D***s (f_D) como [35, 59, 60]

$$f_C = \sum_{k=0}^{N-1} \binom{N-1}{k} x^k (1-x)^{N-1-k} \Pi_C(k+1)$$

e

$$f_D = \sum_{k=0}^{N-1} \binom{N-1}{k} x^k (1-x)^{N-1-k} \Pi_D(k) \ ,$$

onde $\Pi_D(\kappa)$ ($\Pi_C(\kappa)$) são os *payoffs* de um ***D*** (***C***) num grupo de tamanho N com k ***C***s. O *payoff* de um ***D*** vale $\Pi_D(\kappa) = b\,\{\theta(\kappa - M) + (1-r)[1 - \theta(\kappa - M)]\}$, onde $\theta(x) = 0$ se $x < 0$, e $\theta(x) = 1$ nos demais casos, enquanto que o *payoff* de um ***C*** vale $\Pi_C(\kappa) = \Pi_D(\kappa) - cb$ ($0 \le c \le 1$). $M<N$ representa o limiar de coordenação [3, 35], necessária para alcançar um benefício colectivo.

Para riscos suficientemente elevados, surgem raízes internas na equação do replicador $\dot{x} = x(1-x)(f_C - f_D)$ [34] associadas às raízes de $f_C - f_D$ no intervalo aberto (0,1). A partir das equações acima podemos escrever, depois de alguma álgebra, que $f_C - f_D = b(\Gamma(x)r - c)$, onde

$$\Gamma(x) = \binom{N-1}{M-1} x^{M-1}(1-x)^{N-M} \ .$$

Definindo o rácio custo-risco como $\gamma = c/r$, o sinal de $f_C(x) - f_D(x)$ pode ser convenientemente analisado usando o polinómio $p(x,\gamma) = \Gamma(x) - \gamma$, que, por sua vez, pode ser usado para determinar o valor crítico $\overline{\gamma}$ abaixo do qual um ponto fixo interno $x^* \in (0,1)$ emerge (ver Figura 2), obtido através da solução numérica de $\dot{x}$).

Tendo em conta que

$$\frac{d\Gamma(x)}{dx} = -\binom{N-1}{M-1} x^{M-2}(1-x)^{N-M-1} s(x) \ ,$$

onde $s(x) = 1 + (N-1)x - M$, e assumindo que $N > 2$ e $1 < M < N$, temos que

$$\frac{d\Gamma(x)}{dx}$$

tem uma única raiz interna para

$$\overline{x} = \frac{M-1}{N-1} \ .$$

Além disso, *s(x)* é positiva (negativa) se $x < \bar{x}$ ($x > \bar{x}$),o que significa que Γ tem um máximo global para $x = \bar{x}$.

Assim sendo, pode-se mostrar que *a)* quando $\gamma > \overline{\gamma}$, a dinâmica evolutiva não exibe qualquer ponto fixo interno; *b)* quando $\gamma = \overline{\gamma}$, existe apenas 1 único ponto fixo interno; e finalmente *c)* quando $\gamma < \overline{\gamma}$, surgem 2 pontos fixos internos $x_L < \bar{x} < x_R$ tais que x_R é estável enquanto x_L é instável. Comecemos por provar *a)* e *b)*. Dado que Γ tem um máximo em $\bar{x}$, então $\Gamma(x) = 0$ não tem soluções para $\gamma > \overline{\gamma}$ e apenas uma em $\bar{x}$, para $\gamma = \overline{\gamma}$. Por sua vez, quando $x \to 0$ e quando $x \to 1$, $p(x,\gamma) < 0$, o que nos permite concluir que $x = 0$ é um ponto fixo estável e $x = 1$ um ponto fixo instável. Consequentemente, se $\bar{x}$ é uma raíz interna da equação do replicador, tem de ser instável. Para provar *c)*, começamos por referir que $\Gamma(0) = \Gamma(1) = 0$. Pelo sinal de *s(x)* (ver acima), $\Gamma(x)$ é claramente monótono crescente (decrescente) para a esquerda (direita) de $\bar{x}$. Logo, ocorre apenas uma única raíz x_L (x_R) no intervalo $0 < x < \bar{x}$ ($\bar{x} < x < 1$). Como $x = 0$ é estável e $x = 1$ instável, x_R tem de ser estável e x_L instável.

Dinâmica evolutiva em populações finitas, bem misturadas. Para populações finitas e bem misturadas de tamanho Z, a amostragem binomial deve ser substituída por uma amostragem hiper-geométrica (amostragem sem reposição). Como resultado, o *fitness* médio de ***D***s e ***C***s numa população com k ***C***s, escreve-se agora na forma [35, 60, 61]

$$f_D(k) = \binom{Z-1}{N-1}^{-1} \sum_{k=0}^{N-1} \binom{k}{j} \binom{Z-k-1}{N-j-1} \Pi_D(k)$$

e

$$f_C(k) = \binom{Z-1}{N-1}^{-1} \sum_{k=0}^{N-1} \binom{k-1}{j} \binom{Z-k}{N-j-1} \Pi_C(k+1) \ ,$$

respectivamente. Adoptamos um processo de *nascimento e morte* estocástico [38], combinado com uma regra de comparação entre pares de indivíduos a fim de descrever a dinâmica social dos ***C***s (e ***D***s) numa população finita. A regra de comparação de pares [37] dita que um dado indivíduo *i* seleccionado aleatoriamente adopta a estratégia de um outro indivíduo *j* da população (também seleccionado aleatoriamente) com uma probabilidade dada pela função de Fermi (de física estatística) $p \equiv \left[1 + e^{-\beta (f_j - f_i)}\right]^{-1}$. Nesta expressão, β (uma temperatura inversa em física e numericamente igual a 5 nas figuras) controla a intensidade de selecção. Quando $\beta << 1$, a selecção é fraca e o *fitness* individual não é mais do que uma pequena perturbação à deriva aleatória no espaço comportamental. Sob este regime recuperamos a equação do replicador no limite $Z \to \infty$ [37]. Para um β qualquer, a quantidade $\dot{x}$ que especifica o gradiente de selecção é substituída, em populações finitas, por

$$G(k) \equiv T^+(k) - T^-(k) = \frac{k}{Z} \frac{Z-k}{Z} \tanh\left\{\frac{\beta}{2}\left[f_C(k) - f_D(k)\right]\right\},$$

onde *k* representa o número total de ***C***s na população e

$$T^{\pm}(k) = \frac{k}{Z} \frac{Z-k}{Z} \left[1 + e^{\mp \beta \left[f_C(k) - f_D(k)\right]}\right]^{-1}$$

as probabilidades para aumentar e diminuir o número de ***C***s na população por um indivíduo em cada processo de nascimento e morte [37]. Na presença de mutações comportamentais a população nunca irá fixar-se em qualquer dos dois estados monomórficos possíveis [62]. Isto, juntamente com a natureza estocástica da dinâmica em populações finitas torna a distribuição estacionária uma importante ferramenta para analisar o comportamento da população. Em conformidade, calculamos a distribuição estacionária $P(k/Z)$ da cadeia de Markov completa com Z+1 estados, mostrado em diversas Figuras. As probabilidades que entram na matriz de transição tridiagonal $S = [p_{ij}]^T$ são definidas como $p_{k,k\pm1} = T_\mu^{\pm}(k)$ e $p_{k,k} = 1 - p_{k,k-1} - p_{k,k+1}$, onde $T_\mu^{\pm}$ são as probabilidades de transição para uma taxa de mutação arbitrária, dadas por $T_\mu^+(k) = (1-\mu)T^+(k) + \mu\,(Z-k)/Z$ para a probabilidade de aumentar o número de ***C***s de k para k+1 e $T_\mu^-(k) = (1-\mu)T^-(k) + \mu\, k/Z$ para a probabilidade de diminuir o número de ***C***s de k para k-1 [39]. As distribuições estacionárias representadas nas Figuras foram obtidas fazendo mu=0.01. A distribuição estacionária é obtida determinando o vector próprio correspondente ao valor próprio de *S* igual a 1 [38].

Dinâmica evolutiva em populações finitas e estruturadas. Os gradientes finitos de selecção para as populações estruturadas foram determinados numericamente adoptando a mesma regra de actualização estocástica definida acima [37]. Para cada distribuição aleatória k/Z de ***C***s, calculamos numericamente a probabilidade média de que cada ***C*** (***D***) imitar um ***D*** (***C***) escolhido aleatoriamente na população. Redes de escala livre de grau médio $\langle\zeta\rangle$ foram construídas de acordo com o modelo Barabási-Albert [51] de crescimento e ligação preferencial: A partir de um pequeno número de nodos m_0, em cada intervalo de tempo adiciona-se um novo nodo com grau $m = \langle\zeta\rangle/2 = m_0$. Assumindo uma probabilidade $\theta_i = \zeta_i / \sum_j \zeta_j$ de que o novo nodo será conectado a um nodo *i* existente de grau ζ_i, obtemos uma distribuição de grau em

lei de potência $d(\zeta) \propto \zeta^{-3}$ [47, 51] e, consequentemente, do tamanho dos grupos e empreendimentos coletivos em que cada indivíduo participa. $G(k)$ é obtida a partir do cálculo de todas as transições possíveis, calculando a média sobre 2×10^4 distribuições diferentes e 10 redes com estrutura em lei de potência, de tamanho Z=500 e grau médio <csi>=6. Ambas as redes de interação (homogéneas e heterogéneas) representam populações organizadas em grupos com o mesmo tamanho médio ($<\zeta>+1=<N>=7$). Por construção, o modelo Barabási-Albert impõe um tamanho mínimo de grupo de $<\zeta>/2+1=4$ [47, 51] em todas as redes livres de escala. Isto significa que, no limite de um limiar constante, a coordenação colectiva pode ser conseguida em todos os grupos para M=3.

REFERÊNCIAS

1. Hardin G (1968) The Tragedy of the Commons. *Science* 162(5364):1243-1248.
2. Dreber A & Nowak MA (2008) Gambling for global goods. *Proc Natl Acad Sci U S A* 105(7):2261-2262.
3. Milinski M, Sommerfeld RD, Krambeck HJ, Reed FA, & Marotzke J (2008) The collective-risk social dilemma and the prevention of simulated dangerous climate change. *Proc Natl Acad Sci U S A* 105(7):2291–2294.
4. Milinski M, Semmann D, Krambeck HJ, & Marotzke J (2006) Stabilizing the Earth's climate is not a losing game: Supporting evidence from public goods experiments. *Proc Natl Acad Sci U S A* 103(11):3994-3998.
5. Barrett S (2005) *Environment and statecraft: the strategy of environmental treaty-making* (Oxford University Press, USA).
6. Barrett S (2007) *Why cooperate?: the incentive to supply global public goods* (Oxford University Press, USA).
7. Olson M (1971) *The Logic of Collective Action: Public Goods and the Theory of Groups* (Harvard University Press) Revised Version Ed.
8. Kollock P (1998) Social Dilemmas: The anatomy of cooperation. *Annu. Rev. Sociol.* 24:183-214.
9. Bowles S (2006) *Microeconomics:Behavior, Institutions, and Evolution* (Princeton University Press).
10. Skyrms B (2004) *The Stag Hunt and the Evolution of Social Structure* (Cambridge University Press).
11. Barrett S (1994) Self-enforcing international environmental agreements. *Oxford Economic Papers* 46:878-894.
12. Barrett S (1998) Towards a theory of international environmental cooperation. *New directions in the economic theory of the environment*, eds Carraro C & Siniscalco D (Cambridge University Press), p 239.
13. Heal G & Kristrom B (2002) Uncertainty and climate change. *Environmental and Resource Economics* 22(1):3-39.
14. Boehm C (1999) *Hierarchy in the forest: The evolution of egalitarian behavior* (Harvard University Press).
15. Wrangham R & Peterson D (1996) *Demonic Males: Apes and the Origins of Human Violence* (Houghton Mifflin).
16. Brewer NT, *et al.* (2007) Meta-analysis of the relationship between risk perception and health behavior: the example of vaccination. *Health Psychol* 26(2):136-145.
17. Ferguson N (2007) Capturing human behaviour. *Nature* 446(7137):733.
18. Van Segbreck S, Santos FC, & Pacheco JM (2010) Adaptive contact networks change effective disease infectiousness and dynamics. *Plos Comput Bio* 6(8):e1000895.
19. Boesch C (2002) Cooperative hunting roles among Tai chimpanzees. *Human Nature-an Interdisciplinary Biosocial Perspective* 13(1):27-46.
20. Creel S & Creel NM (1995) Communal Hunting and Pack Size in African Wild Dogs, Lycaon-Pictus. *Animal Behaviour* 50:1325--1339.
21. Stander PE (1992) Cooperative Hunting in Lions – the Role of the Individual. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 29(6):445-454.
22. Alvard MS & Nolin DA (2002) Rousseau's whale Hunt?: Coordination among big-game Hunters. *Current Anthropology* 43(4):533-559.
23. Bryant J (1994) Coordination Theory, The Stag Hunt and Macroeconomics. *Problems of Coordination in Economic Activity*, ed Friedman JW (Dorcrecht:Kluwer).
24. Heal G (1993) Formation in International Environmental Agreements. *Trade, Innovation, Environment*, ed Carraro C (Dordrecht: Kluwer).
25. Black J, Levi M, & De Meza D (1993) Creating a good atmosphere: Minimum participation for tackling the'greenhouse effect'. *Economica* 60(239):281-293.

26. McGinty M (2010) International Environmental Agreements as Evolutionary Games. *Environmental and Resource Economics* 45(2):251-269.
27. Rendell L, *et al.* (2010) Why Copy Others? Insights from the Social Learning Strategies Tournament. *Science* 328:208-213.
28. Tomasello M & Call J (1997) *Primate cognition* (Oxford University Press).
29. Sigmund K, De Silva H, Traulsen A, & Hauert C (2010) Social learning promotes institutions for governing the commons. *Nature* 466(7308):861-863.
30. Fowler JH & Christakis NA (2010) Cooperative behavior cascades in human social networks. *Proc Natl Acad Sci U S A* 107(12):5334-5338.
31. Rees M, *et al.* (2009) A nonsimultaneous, extended, altruistic-donor chain. *N. Engl. J. Med.* 360(11):1096.
32. Carman KG (2003) Social infuences and the private provision of public goods: Evidence from charitable contributions in the workplace. *Discussion paper 02–13 (Stanford Institute for Economic Policy Research, Stanford, CA).*
33. Hofbauer J & Sigmund K (1998) *Evolutionary Games and Population Dynamics* (Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK).
34. Sigmund K (2010) *The Calculus of Selfishness* (Princeton University Press).
35. Pacheco JM, Santos FC, Souza MO, & Skyrms B (2009) Evolutionary dynamics of collective action in N-person stag hunt dilemmas. *Proc Biol Sci* 276(1655):315-321.
36. Jervis R (1978) Cooperation Under the Security Dilemma *World Politics* 30:167-214.
37. Traulsen A, Nowak MA, & Pacheco JM (2006) Stochastic dynamics of invasion and fixation. *Phys Rev E* 74:011909.
38. Karlin S & Taylor HMA (1975) *A first course in Stochastic Processes* (Academic, London) 2nd edition Ed.
39. Traulsen A, Hauert C, De Silva H, Nowak MA, & Sigmund K (2009) Exploration dynamics in evolutionary games. *Proc Natl Acad Sci U S A* 106(3):709-712.
40. Traulsen A, Pacheco JM, & Nowak MA (2007) Pairwise comparison and selection temperature in evolutionary game dynamics. *J Theor Biol* 246(3):522-529.
41. Asheim G, Froyn C, Hovi J, & Menz F (2006) Regional versus global cooperation for climate control. *Journal of Environmental Economics and Management* 51(1):93-109.
42. Lazer D, *et al.* (2009) Computational social science. *Science* 323(5915):721-723.
43. Amaral LA, Scala A, Barthelemy M, & Stanley HE (2000) Classes of small-world networks. *Proc Natl Acad Sci U S A* 97(21):11149--11152.
44. Buchanan M (2003) *Nexus: Small worlds and the groundbreaking science of networks* (WW Norton & Company).
45. Santos FC, Pacheco JM, & Lenaerts T (2006) Evolutionary dynamics of social dilemmas in structured heterogeneous populations. *Proc Natl Acad Sci U S A* 103(9):3490-3494.
46. Santos FC, Santos MD, & Pacheco JM (2008) Social diversity promotes the emergence of cooperation in public goods games. *Nature* 454(7201):213-216.
47. Dorogovtsev SN (2010) *Lectures on Complex Networks* (Oxford University Press, Oxford).
48. Barrat A, Barthelemy M, & Vespignani A (2008) *Dynamical processes in complex networks.* (Cambridge University Press, Cambridge).
49. Szabó G & Fáth G (2007) Evolutionary games on graphs. *Phys Rep* 446(4-6):97-216.
50. Santos FC, Rodrigues JF, & Pacheco JM (2005) Epidemic spreading and cooperation dynamics on homogeneous small-world networks. *Phys Rev E* 72:056128.
51. Barabási AL & Albert R (1999) Emergence of scaling in random networks. *Science* 286(5439):509-512.
52. Hamilton WD (1964) The genetical evolution of social behaviour. I. *J Theor Biol* 7(1):1-16.
53. Wilson DS (1975) A theory of group selection. *Proc Natl Acad Sci U S A* 72(1):143-146.
54. Ostrom E (1990) *Governing the commons: The evolution of institutions for collective action* (Cambridge Univ. Press).
55. Fehr E & Gachter S (2000) Cooperation and punishment in public good experiments. *Am Econ Rev* 90:980-994.
56. Milinski M, Semmann D, & Krambeck HJ (2002) Reputation helps solve the 'tragedy of the commons'. *Nature* 415(6870):424--426.
57. Nowak MA (2006) Five rules for the evolution of cooperation. *Science* 314(5805):1560-1563.
58. West SA, Griffin AA, & Gardner A (2007) Evolutionary Explanations for Cooperation. *Current Biology* 17: R661–R672.
59. Hauert C, Michor F, Nowak MA, & Doebeli M (2006) Synergy and discounting of cooperation in social dilemmas. *J Theor Biol*:195-202.
60. Souza MO, Pacheco JM, & Santos FC (2009) Evolution of Cooperation under N-person Snowdrift Games. *J Theor Biol* 260(4):581-588.

61. Hauert C, Traulsen A, Brandt H, Nowak MA, & Sigmund K (2007) Via Freedom to Coercion: The Emergence of Costly Punishment. *Science* 316:1905-1907.
62. Nowak MA, Sasaki A, Taylor C, & Fudenberg D (2004) Emergence of cooperation and evolutionary stability in finite populations. *Nature* 428(6983):646-650.
63. Santos FC, & Pacheco JM (2011) Risk of collective failure provides an escape from the tragedy of the commons, *Proc Natl Acad Sci USA* 108 (26) 10421-10425.
64. Santos FC, Vasconcelos VV, Santos MD, Neves PNB, & Pacheco JM (2012) Evolutionary dynamics of climate change under collective-risk dilemmas. *Math Models Methods Appl Sci* 22(supp01):1140004.
65. Vasconcelos VV, Santos FC, & Pacheco JM (2013) A bottom-up institutional approach to cooperative governance of risky commons. *Nat Clim Change* 3:797–801.
66. Vasconcelos VV, Santos FC, Pacheco JM, & Levin SA (2014) Climate policies under wealth inequality. *Proc Natl Acad Sci USA* 111(6):2212–6.
67. Pacheco JM, Vasconcelos VV, & Santos FC (2014) Climate change governance, cooperation and self-organization. *Phys Life Rev* 11:573–86.
68. Vasconcelos VV, Santos FC, & Pacheco JM (2015) Cooperation dynamics of polycentric climate governance. *Math Models Methods Appl Sci* (in press).
69. Ostrom E (2009) A polycentric approach for coping with climate change. *Policy research working paper, background paper to the 2010 World Development Report* WPS5095 2009.

(Comunicação apresentada à Classe de Ciências
na sessão de 18 de novembro de 2010)

Anatomia artística na Mesopotâmia II

Assíria

J. A. Esperança Pina[1]

ASSÍRIA (1500 E 612 A.C.)

O norte da Mesopotâmia era formado por um amplo território limitado a este, pelos montes Zagros e pelo lago Urmia, a norte pelo lago Van e as montanhas e mesetas do Kurdistão, e a oeste pelo rio Kabur afluente do Eufrates. Mais tarde, como consequência da importância política alcançada pela cidade de Assur, aquele território passou a chamar-se Assíria, "terra de Assur". A Assíria transformou-se no grande Império Assírio, cujos limites territoriais se foram ampliando.

PALEOASSÍRIA (IMPÉRIO ASSÍRIO ANTIGO) (1900-1780 A.C.)

A Paleoassíria, o Império Assírio Antigo, iniciou-se após os mais antigos dirigentes assírios, governarem um povo que se encontrava na Alta Mesopotâmia, vivendo em tendas, num urbanismo difuso, controlando as rotas comerciais em ligação com a Anatólia. O papel comercial que desempenharam na configuração política da Assíria e na disparidade funcional dos seus principais centros, Assur como sede da actividade comercial, e Ninive, como centro da actividade agrícola.

Depois de diversos reis, Puzur-Assur I aproveitou a queda de Ur para criar as bases da Paleoassíria, o Império Assírio Antigo, tendo Erishum I consolidado o poder. Criou centros comerciais, como o famoso "karum" de Kanesh, com o objectivo de exportar tecidos e estanho, em troca de prata e ouro, para se poderem desenvolver os sistemas de crédito e de taxas.

Shamshi-Adad I, um rei amorreu, foi o fundador da Palioassíria, o Império Assírio Antigo, aumentando o território assírio e organizou-o administrativamente. Sucedeu no trono o seu filho, Ishme-Dagan I, que passou a submeter-se à Babilónia de Hammurabi, deixando de controlar o território recebido de seu pai. Mais tarde, Adasi iniciou um período difícil de governação devido a ameaças de povos montanheses vizinhos, sobretudo dos hurritas de Mitanni, acabando com a independência da Assíria durante quatro séculos.

No centro comercial "karum" de Kanissh encontraram-se vestígios de edifícios, onde habitavam mercadores assírios, que faziam o comércio de escravos, camelos e outras mercadorias.

Nesta tabuinha com um texto assírio referente ao centro comercial "karum" de Kanish (1900 a.C.), pertencente ao Museu do Louvre, em Paris, transcreve um contracto comercial.

[1] Membro Efectivo da Academia das Ciências de Lisboa. Professor Catedrático Jubilado da Faculdade de Ciências Médicas da U.N.L. Professor Catedrático da Faculdade de Direito de Lisboa da U.C.P. Ex-Reitor da Universidade Nova de Lisboa.

MESOASSÍRIA (IMPÉRIO ASSÍRIO MÉDIO) (1365-1077 A.C)

A Mesoassíria iniciou-se com Assur-Uballit I, em 1365 a.C., e teve a duração de 288 anos.

Assur-uballit I libertou-se da opressão hurrita e até conquistou uma parte do Estado de Mitanni. Com Tukulti-Ninurta I a Assíria conheceu os dias de maior esplendor, estabelecendo o poder até ao sul da Mesopotâmia, derrotando uma coligação de quarenta reis. Tiglat-Pileser II realizou guerras ferozes, em nome do deus Assur, que terminavam com a deportação dos povos vencidos, sujeitos a grandes suplícios. Com os seus exércitos atingiu o mar Negro a norte, o Mediterrâneo a oeste e Babilónia a sul. Após a sua morte, sucederam-se períodos históricos muito complexos, com alternância política.

A arte na Mesoassíria não é representativa, pelos poucos exemplares existentes, mas também pela sua dependência aos hurritas e sírios.

O pedestal de Tukulti-ninurta I encontram-se no Museu de Pergamo, em Berlim (1244-1208 a.C.), representa o rei nas suas obrigações rituais.

O rosto feminino (1300 a.C.), um cozimento de ingredientes com que se fabrica vidro, procedente de Tell el-Rimah, pertence ao Museu do Iraque, em Bagdad. As decorações imitam jóias, os olhos são enormes, as pupilas incrustadas e as tranças caem sobre os ombros.

NEOASSÍRIA (IMPÉRIO ASSÍRIO NOVO) (934-612 A.C)

A Neoassíria, o Império Assírio Novo, caracterizou-se pelas vitórias militares, com base na forte personalidade dos seus soberanos e o espírito belicoso dos exércitos. Sargão II e seus descendentes revelaram o génio da guerra, unido a uma indomável energia e impiedosa crueldade característica dos guerreiros assírios. Jamais povo algum exerceu de forma tão implacável o direito de vitória. Os prisioneiros eram torturados, os olhos vazados, as deportações em massa, e as pilhagens eram feitas sistematicamente. A força dos exércitos residia numa infantaria de camponeses sóbrios e vigorosos, bravos por natureza e acostumados a uma disciplina férrea. Havia ainda os carros de guerra e mais tarde a cavalaria. A engenharia militar teve também papel importante nas vitórias assírias.

A Assíria depois de reinados críticos com pouca relevância histórica, voltou a recuperar o seu prestígio com Neoassíria, o Império Assírio Novo, com Assur-Dan II, o primeiro rei e com Adad-Dan II. Seria o poderoso Assurnasipal II que transformou novamente a Assíria com grande poder e riqueza, obtidas em virtude das campanhas militares, sobretudo contra cidades fenícias e estados amorreus, tendo estabelecido a capital do reino em Kalah (Nimrud).

Salmansar III travou diversas batalhas tendo sofrido algumas derrotas e com os reis seguintes debilitaram o Império.

Foi com Tiglat-Pileser III que Assíria voltou a atingir o prestígio perdido. Salmanasar V governou também em Babilónia, sendo destronado num golpe de estado por seu irmão Sargão II.

Sargão II marca o início do apogeu do Império Assírio e que durou mais de um século, sendo conhecido por época sargónida, uma época de esplendor, motivada pelo poderoso exército assírio, com uma forte cavalaria e a grande personalidade dos seus reis.

Senaquerib, filho de Sargão II, teve de enfrentar a nobreza e o clero, pelo que transferiu a capital para Ninive, que converteu num grande centro artístico, tendo destruído Babilónia e atacado o Egipto, mas

sem sucesso. Foi assassinado por alguns dos seus filhos, iniciando-se uma guerra civil vencida pelo filho Assarhaddon.

Assarhaddon, com grande energia reprimiu diversas revoltas ameaçadoras do Império. Atacou o Egipto e tomou Mênfis. Restaurou Babilónia e outras cidades mesepotâmicas, além de realizar diversas edificações na Assíria.

Assurbanipal, filho de Assarhaddon, reinou cerca de 40 anos e foi o último dos grandes reis assírios. Seus exércitos conquistaram o Egipto, alcançaram Tebas que foi saqueada. Em Babilónia uma revolta é reprimida a ferro e fogo, Elan é devastada e Susa arrasada.

Em 700 a.C. a Neoassíria iniciou a decadência, com numerosas guerras civis e com os povos submetidos a vassalagem começarem a sublevar-se.

Finalmente, Nabopolossar príncipe de Babilónia e Ciaxares, rei dos Medos, atacam Ninive e o poderoso Império Assírio Novo sucumbe definitivamente, em 612 a.C.

A arte assíria encontra-se apenas representada na Neoassiria ou Império Assírio Novo. A arte diferenciou-se da restante arte mesopotâmica, pela influência dos vários povos que habitaram o seu território, entre os quais, hurritas, hititas, arameus e fenícios. Tal variedade de povos influenciou, logicamente, a concepção artística da Assíria, criando assim uma arte com personalidade igurate, mas, ao mesmo tempo, pessoal e inconfundível.

A estátua de Assurnasirpal II (883-859 a.C.), em alabastro, procedente de Ninrud, existe no Museu Britânico, em Londres. O rei apresenta-se com um vestimento ajustado ao corpo, segurando na mão esquerda uma arma curvilínea, típica dos deuses. O estatismo e os lábios unidos transmitem a sua impassibilidade.

Os feitos militares de Sargão II foram encontrados numa pedra gravada, procedente do Palácio de Khorsabad, existente no Museu do Iraque, em Bagdad, sendo de salientar: a destruição do reino de Israel com a tomada de Samaria e o cativeiro de milhares de habitantes, a vitória sobre uma coligação do Egipto e príncipes sírios, a submissão de grande parte da Mesepotâmia e a ocupação da ilha de Chipre. Todos os territórios conquistados proporcionaram-lhe fabulosas riquezas, com as quais construiu a cidade de Dur-Sharrukin (Khorsabad), onde edificou os maiores palácios da Assíria.

O obelisco negro de Salmanasar III (858-824 a.C.) encontra-se no Museu Britânico, em Londres, tendo sido encontrado nas ruínas do palácio de Kalakh (Nimrud).

O obelisco perfeitamente conservado é negro pela cor do alabastro com cerca de 3 metros de altura. Apresenta em cada um dos quatro lados, cinco rectângulos com relevos, no total de vinte, representado cenas de vassalagem de diversos reis e a entrega de pesados tributos (barras de metal, marfim, madeira, objectos manufacturados, animais domésticos ou selvagens, entre outros).

A leitura dos cinco rectângulos deve ser feita horizontalmente de cima para baixo, sendo cinco sequências, acompanhadas de um texto explicativo que as identifica perfeitamente. A parte superior do obelisco negro, em forma de torre escalonada, está coberta com as campanhas dos primeiros 31 anos do rei. Esta magnífica obra de arte talhada num baixo-relevo muito liso, encontrava-se provavelmente na sala de audiências do palácio de Kalakh (Nimrud), servindo de propaganda e auto-elogio do rei.

O obelisco negro de Salmanasar III relata episódios de vassalagem e entrega de tributos pelos povos vencidos. Cada personagem apresenta a sua própria psicologia. Aparentemente, os figurantes são todos iguais, mas observando com atenção, cada um tem a sua própria natureza, forma e expressão.

A submissão do príncipe Sua de Gilzana.
A entrega de produtos e armas de Gilzana.
Os cavalos como tributos de Gilzana.
A entrega de camelos de Gilzana.
A submissão do israelita Jehú.
O tributo em ouro, prata e outros produtos de Israel.
A entrega de manufacturas israelitas.
O tributo de jarros, cálices metálicos e armas de Israel.
A entrega de camelos do país de Musri.
Um macaco e um cinocéfalo como tributos de Musri.
Um búfalo, um unicórnio e um antílope como tributos de Musri.
Elefante e macacos, tributos de Musri.
Tributo de animais selvagens do país de Sukhu.
Armas, marfim e objectos metálicos de Sukhu.
O tributo de roupagens e de tecidos em linho de Sukhu.
Armas, marfins e outros produtos de Sukhu.
O tributo de vasilhas e armas de Sukhu.
Cobre, estanho e madeira como tributo de Khattin.
Marfim, prata e ouro do país Khattin.
A entrega de minerais metálicos de Khattin.

A escultura na Neoassíria com boa qualidade encontra-se apenas na estátua da deusa Ishtar, e nas estátuas de Assurnarsipal II, de Salmansar III e de Sargão II, o grande.

A estátua da deusa Ishtar (1100 a.C.), proveniente de Assur, encontra-se no Museu Britânico, em Londres. É a primeira estátua conhecida do período Neoassírio. Está decapitada, nua, com correctas proporções anatómicas, no corpo, pernas e braços. Ishtar, a Vénus de Babilónia, transforma-se na Assíria a deusa da guerra, mas não se apresenta com armadura e com uma arma.

Assurnasirpal II (900 a.C.), proveniente do palácio de Kalakh (Nimrud), pertence ao Museu Britânico, em Londres. O rei em corpo inteiro parece surpreendido, levando na mão esquerda um bastão curvilíneo.

Salamansar III em pé com uma tiara (900 a.C.), proveniente de Assur, encontra-se no Museu Arqueológico, em Istambul, parece esperar impassível, o veredicto do deus.

Os touros alados pertencem ao Museu Britânico, em Londres, flanqueavam as entradas do palácio de Assurnasirpal, em Kalakh (Nimrud). Os touros têm cabeça humana barbada, com dois ou três pares de cornos, corpo e cinco patas de touro e grandes asas de águia. O touro simbolizava a força e as grandes asas de águia, pendentes, indicavam a possibilidade destes monstros poderem voar. O corpo de touro apresenta-se revestido de escamas. A cabeça com os olhos em êxtase, com fácies humana, mas com uma expressão animal. Estes monstros, incorruptos, magníficos são guardas que protegem o seu rei.

Geralmente, os touros alados assírios estão aos pares, um de cada lado da porta, olhando para a frente, a observar o que se passa. Pode encontrar-se um terceiro touro, situado na parede da fachada, com a cabeça voltada para observar quem chega.

O touro androcefalo alado, do palácio de Dur-Sharrukin (Korsabad), encontra-se no Museu do Louvre, em Paris, tem cinco patas, sendo três anteriores, para não dar o efeito de um monstro defeituoso ou mutilado, quando é observado de lado.

A arquitectura é constituída por cidades monumentais, com templos e palácios com as fachadas e as salas cobertas de baixos-relevos. A cidade de Kalakh (Nimrud) com o palácio de Kalakh do rei Assurnasirpal II. A cidade de Dur-Sharrukin (Korsabad), com o palácio de Dur-Sharrukin do rei Sargão II. A cidade de Ninive, com o palácio de Senequerib do rei Senequerib e o palácio de Asurbanipal do rei Asurbanipal.

O período de maior esplendor artístico da Neoassíria ou Império Assírio Novo está centrado nos reinados de Assurnasirpal II, Sargão II, o grande, Senaquerib e Assurbanipal.

Os neoassírios empregaram o tijolo como os sumérios, mas revestiam as passagens das entradas e a parte inferior das paredes das salas principais com grandes placas de pedra, onde esculpiam baixos--relevos. Devem ter sido inspirados pelos hititas, sendo destinados a impressionar os visitantes, como imagem do poder e majestade reais.

O palácio de Kalakh em Nimrud foi construído por Assurnasirpal II, onde estabeleceu a sua residência. Situava-se na parte central do Tigre, a sul de Assur, sendo o primeiro palácio permanente, visto que até aqui as residências reais duravam os anos de vida do seu construtor, passando depois da morte, a serem abandonadas pelo novo rei, sendo utilizadas como oficinas, armazéns ou prisões.

O palácio de Kalakh em Nimrud tinha um núcleo central destinado à corte, apresentando um pátio interior, salão do trono, e sala de recepções; uma zona destinada aos aposentos do rei e altos signatários; e uma zona extensa para a administração e chancelaria.

Os baixos-relevos do palácio de Kalakh em Nimrud, existentes no Museu Britânico, em Londres, representam a glorificação de Assurnasirpal II, em ofertórios aos deuses, campanhas militares e caçadas. As paredes das salas e corredores estavam revestidas com baixos-relevos, mostrando ofertórios feitos aos deuses.

Um eunuco faz o ofertório de um amuleto.

Assurnarsipal II alado com um ramo na mão direita e uma arma na mão esquerda.

Assurnarsipal II assiste descalço, com devoção a uma cerimónia religiosa, vestindo uma sumptuosa túnica.

Assurnarsirpal II, vestido com manto real com turbante e um par de asas postiças, fazendo parte da indumentária dos sacrifícios, apresentando um cabrito e uma espiga.

Assurnarsirpal II está representado com o seu vizir, em pé, com uma taça de líquido sacramental na mão direita, levantada num ofertório aos deuses, enquanto o acólito sustenta uma arma.

Assurnarsirpal II, com turbante na cabeça e apoiado num arco, está orando. Atrás um sacerdote, com as asas litúrgicas aspergindo o rei com líquido sagrado. O sacerdote leva na cabeça a tiara de duplos cornos.

Assurnarsirpal II no seu carro de guerra com os cavalos galopando, mostra o movimento com as patas dianteiras levantadas.

Assurnarsipal II no seu carro de guerra chefiando soldados de infantaria, com os cavalos a passo mostrando as quatro patas tocando o chão.

Assurnarsipal II protegido por um escudeiro lança flechas. Atrás, o vizir e um eunuco escoltam o arqueiro real. Aparecem torres da cidade cercada e uma máquina de guerra que golpeia as muralhas da cidade cercada.

O Vizir transporta prisioneiros com alta categoria para serem levados à presença de Assurnarsirpal II.

Cenas de navegação fluvial com os peixes representados por transparência, enquanto os soldados arrastam troncos de madeira para construções.

Assurnasirpal II atacado por um touro, enquanto outro já caído é pisado pelos cavalos do carro real.

O palácio de Dur-Sharrukin em Korsabad foi construído por Sargão II, o grande, a 30Km a norte de Mossul.

O palácio de Dur-Sharrukin em Korsabad de Sargão II, estendia-se numa superfície de 10 hectares, estava situado numa elevação e organizava-se em volta de três pátios com grandes proporções. Rodeando os dois pátios maiores encontravam-se as dependências privadas da família real, as câmaras de recepção, os grandes salões, o salão do trono; no terceiro pátio encontrava-se o núcleo da parte religiosa, com as capelas do palácio e o grande "igurate".

Sargão II (800 a.C.), existente no Museu Egípcio, em Turim, mostra uma capacidade expressiva conservando uma herática rigidez e um tocado tronco-cónico próprio das cerimónias religiosas.

Os baixos-relevos do palácio de Dur-Sharrukin, em Korsabad (800 a.C.) pertencentes ao Museu do Louvre, em Paris, são os relevos anatómicos, com melhor proporção e naturalidade, na vida privada do rei, cenas militares, e o cavalo utilizado nos carros de guerra.

Sargão II transporta um cabrito-montês.

Sargão II caça falcões com arco.

O desfile militar da guarda real de Sargão II permite manter o mesmo ritmo de movimentos em todos os militares.

Numa fila, seis soldados uniformizados, três descalços e três calçados, marcham, cantam e batem palmas. Os soldados calçados devem ser arameos ou hititas, porque em vez do corte de cabelo raso, têm uma trança dobrada. Sargão II manteve os hábitos das povoações locais.

Os cavalos eram tributos entregues a Sargão II. Utilizavam-se com fins militares, atrelando-os em caros de duas rodas, sendo estes carros de combate, com archeiro, cocheiro e escudeiro. Foi com estes carros de guerra que Assíria conseguiu a superioridade militar.

Os cavalos brancos eram animais consagrados a Ishtar, a deusa da guerra, e em ofertórios colocados aos pés do deus Assur. Os cavalos apresentam-se com aspecto tranquilo, parecendo confiar inteiramente na protecção do seu amo, sendo de salientar os músculos e as veias superficiais.

O palácio de Senaquerib em Kuyunjiko (Ninive) foi construído por Senaquerib, filho de Sargão II, sendo o terceiro grande conjunto arquitectónico do mundo assírio, com uma muralha de 15 portas.

Assurbanipal II, uns anos mais tarde ampliou a cidade e embelezou-a ainda mais, observando-se uma parte da muralha da cidade de Ninive.

Ninive rodeada por muralhas era uma cidade, com dependências militares, templos, parques e jardins. Nesta cidadela encontrava-se o palácio de Senaquerib e o palácio de Assurbanipal, revestidos por espectaculares baixos-relevos, ambos com extensas áreas ajardinadas, e os templos de Ishtar e de Nabu.

Os baixos-relevos do palácio de Senaquerib em Kuyunjiko (Ninive) mostram em pormenor as campanhas militares de Senaquerib, na Babilónia e na Palestina, realçando pormenores como a flora e a fauna.

O baixo-relevo representa o acampamento de Senequerib, diante de uma cidade sitiada, e no interior da tenda real, vê-se um criado fazendo a cama do rei, e este dando ordens a um escudeiro armado, encontra-se no Museu de Pergamo, em Berlim.

O baixo-relevo representando os assírios perseguindo os fugitivos até alcançarem um lago, observam-se palmeiras e peixes, com cadáveres de homens e cavalos a flutuarem no pântano e por terra corpos chacinados, encontra-se no Museu do Louvre, em Paris.

O baixo-relevo representa guerreiros a escalar muralhas, encontra-se no Museu do Louvre, em Paris.

O baixo-relevo representa mulheres e crianças palestinianas prisioneiros, caminhando para o desterro escoltados por militares, encontra-se no Museu Britânico, em Londres.

O palácio de Asurbanipal em Ninive foi construído pelo rei Asurbanipal.

Os baixos-relevos existentes no Museu Britânico, em Londres, provenientes de palácio de Asurbanipal, em Ninive, mostram em pormenor as lutas na guerra contra o Elan, bem como as caçadas aos leões, um dos pontos mais altos da arte universal.

O combate entre os Assírios e o Elan.

Os combates realizado nos pântanos.

Os prisioneiros executados, massacrados e mulheres e crianças, caminhando para o exílio.

Assurbanipal II a cavalo luta com um leão.

Assurbanipal II caçando no seu carro, apontando uma flecha a um leão que investe, enquanto os cavalos e o carro passam sobre outro leão.

O leão ferido com quatro flechas.

A leoa ferida com três flechas. A imobilização resultou de lesões que atingiram a medula espinhal. O animal ainda tem força para manter estendidas as patas anteriores, enquanto as patas posteriores já estão paralisadas.

A leoa com uma hemoptise resultante de uma flecha que lhe perfurou os pulmões.

Os leões não aparecem facilmente em campo aberto, pelo que eram apanhados e enjaulados, durante dias ou meses, para depois serem libertadas e depois caçados.

A leoa domesticada dorme à sombra de uma palmeira, com os membros estendidos, mostrando o animal em repouso, contrastando com os leões perseguidos e feridos nas caçadas.

Os servidores conduzem um leão morto a Asurbanipal II.

Asurbanipal II derramando sobre um leão, um líquido sagrado em honra de uma divindade.

Os bronzes do reinado de Salmanasar confirmam a perícia dos artesãos.

Nos relevos das portas de Balawat, existentes no Museu Britânico, em Londres, a arte neoassíria consegue a sua máxima eficácia para relatar episódios da política, e da guerra. As cenas das batalhas apresentam movimentos em que as personagens não são figuras independentes, mas transmitem a fúria do combate.

O exército de Salmanasar III marcha com dificuldade num terreno montanhoso.

Os carros de guerra assírios transportavam o condutor, que conduzia o carro, e o archeiro disparando sem a protecção de um escudeiro. Era uma operação perigosa pois estavam expostos a serem atingidos pelas flechas do inimigo.

No campo de batalha podem observar-se cargas ferozes, demonstrando aos inimigos da Assíria indefesos, um exército organizado com boas armas ofensivas e defensivas. Os inimigos caídos são atropelados, alguns tentam empurrar os cavalos, outros atiram-se ao chão para escaparem às flechas atiradas pelos archeiros.

O rei de Hama da Síria, ancião ou doente, deitado na cama dirige a defesa da cidade, no alto da muralha.

Os archeiros assírios atiram flechas, marcham aos pares e preparam-se para escalar as muralhas da cidade.

Os prisioneiros empalados apresentam os corpos já rígidos, ou amputados de braços e das pernas, não oferece qualquer resistência.

Os assírios não eram cruéis por prazer, mas para deixarem uma recordação do seu castigo. As cenas de submissão, em que o rei inimigo rendido está acompanhado pelos seus ministros.

O rei rendido humilha-se deitando-se no chão, até beijar a terra pisada por Salmanasar III, esperando a decisão do rei, para o matar, esfolar ou cegar.

Mulheres prisioneiras caminham para o desterro num país distante.

Soldados regressando a Àssíria após uma guerra realizada num país distante.

Parte das vítimas são oferecidas num altar, enquanto outra parte é lançada ao lago Van, com a finalidade de acalmar a fúria dos deuses.

Salmansar III em terra recebe os tributos dos fenícios, transportados em barcas carregadas de lingotes.

Assírios armados transportam troncos de árvores para construções reais.

As pinturas murais, provenientes do palácio provincial de Til Barsib, foram encontradas nas ruínas de Tell Ahmar, construção com pouco significado. Estes frescos perderam-se e sabemos deles pelos seus descobridores (Thureau e Dunand), sendo feitas cópias por Cavro e a sua publicação por André Sumer, no volume sobre "Assur", da colecção "Univers dês Formes", As pinturas pertencem a 800 a.C. apresentando um cromatismo baseado de forma exclusiva em negros, brancos, vermelhos e azuis e representavam cenas do reinado de Tiglath-Pileser.

O rei Tiglath-Pileser dá uma audiência e recebe a homenagem de uma população submetida, estando o monarca sentado no trono, com um bastão que simboliza a autoridade real.

Os assírios depois de regressarem das campanhas militares realizavam brutais execuções, sem piedade, na presença das mulheres e das crianças. Observa-se um inimigo, seguro pelos cabelos a ser decapitado com um golpe de sabre.

Um soldado levando um cavalo à trela.

A pintura mural de Til Barsib (Tell Ahmar) (800 a.C.), existente no Museu de Alepo, mostra dois servidores do rei, vistos de perfil, permitindo diferenciar a diferença entre a pintura assíria e a egípcia.

O marfim foi utilizado para talhar uma infinidade de pequenos objectos para decorar refinados móveis e variados utensílios. A arte de trabalhar o marfim foi realizada pelos fenícios e sírios, sendo depois saqueados pelos exércitos assírios. As estatuetas em marfim são procedentes do palácio de Assurnasirpal em Kalakh (Nimrud) (800 a.C.).

O leão degolando um etíope encontra-se no Museu Britânico, em Londres, sendo um marfim incrustado a ouro, lápis-lazúli e cornalina. O carácter dramático da cena está atenuado por um fundo de lótus e de papiros.

Um caçador pertence ao Museu do Iraque, em Bagdad monstrando realismo e tranquilidade, com os músculos da mímica em relaxamento, esperando o aparecimento da presa.

A magnífica cabeça feminina, conhecida por "Mona Lisa", encontra-se no Museu do Iraque, em Bagdad, em alto-relevo, com um sorriso enigmático, comparável ao da Gioconda, valeu a esta obra o apelido de Mona Lisa, decerto bem diferente da obra-prima de Leonardo da Vinci.

(Comunicação apresentada à Classe de Ciências
na sessão de 6 de janeiro de 2011)

O Regimento de Aires do Quental (1516)
Primeiro "plano de fomento mineiro" nacional

Luís Aires-Barros

Deve-se a D. Duarte o primeiro diploma legislativo que altera o regímen jurídico da exploração mineira no nosso país.

Antes da promulgação desta lei, em 1434, tal como em toda a Europa da época, a exploração mineira era considerada um direito real em que o rei o podia alienar em condições estipuladas caso a caso. Embora não exista nenhum diploma em que o rei diga explicitamente que as minas são propriedade sua, era assim que, na prática, procediam.

O exemplo mais flagrante deste facto é-nos dado pela exploração da mina da Adiça, entre Almada e Sesimbra. Foi a principal mina portuguesa durante três séculos, desde o reinado de D. Sancho I até ao de D. Manuel I. Ainda no século XIX se retomou a sua lavra nos tempos áureos de José Bonifácio de Andrade e Silva.

Assim, em relação às minas de Adiça, o documento mais antigo que se lhe refere é uma carta de doação de D. Sancho.

Este tipo de cartas de concessão mostra que a lavra das minas só era possível mediante concessão régia e que o proprietário da superfície do solo nenhum direito tinha sobre as minas. Acresce ainda que nos forais doados pelos monarcas estes, em alguns deles, reservam para a coroa os vieiros de ouro, prata e cobre.

Até à lei de D. Duarte coexistem, lado a lado, a exploração mineira pelo Estado e a exploração mineira por particulares, mas esta última está sempre subordinada a concessão prévia real. Deste modo o princípio da liberdade mineira é desconhecido em Portugal, antes da lei de 1434. Não se conhece a posse de algum jazigo de minérios mediante simples ocupação. As concessões seguiram o modelo das explorações dos prédios rústicos realengos em que a coroa tinha um terço ou um quinto da produção. Outras vezes, em cartas de foral, os vieiros foram atribuídos aos moradores dos concelhos, conforme refere Alexandre Herculano.

No geral o processo normal de lavra mineira dependia de concessões individuais, tendo muitas vezes o carácter de privilégios reais por meio dos quais o rei concedia a exploração de determinado minério ou mesmo de todos os minérios em dada área ou ainda em todo o país, originando, inclusivamente autênticos monopólios.

Ainda, como bom e elucidativo exemplo das doações, vale a pena retornar ao exemplo das minas da Adiça em relação às quais D. Sancho faz mercê à ordem de Santiago da dízima da sua produção. Esta doação da dízima do ouro da Mina da Adiça à Ordem de Santiago foi sucessivamente confirmada por D. Afonso II, D. Sancho II e D. Afonso III.

As minas da Adiça mantiveram-se pertença da coroa e nunca foram doadas à Ordem de Santiago. Apenas a décima da sua exploração era dada a esta Ordem.

Em 1218 D. Afonso II é claro ao mandar escrever (...) do et concedo eidem comendatori et capitulo deciman eorum omnjun que de adicia habuero. (T.T. Caixas S. Tiago, M.1, Doc. 12, perg.).

D. Afonso III ao definir os atributos que a Coroa e a Ordem de Santiago deveriam receber pelas mercadorias importadas e exportadas através das terras doadas à Ordem, é explícito ao afirmar que Adiça pertence à Coroa.

"Outrossy nos auiimos do dalmadan em esta guisa que todalas cousas que entrarem e sayrem dalmadaa e em seu termo por terra todos os dereytos que os aya a Ordem per razom da terra que e sua saluo da adiça (...). (T.T. Livro 5 Guadiana, fls. 241).

Os privilégios dos adiceiros continuaram a ser outorgados pela coroa, assim tendo procedido não só os reis da 1.ª Dinastia, mas mesmo D. João I que em 1410 os isentou da obrigação de terem armas e cavalos, como era costume, de acordo com os rendimentos de cada um.

Em 1434, ano da publicação da mencionada 1.ª Lei das Minas do país, D. Duarte reformula a administração das Minas da Adiça fechando um ciclo de 224 anos da actividade destas importantes minas da nossa História.

Podemos afirmar que a história das minas da Adiça, dado que foram as minas mais importantes do país desde a fundação da nacionalidade até à promulgação da nossa 1.ª Lei de Minas, se confunde com a história das lavras mineiras no país, nesse período.

O texto integral da mencionada lei geral das minas de D. Duarte (1434) é o seguinte:

> "Direito Real he argentaria, que significa veas de ouro, e de prata, e de qualquer outro metal, os quaes todo homem poderá liuvremente cauar em todo lugar, com tanto que ante que o comece a cauar d'entrada pague a El Rei oito scropulos d'ouro, que valem tanto, como hua coroa d'ouro cada huu; e allem destes oito scropulos d'ouro, que assy hade pagar d'entrada, por assy cauar qualquer metal, aquelle, que cauar ouro, por seer em sy mais nobre e mais excellente metal, que outro nenhuu, pagará mais em cada huu anno ao dito Senhor sete scropulos d'ouro; e quando qualquer outro metal, que nom seja ouro, cauar, pagará em cada huu anno huua libra de quatorze onças; e aalem disto pagará mais a El Rei de todo o metal, que purificar, duas dízimas, se o dito o metal for cauado em terra d'El Rei; e seendo cauado em terra que seja dalgua priuada pessoa, pagará ao dito Senhor Rei huma dízima, e outra pagará ao Senhor da Terra, e toda a outra maioria será daquelle, que o houver cauado".

Esta lei foi posteriormente inserida no Livro II, título XXIV, parágrafo 26 das Ordenações Afonsinas. É um documento fundamental no que concerne ao regímen jurídico da mineração no nosso país.

Analisemos esta lei e com algum pormenor salientemos as suas inovações.

Há um corte nítido com uma tradição longa e um rearrumar e uniformizar de critérios.

Retomando o texto da Lei de Minas de 1434 vejamos quais os pontos principais que D. Duarte explicita:

Que a lei é sobre argentaria ou seja que se aplica a ouro, prata e outro qualquer metal;

Que "todo o homem poderá livremente cavar em todo o lugar (...)";

Que a condição prévia para esta operação de lavra é que antes que comece a cavar pague a El-Rei uma entrada inicial;

Que a exploração de ouro conduz a uma anuidade adicional "por seer em sy mais nobre e mais excellente metal, que outro nenhuu..:".

Que pagará uma anuidade "quando qualquer outro metal, que nom seja ouro cauar";

Que, para além dos pagamentos mencionados "pagará mais a El-Rei que todo o metal que purificar duas dízimas, se o dito metal for cauado em terra d'El-Rei";

Que se a lavra for "em terra que seja dalgua priuada pessoa, pagará ao dito Senhor Rei huma dizima, e outra pagara ao senhor da Terra (...);

Que "toda a outra maioria será daquelle, que o houuer cauado".

A grande transformação qualitativa desta lei é o que regime da lavra mineira de jazidas metálicas no país deixa de cair na alçada da jurisdição regaliana (o Rei é o proprietário que concede conforme o seu alvedrio) e passa para a jurisdição dominial (a argentaria é da Nação), já que como bem e sugestivamente é dito "todo o homem poderá livremente cavar em todo lugar (...).

Facto não menos notável está em que se mantém, como o foi desde os alvores da nacionalidade, a não pertença do subsolo e seus bens ao proprietário do solo, considerado este como a parte patrimonial terrena arável.

Significa que as jazidas metálicas (a chamada argentaria) aflorantes ou não, são passíveis de lavra por qualquer súbdito desde que cumpra algumas condições pecuniárias impositivas: pagamento à cabeça de uma entrada e anuidade, com a particularidade de penalizar a lavra do ouro pelo seu valor.

Cuida ainda a lei de procurar obter dividendos da produção mineira após a beneficiação dos seus produtos (ou seja pelo "metal que purificar"). Nesta circunstância distingue com clareza as hipóteses de a lavra ser realizada em propriedades realengas ou "em terra que seja dalgua priuada pessoa".

A Lei de D. Duarte é omissa quanto a duas questões que posteriormente vieram a ser consideradas pelos seus sucessores. A primeira questão refere-se ao prazo de validade do arrendamento das minas. Com efeito a lei de 1434 não estipula prazo de validade. A segunda questão, ligada à anterior, refere-se à transmissão hereditária possível ou não para as minas arrendadas.

Soberanos posteriores, como D. Afonso V e D. João II estipularam períodos de validade para os arrendamentos bastante variáveis, podendo, mesmo, serem vitalícios. A hereditariedade dos arrendamentos também foi nessas alturas considerada.

Outra característica da lei eduardina refere-se à ausência de indemnizações ao proprietário do terreno em que se localizassem os veios minerais a serem lavrados. A despeito do estabelecimento explícito de contribuições prévias anuais pelas lavras, nada é dito sobre eventuais indemnizações a pagar aos donos dos terrenos por prejuízos decorrentes da lavra mineira. No entanto era-lhes devido um décimo de todo o metal purificado. Vários autores estudiosos da mineração histórica no país, admitem que esta compensação aos proprietários devia existir. Tenha-se em atenção que logo nos reinados de D. Afonso V e de D. João II se nomeavam comissões por três homens bons do concelho onde se realizava a lavra mineira que tinham a missão de avaliar a indemnização a pagar pelo explorador da mina, ao proprietário do solo, pelos danos decorrentes daquela lavra (T.T. Chancelaria de D. Afonso V, Livro 1, fls. 101 e Chancelaria de D. João II, Livro 21, fls. 5).

Outra característica da Lei de Minas de D. Duarte diz respeito à criação da figura de lavra mineira especial. Na realidade esta lei estipulava um tributo maior pela exploração do ouro.

Por fim, a lei em apreço cingia-se à argentaria, aos jazigos minerais metalíferos, não incluindo, pelo menos explicitamente, o carvão, o alúmen ou o salitre.

Sendo a Lei de minas eduardina um passo importante na lavra mineira nacional, principalmente no estabelecimento simples e eficaz de princípios que vieram sempre a ser consignados em documentos congéneres posteriores, salientámos algumas suas lacunas.

Tais lacunas a que se deve ainda adicionar a não consideração dos transportes dos minérios explorados através das várias propriedades privadas, levou que D. Afonso V e D. João II estipulassem sobre estas questões. Outros factos são ainda imputáveis a estes dois soberanos na aplicação da lei de Minas. É que D. Afonso V foi pródigo na concessão de privilégios pelo que nas sucessivas cartas de concessão se estabeleceram muitas normas especiais, casuísticas. E tais normas tanto se referiam aos prazos das concessões, desde serem como que vitalícias, passando de pais a filhos, como caducando logo que El-Rei o entendesse, como às condições de arrendamento. E aqui ia-se da total isenção de impostos, ao pagamento do quinto da produção. Em tudo em que as concessões eram omissas aplicava-se a Lei de D. Duarte.

A variabilidade de critérios foi também seguida por D. João II. É curioso citar que este monarca concedeu a Lopo Afonso, a partir do Natal de 1490 o direito de explorar, na sua vida e na de uma pessoa por ele nomeada, todos os jazigos de qualquer minério que descobrisse em qualquer região do país, excepto na Adiça, no prazo de dois anos. Verifica-se o cuidado em preservar a situação das minas da Adiça, as grandes produtoras de ouro do país e salienta-se a prodigalidade com que se fornece o país, por dois anos, à pesquisa monopolista.

Caminha-se assim para a necessidade da ordenação da Lei promulgada pelo Eloquente. É o que fará D. Manuel I com o Regimento de Aires do Quental de 1516.

Devemos considerar o aparecimento do Regimento de Aires do Quental como um momento deveras importante no transcorrer da consciencialização das necessidades do conhecimento da riqueza mineira do país e do estabelecimento das medidas mais adequadas à sua valorização, fomento, dizemos hoje. Com efeito, há um primeiro tempo na gestão da lavra mineira nacional, que vai dos alvores da nacionalidade até à lei de Minas de D. Duarte.

Neste largo lapso de tempo, predomina uma gestão regaliana dos bens mineiros e uma outorga casuística da sua exploração. A Lei de D. Duarte representa um enorme salto qualitativo em se passar da gestão regaliana para a dominial, em que todo o subsolo da nação pode ser explorado por qualquer cidadão nacional. Há um primeiro arrumar geral do condicionalismo quanto ao arrendamento e as anuidades a pagar, quer à coroa, quer ao proprietário do solo das propriedades cujo subsolo seja lavrado mineiramente. Todavia a politica, por um lado de concessão de privilégios por Afonso V, mas também desenvolvimento e interesse pela exploração mineira promovidos pelos sucessores directos de D. Duarte, impõem a D. Manuel um repensar deste campo de actividade.

O rei começa por ordenar a Aires de Quental que "primeiramente vós corerés todas as ditas comarquas e Regno do allgarue cada um per sy e os llugares que mays despostos vos parçerem pera se acharem e descubrirem veas allguas dos ditos mataees (...)".

Após estas visitas de estudo e prospecção geral, após um conhecimento global das potencialidades mineiras do país, então se demarcariam as ffeitorias. Trata-se de um passo prévio fundamental. Pela primeira vez o poder central, a coroa, pretende saber quais as capacidades contidas no seu território quanto a "veas allguas dos ditos metaees". Por detrás desta ordem de pesquisar o país está todo um programa de valorização, ordenamento e exploração económica.

Extremamente significativo do que se acaba de dizer está contido no processo que o feitor-mor deve seguir para a definição das ffeitorias.

Diz o Regimento: "(...) temde tall temperança no fazer dos ditos ffeitores que as nam façaees senam honde se nam poderem escusar as quaees mantimentos averam do Rendimento das ditas ffeitorias".

Verifica-se que à parcimónia quanto ao estabelecimento das feitorias se impõe que elas se autofinanciem. Não há dúvida que se trata de decisões político-administrativas de adequada justeza.

A Aires do Quental são dados plenos poderes para nomear os funcionários de cada feitoria, a saber: o feitor, o escrivão, os fundidores e demais empregados necessários. No entanto esta liberdade e consequente enorme poder que ao feitor-mor é outorgado é mitigada no que concerne a nomeação do seu escrivão.... Esse é de nomeação real. É extremamente significativa esta procura de um controlo real de um funcionário de elevada posição na estrutura da administração central. Igualmente são impostos pelo Regimento livros de escrituração das avenças concedidas, dos registos de compra e venda dos metais, bem como dos registos das marcas dos fundidores e das feitorias.

O Regimento especifica as competências das feitorias, dos escrivães das feitorias e refere ainda os seus ordenados. É também rico em pormenores sobre os trabalhos dos fundidores e inclusivamente das rendas das casas de fundição.

Em resumo o feitor-mor deveria percorrer o país prospectando e reconhecendo jazidas minerais; em função destas acções deveria criar feitorias nomeando o respectivo pessoal; deveria fazer a gestão jurisdicional das mesmas, aplicando penas e demandado judicialmente os infractores do Regimento. Muito importante era o facto de que deveria fazer o balanço anual de cada feitoria criada.

Quanto à produção, tomaria um quinto de todos os metais para a Fazenda Real e compraria os restantes quatro quintos. São vários os pormenores organizacionais que o Regimento prevê, desde as facilidades de fazer carvão e cortar lenha para a fundição dos metais, até aos prémios a receber pelos metais que descobrisse.

Já salientámos que os poderes do feitor-mor Aires de Quental eram totais quanto à pesquisa, demarcação e concessão das minas. Ou seja: o poder político é rigoroso no controlo administrativo-financeiro, mas completamente liberal quanto à metodologia tecnológica de prospecção e lavras mineiras.

No regimento aparece explícito que "pagarsea ho dano que se nellas fizer a seus donos a custa de quem os ditos metaes nelles tirar e se forem dos comçelhos nam se pagara nenhuma cousa (...).

Pela primeira vez se estabelece de modo estrito os de manifesto e de demarcação da concessão. Com efeito o Regimento estipula que "(...) mandando que quallquer pessoa que vea allgua achar amdando soo ou companhia doutros lloguo ho fasam saber ao feitor e escriuam da feitoria homde acomteçer os quaes a jram ver e lhe demarquara trinta varas por detrás e outras trinta perdiante e oyto varas dambas as partes das ilhargas e as ditas varas seram de çimquo palmos na vara dentro das quaees nem hua pissoa outas fora de sua companhia lhe posa atalhar a dita vea per diante nem per detras nem pella as ilharguas e dentro das ditas medidas nem hua pessoa poderá buscar vea".

Previa ainda o Regimento a formação de sociedades para pesquisa e lavra mineira, devendo as respectivas escrituras serem feitas em livro especial, pelos escrivães das feitorias, perante duas testemunhas.

Facto importante dizia respeito à comercialização dos metais produzidos. O Regimento era taxativo na proibição da exportação de minérios.

Com efeito dizia: "Mandamos e deffendemos que nenhua pessoa leue para questella nem pera outra parte fora do nosso Reyno nenhua madre de nenhu metall que seja".

E mais ainda esclarecia o Regimento: "E por este mamdamos e deffendemos as pessoas que os ditos metaes tirarem que ho nam vendam a outra nem hua pessoa seum a vos e asy a todalas outras pessoas que lhe nam comprem".

Em suma, o comércio da produção mineira era um monopólio da coroa. Os escrivães das feitorias deviam registar o nome dos proprietários do minério entrado nas feitorias para fundir, bem como o peso dos metais obtidos. Estes já não saíam das feitorias, pois só a coroa os poderia adquirir. O feitor-mor que tinha o poder de fazer estas aquisições, só adquiria as barras marcadas pela feitoria, já que era proibido fundir os metais fora destas.

Por fim, o Regimento também cuidava das penalidades aos que o infringissem.

O regimento é particularmente penalizador para quem explorasse ouro sem possuir o necessário alvará.

É muito duro para "quem allgus dos ditos metaes vender sem ser marquado na maneira que em cima he decrarado perdera sua ffazenda e mais será degregado pera a ylha de samtome por dez Annos".

A mesma pena era aplicada aos que exportassem minério, quer para Castela, quer para qualquer outro reino.

Igualmente pesada era a penalização para quem explorasse pedras preciosas sem possuir o respectivo alvará pois que, além de pagar uma multa de vinte cruzados seria preso por tempo indeterminado, pois dizia o Regimento no seu capitulo XXIII

> "Porque fomos emformado que em allguns llugarees de nofas comarquas, e ffeitoria fe achão veas de pedra troquefzas, e Rubis, e outras Riqas, e de vallia, e que as tira quem quer, avemos por bem, e mamdamos perefte que nemhuma peffoa as não tire fem fazer comvofco avemça: E vós a fazey com quem quer que há vós vier, como mais noffo ferviço que puderdes, e pollo preços que Juftos forem. E quem quer que as ditas pedras tirar, ou nas ditas veeas trabalhar se fazer a dita avemfa comvoffco, e haver voffo allvará pagará vimte cruzados de penaa, e fler preffo, e não fera ffollto, fem noffo mamdado.

Verifica-se que, tendo embora as Ordenações Manuelinas reproduzido as disposições da Lei de D. Duarte (Livro II, título XV), D. Manuel I fez publicar o dito Regimento de Aires do Quental, nomeando-o feitor-mor das minas do reino. Em traço grosso este Regimento tem as seguintes características gerais:

Manutenção, na esteira da Lei de D. Duarte, do principio da liberdade da lavra mineira;

Condicionamento da concessão da autorização da lavra mineira por avenças gratuitas, a outorgar pelos feitores das feitorias estabelecidas pelo feitor-mor, com excepção da lavra de veias de ouro e de pedras preciosas (a primeira com ónus estabelecido no Regimento, as segunda com ónus a ser calculado mediante contrato com a coroa);

Obtenção de concessão demarcada pelo feitor e registada pelo escrivão (trinta varas por detrás, outras trinta por diante e oito varas de ambas as partes das ilhargas), onde era exclusiva a lavra da jazida manifestada ao feitor;

Caducidade da concessão logo que houvesse paragem de lavra por mais de quatro dias, salvo justificação idónea.

Obrigatoriedade da venda à coroa de todo o minério lavrado e fundido e consequentemente a proibição com penas duras da sua exportação.

Os funcionários das feitorias seriam pagos pelo rendimento destas e não pela Fazenda;

Os metais extraídos seriam vendidos, obrigatoriamente, ao Estado e, posteriormente revendidos por este;

Esta compra dos metais seria paga pelos mesmos rendimentos das feitorias;

É aconselhada temperança na nomeação das feitorias. O vencimento do feitor-mor sairá também dos rendimentos da actividade mineira;

É pormenorizada a descrição de obrigatoriedade de escriturar as avenças estabelecidas, bem como os registos de compra e venda de metais e das marcas dos fundidores;

Cada barra de metal fundida deveria possuir a marca da feitoria, e do fundidor de modo a permitir identificar estes intervenientes, inclusivamente na pureza do metal;

As feitorias deviam ter fundos para pagar a produção mineral de modo a motivar os exploradores pelo pagamento atempado do seu trabalho:

A nomeação do escrivão foi independente de Aires do Quental e feito pelo rei;

O feitor-mor devia, entre outras coisas:

1. Percorrer o Reino localizando jazigos minerais;

2. Fundar Feitorias e nomear o seu pessoal;

3. Fazer avenças e passar Alvarás de concessão de minas;

4. Gerir e sancionar acusações de má exploração mineira, aplicando as penas mencionadas no Regimento e demandando judicialmente os infractores;

5. Apresentar os Balanços Anual de cada feitoria;

6. Tomar para a Fazenda Real 1/5 de todos os minerais e comprar os restantes 4/5;

A extracção de ouro tinha um regime especial de avença;

A despeito da inteira liberdade de pesquisa e extracção, os intrusos teriam de pagar o prejuízo causado aos donos das terras, salvo se essas terras fossem dos concelhos;

Os que vivessem da indústria mineira ou do comércio dos metais, não pagariam "ssisa Dizimo nem portagem nem outro dereyto allgum".

Os que encontrassem qualquer jazigo mineral deviam manifestá-lo na respectiva feitoria. O feitor e o escrivão demarcariam no local os limites da exploração;

Podiam formar-se sociedades para a pesquisa e lavra de minas;

A exploração de pedras preciosas tinha regime especial de avenças;

O minério entrado nas feitorias e fundido era adquirido pela Coroa, visto que as exportações de minério eram proibidas.

Dos metais fundidos 1/5 ficava para a Coroa e os 4/5 restantes pertenciam aos proprietários que eram obrigados a vendê-los ao Rei pelos preços do Regimento;

As penalidades eram por vezes duras não só pecuniárias, mas envolvendo prisão e degredo, para S. Tomé, por 10 anos, a quem vendesse metal sem as marcas legais ou para a Índia, por 10 anos, a quem fundisse metal sem tal autorização para tal.

O feitor-mor tinha direito a 6% sobre os bens da coroa relativos à produção de metais: Em 1525, D. João III eleva esta renumeração para 10%.

Posteriormente, na regência de D. Catarina pela menoridade de D. Sebastião é elaborada uma 2.ª Lei de Minas em 1557 que foi depois reproduzida nas Ordenações Filipinas (Livro II, titulo XXXIV). Até 1802 foi esta lei que regulou a industria mineira no nosso país. Em 1802 é nomeado o primeiro Intendente Geral e Metais do Reino, o famoso José Bonifácio de Andrade e Silva, ilustre bolseiro, por largo tempo, desta Academia no estrangeiro e depois seu sócio de número.

Com a criação da Intendência Geral de Minas do Reino, em 1802 a exploração dos jazigos minerais portugueses foi organizado como monopólio do Estado e mantido neste regímen até 1836, no Liberalismo. Houve dois Intendentes Gerais: José Bonifácio de Andrade e Silva de 1801 a 1819 e o Barão de Eschvege de 1824 a 1826…

(Comunicação apresentada à Classe de Ciências
na sessão de 27 janeiro de 2011)

Anatomia artística no Hatti (Hititas) I

Pré-hititas e colónias de mercadores assírios

J. A. Esperança Pina[1]

OS HITITAS

Os hititas eram citados há umas dezenas de anos em livros de História, como sendo um povo que tinha contactos com os hebreus, sendo esta civilização confirmada graças às descobertas arqueológicas realizadas na Anatólia, através da decifração de centenas de textos gravados em tábuas de argila. O conhecimento da civilização hitita preencheu assim, algumas lacunas existentes na História do Oriente Próximo, tornando-a mais harmónica, mais lógica e mais inteligível, estando os hititas ligados, através da linguagem, à grande família indo-europeia.

GEOGRAFIA DO HATTI

A Anatólia ou Ásia Menor estava limitada a sudoeste pela Síria e pela Mesopotâmia e a noroeste pela Europa. É um grande planalto, com uma altitude compreendida entre 1000 a 1300 metros, com desertos e lagos salgados. A norte é limitada pelas cordilheiras do Ponto e a sul pelas cordilheiras do Tauro. A oeste, o planalto desce suavemente até ao mar Egeu e ao mar da Mármara e a leste, funde-se gradualmente com o Azerbaijão. Ao longo da costa encontram-se vales fluviais comunicando com o interior e fácil acessibilidade ao mar. O mais importante rio da região é o rio Halis (Kizil-Imak), que vindo do leste, atravessa a Anatólia, as montanhas do norte, e desagua no Mar Negro. A porção central da Anatólia era muito rica em bosques, pastagens com a criação de cavalos, explorações agrícolas, onde se produzia cevada, vinha e árvores de fruta. As maiores minas eram de ferro.

A Anatólia contrastava com a Alta Síria e a Mesopotâmia, graças à irrigação das suas terras feita pelo rio Eufrates. Esta riqueza de terras explica a razão por que os hititas formaram um império, graças à sua expansão e os levou para os vales onde guerrearam as grandes potências do Próximo Oriente.

A localização da Anatólia entre a Ásia e a Europa tornaram-na uma passagem obrigatória para todos os povos que se deslocavam para estes continentes.

Habitantes do Hatti

É quase impossível traçar um quadro exacto dos grupos étnicos, que há milénios habitaram sucessiva ou simultaneamente a Anatólia.

---

[1] Membro Efectivo da Academia das Ciências de Lisboa. Professor Catedrático Jubilado da Faculdade de Ciências Médicas da U.N.L. Professor Catedrático da Faculdade de Direito de Lisboa da U.C.P. Ex-Reitor da Universidade Nova de Lisboa.

A população predominante era constituída por povos da Ásia Ocidental, os asiânicos, que não eram semitas. Em 2000 a.C., juntou-se à população asiânica um movimento migratório de povos indo-europeus, que dominaram os habitantes locais, não apenas pela força das armas, mas também pela sabedoria e diplomacia, e assim os tornaram seus súbditos. Deste modo, a união dos invasores com os habitantes locais constituíram os hititas, e formaram o Hatti.

HISTÓRIA POLÍTICA DO HATTI

Os mais antigos testemunhos escritos sobre a Anatólia encontraram-se nos arquivos de mercadores assírios, que criaram uma rede comercial centrada em Kanech, dependente da Assíria. Na Anatólia foram identificados além dos Hititas, os Luvitas e os Hurritas, numerosos principados independentes, em lutas permanentes, que conduziram à destruição de Kanech e da rede comercial assíria, nascendo assim o Hatti.

Reis predecessores

Em várias tabuinhas comerciais encontraram-se mencionados Pithana e seu filho Anitta como senhores de Kussara.

Pithana guerreou com Kanech e conquistou a poderosa cidade dos comerciantes assírios.

Anitta, como rei, alcançou numerosas vitórias que aumentaram o poderio de Kussara. As suas conquistas alcançaram o Mar Negro e o Mediterrâneo, transformando Anitta num poderoso rei, que unificou o Hatti com capital em Kanech.

Reino Hitita

No início de 1600 a.C. Hatti tornou-se no Reino Hitita com capital em Hattusha (actual Bogãzhõy), sendo Labarna I (1680-1650 a.C.), o primeiro rei. Reuniu sob a sua hegemonia o centro da Anatólia e os distritos do sudoeste até ao mar.

Hattusili I (1650-1620 a.C.) aumentou o reino com mais conquistas e invadiu a Síria. O fim do seu reinado deu-se através de intrigas feitas pelos próprios filhos, com a finalidade da conquista do poder.

Mursil I (1620-1590 a.C.) neto de Hattusili I, ampliou e transformou o Reino Hitita com a conquista e destruição de Alepo, uma guerra contra os hurritas e o saque de Babilónia, que foi tomada pelos cassitas. No seu regresso de Babilónia, foi assassinado sendo substituído pelo cunhado Hantil que liderou a conspiração contra ele.

Hantil I (1590-1560 a.C.) não conseguiu conservar os territórios do reino, pois foi atacado pelos Hurritas.

Zidanta I (1560-1550 a.C.), Ammuna (1550-1530 a.C.) e Huzzia I (1530-1525 a.C.) foram os reis seguintes que se sucediam no trono, através de intrigas e de assassinatos, tendo havido permanentes incursões de povos bárbaros do norte, os *gasga*, nunca controlados pelos hititas.

Telepinu (1525-1500 a.C.) considerado o último rei do Reino Hitita, também ascendeu ao trono de forma irregular tendo pacificado o território e fortalecido as fronteiras. As intrigas e os assassinatos, com a participação da família real e da aristocracia, constituíam a forma de sucessão ao trono o que deu origem ao estabelecimento de um decreto (*panku*), que regularizava um sistema de sucessão ao

trono. A sucessão estabelecia-se da seguinte forma: em primeiro lugar, o sucessor seria um príncipe da mulher principal do rei; se não houvesse, ocuparia o trono, um príncipe de uma mulher de segunda categoria (infra); na ausência dos candidatos anteriores, o trono seria ocupado pelo marido de uma princesa nascida da mulher principal. Com este decreto passou a manter-se a estabilidade, pelo menos até Hattusili III.

Reino Médio ou Obscuro (1500-1420 a.C.)

Este período da história hitita é muito mal conhecido, com poucos dados, mas com uma forte influência dos hurritas.

Parece ter havido uma dinastia distinta, cujo fundador foi Tahurwaili, a que se seguiram Alluwamna, Hantil II, Zidanta II, Huzzia II e Muwatalli I.

Esta época é a que marca o apogeu de Mitanni em toda a região da Alta Síria, com a completa destruição do Hatti, sendo este recuperado com o fim das campanhas de Tutmosis III.

Império Hitita

Tudhalia I (1420-1400 a.C.) retomou a tradição conquistadora dos reis, recuperou antigas possessões hititas e impôs-se a Alepo e ao reino de Mitanni dos hurritas.

Hattusili II (1400-1390 a.C.), Tudhalia II (1390-1370 a.C.), Arnuwanda I (1370-1355 a.C.) e Tudhalia III (1355-1344 a.C.) sofreram uma série de crises, marcadas pela sublevação de príncipes vassalos e a contínua ameaça dos Ganga, enquanto se desmoronava o prestígio do Hatti, em comparação com o esplendor do reino de Mitanni.

Suppiluliuma I (1344-1322 a.C.) foi o verdadeiro fundador do Império Hitita. O país encontrava-se numa situação calamitosa, com os ataques nas fronteiras norte e este do Hatti. A sua primeira intervenção no exterior foi em Mitanni, onde foi derrotado, a que se sucedeu uma série de campanhas na Ásia Menor com a finalidade de estabelecer bases fortes de apoio ao Hatti. Consolidou o domínio hitita na Anatólia, e estabeleceu em volta do Hatti um conjunto de principados governados por familiares hititas, que, não sendo independentes, têm obrigações militares e tributárias. Na primeira guerra contra a Síria conquistou o norte do país; na segunda invadiu o Mitanni e reafirmou o domínio da Síria e na terceira conquistou a cidade de Karkemich, a única cidade ainda pertencente ao Mitanni, que desapareceu como grande potência. O poder do Hatti era tão preponderante que a viúva de Tutankhamon, a rainha Ankhesenamon, pediu a Suppiluiuma para lhe enviar um dos seus filhos para marido. O rei concordou após algumas hesitações, mas o príncipe não atingiu terras egípcias e foi assassinado pelos partidários do faraó Ai. Suppiluliuma I morreu com a peste, quando se encontrava numa campanha militar, e deixou um grande Império só comparável ao Egipto. Foi um rei conquistador e como tal ignorou de certo modo a condução do país pelo que a crise voltou de novo ao Haitti.

Arnuwanda II (1322-1321 a.C.) morreu de peste após um reinado de poucos meses. Mursil II (1321--1295 a.C.) teve de enfrentar revoltas de povos da Anatólia, mas conseguiu manter o poder hitita, sobretudo na Síria ameaçada pelos egípcios.

Muwatalli II (1295-1271 a.C.), após um longo período de paz, durante o qual foram trocados presentes com o faraó e chegou mesmo a projectar uma viagem ao Egipto, as boas relações foram interrompidas. Ramsés II pretendia restabelecer o prestígio egípcio na Síria, o que fez com que o imperador hitita

organizasse uma coligação de povos asiáticos contra o faraó. Os adversários encontraram-se na batalha de Kadesh, uma das mais famosas batalhas da História do Próximo Oriente, cujos resultados permanecem pouco conclusivos. Alguns atribuem a vitória aos hititas, outros falam do triunfo egipcío. Nas paredes do Ramesseum, do templo de Karnak e do templo de Luxor encontra-se a descrição dessa luta como tendo terminado com a vitória dos egípcios.

Mursil III (Urchi-Techub) (1271-1264 a.C.) subiu ao trono de acordo com a lei de Telepinu, pois era filho de uma concubina do imperador.

Hattusili III (1264-1239 a.C.) estabeleceu uma intensa actividade diplomática com a finalidade de alcançar a paz com todas as grandes potências da época e deixou um Império pacificado. Estreitou o entendimento com a dinastia cassita da Babilónia e estabeleceu a paz com o Egipto, firmando uma aliança com um casamento real. Não resolveu o problema dos Assírios, os quais eliminaram o Mitammi e fixaram no rio Eufrates a fronteira com o Hatti. O tratado de Kadesh que foi estabelecido entre Hattusili III e Ramsés II, permitiu aos povos do Próximo Oriente beneficiar de uma paz de dezassete anos, um longo período da História da Antiguidade.

Tudhalia IV (1239-1209 a.C) foi o último dos grandes Imperadores do Hatti. Conquistou a ilha de Chipre, pois foi a primeira vez que os Hititas realizaram uma empresa marítima. Dedicou-se a fundações religiosas e a iniciativas históricas e culturais, com a restauração da biblioteca de Hattusha.

Arnuwanda III (1209-1205 a.C.) passou despercebido.

Suppiluliuma II (1205-1178 a.C.?) foi o último Imperador dos Hititas, passando pela fome e a destruição de Hattusha pelo fogo. Foram os povos do mar, um conjunto de povos que migravam pelo mar com o destino do Egipto, os obreiros desta destruição.

Uma cópia do tratado de Kadesh, entre Hattusili III e Ramsés II, do XIII século a.C., proveniente de Hattusha (actual Boğazhöy), encontra-se no Museu Arqueológico, em Istambul, constituindo um fragmento de uma tábua em argila, com 46 linhas, sendo o primeiro tratado político da história escrito em caracteres cuneiformes acadianos, a língua diplomática da época.

Reinos Neo-Hititas

Após a terminação do Hatti o que restou da sua cultura sobreviveu no sudoeste do antigo império e no norte da Síria, constituindo os reinos neo-hititas. No sudoeste do antigo império situaram-se os reinos de Milid, Tuwana, Hupisna e Gurgum; ao norte da Síria situaram-se os reinos de Karkemich, Alepo, Arpad, Hamat, Simjirli e Til-Barsip. Estes pequenos reinos aspiravam ao desenvolvimento e à supremacia, sendo mais conhecido, o reino de Karkemich, que foi conquistado pela Assíria.

ARTE HITITA

A comparação da arte do Reino e do Império Hitita, entre 1600 e 1200 a.C., com as civilizações vizinhas é decepcionante. Nesta época, no Egipto, os túmulos do Império Novo eram notórios pelas suas decorações e pinturas, bem como os sumptuosos monumentos com os baixos-relevos e as suas inigualáveis riquezas, como ficou patente no túmulo de Tutankhamon e no mundo Egeu, os palácios micénicos eram ornados de frescos. As realizações artísticas demonstraram pouca imaginação e requinte, mostrando uma força imperfeita e rude, características da arquitectura, da escultura e da cerâmica.

ARTE PRÉ-HITITA (8000 A 2000 A.C.)

A arte pré-hitita pode ser distribuída em três períodos: o neolítico ou idade da pedra lascada, entre 8000 e 5500 a.C.; o calcolítico ou idade do cobre, entre 5500 e 3000 a.C. e a idade do bronze antigo, entre 3000 e 2000 a.C.

ARTE NEOLÍTICA OU DA IDADE DA PEDRA POLIDA (8000 – 5500 A.C.)

Em 1961 começaram os trabalhos de escavação em Çatalhöyük, a 52 km de Konya, com 13 hectares de superfície, tendo-se reconhecido a existência de um dos maiores "habitats" neolíticos do Próximo Oriente, que a datação do carbono situou entre 6500 e 5650 a.C. As habitações estavam amontoadas e apertadas umas contra as outras, assentando em adobe por não existirem fundações em pedra. A maioria das paredes das divisões eram lisas, enquanto outras tinham pinturas representando sobretudo animais e cenas de caça. Os mortos rodeados de oferendas eram inumados por baixo do soalho das casas. As representações traduzem-se por deusas-mães parindo sentadas num trono, em terracota, que poderão sugerir a existência do culto da fecundidade, numerosas jóias, vasos e punhais.

Hacilar foi outro importante centro neolítico encontrado a 25 km de Burdur. As casas, maiores do que as casas de Çatalhöyük, eram construídas em adobe assente em fundações de pedra, sendo os mortos inumados fora da cidade. Em quase todas as casas encontravam-se deusas-mães, sentadas ou deitadas ou outras deusas em cerâmica com os recipientes em forma de animal, com coloração acastanhada ou avermelhada.

Pintura mural

As paredes das divisões das casas tinham pinturas murais representando animais e cenas de caça.

A pintura, de 6000 a.C., proveniente de Çatalhöyük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa a caça ao veado.

A pintura, de 6000 a.C., proveniente de Çatalhöyük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa a caça ao touro.

A pintura, de 6000 a.C., proveniente de Çatalhöyük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa a caça ao veado com o caçador revestido com pele de leopardo.

Estatuetas

As deusas-mães, em terracota, de 6000 a.C., proveniente de Hacilar, encontram-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, representam quatro estatuetas: uma sentada no chão, uma em decúbito ventral, uma em decúbito lateral esquerdo e outra sentada.

A deusa-mãe, em terracota, de 6000 a.C., proveniente de Hacilar, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, representa uma estatueta em decúbito lateral direito, em posição de repouso e dormitando.

A deusa-mãe, em terracota, de 6000 a.C., proveniente de Hacilar, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, representa uma estatueta sentada, muito gorda, disforme mas proporcionada e atenta.

A deusa-mãe, em terracota, de 5000 a.C., proveniente de Çatalhöyük, em terracota, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa uma estatueta parindo, sentada num trono, cujos braços representam dois leões.

A deusa-mãe, em terracota, de 5000 a.C., proveniente de Çatalhöyük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa uma estatueta acéfala, sentada no chão, muito opulenta e adiposa preparando-se para parir.

A deusa, em pedra negra, de 5500 a.C., proveniente de Çatalhöyük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa uma estatueta sentada, com os braços cruzados no peito, em profunda meditação.

A deusa, em terracota, de 5500 a.C., proveniente de Hacilar, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa uma deusa de pé, muito corpulenta, disforme e desproporcionada.

As deusas gémeas, em mármore, de 5500 a.C., proveniente de Çatalhöyük, encontram-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa uma estatueta de cujo corpo se destacam duas cabeças.

Objectos de adorno

Em Çatalhöyük foram encontradas numerosas jóias, espelhos em obsidiana e objectos utilizados na maquilhagem e no adorno das mulheres.

As jóias, de 5500 a.C., provenientes de Çatalhöyük, encontram-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, representam colares constituídos por pedras semipreciosas de diferentes cores, formas e tamanhos, muito semelhantes à moderna bijutaria.

O espelho, de 5500 a.C., proveniente de Çatalhöyük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, é feito em obsediana e destina-se ao arranjo pessoal.

Os objectos de adorno, de 6000 a.C., provenientes de Çatalhöyük, encontram-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representam utensílios destinados a maquilhagem.

Recipientes

O recipiente, em terracota pintada, de 6000 a.C., proveniente de Çatalhöyük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um vaso com duas pegas apoiado em três pés.

O recipiente, em terracota pintada, de 6000 a.C., proveniente de Çatalhöyük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um pote apoiado em quatro pés.

O recipiente, em terracota pintada, de 6000 a.C., proveniente de Hacilar, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um vaso em forma de veado acocorado com abertura no dorso.

O recipiente, em terracota pintada, de 6000 a.C., proveniente de Hacilar, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um vaso com a forma de cabeça humana.

ARTE CALCOLÍTICA OU DA IDADE DO COBRE (5500 – 3000 A.C.)

O calcolítico ou Idade do Cobre caracterizou-se pelo início da utilização do cobre, em substituição da pedra, sendo em Hacilar o mais evoluído centro calcolítico na Anatólia. A marca mais significativa de

Hacilar foi a utilização da cerâmica pintada e muito decorada, com tonalidades castanho-avermelhadas em fundo creme ou amarelo-rosadas, tratando-se de vasos, potes, bilhas, jarros e taças ovais. Os objectos em pedra e em osso rarearam e poucos objectos em cobre foram descobertos.

Canhasam constitui outro centro calcolítico, caracterizado por cerâmica com recipientes de composição geométrica, monocromática, ou decorada com motivos vermelhos, amarelos ou negros. Entre os objectos de cobre encontrou-se uma bracelete, uma cabeça de clava e um ceptro.

Estatueta

A estatueta, em terracota pintada, de 4500 a.C., proveniente de Canhasan, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara e representa uma estatueta feminina sentada, com as mãos sobre os joelhos, o tronco muito estreito com os seios pouco desenvolvidos e a face mal definida.

Recipientes em cerâmica

O recipiente, em terracota pintada, de 4000 a.C., proveniente de Hacilar, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um vaso cilíndrico com duas asas, pintado com linhas quebradas em angulo obtuso, centradas por um losango.

O recipiente, em terracota pintada, de 4000 a.C., proveniente de Hacilar, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um vaso cilíndrico com duas asas, pintado com linhas circulares paralelas e figuras losângicas.

O recipiente, em terracota pintada, de 4000 a.C., proveniente de Hacilar, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um vaso cilíndrico pintado com linhas quebradas paralelas, centradas por uma figura lorângica, com coloração acastanhada.

O recipiente, em terracota pintada, de 4000 a.C., proveniente de Hacilar, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um vaso decorado com uma espécie de cruz suástica.

O recipiente, de 5500 a.C., proveniente de Hacilar, em terracota pintada, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um vaso decorado com duas figuras simétricas.

O recipiente, em terracota pintada, de 5500 a.C., proveniente de Hacilar, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um vaso decorado com uma figura circular semelhante a uma mão.

O recipiente, em terracota pintada, de 5500 a.C., proveniente de Hacilar, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um vaso decorado com uma figura de contornos geométricos.

O recipiente, em terracota pintada, de 5500 a.C., proveniente de Hacilar, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um vaso decorado com duas áreas centrais triangulardes lateralizadas por linhas circulares paralelas.

O recipiente, em terracota pintada, de 5500 a.C., proveniente de Hacilar, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um vaso decorado com diversas figuras geométricas.

O recipiente, em terracota pintada, de 5500 a.C., proveniente de Hacilar, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um vaso decorado no centro com seis figuras simetricamente dispostas, linhas paralelas adjacentes às asas e linhas curvilíneas no gargalo.

O recipiente, em terracota pintada, de 5500 a.C., proveniente de Canhasan, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um vaso decorado com uma composição geométrica simples e coloração acastanhada e negra.

O recipiente, em terracota pintada, de 5500 a.C., proveniente de Canhasan, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um vaso decorado com uma complexa composição geométrica, com predomínio de coloração negra.

IDADE DO BRONZE ANTIGO (3000 – 2000 A.C.)

Os anatolianos reuniram o cobre com o estanho, para obter o bronze e fazer armas, recipientes, jóias ou outros objectos decorativos, tendo sido também utilizado o cobre, o ouro, a prata, e o electro, mistura de ouro e prata.

Em 1935 foram descobertos treze túmulos na meseta de Alacahöyük, o que evidencia o aparecimento das artes plásticas na Anatólia. Os túmulos de Alacahöyük são fossas rectangulares, cobertos por pranchões dispostos horizontalmente suportados por uma camada de terra. Cada túmulo continha um corpo ou os corpos do casal. Superiormente aos pranchões encontraram-se crânios de bois dispostos aos pares com as patas anteriores e posteriores, provavelmente o resultado de sacrifícios. Foram encontradas numerosas oferendas funerárias em bronze, ouro, prata e electro e também em âmbar, ágata, cristal de rocha, ferro e terracota.

A qualidade e a quantidade dos objectos encontrados, indicam que na Anatólia da Idade do Bronze Antigo não se satisfizeram em preparar apenas a sua alimentação, mas ocuparem-se também da arte e da meteorologia, tendo sido feitas descobertas em Alacahöyük, Horoztepe, Mahmatlar e Hasanoglan.

Recipientes

O recipiente, em ouro, de 2500 a.C., proveniente de Alacahöyük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um vaso bojudo com seis pérolas de cornalina.

O recipiente, em ouro, de 2500 a.C., proveniente de Alacahöyük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa uma chávena semelhante à dos nossos dias.

O recipiente, em ouro, de 2500 a.C., proveniente de Alacahöyük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa uma taça ricamente adornada com relevos elipsoidais, unidos por prolongamentos a um ovóide situado no centro da taça.

O recipiente, em ouro, de 2500 a.C., proveniente de Alacahöyük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um vaso ricamente adornado com relevos, com uma abertura em goteira e uma grande ansa situada lateralmente.

O recipiente, em ouro, de 2500 a.C., proveniente de Alacahöyük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um vaso com uma ansa, e prolongado por uma goteira, sendo sumptuosamente embelezado com traçados em relevo.

O recipiente, em ouro, da 2.ª metade de 2500 a.C., proveniente de Mahmatlar, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um jarro com pega e bico, ornado de caneluras dispostas em cinco bandas com decorações geométricas variáveis.

O recipiente, em ouro, de 2500 a.C., proveniente de Alacahöyük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um vaso bojudo com pega e bico, ornado de caneluras, com decorações geométricas sobrepostas em V.

O recipiente, em ouro, de 2500 a.C., proveniente de Alacahöyük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um cálice com pé alto, ornado de caneluras dispostas em espiral e com um discreto bico.

O recipiente, em terracota, de 2500 a.C. proveniente de Karataş-Semayük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um pote com duas pegas representando uma figura humana.

O recipiente, em terracota, de 3000 a.C. proveniente de um local próximo de Ancara e não resultando de escavações, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um conjunto de quatro taças ligadas entre si pelas pegas.

Objectos decorativos

O diadema, em ouro, de 2500 a.C., proveniente de Alacahöyük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e tem a forma de um círculo de quatro bandas, com aberturas quadradas e barras cruzadas na diagonal.

A coroa, em ouro, de 2500 a.C., proveniente de Alacahöyük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um diadema constituído por um círculo constituída por segmentos em **x**, cujas extremidades estão unidas por um fecho continuado por quatro fitas.

O colar, em ouro e pedras preciosas, de 2500 a.C., proveniente de Alacahöyük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, é um colar restaurado, com pedras semipreciosas e oito medalhas em ouro adornadas com pequenas semi-esferas em forma de cruz.

A bracelete, em ouro, de 2500 a.C., proveniente de Alacahöyük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e é formada por uma complexa malha entrelaçada.

O alfinete, em ouro, de 2500 a.C., proveniente de Alacahöyük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e apresenta a cabeça constituída por lâminas semicirculares.

O colar e alfinetes, em ouro, de 2500 a.C., proveniente de Alacahöyük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e trata-se de um colar com contas esféricas e dois alfinetes, um com a cabeça espiralada e outro com uma cabeça muito requintada.

A fivela de um cinto, em ouro, de 2500 a.C., proveniente de Alacahöyük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e é constituída por dois círculos unidos, decorados com semi-esferas, e tem em cada um, uma cruz unindo uma circunferência situada perifericamente.

O fragmento de cinto, em ouro, de 2500 a.C., proveniente de Alacahöyük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e é ornamentado com dois enfeites circulares, separados por três fileiras de pequenas semi-esferas.

A peça decorativa, em ouro, de 2500 a.C., proveniente de Alacahöyük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um bode com a cabeça e o pescoço com cinco enfeites circulares.

Insígnias

As insígnias são representações diversas, sendo mais frequentes as que têm a forma de disco.

A insígnia, em bronze, de 2000 a.C., proveniente de Horoztepe, encontra-se no Museu de Pergamo, em Berlim, apresenta-se encimada por um cavalo.

A insígnia, em bronze, de 2100 a.C., proveniente de Horoztepe, encontra-se no Museu Metropolitano de Arte, em Nova Iorque, e é encimada por uma ave e lateralizada por pequenos chifres de touro.

A insígnia, em bronze, de 3000 a.C., proveniente de Horoztepe, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um sistro, antigo instrumento musical, envolvido por dez de canídeos.

A insígnia, em bronze, de 2500 a.C., proveniente de Alacahöyük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e apresenta-se como um losango com dezoito cruzes suásticas.

A insígnia, em bronze, de 2500 a.C., proveniente de Alacahöyük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e apresenta a forma de um disco solar com aves, flores e berloques.

A insígnia, em bronze, de 2500 a.C., proveniente de Alacahöyük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e apresenta a forma de um disco com raios, contendo um cabrito-montês ou um onagro.

A insígnia, em bronze, de 2500 a.C., proveniente de Alacahöyük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e apresenta a forma de um hemi-disco, contendo um veado ladeado por dois touros.

A insígnia, em ouro e prata, de 2500 a.C., proveniente de Alacahöyük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e apresenta a forma de um hemi-disco, contendo um cervídeo ladeado por duas panteras.

Estatuetas zoopestres

As pesadas figurinhas de veados, touros e cavalos têm apenas um significado cultural.

O veado, em bronze, de 2500 a.C., proveniente de Alacahöyük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, em bronze e apresenta a convergência das quatro patas de forma a adaptar-se à estreita base. A cabeça, os chifres, e as incrustações circulares do corpo são em prata.

O veado, de 2500 a.C., em bronze, proveniente de Alacahöyük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, tem os chifres muito desenvolvidos e com numerosas ramificações encurvadas.

O touro, em bronze, de 2500 a.C., proveniente de Alacahöyük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e tem os chifres encurvados em forma de lira.

O cavalo, em bronze, de 2000 a.C., proveniente de Alacahöyük, encontra-se no Museu do Louvre, em Paris, e tem as patas anteriores sobre os ombros de uma figura masculina.

Estatuetas

As pequenas estatuetas antropomórficas em bronze, prata ou ouro cuidadosamente modeladas têm os seios extremamente pequenos.

A estatueta, em bronze, de 2200 a.C., proveniente de Alacahöyük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e é uma mulher de pé, calçada e com seios pequenos.

A estatueta, em bronze, de 2200 a.C., proveniente de Alacahöyük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e é uma mulher de pé, calçada, com seios pequenos e segurando uma bilha com as mãos.

A estatueta, em prata e ouro, de 2100 a.C., proveniente de Hasanoglan, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e é uma mulher de pé com os olhos fechados e seios pequenos, segurando nas mãos um objecto contra o abdómen.

A estatueta, em bronze, de 2000 a.C., proveniente de Horoztepe, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e é uma mulher com os membros inferiores muito desenvolvidos, em contraste com o tronco delgado, e com grandes orelhas, segurando nas mãos contra o peito uma criança que amamenta.

O *ídolo*, em terracota, de 2000 a.C., proveniente de Kalinkaya, não resultando de escavações, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e é uma mulher com os olhos, nariz, fenda oral, umbigo e seios marcados.

O *ídolo*, em terracota, de 2500 a.C., proveniente de Etiyokuşu, não resultando de escavações, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e tem forma de mulher, com os olhos e os seios pouco marcados.

Os *ídolos*, em alabastro, de 3000 a.C., provenientes de Beycesultan e Kültepe, não resultando de escavações, encontram-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e têm um *ídolo* central com duas cabeças e um corpo esferóide.

O *ídolo duplo*, em ouro, de 2500 a.C., proveniente de Alcachöyük, não resultando de escavações, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa a ligação de dois *ídolos*.

ARTE DAS COLÓNIAS DE MERCADORES ASSÍRIOS (1950 – 1750 A.C.)

O período das colónias dos mercadores assírios origina na Anatólia o início da História, pela utilização da escrita. Os mercadores conhecedores da riqueza do Hatti passaram a negociar com eles, e deste modo foi importada a sua língua, a sua escrita cuneiforme e os seus selos-cilindros. Os mercadores instalaram-se fora das muralhas das cidades anatolianas, constituindo os "karum", e viviam num bom entendimento com a população local, como foi demonstrado nas tabuinhas cuneiformes encontradas e nalgumas tabuinhas estavam mencionados os reis Pithana e seu filho Anitta, como os Reis predecessores dos hititas.

A arte das colónias de mercadores assírios de 1950 a 1750 a.C., traduziu-se em selos-cilindricos, vasos, "rhytons" e estatuetas.

Selos-cilindros

O selo-cilíndro, em terracota, do século XIX a.C., proveniente de Kültepe, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e apresenta numerosos caracteres cuneiformes e figurinhas humanas e de animais.

O selo-cilíndro, em terracota, do século XVIII a.C., proveniente de Kültepe, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa dois deuses com chifres diante de um altar de oferendas, ambos rodeados por caracteres cuneiformes.

Recipientes

O recipiente, em terracota pintada, do XVIII a.C., proveniente de Bagazhöy, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um vaso em forma de torre, encimada por uma águia e a torre decorada com quatro carneiros.

O recipiente, em terracota pintada, do XVIII a.C., proveniente de Bagazhöy, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um vaso em forma de torre, encimado por um touro com um carneiro e a torre decorada com quatro carneiros.

O recipiente, em terracota pintada, do XIX a.C., proveniente de Kültepe, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e é um vaso duplo antropomorfo, com dois corpos ligados por uma ansa.

O recipiente, em terracota pintada, do XIX a.C., proveniente de Kültepe, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e é um vaso do tipo chaleira assente num tripé.

O recipiente, em terracota pintada, do XIX a.C., proveniente de Kültepe, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e é uma taça decorada com pássaros, e em cujo bordo estão moldados quatro felinos.

O recipiente, em terracota pintada, do XIX a.C., proveniente de Acemhöyűk, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e é um vaso com duas asas, cuja abertura apresenta um cone em posição central.

O recipiente, em terracota pintada, do XIX a.C., proveniente de Acemhöyűk, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e é um vaso em forma de taça cónica, com numerosas figuras geométricas.

O recipiente, em terracota pintada, do XVIII século a.C. proveniente de Bagazhöy, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e é um vaso bojudo com pega e bico, ornado com motivos geométricos.

O recipiente, em terracota pintada, do XVIII século a.C. proveniente de Bagazhöy, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e é um vaso bojudo com pega e bico.

O recipiente, em terracota pintada, do XVIII século a.C. proveniente de Kültepe, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e é um vaso bojudo com pega e bico em cabeça de carneiro.

O recipiente, em terracota pintada, do XVIII século a.C. proveniente de Beycesultan, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e é um vaso em forma de galináceo com ansa e cauda.

O recipiente, em terracota pintada, do XVIII século a.C. proveniente de Kultepe, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e é um vaso com a tampa perfurada com buracos circulares e um bico triplo.

O recipiente, em terracota pintada, do XIX século a.C., proveniente de Kültepe, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa uma bilha, com longo bico e ansa constituída por uma estatueta masculina entre dois cavalos.

O recipiente, em terracota pintada, do XIX século a.C., proveniente de Kültepe, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e é uma jarra adornada com o rosto de um homem barbudo e ainda com seis cornos de touro em relevo.

O recipiente, em terracota pintada, do XIX século a.C., proveniente de Kültepe, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e é um vaso adornado com uma cabeça de touro contendo três ansas.

O recipiente, em terracota pintada, do XIX século a.C., proveniente de Kültepe, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e é um vaso em forma de caracol decorado com figuras geométricas.

Vasos rituais ou "Rhytons"

O "rhyton", em terracota pintada, do XIX século a.C., proveniente de Kültepe, encontra-se no Museu do Louvre, em Paris, e representa um vaso de libação em forma de leão, com a boca muito aberta e abertura cilindróide no dorso.

O "rhyton", em terracota pintada, do XIX século a.C., proveniente de Kültepe, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um vaso de libação em forma de leão, com a boca muito aberta mostrando os dentes e abertura cilindróide no dorso.

O "rhyton", em terracota pintada, do XIX século a.C., proveniente de Kültepe, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um vaso de libação em forma de quadrúpede, com abertura cilindróide no dorso.

O "rhyton", em terracota pintada, do XIX século a.C., proveniente de Kültepe, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um vaso de libação em forma de felino, com abertura cilindróide no dorso.

O "rhyton", em terracota pintada, do século XIX a.C., proveniente de Kültepe, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um vaso de libação em forma de porco-montês, com abertura cilindróide no dorso.

O "rhyton", em terracota pintada, do século XIX a.C., proveniente de Kültepe, encontra-se no Museu do Louvre, em Paris, e representa um vaso de libação em forma de animal acocorado, com abertura cilindróide no dorso.

O "rhyton", em terracota pintada, do século XIX a.C., proveniente de Bagazhöy, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um vaso de libação em forma de leão acocorado, com abertura cilindróide.

O "rhyton", em terracota pintada, do século XIX a.C., proveniente de Bagazhöy, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um vaso de libação em forma de pássaro, com abertura cilindróide.

O "rhyton", em terracota pintada, do século XIX a.C., proveniente de Bagazhöy, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um vaso de libação em forma de pássaro, com abertura cilindróide.

O "rhyton", em terracota pintada, do século XIX a.C., proveniente de Bagazhöy, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um vaso de libação em forma de cabeça de cavalo.

O "rhyton", em terracota pintada, do século XIX a.C., proveniente de Bagazhöy, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um vaso de libação em forma de cabeça de águia.

O "rhyton", em terracota pintada, do século XIX a.C., proveniente de Bagazhöy, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um vaso de libação em forma de cabeça de coelho.

O "rhyton", em terracota pintada, do século XIX a.C., proveniente de Kültepe, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um vaso de libação em forma de barco com o seu remador e tem o gargalo com forma de cabeça de carneiro.

Estatuetas

A estatueta de uma esfínge, em marfim, do século XVIII a.C., proveniente de Acemhöyük, encontra-se no Museu Metropolitano de Arte, em Nova Iorque, e representa uma esfinge.

A estatueta masculina, em marfim, do século XVIII a.C., proveniente de Acemhöyük, encontra-se no Museu Metropolitano de Arte, em Nova Iorque, e representa uma esfinge com os membros inferiores fragmentados.

A estatueta de uma deusa, em marfim, de 1800 a.C., proveniente de Kültepe, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa uma deusa sentada, talvez uma deusa da fecundidade, com as mãos sustentando os seios, o monte do púbis muito bem marcado, os membros inferiores muito desenvolvidos, em comparação com os membros superiores.

A estatueta masculina, em marfim, 1700 a.C., proveniente de Alaca-Höyük, encontra-se no Museu Arqueológico, em Ancara, e representa um homem acocorado, com o membro superior direito estendido e o cotovelo esquerdo flectido com a mão sobre o ombro esquerdo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Akurgal, Ekrem – Civilisations et sites antiqúes de Yurquie. Türk Tarih Kürumu Basumevi, Ankara, 1986.

Blaásquez, José Maria; Martínez-Pinna; Presedo, Francisco; Melero, Melero, Raquel Lopez e Alvar, Jaime – *Historia de Oriente Antigo*. Ediciones Cátedra, Madrid, 1992.

Bernabé, Alberto e Alvarez-Pedrosa, António – *Historia y Leyes de los Hititas – Textos del Império Antigo*. Ediciones Akal, Madrid, 2000.

Bitel, Kurt – *Les Hitttites*. Éditions Gallimard, 1976.

Fernández, Pedro Sáez – *Historia del Mundo Antigo, Oriente, Los Hittas*. Ediciones Akal, S.A., 1988.

Frankfort, Henri – *The Art and Architecture of the Ancient Orient*. Penguin Books, 1988.

Guerney, O. R. – *The Hittites*. Penguin Books, 1990.

Lloyd, Seton – *Povos Antigos da Anatólia*. Biblioteca das Civilizações Primitivas, Editorial Verbo, Lisboa, 1967.

Macqueen, J.G. – *Les Hittites. Aux origines de la Turquie*. Collection Civilisations. Armand Colin Editeur, Paris, 1985.

Macqueen, J. G. – *Hittites and their Contemporaries in Asia Minor*. Thames and Hudson, London, 1986.

Nobre, José e Noro, João – *Arqueologia*, volume 3. Editorial Planeta de Agostini, 1987.

Olaguer-Feliu, Fernando de – *Historia del Arte del Proximo Oriente*. Editorial Planeta, 1994.

Pasinli, Alpay – *Les Musees Archeologiques d'Istanbul*. A Turizm Yayinlari Ltd. Sti, Istambul, 1989.

Peinedo, Frederico Lara e Zoilo, Joaquín Córdoba – *Historia del Arte*, 6, El Mediterrâneo Oriental, Historia 16, 1989.

Pijoán, José – Summa Artis, *Historia General del Arte*, volume II, Arte del Asia Occidental, Hititia. Espasa-Calpe, S.A., Madrid, 1981.

Ramírez, Juan António – *Historia del Arte. El mundo antigo*. Alianza Editorial, Madrid, 1996.

Solar, David e Villalba, Javier – *História da Humanidade. O Egipto e as Antigas Civilizações*. Círculo dos Leitores, 2007.

Soveral, Augusto – *História da Arte*, volume I, As primeiras Civilizações. Editorial Planeta de Agostini, 1996.

(Comunicação apresentada à Classe de Ciências na sessão de 3 de fevereiro de 2011)

La Désindustrialisation de l'Europe: entre Espoir et Fatalisme

Jean-Pierre Contzen†
Membre Etranger de l'*Academia das Ciências de Lisboa*

Nota sobre esta comunicação: O texto tem por base um relatório da *Académie Royale de Belgique* datado de Setembro de 2010, na elaboração do qual o autor e a Classe Tecnologia e Sociedade, da qual era membro fundador, participaram ativamente. Infelizmente, contém numerosos erros de ortografia, pontuação e formatação que não foi possível suprir em tempo útil. Acontece que a 2.ª edição de *Writing to Queens while Crises Proceed*, dedicado à memória de Manuel Jacinto Nunes, decano da secção de economia e finanças da Classe de Letras e antigo Presidente da Academia, disponível em https://run.unl.pt/handle/10362/14560, pp. 95-7, inclui dois resumos em inglês sobre o mesmo tema, intitulados *Science and society, successes and failures of the couple, between Prometheus and Cassandra e The ARB report on the deindustrialization of Europe*, além de "Fossil Fuels in CPLP: Which Future?" (pp. 103-12) versão aumentada do comentário apresentado na *Workshop Energy@CPLP* organizada em 25 de Fevereiro de 2015 por Rui Vilela Mendes e Jorge Braga de Macedo.

INTRODUCTION

Cet exposé est destiné à stimuler la réflexion et par conséquent pose plus de questions qu'il ne fournit de réponses. Il résulte d'une analyse entamée lors de l'élaboration du manifeste publié en juillet 2010 par la Classe Technologie et Société de l'Académie Royale de Belgique « La désindustrialisation de l'Europe. Nous n'avons plus de temps à perdre! ». L'analyse fut approfondie suite à de nouvelles interrogations ayant surgi depuis lors: Comment définir actuellement la désindustrialisation? Où en sommes-nous en 2010? Y-a-t-il eu une évolution? Que faire? Quelles options? Quel Futur? Que peut-on espérer? Quel rôle pour les Académies?

QUE SIGNIFIE DÉSINDUSTRIALISATION?

Les approches divergent et les bases de données ne sont pas toujours cohérentes.

Qu'entend-on par « industrie »? S'agit-il du seul secteur manufacturier ou de l'ensemble des secteurs manufacturier, extractif et construction, tel que défini dans plusieurs bases statistiques?

Où se situe la frontière entre services et industrie? La distinction entre « tradable goods » (industrie) et « non-tradable goods » (services) n'est plus adaptée. Que dire des « utilities », les infrastructures destinées aux services? Par désindustrialisation, entend-on une perte absolue ou relative de l'activité industrielle?

Le tableau 1 fournit différentes données qui aident à comprendre les différences d'appréciation dans la notion d'industrie.

Les données de ce tableau sont les plus récentes disponibles: les croissances annuelles du PIB et de la production industrielle sont les valeurs estimées par la CIA pour 2010, la distribution du PIB entre agriculture, industrie (au sens large) et services s'applique à 2009 et la part de la valeur ajoutée manufacturière dans le PIB (chiffres fournis par le FMI) correspond également à 2009, sauf pour Qatar et UAE.

L'option correspondant à la conception large de l'industrie (manufacturière plus extractive plus construction) place des pays comme le Qatar et les Emirats Arabes Unis dans le peloton de tête des pays industrialisés en raison du poids de la construction dans ces pays. Cela ne correspond pas nécessairement à la vision communément adoptée dans nos pays européens, ce qui montre la grande importance des définitions choisies

Tableau 1

Pays	Croissance PIB/an	Croissance Prod.Ind. /an	Agricult. % PIB	Industrie %PIB	Services % PIB	Manuf. %PIB
Qatar	19,4%	27,1%	0,10%	78,8%	21,1%	5,50%
UAE	2,60%	3,20%	0,90%	51,5%	47,8%	14.0%
Chine	10,1%	11,0%	9,60%	46,8%	43,6%	38,0%
Corée	6,10%	12,1%	3,00%	39,4%	57,6%	26%
Allemagne	3,30%	9,00%	0,80%	27,9%	71,3%	20,0%
Brésil	7,50%	11,5%	6,10%	26,4%	67,5%	22,0%
Italie	1,10%	0,50%	1,80%	24,9%	73,3%	17%
Portugal.	1,00%	0,90%	2,60%	23,0%	74,5%	14%
Japon	3,00%	7,50%	1,50%	22,8%	75,7%	29,0%
Etats Unis	2,80%	3,30%	1,20%	22,2%	76,1%	13,0%
Roy. Uni	1,60%	1,90%	0,90%	22,1%	77,1%	13,0%
France	1,60%	3,50%	1,80%	19,2%	79,0%	12,0%

Sauf pour l'Italie et le Portugal, le taux de croissance estimé pour 2010 de la production industrielle (sens large) est supérieur au taux de croissance pour 2010 du PIB; pour l'ensemble de l'Union Européenne, ces taux sont respectivement de 3.8% et 1.7%. Peut-on vraiment parler de désindustrialisation sans opérer des distinctions géographiques?

LE CONSTAT 2010

Une analyse américaine reproduite dans le diagramme 1 montre la décroissance dans les trente dernières années (1980-2008) de la contribution de l'industrie manufacturière au PIB des nations. La Chine, devenue 2ème économie du monde, et la Corée font exception.

Ceci ne signifie pas nécessairement une décroissance en valeur absolue de la production manufacturière dans le monde; une forte croissance du PIB, telle qu'indiquée dans le tableau 2, accompagnée d'une production manufacturière constante, conduit au même résultat

Ce fait est confirmé par la même analyse américaine qui établit dans le diagramme 2 l'évolution de la valeur absolue de la production manufacturière en dollars US 2008. Etats Unis, Chine, Japon et Allemagne se signalent par des croissances notables. Par contre, la plupart des pays européens stagnent au niveau manufacturier

Tableau 2

1980-2008	Croissance du PIB	Part du manuf. dans PIB
Monde	+620%	24%-17%
USA	+515%	21%-13%
Chine	+3650%	34% – 33%
Japon	+425%	28%-21%
Allemagne	+387%	27%-21%
Italie	+357%	27%-17%
Royaume Uni	+456%	24%-12.5%
France	+398%	20%-11%
Brésil	+452%	28%-15%
Corée	+1535%	21%-25%

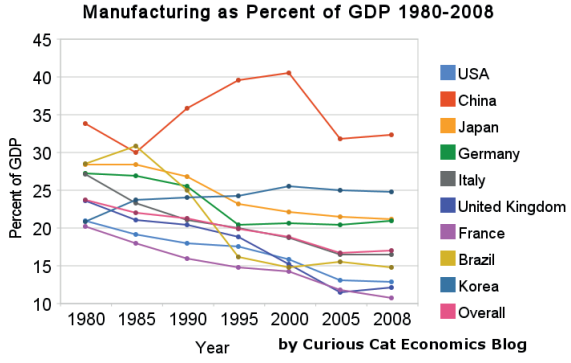


Diagramme 1

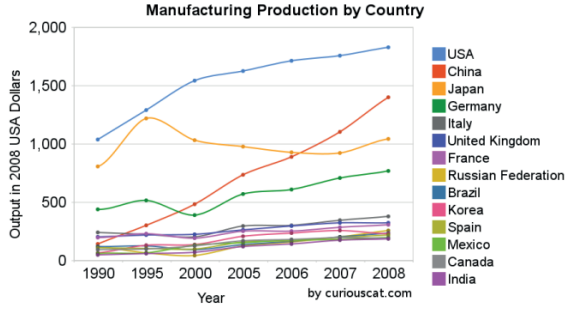


Diagramme 2

En se basant sur une première analyse de données statistiques dont il faut encore vérifier la cohérence sur certains points, on peut conclure que:

La désindustrialisation du secteur manufacturier se situe en valeur relative.

Cette désindustrialisation se manifeste de façon différente suivant les pays, avec notamment des écarts substantiels au sein de l'Union Européenne

Les indicateurs établis pour 2010 semblent indiquer que la sortie de crise s'accompagne dans la plupart des pays développés par une reprise de l'activité industrielle (au sens large) supérieure à celle de l'ensemble de l'économie.

LES RAISONS DE CETTE ÉVOLUTION

Trois facteurs, qui ne s'excluent pas nécessairement l'un l'autre, peuvent expliquer cette évolution diversifiée:

La globalisation

Pour certains pays, le « Mal Hollandais » («Dutch Disease»)

Le progrès technique

LA GLOBALISATION

Elle a été très présente dans les dernières décennies: peut-on parler de la fin d'une certaine géographie? Cette globalisation est caractérisée par le transfert d'emplois des marchés développés aux marchés émergents, avec une préférence pour les activités à haute intensité de main d'œuvre, à coût faible, pour des clients attentifs aux prix pratiqués, avec un coût faible de transport. La qualité du produit constitue de moins en moins un facteur déterminant vu l'amélioration réalisée dans ce domaine par les pays émergents.

LE MAL HOLLANDAIS

Le terme « Dutch Disease » a été utilisé par la revue « The Economist » en 1977 pour caractériser le paradoxe économique apparu aux Pays Bas suite à la découverte du gaz naturel dans le Nord du pays en 1959. Les profits dus à l'exportation de ce gaz auraient dû conduire à la prospérité économique, il n'en fut rien:

Apparition de taux élevés d'inflation et de chômage

Afflux de capitaux non liés à la capacité productive domestique, accroissement des salaires

Répercussion sur les prix, augmentation possible dans les « non tradable goods » (biens domestiques, services) mais difficile dans l'industrie manufacturière vu la concurrence mondiale

En conséquence, la main d'œuvre et le capital se sont déplacés vers les services plus lucratifs, d'où désindustrialisation avec chômage et reconversion lente de la main d'œuvre

Par extension, le concept est appliqué aux pays où le boom dans un secteur industriel (généralement associé à une ressource extractive, en particulier le pétrole et le gaz) affecte négativement la performance des autres secteurs

Il se retrouve, entre autres, en Russie et au Venezuela mais pas dans les pays du Golfe, vu l'absence d'industrie au départ

LE PROGRÈS TECHNIQUE

Pour un certain courant de pensée (Robert Reich), la cause réelle de la désindustrialisation se trouve dans le progrès technique qui détruit quantité d'emplois du modèle fordiste, remplacés d'une part par ceux d'un nombre limité d'experts et de techniciens hautement spécialisés, largement rémunérés, qui analysent, innovent, créent ou travaillent dans la vente, la publicité et le marketing, et d'autre part par une grande masse d'emplois de services peu qualifiés, peu producteurs de valeur ajoutée, mal rémunérés où les gains de productivité sont obtenus par un durcissement des conditions de travail

L'aspect positif se trouve dans le fait que le progrès technique, par la robotisation, libère l'homme des tâches routinières et asservissantes; il le rapproche d'une société de loisirs en permettant qu'une quantité moindre de travail subvienne aux besoins de tous, une société où l'hédonisme est présent

QUE FAIRE?

Deux options fondamentales s'offrent à notre Société:

***Le fatalisme*:** Notre Société considère que la désindustrialisation, telle qu'elle vient d'être qualifiée, est inéluctable. Globalisation et progrès technique, combinés pour un certain nombre de pays au « Mal Hollandais », ne peuvent être contrecarrés. Nos entreprises se consacrent essentiellement aux services; c'est le cas aussi de la Chine, de la Corée et d'autres pays émergents. On peut s'interroger sur le devenir des pays encore en développement dans un tel scénario.

C'est la victoire du « Nichts Produzieren und Trotzdem Gut Leben » décrit en 1996 par Klaus Peter Möller, le succès du courant postmoderniste prônant l'amélioration de la qualité de vie sans produire plus de richesse. Le courant de pensée représenté par Robert Reich considère que le défi majeur réside dans la redistribution des revenus au sein d'une Société duale en améliorant les revenus de « l'armée toujours grandissante des travailleurs à faible revenu ». Le problème n'est plus économique et technique, il est essentiellement social et politique.

Un autre courant prône aussi l'abandon du « fétichisme de l'usine » (Jagdish Bhagwati, Columbia University) et l'avènement de l'économie de la connaissance et des services (Lawrence Summers, Harvard University).

La valeur de 50 milliards de dollars attribuée à Facebook (2000 employés) par Goldman Sachs montre la réalité de cette tendance, si l'on compare cette valeur aux 55 milliards de dollars attribués à Boeing Co. (160 000 employés)

Dans cette optique, il faut s'orienter vers les services offrant des salaires élevés et commercialisables internationalement. Pour maintenir le bien-être des Sociétés (anciennement) industrialisées, il suffit de maintenir dans le pays le contrôle du capital, de la gestion et de la capacité d'innovation en R&D et en marketing

L'espoir: Même si l'érosion d'une certaine base industrielle se poursuivra dans les marchés développés, il doit être possible de maintenir dans les économies avancées, une industrie manufacturière, caractérisée par des produits à haute valeur ajoutée, intensifs en capital, utilisant une main-d'œuvre hautement qualifiée, situés dans des domaines complexes (technologies de la santé, nanotechnologies).

La disponibilité des matières entrant dans la fabrication devient un facteur de localisation des industries, tout autant que la Co-localisation d'entreprises complémentaires. La proximité d'un client toujours plus présent dans la conception des produits est aussi importante. L'existence d'une marque reconnue (Hermès, Porsche) joue aussi un rôle à cet égard. Le développement des infrastructures pour les services (utilities) est susceptible de créer une nouvelle demande

La progression des services n'ayant pas apporté la dématérialisation espérée par d'aucuns, la pression exercée sur les économies pour assurer un développement durable de la planète peut constituer un facteur de renouveau industriel notamment dans les domaines énergétique et environnemental (par exemple, une industrie nouvelle du recyclage). Les considérations environnementales pourraient-elles par ailleurs avoir un effet à moyen terme sur le transport au niveau global?

QUEL FUTUR?

« La prédiction est toujours difficile, surtout lorsqu'il s'agit du futur ». Cette boutade est particulièrement vraie lorsqu' elle s'applique à un monde globalisé, interconnecté, d'une complexité croissante, à l'évolution non linéaire avec des ruptures fréquentes. Tout est possible « *The future is not yet written* ». Tout en reconnaissant la validité de plusieurs arguments avancés par les fatalistes, on ne peut pas s'abstenir de rechercher les moyens de promouvoir l'espoir même si d'aucuns considèrent cela «*Too baroque to be true* »

LES CLÉS DE L'ESPOIR

Quelle que soit l'option choisie, un certain nombre de facteurs requièrent un traitement global auquel des organisations telles que l'Organisation Mondiale du Commerce, le Fonds Monétaire International et le G20 peuvent contribuer:

La mise en ordre du système monétaire global

La garantie d'une égalité de chance pour les entreprises, la résistance au protectionnisme

Le développement d'une normalisation qui ne constitue pas un obstacle non-tarifaire au commerce mondial, ce qui implique une utilisation judicieuse du principe de précaution

L'adaptation des règles de propriété intellectuelle à la réalité du XXIème siècle

La promotion d'une bonne gouvernance

D'autres facteurs nécessitent un examen au niveau régional ou national:

Le renforcement des efforts d'éducation à tous les niveaux de formation et tout au long de la vie, notamment pour améliorer la qualification de la main d'œuvre manufacturière, pour développer des ressources humaines propres à alimenter la R&D, pour stimuler l'innovation et pour permettre l'éclosion de nouvelles entreprises

La création d'un environnement réglementaire et fiscal favorable à l'industrie et à l'innovation en son sein

L'accès à des sources de financement adéquates

Le développement d'activités de prospective. La rapidité de l'évolution des technologies ne laissant pas le temps de s'adapter, il faut anticiper le changement

Le réexamen du rôle des clusters technologiques dans le maintien de l'industrie

CONCLUSION

La réflexion qui vient d'être présentée suscite beaucoup d'interrogations. Ceci permet d'identifier certains chantiers destinés à faire progresser la réponse à certaines questions. Parmi ceux-ci, on peut mettre en avant les thématiques suivantes:

La mise en cohérence des bases de données

L'analyse de l'effet de la crise de 2008 sur la désindustrialisation

L'influence du courant postmoderniste sur les politiques industrielles

L'avenir des pays en développement dans les différents scénarios envisagés pour les pays industrialisés. Ces pays peuvent-ils devenir la seconde vague des pays émergents?

L'impact d'une politique de développement durable sur le renouveau industriel

Existe-t-il un rôle pour les Académies dans l'étude de cette problématique? Oui sans nul doute, le sujet présentant un caractère pluridisciplinaire alliant l'économique et le social à la technologie. L'Académie, telle que nous la connaissons dans nos pays occidentaux, peut constituer un lieu de rencontre neutre pour stimuler la réflexion et promouvoir de nouvelles études sur le sujet.

Par la suite, ce rôle pourra être complété par un dialogue avec les décideurs politiques, sociaux et économiques, dialogue destiné à fournir à ces décideurs une base raisonnée pour leurs choix futurs.

BIBLIOGRAPHIE

« *La désindustrialisation de l'Europe. Nous n'avons plus de temps à perdre!* » Manifeste de l'Académie Royale de Belgique, Classe Technologie & Société, Juillet 2010

« *Nichts Produzieren und Trotzdem Gut Leben, Standort Deutschland ohne Industrie?* » Klaus Peter Möller, 1996, Edition Pestel

« *The Secret of Dubai's Long-Term Economic Success: Counter-Intuition* » Ohan S. Balian, Sept. 2010

EconStats, IMF World Economic Outlook

The World Factbook, Central Intelligence Agency

« *The Dutch Disease: Theory and Evidence* », Ignacio Hernandez, Growth and Crisis Program of the World Bank Institute, July 2006, blogs.worldbank.org/

« *The Future of Manufacturing, GM, and American Workers (Part I)* », Robert Reich, May 29, 2009, robertreich.blogs/

« *Global Rebalancing with Gravity: Measuring the Burden of Adjustment* », Robert Dekle, Jonathan Eaton and Samuel Kortum, IMF Staff Papers (2008), **55**, 511-540

« *Foresight 2020, economic, industry and corporate trends* », The Economist Intelligence Unit, 2006

« *Manufacturing Output as a Percent of GDP by Country* », curiouscatblog.net/, June 28, 2010

« *U.S. factories reverse trend, add more jobs* », The Wall Street Journal, January 19, 2011

« *Riveting prospects* », Ed Crooks, Financial Times, January 7, 2011

« *A dip in the Valley* », Richard Waters, Financial Times, January 20, 2011

« *Make or break time for Japan* », Jonathan Soble, Financial Times, February 7, 2011

« *A quoi ressemble la France du plein-emploi? Pourquoi certaines zones résistent-elles à la crise?* », Le Monde, 8 février 2011

« *The Experience Economy* », David Brooks, International Herald Tribune, February 16, 2011

(Comunicação apresentada à Classe de Ciências
na sessão de 17 de fevereiro de 2011)

Anatomia artística no Hatti (Hititas) II

Reino Hitita, império Hitita e reinos Neo-hititas

J. A. Esperança Pina[1]

ARTE DO REINO HITITA E DO IMPÉRIO HITITA (1750 A 1200 A.C)

Hattusili I deslocou a capital para Hattusha (actual Boğazhöy), depois da partida dos mercadores assírios e aí foram encontradas figuras artísticas do Reino Hitita, entre 1750 a 1400 a.C. e do Império Hitita, entre 1400 a 1200 a.C., em escavações realizadas nos cemitérios pertencentes a cidadelas, onde se identificaram estatuetas, vasos com relevos e vasos zoomorfos.

O cemitério de Hattucha (actual Boğazhöy) está situado fora da cidadela, próximo da estrada que a liga a Yazilikaya, onde foram encontrados dois tipos de sepulturas, com inumações ou incinerações. As cinzas eram depositadas em recipientes de cerâmica com formas variáveis, sendo acompanhadas com pequenas oferendas, como conchas, pequenos potes e fios de bronze. Alguns túmulos continham ossadas de carneiro e de porco resultantes de festas realizadas nos funerais. Encontraram-se também ossadas de cães acompanhando o dono à última morada.

ARQUITECTURA

A arquitectura das cidades hititas foi avaliada pelas suas ruínas estudadas sobretudo na capital, a cidade de Hattusha (actual Boğazhöy) e em Alaca-Höyük.

Hattusha (actual Boğazhöy)

Hattusha (actual Boğazhöy) era a residência do monarca formando um imenso complexo cultural de forma oval, com o grande eixo de 2km. A cidadela estava dividida por muros, que delineavam quarteirões para melhor segurança das habitações, dos palácios, da acrópole, dos cinco templos principais, e sendo protegida por uma muralha dupla reforçada por torres, com uma poterma, e portas representando divindades ou esfinges.

A muralha dupla, em adobe, era constituída por uma muralha alta e uma antemuralha baixa, ambas com numerosas torres quadrangulares. As muralhas eram sustentadas por grandes blocos de pedra rudemente talhadas. As portas eram constituídas por grandes monólitos oblíquos, a que juntaram pedras para originar um arco parabólico falso, apoiado em grandes blocos de pedra decorados com impressionantes figuras em relevo.

[1] Membro Efectivo da Academia das Ciências de Lisboa. Professor Catedrático Jubilado da Faculdade de Ciências Médicas da U.N.L. Professor Catedrático da Faculdade de Direito de Lisboa da U.C.P. Ex-Reitor da Universidade Nova de Lisboa.

A porta dos Leões, a oeste, de XIV a XIII a.C. ostentava dois magníficos leões que parecem emergir da pedra, efeito conseguido pela transição entre o bloco de pedra e a sua decoração.

A porta do Rei, a este, de XIV a XIII a.C., é a obra-mestra dos relevos arquitectónicos hititas. Representa uma divindade, com grande monumentalidade, com cerca de 2 metros de altura, de inspiração egípcia, esculpido de perfil, com um membro inferior adiantado ao outro, com a mão esquerda levantada num gesto de poder e com a mão direita segurando uma arma de guerra.

A porta da esfinge, a sul, não tem esculturas, pois a esfinge esquerda está no Museu Arqueológico, em Istambul, e a esfinge direita está no Museu de Pergamo, em Berlim.

A poterna situada meridionalmente, contribui para a defesa da cidade, formando um túnel com abóbada parabólica, com 3 metros de comprimento e 2,40 metros de largura. A sua constituição basea-se em pedras talhadas formando um plano inclinado em direcção ao exterior, uma ombreira monolítica e um monólito transversal.

A acrópole, situada na colina de Büyükkale, era defendida por uma muralha.

A acrópole estava num dos cantos o palácio real com uma grande sala precedida de um pórtico com pilares, construções para oficinas, armazéns e o arquivo-biblioteca, onde se encontravam grande quantidade de documentos, com textos cuneiformes, escritos em tábuas de argila.

O templo do deus do céu (templo I) situava-se na parte norte da cidade, sendo dedicado ao deus do céu e à deusa do sol. Era um grande complexo com o templo ao centro, com numerosas janelas por onde entrava grande luminosidade. O templo estava rodeado por ruas lajeadas com armazéns. O edifício apresentava um pátio lajeado, cujo acesso era um pórtico muito harmonioso, com passagem central e vãos laterais. No extremo oposto havia um pórtico com três pilares que conduzia às duas celas, o *sancto sanctorum*, onde estava a imagem do deus do céu e a deusa do sol.

Os templos II, III, IV e V situam-se na parte sul da cidade e eram constituídos por numerosas salas, com um portal de entrada para um pátio rectangular ou quadrado, o pórtico com pilares oposto ao pátio e vestíbulos que davam acesso ao santo dos santos.

Alaca-Höyük

Alaca-Höyük apresentava o grande complexo arquitectural com cinco templos, um santuário rupestre, e o palácio dos grandes monarcas. Encontrava-se defendida por uma muralha onde se localizava a Porta das Esfinges.

A Porta das Esfinges era constituída por duas esfinges e numerosos relevos esculturais, tipo ortostato, que ornamentam as fachadas direita e esquerda, bem como os muros laterais de entrada, transformando a porta num acesso monumental. As esfinges estão limitadas lateralmente pelo corpo de animais. As cabeças têm a face redonda, o mento recuado, os lábios, o nariz pequeno e os olhos.

ARTES FIGURATIVAS

A arte figurativa no Reino Hitita, entre 1680 e 1500 a.C. e no Império Hitita, entre 1420 a 1178 a.C., não permite atribuir com segurança nenhum vaso ou figurinha como pertencente a estes períodos, tendo sido identificados: vasos com relevos, vasos zoomorfos para dar de beber aos deuses nos templos durante as cerimónias de culto e estatuetas de deuses.

Vasos com relevos

O fragmento de um grande vaso com relevos, em terracota pintada, de 1600 a.C., proveniente de Bitik, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, representa uma cena de oferenda religiosa a uma divindade. É constituído por três zonas: em baixo, prováveis cenas de um combate, no meio, uma procissão de portadores de oferendas e em cima, o átrio de um templo, onde se encontra um deus sentado, que ergue o véu de uma deusa igualmente sentada.

O fragmento de um vaso com relevos, em terracota pintada, de 1500 a.C., proveniente de Alishar, encontra-se no Instituto Oriental da Universidade de Chicago e representa a cabeça de um homem com a cabeça de perfil.

O fragmento de um vaso com relevos, em terracota pintada, do século XIV a XV a.C., proveniente de Selimli, encontra-se na colecção Norbert Schimmel, em Nova Iorque, e representa um homem caçando um veado.

O fragmento de um vaso com relevos, em terracota pintada, 1400 a 1300 a.C., proveniente de Bogasköy, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa uma figura masculina tocando lira.

Vasos zoomorfos

O par de touros com arreios, em terracota pintada, do século XVI a.C., proveniente de Bogasköy, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa dois touros, Serri e Hurri, touros sagrados dos cultos hurritas e depois do culto dos hititas da época imperial, estando ligados ao deus da tempestade, podendo tratar-se de estatuetas de adoração e não acessórios de culto. Os olhos negros incrustados contrastam com o branco dos arreios que passam pelo nariz, com as narinas abertas e apresentam uma abertura cilindróide situada na base do pescoço. A orientação das caudas indica que os dois animais foram esculpidos para estarem juntos.

O touro, de 1400 a.C., em terracota pintada, proveniente de Tokat, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa a cabeça de um touro com arreios, consagrado ao deus da tempestade.

O touro, em terracota pintada, de 1500 a.C., proveniente de Bogasköy, encontra-se no Museu Louvre, em Paris, e representa a cabeça de um touro com os chifres e as orelhas destruídas.

O cavalo, em terracota pintada, de 1300 a.C., proveniente de Karahöyük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa a cabeça de um cavalo com perfeita anatomia de superfície.

O pato, do século XVIII ou XVII a.C., em terracota pintada, proveniente de Beycesultan, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e é um vaso que representa um pato com três patas, asas curtas e ansa com abertura no dorso.

O cão, em terracota pintada, do século XIV a.C., proveniente de Bogasköy, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa a cabeça de um cão com as orelhas levantadas.

O vaso, em terracota pintada, do século XIV a.C., proveniente de Bogasköy, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um pato bicéfalo, com os pescoços, os bicos, os olhos e as asas muito bem modelados.

O vaso, em terracota pintada, do século XVI a.C., proveniente de Iliaca, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um carneiro com uma ansa sobre o dorso.

O "rhyton", em prata, de 1400 a.C., proveniente da Anatólia, encontra-se na colecção Norbert Schimmel, em Nova Iorque, e representa um veado acocorado utilizado em cerimónias religiosas pertencendo a um grande templo.

O "rhyton", em prata, do XIII a.C., proveniente da Anatólia, encontra-se na colecção Norbert Schimmel, em Nova Iorque, e representa um touro acocorado com as órbitas enucleadas, possivelmente utilizado em cultos e ritos dedicados ao deus das tempestades.

Estatuetas

O fragmento de uma estatueta, em bronze, de 1300 a.C., proveniente de Dogantepe, encontra-se na biblioteca de Bayezid Külliyesi, em Amasya, e representa um deus em pé com uma tiara cónica.

A estatueta, em bronze, do século XVII a.C., proveniente de Dövlek, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um deus esbelto, com tórax trapezoidal, ancas proeminentes e o tornozelo esquerdo em extensão.

A estatueta, em ouro, de 1300 a.C., proveniente de Bogasköy, encontra-se no Museu do Louvre, em Paris, e representa um deus em pé, com os pés flectidos, coberto com uma tiara cónica e as mãos segurando uma criança.

A estatueta, em bronze, do XIV ou XIII a.C., proveniente de Alaca-Höyük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa uma deusa sentada, com os seios descobertos.

A estatueta, em ouro, do século XIV ao XIII a.C., proveniente da Anatólia, encontra-se na colecção Norbert Schimmel, em Nova Iorque, e representa provavelmente a poderosa deusa solar de Arinna, sentada num trono com os braços em garra, com uma criança sentada nos joelhos.

RELEVOS RUPESTRES EM SANTUÁRIOS E TEMPLOS A CÉU ABERTO

Relevos rupestres de Yazilikaya

Yazilikaya é um santuário situado a cerca de 2 km a nordoeste de Hattusha, onde eram realizadas as maiores cerimónias religiosas dos hititas, sendo edificado por Hattusili III. É formado por um conjunto de rochas, constituindo duas câmaras naturais com duas galerias de paredes verticais para a morada dos deuses. É um santuário rupestre, num maciço rochoso em que se encontram duas galerias de paredes verticais onde estão esculpidas figuras e nichos.

As cenas são constituídas por sessenta e três personagens, em que as duas procissões avançam de frente uma para a outra acabando por se encontrar.

O santuário de Yazilikaya permite identificar a grande galeria e a pequena galeria. O ingresso no santuário é feito através de um pórtico monumental, tipo propileu, e que através de uma escada conduzia ao edifício principal, onde se encontrava um grande pátio, ladeado de numerosos compartimentos, com um altar e uma câmara lustral, e que através de uma porta dava acesso à grande galeria. O acesso directo à pequena galeria era feito através de outro edifício, contendo apenas um pátio.

A grande galeria encontra-se na garganta principal e apresenta dois grandes cortejos, o cortejo dos deuses masculinos e o cortejo das deusas femininas.

Os cortejos são liderados pelas duas divindades principais do panteão hitita: Techub, o deus da tempestade, e Hebat, a deusa solar de Arina, a que se segue o seu filho Sarruma, gerado pelo próprio Techub.

Techub surge adiante de uma procissão de personagens masculinas, com uma túnica curta de guerreiro, com uma maza, enquanto o outro braço se projecta para diante com o punho cerrado. Hepat surge adiante de seu filho Charruam e de numerosas deusas, que se vestem do mesmo modo e adoptam idêntica posição.

O deus do sol com o disco solar alado e o deus da lua encontram-se frente a frente.

O rei Tudhalia IV, com trajes sacerdotais está apoiado em duas montanhas, com a posição típica dos deuses.

As divindades estão representadas em pé sobre os seus animais de culto.

A pequena galeria encontra-se na garganta mais estreita e tem figuras esculpidas com grandes dimensões.

A procissão de doze deuses-soldados, em marcha, avança com aspecto ameaçador, com a espada curva apoiada no ombro direito e o punho direito levantado em oração. Apesar da pedra desgastada a escultura transmite movimento e profundidade. Trata-se de um dos melhores baixos-relevos da escultura hitita.

A cena principal representa o rei Tudhalia IV protegido pela sua divindade tutelar, Charruam, que se abraçam, estando o rei vestido com simplicidade e transportando um bordão pastoril encurvado.

Nesta galeria está esculpido o deus-espada, com cerca de três metros de altura, e um grande punhal parcialmente cravado na rocha e de cada ombro saem dois leões. Tem a cabeça de perfil com uma tiara que traduz a sua alta categoria, sendo provavelmente o senhor do mundo subterrâneo.

Relevo rupestre de Franktin

O relevo rupestre de Firaktin, de 1275 a 1250 a.C., representa o rei Hattusili III fazendo uma oferta ao deus da tempestade e a rainha Puduhepa que faz também uma oferta à sua deusa titular Hepar.

Relevo rupestre de Karabel

O relevo rupestre de Karabel, dos séculos XIV ou XIII a.C., representa um deus ou um rei armado com um arco e uma lança e também com um capacete cónico.

Relevo rupestre de Gävur Kalesi

O relevo rupestre de Gävur Kalesi, de 1400 a.C., representa dois deuses cujos toucados, com chifres, demonstram categorias diferentes, e que caminham em direcção a uma deusa sentada.

ESCULTURA

Esculturas de Hattusha (actual Boğazhöy)

As estátuas dos leões da porta oeste de Hattusha, de 1400 a 1300 a.C., em calcário, parecem emergir da pedra, efeito conseguido pela transição entre o bloco de pedra e a sua decoração, onde a expressão é evidenciada pela ausência dos olhos, e disposição da juba.

A estátua do Rei da porta este de Hattusha, de 1400 a 1300 a.C., em calcáreo, obra-mestra dos relevos arquitectónicos hititas. Representa uma divindade guerreira, com um saiote, um elmo cónico com orelheiras e transportando na mão direita um objecto ritual relacionado com o sacrifício. O tórax

apresenta-se de frente, a cabeça e os membros de perfil, com um membro inferior adiantado ao outro, a mão esquerda levantada num gesto de poder e com a mão direita segurando uma arma de guerra. A figura com cerca de 2 metros, possui uma enorme monumentalidade, o que lhe dá uma sensação de naturalidade, para o que contribui a perfeição de alguns pormenores como o peito, as mãos ou as franjas do saiote. O desenvolvimento da musculatura dos membros inferiores, o vigoroso assentamento dos pés, a mão direita segurando o machado de guerra e a mão esquerda fechada transmite grande energia, reforçada com a tensão do músculo bicípite.

As estátuas das esfinges são provenientes da porta das esfinges, a sul de Hattusha, de 1400 a 1300 a.C.

A esfinge do lado direito, encontra-se no Museu de Pergamo, em Berlim, e apresenta o rosto com grande expressividade, provavelmente mais bem definidos se os olhos não fossem enucleados. As asas abertas, o corpo integrado no pilar e a composição do toucado, contrastam com a inabilidade manifestada nas patas e nas orelhas da esfinge.

A esfinge do lado esquerdo encontra-se no Museu Arqueológico, em Istambul, com uma *facialis* serena, apesar das órbitas enucleadas e apresenta uma perfeita anatomia de superfície dos músculos faciais.

A estatueta, em esmalte, do século XIV a XIII a.C., proveniente de Hattusha (Bogãzhõy), encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um deus com tiara pontiaguda e os braços levantados com as mãos unidas.

A estatueta, em bronze, de 1400 a 1300 a.C., proveniente de Hattusha (Bogãzhõy), situa-se no Museu de Pergamo, em Berlim, e representa um deus com a mão direita em posição de ataque.

Esculturas de Alaka Hüyük

As esfinges da porta de Alaka Hüyük, em andesite, de 1400 a.C., são duas esculturas que apresentam um corpo maciço com peito volumoso, assente em patas curtas que parecem desafiar a anatomia. Estão cobertas com um toucado cujas pontas em espiral cobrem o peito, com gargantilhas de rosetas. As cabeças têm a face redonda, o mento recuado, os lábios e o nariz pequeno e as órbitas enucleadas conferem a estas esfinges um aspecto misterioso.

O leão, em andesite, do século XIV a.C., proveniente de Alaka Hüyük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, apresenta a perfeita ligação da arquitectura com a escultura, e tem a cabeça muito bem modelada, as garras da pata dianteira esquerda sobre um bezerro, evidenciando o poder.

O ortóstato, em andesite, do século XIV a.C., proveniente de Alaka Hüyük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa três sacerdotes.

O ortóstato, em andesite, do século XIV a.C., proveniente de Alaka Hüyüksitua-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um homem conduzindo quatro cabras.

O ortóstato, em andesite, do século XIV a.C., proveniente de Alaka Hüyük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa uma cena de preces do rei e da rainha a um boi, perante uma mesa de oferendas.

O ortóstato, em andesite, do século XIV a.C., proveniente de Alaka Hüyük, situa-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa uma deusa sentada no trono segurando um cálice, enquanto três homens se dirigem para ela.

O ortóstato, em andesite, do século XIV a.C., proveniente de Alaka Hüyük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um ilusionista engolindo uma espada e duas personagens ao seu lado, preparando-se para subir uma escada.

O ortóstato, em andesite, do século XIV a.C., proveniente de Alaka Hüyük, situa-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um tocador de alaúde e o portador de um recipiente zoomorfo.

O ortóstato, em andesite, do século XIV a.C., proveniente de Alaka Hüyük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa uma cena ritual.

O ortóstato, em andesite, do século XIV a.C., proveniente de Alaka Hüyük, situa-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa o adorador de um deus sentado num trono que segura uma clava.

O ortóstato, em andesite, do século XIV a.C., proveniente de Alaka Hüyük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa dois soldados em marcha, armados de lança, com capacetes altos, com crista frontal, e, segundo parece, com fitas pendentes.

O ortóstato, em andesite, do século XIV a.C., proveniente de Alaka Hüyük, situa-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um caçador abatendo um leão com uma flecha, ajudado por dois cães.

O ortóstato, em adesite, do século XIV a.C., proveniente de Alaka Hüyük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um touro com a cabeça baixa em posição de ataque.

O ortóstato, em andesite, do século XIV a.C., proveniente de Alaka Hüyük, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um caçador apontando a um javali que está em cima de um veado. O javali apanhado se surpresa pelo caçador sustentando o arco, o que origina uma figura harmoniosa formada pela cabeça do caçador, o seu braço, a sua mão, a flecha e a corda do arco tensa atrás da cabeça para dar ao arco a maior elasticidade possível.

Escultura de Akcaköy

O fragmento de estela, em pedra, proveniente de Akcaköy, do XIV a.C., existente no Museu Arquiológico, em Adana, e representa o deus da tempestade armado com uma lança, com capacete cónico com chifres.

ARTE NEO-HITITA (1200 A 700 A.C.)

As invasões dos povos das costas do mar Egeu, em 1200 a.C., extinguiram o Império do Hatti, já bastante enfraquecido. As cidades hititas foram destruídas e incendiadas e os seus habitantes refugiaram-se nas montanhas do Táurus. O que restou da sua cultura sobreviveu no sudoeste do antigo império e no norte da Síria, constituindo os reinos neo-hititas. Estes pequenos reinos aspiravam ao desenvolvimento e à supremacia, sendo mais conhecido o reino de Karkemich, que terminou conquistado pela Assíria. As esculturas são sobretudo relevos de ortóstatos, isto é, placas colocadas com a finalidade do revestimento das paredes, que se encontram em Karkemich, Malatya, Zincirili, Sakçagözü e Marash.

Karkemich

As obras figurativas de Karkemich são incomparavelmente as mais ricas da arte neo-hitita, sobretudo na parede do mensageiro, na longa entrada processional da parede das esculturas e no arcobotante real.

A porta do rei, em basalto, do IX século a.C., proveniente de Karkemich, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um cão de raça entre dois leões. Os animais suportavam um deus sentado, com barba e toucado com chifres, tendo a estátua sido destruída durante a primeira guerra mundial.

O ortostato, em basalto, do IX século a.C., proveniente da parede do mensageiro de Karkemich, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa o dono dos animais, dominando leões, touros e veados.

O ortostato, em basalto, do IX século a.C., proveniente da parede do mensageiro de Karkemich, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um monstro com duas cabeças, uma humana e outra de leão.

O ortostato, em basalto, do IX século a.C., proveniente da longa entrada processional de Karkemich, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa uma procissão de mulheres.

O ortostato, em basalto, do IX século a.C., proveniente da longa entrada processional de Karkemich, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa uma procissão de homens transportando animais sobre os ombros.

O ortostato, em basalto, do IX século a.C., proveniente da longa entrada processional de Karkemich, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa a deusa Kubaba sentada num alto trono colocado sobre o dorso de um leão acocorado.

O ortostato, em basalto, do IX século a.C., proveniente da longa entrada processional de Karkemich, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa quatro músicos, um tocando uma trombeta e três tocando uma espécie de bombo.

O ortostato, em basalto, do IX século a.C., proveniente da longa parede das esculturas de Karkemich, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um carro de guerra com o atirador e o condutor atropelando um prisioneiro, sendo o carro puxado por dois cavalos, com o condutor dirigindo e controlando a marcha, enquanto o combatente armado de arco e flecha atira ao inimigo.

O ortostato, em basalto, do IX século a.C., proveniente da longa parede das esculturas de Karkemich, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa uma deusa sustentando os seios com as mãos.

O ortostato, em basalto, do IX século a.C., proveniente da longa parede das esculturas de Karkemich, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa o rei Katuwas com um bastão na mão direita e o membro superior esquerdo levantada, envolvido por numerosos caracteres hieroglíficos.

O ortostato, em basalto, de 760 a.C., proveniente do arcobotante real de Karkemich, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa o rei Araras de Karkemish, e seu filho Kamanas, com inscrições hieroglíficos.

O ortostato, em basalto, de 760 a.C., proveniente do arcobotante real de Karkemich, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa os filhos do rei Araras de Karkemish, a jogar dados.

O ortostato, em basalto, de 760 a.C., proveniente do arcobotante real de Karkemich, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa a mulher do rei Araras de Karkemish, com um filho ao colo e seguida por um animal.

Malatya

Malatya celebrizou-se pela porta que lhe dava acesso, considerada como uma obra de arte próxima daquelas realizadas no Império Hitita, sendo flanqueada por dois leões.

O leão, em calcário, do século X a IX a.C., proveniente da porta dos leões de Malatya, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa um dos leões com a cabeça bem modelada, as patas anteriores ao mesmo nível e a pata póstero-direita adiantada à pata póstero-esquerda.

A estátua, em calcário, dos finais do século VIII a.C., proveniente da porta dos leões de Malatya, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa a estátua colossal de Tarbunza, rei de Milid, com uma rica vestimenta, barba e cabelos com um diadema de rosáceas.

O ortostato, em calcário, do século X a IX a.C., proveniente de Malatya, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa uma libação diante de quatro deuses.

O ortostato, em calcário, do século X a IX a.C., proveniente de Malatya, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa a rainha diante da deusa Istar pisando aves.

O ortostato, em calcário, do século X a IX a.C., proveniente de Malatya, encontra-se no Museu Arqueológico e representa o combate contra uma serpente.

O ortostato, em calcário, do século X a.C., proveniente de Malatya, encontra-se no Museu das Civilizações da Anatólia, em Ancara, e representa a caça ao veado, sendo a cena da caçada rodeada por caracteres hieroglíficos.

Zincirili

Em Zincirili a arte figurativa exprime-se somente nas portas de cidadelas e de fortalezas.

A estátua colossal, em basalto, dos séculos X a IX a.C., proveniente de Zincirili, encontra-se no Museu Arqueológico, em Istambul, e representa um rei assente sobre uma base formada por um homem acocorado entre dois leões.

O ortostato, em basalto, dos séculos X a IX a.C., proveniente da porta da cidadela de Zincirili, encontra-se no Museu de Pergamo, em Berlim, e representa um guerreiro a cavalo.

O ortostato, em basalto, dos séculos X a IX a.C., proveniente da porta da cidadela de Zincirili, encontra-se no Museu de Pergamo, em Berlim, e representa um archeiro.

O ortostato, em basalto, dos séculos X a IX a.C., proveniente da porta da cidadela de Zincirili, encontra-se no Museu Arqueológico, em Istambul, e representa a cena de um banquete.

O ortostato, em basalto, dos séculos X a IX a.C., proveniente da porta da cidadela de Zincirili, encontra-se no Museu Arqueológico, em Istambul, e representa três guerreiros armados.

O ortostato, em basalto, do século VIII a.C., proveniente de Zincirili, encontra-se no Museu de Pergamo, em Berlim, e representa o rei Barrekab no trono em frente de um escriba com o braço levantado em sinal de respeito.

Sakçagözü

O ortostato, em basalto, do século VIII a.C., proveniente de Sakçagözü, encontra-se no Museu de Pergamo, em Berlim, e representa uma caçada a um leão.

Marash

Em Marash, os escultores, com talento e força de expressão, tornaram-se superiores ao de outros centros neo-hititas.

O leão de uma porta, em basalto, do século VIII a.C., proveniente da porta da cidadela de Marash, encontra-se no Museu Arqueológico, em Istambul, e representa um leão com a boca aberta e preenchido com caracteres hieroglíficos.

O ortostato, em basalto, do século VIII a.C., proveniente de Marash, encontra-se no Museu Arqueológico, em Istambul, e representa uma refeição familiar.

A estela, em basalto, do século VIII a.C., proveniente de Marash, encontra-se no Museu Arqueológico, em Adana, e representa uma fiadeira assistida por um escriba.

A estela, em basalto, de 700 a.C., proveniente de Marash, encontra-se no Museu Arqueológico, em Adana, e representa um casal de esposos sentados e abraçados, tendo a mulher um espelho e o marido um cacho de uvas.

A estela, em basalto, do século VIII a.C., proveniente de Marash, encontra-se no Museu do Louvre, em Paris, e representa uma mulher agarrando as coxas de uma rapariga.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Akurgal, Ekrem – *Civilisations et sites antiqúes de Yurquie*. Türk Tarih Kürumu Basumevi, Ankara, 1986.

Blaásquez, José Maria; Martínez-Pinna; Presedo, Francisco; Melero, Melero, Raquel Lopez e Alvar, Jaime – *Historia de Oriente Antigo*. Ediciones Cátedra, Madrid, 1992.

Bernabé, Alberto e Alvarez-Pedrosa, António – *Historia y Leyes de los Hititas – Textos del Império Antigo*. Ediciones Akal, Madrid, 2000.

Bitel, Kurt – *Les Hitttites*. Éditions Gallimard, 1976.

Fernández, Pedro Sáez – *Historia del Mundo Antigo, Oriente, Los Hittas*. Ediciones Akal, S.A., 1988.

Frankfort, Henri – *The Art and Architecture of the Ancient Orient*. Penguin Books, 1988.

Guerney, O. R. – *The Hittites*. Penguin Books, 1990.

Lloyd, Seton – *Povos Antigos da Anatólia*. Biblioteca das Civilizações Primitivas, Editorial Verbo, Lisboa, 1967.

Macqueen, J.G. – *Les Hittites. Aux origines de la Turquie*. Collection Civilisations. Armand Colin Editeur, Paris, 1985.

Macqueen, J. G. – *Hittites and their Contemporaries in Asia Minor*. Thames and Hudson, London, 1986.

Nobre, José e Noro, João – *Arqueologia*, volume 3. Editorial Planeta de Agostini, 1987.

Olaguer-Feliu, Fernando de – *Historia del Arte del Proximo Oriente*. Editorial Planeta, 1994.

Pasinli, Alpay – *Les Musees Archeologiques d'Istanbul*. A Turizm Yayinlari Ltd. Sti, Istambul, 1989.

Peinedo, Frederico Lara e Zoilo, Joaquín Córdoba – *Historia del Arte*, 6, El Mediterrâneo Oriental, Historia 16, 1989.

Pijoán, José – *Summa Artis, Historia General del Arte*, volume II, Arte del Asia Occidental, Hititia. Espasa-Calpe, S.A., Madrid, 1981.

Ramírez, Juan António – *Historia del Arte, El mundo antigo*. Alianza Editorial, Madrid, 1996.

Solar, David e Villalba, Javier – *História da Humanidade. O Egipto e as Antigas Civilizações*. Círculo dos Leitores, 2007.

Soveral, Augusto – *História da Arte*, volume I, As primeiras Civilizações. Editorial Planeta de Agostini, 1996.

(Comunicação apresentada à Classe de Ciências na sessão de 17 de março de 2011)

Rejeição de águas residuais: matéria orgânica e metais pesados. O Estuário do Tejo – Laboratório natural para um Estudo Comunitário.

Armando Lencastre†

Esta comunicação ***inicialmente agendada para 17 de Março*** *(2011) foi transferida por iniciativa da programação para 2 de Junho (2011).*

PRÓLOGO

Este tema, como outros temas que já aqui abordei, o último dos quais foi a regularização do *Baixo Mondego*, só pode ser tratado por equipas multidisciplinares.

Neste caso seria longa a lista de colaboradores em processo tão complexo. A distância no tempo e no espaço, não me permite fazê-la de maneira justa.

Não posso porém deixar de referir o Professor FERNANDO SANTANA, actual Director da F.C.T. da UNL no que se refere aos complexos processos de tratamento de águas residuais.

Na entrada para a Universidade, hesitei entre Medicina e Engenharia; escolhi esta e dediquei-me à Hidráulica Sanitária; para isso criei a HIDROPROJECTO, *Consultores de Hidráulica e Salubridade*; e pedi a exoneração do meu cargo de Investigador (topo de carreira) no LNEC em 1968. Assim, espero ter ajudado a salvar vidas como se Médico tivesse sido.

Orientei os seguintes projectos, classificados pela Ordem dos Engenheiros, entre as "*100 obras de Engenharia Civil do século XX de Portugal*":

– Abastecimento de água à Região de Lisboa;
– Abastecimento de água ao Sotavento do Algarve (Sistema de Barragem);
– Saneamento dos Municípios da Ria de Aveiro;
– Abastecimento de água e saneamento do Complexo Industrial de Sines;
E ainda:
– Águas e Esgotos de Luanda e Lourenço Marques (Maputo);
– Esgotos de Macau, Lobito (Angola), Cidade da Praia (Cabo Verde).

Num colóquio sobre "*Prioridades da Luta contra a Poluição em Portugal*", organizado pela Ordem dos Engenheiros (há já meio Século), em Abril de 1972, defendi contra certos fundamentalismos:

a) – É prioritária a luta contra a poluição da miséria, aquela que se produz à porta de casa, onde as crianças brincam, sobretudo nas aldeias e nos bairros periféricos das cidades;

b) – É prioritário o **abastecimento de água potável e a recolha e tratamento dos esgotos e dos lixos** que, posteriormente em Estudo por mim orientado, passou a designar-se por **Saneamento Básico**.

Este Estudo deu grande impulso ao sector como se vê no quadro junto.

EVOLUÇÃO DO ESTADO DE SANEAMENTO BÁSICO (1972-1992)

	1972	1992
Água potável	40%	80%
Redes de esgotos	17%	60%
Estações de tratamento de esgotos	~	30%

É com estas credenciais que faço esta exposição com o seguinte esquema:

1. – Águas residuais;
2. – Legislação;
3. – Exutores submarinos: Casos de Estudo;
4. – Rejeição dos Esgotos de Lisboa no estuário do Tejo;
5. – O Estuário do Tejo – laboratório natural.

1 – ÁGUAS RESIDUAIS

Nas águas residuais urbanas domina a **matéria orgânica** da actividade doméstica. Encontram-se também **metais pesados**, designadamente mercúrio, proveniente de pequenas oficinas, de ourivesarias, de metalo-mecânicas e de Estações de Serviço Automóvel.

Tendo em atenção que, no nosso país, os maiores aglomerados urbanos se situam no Litoral, sendo a população dos concelhos costeiros 40% do total, o mar e estuários constituem um destino natural final dos efluentes, com o tratamento adequado, aproveitando a capacidade de **auto-depuração** de Oceano no que se refere à matéria orgânica, biodegradável.

– Não confundir Mar com Praias. A poluição fecal destas deve ser evitada à custa de **exutores submarinos** e de Estações de Tratamento de Águas Residuais – ETARs, implementadas só conforme as necessidades do meio receptor.

– A capacidade de **auto-depuração** é um bem comum, o qual só deve ser utilizado mediante o pagamento de uma taxa de utilização; esta reverteria para lutar contra a poluição da miséria. É o princípio do "utilizador-pagador".

A poluição ocorre quando a carga poluidora supera a capacidade de auto-depuração do meio natural.

Compete às autoridades "*evitar o abuso sem entravar o uso*".

– Os produtos não biodegradáveis provenientes da Industria, tais como **metais pesados,** designadamente o mercúrio, devem ser objecto de tratamento antes de lançados nas redes públicas; ou, então, serem reduzidos ou eliminados no processo de fabrico.

– Os metais pesados entram na cadeia alimentar e contaminam o Oceano. Na Madeira, por exemplo, não há poluição industrial e foi encontrado mercúrio nos cabelos dos pescadores da Câmara de Lobos, cuja alimentação fundamental é o peixe espada, pescado localmente a grande profundidade.

Do Estudo "*Mercury Policy Project*", conduzido pelo grupo de trabalho **Mercúrio Zero**, um agrupamento Internacional de mais de quarenta organizações não governamentais, transcreve-se:

– "A contaminação por metilmercúrio em peixes e mamíferos que se alimentam de peixes é uma preocupação mundial de saúde pública. Adultos e crianças podem ser facilmente expostas a doses excessivas do metilmercúrio se comerem peixes, regularmente, tais como atum, peixe-espada, lúcio e robalo".

"Mais importante do que o envenenamento por metilmercúrio, e mais provável de ocorrer, é o risco dos efeitos neurotóxicos no desenvolvimento de bebés. Efeitos neurotóxicos sub-clínicos, mas funcionalmente significativos, podem ocorrer em adultos; a exposição ao metilmercúrio também aumenta os riscos de doenças cardiovasculares".

Os metais pesados não devem entrar na rede pública; devem ser retirados na origem e sujeitos a tratamentos específicos.

2 – LEGISLAÇÃO

A legislação está naturalmente muito influenciada pela legislação comunitária. Comparando o caso de Portugal frente ao Atlântico com o lançamento de águas residuais em mares fechados, como o BÁLTICO (Fig. 1A) ou o Mediterrâneo, pareceria que se deveriam adoptar critérios de rejeição, tendo em conta a capacidade de autodepuração em cada meio receptor.

– Da Revista "*Água*" (07/2000), de um artigo da autoria do Prof. Gonçalves Henriques, então Vice-Presidente do INAG, Instituto Nacional da Água, transcreve-se:

> "*A legislação comunitária da água é constituída actualmente por um* ***conjunto incoerente de Directivas****, com objectivos parcelares, normas de aplicação e conceitos divergentes, desactualizados e, por vezes, inconsistentes*".

– "Da Revista "*Water*", de reputação internacional (08/2000), de um artigo da autoria de Bill MacCann conhecido internacionalmente, transcreve-se:

> "***At the same time much of the first wave of EU water legislation is to be repealed*** *and in practice this signals the demise of nearly all of the 1970s directives.*
>
> *Among those to be carried forward are the Urban Waste Water Treatment Directive and the Nitrates Directive of 1991 and the recently revised Drinking Water Directive 98/83/EC, which replaced the* ***much-maligned regulation of 1980.***"

"Esta legislação tem conduzido principalmente à exigência de grandes instalações de tratamento, as quais removem fundamentalmente a matéria orgânica. Os metais pesados seguem na parte líquida para o oceano ou ficam em grande parte nas lamas, cujo destino pode ser a agricultura, e assim entram na cadeia alimentar."

Vou referir exemplos desta "**maligna Legislação**".

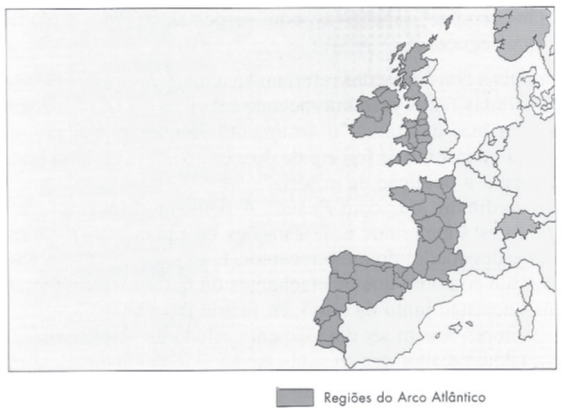


FIGURA 1A
Regiões do Arco do Atlântico (Estuariales de 2002).

FIGURA 1B
O Mar Báltico. Referido por Bill MacCann em "*Water*", 08/2000.

– a) Num concurso de ideias, orientei um estudo prévio com o objectivo de melhoria e preservação da qualidade da água da **Baía de S. Martinho do Porto**.

A solução por mim preconizada baseava-se fundamentalmente na execução dum açude para permitir a derivação dos caudais do Rio Tornada, altamente poluído, para uma conduta com 813 m de comprimento seguida de um exutor de 667 m (Fig. 2).

A proposta desta solução baseou-se no princípio do que se pretendia não era a resolução global do problema, em termos de despoluição total da bacia do rio Tornada, pois de momento se apresentava de custo proibitivo, mas numa **primeira fase** impedir a contaminação das águas da Baía, em particular no período de utilização balnear. Saliente-se que esta contaminação se devia ao facto de serem descarregadas no rio Tornada águas residuais industriais, com realce para as provenientes de suiniculturas, sem previamente serem submetidas a esquemas de tratamento eficientes como há muito se impunha.

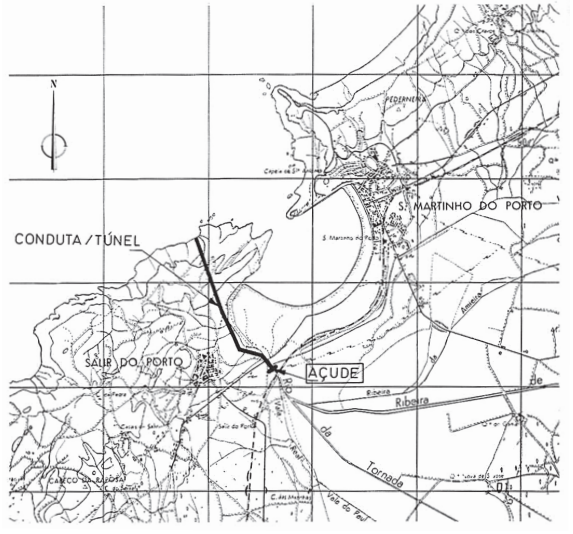


FIGURA 2
Despoluição da Baía de S. Martinho do Porto. Esquema geral proposto.

Tratava-se de uma obra relativamente simples e pouco onerosa, cujo balanço custos-benefícios era extraordinariamente favorável: com cerca de 500 000 contos (1990) despoluía-se a baía de São Martinho.

Devido à Legislação Comunitária, a obra não foi autorizada pela Autoridade competente. Achou-se preferível manter mais alguns anos a baía de São Martinho poluída, porque assim "a própria Baía funcionava de tratamento da água do rio antes de este entrar no mar", como me foi referido!!!...

É o Mar, a Natureza, transformados em novos deuses, aos quais tenhamos de sacrificar os nossos Filhos; é o HOMEM feito para a Lei, ao contrário do que Cristo proclamou há 2.000 anos: "**A LEI é feita para o HOMEM**".

– b) Quando estudei o **Abastecimento de Água à Região de Lisboa**, alguém, com base na Legislação e com algum excesso de zelo, propunha, em Julho de 1992, o "*encerramento de todas as captações subterrâneas*".

Com algumas dificuldades consegui evitar a concretização desta proposta e, actualmente, as captações subterrâneas garantem a produção de 265.000 m^3/dia. Este Estudo, classificado pela Ordem dos Engenheiros entre as "*100 obras de engenharia no Sec. XX em Portugal*", foi também distinguido pela EPAL, pela publicação de um livro, identificado na Fig 3, do qual existem aqui alguns exemplares disponíveis.

Veja-se Pg. 73 do referido livro.

É evidente que o legalismo tem vindo a dominar a técnica; subsiste a dúvida, se por incompetência dos técnicos ou por excessivo peso dos lóbis dos equipamentos e também da construção civil.

No que se refere às Águas Residuais sempre defendi que:

1 – ***Com todo o rigor*** **não se permita que sejam lançados na rede pública, esgotos de origem industrial contendo produtos não biodegradáveis (óleos, metais pesados...).**

2 – **Garantido o ponto 1, liberdade de se poder fazer o dimensionamento técnico-económico mais vantajoso no que se refere ao par ETAR-Exutor, desde que se cumpram os mesmos objectivos em relação à utilização das águas.**

Suponho que o ponto 1 é mais importante do que algum "excesso de zelo" na imposição de níveis de tratamento.

Acontece que o ponto 1 dá muito trabalho, muito incómodo e pouca glória, exactamente ao contrário do ponto 2 onde mais facilmente se podem mover interesses dos lobbies dos equipamentos, da construção civil, políticos e outros...

Ensinava aos meus alunos que, para ser bom Engenheiro, são necessárias:

1 Tonelada de Matemática;

2 Toneladas de Física;

10 Toneladas de Bom Senso.

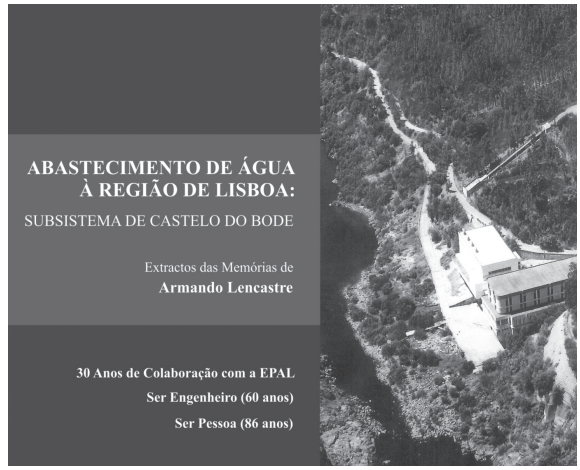


Figura 3

*O Presidente do LNEC – Laboratório de Engenharia Civil, Prof. Carlos Pina e o Presidente do Concelho de Administração da EPAL – Empresa Portuguesa das Águas Livres, S.A., Dr. João Fidalgo, têm a honra de convidar V. Exa. Para o lançamento do livro "***Abastecimento de Água à Região de Lisboa – Subsistema de Castelo do Bode***", editado pela EPAL, em homenagem ao* ***Prof. Armando Lencastre****, no dia 23 de Março de 2011 pelas 18.00 horas, no pequeno auditório do LNEC, Av. do Brasil, 101, em Lisboa.*

3 – EXUTORES SUBMARINOS: CASOS DE ESTUDO

3.1 – *Destino final dos efluentes da fábrica de celulose de Viana do Castelo (antiga Celnorte)*

A Consultora Geral do Empreendimento era a firma *WALMSLEYS, Limited*. No Plano Geral das Instalações, previa-se a captação de água no Rio Lima e a rejeição dos efluentes, "devidamente tratados", no mesmo rio, a jusante da captação.

Os estudos referentes à captação de água foram por mim orientados.

No que se refere aos efluentes, o bom senso e os estudos mostraram que era preferível lançar no mar (a 13 km de distância da Fábrica) sem tratamento, ou com tratamento primário, do que lançar no rio (a 1 km de distância da Fábrica) com tratamento secundário (Fig. 4a).

Com efeito, apesar do recurso aos mais modernos meios técnicos, o poder poluidor duma fábrica de pasta de papel é sempre bastante elevado, neste caso seria aproximadamente equivalente a 200.000 hab.

Tendo em atenção que os caudais mínimos do Rio Lima são extraordinariamente pequenos (cerca de 2 m^3/s), mesmo com grau de tratamento sofisticado, subsistiriam certamente problemas de cor, com todas as consequências daí provenientes, sobretudo nos aspectos psicológicos, junto das populações; e não era de excluir que, episodicamente, pudessem aparecer condições críticas para a vida aquática.

Como as águas do Rio Lima não tinham sido ainda afectadas pela poluição, caracterizando-se por uma total ausência de coloração e baixíssima mineralização, foi decidido levar o efluente até ao mar, a 13 Km de distância, em terreno difícil, com uma conduta de resina sintética reforçada com fibra de vidro com 900 mm de diâmetro e 8 mm de espessura.

Adoptada esta solução, importava evitar efeitos nocivos nas águas receptoras e nas praias vizinhas.

O estudo a que se procedeu levou a colocar o exutor a uma profundidade de cerca de 20 metros, a 2.200 m de distância, (Fig. 4a).

Foi-se, assim, conduzido a uma obra terrestre e marítima de considerável envergadura e de execução delicada, de proporções à data inéditas no nosso país. Esta obra ainda se mantém em funcionamento há cerca de 30 anos e sem qualquer problema.

A Fig. 4b mostra um aspecto da construção do exutor submarino.

No que se refere ao comportamento das obras, extrai-se do Relatório do Conselho de Administração da Empresa (1971).

> *O projecto e as obras da conduta e do exutor do efluente merecem especial relevo. Realizado inteiramente por gabinetes de engenharia portugueses, o projecto representa uma invulgar obra de engenharia hidráulica, quer pela complexidade, quer pela dimensão e pelo custo. Fiel à política de adoptar as melhores soluções na luta contra a poluição e, em especial, de preservar o rio Lima, a empresa aceitou arcar com o custo suplementar de algumas dezenas de milhares de contos que vão ser absorvidas nessas partes das instalações fabris.*

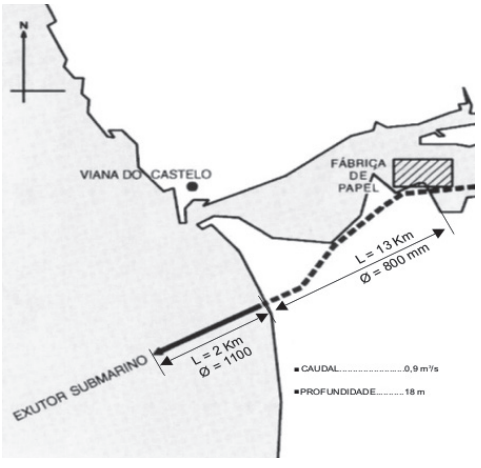


Figura 4a
Emissário da Celnorte – Planta.

Figura 4b
Celnorte – Aspecto da construção do exutor submarino.
L = 2 Km; Ø = 1100

O impacto ambiental no mar tem vindo a ser observado há 30 anos, sem registo, até agora, de qualquer aspecto negativo.

Com a Legislação actual, dificilmente se teria conseguido executar esta solução.

3.2 – Solução integrada de saneamento dos municípios da ria de Aveiro (*Obra classificada pela O.E. entre as 100 obras de Engenharia, no Sec. XX em Portugal***)**

A ria de Aveiro tem um comprimento de 45 Km e uma largura máxima de 10 Km, cobrindo uma superfície de 47 Km^2 em maré cheia e de 34 Km^2 em maré baixa.

Para a recolha e destino das águas residuais, a *AMRIA, Associação de Municípios da Ria de Aveiro*, tinha preparado, nos seus próprios Serviços, uma solução base a nível de Plano Geral. Exemplarmente, resolveu abrir discussão sobre esse Plano, desafiando Gabinetes Consultores a apresentarem melhor solução. **Grande exemplo de honestidade intelectual!...**

Para esse efeito, a AMRIA, após pré-qualificação, escolheu quatro **Grupos Consultores**, entre os quais a Hidroprojecto, cuja equipa tive o prazer de orientar sobretudo no que se referia ao esquema a propôr.

Cada um destes Grupos Consultores teve de desenvolver a solução base estudada pela AMRIA e propor uma só alternativa, comparando-a com a solução base. O resultado consta do quadro anexo.

(Orientei o Concorrente 3)

Concorrente	(1)	(2)	(3)	(4)
Técnica	78%	40%	90%	80%
Económica	40%	63%	88%	68%
Ambiental	66%	51%	84%	58%
Total simples	61%	51%	87%	69%
Total ponderado	64%	49%	88%	72%

Do quadro acima referido, verifica-se que a solução proposta (Fig.5), que tive o prazer de conceber, orientar e defender, obteve a melhor classificação em todas as componentes e, consequentemente, na classificação final.

Na Fig 6 compara-se a solução base, com a solução proposta.

Os custos totais desta eram (1994) de cerca de 11 milhões de contos, 2,3 milhões de contos menos cara do que a solução base, o que representava uma economia de cerca de 20%. A economia em despesas de exploração era de 50 mil contos por ano.

Quando fui solicitado a apoiar a equipa da HIDROPROJECTO, reflecti durante algumas horas. Desta reflexão, baseada exclusivamente no **bom senso** e sem recursos a cálculos, saiu a solução vencedora.

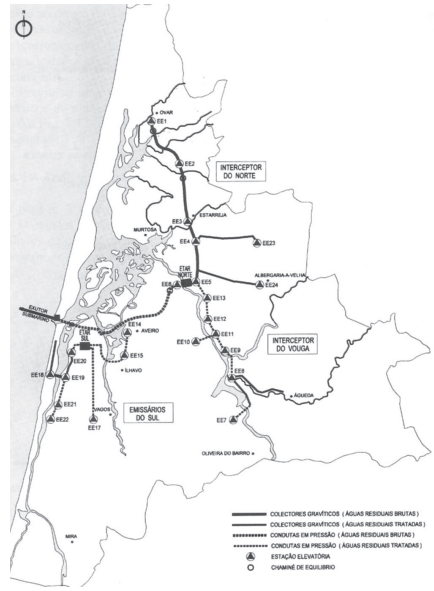


Figura 5
Solução proposta e adoptada. Planta.

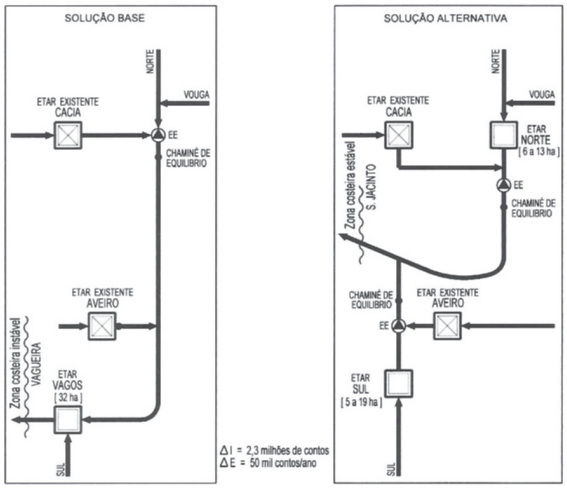


Figura 6
Comparação da solução base com a solução proposta.

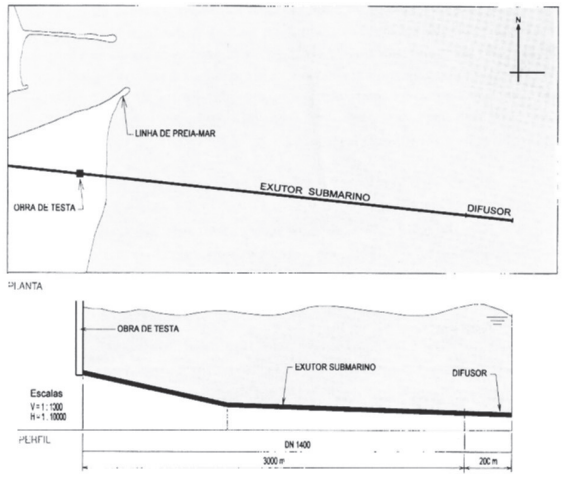


Figura 7
Ria de Aveiro. Exutor submarino. Planta e Perfil.

Com efeito:

1. O transporte sólido litoral tem uma componente dominante de Norte para sul. Assim, os molhes do Porto de Aveiro impedem o caminhamento das areias, criando acumulação a Norte e erosão a Sul. Deste modo, a primeira decisão foi colocar o exutor submarino numa zona estável a Norte do molhe do Porto de Aveiro.

2. A grande ETAR de Vagos, que recebia também esgotos tratados da ETAR (já existente) de Cacia e da ETAR de Aveiro, obrigando a um sobredimensionamento desnecessário, foi substituído por uma pequena ETAR NORTE e outra pequena ETAR SUL, ligadas ao emissário onde se juntavam os efluentes de Cacia e Aveiro.

3. Decidido isto, sem contas, por simples bom senso, passaram a trabalhar as equipas de Matemática e de Física, que demonstraram o mérito da solução, assim concedida.

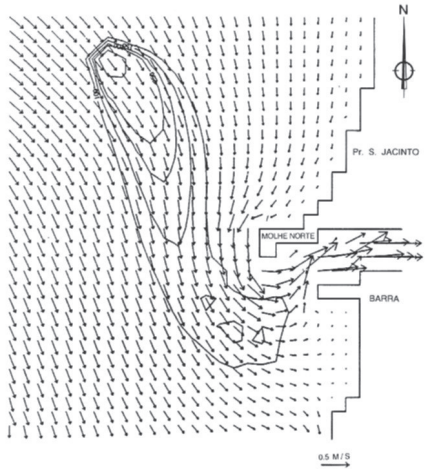


Figura 8
Ria de Aveiro. Estudo da Dispersão dos Coliformes Fecais.
Situação mais desfavorável.

Figura 9
Ria de Aveiro. Exutor submarino – Fase de lançamento.

Na figura 7 mostra-se a planta do exutor; na figura 8 mostra-se o estudo dos coliformes fecais na praia; a figura 9 mostra uma fase de lançamento do exutor.

3.3 – Abastecimento de Água e Saneamento do Complexo Industrial de Sines

Obra classificada entre as 100 obras de Engenharia, no sec. XX em Portugal.

O **abastecimento de água** consta de: captação e elevação no rio Sado de 12 m^3/s; adução, incluindo um canal com 24 Km e seguido de um túnel com 13 km de extensão; barragem de Morgavel com cerca de 45 m de altura máxima, criando uma albufeira de 3 x 10^6 m^3 de capacidade, para armazenamento e regularização dos caudais de adução; estação de tratamento de água com uma capacidade prevista de 3 m^3/s; condutas adutoras principais; redes de água doméstica e industriais. (Fig. 114a).

Para assegurar a **defesa ambiental** da área de Sines, minimizando os inconvenientes inevitavelmente associados à implantação de parques industriais, definiu-se uma perspectiva geral de defesa a todo o custo do meio marítimo, virgem de agentes poluidores, favorável à existência de grandes viveiros naturais.

O sistema geral (Fig. 114b) compreende dois ramos principais: um proveniente do novo centro urbano (Santo André) e da vila de Sines e outro provindo da zona industrial. Ambos se dirigem para uma estação de tratamento, com uma capacidade em remoção de CBO5 de **1.600.000 habitantes equivalentes**.

Após as operações de tratamento, os efluentes são lançados no mar através de um exutor submarino.

A junção do esgoto doméstico e do esgoto industrial permite mais fácil tratamento deste último.

Sempre que uma unidade industrial rejeita efluentes que não satisfaçam os parâmetros exigidos para o lançamento na rede, os efluentes são sujeitos a tratamento preliminar em ETAR própria.

A ETAR da CNP (Companhia Nacional de Petroquimica), destina-se ao tratamento das águas residuais e industriais das unidades fabris de Etileno, Polietileno de baixa densidade, Butadieno, Polietileno de alta densidade, Propileno e PVC. A obra compreendeu duas fases dimensionadas para os caudais de 8400 m^3/dia na fase inicial e 25 200 m^3/dia na fase final.

A ***ETAR do Complexo Industrial de Sines*** está localizada na zona da Ribeira dos Moinhos, a norte de Sines. Destina-se ao tratamento das águas residuais das indústrias da zona norte do complexo e ao tratamento das águas residuais domésticas dos aglomerados populacionais integrados naquela área. A obra, a desenvolver por fases, foi dimensionada para o caudal de 45 000 m^3/dia na fase inicial, correspondendo, então, a um empreendimento com a dimensão de 1 600 000 habitantes equivalentes.

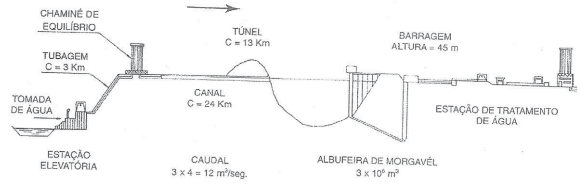


Figura 10a
Sines. Abastecimento de Água.

Figura 10b
Efluentes do Complexo Industrial de Sines. Esquema geral.

O tratamento compreende as seguintes operações:

• *fase líquida*

– tratamento primário (gradagem, desarenação, trituração, remoção de óleos, homogeneização e decantação primária);

-tratamento secundário (tratamento biológico e decantação final);

• *fase sólida*

– As lamas provenientes dos decantadores são espessadas, condicionadas quimicamente e secas em filtros de vácuo e seguem para aplicação no terreno.

A Fig. 11 mostra o esquema de tratamento. A Fig. 12 mostra um aspecto geral da ETAR.

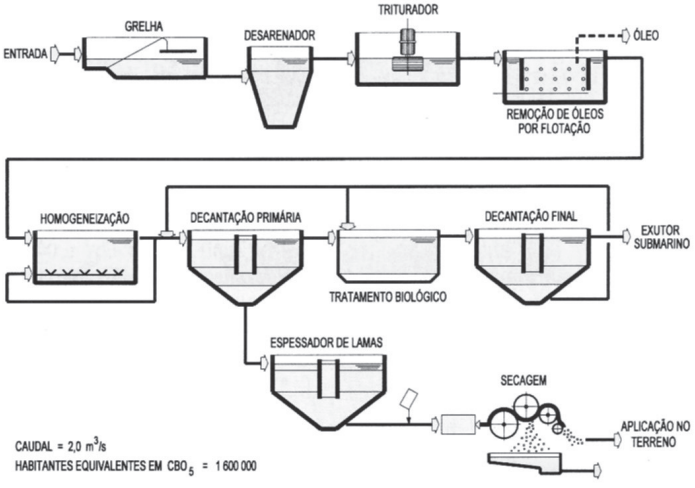


Figura 11
ETAR do Complexo Industrial de Sines. Esquema de tratamento.

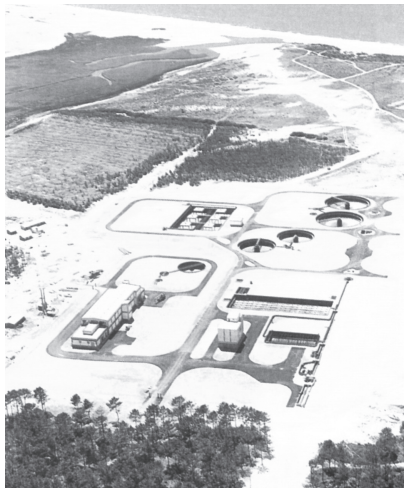


Figura 12
ETAR do Complexo Industrial de Sines. Vista geral.

Estas figuras mostram que uma ETAR consome muita energia na construção e na exploração, e assim a defesa do Ambiente aconselha que não se trate além do necessário.

Os efluentes, tratados, na ETAR são lançados no mar através de um **exutor submarino** com as seguintes características:

– caudal máximo – 2,8 m^3/s (por gravidade);

– comprimento total – 2000 m;

– comprimento do difusor – 240 m; orifícios laterais (Ø 125 mm) – 60 (30 de cada lado); orifício final (Ø 200 mm);

– diâmetro interno – 1100 mm;

– profundidade máxima – 40 m; julgada suficiente para os fins em vista.

A Fig. 13 mostra o tubo pronto a ser lançado no mar, vendo-se quase na linha do horizonte o rebocador que puxa o tubo que vai ser afundado.

Figura 13
Exutor submarino pronto para ser lançado no mar. A seta indica o rebocador, ao largo.

A conduta na zona de rebentação foi enterrada e protegida por enrocamento. Este exutor suportou, sem qualquer dano, o temporal que destruiu o molhe norte do Porto de Sines.

4 – REJEIÇÃO DOS ESGOTOS DE LISBOA NO ESTUÁRIO DO TEJO

Ao contrário de Sines, o estuário do Tejo é um ecossistema que, durante séculos recebeu efluentes domésticos, industriais e agrícolas; a vida adaptou-se a essas condições.

A Fig 118 mostra a Zona sujeita a estudo.

a) – Os estudos de Arantes e Oliveira

Os ***"esgotos de Lisboa"*** foram estudados, por incumbência da Câmara Municipal de Lisboa e de maneira exaustiva, pelo *Eng.º ARANTES E OLIVEIRA*, então Professor da Escola do Exército e, posteriormente, Director do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, onde, recém-formado, comecei a trabalhar (1950).

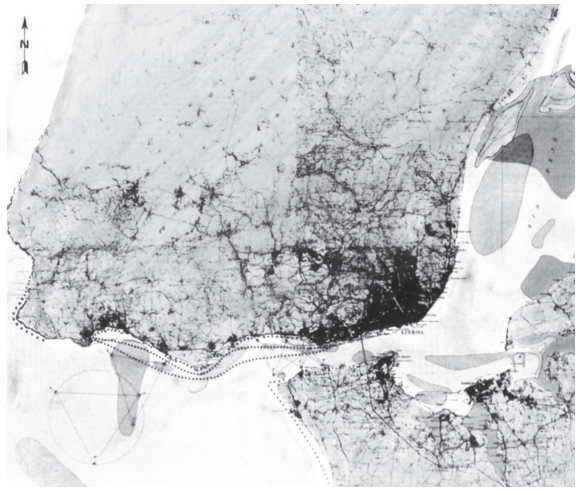


Figura 14
Estuário do Tejo. Zona sujeita a estudo.

Foi este grande Engenheiro que me ensinou que "*A engenharia não é uma ciência exacta, mas uma ciência de ordens de grandeza*".

O seu livro "*Esgotos de Lisboa*" (1941) é um repertório de alto nível de conhecimentos sobre o estuário do Tejo. Já nele se demonstra a altíssima capacidade de auto-depuração das águas do estuário, quando considerado globalmente, em relação à matéria orgânica dos esgotos domésticos.

Lisboa, tinha então (1940), uma população próxima dos 800 00 habitantes, não se fazia sentir de forma grave a poluição nas praias da Costa do Estoril, facto comprovado pelos meticulosos e exaustivos estudos que constam do referido livro.

Transcrevem-se algumas partes desse valioso estudo.

Da Pág. 37-V:

> ***"Pelo que se refere à protecção das praias de banho além da barra do Tejo, parece concluir-se que (…) não seria de recear qualquer risco, real ou potencial, de contaminação pelos esgotos de Lisboa lançados directamente no estuário, mesmo sem qualquer prévia depuração".***

No que se refere às ostreiras, diz a Pág, 40-V:

> **"O risco para a saúde proveniente do consumo de ostras só poderá ser removido por processos rigorosos de depuração capazes de garantir a inocuidade das ostras entregues ao consumo público".** Isto mantém-se válido mesmo depois de todas as obras de tratamento de efluentes já realizadas.

b) – Estudo Ambiental do Estuário do Tejo (E.A.E.T.)

A partir de 1971, a *Comissão Nacional do Ambiente*, CNA, conduziu valiosos estudos sobre o Tejo, numa digna continuação dos estudos de Arantes e Oliveira

Em Agosto de 1975 estabeleceram-se os primeiros contactos, entre a UNESCO, o PNUD e o Governo português, para lançar um programa de estudos sobre a poluição do Tejo, os quais viriam a ser formalizados em protocolo firmado em Outubro de 1977. O Projecto, ***"Estudo Ambiental do Estuário do Tejo"*** (**E.A.E.T.**), constituía um projecto de interesse nacional e internacional, que aquelas agências da Organização das Nações Unidas passaram a apoiar técnica e financeiramente.

O projecto "E.A.E.T." foi dirigido pelo Dr. Tomás do ESPIRITO SANTO e teve como Consultor Principal o Prof. Dr. PHILIP O'KANE. Ao longo do seu desenvolvimento participaram, nas diversas fases, consultores de reconhecida competência, de entre os quais destacamos os seguintes, indicando as suas áreas de especialização e países de origem:

	Área da especialização	**País de origem**
M. Palmer	– Mecânica de Fluidos	– Canadá
M. O. Andreae	– Oceanografia	– U.S.A.
C. Shelske	– Fitoplâncton	– U.S.A.
H. Rassmussen	– Mat. Aplicada	– Canadá
P. Nival	– Zooplâncton	– França
P. C. Wood	– Qualidade do Ambiente	– U.K.
K. Krongaar	– Microbiologia	– Dinamarca (OMS)
Kristensen	– Microbiologia	– Dinamarca (OMS)
J. M. Martin	– Geoquímica	– França
V. J. Cabelli	– Microbiologia	– U.S.A.
S. K. Liu	– Modelação Matemática	– U.S.A. (Rand. Corp)
J. Leendertse	– Modelação Matemática	– U.S.A. (Rand. Corp)

Em Dezembro de 1982, estes estudos foram submetidos a discussão pública em Workshop internacional, organizado pela CNA e efectuado no Palácio Foz.

– Da comunicação intitulada ***An Idealised System for the Management of the Estuary of the Tagus***, by PETER M. WOOD, *Ministry of Agriculture, Fisheries & Food, Fisheries Laboratory, Burnham-on-Crouch, Essex, U.K.*, transcrevem-se as seguintes recomendações:

"Any proposals for changes in the discharges into the estuary should be made firstly with regard to the declared water use of the area, and second by ensuring that in any new proposals the desired water quality standard is not exceeded."

– Da comunicação ***Arsenic and Mercury in the Estuarine Environment***, by M. ANDREAE, *Department of Oceanography, Florida State University, Tallahassee, Florida* 32306, U.S.A., transcreve-se:

"In the Tejo Estuary, Portugal, arsenic and mercury are present in concentrations much above those found in comparable, uncontaminated estuaries."

– Da comunicação, ***Mercury in the Tagus Estuary. An Acute or Obsolet Problem***, da autoria, entre outros, de CARMEN LIMA, do *Instituto Nacional de Investigação das Pescas,* e de PATRICK SEYLER, do *Laboratoire de Géologie, École Normale Supérieure* refere-se:

"It has long been recognized that an important discharge of mercury, exceeding 5500 kg/y, occurs in the Tagus estuary which may result in a detrimental effect for aquatic life and human health."

– Do relatório "***The sewage of Lisbon and the Costa do Estoril – an. outline systems analysis***", efectuado por J. PHILIP O'KANE Unesco Chief Thechnicai Adviser, para o Tejo Project, então em curso (Junho 1980, pág. 5, ponto14), transcreve-se:

- ***The concentration of dissolved oxygen in the estuary is usually very close to the saturation concentration and there is no need to remove the oxygen demand due to organic carbon and nitrogen.***
- ***If the fishery is supported in part by the sewage, then the nutrients should not be removed without reason."***

c) -Modelo matemático do estuário do Tejo para predição das correntes e da qualidade da água.

A aplicação de modelos matemáticos, e em particular de um modelo numérico bidimensional muito completo para acompanhar os estudos do estuário do Tejo, foi decidida logo no arranque do Projecto E.A.E.T..

Foi escolhido o modelo numérico de LEENDERTSE, não só por ser então o mais completo, mas também por ser dos mais citados na literatura da especialidade.

Devido às dificuldades ocorridas no âmbito da EAET, empenhei-me pessoalmente no desenvolvimento deste Modelo, na HIDROPROJECTO, sob a orientação dos Engenheiros Hidrógrafos Comandantes DANIEL RODRIGUES E MÁRIO TELES. O projecto gráfico foi da responsabilidade do Prof. João HIPÓLITO, que então preparava a sua tese de Doutoramento. (I.S.T.).

Conforme resultou da discussão pública realizada em Dezembro de 1982 no Palácio Foz, o modelo numérico bidimensional está apto a simular, com grande previsão, a propagação da onda de maré e é apropriado para fazer as estimativas do impacte ambiental associado às diversas configurações alternativas do sistema de drenagem dos esgotos.

Foi elaborado um submodelo de transporte de massa (Fig. 15), que se mostra extraordinariamente fiel, como se pode ver pelos exemplos de correntes de enchente, de vazante e do seu campo residual. Com efeito, é de notar a existência, no campo velocidade residual, dos vórtices associados ao escoamento na barra, que traduzem as correntes de revessa que são conhecidas dos que praticam a pilotagem e navegação na barra e estuário do Tejo. Muitos outros resultados foram obtidos para diferentes condições de marés e de ventos.

Para a calibração do ***submodelo de qualidade*** estabeleceram-se 56 estações de bacteriologia. Na Fig. 16a mostra-se, a título de exemplo, a comparação entre os valores observados na estação 15A (Santa Apolónia – Xabregas) e os valores calculados. As barras representam os intervalos de confiança das observações.

A Fig. 15, a título de exemplo, dá concentrações associadas às fases de maré cheia e de maré vazia na região no submodelo do "corredor" do Tejo, Trancão.

d) Medições no Estuário

As medições que foram efectuadas no Estuário mostram:

– Os ***teores de oxigénio*** dissolvido, em média aproximam-se dos valores de saturação, portanto superiores aos mínimos requeridos pela vida aquática, situação que se verifica **mesmo na zona do canal em frente de Lisboa.**

– No que respeita à poluição orgânica, avaliada em termos de CBO, carência bioquímica de oxigénio, os resultados são satisfatórios.

– Os valores das concentrações de metais pesados, (Barreiro – Montijo e Foz do Trancão) excedem os limites tidos como seguros em água do mar.

– A distribuição especial dos valores dos parâmetros microbiológicos, isto é contagem de coliformes totais e fecais, os valores de concentrações determinadas até S.to Amaro são mais baixos do que os que verificam na zona entre S.to Amaro e Cascais, resultante da poluição local que, só mais tarde, foi removida com o interceptor da Costa do Sol.

Como resultado destes estudos em 1982, preconizaram-se as ETAR's de Beirolas, Chelas e Alcântara, com tratamento primário, seguidas de exutores, (Fig. 18).

Em princípios de 2003, foi-me facultada uma visita a estas ETAR's.

As ETAR's de Beirolas e de Chelas, foram dotadas também de tratamento secundário, por decantação e filtração, e de tratamento terciário de desinfecção por ultravioletas. Não estava construído qualquer emissário e exutor para garantir a diluição do efluente: a água assim obtida era lançada na sua quase totalidade na rede de esgoto!...

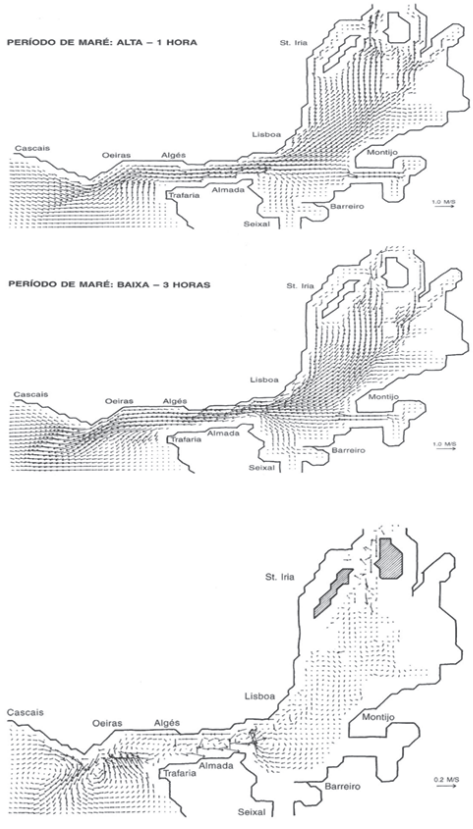


Figura 15
Estuário do Tejo. Sub modelo de transporte de massas.

Na ETAR de Alcântara estava construído o tratamento primário previsto no nosso estudo; não estava construído o emissário e respectivo exutor.

Tinha-se realizado um concurso para empreitada de "*Execução, Adaptação: e Complemento de Águas Residuais de Alcântara*".

Da proposta, em fase de adjudicação, extrai-se:

"A desinfecção é realizada através de lâmpadas de raios ultravioletas, instaladas em dois canais de 12 m de comprimento, 2,15 m de largura e 1 m de altura de água", com um total 648 lâmpadas que garantem a desinfecção do caudal médio; como opção era apresentada a possibilidade de desinfectar todo o caudal de ponta.

Este concurso foi anulado já em fase de adjudicação, o **exutor da Praça do Comércio**, previsto no nosso Estudo, encontrava-se partido e portanto não operacional.

Parece útil restaurá-lo para auxiliar de descarga em tempo húmido e como saída de recurso de

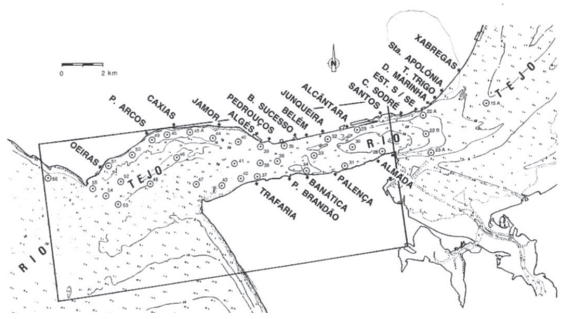


Figura 16a
Posição de estações de bacteriologia.

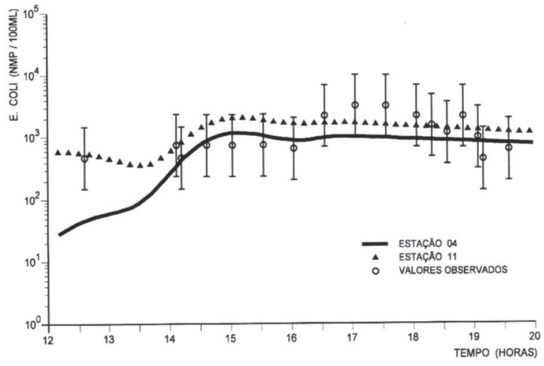


Figura 16b
Série temporal em duas estações. Comparação entre os valores observados e calculados (exemplo) Sub modelo de qualidade.

Estação Elevatória que, de acordo com obra já executada, conduzirá o esgoto doméstico para a ETAR de Alcântara.

Estudos feitos em modelo matemático mostraram a grande eficiência dum **exutor em Alcântara**, com 200 a 400 m de extensão. Eficiência superior à da passagem do tratamento primário para o secundário (a que a lei obriga).

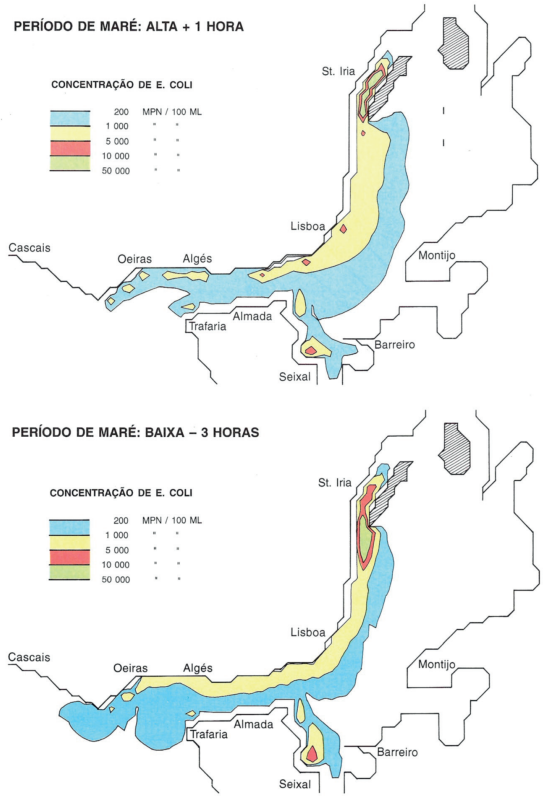


Figura 17
Estuário do Tejo. Concentrações de E. Coli sem ETAR's (calculadas).

Figura 18
Bacias servidas pelas ETAR's de Beirolas, Chelas e Alcântara.

5 – O ESTUÁRIO DO TEJO, LABORATÓRIO NATURAL.

Quando apresentei a minha Comunicação sobre o Baixo Mondego, sugeri que a bacia do Mondego servisse de Laboratório Natural de Hidrologia.

O rio Tejo é o maior da Península Ibérica, com uma bacia de drenagem de 81 000 km^2. O estuário do Tejo é um dos maiores da costa Oeste da Europa, cobrindo uma área de cerca de 320 km^2. No Estuário do Tejo, são descarregadas as águas residuais de uma região densamente povoada com centros urbanos (designadamente Lisboa) e muitas áreas industriais (petroquímicas, químicas, metalúrgicas, etc.). Estas caracteristicas justificam que se aproveite este Laboratório Natural para o estudo de rejeição de águas residuais.

Este **Laboratório Natural,** com o equipamento já instalado, constitui um **modelo fisico** que, juntamente com **modelos matemáticos** que incorporem, marés, cheias, ventos e temperaturas, permite:

1 – **Optimizar a gestão** do sistema já instalado;

2 – **Melhorar a legislação** comunitária, tendo em vista os grandes investimentos a fazer na margem sul;

3 – Desenvolver medidas com vista à **redução de mercúrio**, para controlar as principais fontes de emissão deste e fazer avaliações de risco baseadas em dados regionais e nacionais apropriados.

É possível que algum mercúrio seja de origem geológica, visto haver basaltos na bacia hidrográfica do rio. Assim, maior deve ser a diligência em evitar a sua origem industrial: pequenas Industrias no interior do tecido urbano; ou grandes Industrias como ocorre no Trancão e Margem Sul, onde também se encontram grandes concentrações de Arsénio e Estrôncio.

Seria aconselhável **realizar no modelo físico ou simular no modelo matemático**, já mais validado:

a) Uma suspensão de tratamento terciário (desinfecção), nitidamente excesso de zelo;

b) Idem do tratamento secundário, imposto pela legislação comunitária.

Numa primeira fase, poderia tomar-se o oxigénio dissolvido como parâmetro de comparação.

Estes Estudos deveriam colaborar com outros estudos em curso, tais como "MERCÚRIO ZERO" e TAGUSED, aproveitando as sinergias resultantes da colaboração.

Do atrás exposto, mais desenvolvido nas minhas Memórias Profissionais, (LNEC, 2003, Vol II Pg. 411 e seguintes), parece poder concluir-se que para Lisboa (ver quadro anexo, fig. 123):

1. É fundamental eliminar os metais pesados na origem.

Não conheço medidas tomadas para eliminar os metais pesados.

2. É suficiente:

2.1. Em BEIROLAS, CHELAS e ALCÂNTARA, Tratamento primário seguido de um pequeno exutor.

2.2. No TERREIRO DO PAÇO, Gradagem com **exutor de 100 m** de extensão, que foi construído e reconhecida a sua eficiência, mas foi abandonado por avarias no sistema de Gradagem e por ter sido destruído o exutor.

Assim, as recentes obras no Terreiro do Paço, «**Elevação para Alcântara**» parecem desnecessárias, estão incompletas por falta de um exutor para prevenir avarias na Elevação, e têm altos custos de exploração.

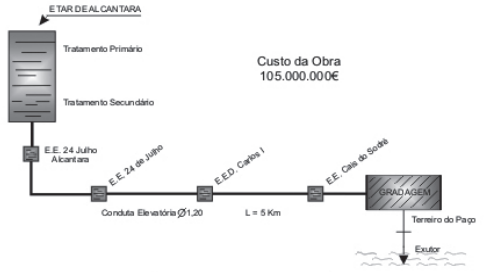
Exclusivamente por dever cívico, gostaria de poder analisar este assunto com Especialistas e com Gestores, em privado ou em público (Painel, Seminário). Não ficaria preocupado se me demonstrassem que estou errado porque, quando se investiga, "saber que não resulta é também saber"; Preocupa-me mais que o assunto seja ignorado, porque:

tratar além do necessário é contra o Ambiente e antieconómico; **negligenciar o mercúrio é contra a saúde pública**.

Agradeço a Vossa atenção.

Se fui útil, GRAÇAS a DEUS.

EAET - Estudo Ambiental do Estuário do Tejo.

"If the fishery is supported in part by the sewage, then the nutrients should not be removed without reason - EAET			
TRATAMENTO \ BACIA	BEIROLAS CHELAS ALCANTARA	TERREIRO DO PAÇO ~ 10% TRATAR ALÉM DO NECESSÁRIO É CONTRA O AMBIENTE	
Gradagem	↑↑		↑↑
Emissário-Difusor	↕		↕↕
Primário	↓↑		↓↑
Secundário	↓↓		↓
Terciário	↓↓↓		↓↓↓
"In the Tejo Estuary, arsenic and mercury are present in concentrations much above those found in comparable, uncontaminated estuaries." EAET			
Metais Pesados	¡?	NEGLIGENCIAR o Mercúrio é contra a SAÚDE PÚBLICA	¡?

BOM SENSO

↑↑ Indispensável

↓↑ Precaução

↕ Comveniente não realizado

NÃO NECESSÁRIO

↓↓ Legislação

↓↓↓ Excesso de zelo

¡ Perigo para a saúde pública

? Não se conhece diligência na sua remoção

Figura 19

(Comunicação apresentada à Classe de Ciências na sessão de 2 de junho de 2011)

"O Consolo das Humanidades"

João Lobo Antunes†

A Manuel Villaverde Cabral

De todas as experiências que marcam a nossa jornada por este mundo é a experiência da doença que nos ameaça a vida que grava incisão mais profunda na essência do que somos, na "fraternelle jointure" da alma e do corpo de que falava Montaigne. Não o faz com o gume de uma lâmina, mas como se um monstruoso insecto de múltiplos ferrões injectasse em nós, por cada um deles, um veneno diferente que ataca uma parte específica do todo.

Sem procurar estabelecer uma hierarquia ou uma ordenação lógica, eu diria, contudo, que o primeiro abalo que sofremos é no sentido do tempo, não só do tempo vivido, mas também do tempo por viver, o tempo do futuro imaginado. Roger Martin du Gard, que escreveu sobre esta questão no volume da sua admirável saga "Les Thibault" (que tanto me encantou na adolescência) intitulado "La Mort du Père" (1), dizia que a inteligência humana é tão essencialmente alimentada de provir que quando qualquer possibilidade de futuro se esgota, quando cada impulso do espírito vem, obstinadamente, bater na morte, o pensamento não é mais possível. E Montaigne, que explicou, com tanta lucidez, a necessidade de aprender a morrer, argumentava: "Nous ne sommes jamais chez nous, nous sommes toujours au delà. La crainte, le désir, l'espérance nous élancent vers l'avenir"(2).

Por várias vezes, no tempo longo que levo no ofício, me foi pedida não a cura – que se sabia impossível –, mas a dádiva de mais tempo, para mais um Natal, para casar uma filha. Ou, noutras ocasiões, por razões aparentemente tão fúteis, que parecia difícil justificar o risco de mais uma intervenção. Mas não nos cabe fazer tal juízo porque, nestas circunstâncias, o pueril e o transcendente muitas vezes se confundem.

Quando não se teme o fim, a interrogação, nem sempre abertamente formulada, é esta: daqui a quanto tempo voltarei a ser como era? Ou seja, quanto durará esta viagem, esta odisseia, até chegar de novo a casa, ao porto seguro. Afinal, o triunfo da medicina é o triunfo do regresso à saúde, ao bem-estar, no fundo, à plenitude das graças que o estar vivo nos concede. José Cardoso Pires, no final do "De Profundis" (3), já liberto da doença que lhe tolhera a fala e lhe turvara o raciocínio, conta que o "Eu, o Outro em mim, em viagem de passos perdidos a caminhar para a loucura", acordara, certa manhã, "em claridade aberta" e levantara finalmente "ferro da ilha dos náufragos para reviver a casa e o mundo e voltar à escrita e aos livros nas últimas linhas em que os abandonara". A metáfora da viagem está, pois, sempre muito presente no meu ofício, mesmo quando o regresso, como no D. Quixote, seja, finalmente, para morrer.

A doença faz perder o sentido do tempo, a escala do quotidiano medida pela prática de rotinas que constroem a monotonia em que nos instalamos. "Os relógios marcam as horas uma a uma, mas os dias sucedem-se aos pulos, vão de sábado a quinta e de segunda a sexta, semeados de intervalos que a lembrança perdeu", escreve, no relato tenuemente velado da sua própria doença (4), um escritor que me é próximo, pois é meu irmão. De facto, na doença o tempo corre lento, viscoso, ordena uma agenda nova,

pontuada pela intromissão implacável daqueles cuja tarefa é cuidar de nós. São eles, agora, os senhores do nosso tempo, que reclamam a sua soberania de 12 em 12, de 8 em 8, ou de 6 em 6 horas.

Quando acaba a luz e chega a noite, começa o tempo da suprema solidão em que mais se teme o abandono. Recordo-me do meu tempo de jovem interno como parecia haver algo de misterioso e ameaçador no hospital adormecido, como se o fantasma da morte andasse solto naqueles corredores desertos. E é durante a noite que mais se morre e também que mais se nasce (alguém disse que a vida e a morte são filhas da noite (5). A revolta contra a noite é também uma forma de insubmissão contra a morte: "do not go gentle into that good night" escreveu Dylan Thomas no seu poema famoso.

Um outro veneno atiça o sentimento da esperança que, estranhamente, se bifurca em direcções opostas. Uma aponta para o passado: é a esperança impossível de se voltar a ser como se era: o ser antes da dor, antes da revelação do diagnóstico terrível, o rebobinar de um filme que não queremos ver, mas que insiste em desenrolar-se perante os nossos olhos numa imparável repetição. A outra está virada para o futuro: é a que nos anima a prosseguir no caminho e tem, sabe-se hoje, uma clara expressão somática pois, quando perdida, não arruína apenas o espírito, mas abala as defesas do corpo, pois parece haver mesmo uma imunologia da esperança. Por outras palavras, o pessimismo é uma profecia que se auto-determina (6).

Esta esperança é um sentimento algo tímido, cerimonioso, e nem sempre ousa confessar a verdadeira distância em que se projecta. Parece, para nosso engano, contentar-se com um caminho abreviado, um horizonte mais próximo. Outras vezes, porém, revela uma ambição mais nítida, enuncia programas bem traçados, e justifica-os pelas sementes plantadas que ainda não germinaram, ou a aspiração, não satisfeita, do reconhecimento e da glória.

A esta esperança não importa a serenidade que só é ganha por uma vida completa, o que Montaigne insistia ser o segredo da boa morte (7). Em várias ocasiões escrevi sobre a esperança e o drama da incapacidade, já notada por Fernando Gil (8), de nos imaginarmos sem um futuro indefinidamente aberto e de quase infinitas possibilidades. Insisto: o tempo de viver é sempre considerado em função da esperança e é precisamente no lidar com a esperança que mais se ofende a moral do meu ofício (9).

Na verdade, o que nos caracteriza como seres pensantes é o caos irreprimível, quântico, de ideias, emoções, vontades e memórias, sempre agitadas, sempre imprevisíveis – "man consists of more pieces, more parts than the world" dizia John Donne (10), o poeta místico. Mas, de repente, a doença actua como um magneto implacável que agrega toda esta limalha numa massa sólida, imóvel, tenaz. A voz da doença ouve-se agora como um canto-chão que tudo domina. O nosso universo tem agora um tecto baixo, um céu sem estrelas e sem infinito. A doença é profundamente claustrofóbica e a sua voz, monótona e aterradora.

Ivan Illitch, uma das mais geniais criações de Tolstoi (11), herói da mais terrível narrativa sobre a morte que conheço, vai tomando consciência de como a sua vida está envenenada e, mesmo quando consegue atender à rotina do tribunal, este pensamento ocupa todo o seu tempo de vida consciente: ele ficava a contar, uma por uma, as vinte e quatro horas, cada uma delas uma longa tortura naquele viver à beira do precipício, só, sem ninguém que o compreendesse ou lastimasse. De facto, nestas circunstâncias, muitas vezes o único interlocutor que nos ouve, é o nosso outro **eu**.

Volto a Montaigne: "nous sommes, je ne sais comment, doubles en nous-mêmes" (12). Assim recolhemo-nos para penetrar a "profundidade opaca" do nosso espírito, naquela "arrière-boutique toute nôtre, toute franche, en laquelle nous établissions notre vraie liberté" (13). O desdobramento da personagem que somos é um fenómeno fascinante: uma é fria, racional; a outra exuberante e emotiva; esta é

movida pela esperança, aquela abatida pelo desalento; a primeira não ilude a verdade, a segunda faz-lhe ouvidos moucos.

Este diálogo interior, esta espécie de "folie à deux", é uma outra expressão da miserável solidão da doença que John Donne reconhecia, resignado, nas suas "Devotions upon Emergent Occasions": "As sickness is the greatest misery, so the greatest misery of sickness is solitude" (10). É nesta ocasião que aparecem aqueles que verdadeiramente nos amam, e tantas vezes experimentam a desoladora impotência de não conseguirem penetrar nesse mundo cerrado.

É altura de fazer uma pausa e explicar o sentido do título deste ensaio: é nas humanidades (e adiante explicarei a amplitude do sentido em que emprego o termo) que é possível encontrar o eco mais perfeito da voz com que a doença exprime o seu sentir – reconheço a importância da minha própria experiência, como já recomendavam Platão e o nosso Francisco Sanches que aconselhava, no seu "Que nada se sabe", que o "médico para ser perfeito devia sofrer todas as doenças, pois só assim podia formar o juízo exacto".

Contudo, como nota Virginia Woolf numa luminosa meditação chamada "On being ill" (14), a doença não é um tópico popular na literatura, pois é quase impossível comunicar a doença: a doença prefere a solidão e "requires not only a new language, more primitive, more sensual, more obscure, but a new hierarchy of passions". E Joan Didion (15), no relato comovente da experiência da morte do seu marido, o escritor John Gregory Dunne, confessa logo no início: "This is a case in which I need more than words to find the meaning."

O mesmo é bem ilustrado nas narrativas patográficas de dois escritores da nossa língua, aliás amigos próximos e companheiros de estúrdia – José Cardoso Pires, no "De Profundis" (3), e António Lobo Antunes em "Sôbolos Rios Que Vão"(4). Um dos modos como a doença recria a linguagem necessária para se contar é o recurso generoso a metáforas (como aliás também o faz a ciência: "buraco negro", "código genético", "efeito de estufa").

Em "Sôbolos os Rios", o autor refugia-se nas memórias da infância vivida na casa de uma vila da Beira Alta onde fora, enquanto criança, perfeitamente feliz. Na casa havia um castanheiro que lhe dava o nome e que era tão fértil, que foi nele que o autor encontrou a imagem adequada ao cancro que o aflige: é "o ouriço" que vai "aumentando em silêncio". E o cirurgião, autoritário e céptico, a declarar: "Não sei se consigo desprendê-lo do ramo".

Na novela de Cardoso Pires, o autor, que não entende a fala e a escrita, chama ao seu distúrbio "morte branca": "branco, branco, em luz gelada e com a mulher à cabeceira a segurar-lhe a mão. Preso a ela mas todo voltado para a distância".

Ambas as narrativas são perpassadas pelo medo, um outro modo como a doença infecta o espírito das suas vítimas. Medo, até, de chamar a doença pelo seu nome real, numa espécie de um exorcismo ingénuo. É que, como nota Virgínia Woolf, "to look these things squarely in the face would need the courage of a lion tamer". Não há intimidade entre este medo e a coragem, que é tantas vezes a armadura atrás da qual se refugia a nossa dignidade – um conceito de extraordinária complexidade (16) –, que é, porventura, o único amparo que nos sustenta nessa circunstância.

Medo e coragem conhecem-se, mas não se estimam. O medo deve ocultar-se; a coragem exibir-se em pose de equanimidade elegante. A revelação da doença é uma ofensa a quem está são e que parece temer o contágio. Afinal, também o medo da doença é contagioso.

Isto está admiravelmente descrito por Tolstoi em páginas de extrema crueldade. Na sua narrativa, a indignidade do sofrimento – ele ignora o valor redentor que lhe atribuem os crentes – incomoda os sãos,

que só por cortesia ou dever se aproximam. De facto, muito do que se passa no interior do corpo doente é razão de vergonha e a sua revelação, espontânea ou forçada, embaraça ambos os interlocutores. Mas o inverso é também verdadeiro. Escreveu Tolstoi: "A saúde, a força, a vivacidade de todos os outros ofendiam Ivan Illitch". Mas acrescenta: "Só a força e a vivacidade de Guérassin (o mujique que o servia) em vez de o entristecer, o tranquilizavam". A este Illitch entrega sem reticência o governo da sua autonomia e todo o cuidado do corpo, pois percebe que nele encontrou a aceitação total por um irmão no destino.

Tantas vezes observei como a coragem é a ultima arma que evita a dissolução do **eu**, e como persiste em mostrar-se mesmo quando a esperança já desistiu. A coragem conhece mal o funcionamento íntimo da máquina doente, mas é uma pulsão interior que resiste na manifestação exterior da sua nobreza. O medo, por seu lado, é um mar que periodicamente se encarpela. O medo começa, por exemplo, quando percebemos que um pequeno grupo de células que se esqueceram de morrer, se juntam numa quadrilha assassina. O medo cresce pela ignorância do poder maligno daquilo que é primeiramente notado como um grão de arroz. O medo avança na expectativa de uma análise ou de uma nova imagem que outros, os caçadores dos nossos fantasmas, vêm interpretar. Então jazemos, enfiados no tubo de uma ressonância magnética, ouvindo um batuque metálico e infernal que parece não ter fim. Dizem-nos, para nosso alívio que é "negativo", o que, estranhamente, é positivo. Mas persiste o medo surdo, difuso, de que no interior de nós o caranguejo vá mordendo, silencioso e implacável.

Deslocamos então para outros o nosso temor – "está em boas mãos", asseguram-nos.

A autoridade tem um valor terapêutico substancial. Saul Bellow na sua última novela, "Ravelstein" (17), descreve assim o médico que trata o narrador (aliás ele próprio): "Ele não falava muito. Não tinha que o fazer (...). Agarrava o estetoscópio que lhe saía do bolso como uma fisga". Para Ivan Illitch a segurança do clínico tem efeito oposto: no olhar que lhe lança, Illitch pretende dizer-lhe "Não tem vergonha [...] de me mentir assim?"

Como apontou Rita Charon (18), parece que no tempo de hoje os doentes são forçados a escolher entre a atenção e a competência, entre a simpatia e a ciência. Mas a verdade é que esta Nova Medicina é essencialmente probabilística. O progresso da ciência e da técnica vieram, paradoxalmente, aumentar a incerteza, mesmo quando mitigada pelas estatísticas do risco e do sucesso, afinal tão difíceis de serem tomadas como expressão da realidade concreta. Assim a doença ameaça este equilíbrio tão frágil do corpo e do espírito que define a nossa humanidade, composição estocástica de inteligência, vontade, desejo, prazer, repulsa, memória, amores e ressentimentos.

A doença convida ao exame da vida, provavelmente a única circunstância em que chegamos próximo da análise lúcida do caminho percorrido. Então regressam à cena os actores esquecidos da nossa biografia. Voltamos a viver os momentos em que subimos mais alto do que alguma vez aspirámos, ou descemos àquela profundidade em que a vergonha nos perdera. Ouvimos novamente as palavras que deveríamos ter contido ou então, pelo contrário, as que ficaram por dizer. Contabilizamos o balanço final e escrevemos, com um sorriso e um travo de amargura, o último currículo.

Vai longa a introdução, mas ela é parte importante desta reflexão e indispensável para chegar ao meu propósito. É que a narrativa da doença – e é importante no meu oficio saber ouvi-la –, só é bem entendida quando já se escutaram outras vozes, na ficção, na filosofia ou na poesia, que ajudam a apreender o seu sentido mais profundo, oculto tantas vezes nos interstícios de um discurso que tanto pretende revelar, como ocultar. De facto, o encontro singular da clínica é feito de palavras mas, não raramente, também

da eloquência de um silêncio igualmente revelador. No prefácio do meu primeiro livro, "Um Modo de Ser" (19), escrevi que era outra a medicina quando praticada por médicos cultos. Referia-me, naturalmente, não à erudição médica mas à cultura das humanidades, tão lamentavelmente esquecida.

É possível que a minha impaciência seja apenas mais uma manifestação das desilusões fisiológicas da idade, mas a verdade é que não encontro nos médicos das novas gerações o mesmo "vibrato" emocional que me animou toda a vida, talvez porque desconhecem os dialectos do sofrimento, ou por que receiam mergulhar num mundo de emoções que só vagamente vislumbram ou, mesmo, penetrar no íntimo de uma solidão tão unicamente humana. Isto apesar da intervenção de uma pedagogia solícita, chamada a ensinar as alíneas da comunicação entre médico e doente, formais, correctas, irrepreensíveis, mas que desdenham a compaixão, "le péculier sentiment relatif que touche le coeur humain selon l'ordre de la nature" (12), como escreveu o primeiro dos humanistas. Sempre duvidei que a compaixão fosse um sentimento ensinável, embora admitisse tal ser possível em relação a certos valores morais, usando, como método, o exemplo. Podemos apenas apontar o que no **outro** – e aqui o conceito do **próximo** adquire uma admirável ressonância cristã – nos parece digno de merecer compaixão.

Falando ainda das novas gerações dos meus companheiros de oficio, creio que, em certa medida, esta falta de curiosidade pela história do outro e a platitude da sua resposta emocional se devem, em parte, à incapacidade de descobrir e ser desafiado pelo mistério de narrativas que quase não chegam a ouvir, confinados ao mundo de um conhecimento cientifico cujas limitações ignoram, e cegos pelas maravilhas da tecnologia que lhes confere autoridade e poder. Alguns, os mais perigosos, nunca irão perceber que no cérebro desta medicina contemporânea se juntam, em inesperadas sinapses, incerteza, risco e erro. Ora, como alguém notou, só as humanidades reconhecem a incerteza como a emoção humana dominante (20).

Poderá perguntar-se então que ganhei eu com a cultura humanística que comecei a adquirir ainda antes de ser médico, tantas vezes à mesa de jantar, no rio de uma conversa de uma inteligência austera? Eu diria que a maior conquista foi ter-me apurado o ouvido para captar outras vozes, compreender o significado oculto das palavras, e ter a competência para falar com qualquer pessoa num diálogo que nos eleva àquela altitude comum que permite o olhar horizontal, olhos nos olhos.

Mas muito mais aprendi em obras de ficção. Em "Moby Dick", por exemplo, encontrei o eco dos meus receios numa sala de operações, mas também o impulso de perseguir o inimigo até ao limite das minhas forças, e da necessidade daquele impulso ser moderado pela mais negligenciada das virtudes, o bom senso. Não conheço elogio mais belo ao carácter pastoral do meu ofício, ofício agitado pelo heroísmo e pela cobardia, pelo orgulho e pela humildade, do que em "La Peste" de Camus. Não existe talvez nenhum tratado de bioética que penetre o cerne do sofrimento físico e espiritual da doença mais profundamente que a "Morte de Ivan Illitch" de Tolstoi, a que repetidamente aludi. E muitos mais poderia citar. Foi na filosofia, aprendida nos livros mas, sobretudo, tão socraticamente, no convívio com Fernando Gil, que descobri a importância de olhar para além das aparências e a fazer perguntas cuja resposta eu sabia de antemão seriam outras perguntas. E, finalmente, muito me ensinaram os poetas, pois, como apontou o genial Brodsky (21), a poesia é a forma mais concisa de transmitir a experiência humana.

A modernidade, suponho eu, criou uma linguagem própria para esta medicina técnico-científica que não cobre as "nuances" dos sentimentos. Até a própria ética médica, sufocada pelos algoritmos da decência que a filosofia analítica e o direito quiseram impor, parece ter esquecido as emoções e dentro delas a mais nobre, a compaixão.

Poderá argumentar-se que o humanismo começou com as palavras inaugurais do "Decameron" que indicam bem a centralidade humana da experiência de que venho tratando: "Umana cosa è". Afinal o objecto primordial dos humanistas era o desenvolvimento das "humanitas", ou seja, das virtudes humanas. Hoje, as humanidades parecem viver uma crise séria, não só pela indecisão acerca do alcance seu domínio próprio, mas também pela suspeita pragmática do seu préstimo. Nada é, no entanto, mais falso. De facto, as humanidades, que incluem no seu amplo abraço as línguas e a literatura, a história, a filosofia, a religião, e ainda os estudos culturais, a arqueologia, a história da arte, a história da música, do teatro e do cinema, têm como domínio comum, o estudo, a contemplação e a exploração do que significa ser humano (22). O humanista é, recorda Steiner (23), o guardador das memórias, o que caminha com a cabeça voltada para trás. Mas ao mesmo tempo, não lhe resta outra alternativa senão desafiar o conhecimento ou mesmo a sabedoria que herdaram (23), e assim fornecer os instrumentos necessários para desenrolar o novelo complexo da modernidade. No que me diz respeito, esta "Nova Medicina" é arriscada, difícil, incerta e perigosa. Por isso, eu encontro a minha inspiração e o meu consolo nas humanidades.

Montaigne dizia do seu ofício: "Mon metier et mon art, c'est vivre"(24). O meu não é diferente.

BIBLIOGRAFIA

1. Martin du Gard R: "Les Thibault", 6.ª parte, "La mort du père". Gallimard, 1929
2. Montaigne M: Essais. Liv 1 Cap 3 "Nos affections s'emporten tau-delà de nous". Ed Arléa, 1992, p 9
3. Pires JC: "De Profundis. Valsa Lenta". D. Quixote, 1997
4. Lobo Antunes A: "Sôbolos Rios que Vão". D. Quixote, 2010
5. Satta S "Il Giorno dell Giudizio" citado por Steiner G: "One thousand years of solitude". In "George Steiner at the New Yorker". A New Directions Book, 2009.
6. Christakis NA: "Death Foretold. Prophecy and Prognosis in Medical Care". University of Chicago Press. 1999
7. Montaigne M: Essais. Liv 1 cap 20 "Que philosopher, c'ést apprendre à mourir". Ibid, p 62-74
8. Gil F: Mors certa, hora incerta. In "Acentos". IN-CM, 2005
9. Lobo Antunes J: "A Morte como opção". In: "Inquietação Interminável". Gradiva 2010
10. Donne J: "Devotions upon Emergent Occasions". Vintage Spiritual Classics, 1999
11. Tolstoi L: "La Mort". Perrin. 1886
12. Montaigne M: Essais. Liv 2 Cap 16 "De la gloire". Ibid. p 478
13. Montaigne M: Essais. Livre 1 Cap 39 "De la solitude". Ibid. p 186
14. Woolf V: "On being ill". Paris Press, 2002
15. Didion J: "The Year of Magical Thinking". Fourth Estate, 2005
16. Lobo Antunes J: "Dignidade". In: "Inquietação Interminável". Gradiva 2010
17. Bellow S: "Ravelstein". Viking Press, 2000
18. Charon R: "Narrative Medicine. Honoring the Stories of Illness". Oxford University Press, 2006
19. Lobo Antunes J: "Um Modo de Ser". Gradiva, 1969
20. Kagan J: "The three cultures. Natural Sciences, Social Sciences and the Humanities in the 21st century", Cambridge University. Press, 2009
21. Brodsky J: "On Grief and Reason". Farrar, Strauss, Giroux, 1995
22. Plum JH (ed): "Crisis in the Humanities". Penguin Books, 1964
23. Ayers EL: Where the humanities live. In: "Reflecting on the Humanities". Daedalus, Inverno 2009
24. Montaigne M: Essais. Liv 2 cap 6 "De l'exercitation". Ibid. p 291
25. Steiner G: "The Cleric of treason". Ibid

(Comunicação apresentada à Classe de Ciências
na sessão de 14 de julho de 2011)

O papel da ciência no diálogo entre a Europa e a China via Lisboa e Macau

E. R. de Arantes e Oliveira

Não foi por acaso que, nos séculos XVI e XVII, os contactos entre a Europa e o Ásia Oriental se desenvolveram em simultaneidade com os progressos científicos ocorridos no Ocidente, não só na Mecânica, mas noutras ciências de base matemática, como a Cartografia e a Astronomia. Foram efectivamente esses progressos que viabilizaram um tal desenvolvimento.

A contribuição essencial de Portugal foi a de fornecer aos actores europeus que intervieram nesses contactos, os meios navais e as rotas marítimas mais seguras, e uma base, no outro lado do Globo, onde os europeus puderam aprender a língua e a cultura dos seus interlocutores. Essa base foi Macau.

A Cidade de Macau é hoje parte do Património Mundial da UNESCO.

A justificação dada para a sua inserção nesse Património incluiu os seguintes pontos**:**

1 – A localização estratégica de Macau no território chinês bem como as relações especiais aí estabelecidas, ao longo de vários séculos, entre as autoridades chinesas e portuguesas favoreceram um importante intercâmbio de valores humanos nos diversos domínios da cultura, ciências, tecnologia, arte e arquitectura.

2 – Macau representa um testemunho único do primeiro e mais duradouro encontro entre o Ocidente e a China. Do século XVI ao século XX, foi um ponto focal para os comerciantes e missionários, e para os diferentes domínios do saber. O impacto que deste encontro resultou pode ser seguido no núcleo histórico de Macau através da fusão das diferentes culturas que aí deixaram vestígios.

3 – Macau representa um excelente exemplo de um conjunto arquitectónico que ilustra a evolução do encontro entre as civilizações ocidental e chinesa durante quatro séculos e meio, representadas no roteiro histórico que integra uma série de espaços urbanos e conjuntos arquitectónicos que vão desde o antigo porto chinês à cidade sino-portuguesa.

4 – Macau tem sido associado com a troca de influências variadas, de ordem cultural, espiritual, científica e técnica, entre as civilizações do Ocidente e da China, que nesta conduziram, directamente, à introdução de mudanças cruciais que puseram um termo aos sistemas feudal e imperial na China, e estabeleceram nesta uma república moderna.

*

Durante o reinado de D. Manuel, a conquista de Malaca (1511) permitiu aos portugueses chegarem ao Sião (nesse mesmo ano), ao litoral chinês (1513), a Timor (1515) e a Cantão (1517). Em 1543[1], isto é, já no tempo de D. João III, que reinou entre 1521 e 1557, atingiram o Japão. Mas só em 1557, foram

[1] Data surpreendentemente tardia, se se considerar que Malaca foi conquistada em 1511.

autorizados pelo Imperador *Jiajing* (um *Ming*) a fixarem-se em Macau. A autorização foi dada como recompensa pela colaboração na luta contra os piratas que infestavam as costas da China.

Interessa comparar as datas da expansão portuguesa com as da castelhana: a viagem de Fernão de Magalhães sob a égide de Carlos V, e a consequente descoberta das Filipinas, realizou-se em 1519, já Portugal dominava os mares até aos confins do seu Hemisfério; a conquista do México por *Cortés* deu-se em 1521; a do Peru por *Pizarro* em 1533. Os grandes momentos da expansão castelhana ocorreram pois no período que mediou entre as chegadas dos portugueses respectivamente à China e ao Japão.

*

A necessidade de recorrer aos portugueses para se protegerem dos piratas traduz, do lado chinês, uma debilidade tanto mais surpreendente quanto, nas primeiras décadas do século XV, a China dispôs de impressionantes meios navais que, entre 1405 e 1433, permitiram ao Império, com base na experiência adquirida por navegadores actuando por conta própria em escala relativamente reduzida, lançar-se em viagens, não tanto de descoberta, mas de exploração, expansão comercial e afirmação de suserania no Oceano Índico[2]. Na organização e liderança dessas expedições, desempenhou papel essencial o grande Almirante *Zheng He*, eunuco, nascido em 1371. É possível que a proeminência de *Zheng He* se devesse, não só aos seus méritos, mas ao facto de ser muçulmano, factor religioso que permitia esperar fáceis relações com os Estados da orla do Índico, em grande parte sob influência islâmica.

Os *Ming*, que reinaram entre 1368 e 1644, começaram por fixar a sua capital em *Nanjing* (Nanquim), que, na época, era talvez a maior cidade do Mundo. O reinado do 3.º *Ming*, *Yongle*, que ocupou o trono entre 1402 e 1424, caracterizou-se por grandes projectos, o mais original dos quais foi justamente o da exploração marítima do Índico.

Para a construção das esquadras comandadas por *Zheng He*, foram sacrificadas milhões de árvores das montanhas à volta de *Nanjing*. As frotas, baseada perto da foz do Rio *Yangtze*, compreendiam milhares de juncos, 250 dos quais, os chamados "navios de tesouro", tinham características impressionantes. Cada um dispunha de carregamentos de arroz e outros alimentos para um ano, bem como de grandes tanques de água doce. Concebidos como armazéns flutuantes, que permitiam transportar e trocar as riquezas da China (sobretudo sedas, porcelanas e chá) pelas do Índico, os gigantescos juncos transmitiram às terras longínquas do Sul da Ásia e da África Oriental uma ideia da imensa majestade do *Zhong guo*, "o Império do Meio". Cada um deles tinha quatro andares, mais de 500 toneladas de peso, 9 mastros, e guarnições de centenas de homens, entre os quais administradores, intérpretes, letrados, médicos, monges, astrólogos, comerciantes, técnicos, e artesãos de todos os tipos. Considere-se que, em várias das 7 expedições de *Zheng He* (todas elas admiravelmente organizadas dos pontos de vista técnico e logístico), participaram entre 40 e 100 desses juncos, e que, nalgumas das suas expedições, *Zheng He* chegou a comandar mais de 30 mil homens.

Nas suas primeiras viagens, *Zheng He* passou o Estreito de Malaca e chegou ao Ceilão e às costas indianas de Malabar e Coromandel, atingindo Cochim e *Calicut*, na Costa de Malabar. Lembra-se que *Calicut* foi o porto a que, décadas mais tarde, aportaria a pequena frota de Vasco da Gama, que assim fazendo, transformou o Mundo. Os chineses consideravam *Calicut* o mais importante empório "do

[2] As vantagens comerciais para os Estados que aceitassem a suserania da China constituíam uma verdadeira compra de vassalagem que tornava dispensável a conquista.

Ocidente" (Vasco da Gama, diria "do Oriente"…). As viagens seguintes levaram os chineses à Indonésia e, para além da Índia, à Arábia (*Ormuz* e *Aden*) e à África, nomeadamente a *Melinde*, de que esperavam vir a desempenhar papel comparável ao de *Calicut*. É possível, mas não certo, que tivessem chegado a Moçambique e tocado em *Madagascar*[3].

Foi em *Calicut* que, em Março de 1433, quando a sua última grande frota aí se concentrava para regressar à China, *Zheng He* morreu. Em *Calicut* iniciou pois a sua última viagem para *Nanjing*, onde ficou sepultado.

Mas *Nanjing* já não era a capital. Entre 1406 e 1421, *Yongle* fizera construir em *Beijing*, (Pequim), a capital da dinastia mongol dos *Yuan*, antecessores dos *Ming*, instalações adequadas para uma nova sede do Império, ainda hoje conhecida sob a designação de "Cidade Proibida". Para lá transferiu a Corte em 1421. Uma tal transferência, a mobilização de meios a que *Yongle* teve que recorrer para se opor aos mongóis que de novo ameaçavam a China, incluindo as 5 expedições militares enviadas para além da "Grande Muralha", o reforço desta última (em que a China continuava ingenuamente a confiar como meio eficaz de defesa), tornaram impossível continuar as expedições navais. Estas foram pois consideradas megalómanas pelos sucessores de *Yongle*, e a grande frota de madeira foi deixada a apodrecer em *Nanjing*. A memória do projecto foi deliberadamente apagada, e o isolacionismo tornou-se característico da política externa do Império. Ao contrário de Vasco da Gama, *Zheng He* não mudou o Mundo.

Como a comunicação entre o Sul e o Norte da China passou a fazer-se pelo "Grande Canal", cuja reabilitação constituiu outro grande projecto, a defesa do litoral foi negligenciada. Daí que, décadas mais tarde, para se defenderem dos piratas, as autoridades chinesas tivessem que recorrer aos portugueses, dotados de meios muito menos espectaculares que os de *Zheng He*, mas mais apropriados para o efeito.

*

Sendo Portugal tradicionalmente uma potência marítima, o poder lusitano baseava-se no controlo dos portos mais importantes e num rosário de bases marítimas implantadas em locais judiciosamente seleccionados ao longo das costas. A rede comercial portuguesa na bacia do Índico era em parte conhecida dos muçulmanos, e até dos chineses que, durante séculos, receberam informações sobre a Região, embora só no tempo de *Zheng He* (que dispunha de meios materiais incomparavelmente mais poderosos que os dos portugueses e beneficiava de uma muito mais fácil comunicação com o país de origem) a sua exploração tivesse sido promovida como política de Estado. Mais tarde, seria na vizinhança destas bases que os britânicos, seguidores fiéis do modelo imperial português, estabeleceriam as suas próprias.

Nas suas "Décadas da Ásia" (Década X, Livro I, Cap.VII), escritas no reinado de D. Filipe I, o cronista Diogo do Couto divide em cinco partes o que comummente se chamava o Estado da Índia, "conformando-se assim com o mesmo título que dela os reis de Portugal em seu novo descobrimento tomaram: a primeira, ***Etiópia***; a segunda, ***Arábia***; a terceira, ***Pérsia***; a quarta, ***Índia***; e a quinta aquela multidão de ilhas filhas daquele Índico Oceano".

[3] Há cerca de 10 anos, divulgou-se o mito de que *Zhong He* teria dobrado o Cabo da Boa Esperança e explorado o Oceano Atlântico, chegando nomeadamente à América. Mas como seria isso possível, se o regime dos ventos e correntes no Atlântico, desconhecido dos Chineses, é muito mais complexo que o do Índico? Não se esqueça que os portugueses consagraram quase 80 anos a estudar metodicamente o Atlântico, antes de conseguirem dobrar o Cabo da Boa Esperança.

Citando Diogo de Couto:

"*Na **Etiópia*** (nome dado à África Oriental*), possuíam os reis de Portugal as fortalezas de Çofala no reino de Quetive e, no de Monomotapa, dois fortes, o de S. Marçal no Sena e o de Santiago em Tete, mais de cento e cinquenta léguas pelo grande rio de Cuama acima, e de uma como de outra parte muitos reis vassalos. Correndo a costa adiante, possuíam a fortaleza de Moçambique, a mais importante da costa africana oriental, com todos os reis da costa de Melinda, Quiloa, Mombaça, onde já havia fortaleza, Mopate, Atodo, Sio, Calife, Osa Brava, com todas as ilhas adjacentes àquela costa*".

"*Na **Arábia** possuíam ainda os postos de Curiate, Calaiate, com a nova fortaleza de Mascate, uma das chaves do Sino (*ou Golfo*) Pérsico, e mais Xeques vizinhos de Soar, Corfação e Ormuz, com o celebrado reino e ilha de Baharem, com mais de vinte léguas de costa, em que estão as cidades de Lara e Catifa, governadas por xeques, debaixo da jurisdição do capitão de Ormuz*".

"*Na **Pérsia**, possuíam os reis de Portugal o formoso rio Indo*".

"*Na **Índia**, e na sua parte dentro do Ganges, estava a maior parte do seu património: a formosa cidade de Diu e, quase oposta a ela, a muito forte e formosa cidade de Damão, como portas que fecham toda aquela enseada, o golfo de Cambaia, com as tanadarias e fortaleza de jurisdição, que passa de vinte e quatro léguas. Do rio Agaçaim até ao de Bombaim, que serão oito léguas, a famosa cidade de Baçaim com as tanadarias e fortalezas que são da sua jurisdição que são: Assarim, Manorá, Agaçaim até Bandorá, Taná, Caranjá, com a espantosa ilha de Salsete; a rica e formosa cidade de Chaul; a mui fresca e mui rica ilha de Gôa, cabeça de todo o Estado, com as terras firmes de Bardez e Salsete. E discorrendo para o Sul, na costa do Canará, as fortalezas de Onor, Barcelor e Mangalor; na costa do Malabar, Cananor, Cranganor e Coulão, feira e amparo das naus de Portugal e de todas as partes do Oriente. E voltando-se o Cabo Comorim, toda a costa das Pescarias, em que os padres da Companhia têm trazido ao canal da Igreja Católica mais de sessenta mil almas; e passando adiante, estão as cidades de Negapatão e S. Tomé, com algumas outras povoações ricas e portos; que ainda que não são patrimoniais dos reis de Portugal, são povoadas de seus vassalos, com capitães seus, regidos e governados pelas leis de seus reinos*".

"*Na parte da Índia fora do Ganges, possuíam os reis de Portugal a muito celebrada e nomeada cidade de Malaca, trono e cabeça de todo o reino Maluco, escala principal de todas as partes orientais de dentro e fora do Ganges, e famosa pelos dois grandes e cruéis inimigos que de ambas as partes tem, Rajale, Rei de Jor, e o Achem, senhor de toda a ilha de Samatra*".

"*Na quinta parte, que é a que fazemos de todas as ilhas de todo o Oceano Oriental, possuíam as ilhas Maldivas cujo reino é cristão, vassalo obediente e que reside na cidade de Cochim; a celebrada ilha de Ceilão, onde está a fortaleza de Columbo, com os reinos de Jafanapatão (que é vassalo) e da Cota e Candea (de que os reinos de Portugal são verdadeiros senhores), e a fortaleza de Manar*".

"*E passando daqui ao Nascente, vai o senhorio de todo aquele arquipélago de Maluco, de cujas ilhas, que são muitas, das principais que pertencem ao reino de Ternate, é El-Rei de Portugal direito e verdadeiro Rei, a ilha e fortaleza de Amboino, e na grande região da China, Macau, em que está fundada a melhor e mais próspera coluna que os portugueses têm em todo o Oriente. E finalmente as ilhas de Solor, e outras, em que os padres da Ordem dos Prègadores tem colhido tal fruto de semente evangélica, que por todas semearam, que pela misericórdia de Deus há passante de sessenta mil cristãos*".

Em Bombaim, que passou para a Coroa portuguesa em virtude do Tratado de Bassaim celebrado em 23/XII/1534 com o Sultão de Guzarate, *Bahadur Xá*, preocupado com o crescente poder do *Grão-Mogol*, não havia propriamente uma fortaleza. Pelo referido Tratado, Bassaim e as dependências desta, incluindo as 7 ilhas de Bombaim, passaram para o domínio de Portugal que as cedeu voluntariamente aos ingleses em 1661, incluídas no dote de Dona Catarina de Bragança. Mas os portugueses mantiveram no seu domínio vários lugares da região, entre os quais Salsete e Bassaim que, respectivamente em 1737 e 1739, caíram nas mãos dos *Maratas* que se haviam substituído ao *Grão-Mogol* como potência principal do Industão.

*

Porém, além de pretender salvaguardar e expandir o Império assim constituído, a Coroa Portuguesa tomou sobre si uma exaltante tarefa para a qual não havia antecedentes: a de organizar a Cristandade no Hemisfério Oriental. De facto, uma das políticas mais positivas de D. João III foi a de cumprir zelosamente os deveres associados ao Padroado do Oriente que, pelo Tratado de Tordesilhas, fora, implicitamente, confiado a Portugal. Melhor do que qualquer dos seus antecessores, o Rei compreendeu que a fundação e expansão do Império português, inspirada, tal como a do próprio Reino, pelo espírito medieval das Cruzadas, devia basear-se, não tanto na capacidade militar, audácia e brutalidade dos guerreiros, mas na coragem, ciência, cultura e caridade dos missionários[4].

Estes puderam pois escrever, no Índico, no Japão e na China, alguma das páginas mais gloriosas da História da Humanidade. Embora muitos deles fossem portugueses, grande parte não o eram. Todos actuavam porém no âmbito do Padroado e deixaram no Oriente, nomeadamente no Japão e na China, uma recordação que até hoje perdurou. Mas é necessário compreender que os missionários nem sempre podiam contar com a protecção e a capacidade de organização da Coroa portuguesa. Especialmente no Japão e na China, o Estado português pouco mais podia fazer mais que intervir por via da diplomacia e do controlo das rotas marítimas.

Consciente da necessidade de optimizar o uso dos seus limitados recursos na consecução de tarefa tão grandiosa, Portugal desempenhou-se admiravelmente das suas esmagadoras obrigações. A construção de praças-fortes e de entrepostos comerciais era seguida pela instituição de missões e dioceses: imediatamente após os conquistadores e os mercadores, chegavam pois, impreterivelmente, os missionários.

Durante o século que se seguiu à decisiva vitória de D. Francisco de Almeida sobre os otomanos, na batalha naval de 1509, junto a Diu, somente os portugueses e quem estes deixassem, passaram a poder navegar livremente no Índico. Assim, só aos missionários autorizados pela Coroa portuguesa era permitido viajar para o Oriente. E, mesmo depois de o monopólio comercial português ter passado a ser disputado por Estados não-católicos, como a Holanda e a Inglaterra, Portugal continuou a reclamar contra eles os seus direitos de padroado. O poder militar português declinava, mas a Coroa portuguesa, cada vez mais ciosa dos seus direitos históricos, não hesitava em confrontar-se com monarcas tão poderosos como Luís XIV.

Em virtude do Tratado de Tordesilhas, os missionários espanhóis, com raríssimas excepções das quais a mais conhecida é a de S. Francisco Xavier oriundo da Navarra, eram rigidamente excluídos, isto mesmo no período entre 1580 e 1640, em que as duas coroas ibéricas estiveram unidas e os reis de Espanha o eram também de Portugal. Mesmo os franceses se tornaram malquistos, desde que recusaram reconhecer os direitos de Portugal. Entre os estrangeiros, só missionários oriundos dos Estados pontifícios e dos estados italianos destes dependentes, bem como da Bélgica, Suíça, Renânia, Baviera, Boémia e Áustria, eram aceites pelos portugueses.

Independentemente da sua origem, os missionários que seguiam para o Oriente tinham de aceitar ser enquadrados pelo Padroado e deixar a Europa por Lisboa, munidos de passaporte português. Em Portugal, recebiam um suplemento de formação que incluía a aprendizagem da língua portuguesa, da qual se serviam para escrever grande parte das suas cartas e relatórios.

[4] A acção de D. João III não se limitou à promoção do diálogo euro-asiático. Ao trocar o domínio de algumas das praças-fortes marroquinas pela colonização e evangelização (também, em grande parte, confiada aos jesuítas) do Brasil, tornou-se o grande reformador do Império lusitano, conseguindo o milagre o fazer manter-se coeso durante os 60 anos do domínio filipino.

*

A Sociedade ou Companhia de Jesus, fundada em 1540 pelo Basco Inácio de Loyola, cedo foi olhada por D. João III como o instrumento ideal da sua política relativamente ao Padroado. Logo em 1542 doou à Companhia uma casa em Lisboa, a primeira que os jesuítas possuíram no Mundo. Foi uma das primeiras provas da atenção que a Ordem recebeu da sua parte. Muitas outras se sucederam. A Ordem nunca esqueceu o que lhe ficou devendo e considerou sempre a Coroa portuguesa, e os seus desígnios evangelizadores, como dignos de serem zelosamente servidos.

Entendeu D. João III ser essencial investir no estabelecimento das infra-estruturas culturais e científicas de que o Reino tinha necessidade para desempenhar o papel de promotor do diálogo entre a Europa e as grandes civilizações da Ásia Oriental. Como homem da Alta Renascença, o Rei considerou esse diálogo, ao mesmo tempo religioso, cultural e científico, o resultado mais nobre que poderia esperar-se dos esforços esgotantes desenvolvidos pela Nação portuguesa na sua expansão para além dos mares.

Começou por conceder bolsas para estudos no estrangeiro. Seguiu-se em 1537 a reforma da Universidade de Coimbra e a criação do Colégio das Artes, também em Coimbra, confiado em 1555 aos jesuítas. Em Lisboa, fundou o ainda mais importante Colégio de Santo Antão[5] que, instalado pela Companhia de Jesus em 1553 no edifício que é hoje o do Hospital de S. José, foi por ela dirigido até 1759, ano em que os jesuítas foram expulsos de Portugal. Durante mais de dois séculos, Santo Antão foi a mais importante instituição científica e tecnológica do País.

A Matemática tinha dificuldade em impor-se relativamente à Filosofia. Observe-se que já na Antiguidade a ciência aristotélica se opunha à geometria euclidiana[6]. No século XVI, a polémica renasceu com a discussão sobre o estatuto epistemológico das ciências matemáticas. Machado Mota demonstrou que "foram os jesuítas os responsáveis pela divulgação do debate em Portugal no final do século XVI, embora já houvesse uma discussão genérica e não sistemática sobre o estatuto científico da Matemática no meio universitário português". Acrescenta: "O debate teve grande difusão no nosso país e esteve presente nas mais reputadas estruturas locais de ensino jesuíta, como o Colégio das Artes, a Universidade de Évora ou ainda a Aula da Esfera, do Colégio de Santo Antão (Lisboa). Esta última tem uma importância particular na construção do debate português, porque criou o único núcleo de matemáticos que contrariaram a argumentação anti-matemática vinda dos professores de filosofia".

Santo Antão tornou-se especialmente famoso pela sua "Aula da Esfera", na qual se formaram milhares de estudantes, em ciências como a matemática, a geometria aplicada, a mecânica, a astronomia, a cosmografia, a instrumentação científica, a teoria das máquinas, e as técnicas associadas à arquitectura e até à engenharia militar. Os seus cursos eram seguidos, não só por religiosos, mas também por leigos. Nenhuma outra instituição científica ou tecnológica sedeada em Portugal teve um carácter internacional comparável: basta dizer que eram estrangeiros muitos dos estudantes e um terço dos professores, através dos quais Santo Antão recebeu a influência dos mais importantes Colégios jesuítas da Europa, nomeadamente do Colégio Romano, onde pontificava o famoso *Clavius*, o inventor do "Calendário Gregoriano", que seria adoptado pelos próprios protestantes. Através de Santo Antão, muitas inovações científicas,

[5] Leitão, Henrique -"*A Ciência na Aula da Esfera no Colégio de Santo Antão, 1590-1759*", Comissariado Geral das comemorações do V Centenário de S. Francisco Xavier, Lisboa, 2007.

[6] Machado Mota, Bernardo -"*O estatuto da Matemática em Portugal nos séculos XVI e XVII*", tese orientada pelo Académico Henrique Leitão e editada pela Fundação Calouste Gulbenkian e pela Fundação para a Ciência e Tecnologia, Lisboa, Fev. de 2011.

nomeadamente as teses de Galileu, entraram em Portugal pouco depois de serem publicadas. E no que se refere à preparação dos missionários, nada era deixado ao acaso: a própria longa viagem para o Oriente era organizada de modo a que, durante ela, pudessem continuar a sua formação.

*

Portugal beneficiou de outro notável monarca na pessoa de Filipe I. O que foi pernicioso na política deste foi ter-nos arrastado para uma guerra contra a Holanda e a Inglaterra, guerra que, não sendo nossa, mas da Espanha, se revelou altamente prejudicial para o nosso País. O prejuízo não se deveu somente à destruição de uma boa parte da Armada portuguesa na guerra contra os Ingleses, mas também ao facto de o Rei de Espanha, esquecendo a tradição diplomática do seu novo reino, vedar aos navios das potências protestantes o acesso aos portos portugueses. Antes, ingleses e holandeses vinham a Lisboa para aqui adquirirem os produtos do Oriente. Impedidos de o fazerem, serviram-se de informações[7] que lhes permitiram navegar para os portos asiáticos de origem. Assim perdeu Portugal o monopólio que o Tratado de Tordesilhas só podia garantir-lhe relativamente aos países católicos.

O desenvolvimento científico iniciado por D. João III não foi no entanto interrompido. Assinale-se que a actual "Real Academia das Ciências Exactas, Físicas e Naturais de Espanha" tem a sua remota origem na "Real Academia das Matemáticas de Madrid" fundada em 1582 por Filipe II de Espanha, (o nosso Filipe I), a partir do ambiente criado pela convivência entre destacados artilheiros e engenheiros militares, e os cosmógrafos e engenheiros civis ao serviço do monarca. A referida Academia foi inclusivamente fundada por decreto assinado em Lisboa, não em Madrid, durante o período de quase dois anos em que, depois de jurado Rei de Portugal nas Cortes de Tomar, Filipe permaneceu no seu novo Reino. Revelando-se um soberano inteligente e moderno (no que contrastou com os Filipes que lhe sucederam[8]), procurou pois desenvolver as sinergias entre os patrimónios científicos dos dois reinos ibéricos, passando a tirar partido do que, em vez de lhe ser comunicado por espiões, passou a vir da fonte limpa dos seus súbditos portugueses.

Não é pois de estranhar que alguns cientistas portugueses tivessem estado na origem da Academia espanhola. No seu artigo *Matemáticas y Academias en el Madrid de los Austrias*[9], o reputado historiador da Ciência Hispânica *Mariano Esteban Piñeiro* afirma: "*O reconhecimento de Filipe II como soberano de Portugal, em Abril de 1581, melhorou sensivelmente as expectativas económicas do monarca e proporcionou-lhe o professorado competente e fiável de que necessitava. A estadia do Rei em Lisboa e, consequentemente, a do seu Aposentador-Mor, Juan de Herrera (o arquitecto do Escorial), foi decisiva. O contacto com os cosmógrafos portugueses (súbditos e, portanto, já não estrangeiros), e o conhecimento directo das actividades da "Academia de Cosmografia*[10]*" lisboeta tiveram decisiva influência na decisão do Rei de criar em Madrid uma instituição similar*". Acrescente-se que o notável matemático português João Baptista de Lavanha foi levado para Madrid pelo Rei, que lhe atribuiu honorários excepcionalmente elevados, e nomeou "*para que se ocupe y entienda en mi corte y donde se le ordenare en cosas de cosmografia, geografia y topografia, y en ler* (ensinar) *matemáticas en la forma e lugar que se le mandare*".

---

[7] O mais famoso espião foi um protestante holandês, *Jan Huyghen van Linschoten* (1563-1611), mercador, viajante e historiador. Estabelecido durante anos em Goa e Lisboa, conseguiu copiar mapas portugueses altamente secretos que permitiram às Companhias das Índias Orientais holandesa e inglesa navegarem nos mares orientais, assim quebrando o monopólio português.

[8] Os espanhóis distinguem entre os grandes *Áustrias* (Carlos I e Filipe II) e os pequenos *Austrias* (os que lhes sucederam).

[9] Integrado na colectânea "*Matemáticos Madrileños*", compilada por *M.ª del Carmen Escribano Ródenas*, Anaya editor, 2000.

[10] Não havendo em Lisboa nenhuma instituição com este nome, crê-se que se tratava do Colégio de Santo Antão.

Mais tarde, em 1630, todo o património, rendas e instrumentos dessa "Academia das Matemáticas" foi integrado no "Colégio Imperial de Madrid", dirigido pelos jesuítas, o que o tornou uma instituição comparável ao Colégio de Santo Antão, com a diferença de que este fora fundado 80 anos antes.

*

A saga dos jesuítas no Extremo Oriente teve início no Japão.

A existência do Japão era conhecida dos europeus desde os tempos de Marco Polo. Mas só em 1543 alguns portugueses, trazendo as primeiras armas de fogo europeias, desembarcaram na Ilha de *Tanegashima*[11]. No ano seguinte, passaram a navegar para os portos de *Satsuma* e *Bungo*, na Ilha de *Kyushu*. Em 1547, já havia japoneses em Malaca e, em 1548, em Goa. Os contactos entre portugueses e japoneses começaram pois antes de 1550. O estabelecimento dos portugueses em Macau levou porém a uma modificação qualitativa que ultrapassou o que seria de esperar: os comerciantes portugueses tornaram-se intermediários praticamente únicos entre a China e o Japão.

A posição dos portugueses como intermediários foi facilitada por três factores. Primeiro, pelas devastações causadas pelos piratas japoneses na costa chinesa, que levaram os *Ming* a proibir todo e qualquer intercâmbio entre os seus súbditos e os japoneses. Segundo, pela descoberta e exploração de novas minas de prata no Japão, que permitiram aos negociantes portugueses actuarem como *brokers* nas trocas da prata japonesa pelo ouro chinês. Terceiro, e apesar de o Japão ser um produtor de seda, o facto de os japoneses preferirem a seda chinesa à japonesa, porque esta era de qualidade inferior[12].

Devido a tremendas guerras civis, o Império do Sol Nascente caíra num estado verdadeiramente caótico. A sua reunificação no século XVI deveu-se a três homens notáveis: *Oda Nobunaga*, *Toytomo Hideyoshi* e *Yeasu Tokugawa*. Um após outro, estes homens tiraram vantagem das armas de fogo europeias, trazidas pelos portugueses, e só conhecidas pois no Japão desde que os portugueses chegaram a *Tanegashima*. Usaram-nas contra os senhores feudais cujos interesses individuais fomentavam a desordem no país. A indústria de armas de fogo desenvolveu-se muito rapidamente e a sua produção tornou-se na primeira grande indústria japonesa. Foi este um passo essencial para o desenvolvimento da região do *Kansai*, centrada em *Osaka*, ainda hoje uma das mais industrializadas do país. Em fins do século XVI, havia mais armas de fogo no Japão que em qualquer país europeu.

Foi em Malaca que o jesuíta Francisco Xavier encontrou japoneses pela primeira vez. Impressionaram-no tão profundamente que concebeu o projecto de converter o Japão ao cristianismo. E porque nenhum navio português ousava transportá-lo até às ilhas japonesas, teve de fazer a viagem, juntamente com alguns companheiros, no junco de um pirata chinês. Pôde assim chegar ao Japão a 15 de Agosto de 1549. Em Janeiro de 1551, ele e os seus foram os primeiros europeus que visitaram a grande cidade de *Kyoto*. E nesse mesmo ano fixou-se em *Yamagushi* (na Ilha de *Kyushu*).

As dificuldades que sofreu foram maiores do que esperava. Tendo porém notado que o Japão fora sempre receptivo às inovações culturais provenientes da China, concebeu a audaciosa estratégia de começar por converter o Império chinês. Acreditava que, uma vez cristianizado este, o Japão logo o seguiria. Deixou pois o Japão em Novembro e voltou a Goa. Aí convenceu o vice-rei a enviar uma primeira embaixada a *Kyoto*, em 1554. Tentou depois entrar na China, mas não teve êxito: morreu em

[11] Há quem pense que Fernão Mendes Pinto estava entre esses.

[12] Trata-se de um aspecto aparentemente secundário cuja importância só poderá avaliar quem alguma vez experimentou o calor húmido dos Verões no Extremo-Oriente.

"Sanchoão", uma pequena ilha perto de Macau, olhando o misterioso continente chinês "como Moisés a Terra Prometida".

Os jesuítas que tinham ficado no Japão deixaram *Yamagushi* em 1556 e fixaram-se em *Funai* (a actual *Oita*, também em *Kyushu*). Nesta cidade, um abastado jovem chamado Luís de Almeida, que viera ao Japão como cirurgião, ofereceu-se para servir a Companhia de Jesus. Tornar-se-ia famoso como fundador do primeiro hospital europeu no Japão e introdutor da medicina europeia.

Entretanto, o processo de reunificação do Japão prosseguia. Tendo conquistado *Kyoto* em 1568, *Nobunaga* concedeu em 1569 a primeira audiência aos jesuítas que profundamente o impressionaram. Em 1571, autorizou os negociantes portugueses a trazer os seus navios até *Nagasaki*, naquele tempo uma obscura aldeia piscatória. Mercê dos contactos com os europeus, a aldeia desenvolveu-se porém rapidamente, tornando-se o porto de chegada e partida do grande navio negro que todos os anos vinha de Macau. A imagem desse navio permanece nos biombos *Namban*.

A *Nobunaga* sucedeu *Hideyoshi* que começou por se mostrar amistoso para com os portugueses. Implantou na sua corte a moda de usar trajos portugueses e, embora nunca se tivesse tornado católico, costumava trazer nas mãos um rosário. Foi porém ele que, em 1587, publicou um primeiro decreto contra os portugueses, o qual não teve consequências verdadeiramente importantes, a não ser a de que *Nagasaki*, que o *daymio* local tinha doado aos jesuítas, passou a depender do poder central.

Em fins do século XVI, os cristãos japoneses eram já cerca de 300 mil, sobretudo oriundos de *Kyushu*, um número impressionante, mas muito pequeno numa população total de 20 milhões (maior que a de qualquer país da Europa). Era porém revelador do êxito obtido pelos jesuítas: um dos maiores de sempre em termos de missionação.

Em 1591, o vice-rei da Índia decidiu enviar a *Hideyoshi* uma segunda embaixada que, não só ainda mais impressionou os japoneses, como constituiu um grande êxito em termos diplomáticos. A situação geral dos cristãos melhorou bastante e foi autorizada a impressão de um primeiro livro, por sinal em língua portuguesa.

Hideyoshi morreu em 1598 e o seu sucessor foi *Tokugawa Yeasu*, a quem o imperador concedeu os poderes e o título de *xógum* que *Hideyoshi*, por causa das suas humildes origens, nunca pôde usar. *Yeasu*, o primeiro *xógum* da dinastia dos *Tokugawa*, instalou a sua capital em *Eddo*, hoje *Tokyo*.

Foi depois da morte de *Yeasu*, ocorrida em 1616, que a política anti-cristã foi retomada. Campeões da unificação do Japão, os *Tokugawa* temiam que a fidelidade ao Papa dos católicos japoneses pusesse em causa a unidade do Estado, tão dificilmente conseguida. Assim, em 1639, as relações com as autoridades portuguesas foram cortadas, os embaixadores enviados de Macau no ano seguinte foram presos e executados, e, já em 1644, a solene embaixada enviada por D. João IV para informar oficialmente o *Xógum* de que os dois reinos ibéricos se tinham separado um do outro, e de que uma nova dinastia reinava em Portugal, não foi sequer autorizada a desembarcar. Seguiu-se uma perseguição contra os cristãos que pode considerar-se a mais violenta de toda a história do Cristianismo, pior que as da antiga Roma.

Chegara pois ao fim o chamado "século cristão" da História do Japão.

Dois escritores portugueses desse período merecem ser mencionados. O primeiro, chamado Luís de Froes (1532-1597), fixou-se no Japão em 1562. O grande *Valigniano*, que veio ao Japão como visitador da Companhia, deu-lhe a tarefa de escrever uma "História do Japão". Froes apresentou-lhe 5 grossos volumes que não foram grandemente apreciados: *Valigniano* esperava uma história sintética para instrução

dos missionários. Froes presenteou-o com um dos mais completos tratados jamais escritos sobre niponologia. O segundo, João Rodrigues (1558-1633), conhecido por *Tsuzu* ("o intérprete") por ter sido o intérprete preferido de *Nobunaga* e de *Hideyoshi*, publicou em 1603 o primeiro dicionário japonês-português. Foi também autor de tratados sobre gramática japonesa, história, poesia e protocolo (aspecto essencial da cultura japonesa). O historiador americano *Michael Cooper* escreveu a sua biografia[13].

Até à "era *Meiji*" (meados do século XIX), o Japão tornou-se, ainda mais que a China, um país isolado. Os holandeses eram os únicos europeus autorizados a desembarcarem, não propriamente no Japão, mas em *Deshima*, uma ilha artificial construída para o efeito no porto de *Nagasaki*. Dessa maneira, os japoneses podiam tomar conhecimento de algumas das inovações científicas e tecnológicas que ocorriam na Europa. Num entanto, num artigo intitulado "*Early cultivators of Science in Japan*", com que contribuiu para um número da Revista *Science* dedicado à história da Ciência japonesa, "a grande influência da contribuição portuguesa para a ciência e tecnologia japonesas" foi apontada por, nem mais nem menos, que o actual Imperador Akihito[14].

*

Reconhecendo o seu "falhanço" no Japão ("falhanço" no plano meramente terreno, já que, no espiritual, os jesuítas foram extremamente bem sucedidos), os missionários do Padroado voltaram-se para a China onde S. Francisco Xavier tanto desejara entrar sem nunca o conseguir.

Os primeiros jesuítas chegaram a Macau em 1556 e começaram por pregar na região à volta da cidade. Em 1576, retomaram o audacioso projecto de Xavier de evangelizar globalmente o Império chinês. Mas, para tal, seria indispensável aprender a língua. O jesuíta italiano *Michele Ruggieri*, chegado em 1579, dedicou-se tão intensamente a essa aprendizagem que, em pouco mais de dois anos, conseguiu o que os chineses consideravam impossível para um estrangeiro: memorizar cerca de 12 mil caracteres e conhecer em pormenor todos os ritos chineses. Por essa altura, chegou a Macau um outro italiano, *Matteo Ricci*, originário dos Estados Pontifícios, que começou imediatamente a estudar a língua e a traduzir os clássicos. Deve-se-lhe o primeiro dicionário português-chinês.

É importante observar que os livros abundavam na China[15]. Segundo Duarte de Sande[16], "desde a mais tenra idade as crianças andavam com livros nas mãos". Não eram livros do tipo dos que se divulgaram na Europa depois das inovações de *Guttenberg*, mas obras impressas através de técnicas xilográficas, utilizadas no Oriente havia muitos séculos. Devido a esta técnica, a China dos finais do século XVI era um verdadeiro mundo de livros. Tipografias imperiais imprimiam livros, sobretudo destinados a abastecer a densa rede de bibliotecas que desde finais do século XIV se tinham espalhado por todo o Império, associadas a escolas existentes nas localidades minimamente importantes. Não foi difícil aos religiosos europeus compreenderem que deviam fazer uso de livros impressos para divulgarem a doutrina cristã. *Ricci*, e por sua influência os outros jesuítas, entenderam a importância de imitarem os chineses na produção sistemática de um vasto património escrito. As inovações introduzidas por *Guttenberg* na Europa, nomeadamente os tipos móveis, de chumbo fundido, mais duradouros e resistentes que os de madeira, e com a vantagem de serem reutilizáveis, não fizeram mais que facilitar essa estratégia.

[13] Michael Cooper, "*Rodrigues the interpreter: an early Jesuit in Japan and China*".
[14] Akihito, "*Early Cultivators of Science in Japan*", Science, 258 (1992) 578-580.
[15] Loureiro, Rui Manuel, *"Na companhia dos livros manuscritos e impressos nas missões jesuítas da Ásia Oriental, 1540-1620"*, Universidade de Macau, 2007.
[16] Duarte de Sande, *"Diálogo sobre a Missão"*, p. 335.

Os religiosos da Companhia, que, no Japão, tinham notado a influência social dos monges budistas (*bonzos*), começaram por adoptar na China o mesmo paradigma. No fim de dez anos, concluíram porém que não convinha. Os *bonzos* ocupavam de facto, na sociedade chinesa, uma posição social relativamente secundária, e qualquer assimilação a eles teria repercussões negativas no seu projecto de conversão. Depois de 1595, os jesuítas consciencializaram-se pois de que o caminho de acesso aos estratos superiores da sociedade chinesa passava pela adopção de uma postura de letrados, assim se conformando com a tradição multissecular do Império. Graças a esta mudança fundamental na política de acomodação jesuítica, os missionários procuraram granjear prestígio entre os mandarins como "letrados ocidentais", oriundos da região a que os *Ch'ing* denominaram *Da xi yang guo*, "O Grande Reino do Oceano Ocidental"[17]. E, a partir de então, o estudo de tudo o que dizia respeito aos mandarins chineses, e sobretudo ao seu processo de formação e selecção, passou a constituir uma área prioritária para os religiosos europeus na China.

A Companhia decidiu pois investir a fundo na aprendizagem, por parte dos missionários, de tudo o que dissesse respeito, não só à língua, mas aos ritos e usos dos chineses. Foi assim proposta ao Papa a fundação em Macau de uma universidade com esse objectivo específico. Tendo concordado com o projecto, o Padre António de Quadros, Provincial dos jesuítas em Goa, tomou as medidas necessárias para ampliar a Escola de S. Paulo em Macau, de modo a convertê-la num estabelecimento de ensino superior com o nome de Colégio de S. Paulo. Assim nasceu a mais antiga universidade de tipo ocidental na Ásia Oriental, que precedeu os Colégios de S. José (jesuíta) e de S. Tomás (dominicano) fundados em Manila pelos espanhóis e que têm sido considerados os mais antigos da Região Ásia-Pacífico.

Foi o Colégio de S. Paulo, e a superioridade das rotas marítimas portuguesas, que fizeram de Macau a porta de entrada dos missionários na China. Os jesuítas de Macau nunca duvidaram da importância desses trunfos e sempre se manifestaram contra quaisquer outras soluções. Procuraram pois servir-se deles como argumentos para persuadirem os seus superiores a apoiarem o Padroado português.

*

Numa fria manhã de Fevereiro de 1997, fui um dos que tiveram a honra de acompanhar o Presidente da República Jorge Sampaio, então em visita a *Beijing*, na sua visita ao Cemitério dos jesuítas de *Zhala*. Setenta e três das majestosas estelas (uma por cada jesuíta sepultado no Cemitério) erigidas em *Zhala*, estão ainda em condições de revelar o nome e dados biográficos dos que sob elas se encontram sepultados. Pode concluir-se que 24, isto é, cerca de um terço, dizem respeito a jesuítas nascidos em Portugal. Dos 49 restantes, 2 nasceram em Macau, 12 (dos quais 5 com apelidos portugueses) na China, 11 em Itália, 9 em França, 7 na Alemanha, 2 na Áustria, 2 na Bélgica, 1 na Boémia, e 1 na Suiça.

As fontes históricas chinesas raramente mencionam os jesuítas. Efectivamente, embora alguns destes tenham ocupado posições oficiais proeminentes, os padres foram sobretudo conselheiros privados dos imperadores. Estes recebiam-nos discretamente nos seus palácios ou levavam-nos como conselheiros nas suas viagens através do Império. Desinteressados da glória mundana, tendo exclusivamente em mente a eficácia dos seus ensinamentos, eles aceitavam de boa mente essa situação. O povo, mais ou menos ignorante, olhava-os como "bárbaros do Ocidente", mas o cemitério de *Zhala* revela como os seus serviços foram apreciados.

[17] Nome por que Portugal era conhecido na China.

No dia seguinte àquele em que decorreu a visita ao Cemitério de *Zhala*, a delegação científica portuguesa acompanhou o Ministro português da Ciência numa visita oficial ao seu colega chinês. Este, que regressara pouco tempo antes de uma visita ao Brasil que o deixara profundamente impressionado, proferiu um pequeno mas inesquecível discurso no qual confessou a sua profunda admiração por Portugal e pelos jesuítas, mencionando entre estes o "grande Tomás Pereira", até então desconhecido da maioria dos membros da delegação.

Algum tempo depois, já em Lisboa, um amigo[18] emprestou-me uma obra sobre Tomás Pereira, escrita pelo jesuíta polaco *Joseph Sebbes*[19] e publicada em Roma, em 1961, pela Companhia de Jesus. Fiquei a saber que nasceu em 1646 no Norte de Portugal, fez os seus estudos secundários no Colégio dos Jesuítas (S. Paulo) de Braga, onde havia uma forte tradição musical, e foi admitido na Companhia em 1661, em Coimbra. Chegou a Goa em 1666 e de lá partiu para Macau onde chegou em 1673. Morreu no dia de Natal de 1708, com 62 anos, 47 dos quais passados ao serviço da Companhia.

*

Os portugueses e os missionários não-portugueses do Padroado foram os únicos europeus autorizados a visitar a China enquanto reinaram os *Ming*. A dinastia seguinte, os *Ch'ing*, recebeu o "Mandato do Céu" em 1644 e perdeu-o em 1911. Reinou pois quase simultaneamente com a nossa Dinastia de Bragança.

O 2.º Imperador *Ch'ing*, nascido em 1654, reinou entre 1661 e 1722 sob o nome de *K'ang-hsi*. O seu longo reinado coincidiu com o período mais interessante da história do Padroado do Oriente. Foi um dos maiores imperadores que alguma vez governou a China: não só o grande militar que a pacificação do Império exigia depois de uma mudança de dinastia, mas um infatigável administrador. Elevou ao mandarinato, não exclusivamente os que tinham feito os exames previstos na carreira, mas outros, entre os quais alguns jesuítas, que não tendo feito esses exames, lhe pareceram ter méritos que o justificavam. Um dos principais interesses de *K'ang-hsi* consistia em absorver a ciência e a tecnologia dos europeus. Mas interessava-se também pelas artes, especialmente pela pintura e pela música. É significativo que Tomás Pereira tenha sido chamado de Macau a *Beijing* como professor de música do então jovem imperador. Assim iniciou toda uma carreira ao seu serviço, nesta e noutras áreas, como a engenharia, a astronomia e a diplomacia.

Em resultado dessa proposta, António de Quadros, o Provincial da Companhia em Goa, tomou em 1594 as medidas necessárias para alargar o Liceu de S. Paulo, em Macau, transformando-o num estabelecimento universitário com o nome de Colégio de S. Paulo. Segundo o historiador Domingos Maurício, este Colégio foi a primeira universidade de tipo ocidental no Extremo Oriente, mais antiga que o Colégio de S. José, dos jesuítas de Manila, e que o de S. Tomás, dos dominicanos da mesma cidade. Um artigo da autoria de Huang Qichen, publicado na excelente Revista do Instituto Cultural de Macau, observa que o Colégio de S. Paulo, que tomou por base o sistema e os regulamentos da Universidade de Coimbra, foi fundado com 283 anos de antecedência relativamente à Universidade de Tóquio, que foi fundada em 1877, e 285 anos antes da Universidade de S. João, de Shanghai, que tem sido impropriamente considerada como a mais antiga universidade de tipo ocidental na China.

---

[18] O Embaixador Pedro Madeira de Andrade, que fora embaixador de Portugal em Tokyo.

[19] Sebbes, Joseph -"*The Jesuits and the Sino-Russian Treaty of Nerchinsk (1689); the Journal of Thomas Pereira SJ*", Rome, the Society of Jesus (ed.), 1961.

Foi a existência do Colégio de Macau que manteve Macau na sua posição de porta de entrada na China, e deu força ao Padroado, gorando as sucessivas tentativas de pôr de pé soluções alternativas, e convencendo a Companhia de Jesus a defender em Roma que a evangelização do Extremo Oriente deveria prosseguir no âmbito do Padroado português. Sabe-se, nomeadamente, que, para não ofender o Rei de Portugal, o Geral da Companhia de Jesus, Oliva, mandou dizer por volta de 1664, a Leopoldo I, Imperador da Alemanha, interessado em patrocinar uma solução alternativa, que não convinha trocar "uma segura rota marítima por uma insegura rota terrestre".

*

O próprio eclectismo de K'ang-hsi viria porém a tornar-se prejudicial. Tendo concedido em 1692 autorização para a propagação do catolicismo e o direito de residência na Cidade Proibida a missionários franceses, e mandado construir uma igreja para eles em Pequim, em sinal de gratidão por o terem curado da malária, atraiu à China missionários de outras ordens, como franciscanos, dominicanos e agostinhos, os quais, não possuindo a formação que os jesuítas recebiam em Macau, não estavam preparados para missionar.

Em contraste com os jesuítas, cuja abertura e flexibilidade lhes tinha permitido compatibilizar com a doutrina católica os ritos tradicionais chineses, como o culto dos antepassados e o culto de Confúncio e do Céu, que consideravam cívicos e não religiosos, aceitando inclusivamente desempenhar funções oficiais, nomeadamente as de mandarins, que os obrigavam a neles participarem, os missionários recém-chegados condenaram esses ritos como superstições e levantaram dúvidas sobre a ortodoxia dos jesuítas.

Rebentou assim a chamada "questão dos ritos chineses" que o Papa Clemente XI concluiria em 1692, decidindo contra os Jesuítas. Os chineses católicos eram nomeadamente proibidos de participarem nesses ritos. Furioso pelo que considerava uma intervenção do Papa na área do seu poder, K'ang-hsi ordenou aos jesuítas do Padroado que prendessem o Cardeal Carlo-Tommaso Maillard de Tournon, o legado apostólico à China que trouxera consigo o decreto papal, e expulsou em 1706 todos os missionários que não seguissem os princípios que haviam sido defendidos pelos jesuítas.

A Igreja Católica tinha perdido a grande oportunidade de converter a China.

*

Os quatro mais famosos missionários jesuítas que contribuíram para o diálogo euro-chinês foram:

– O já mencionado *Matteo Ricci* que foi o primeiro a chegar a *Beijing*. As suas contribuições científicas estiveram sobretudo associadas à geometria e à cartografia. Levava com ele os mapas europeus mais aperfeiçoados da época e que serviram de base a outros que considerou mais apropriados para a realidade chinesa, já que apresentavam a China como o centro do Mundo. Converteu ao cristianismo dois mandarins do mais elevado grau, que os jesuítas conheceram sob os nomes de "Doutor Paulo" e "Doutor Miguel", essenciais para instruírem o próprio *Ricci* e manterem com os padres o tão desejado diálogo. O primeiro ajudou-o a traduzir para chinês os "Elementos" de Euclides[20]. *Ricci* foi o primeiro jesuíta sepultado no cemitério de *Chala* por ordem do Imperador, o que imediatamente implicou a permanência dos jesuítas em Pequim para passarem a prestar-lhe as honras fúnebres que a tradição chinesa impunha.

– *Johann Adam Schall von Bell*, alemão, sucessor de *Ricci* como director da missão jesuíta em *Beijing*, que foi o primeiro jesuíta nomeado mandarim e o primeiro que presidiu ao "Tribunal das Matemáticas".

[20] Ver Engelfriet, Peter M., "*The Genesis of the First Translation of Euclid's Elements in 1607 & its Reception up to 1723*", Brill 1998.

– *Ferdinand Verbiest*, flamengo, grande matemático e astrónomo, que conseguiu convencer a Corte de *K'ang-hsi* de que a astronomia europeia era muito mais aperfeiçoada que a chinesa. Foi pois encarregado de reformar o calendário chinês e de ampliar e reequipar o Observatório de *Beijing*. Foi também Presidente do "Tribunal das Matemáticas". Frequentemente solicitado por *K'ang-hsi* como seu mestre de geometria, filosofia ou música, serviu-o ainda como diplomata e cartógrafo e escreveu mais de 30 livros. Parece ter projectado e construído, coadjuvado por *Claudio-Filippo Grimaldi*, o primeiro veículo automóvel, accionado por uma turbina a vapor.

– O já mencionado *Tomás Pereira*, português, em quem *K'ang-hsi* pensou para suceder a *Verbiest* na presidência do "Tribunal das Matemáticas". Não se achando competente para suceder a *Verbiest*, Pereira sugeriu como alternativa, que foi aceite, *Grimaldi*[21], colaborador de *Verbiest*, especialista na construção de instrumentos científicos, entre os quais uma máquina hidráulica que despertou grande entusiasmo junto do Imperador. Porém, como *Grimaldi* teve que passar vários anos (de 1688 a 1694) na Europa, foi Tomás Pereira que, durante esses anos, juntamente com *Antoine Thomas*, belga e jesuíta como *Verbiest*, substituíram este a título interino. O momento culminante da carreira de Tomás Pereira foi, todavia, a negociação, juntamente com o jesuíta francês *Jean-Baptiste Gerbillon*[22], do primeiro tratado internacional entre a China e uma potência estrangeira. O tratado foi o de *Nerchinsk*, firmado com a Rússia em 1689, e incidiu sobre o traçado da longa fronteira sino-siberiana. Segundo o já mencionado biógrafo de Tomás Pereira, *Sebbes*, a intervenção dos jesuítas nestas negociações foi um extraordinário facto histórico: "um pequeno número de europeus, missionários de uma religião apenas tolerada, e frequentemente objecto de perseguição em ambos os países, agiram como intermediários entre os dois grandes impérios"[23]. Segundo *Sebbes*, os registos das reuniões entre as duas partes não deixam dúvidas sobre o facto de que era em Tomás Pereira que *K'ang-hsi* depositava toda a confiança, e que a sua acção, muito mais que a de *Gerbillon*, foi especialmente apreciada pelo Imperador. Reconhecendo o facto de que os interesses chineses tinham sido salvaguardados pelos jesuítas, *K'ang-hsi* publicou, na sequência da negociação do tratado sino-russo, o primeiro édito imperial que garantia tolerância para com os cristãos. O grande *Leibniz*[24], seu contemporâneo, refere Tomás Pereira como o mediador decisivo, "toque final" de "afortunados resultados". Também *Golovine*, principal negociador do lado russo, agradeceu aos jesuítas e prometeu-lhes interceder junto do *Czar* Pedro (o futuro Pedro, o Grande, então na menoridade), e conseguir-lhes melhores condições dentro do Império russo. A protecção dos czares seria essencial para os jesuítas depois da extinção da Ordem por influência de Pombal.

Escreveu Tomás Pereira, no diário relativo às negociações, que o seu papel consistira em garantir que tudo fosse feito de acordo com a "Lei das Nações", e em dar aos embaixadores chineses o indispensável "conhecimento do Mundo". Segundo *Sebbes*, "em *Nerchinsk*, os jesuítas não foram pois simples intérpretes, nem os inspiradores da acção política; a sua intervenção foi, sobretudo, um exemplo magistral da contribuição que a Ciência pode dar para a resolução racional dos problemas políticos"[25].

Luís Filipe Barreto[26], Director do "Centro Científico e Cultural de Macau"(CCCM), invocou o primeiro grande historiador das matemáticas *Jean-Étienne Montucla* (1725-1799) que, na sua *Histoire des*

[21] Grimaldi, Claudio Filippo, S.J., era bem conhecido de Tomás Pereira, já que, em 1666, tinham feito juntos a viagem de Lisboa a Goa.
[22] Um dos "*mathématitiens royaux*" que Luís XIV enviou à China, violando o Padroado português.
[23] Ver a obra de Sebbes atrás mencionada.
[24] Leibniz, G.W., no Prefácio à *Novissima Sinica*, 1697-1699.
[25] Ver a obra de *Sebbes* atrás mencionada.
[26] Barreto, Luís Filipe, no Prefácio da obra *Tomás Pereira, um jesuíta na China de Kangxi*, editada pelo CCCM, Lisboa, Dez. de 2008.

Mathématiques (Paris, 1758) inclui Tomás Pereira nos "*missionários matemáticos, e sobretudo astrónomos*", relevantes para a "*história das matemáticas entre os chineses*", o que, vindo de um francês do século XVIII, pode considerar-se um grande elogio. Observa ainda o Director do CCCM, a propósito de Tomás Pereira, que "*os seus contemporâneos chineses e portugueses, italianos e franceses, russos e belgas, holandeses e alemães o mencionam com frequência, fazendo-lhe elogios ou críticas transmitindo preciosas informações sobre as suas actividades científicas, tecnológicas, diplomáticas, institucionais. Estamos pois frente a uma figura activa e relevante na Corte de Kangxi com impacto nos círculos de poder europeus, tanto dos Estados dinásticos como da Igreja. Tomás Pereira é então uma das figuras interculturais chave nas relações Europa-China: o primeiro europeu a publicar, em chinês, um Tratado de Música Ocidental, e o primeiro ocidental a escrever, neste caso em língua portuguesa, uma obra sobre o Budismo chinês*".

As inscrições que podem ler-se no Cemitério de *Zhala* registam a comovente homenagem que *K'ang--shi* prestou a Tomás Pereira (o "Ilustre *Xu*", ou "*Xu Richeng*", como era chamado), sob a forma de um édito que mandou gravar na respectiva estela:

> ***"Nós lembramos-Nos, em jejum e abstinência, de ti, Xu Risheng, que vieste de longe e aqui trabalhaste por muitos anos. Foste um perito em música e no calendário, e os instrumentos que construíste foram todos oportunos. Nada fizeste senão mostrares-te diligente, e esforçaste-te ao máximo no cumprimento das tuas tarefas. Por natureza íntegro, sem adornos e sem falhas, tu devotaste-te a Nós do princípio ao fim e da manhã à tarde. Como a tua lealdade e sinceridade de coração eram de dia para dia mais reconhecidas, Nós vínhamos há já longo tempo a expressar-te a Nossa estima. Quando ouvimos falar da tua doença, tínhamos ainda a esperança de que pudesses recuperar. Contudo faleceste inesperadamente. Nós ficámos extremamente entristecidos com a notícia. Concedemos-te 200 taéis de prata e dez grandes rolos de seda*** (para o funeral) ***como expressão da Nossa simpatia e compaixão por um súbdito que veio de longe. Este é o Nosso decreto".***

Depois da morte de Tomás Pereira, e até à extinção das Ordens religiosas em Portugal (1834), a presidência, ou a vice-presidência, do "Tribunal das Matemáticas" foi constantemente atribuída a jesuítas portugueses. Após a extinção da Companhia, e devido a diligências desenvolvidas por Dona Maria I, Augusta Fundadora da nossa Academia, a presidência passou a caber a missionários portugueses de outras Ordens, nomeadamente aos lazaristas. Quanto a Tomás Pereira, o seu nome foi esquecido até aos nossos dias, em conformidade com a tradição portuguesa que manda esquecer o passado para construir o futuro. Prestou-se deste modo um grande serviço a outros países europeus cujos missionários não poderiam ter participado no **Grande Diálogo** sem as infra-estruturas que o Padroado lhes proporcionou, mas onde se tem tentado escrever a História sem referência ao Padroado ou aos portugueses que o serviram. No meio das injustiças de que temos sido vítimas, a que se somou o nosso habitual desleixo[27], é de sublinhar a importância da contribuição de *Joseph Sebbes* para que Tomás Pereira fosse relembrado.

*

Mas voltemos à visita presidencial de 1997. A 26 de Fevereiro, a delegação científica portuguesa visitou o antigo Observatório de Pequim, onde funcionava o famoso Tribunal das Matemáticas. Foi outro momento alto da viagem. O Ministro Mariano Gago ficou de tal modo impressionado que trabalhou

[27] É nomeadamente imperdoável que a sepultura de Tomás Pereira em *Zhala* tivesse sido destruída, juntamente com as de outros grandes missionários, e as autoridades portuguesas, contrastando com as dos países de origem desses outros missionários, tenham negligenciado completamente a sua reconstrução.

para que, dois anos mais tarde, a 16 de Junho de 1999, um "Centro China-Portugal para a História das Ciências", fosse inaugurado em Pequim pela Ministra Zhu Lilan e ele próprio.

Segundo um comunicado de imprensa emitido na altura, "*o Centro sino-português irá desenvolver investigação em História das Ciências, nomeadamente sobre as actividades do antigo Observatório Astronómico de Pequim e as relações entre a Europa e a China no campo da Ciência*". Continuando, o comunicado informava: "*As pesquisas irão incidir sobre as actividades dos missionários portugueses chegados à China no fim da dinastia Ming e no início da dinastia Qing (século XVII); sobre as trocas científicas e culturais entre a China, Portugal e a Europa em meados da dinastia Qing (século XVIII); sobre a introdução do moderno sistema científico ocidental na China e da cultura chinesa na Europa; e sobre a contribuição dos missionários portugueses (os chamados padres-cientistas) para a mdernização do Observatório Astronómico de Pequim*". E ainda: "*O papel dos portugueses para os estudos astronómicos da China foi preponderante entre o século XVI e o final do século XVIII. Destacam-se* ***Tomás Pereira***, ***André Pereira*** *e* ***Caetano Pires Pereira*** *que dirigiram o antigo Observatório Astronómico de Pequim, que respondia perante o Imperador*".

AGRADECIMENTO: O autor agradece ao eminente Académico Henrique Leitão, que na Academia das Ciências de Lisboa tem dado continuidade à tradição da História da Ciência, as inúmeras trocas de pontos de vista que tiveram sobre os assuntos abordados nesta comunicação, com as quais muito apreendeu, e a abundante informação bibliográfica que por ele lhe foi transmitida.

(Comunicação apresentada à Classe de Ciências
na sessão de 15 de novembro de 2011)

O erro e a importância do erro na investigação biológica

Rui Malhó

A elaboração desta apresentação surge na sequência de uma reflexão do autor sobre a importância do erro em ciência, como surge, como é apercebido, como se lida com a sua ocorrência e quais as ilações que daí podemos retirar.

A palestra iniciou-se com a leitura de um texto do autor redigido a propósito do livro 100+1 ideias para o futuro, da Universidade de Lisboa, compilado no âmbito das comemorações do seu centenário e que se transcreve de seguida:

"Uma ideia sobre o erro

As sociedades actuais vivem pressionadas de forma cada vez mais intensa pela necessidade de decidir bem e rápido, pelo expedito juízo dos pares, pela crítica feroz às elites decisoras. As universidades não tem escapado a este escrutínio nem a este desiderato. No entanto, a missão da Universidade não é apenas ensinar como se faz, é também criar, experimentar, inovar, arriscar, formar, evoluir.

Inerente a estes conceitos está uma noção de erro. Errar faz parte de qualquer actividade humana. Aprendemos com os erros, nossos e dos outros. No método científico testamos continuamente hipóteses, teoremas e teorias e nada se aceita como absolutamente verdadeiro. Revêem-se trabalhos e arguem-se dissertações na procura do erro. Definimos-lhe limites aceitáveis tendo em conta o avanço tecnológico e o estado actual de conhecimento, limites esses que vamos estreitando para adiante abrir outros, qual figura fractal.

Mas se intrinsecamente aceitamos que o erro faz parte do progresso, porque estamos então, colectiva e individualmente, menos tolerantes para com ele? Porque temos cada vez mais relutância em aceitar que um médico, um juiz, um político, erre? E quais as consequências de tal intolerância? Pode uma sociedade manter-se dinâmica se não admitir o erro? Mas onde se define a fronteira entre tolerância e desresponsabilização? Entre risco e incompetência?

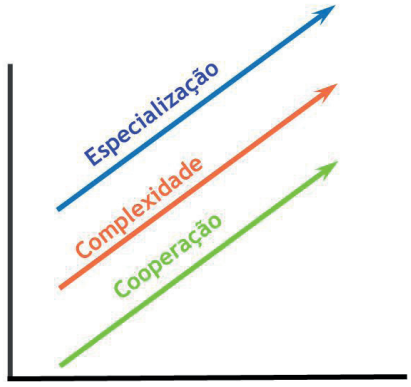
A Universidade pode ter aqui um papel chave. Por um lado formando e exigindo a si própria a formação de profissionais técnica, moral e eticamente competentes. Indíviduos que saibam analisar os dados disponíveis, ponderar as decisões possíveis, escolher a que se afigura melhor e transmitir as razões de tal escolha. Mas se se limitar a isto, irá apenas propalar o estado actual da coisa. Entre reflexões críticas, implementação de indicadores de sucesso e aproximação à sociedade (todas elas essenciais!), corre o risco de assumir um comportamento "auto-imune". A Universidade dos próximos 100 anos deverá por isso ter uma ideia sobre o erro. Não ensiná-lo ou cultivá-lo. Mas contextualizar a sua relevância, o seu papel. Formar cidadãos exigentes mas tolerantes. Profissionais que, paradoxalmente, o aceitem e por isso mais se esforcem para o evitar.

Em qualquer época, em qualquer século, a Universidade tem de ser um local de excelência e de diferença. Uma força motriz para o avanço e um baluarte da crítica. Nos próximos 100 anos será sem dúvida crucial que a UL procure um rumo certo. Mas também que não oblitere a importância de errar. Nos próximos 100 anos, formar uma ideia sobre o erro pode não ser uma ideia errada!"

Os conceitos subjacentes a este texto foram então abordados realçando-se os seguintes tópicos:

– O avanço do conhecimento, tal como a evolução dos sistemas biológicos, implica uma profunda interligação e aumento progressivo da Complexidade, Especialização e Cooperação. Argumentou-se que

este aumento não é linear, assistindo-se ocasionalmente a fenómenos de transição de fase. Estas transições ocorrem quando a nossa percepção do erro acumulado é suficiente para gerar abordagens e metodologias inovadoras possibilitando a passagem a um novo estadio.



– O método científico baseia-se sequencialmente em: [1] Formulação de hipóteses (recurso a analogias, evidências lógicas, etc); [2] Pensamento crítico e obtenção de evidências empíricas; [3] Utilização de metodologias complementares. Quantificação; [4] Diversidade de opiniões / interpretações e alteração de conceitos. Esta sequência racional é no entanto sujeita a parâmetros subjectivos introdutores de erros, tais como: [1] Influência de perspectivas históricas e culturais; [2] Motivação (curiosidade, ambição, lucros, competição); [3] Limitações estruturais (recursos, tecnológicas); [4] Limitações neuroanatómicas.

Citou-se a este propósito o livro "why we make mistakes" de Joseph T. Hallinan.

Definiram-se de seguida categorias de erros tendo-se optado, dentro das várias classificações possíveis, pela de Douglas Allchin:

Material
- Material impróprio (amostra impura ou trocada, cultura contaminada, etc)
- Procedimento impróprio (protocolo errado, capacidade de execução deficiente)
- Fenómeno modificado pelo observador
- Confluência de fenómenos por falta de distinção experimental

Observacional
- Controlos (experimentais) insuficientes
- Conhecimento incompleto da instrumentação ou do método de observação
- Viés ("Bias") do paradigma corrente (observação adaptada à teoria ao invés do oposto)
- Dados insuficientes (baixo número de "amostras")

Conceptual
- "Ruídos de fundo"
- Erro de argumentação (falácias lógicas, correlações indevidas)
- Extrapolações injustificadas
- Incapacidade em obter explicação alternativa (criatividade limitada)

Social
- Falhas de comunicação (publicações obscuras, dificuldades de tradução)
- Fraude, má revisão (por pares), julgamento de credibilidade
- Viés socio-cultural (aspectos étnicos, de género, etc.)
- Educação científica deficiente

Nesta palestra optou-se por não abordar de forma detalhada os erros ditos "sociais" por manifesta falta de tempo e por não se enquadrarem no tema mais específico da palestra (erro na investigação

biológica). É um tema que, só por si, merece uma reflexão de âmbito mais generalista tendo em conta as implicações que contém não apenas para a evolução da ciência, como também para a percepção que a sociedade faz da ciência.

Apresentaram-se de seguida vários exemplos de erros e tipos de erros em investigação biológica:

– Erros de natureza material (exemplificado em análises genéticas e moleculares de plantas)

– Erros de natureza observacional (exemplificado em experiências de imagiologia celular)

– Erros de natureza conceptual intersectando erros de natureza observacional (exemplificado em experiências de reconstrução tridimensional de células e interpretação dos dados)

– Erros de natureza conceptual intersectando erros de natureza material (exemplificado em análises fenotípicas de mutantes da planta Arabidopsis)

Discutiu-se a importância destes erros num contexto laboratorial actual, sujeito a pressões tais como a necessidade de indicadores de realização (publicações) e a influência da supervisão nos investigadores menos experientes.

Apresentaram-se de seguida alguns exemplos de como a percepção do erro pode ser extremamente importante para o desenvolvimento de novas metodologias e abordagens experimentais, as quais, por sua vez, introduzirão inevitavelmente novos erros. Foi dado destaque à utilização da "Green Fluorescent Protein" (GFP) e de como ela levou a avanços transdisciplinares nas áreas da Física, Química, Biologia Molecular e Biotecnologia (detectores de imagem, métodos de transformação genética, mutagénese de proteínas, etc).

A palestra focou então três exemplos recentes que, de alguma forma, captaram a atenção da opinião pública e que ilustram bem as perspectivas de erro até agora abordadas. Foram eles:

[1] trabalhos sobre a existência de bactérias capazes de substituir fósforo por arsénio; invocação de erros materiais (na amostra) e observacionais (falha na instrumentação); validação pendente.

[2] trabalhos sobre a existência no genoma humano de "Single Nucleotide Polymorphisms" (SNPs) relacionados com a longevidade; invocação de erros observacionais (falha na instrumentação); reformulação de dados e de equipamento em curso.

[3] trabalhos sobre a correlação entre a existência de retrovírus no sangue e síndroma da fadiga crónica; invocação de erros materiais (amostras contaminadas) e/ou observacionais (falha na instrumentação); retracção de dados

A palestra concluiu com a apresentação de aspectos positivos e negativos sobre o erro citando-se a este propósito o livro de Tim Harford "Why success always starts with failure".

O ERRO – ASPECTOS POSITIVOS

'There is no criterion of truth at our disposal, and this supports pessimism. But we do possess criteria which, if we are lucky, may allow us to recognize error and falsity' – Karl Popper

- Precisão, detalhe
- Intervalos de confiança (subjectivismo)
- Aprendizagem (técnica do experimentador)
- Instrumentação
- Abordagens "sem-culpa"
- Validação de dados e evolução do conhecimento

O ERRO – ASPECTOS NEGATIVOS

'it can be disconcerting the idea that errors are (…) commonplace. It is common for human beings to seek the security of scientific information, facts, or judgments from experts. The notion that (…) our thinking may sometimes provide only feeble representations can be perplexing and distressing"

- Estigma social (dramatização do herói e vilão)
- Menor empreendedorismo / criatividade
- Perpetuação de dados incorrectos
- Distanciamento ciência-sociedade
- Menor desenvolvimento

(Comunicação apresentada à Classe de Ciências
na sessão de 5 de janeiro de 2012)

A missão GAIA da Agência Espacial Europeia (ESA)

José Joaquim Pereira Osório
jposorio@fc.up.pt

1. INTRODUÇÃO

A observação de estrelas para fins astrométricos remonta à antiguidade. Primeiro, observações à vista desarmada, até ao final do século XVII. Depois, até à última década do século passado, recorrendo a telescópios, mas continuando as observações a serem feitas à superfície da Terra. Desde então, já foram concebidos dois projectos, HIPPARCOS [2,3] e GAIA, para tornar as observações astrométricas possíveis no Espaço. O objectivo principal em toda esta evolução é, naturalmente, a obtenção de posições de astros cada vez mais exactas. De salientar o notável desenvolvimento nas duas últimas décadas (Figura 1) [1].

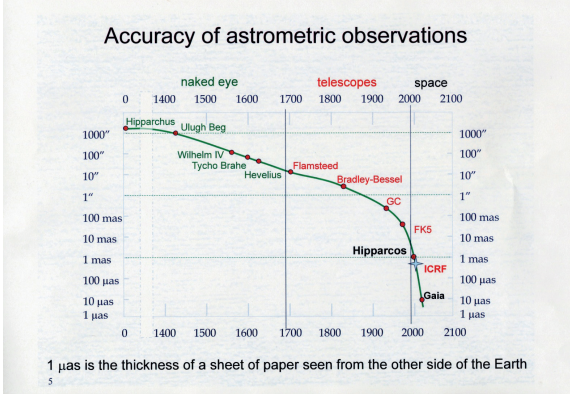


Figura 1
Exactidão das observações astrométricas.

Antes do aparecimento das técnicas espaciais, o Catálogo mais rigoroso era o FK5, com precisão da ordem de alguns centésimos de segundo de arco. Com o objectivo de procurar novos processos que permitissem chegar a melhores resultados, a União Astronómica Internacional (UAI) criou um Grupo de Trabalho, *Study Group on Horizontal Meridian Circles*, constituído por dez Membros de diferentes países, interessados neste problema, um dos quais o autor desta comunicação. Para além de outras ideias que vinham sendo discutidas, havia já dois Círculos Meridianos Horizontais em funcionamento, um no Observatório Astronómico de Pulkovo, Ex-URSS, e outro no Observatório Astronómico "Prof. Manuel de Barros", na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP), Portugal (Figura 2), concebido por aquele Professor, saudoso Membro desta Academia, e totalmente construído no nosso País.

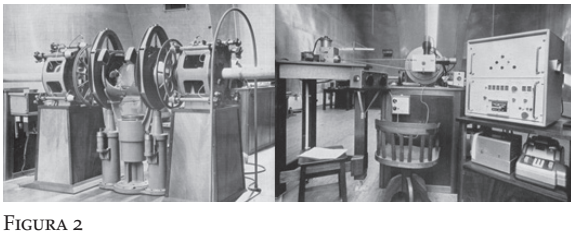


Figura 2
Círculo Meridiano de Espelho (FCUP).

Durante os trabalhos da XVIII Assembleia Geral da União Astronómica Internacional (UAI), realizada em Patras, Grécia, em 1982, ao mesmo tempo que era apresentado o Relatório trianual do referido Grupo de Trabalho aparecia a notícia da aprovação, pela Agência Espacial Europeia (ESA), do Satélite HIPPARCOS: *"The ESA astrometry satellite was*

approved in March 1980 and is scheduled for launch in late 1986". O Satélite HIPPARCOS (*HIgh Precision PARallax COllecting Satellite*) foi colocado em órbita em 8 de Agosto de 1989 e a recolha de dados decorreu no período de Novembro de 1989 a Março de 1993. A redução desses dados de observação permitiu a criação do Catálogo HIPPARCOS, envolvendo Posições de 118 218 Estrelas com precisão da ordem do milissegundo de arco (*mas*), conforme estava previsto [3].

2. A MISSÃO GAIA

A precisão do Catálogo HIPPARCOS tal como dos Catálogos anteriores (Figura 3) deteriora-se com o tempo.

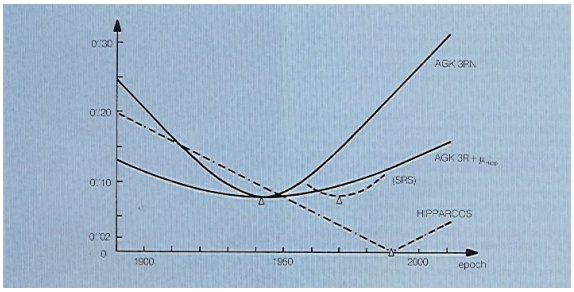


Figura 3
Precisão de diferentes Catálogos.

Reconhecendo esta situação e com base no êxito da missão HIPPARCOS, cedo foi proposto à ESA a concepção e o planeamento de uma nova missão espacial astrométrica. Depois de vários estudos durante alguns anos, a ESA assinou o contrato para o desenvolvimento e a construção do Satélite GAIA – *Global Astrometric Interferometer for Astrophysics*, em Maio de 2006, com a empresa europeia especializada nesta área, EADS Astrium, que tinha já vasta experiência com o Satélite HIPPARCOS. Para além da elaboração de um novo Catálogo, o Catálogo GAIA, a Missão visa, ainda, um estudo mais aprofundado da nossa Galáxia, a Via Láctea [4].

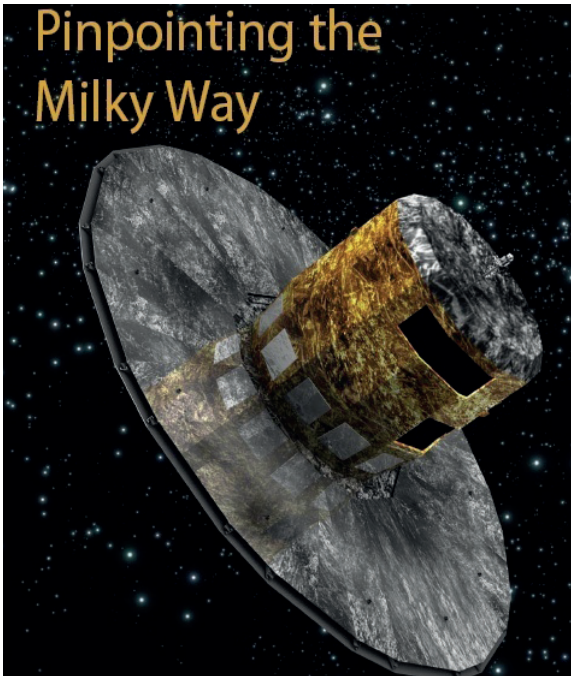


Figura 4
Satélite GAIA.

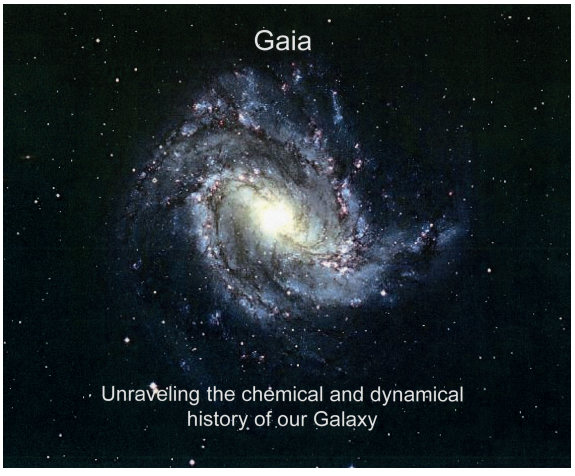


Figura 5
Galáxia.

Figura 6
Cronologia das principais fases (plano inicial).

2.1 Objectivos

2.1.1. Dados de observação

Para além da componente astrométrica, a Missão GAIA incluirá também a recolha de dados fotométricos e espectrométricos, muito mais rigorosos, de uma quantidade muito maior de objectos da nossa Galáxia. De uma maneira geral, relativamente aos dados de observação, pretende-se:

- Astrometria (V < 20)
– Completo até à grandeza 20 (20 mag), para um número de estrelas da ordem 10^9
– Varrimento, duas direcções diferentes
– Princípio: redução astrométrica global (como para o Hipparcos)
- Fotometria (V < 20)
– Análise astrofísica (fotometria de baixa dispersão)
- Velocidade radial (V < 17)
– Terceira componente do movimento
– Dinâmica, estudo da população, binários
– Espectros para V < 14: química, rotação

V representa a *grandeza visual aparente*.

Em comparação com a Missão anterior os avanços esperados são os seguintes:

	HIPPARCOS	GAIA
Grandeza limite	12 mag	20 mag
Integralidade	9 mag	20 mag
Número de objectos	120.000	26 milhões até V=15
		250 milhões até V=18
		1000 milhões até V=20
Distância efectiva	1 kpc	50 kpc
Quasares	1 (3C 273)	500.000
Galáxias	0	1 milhão
Exactidão	1 milisegundo	7 microseg até V=10
		25 microseg até V=15
		300 microseg até V=20
Fotometria	2 cores (B e V)	Baixa resolução até V=20
Velocidade radial	Não	15 km/seg até V=17
Observações	pré-selecção	Completa

2.1.2 Astrofísica Estelar

Os novos dados de observação irão permitir desenvolver diferentes aspectos da astrofísica estelar.

• Compreensiva calibração da luminosidade, por exemplo:
– Distâncias, a 1%, para cerca de 10 milhões de estrelas até 2.5 kpc
– Distâncias, a 10%, para cerca de 100 milhões de estrelas até 25 kpc
– Tipos estelares raros e fases evolutivas rápidas
– Calibração de paralaxe de todos os indicadores de distância, por exemplo, Cefeidas para as Nuvens de Magalhães
• Propriedades físicas, por exemplo:
– Diagramas de Hertzsprung–Russell por toda a Galáxia
– Massa e função de luminosidade nas proximidades do Sol, por exemplo, anãs brancas
– Funções iniciais de massa e luminosidade em regiões de formação de estrelas
– Função de luminosidade para estrelas da pré-sequência Principal
– Detecção e datação de todos os tipos espectrais e populações Galácticas

2.1.3 Via Láctea e sua proximidade

Para estudos da nossa Galáxia também se esperam importantes avanços:
– Distribuições de distâncias e velocidades de populações estelares
– Estrutura espacial e dinâmica do disco e do halo
– História da formação da Galáxia
– Representação pormenorizada da distribuição Galáctica de matéria escura
– Base rigorosa para as teorias da estrutura e evolução estelar
– Prospecção alargada de planetas extra-solares (da ordem dos 7.000)
– Prospecção alargada de corpos do Sistema Solar (da ordem dos 250.000)

E mesmo para além da Galáxia se prevê:
– Padrões de distância definitivos tão longe como as Nuvens de Magalhães
– Alertas rápidos para fenómenos de supernova e erupções (da ordem dos 20.000)
– Detecção de quasares, desvios para o vermelho, etc. (da ordem dos 500.000)
– Exactidão nunca atingida em grandezas fundamentais

2.1.4 Exoplanetas

Neste domínio, esperam-se significativas descobertas:

• Prospecção Astrométrica
– Monitorização de cerca de 150.000 estrelas, das classes FGK, até distâncias da ordem dos 200 pc
– Limites de detecção: da ordem de 1 M_J (massa de Júpiter) e P (período) menor que 10 anos
– Todos os tipos estelares e períodos entre 2 e 9 anos
– Sistemas múltiplos mensuráveis, fornecendo inclinações relativas
• Resultados esperados
– Aproximadamente 2.000 exoplanetas (sistemas simples)
– Aproximadamente 300 sistemas múltiplos
– Órbitas para cerca de 1.000 sistemas

– Massas até 10 M_E (massa da Terra) para 10 pc
• Fotometria
– Aproximadamente 5.000

2.1.5 Sistema Solar

Para o Sistema Solar também estão programados importantes desenvolvimentos:
• Asteróides e outros
– Detecção profunda e uniforme (até 20 mag) de todos os objectos móveis
– Cerca de 250.000 objectos observados, principalmente asteróides da cintura
– Órbitas: 30 vezes melhores
– Direcção do eixo de rotação, período de rotação e forma para a maioria
– Composição mineralógica versus distância heliocêntrica
– Diâmetros para cerca de 1.000, a 20%, e massas para cerca de 150 a 10%
– Troianos para Marte, Terra e Vénus
– Objectos Kuiper-Belt: aproximadamente 50 objectos
• Objectos próximos da Terra
– Amors, Apollos e Atens (3.070, 3.675, 610 conhecidos)
– Cerca de 1.600 muito próximos (conhecidos 1.155)
– Limite de detecção: 1 AU

2.2 Satélite e Sistema

Trata-se de uma Missão exclusiva da ESA (Figura 7), cuja colocação em órbita, figura de Lissajous em volta do ponto L2 de Lagrange do Sistema Sol-Terra (Figura 8), a 1,5 milhões de quilómetros da Terra, está, agora, prevista para Agosto de 2013.

Para Estações de Controlo em Terra estão previstas duas: Cebreros (Espanha) e New Norcia (Austrália), ambas com antenas de 35 metros de diâmetro.

Encoberto da luz do Sol, Terra e Lua, o satélite rodará lentamente, com um período de 6 horas, varrendo círculos máximos da esfera celeste (Figura 9).

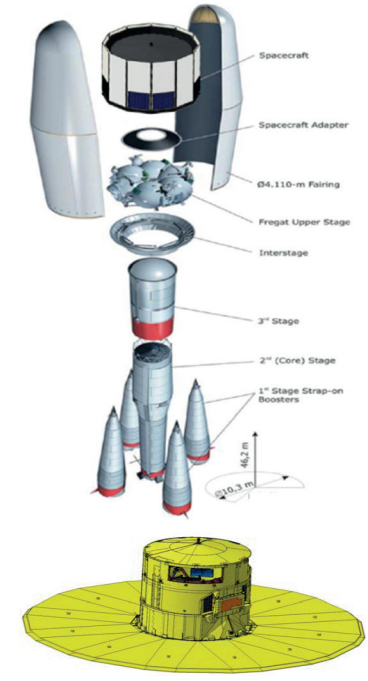


FIGURA 7
Satélite.

A duração da missão está prevista para 5 anos, com a possível extensão de 1 ano, sendo a transmissão diária de dados brutos de telemetria de cerca de 50 Gbytes. No final da missão, terão sido enviados para Terra cerca de 100 terabytes (10^{14} bytes), equivalente a mais de 20.000 DVDs e cerca de 1.000 vezes o volume de dados brutos do HIPPARCOS.

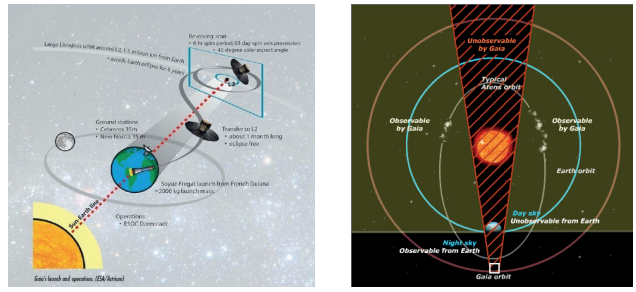


FIGURA 8
Órbita do Satélite.

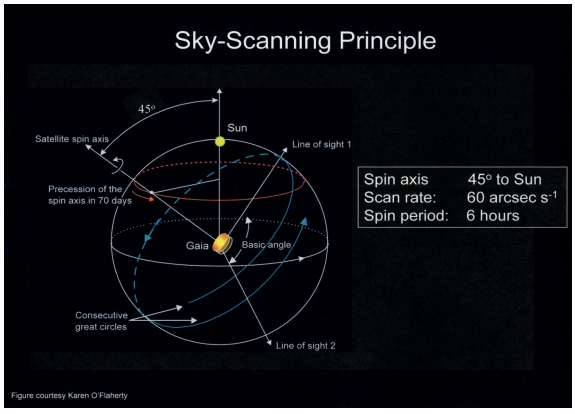


FIGURA 9
Esquema de observação.

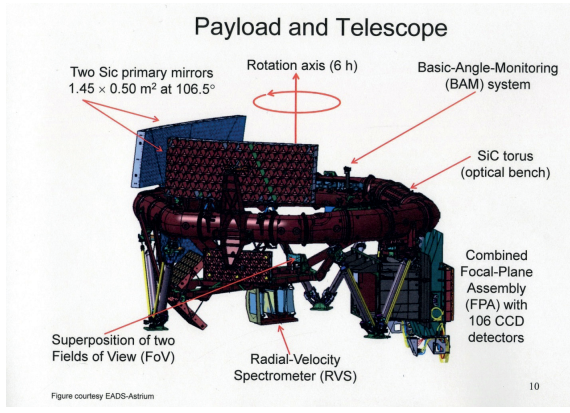


FIGURA 10
Localização dos instrumentos.

Como exemplo, apresenta-se uma representação [4] do conjunto dos instrumentos (Figura 10) e uma outra da componente astrométrica da missão (Figura 11).

O objectivo principal da missão consiste na criação de um Referencial Celeste, Referencial GAIA (Catálogo GAIA), com uma precisão muito superior à do Catálogo HIPPARCOS, isto é, procurando passar da ordem dos milisegundos de arco (Hipparcos) para alguns microsegundos (Gaia), na época de referência.

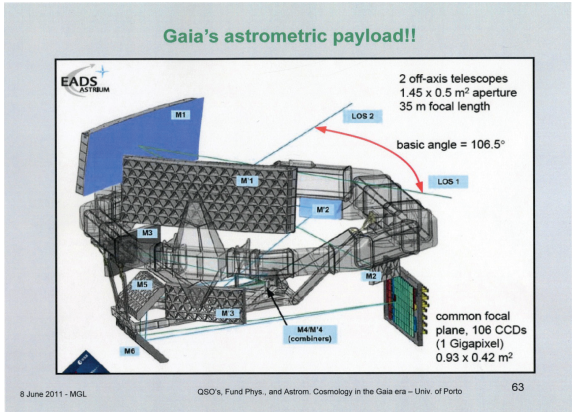


FIGURA 11
Componente astrométrica.

FIGURA 12
Montagem de componentes.

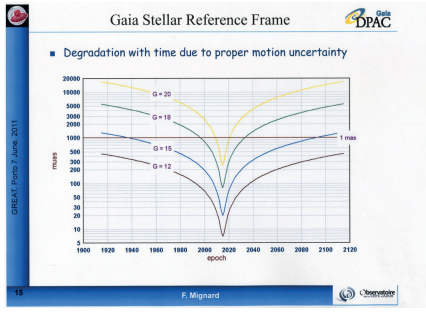


FIGURA 13
Degradação com o tempo, para diferentes valores da grandeza.

Como se assinalou para o HIPPARCOS (Figura 3), também no GAIA (Figura 13) se prevê uma degradação com o tempo, motivada por incertezas nos movimentos próprios.

2.3 Consórcio para processamento e análise de dados

O *Data Processing and Analysis Consortium (DPAC)* é um consórcio europeu que inclui cerca de 400 cientistas e engenheiros informáticos, de 23 países, e 6 grandes Centros de Processamento. Aprovado em Maio de 2007, é responsável pelo processamento e análise dos complexos dados do Satélite GAIA. Está dividido em 9 Unidades especializadas de Coordenação, cada uma responsável por um aspecto específico do processamento dos dados:

CU1 System architecture
CU2 Data simulations
CU3 Core processing
CU4 Object processing
CU5 Photometric processing
CU6 Spectroscopic reduction
CU7 Variability processing
CU8 Astrophysical parameters
CU9 Catalogue access and scientific exploration

As Unidades de Coordenação são apoiadas pelos Centros de Processamento de Dados, que dispõem do necessário hardware computacional. Estão estruturadas para o desenvolvimento do software, cada uma associada com, pelo menos, um Centro de Processamento. A coordenação desta complexa organização é função do DPAC (Figura 14), mais propriamente, do seu Executivo.

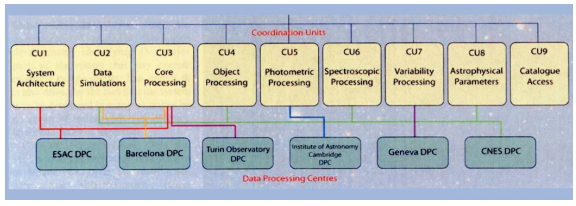


Figura 14
Estrutura do DPAC.

A localização dos Centros de Processamento de Dados e das instituições participantes no DPAC está indicada na representação que segue (Figura 15).

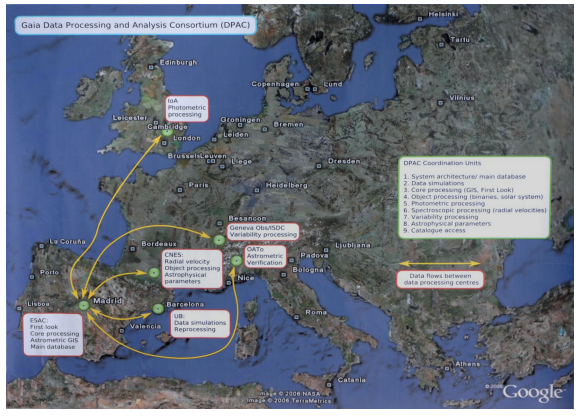


Figura 15
DPAC.

2.4 GREAT

O GREAT (*Gaia Research for European Astronomy Training*) é uma infra-estrutura em Rede, presentemente financiada pela ESF e pelo Programa FP7, que visa fomentar a participação da comunidade científica na criação de condições para a exploração futura dos dados fornecidos pela missão GAIA. Para esse fim, o GREAT apoia a promoção de colaborações, workshops, conferências e intercâmbio, visando uma ampla cooperação internacional na exploração científica da missão. Está organizado em Grupos de Trabalho – WGs (Figura 16):

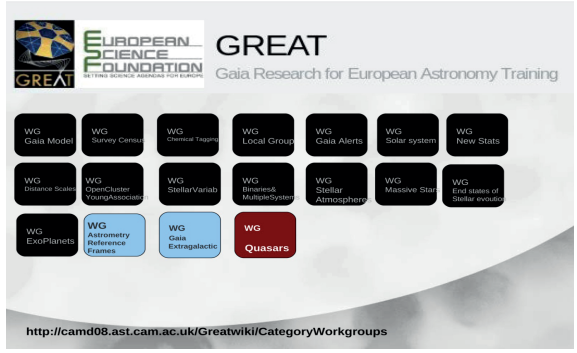


Figura 16
Organização do GREAT.

4. PARTICIPAÇÃO PORTUGUESA NO DPAC E NO GREAT

Em Março de 2006, foram estabelecidos os primeiros contactos informais visando a participação de investigadores e instituições nacionais no Projecto GAIA. Formado um Consórcio, foi apresentado à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) um Projecto que viria a ser aprovado em Junho de 2007. Anteriormente, em reunião organizada pelo GRICES, em Maio de 2006, já o Director Científico da ESA tinha manifestado o seu apreço pelo envolvimento de Portugal nas actividades do GAIA.

O Projecto, designado "GAIA – Participação Nacional no Consórcio para a Análise e Processamento de Dados (DPAC)", envolvia 15 membros de 9 unidades de investigação, tanto de universidades como de empresas.

Integração das instituições nacionais nas Unidades de Coordenação:

CU1 – SIM, Critical e Holos
CU2 – INETI e CAAUL
CU3 – CICGE
CU7 – SIM e UNINOVA
CU8 – CAUP e GAUC

Em novo Projecto, recentemente aprovado, a participação nacional passou a ser a seguinte:

CU2 – CAAUL
CU3 – CICGE
CU4 – SIM
CU5 – SIM
CU7 – SIM e UNINOVA

Relativamente ao GREAT, a participação portuguesa rapidamente se integrou em alguns dos seus Grupos de Trabalho:

Milky Way – SIM
Quasars – CICGE
Astrometry Reference Frames – CICGE
Solar System – CFC-UC
Data Mining – UNINOVA, SIM

4. PARTICIPAÇÃO DO CICGE NO DPAC E NO GREAT

4.1 Participação do CICGE no DPAC

As actividades do Centro de Investigação em Ciências Geo-Espaciais (CICGE) no âmbito do DPAC decorrem na Unidade de Coordenação 3 (CU3), no Grupo de Trabalho – "*Initial Quasi Stellar Objects Catalogue*". O objectivo principal deste Grupo consiste na produção de uma lista de *Quasi Stellar Objects* (QSOs) confirmados e bem estudados, em termos das suas propriedades intrínsecas (características da respectiva galáxia, variabilidade, desvio para o vermelho, cor) em relação com a exactidão e a estabilidade das coordenadas. Este Catálogo será fundamental para estabelecer o alinhamento entre o Referencial

Celeste Internacional (ICRF) [3] e o Referencial Celeste Extragaláctico Gaia (GCRF). A selecção da Lista principal do *Initial QSOs Catalogue* foi já concluída.

A última Reunião Geral da Unidade de Coordenação 3 (CU3), antes da colocação em órbita do Satélite GAIA (prevista para Agosto 2013), está agendada para 2012 em Vila Nova de GAIA, Portugal, de 13 a 15 de Junho.

4.2 Participação do CICGE no GREAT

A participação do CICGE no GREAT desenvolve-se em dois Grupos de Trabalho, "*Quasars*" e "*Astrometric Reference Frame*", com a responsabilidade da coordenação do primeiro.

O primeiro Workshop teve lugar no Porto, de 6 a 9 de Junho de 2011. A Reunião contou com 54 Participantes, de 11 Países – Alemanha, Bélgica, Canadá, Espanha, França, Holanda, Hungria, Itália, Portugal, República da Coreia e U.S.A., incluindo 5 alunos de doutoramento e os investigadores de maior renome internacional nesta área.

As apresentações, cobrindo essencialmente dois temas, *"QSO astrometry in the context of observational astrophysics"* e *"QSO, Reference Frame and fabric of Space-Time Astrometric Cosmology"*, distribuíram-se por 15 apresentações de revisão e 21 comunicações.

5. CONCLUSÃO

O sucesso da missão HIPPARCOS, permitindo atingir exactidão astrométrica da ordem do milisegundo, levou a ESA a aprovar uma nova missão espacial, GAIA, destinada ao estudo da nossa Galáxia, com exactidão muito superior à da primeira missão, isto é, da ordem de alguns microsegundos de arco. O futuro Catálogo GAIA virá trazer, pois, considerável avanço relativamente ao Catálogo HIPPARCOS.

Esta é uma característica fundamental da Astrometria (Figura 1), isto é, o seu permanente desenvolvimento com base nos avanços de cada uma das três componentes: Observação, Processamento e Modelo. O aperfeiçoamento de qualquer uma delas provoca uma atenção especial visando o acompanhamento por parte das restantes. Por isso, atingido o microsegundo com o GAIA, será possível pensar já no nanosegundo (Figura 17) [1]?

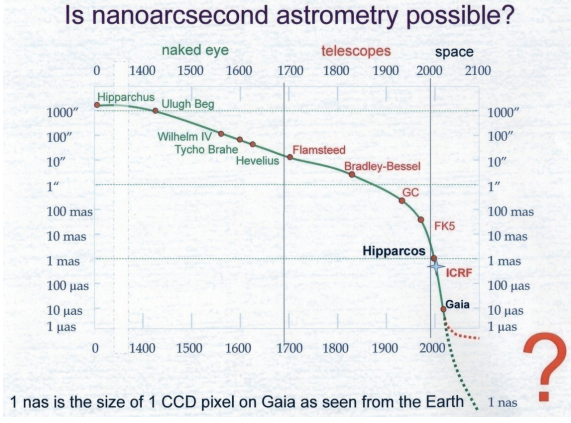


Figura 17
Possível evolução.

BIBLIOGRAFIA

[1] Klioner, S. A., *Astronomical relativistic reference systems and their application for astrometry*, GREAT-ESF Workshop, Porto, Portugal, June 2011.

[2] Osório, J. Pereira, *Posicionamento e Navegação por Satélite: Dos Satélites Balão ao Sistema Galileo*, Memórias da Academia das Ciências de Lisboa, Classe de Ciências, T. XLIII, Vol. I, pp. 275-300, 2006.

[3] Osório, J. Pereira, *Sistemas de Referência Internacionais*, Academia das Ciências de Lisboa, 2008, para publicação.

[4] http://www.rssd.esa.int/Gaia

(Comunicação apresentada à Classe de Ciências
na sessão de 2 de fevereiro de 2012)

Chemical Synthesis in the Development of Therapeutics: Approach through analogies to natural structures and processes

António Manuel d'Albuquerque Rocha Gonsalves

Abstract

A short story of the academic and the track which has taken him to became a researcher in chemistry. His central line of research in the area of synthetic porphyrin chemistry leading to structures adapted to be exploited as photodynamic therapy sensitizers is presented.

SÍNTESE QUÍMICA NO DESENVOLVIMENTO DE TERAPÊUTICAS: APROXIMAÇÃO POR ANALOGIAS A ESTRUTURAS E PROCESSOS NATURAIS

Sumário

Apresentação sumária do académico e do percurso que o levou a tornar-se um investigador em química. Apresenta-se o seu tema central de investigação na área de química sintética de porfirinas e a forma como conduziu a estruturas adaptadas a serem exploradas como sensibilizadores de terapia fotodinâmica.

Coming here as a chemist, may be interesting to remember that in youth I apparently intended to be an architect, an idea naturally accepted by kin and friends. Truly from early youth I felt a significant disgust by the juridical involving atmosphere and higher affinity for building and creative activities. Before primary school I had a singular curriculum certainly as a result of peculiar neighbors. I learned cutting and stitching, farming and herding, pharmacist, wood joinery, something of ironmonger, mechanics, electric circuits technician, plumber, …

With such a background I come often to think about probably useful education curricula models in contrasting to some stereotypes whose results are more or less well documented, however obfuscated by "blindness". And, from the apparent inadequacy of the scholar curricula to answer the fundamental requisites of social and civic background originates the poor capacity of schools to shape and educate as required. With consequent chronic society diseases we loudly regret presently.

We do not intend bringing to here a comprehensive receipt to solve the general problems of society. First of all because we think that such receipt, simply, does not exist. We only intend to emphasize that the best humane and humanist person shaping has to come from the free and strict observation of our environment and from the capacities and expertise of the human being. Meanwhile, attempts to impose models originating from abstract thinking being interesting and having the potential to insert horizons breaking does not lead to good consequences when taken as single matrix. Let us pay attention to the degradation of education

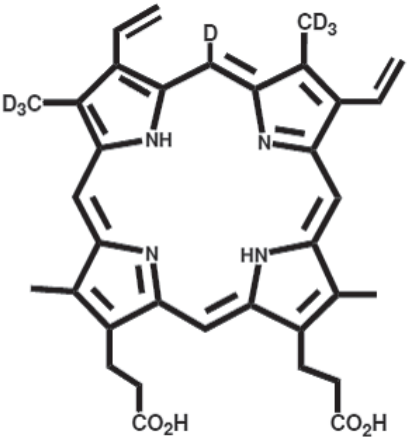
results, to the inconsequent social disturbance, to degradation of political and economical structures originating more chaos than stability, showing difficulty in finding timely and healthy answers to problems.

Reasoning about a matrix for a basic scholarity, let us remember that recent experiences raised evidence that learning of the language and of mathematics was deficient. An old known fact only recently acknowledged. Actually good control of spoken and written language is essential to communicate to all fields of knowledge, mathematics logic a basic cultural matrix. However, an approach only supported by these two pillars is too short to handle the problems of the world we live in. Actually it is a physical-chemical reality inhabited by living creatures. Everything having impact in our physical existence is immersed in such reality. The language and mathematics are fundamentals such as are physics, chemistry and biology. So, all these have to be the pillars which must be offered by the basic schools certainly crowned by fundamentals of humanities, ethics, moral, history of religions. There is nothing in our existence or affecting it, outside of these areas.

It must be taken into account that the insertion of these topics has to be done understanding that the majority of the students attending the basic school are not going to become writers, mathematics, neither physicists, chemists, biologists, … Essential for them is pick up the basics to the understanding of human environment. In the production and preservation of food, in the technical activities to promote the well being nothing exists out of the range of some of the preceding basic areas to which the school should have given proper understanding. If the principles of humanism, ethics and moral to which the school must pay attention are not forgotten, then it safeguarded its basic contribution to the building of society.

Huge progress has had the society due to the contribution of schools having highly diversified structures. We are suspicious about attempts to standardize based on plain "theoretical" models divorced of reality. Perhaps, many problems we complain about today are the consequences from inappropriate scholarship models. Youth maladaptation to tackle ordinary difficulties of life are certainly an example, the fruit of yuppie hysteria is here to be seen.

As a chemist, our interest by chemical synthesis was led from the beginning towards molecular structures having important natural functions. In Coimbra still as an undergraduate we started in the area of synthesis searching for a process to make a naphthoquinone having important pharmacological interest but whose natural source was poor and too expensive. Selecting a topic for a PhD dissertation study we balanced our interest between protein, nucleic acids and tetrapyrrolic macrocycles synthesis. By that time any of these deserved relevant research interest and subject of strong attention by top chemists. We chose tetrapyrrolic macrocycles having the opportunity to have as supervisor in Liverpool Prof. George Kenner who, interestingly addressed his interest in two of those areas, peptide and tetrapyrrolic macrocycles synthesis.



We started our PhD project developing synthetic methods to generate selectively deuterated molecules of protoporphyrin-IX in the different methyl groups and in the *meso*-hydrogens, I.

These molecules were designed to replace the natural ones in the structure of myoglobin and hemoglobin for unequivocal identification of the NMR resonance peaks of the macromolecules using the equipments then available and obtain information about the electronic structure of the macrocycles an the distortions induced in that by different axial ligands, particularly oxygen. The interest in such study was related with the importance of such molecules, particularly on the mechanism of internal breathing.[1]

The labeling project originally thought as a relatively short task ended up occupying all the PhD project period because it became necessary to develop and optimize methods for labeling of precursors, but also to establish a new synthetic methodology to build the molecule of protoporphyrin-IX and the required precursors, Fig.1, to work in different amount scales assuring adequate yields to handle deuterium and also tritium labeled samples, the last ones interesting for the study of biosynthetic sequences, a topic of study of broad interest at the time. Interest in processes to label the different hydrogen atoms of tetrapyrrolic macrocycles would come to extend for over 20 years in the sequence of our studies originating many works promoted by Kevin Smith firstly in Liverpool and later in the USA.

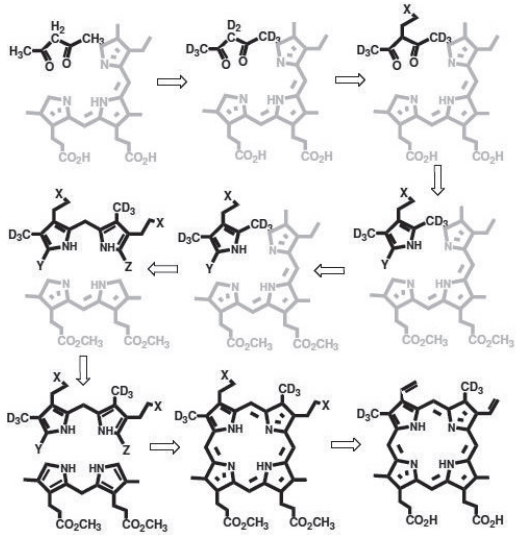


Figure 1
Simplified scheme of the required steps to build a deuterated molecule of protoporphyrin-IX.

In Portugal we decided to continue studies in the area of tetrapyrrolic macrocycles structuring our interests following up-to-dated scientific interests but adjusted to the potential of local development and existing working conditions.

Our plan was based in taking as model natural molecules having important and diversified biological roles, namely porphyrins, but exploiting simpler structures than the natural ones, incorporating functionalities able to assure the properties required to mimic the natural activity or conceivable variations. In a presentation brought to this Academy by the late honorable academic António Jorge Andrade de Gouveia[2], we sketched the plan we intended to develop exploiting synthetic processes whose study we had started before. We intended to study harnessing energy using photovoltaic cells, bio-mimetic catalysts, and colorimetric detectors, diagnostic and therapeutic agents. Overall conditions led to begin by the study of catalysts, methods for chemical and photochemical oxidation using non pollutant reagents and further photosensitizers for photodynamic therapy, PDT, photodynamic inactivation, PDI, and photodiagnostic, PD.

Without discarding the possibility of keeping interest for the synthesis of tetrapyrrolic macrocycles having the structural complexity of natural compounds a field where we have had contributions of some significance we focused in simpler structures.

[1] «Synthetic Porphyrins for Haemoprotein Studies», A.M.d'A. Rocha Gonsalves, Ph. D. Thesis, University of Liverpool, August 1972.)
[2] «Porfirinas em problemas energéticos», A.M.d'A. Rocha Gonsalves, Comunicação na Academia das Ciências de Lisboa em 4 de Novembro de 1982; Memórias da Academia das Ciências de Lisboa, Classe das Ciências, 1981-1982, Tomo XXIV, 353-368

Working with tetrapyrrolic macrocycles allowed overcoming difficulties resultant form degradation of the working conditions brought about by revolutionary disturbances. From the equipment and necessary working conditions, not much more than a visible spectrometer was under good operation conditions, but this machine allowed us to take advantage from the beautiful colors of those compounds and from the so extensive information which can be gathered from a simple spectrum in the visible range.

Chose the synthesis of simple structures does not mean necessarily an easy task implying smaller effort. Typical are the difficulties attached to what is simple. However, let us remember that natural processes are also usually simple when finally we understand them well. In the specific field under consideration, the multitude of natural tetrapyrrolic macrocycles have as precursor the single pyrrol porphobilinogen, PBG, for analogous but so different structures such as hemin, the red iron complex of blood, chlorophyll c, the green magnesium complex of plants, and vitamin B12, a pale indigo cobalt complex, Fig 2.

The synthetic route to generate a porphyrin ring starting from to single compounds, a pyrrol and an aldehyde, Fig. 3, though firstly reported in 1935[3] took more than forty years until conditions allowing for some general applicability and easy work-up were established.

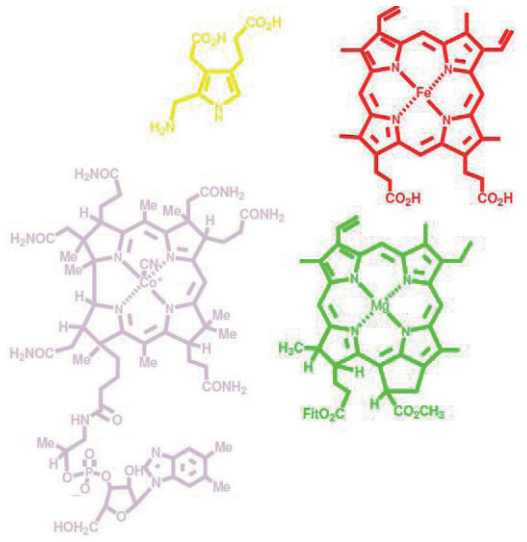


Figure 2
PBG the single biosynthetic pyrrol precursor of hemin, chlorophyll c and cobalamin.

The straightforward application of Rothemund synthesis only allows for the synthesis of simple symmetry structures. This, and the fact that the original version only actually allowed for the preparation of a single compound, tetraphenylporphyrin, TPP, encouraged prejudices which certainly shrank the interest in this type of compounds for many years. Somebody highly respected and whom we respectfully remember hearing to talk about TPP used to say "that is not even a porphyrin". When in 1980 we firstly submitted a paper describing an efficient synthetic method for tetraalkyl porphyrins, one of the referees refused publication on the grounds that "tetraalkylporphyrins are structures which will hardly be of interest to chemists".

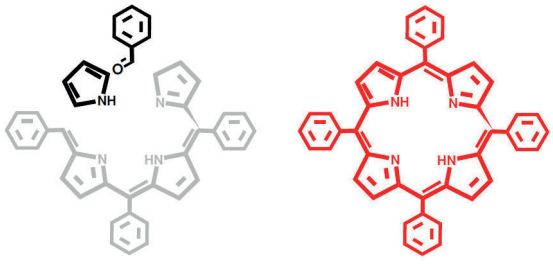


Figure 3
The Rothemund process allowed to get directly teraphenylporphyrin, TPP.

Insisting in the publication and, above all pursuing the study, we apparently won something. We had the opportunity to develop new synthetic approaches which made available, in terms of easy handling and obtaining high yield and purity many meso-substituted porphyrins using easily available starting materials. The established synthetic conditions allow for the preparation of a broad range of porphyrins of quaternary symmetry and opened the

[3] 3. P. Rothemund, J. Am. Chem. Soc. 57,2010,1935, A.D. Adler, L. Sklar, F.R. Longo, J.D. Finarelli, anda M.G. Finarelli, J. Heterocycl. Chem., 1968, 5, 669

way for synthetic routes of structures of lower symmetry. Our work also originated synthetic methods for tetrapyrrolic macrocycles in different oxidation states, chlorins and bacteriochlorins, either through a novel direct synthesis of chlorins or via reduction of the corresponding porphyrin Fig. 4.[4]

Having easy approach to a significant diversity of structures of macrocycles of the required type we exploited the possibility to increase the range using new reactions over those compounds. Between these it is relevant direct chlorosulphonation with chlorosulphonic acid.[5]

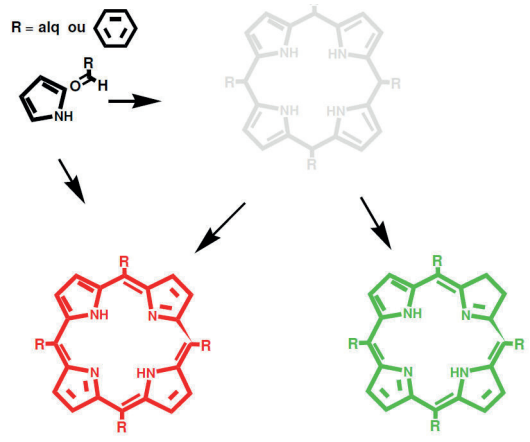


Figura 4
As aproximações à síntese de Rothemund introduzidas em Coimbra permitiram introduzir grande versatilidade, altos rendimentos e pureza elevada dos produtos.

Surprisingly, the classical reaction of chlorosulphonation had never been exploited on tetrapyrrolic macrocycles. Actually in the literature we could only find sulphonation with sulphuric acid, a reaction having very pure performance high difficulty of purification and extremely poor yields. Chlorosulphonated derivatives were obtained with extra hardship from the hardly firstly prepared sulphonic acid.[6] Proving that the direct chlorosulphonation of meso-aryl porphyrins was possible we opened the way to the preparation of a very wide range of new derivatives. Contrary to the case of direct sulphonation, chlorosulphonation allows for the preparation of the chlorosulphonated derivative in a quantitative yield, to prepare amines and esters in high yield, an efficient attachment to polymers having appropriate functionalities. Chlorosulphonation is selective on the arylic *meso*-substituents opening the way to purification of mixtures having different aryl substituents.

Access to chlorosulphonation in an high yield allows for the preparation of thiols, structures of potential interest in different applications of porphyrins.

Being easier to have the conditions to promote application studies, we exploited firstly model compounds of biomimetic reactivity such as oxidation catalysts and catalytic systems particularly adjusted for using non polluting oxidants. In that area , our more interesting results were addressed to: development of catalysts and reaction conditions for oxidation reactions using hydrogen peroxide occurring in the interface of a biphasic system liquid-liquid, Fig. 5[7].

[4] a) «A New Look into the Rothemund meso-Tetraalkyl and Tetraarylporphyrin Synthesis», A.M.d'A. Rocha Gonsalves and Mariette Pereira; J. Heterocyclic Chem., 1985, 22, 931; b) «Some New Aspects Related to the Synthesis of meso-Substituted Porphrins», A.M.d'A. Rocha Gonsalves, J.M.T.B. Varejão, Mariette M. Pereira, J. Het. Chem. 1991, 28, 635; c) «Improved Synthesis of 5,10,15,20-Tetrakisaryl and Tetrakis-alkylporphyrins», A.M.d'A. Rocha Gonsalves, Mariette M. Pereira, A.C.Serra, .R.A.W. Johnstone, M.L.P.G. Nunes, Heterocycles, 1996, 43, 1423; d) «Microwave – assisted synthesis of porphyrins and metalloporphyrins», M. Pineiro, B. F. O. Nascimento, A. M. d'A. Rocha Gonsalves, J. of Porphyrins and Phthalocyanines, 2006, 10, 821; e) «Controlled porphyrinogen oxidation for the selective synthesis of meso-tetraarylchlorins», Arménio C. Serra, António M. d'A. Rocha Gonsalves, Tetrahedron Letters 51 (2010) 4192–4194; f) «MnO2 instead of quinones as selective oxidant of tetrapyrrolic macrocycles», Bruno F.O. Nascimento, António M.d'A. Rocha Gonsalves, Marta Pineiro, Inorganic Chemistry Communications 13, 2010, 395–398)

[5] a) «Porfirinas para preparação de catalisadores», A. M. d'A. Rocha Gonsalves, Abílio J. N. Sobral, Jorge M. T. B. Varejão, Mariete M. Pereira, Paula I. R. R. Proença e Cunha, 12ª Encontro da Sociedade Portuguesa de Química 10-13 Março, Resumos, 308, 1991; b) «New Procedures for Synthesis and Analysis of 5,10,15,20-Tetrakis-(sulphophenyl) porphyrins and Derivatives Through Chlorosulphonation», A.M.d'A. Rocha Gonsalves, Mariette M. Pereira, Abílio J. F. N. Sobral, Arménio C. Serra, P. Stocks, A.M.P. de Santana, Heterocycles, 1996, 43, 829

[6] a) E. B. Fleisher, J. M. Palmer T. S. Srivastava, and A. Chatterjee, J. Am. Chem. Soc., 1971, 93, 3162; b) C. A. Busby, R. K. Di Nello, and D. Dolphin, Can. L. Chem, 1975, 53, 1554

[7] a) «Sulphonamide Porphyrins in the Biometic Oxidation by H2O2. An Efficient Two Phase System», A.M.d'A. Rocha Gonsalves, M. M. Pereira, A.C. Serra, Annales de Quimica, Intern. Edit. 1996, 92, 375; b) «Metalloporphyrin Catalytic Oxidations of Hydrocarbons by H_2O_2», António M. d'A. Rocha Gonsalves and Arménio C. Serra, J. Porphyrins Phtalocyanines, 2000, 4, 599-604

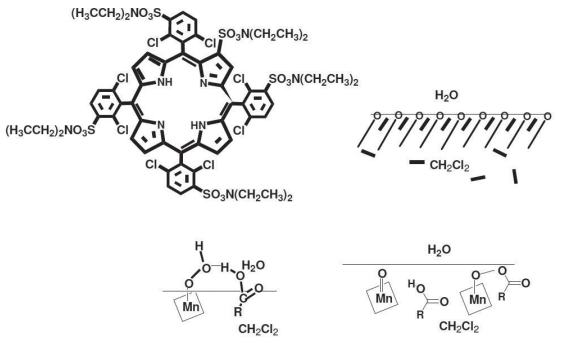


FIGURE 5
Efficient catalytic oxidation of alkanes and alkenes with H2O2 in the interface water-dichloromethane.

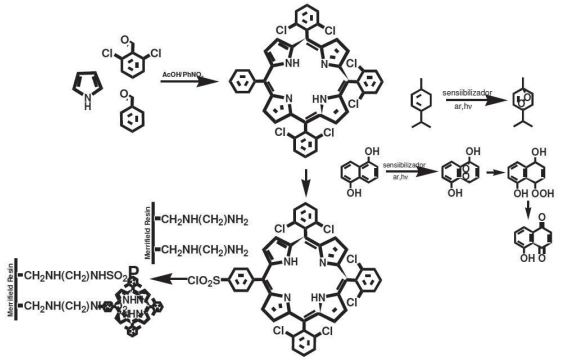


FIGURE 6
Catalysis of photooxidations using molecular oxygen.

We also developed catalysts for photooxidations by molecular oxygen[8] exploiting the chlorosulphonation reaction for a convenient attachment of the catalyst to a polymer matrix making easier the recovery of the catalyst and its recycling, Fig. 6[9].

Preceding examples illustrate the potential of our synthetic developments giving access to a significant diversity of porphyrins out of simple and cheap starting materials while incorporating functionalities which allow the modulation of properties to provide appropriate properties for each specific application. The possibility to activate and grant stability of the catalyst to reaction conditions allowing recycling, orientation in the liquid-liquid interface, fixation to a solid support.

While promoting catalytic the studies briefly described, we manage to establish a partnership allowing to start studies for the development of sensitizers for photodynamic therapeutics and photodiagnostic an area in which we were not able to find partnership in Portugal. Tierry Patrice, a surgeon oncologist from Nantes also a researcher of the activity of photosensitizers in cells and small animals sowed interest in collaborating with us. We sent him first a porphyrin to which we had attached compounds having an amine function through the corresponding chlorosulphonated derivative. We expected that such structures could have some capacity to internalize in the cancer cells with advantage to their activity as sensitizers of photodynamic therapy, PDT, Fig. 7. Results with these compounds, namely those incorporating amino acid unities demonstrated their efficiency and were later published.[10]

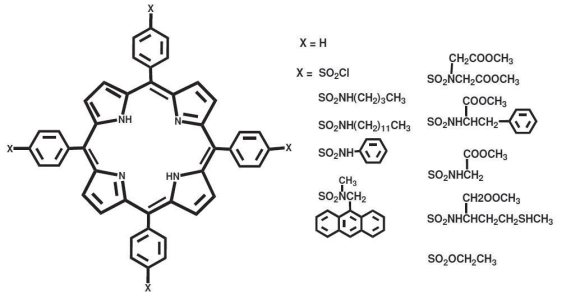


FIGURE 7
The first tetraphenyl-porphyrin derivatives incorporating sulphonamide side chains tested as PDT sensitizers.

[8] «Novel porphyrins and a chlorin as efficient Singlet Oxygen Photosensitizers for Photooxidation of Naphtol or Phenols to Quinones», D. Murtinho, M. Pineiro, M. M. Pereira, A. M. d'A. Rocha Gonsalves, L. G. Arnaut, M. Graça Miguel, H. Burros, J. Chem. Soc. , Perkin Trans. 2, 2000, 2441-2447

[9] «Covalently Immobilized Porphyrins as Photooxidation Catalysts», Sonia M. Ribeiro, A. C. Serra, A. M. d'A. Rocha Gonsalves, Tetrahedron, 63, 7885-7891, 2007

[10] «New Sulphonamide and Sulphonic Ester Porphyrins as Sensitizers for Photodynamic Therapy», Abílio J. F. N. Sobral, Sabine Eléouet, Nathalie Rousset, António M. d'A. Rocha Gonsalves, Olivier Le Meur, Ludovic Bourré, Thierry Patrice, Journal of Porphyrins and Phthalocyanines, 2002, 6, 456-462

It is appropriate discussing in here the reason of our interest in developing compounds designed to be PDT sensitizers making a short introduction to the fundamentals and perspectives of this therapy. The importance of light as therapeutic agent is actually known since ancient times. Egyptians, Chinese and Indians used light as a therapeutic agent for the treatment of diseases such as psoriasis, rickets, vitiligo, psychosis and skin cancer. Greeks deepened that knowledge as clinical science, Herodotus (V AC) demonstrated the benefit of solar light to the bone growth, Hippocrates (IV AC) defined Heliotherapy as the therapy with solar light. But, the scientific approach to a therapeutic where a photochemical sensitizer having the capacity to generate reactive oxygen species when activated by light and able to concentrate into the cells of the tissue to be treated, is relatively recent. In 1913, Meyer-Betz was the first to promote patient treatments using this system and porphyrins making the first experiments in his own skin. He got evidence of severe inflammatory condition and pain in zones exposed to sunlight. In 1993, Photofrin®, a product prepared from a natural porphyrin, was approved as the first legal sensitizer for the preventive treatment of bladder cancer recurrence after transurethral resection.

It must be emphasized that photodynamic therapy is useful not only in the field of oncology but also in different areas such as the treatment of age related macular degeneracy, for skin rejuvenation and acne treatment, in depilation, in the treatment of surgical wounds and skin ulcers. The last actually involve a mechanism of photoinactivation of multiresistant microorganisms (PDI). Related is also the technique of photodiagnostic (PD) benefiting from the fluorescence of photosensitizers to define the detail and precise localization of the cells were they concentrate.

Specificities of photodynamic therapy are: allowing the selective destruction of tissues, particularly tumor masse on shining o light following the administration of the sensitizer through intermediacy of oxygen; not having significant secondary effects; the possibility of being used in conjunction with other therapeutics not interfering namely with other oncologic treatments, surgery, radiotherapy and chemotherapy; treatments can be repeated without creating resistance neither loss of efficiency in the areas previously treated; show some evidence of inducing immune response in oncology treatments.

The clinical application of PDT involves the local or systemic administration of the sensitizer which is selectively captures by the cells to be treated, Fig. 8, followed by irradiation of the place of action with a source of light either externally or internally using optical fibers. The treatment can be applied directly to kill the desired tissue, but can also be used simultaneously during a surgical intervention to eliminate random cells in the operative field. More recent are applications of the technique in the treatment of the virus of the Human Papilloma Virus and pre-cancer[11]. Of high potential are the applications for microbial inactivation[12].

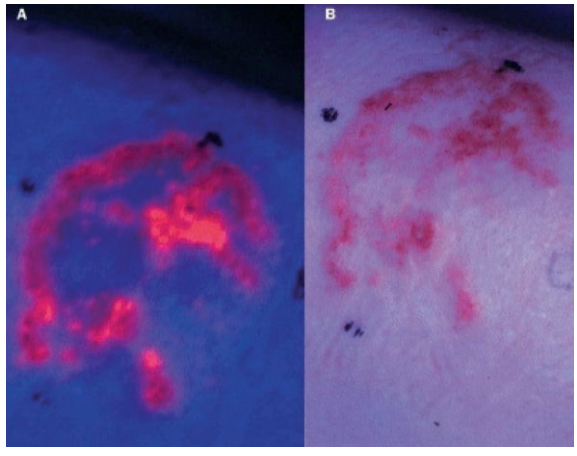


Figure 8
Evidence of accumulation of the sensitizer shown by fluorescence

[11] Clarence Chew , Ondine
[12] Antimicrobial application of it, Ondine

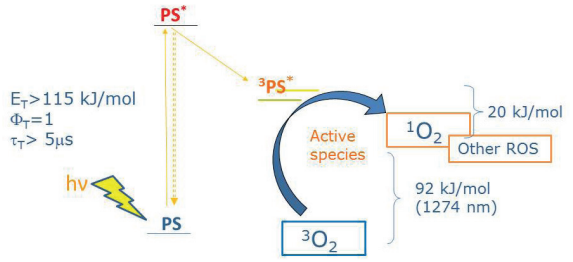


FIGURE 9
Photochemistry of the photodynamic process.

Photochemistry of PDT is based on the capacity of the sensitizer to be excited by absorption of light and become able, through its triplet state, to transfer energy forming reactive oxygen species, ROS, Fig. 9. The triplet state is able to react with other molecules, namely oxygen through one of two mechanisms: Type I or Type II reactions. Type I reactions involve direct exchange, donation or uptake of an electron or hydrogen atom of the substrate molecule which is converted in a free radical , an highly reactive species able to attack different targets in the cell structure.

Type II reactions involve the direct interaction of the sensitizer excimer with oxygen in the triplet state to generate singlet oxygen. Singlet oxygen is highly reactive namely to lipids and proteins.

Aiming to get photosensitizers having high singlet oxygen quantum yield, the oxygen active species apparently more efficient to destroy harmful cells, it was reckoned by that time that it was better to have a sensitizer having an high potential to generate singlet oxygen. On that rational, we started, in collaboration with Sebastião Formosinho a project involving then PhD student Marta Piñeiro to perform a study intended to optimize this parameter, Fig. 9. The hipothesis to exploit considered the possibility of incorporating heavy atoms in the structure of the sensitizer that, being a porphyrin would allow placing a heavy metal forming a complex or the inclusion of peripheral halogen atoms. In any case they were structures we had previously used in our catalysis studies. The study demonstrated that the presence of a number of halogen atoms in specific positions in the porphyrin structure can raise the quantum yield of singlet oxygen of the sensitizer, however, the observed increases were always not very significant, Fig. 10[13].

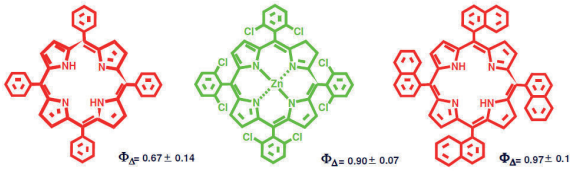


FIGURE 10
Quantum yields of singlet oxygen of tetrapyrrolic macrocycles. Heavy atom effect.

Having a significant number of samples of porphyrins with chlorine, bromine or iodine atoms, which have been prepared to the catalysis studies by the then PhD student Arménio Serra, we selected a sample of tetrakis(2-bromo-5-hydroxiphenil)porphyrin, Br4THPP, to be screened by Patrice as PDT sensitizers over *C6* rat *glioma* cell line D31. This sensitizer was selected on the grounds that it was an halogenated porphyrin whose other characteristics were analogous to one of the sensitizers already in the market, the chlorin Foscan®.

The idea was to choose a catalyst having structural characteristics favoring the transport and internalization to the cells and the good photochemical performance. The hypothesis to exploit, a tetrapyrrolic macrocycle of the type TPP but having for hydroxyl groups in the *meso*-phenyls and four halogen atoms placed in the same phenyls.

This simple approach proved to be interesting. First studies on cells and xenotransplants with C6 cells of tumor rat glioma D31 proved, in Patrice words, that the activity was has high as that of some chlorins. These first results justified the interest for an industrial property protection involving a

[13] «Photoacoustic Measurements of Porphyrin Triplet State Quantum Yields and Singlet Oxygen Efficiencies», Pineiro M., Carvalho, A. L., Pereira M. M., Rocha Gonsalves A. M. d'A., Arnaut L. G., Formosinho S. J., Chem. Eur. J., 1998, 4, 2299

pharmaceutical company deposit of a patent[14], and later the application for a project later subsidized by the European Program Prime[15].

In project Prime we developed a systematic study screening sensitizer structures designed through rationalization of our analysis of biological studies obtained with porphyrin structures incorporating sulphonamide, and others having hydroxyl and halogen atoms attached to the meso-phenyls[16]. Fig. 11 shows an overview of the tenths of structures we prepared to screen the photodynamic activity, a study we were able to start in Coimbra through a partnership established with Filomena Botelho from the Faculty of Medicine. Porphyrins studied include tetrakis(2-bromo-5-hydroxiphenil)porphyrin, Br_4THPP, firstly studied by Patric, other similar porphyrins having different halogens in the same and other positions, without halogens, having sulphonamide and halogen groups, porphyrins of less symmetry, including more than one hydroxyl group in some of the *meso*-phenyls and other substituents in those phenyls, bearing substituents similar to those of the natural porphyrins in the β pyrrol positions having *meso*-free positions, and also chlorins and bacteriochlorins correspondent to some of the former porphyrins.

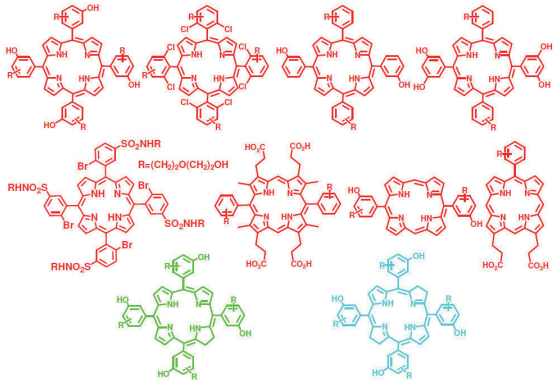


Figure 11
Models of structures screened as PDT sensitizers.

The photochemical properties of some of the above mentioned was studied and their phototoxicity at the cellular level was accessed in experiments following the scheme presented in Fig. 12.[17]

The photochemical properties of some of our model sensitizers are presented in Fig. 13.

[14] «Tetrapyrrolic macrocycles as photodynamic Agents», Gonsalves AMDR, Serra, AC, Pineiro M., EP 1 472 259 B1, Priority: 01.02.2002 PT 10272102
[15] POE/Prime/Proj 3/293/CLARO

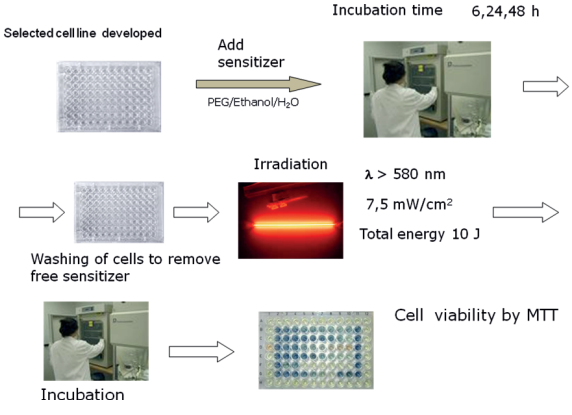


Figure 12
Scheme of the study of activity of the sensitizers at cell level

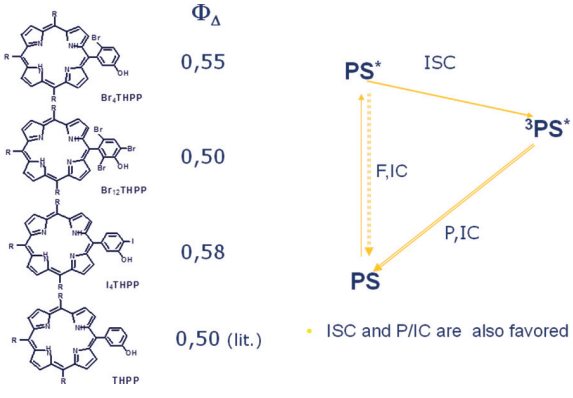


Figure 13
Photochemical properties of some of our model PDT sensitizers.

[16] unpublished results
[17] «Halogen atom effect on photophysical and photodynamic characteristics of derivatives of 5,10,15,20-tetrakis(3-hydroxyphenyl)porphyrin», A.C. Serra, M. Pineiro, A.M.d'A. Rocha Gonsalves, M. Abrantes, M. Laranjo, A.C. Santos, M.F. Botelho, Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology 92 (2008) 61-67

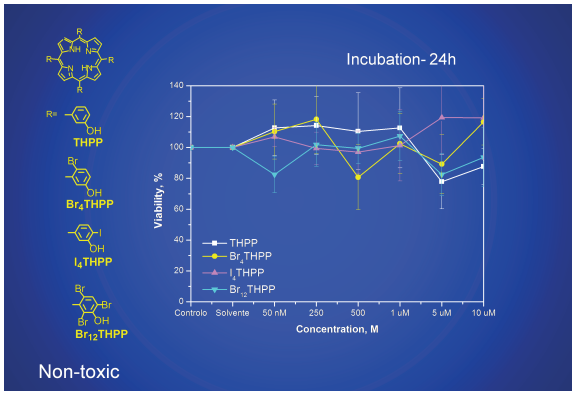


FIGURE 14
Demonstration of non toxicity in absence of light.

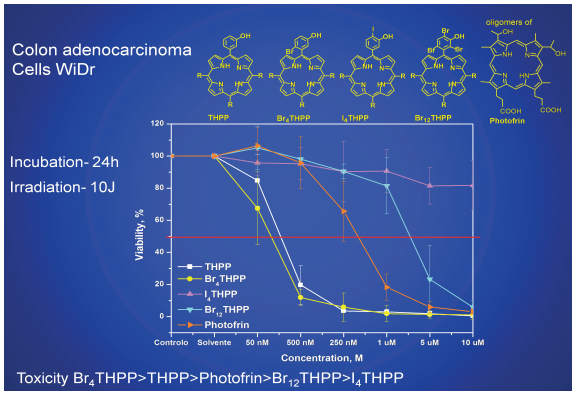


FIGURE 15
Phototoxicity over cells of colon adenocarcinoma WiDr of some halogenated photosensitizers comparatively to that of Photofrin®.

First of all absence of toxicity in absence of light, was demonstrated, Fig. 14, and Photofrin® the sensitizer approved for clinical use was taken as reference. From Fig. 15 and 16, corresponding to experiments made respectively with incubations of colon adenocarcinoma WiDr and melanoma A375, we can see that porphyrin Br_4THPP, has a higher photodynamic effect than the non halogenated porphyrin an clearly higher than Photofrin®. Meanwhile some of the other porphyrins, though having halogens in the structure and even an higher singlet oxygen quantum yield such as I_4THPP, Φ_Δ=0,58, are actually much less efficient.

The *"in vivo"* activity of sensitizer Br_4THPP was also studied using xenotransplants of colon adenocarcinoma WiDr and of melanoma A375 implanted in immunodeficient Balb/c nude rats, Fig. 17. Experiments were made in rats 6-8 weeks of age and the xenotransplants developed after subcutaneous injection of $2x10^6$ cells of human cell lines. Rats were injected intraperitoneally with the sensitizer (2mg/kg) when the size of tumors was of 300-500 mm^3, and after an interval to spread the compound the tumor irradiated using a laser red light using a fluency of 100 mW/cm^2 up to a total energy of 150 J. These experiments proved high inhibitory activity of tumor growth as shown in Fig. 17. The efficiency depends of the interval between the injection and irradiation.

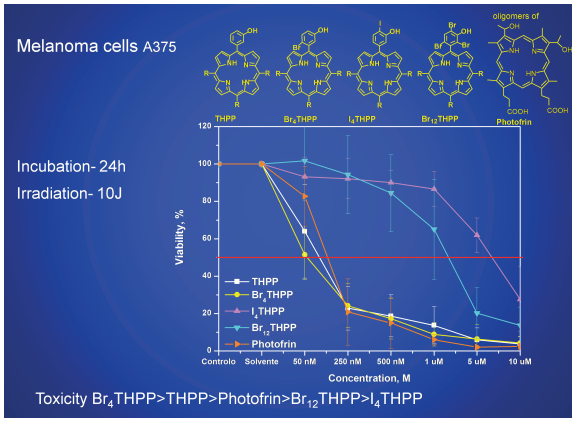


FIGURE 16
Phototoxicity over cells of melanoma A375 of some halogenated photosensitizers comparatively to that of Photofrin®.

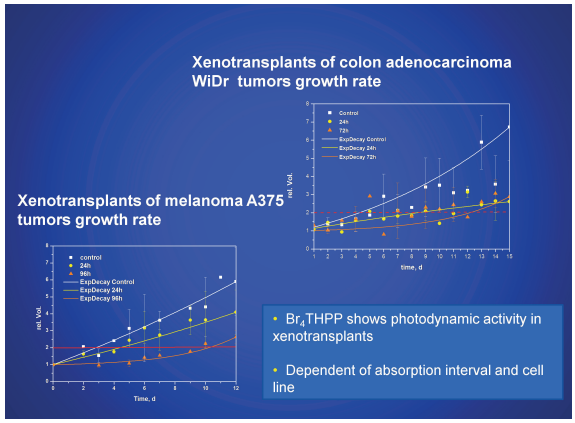


FIGURE 17
Study of photodynamic activity of Br_4THPP «*in vivo*».

Preceding results highlighted the need to guide the modeling of sensitizers not only on the basis of simple theoretical grounds based on physical-chemical principles, but through the screening of the therapeutic efficiency observed in the *"in vitro"* and *"in vivo"* tests, and also data of internalization meanwhile obtained and its correlation with the efficiency of cell destruction.

The photodynamic effect over the cells is achieved through the action of singlet oxygen promoting cell degradation via peroxidation of lipids or oxidation of membrane proteins. This action is impaired by the extremely short lifetime of that species, less than 40 ns, originating a range of action lower than 0.02 μm. Therefore, the action triggering the cell degradation is strictly confined to the near proximity of the local of $^1O_2$ generation. The point of action of singlet oxygen is, consequently, conditioned by the morphology of the cell structure affecting the internal localization into the cell.

It is appropriate now to present here a schematic view of the cell structure and of the accepted mechanisms of degradation. The potential sensitizer targets in the cell, and consequently of the reactive oxygen species generated by the photodynamic effect are essentially the cell membrane and the membranous organelles: mitochondria, lysosomes, endoplasmic reticulum, … It is on these that the mechanisms of cell death act. The proposed mechanisms will be: attack to the cell membrane degrading its structure and necrosis death, attack to the endoplasmic reticulum, ER, rising the intracellular Ca^{2+} concentration promotes apoptosis due to activation of calcineurin originating dephosphorylation of the pro-apoptotic protein *Bad* which migrates to the mitochondria inducing cytochrom C release. Cytisolic cytochrom C release and the high concentration of intracellular Ca^{2+} activate the caspase cascade originating DNA cleavage and the destruction of intracellular proteins. A schematic representation of this mechanism is presented in Fig. 18. The lack of interest to go on originating from the change of internal policy by the pharmaceutical company owner of the first patent, after closure of the above mentioned project Prime, led us to become alone in the objective of saving the results and to the need of finding a new partnership. In those circumstances we tried to capitalize the experience and expertise obtained during the project Prime in the partnership with Filomena Botelho from Faculdade de Medicina in our University conducting in Portugal the studies with cells and xenotransplants in small animals looking for new partnerships intended to lead the study of or sensitizers to advanced phases of clinical trials.

In the studies of photodynamic activity performed with the diversity of sensitizer structures previously referred we observed significant differences from sensitizers of high activity to others of very low efficiency, irrespectively of all of them having a common basic structure incorporating functionalities selected on the basis of expected benefit to optimize some physical-chemical parameter, such as, halogens to increase the singlet oxygen quantum yield.

Attempting a rationale for the collected data, we came to believe to be worth following our endeavor of optimizing an answer looking for similar sensitizers, which while including the functionalities considered as advantageous were even simplified. By

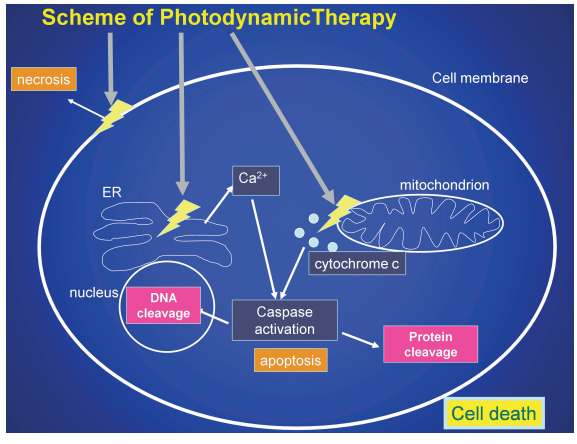


Figure 18
Schematic representation of the mechanisms of cell death promoted by photodynamic therapy.

affinity, we considered appropriate exploiting an analogue of *meso*-tetrakis(2-bromo-5-hydroxyphenyl) porphyrin Br_4THPP, the best sensitizer found in previous studies, eliminating two of the *meso*-phenyls, and the corresponding chlorinated porphyrin, Fig.19. Such molecules keep the physical-chemical characteristics of the model sensitizer, hydroxyl and halogen groups, but have two free *meso*-positions being smaller. The absence of phenyl groups in these *meso*-positions make them more similar to natural porphyrins without substituents in those positions, making elimination probably easier since natural porphyrins are eliminated through an oxidative process consisting in an attack to those *meso*-positions leading to formation of bile pigments. A desired characteristic of PDT sensitizers is the capacity to be eliminated by the body as quickly as possible after the required photodynamic effect.

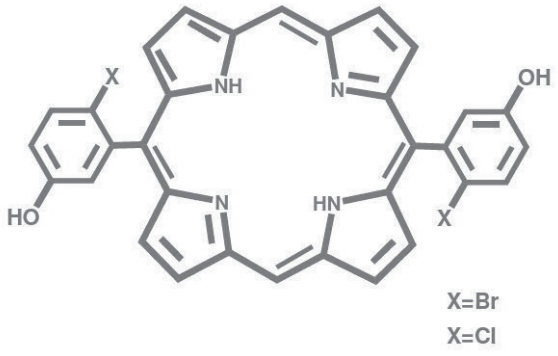


Figure 19
Structure of porphyrins 5,15-diaryl substituted.

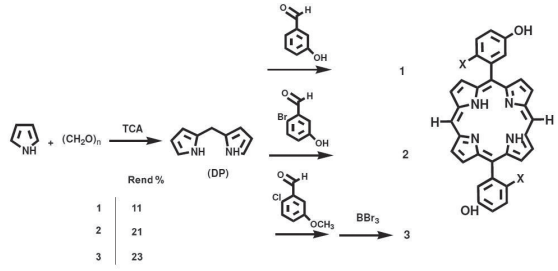


Figure 20
Scheme for the synthesis of 5,15-diaryl substituted porphyrins.

The most convenient synthetic approach to synthesize porphyrins having only two *meso*-phenyls and the other two free, corresponds to compounds having binary symmetry such as *meso*-bis(2-bromo--5-hydroxyphenyl)porphyrin, Br_2DHPP. Such molecule can be built following two different routes, Fig. 20.

We developed efficient experimental conditions to build the required dipyrrylmethanes and to join the two halves forming the desired *porphyrin*[18].

Using the two new porphyrins Br_2DHPP, e Cl_2DHPP, and Photofrin® in a comparative study of photodynamic activity using cells of colon adenocarcinoma WiDr and melanoma A375 we got the results illustrated in Fig.s 21, and 22 showing the brominated compound an activity superior to Photofrin® and to Br_4THPP, IC_{50} significantly lower than the other two[19].

In Fig.s 23, and 24, the activities of sensitizers Br_2DHPP, and Cl_2DHPP, are matched against others of our range of sensitizers relatively to their activity on human bladder cancer cells CRL 1472 for incubations of 24 and 48 hours respectively demonstrating the high efficiency of Br_2DHPP.

The preceding comparative study shows that the photodynamic activity of sensitizer Br_2DHPP is practically equivalent to that of the non-brominated sensitizer. However, in a study of cell internalization performed with incubation of these two sensitizers after a period of 6 H and concentration of incubation

[18] Serra, A., Pineiro, M., Santos C. I., Rocha Gonsalves, A. M. d'A., Abrantes, M., Laranjo, M., Botelho, M. F., «In vitro photodynamic activity of 5,15-bis(3-hydroxyphenyl)porphyrin and its halogenated derivatives against cancer cells», Photochem. Photobiol. 86, 206-212 (2010)

[19] a) «Approaches to a broad range of high performance PDT sensitizers», António M. d'A. Rocha Gonsalves, Arménio C. Serra, Marta Pineiro, and M. Filomena Botelho, Proc. of SPIE (2009) Vol. 7190, 719005, 1-10; b) «In Vitro Photodynamic Activity of 5,15-bis(3-Hydroxyphenyl)porphyrin and its Halogenated Derivatives Against Cancer Cells», A. Serra, M. Pineiro, C. I. Santos, A. M. d'A. Rocha Gonsalves, M. Abrantes, M. Laranjo, M. F. Botelho,Photochemistry and Photobiology, 2010, 86(1), 206-212; c) «Halogenated Derivatives of 5,15-bis(3-Hydroxyphenyl)porphyrin as photosensitizers for photodynamic therapy», Inventors: Gonsalves AMDR, Serra, AC, Pineiro M., Botelho, F., PT 104511, 11/04/2009

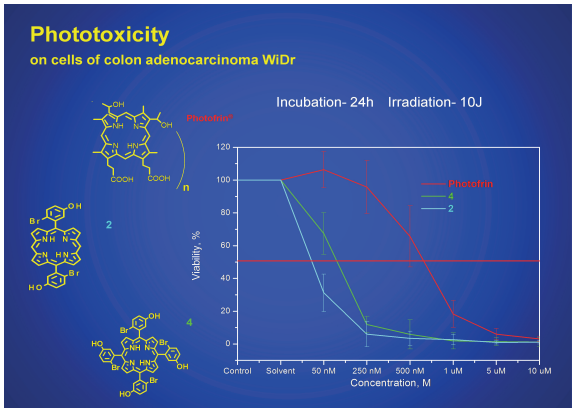


FIGURE 21
Phototoxicity of sensitizers Br_2DHPP, Br_4THPP and Photofrin® on cells of colon adenocarcinoma WiDr.

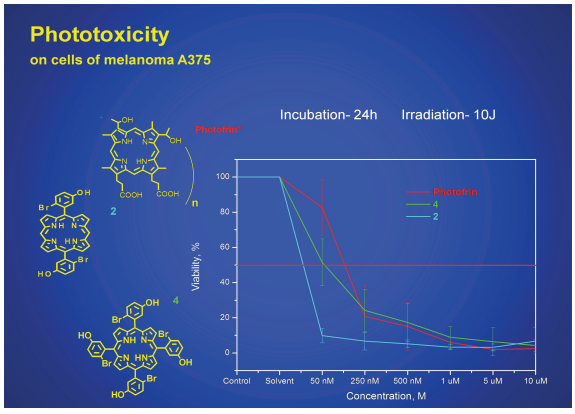


FIGURE 22
Phototoxicity of sensitizers Br2DHPP, Br4THPP and Photofrin® on cells of melanoma A375.

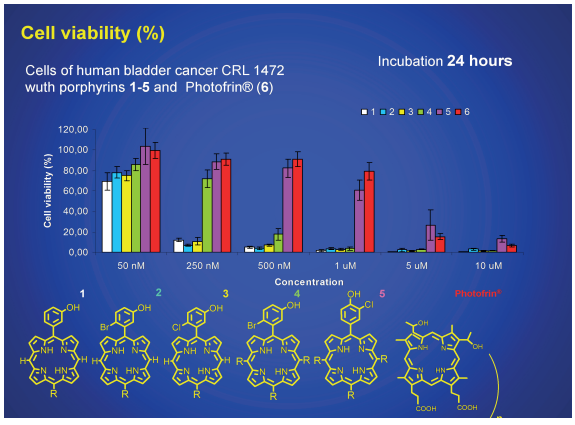


FIGURE 23
Study of cell viability for cells of human bladder cancer CRL 1472 with porphyrins Br_2DHPP, Cl_2DHPP, DHPP and others taken as reference after 24 H incubation.

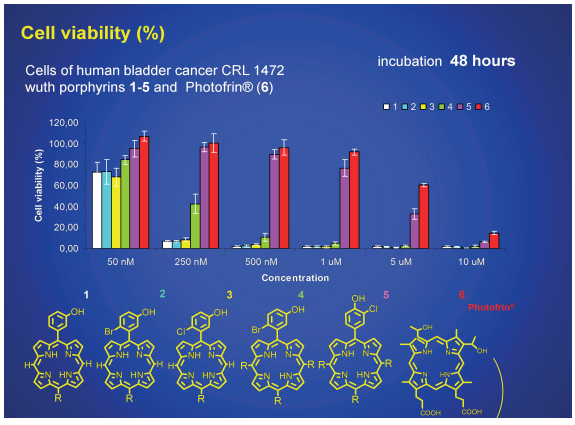


FIGURE 24
Study of cell viability for cells of human bladder cancer CRL 1472 with porphyrins Br2DHPP, Cl2DHPP, DHPP and others taken as reference after 48 H incubation.

of 5 µM with cells of human bladder cells CR 1472 we saw that the internalization of the two sensitizers is considerably different as shown in Fig. 25. The intracellular concentration of the brominated sensitizer is approximately five times lower than that of the non-brominated compound. Having the two sensitizers a photodynamic activity practically equivalent when applied in the same concentration we can say that the brominated compound is much more efficient. We can quantify this situation using the concept of intrinsic photoactivity, defined as the ratio between IC_{50} and the cell capture, ISP=IC_{50}/ Cell Capt. Being the halogenated porphyrin IC_{50}

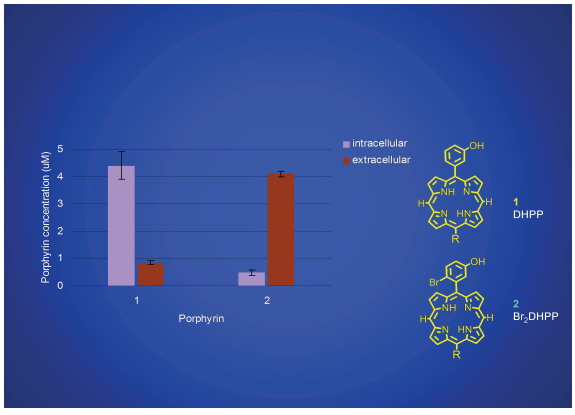


FIGURE 25
Internalization of porphyrins DHPP e Br2DHPP after 6 H incubation and 5 µM incubation concentration with human Bladder cancer cells CR 1472.

practically the same as that of the non halogenated its ISP is five times higher. We interpret this result assuming an intracellular localization more favorable to the photodynamic effect and also that a lower cellular internalization can also be advantageous concerning potential secondary effects.

In an attempt to gather information about the intracellular localization of our sensitizers, we managed some preliminary results illustrated through the images of observations using fluorescence microscopy presented in Fig. 26. There is evidence that sensitizer Br_2DHPP is located in the same position as the green mitochondrial probe, Mitrotracker GreenFM, and not inside the nuclei which is identified using the blue probe, Hoechst 33252.

The internal localization identified by fluorescence microscopy justifies the high efficiency demonstrated by our sensitizer on the accepted interpretation for the mechanism of cell death previously presented. Localizing in mitochondria, suppliers of energy to cells, these will be preferentially affected with catastrophic consequences. Nuclei will not be affected with likely advantage relatively to potential secondary effects promoted by the sensitizer.

Relatively to activity "*in vivo*" of porphyrin Br_2DHPP, the experiments performed on xenotransplants of colon adenocarcinoma WiDr and of melanoma A375, performed under the conditions of the preceding ones, led to results shown in Fig.s 27, and 28. In the experiments with tumor of colon adenocarcinoma WiDr, with irradiation after 72 H after injection of the sensitizer, it is observed a practical stoppage of growth. The same in the case of melanoma A375, irradiation performed in this case only 48 H after injection.

Having intense absorption bands in the red zone of the spectrum, and probably more easily eliminated after treatment, chlorins, and bacteriochlorins Fig. 29, have potential advantage as photodynamic sensitizers relatively to porphyrins. The study conducted by Bonnet leading to the approved and marketed sensitizer Foscan®

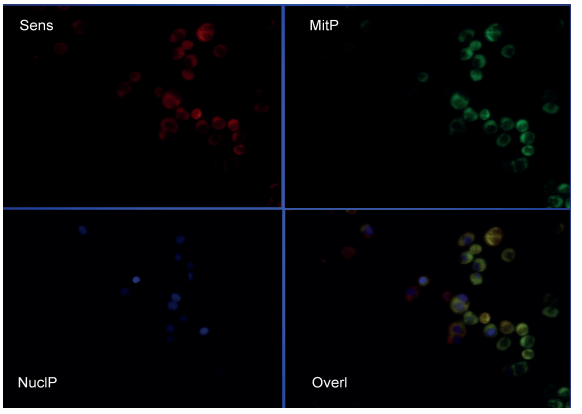


Figure 26
Images obtained by fluorescence microscopy submitted to sensitizer Br2DHPP, Sens, mitochondrial probe, MitP nuclear probe, NuclP, and images overlapping, Overl.

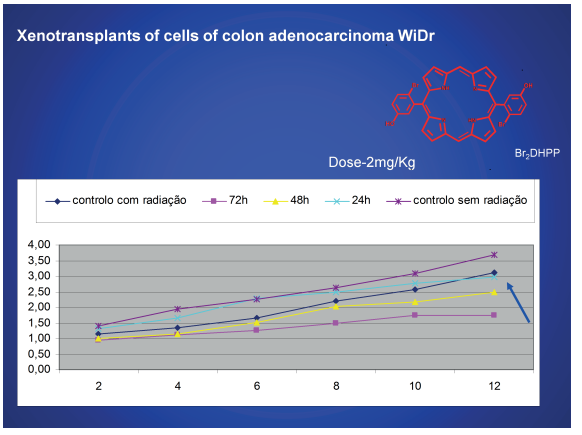


Figure 27
Photodynamic activity experiments "in vivo" from sensitizer Br2DHPP on xenotransplanted tumors of colon adenocarcinoma WiDr.

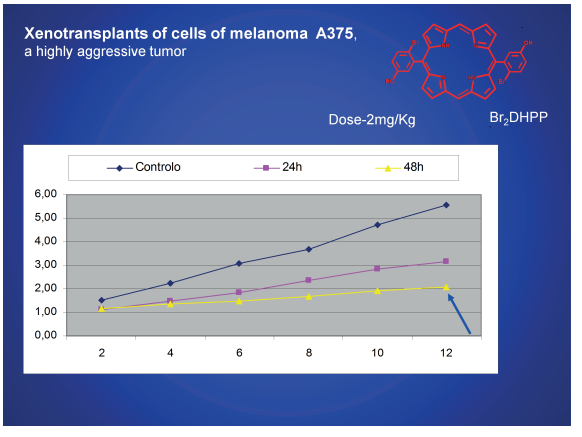


Figura 28
Photodynamic activity experiments "in vivo" from sensitizer Br2DHPP on xenotransplant tumors of melanoma A375.

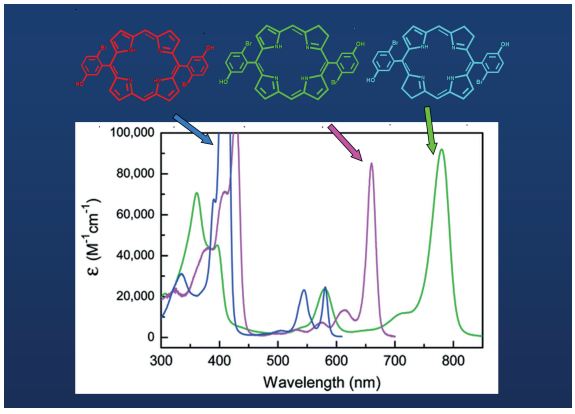


FIGURE 29
Absorption spectra typical of porphyrin, chlorin and bacteriochlorin.

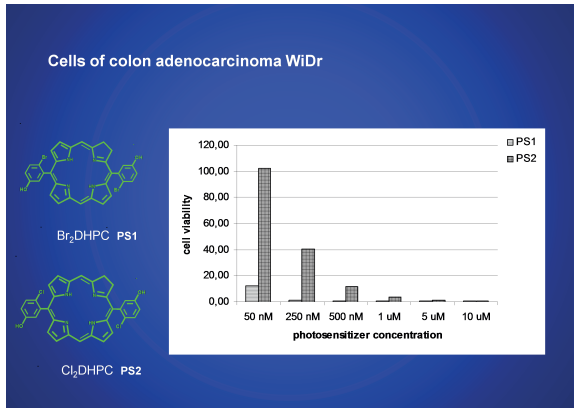


FIGURE 30
Activity of chlorins Br2DHPC e Cl2DHPC on cells of colon adenocarcinoma WiDr.

evolved from the porphyrin firstly prepared to the corresponding chlorin. Our synthetic developments include, as said before, synthesis of chlorins either by direct synthesis or through reduction of the corresponding chlorin.[20] It was therefore justified to exploit the potential of the chlorin correspondent to porphyrin Br_2DHPP as photodynamic therapy sensitizer.

Interestingly, chlorin Br_2DHPC, has an oxygen quantum yield, Φ_Δ=0.98, superior to all porphyrins we studied before. Although our observations lead to conclude that this is not the main factor to define the photodynamic efficiency, it is nevertheless a significant property and potentially convenient.

The photodynamic activity of chlorin Br_2DHPC, and that of the corresponding chlorinated compound, Cl_2DHPC, Cl_2DHPC, in experiments with colon adenocarcinoma WiDr, and melanoma A375 cells under conditions as previously described is shown in Fig.s 30, and 31. The brominated compound proved to be the more active sensitizer.

The comparative study of photodynamic activity at cell level between clorin Br_2DHPC, and the corresponding porphyrin Br_2DHPP with colon adenocarcinoma WiDr, melanoma A375, and also human bladder cancer CRL1472 cells is illustrated in Fig.s 32, and 33 showing a much higher activity of the chlorin.

In Fig. 34 we see the result of experiments performed with esophagus cancer cells OE19 with chlorin Br_2DHPC. This study gave showed an IC_{50} of 25-50 nM for this sensitizer, comparing favorably with the lowest values found in the literature.

In an exploratory study of the activity "*in vivo*" performed with chlorin Br_2DHPC, following experimental conditions as previously described with

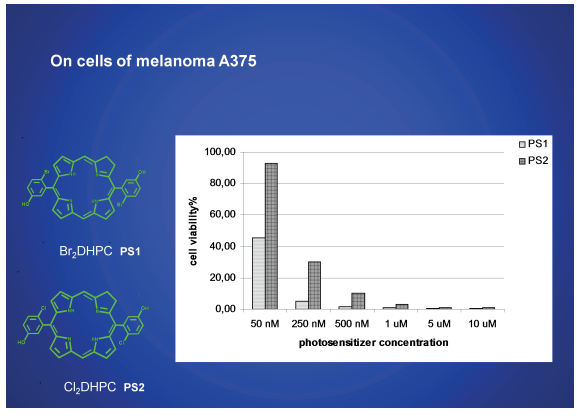


FIGURE 31
Activity of chlorins Br_2DHPC e Cl_2DHPC on cells of melanoma A375.

[20] e) «Controlled porphyrinogen oxidation for the selective synthesis of meso-tetraarylchlorins», Arménio C. Serra, António M. d'A. Rocha Gonsalves, Tetrahedron Letters 51 (2010) 4192–4194;137; f) «MnO_2 instead of quinones as selective oxidant of tetrapyrrolic macrocycles», Bruno F.O. Nascimento, António M.d'A. Rocha Gonsalves, Marta Pineiro, Inorganic Chemistry Communications 13, 2010, 395–398

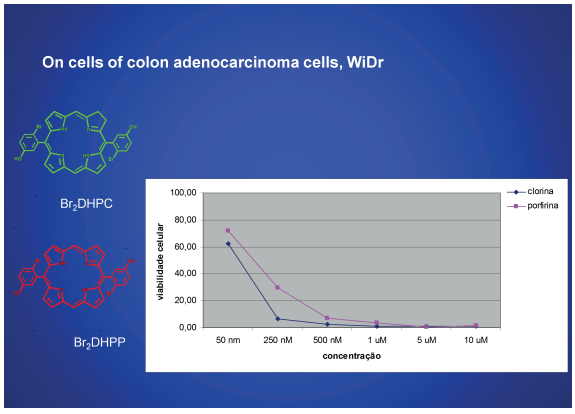


FIGURE 32
Comparative activity of sensitizers Br_2DHPC e Br_2DHPP on colon adenocarcinoma WiDr cells.

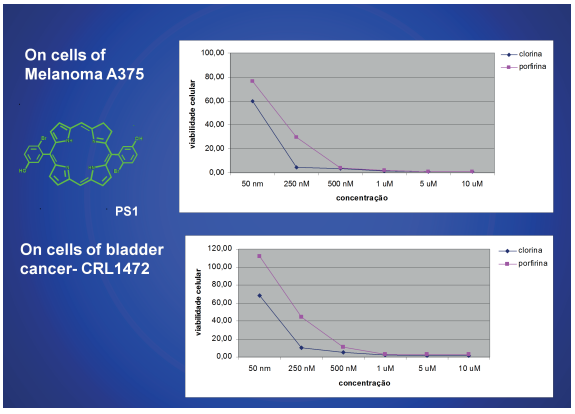


FIGURE 33
Comparative activity of sensitizers Br_2DHPC e Br_2DHPP on melanoma A375, and human bladder cancer CRL1472 cells.

tumors of colon adenocarcinoma WiDr implanted in Balb/c nude rats, we obtained evidence of an efficient reduction in the rate of growth of tumors after one single PDT treatment after 72 H of the sensitizer injection, Fig. 35.[21]

The efficiency demonstrated by chlorine Br_2DHPC, justified the expectation that it could become a sensitizer for practical use in photodynamic therapy. Looking forward to the preparation of an application for approval as a therapeutic agent we started the process of study of animal toxicity with encouraging results as shown in Fig. 36. Using rats Wistar injected with a dose 5x higher (10 mg/Kg) than the one used for the "*in vivo*" animal PDT studies, parameters correspondent to kidney, liver and cardiac functions were measured. Parameters relative to kidney and liver functions were normal either after 3 or 12 days. Only the creatine kinase and LDH levels related to cardiac function showed higher levels after 3 days injection but were back to normal after 12 days.

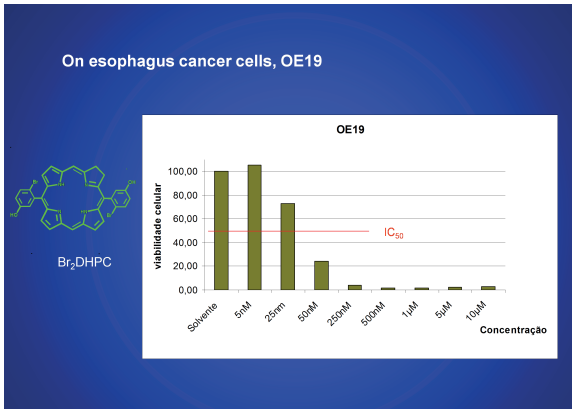


FIGURE 34
Activity of sensitizer Br_2DHPC in esophagus cancer cells OE19.

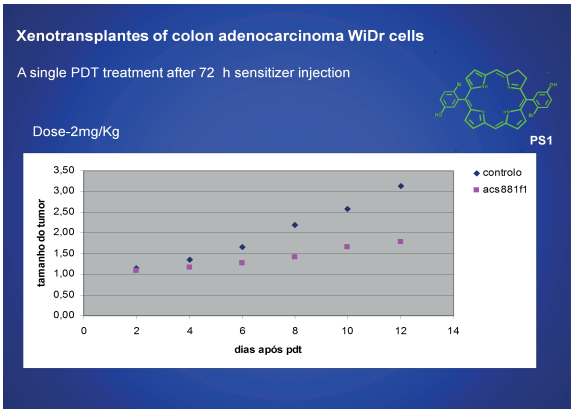


FIGURE 35
Photodynamic activity of sensitizer Br2DHPC "in vivo" on xenotransplanted tumors of colon adenocarcinoma WiDr.

[21] «Halogenated Derivatives of 5,15-bis(3-hydroxyphenyl)chlorins as photosensitizers for photodynamic therapy», Inventors: Gonsalves AMDR, Serra, AC, Pineiro M., Botelho, F., Proprietor: Fundação Padre António Vieira, WO 2011/161065 A1, 29 Dec 2011, PCT/EP2011/060256, 20/06/2011, Priority 25.06.2010 PT105173B

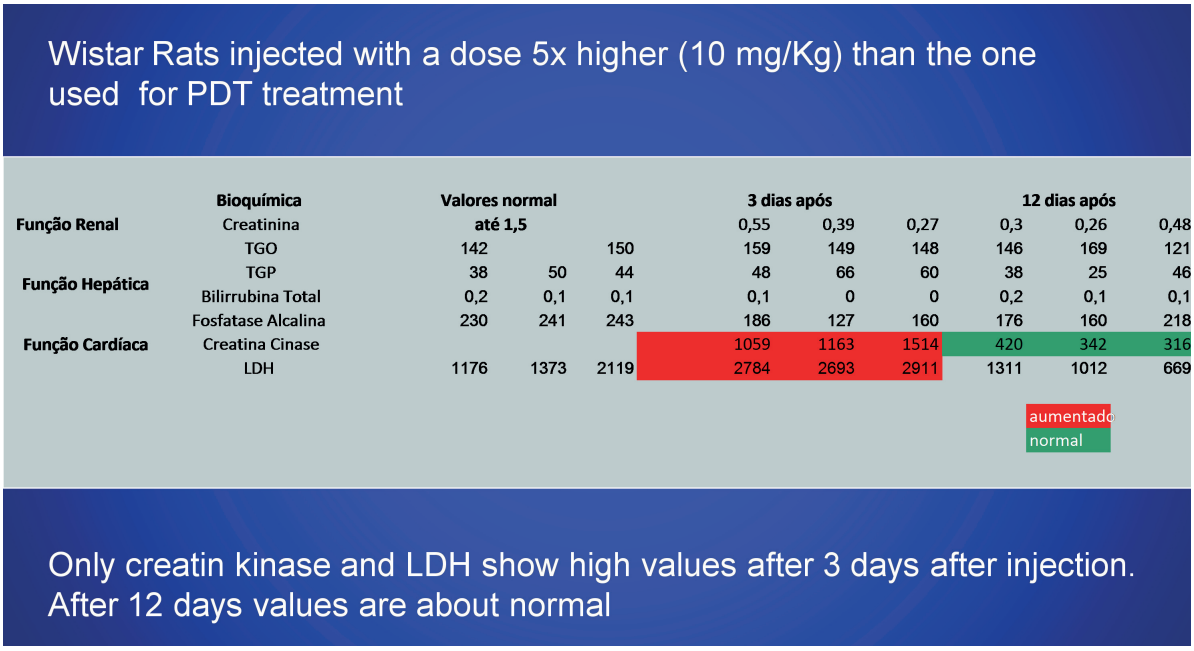


Figure 36
Photodynamic activity of sensitizer Br2DHPC "in vivo" on xenotransplanted tumors of colon adenocarcinoma WiDr.

This study would not have reached the present advanced stage without the dedication of collaborators who, through the years where they built the work to obtain their degrees. I can not ignore that in the development here presented the fundamental contributions of two of them, Arménio Serra and Marta Piñeiro.

(Communication to Academia das Ciências de Lisboa
the 1st of March 2012)

Fadiga e Fractura de um Aço Usado em Estruturas Soldadas

Paulo M. S. Tavares de Castro
Departamento de Engenharia Mecânica, e IDMEC,
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto,
Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto, Portugal

RESUMO

A propagação de fendas de fadiga tem sido objecto de muitos esforços de investigação procurando relacionar a velocidade de propagação com as características do carregamento cíclico que a origina. O conceito de factor de intensidade de tensão K, parâmetro caracterizador do campo de tensão na extremidade da fenda, tem sido usado neste contexto desde o trabalho pioneiro de Paul Paris. A representação em coordenadas logarítmicas da velocidade de propagação da fenda, da/dN, *versus* a gama de variação do factor de intensidade de tensão, ΔK, apresenta, para muitos materiais e valores de ΔK uma forma aproximadamente linear, sendo esta a base experimental que legitima a lei de Paris. Desde a proposta desta lei, o estudo da propagação tem sido objecto de muitos refinamentos, conduzindo a uma variedade de outras leis mais complexas que procuram abordar aspectos não tratados pela lei de Paris, como a existência de um limiar mínimo de ΔK abaixo do qual a propagação não se verifica, o efeito da razão de carga R = carga mínima/carga máxima o valor máximo de K aplicável (condicionado pelo valor da tenacidade K_c ou pelo colapso plástico da estrutura), e efeitos específicos ocorrendo em fendas de muito pequenas dimensões.

O assunto é coberto em muito extensa literatura técnico-científica; a presente comunicação centra-se num caso especial, ocorrido quando do ensaio de provetes de aço soldado que apresentaram comportamento aparentemente anómalo. A origem da aparente anomalia é identificada no estado de tensão residual, resultante dos processos de soldadura. Usa-se este caso para ilustrar a complexidade de análises ou previsões do comportamento à fadiga, criticamente dependentes do conhecimento das condições de uso do material.

INTRODUÇÃO E CONTEXTO

O fenómeno da rotura por fadiga em materiais metálicos é divisível em três fases – iniciação de uma fissura, propagação estável e rotura final – existindo uma variedade de ensaios mecânicos que o procuram caracterizar.

Nas aplicações visando caracterizar a resistência à fadiga de componentes que, quando postos em serviço, não contêm garantidamente qualquer defeito, usam-se critérios baseados nas curvas SN, e em

particular no conceito de tensão limite de fadiga, σ_{f0}, se o carregamento for macroscopicamente linear elástico. Existem porém muitas circunstâncias em que um determinado defeito é detectado em serviço, e é de interesse conhecer qual vai ser o seu comportamento na continuação do serviço do componente ou estrutura.

Importa assim caracterizar a velocidade de propagação de fendas de fadiga, assunto que tem sido objecto de grande interesse nas últimas décadas, tendo sido propostas 'leis' que descrevem de forma prática e realista este comportamento.

Antes de tratar o assunto propagação de fendas de fadiga, é porém necessário referir um conceito da Mecânica da Fractura (um capítulo da Mecânica dos Sólidos que trata os sólidos contendo fendas), o 'factor de intensidade de tensão'.

A tensão na vizinhança de um entalhe é maior do que a tensão nominal, em resultado da concentração de tensões. Este fenómeno é caracterizado pelo parâmetro adimensional K_t (factor de concentração de tensões teórico ou geométrico), que é tanto maior quanto menor é o raio de concordância do entalhe ou descontinuidade. Em particular, no caso de raio de concordância nulo, K_t atinge um valor infinito. Pretendendo-se caracterizar o estado de tensão e deformação na vizinhança da extremidade de uma fenda, o conceito de K_t não ajuda portanto a fazer a necessária distinção entre as várias situações que se podem encontrar. O parâmetro a utilizar para este fim é o factor de intensidade de tensão K, que caracteriza o campo elástico de tensões num ponto r, θ da vizinhança da extremidade da fenda através das equações seguintes, por vezes designadas equações de Irwin--Westergaard,

$$\left.\begin{aligned}
\sigma_y &= \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}}\cos\frac{\theta}{2}\left(1+\sin\frac{\theta}{2}\sin\frac{3\theta}{2}\right)\\
\sigma_x &= \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}}\cos\frac{\theta}{2}\left(1-\sin\frac{\theta}{2}\sin\frac{3\theta}{2}\right)\\
\tau_{xy} &= \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}}\cos\frac{\theta}{2}\sin\frac{\theta}{2}\sin\frac{3\theta}{2}
\end{aligned}\right\} \quad (1)$$

Na região considerada, a análise conduz ainda aos valores dos deslocamentos segundo x e segundo y, com expressões diferentes para estado plano de tensão ou de deformação. Na dedução das expressões anteriores considerou-se uma fenda de penetração total existindo no plano $y = 0$ sendo o sistema de eixos centrado na extremidade da fenda; θ é contado no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio a partir do eixo x, em que $x>0$ corresponde ao ligamento não fendido. O factor de intensidade de tensão K é, no caso de uma placa infinita traccionada pela tensão σ perpendicular à fenda central de comprimento $2a$,

$$K = \sigma\sqrt{\pi a} \quad (2)$$

Nesta comunicação omitiu-se o índice I no símbolo do factor de intensidade de tensão, uma vez que apenas será tratada a situação de modo I de solicitação.

Em condições de plasticidade restringida a uma pequena região na extremidade da fissura, o factor de intensidade de tensão *K* caracteriza o estado mecânico na vizinhança da extremidade da fissura, sendo em geral

$$K = Y\sigma\sqrt{\pi a} \quad (3)$$

onde *a* é uma dimensão característica da fissura, σ a tensão remota aplicada e *Y* um factor adimensional função da geometria e tipo de carregamento. Numa estrutura fissurada, quando *K* atinge o valor da tenacidade do material (K_{Ic} ou K_c respectivamente em estado plano de deformação ou de tensão), a fissura pré-existente propaga-se de forma instável. O valor de *Y* na equação 3 pode ser procurado, para muitas situações, em publicações especializadas. Tal como Pilkey [1] é a obra clássica para a procura de valores do factor de concentração de tensão, também soluções do factor de intensidade de tensão para numerosas geometrias de sólidos fissurados se encontra tipicamente em Tada, Paris e Irwin [2] ou em Murakami [3], por exemplo. Chama-se a atenção para a terminologia: factor de intensidade de tensão *K* é um parâmetro da Mecânica da Fractura que caracteriza o campo de tensões linear elástico na vizinhança da extremidade de uma fenda; tem dimensões, como resulta da expressão genérica $K = Y\sigma\sqrt{\pi a}$ em que *a* é a dimensão da fenda, σ é o carregamento remoto e *Y* é um factor adimensional dependente da geometria. Importa assim não confundir factor de intensidade de tensão com factor de concentração de tensões, que é um parâmetro adimensional ($K_t = \sigma_{\text{local}}/\sigma_{\text{nominal}}$) caracterizando o agravamento de tensões num entalhe.

Já foi visto como é possível estudar as condições de ocorrência de fractura instável num componente ou estrutura: trata-se habitualmente de determinar qual a tensão (ou carga aplicada, pressão, …) que provoca a rotura, ou quais as dimensões críticas da fenda, para uma dada solicitação aplicada a um corpo fissurado.

Na prática, porém, o problema da integridade estrutural é frequentemente colocado de outro modo. Uma estrutura considerada satisfatória pode, passado um determinado intervalo de tempo de serviço, vir a sofrer rotura porque entretanto algum defeito se propagou lentamente até atingir dimensões críticas.

Tipicamente, a propagação estável, subcrítica, de fissuras pode ocorrer quando o componente ou estrutura é sujeito a uma das solicitações seguintes: *(i)* solicitação cíclica, na ausência ou presença de um ambiente corrosivo (fadiga, e fadiga-corrosão), *(ii)* solicitação estática, na presença de um ambiente corrosivo (corrosão sob tensão), e finalmente *(iii)* solicitação estática ou cíclica a elevadas temperaturas, provocando fissuração por fluência (*creep cracking*) ou interacções fadiga-fluência.

Estes processos são designados estáveis ou sub-críticos, visto que as dimensões da fissura aumentam lentamente com o número de ciclos aplicado, ou com o tempo de aplicação da solicitação. Naturalmente, após um determinado intervalo de tempo, podem estar reunidas as condições para propagação instável, por se ter satisfeito a condição

$$Y\sigma\sqrt{\pi a} = K_{\text{Ic}} \quad (4)$$

Notar que a rotura final, no caso de materiais de elevada ductilidade e tenacidade, pode vir a dar-se por um fenómeno de instabilidade plástica, simplesmente por a secção remanescente após o crescimento estável do defeito ser insuficiente para transmitir os esforços a que está sujeita.

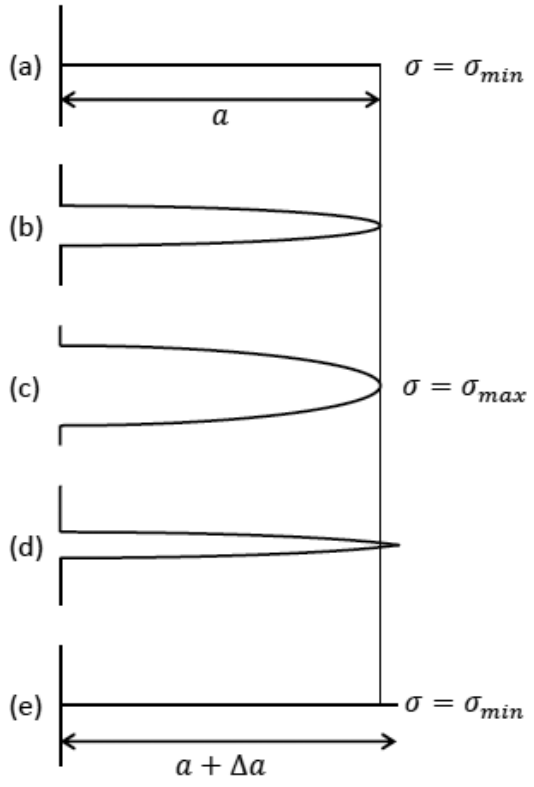
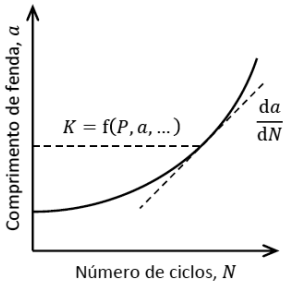


FIGURA 1
Representação esquemática do crescimento de uma fissura de fadiga.

A Figura 1 ilustra uma tentativa de explicação do aumento de comprimento de uma fissura em resultado de uma solicitação de fadiga, descrevendo o que se passa quando a solicitação varia de 0 a σ e de novo a 0. Quando a solicitação é σ (máxima por ciclo), existe uma deformação plástica na extremidade da fissura. Quando a solicitação regressa ao mínimo, a fissura fecha de novo, mas tem de acomodar uma pequena deformação plástica irreversível, o que faz avançando no material, de a para $a + \Delta a$ (ver Figura 1). Este fenómeno deixa assim uma série de marcas na superfície de fractura por fadiga, que no caso de algumas ligas metálicas podem ser muito claramente observadas usando um microscópio electrónico. Estas marcas são as estrias de fadiga.

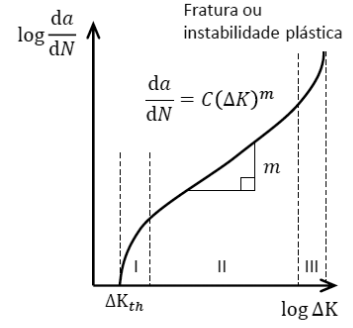
Os ensaios para caracterizar a fissuração por fadiga realizam-se usando provetes de calibração K conhecida, sujeitando-os a uma solicitação cíclica e medindo por processos ópticos ou outros, designadamente os eléctricos, a propagação da fissura em função do número de ciclos N, ver Figura 178. A informação básica do ensaio é a curva *a versus N* representada, a partir da qual se obtém os valores da/dN, e, da calibração K do provete, os correspondentes valores ΔK,

$$\Delta K = Y\,\Delta\sigma\,\sqrt{\pi\,a} \quad (5)$$



(a) Representação esquemática do aspeto típico da curva de propagação de uma fenda (a vs. N).

FIGURA 2
Representação esquemática do aspecto típico da curva de propagação de uma fenda de fadiga (*a versus N*) e da determinação de $da/dN = f(\Delta K)$.



(b) Representação esquemática do aspeto típico da relação $\mathrm{d}a/\mathrm{d}N$ vs. ΔK.

FIGURA 3
Representação esquemática do aspecto típico da relação $da/dN = f(\Delta K)$. (nesta figura a 'lei de Paris' diz respeito à região II).

Quando representados em coordenadas logarítmicas (log da/dK versus logΔK), os resultados experimentais da/dN versus ΔK têm habitualmente o aspecto representado na Figura 3.

A curva representada na Figura 3 apresenta 3 regiões distintas. Na primeira, correspondente a velocidades muito baixas de propagação, é possível definir um valor de ΔK abaixo do qual não há propagação (ou esta não tem significado, por ser menor que 10^{-7} mm/ciclo). Este limiar é representado por ΔK_{lf} (designado na literatura anglo-saxónica por ΔK_{th}, de *threshold*). A segunda traduz-se por uma recta, e corresponde portanto a uma lei do tipo

$$\frac{da}{dN} = C\left(\Delta K\right)^m \quad (6)$$

conforme foi inicialmente identificado por Paul Paris [4-5]. Finalmente, a terceira fase do processo corresponde à propagação instável da fissura. No caso de o processo de fadiga ter lugar em ambiente corrosivo, as velocidades de propagação da/dN são em geral mais elevadas. A relação da/dN versus ΔK apresenta ainda dependência do valor médio da solicitação, usualmente expresso pelo valor de $R = \sigma_{\text{min}}/\sigma_{\text{máx}}$, e eventualmente da frequência, particularmente no caso de ambientes corrosivos.

O importante problema da determinação do número de ciclos necessário para propagar a fissura da dimensão a_i até a_f resolve-se usando a lei de Paris,

$$\frac{da}{dN} = C\left(Y\,\Delta\sigma\,\sqrt{\pi\,a}\right)^m \quad (7)$$

Integrando esta equação entre as situações caracterizadas pelos índices i e f, supondo Y constante,

$$N = \frac{a_i^{m/2}}{C\left(\frac{m}{2}-1\right)\Delta K_i^m}\left(\frac{1}{a_i^{\frac{m}{2}-1}} - \frac{1}{a_f^{\frac{m}{2}-1}}\right) = \frac{a_i^{1-\frac{m}{2}} - a_f^{1-\frac{m}{2}}}{C\left(\frac{m}{2}-1\right)Y^m\,\Delta\sigma^{\,m}\,\pi^{m/2}} \quad (8)$$

expressão válida desde que m seja diferente de 2. Notar que, quando a aproximação Y = const. não for aceitável, a integração da lei de Paris terá de ser feita por processos numéricos, e dividindo o intervalo $a_f - a_i$ em vários intervalos menores.

As considerações feitas dizem respeito ao caso mais simples, de solicitações de amplitude constante. Solicitações aleatórias, bem como aquelas que correspondem a blocos de ciclos, correspondentes a diversos níveis de amplitude de solicitação, exigem alguns refinamentos das considerações anteriores. Sublinha-se a importância de cálculos deste tipo, designadamente no estabelecimento dos intervalos de tempo entre inspecções de equipamento, bem como na avaliação da vida remanescente de equipamento crítico.

Alguns passos e aplicações iniciais da Mecânica da Fractura, e da lei de Paris em particular, são descritas por exemplo em publicação da Royal Society, [6]. Muitas outras publicações entretanto apareceram, destacando-se em Português o livro "Fadiga de estuturas soldadas"[7].

OS ENSAIOS

Os ensaios de propagação de fendas de fadiga foram realizados em provetes C(T) de aço S355NL, com espessura B = 32mm, onde quer a fenda pré-existente quer a sua propagação se verificam no plano de simetria do provete. O resultado de provetes de material base, correspondentes ao regime onde a lei de Paris é aplicável está apresentado na Figura 4 para diversos valores da razão de tensão R, $R = \sigma_{\text{min}}/\sigma_{\text{máx}}$, evidenciando uma relativa insensibilidade da propagação da fenda de fadiga ao valor médio do carregamento.

Os ensaios que evidenciaram um comportamento aparentemente anómalo foram realizados usando provetes de igual geometria, mas extraídos de chapas soldadas topo a topo. O plano da fenda dos provetes C(T) para estes ensaios está contido na zona afectada termicamente (ZAC – zona afectada pelo calor) pela soldadura. Para idêntica razão de tensão R, constatou-se que a fenda não crescia para os valores de ΔK usados no ensaio de material base. Finalmente foi possível fazer a fenda crescer aumentando significativamente a carga e o valor de ΔK. A análise dos resultados seguindo os procedimentos usados para os provetes de material base apresenta-se na Figura 4 também, suscitando a pergunta: face a esta Figura, será legitimo afirmar que os ensaios sumariamente referidos revelam que a velocidade de propagação a esperar para provetes soldados é muito menor do que aquela que é medida para provetes de metal base?

A resposta a esta questão foi encontrada levando a cabo uma detalhada análise de tensões residuais em provetes soldados, usando a técnica *'contour'* inicialmente proposta por Prime, [8]. Este processo de medir tensões residuais envolve *(i)* a realização de um corte do plano de simetria do provete usando electro-erosão por fio (EDM – *electrical discharge machining*); *(ii)* a caracterização rigorosa da topografia da superfície do corte, usando uma máquina de medir (CMM – *coordinate measuring machine*); *(iii)* a realização de um modelo de elementos finitos da referida superfície, sendo finalmente calculadas, recorrendo ao método dos elementos finitos, *(iv)* as tensões que transformam a superfície medida na superfície rigorosamente plana correspondente ao corte inicial; essas tensões são então as tensões

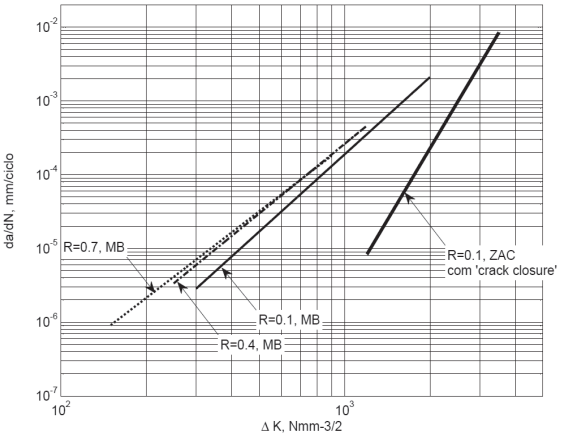


Figura 4
Lei de Paris, R=0.1, 0.4, e 0.7, para metal base (MB) aço S355NL. A Figura mostra também a lei de Paris para zona afectada pelo calor (ZAC), R=0.1.

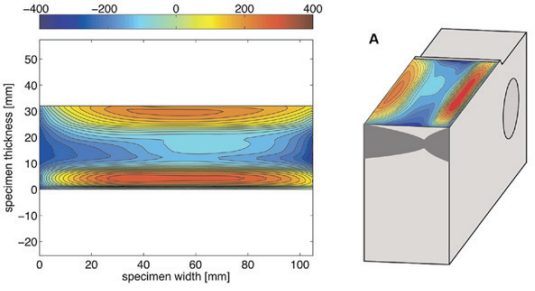


Figura 5
Tensão residual no plano da fenda; provete C(T) soldado, fenda na região afectada pelo calor (ZAC). Em 'A' representa-se uma perspectiva de metade do provete, ilustrando esquematicamente o cordão de soldadura (duplo V).

residuais, que foram relaxadas quando o provete foi cortado por EDM. O processo referido de determinação de tensões residuais é muito trabalhoso, mas permite com dispêndio relativamente pequeno obter informação que alternativamente careceria de acesso a laboratórios praticando a medição de tensão residuais por difracção de neutrões, ou eventualmente raios x gerados por sincrotrão, ambas as técnicas apenas disponíveis num muito limitado número de centros em todo o mundo.

A Figura 5 apresenta, a título de exemplo, o resultado da aplicação do método *contour* num provete C(T), levada a cabo no presente trabalho. O gráfico ilustra expressivamente a distribuição e magnitude das tensões residuais, perpendiculares ao plano de propagação da fenda.

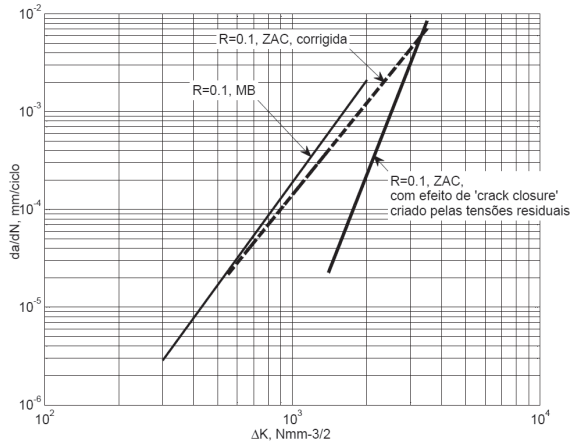


Figura 6
Dados experimentais para $R = 0.1$, metal base e ZAC. Para ZAC mostra-se a interpretação dos resultados experimentais tomando ou não em consideração o efeito de *crack closure* resultante das tensões residuais.

Compreende-se assim a necessidade de, no caso vertente, complementar a análise dos ensaios de propagação de fendas de fadiga baseada na lei de Paris, com considerações resultantes da presença de tensões residuais. Vê-se na Figura 5, claramente, que o campo de tensões residuais no qual a propagação da fenda por fadiga vai ter lugar inclui importantes valores de compressão. Estes devem ser responsáveis por significativa diminuição da velocidade de propagação, por comparação com situações em que esta se dê em material apenas carregado pela tensão originada pelo carregamento exterior aplicado.

Uma interpretação baseada no efeito de *crack closure*, aqui resultante de tensões residuais compressivas, permitiu re-analizar os resultados dos ensaios de provetes soldados, e chegar a resultados eliminando o efeito da tensão residual (isto é, considerando apenas a parte do ciclo de carga em que a fenda está efectivamente aberta). Tomando esse efeito em consideração, a Figura 6 ilustra, para um caso de R a título de exemplo, ($R = 0.1$) o resultado final obtido, em que se constata que afinal a velocidade de propagação da fenda de fadiga no material base e na ZAC do cordão de soldadura são da mesma ordem de grandeza, e não muito diferente como uma análise inicial, descuidando a análise das tensões residuais, parecia sugerir.

Detalhes do material, provetes e ensaios de fadiga encontram-se publicados em [9], enquanto a análise das tensões residuais realizada usando o método *'contour'* está descrita em pormenor em [10]; estas duas referências apresentam uma discussão mais detalhada das questões abordadas na presente comunicação, enquadrando-a por referência a extensa literatura técnico-científica. Ainda que concisamente, a presente comunicação ilustra uma área de interesse da comunidade técnico-científica também em Portugal: o desempenho à fadiga e as tensões residuais. Estes e outros assuntos afins são tratados pela Divisão Fractura da Sociedade Portuguesa de Materiais, que organiza, entre outros eventos, a conferência bianual sobre a Mecânica da Fractura e suas aplicações.

OBSERVAÇÕES FINAIS

O comportamento à fadiga de aços inclui uma fase de propagação estável da fenda que pode ser descrita pela lei de Paris. A presente comunicação pretendeu enfatizar a importância de um conhecimento detalhado das condições em que o ensaio decorre, concentrando a atenção no efeito das tensões residuais que podem, caso não sejam tomadas em consideração, levar a interpretações erróneas dos resultados dos referidos ensaios. Como se viu, o problema do conhecimento do estado de tensão residual é crítico para a cabal interpretação dos resultados, pretendendo esta comunicação ilustrar o potencial de uma técnica emergente para medição daquelas tensões, a técnica *contour*, que permite obter resultados que doutra forma exigiriam o recurso a difracção de neutrões ou a sincrotrões, que apenas estão disponíveis num muito limitado número de centros em todo o mundo.

AGRADECIMENTOS

A colaboração na FEUP de Carlos Albuquerque, Roberto Miranda, Valentin Richter-Trummer, Miguel A. V. de Figueiredo, Sérgio M. O. Tavares, Daniel F. O. Braga, e Christoph Thies (o último como aluno de intercâmbio da Bauhaus-Universität Weimar, Alemanha), é reconhecidamente registada.

REFERÊNCIAS

[1] Pilkey, W., 'Peterson's stress concentration factors', 2nd ed., Wiley, 1997.

[2] Tada, Hiroshi; Paris, Paul C.; Irwin, George R., 'The stress analysis of cracks handbook', 3rd ed, New York, ASME Press, 2000.

[3] Murakami, Yukitaka, 'Stress intensity factors handbook', vols. I-II, Oxford, Pergamon Press, 1987; vols. IV-V, Kyoto, SMS, Japan, 2001.

[4] Paris, P.C.; Gomez, M.P.; Anderson, W.E., 'A rational analytic theory of fatigue', *The Trend in Engineering*, vol.13, no.1, pp.9-14, 1961.

[5] Paris, P.C., 'The Fracture Mechanics approach to fatigue', in: J.J. Burke *et al.*, eds., 'Fatigue – an interdisciplinary approach' Proceedings of the 10th Sagamore Army Materials Research Conference, Syracuse University Press, pp.104-132, 1964.

[6] *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, vol. 299, no. 1446, 'Fracture mechanics in design and service: Living with defects', 1981.

[7] Branco, C.M.; Fernandes, A.A.; de Castro, P.M.S.T., 'Fadiga de Estruturas Soldadas', Fundação Calouste Gulbenkian, 2.ª ed., 1999.

[8] Prime, M. 'Cross-sectional mapping of residual stresses by measuring the surface contour after a cut', *Journal of Engineering Materials and Technology: Trans. ASME*, vol.123, no.2, pp.162–168, 2001.

[9] Albuquerque, C.M.C.; Miranda, R.M.C.; Richter-Trummer, V.; de Figueiredo M.A.V.; Calçada, R.; de Castro, P.M.S.T., 'Fatigue crack propagation behaviour in thick steel weldments', *International Journal of Structural Integrity*, vol. 3, no.2, pp. 184-203, 2012.

[10] Richter-Trummer, V.; de Castro, P.M.S.T., 'The through-the-thickness measurement of residual stress in a thick welded steel compact tension specimen by the contour method', *The Journal of Strain Analysis for Engineering Design*, vol. 46, no.4, pp. 315--322, 2011.

(Comunicação apresentada à Classe de Ciências
na sessão de 5 de julho de 2012)

Idade, Origem e Protólitos de Granitos Variscos de Três Áreas Portuguesas

A.M. R. Neiva, R. J. S. Teixeira, S. M. Lima, P. B. Silva

Abstract

Age, origin and protoliths of Variscan granites from three Portuguese areas. In the Gouveia area, the Variscan granites are of S-type and most of them are Sn-bearing. Two granites define a fractionation series. The late- and post-D_3 granites show distinct ages of igneous zircon and also of monazite. The monazite from a late-D_3 granite is younger than the igneous zircon from this granite and the same as the age obtained by the igneous zircon of post-D_3 granites, suggesting that the monazite from the late-D_3 granites (re) crystallized due to the emplacement of post-D_3 granites. The monazite from post-D_3 granites is also younger than the igneous zircon. Its (re)crystallization was probably due to the emplacement of late aplite, pegmatite and quartz veins in the area. The ^{39}Ar-^{40}Ar age of muscovite is similar in late- and post-D_3 granites. The muscovite from a late-D_3 granite lost Ar and the muscovite from a post-D_3 granite records cooling after the magma emplacement. The inherited zircons are mainly from the Neoproterozoic and probably from Gondwana sediments derived from the West African Craton and Pan-african belts that surround it.

In the Sabugal area, the ID-TIMS U-Pb ages are ~309 Ma (for a syn- to late-D_3 granite), ~303 Ma (for a late-D_3 granite) and ~300 Ma (for late- to post-D_3 granites). The igneous zircons from syn- to late-D_3 and late-D_3 granites have negative εHf_t values and also $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ and εNd_t values of granites which suggest that these rocks are derived by partial melting of metasedimentary materials. The late- to post-D_3 granites contain some zircons with negative εHf_t and others with positive εHf_t, suggesting the interaction of mantle and crustal magmas. However, $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ and εNd_t values indicate a predominant crustal origin for these granites. Syn- to late-D_3 and late-D_3 granites are of S-type. The inherited zircons from a late- to post-D_3 granite and detrital zircons from a metagreywacke of the Group of Beiras show a significant number of different ages, but Neoproterozoic dominates, and distinct εHf_t values, suggesting that the metagreywacke could not have been a protolith for this granite.

The granite from the Carrazeda de Ansiães area is Variscan, syn-D_3 (~320 Ma). Its zircon has negative εHf_t values and also $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ and εNd_t values of this granite suggest that it resulted from partial melting of crustal materials and is an S-type granite. The U-Pb age and εHf_t values are similar in inherited zircons from this granite and detrital zircons from a chlorite phyllite from the Ervedosa do Douro Formation, suggesting that this phyllite may have been a protolith for this granite. However, the average value of εHf_t of detrital zircons from the chlorite phyllite is lower than that of igneous zircons from the granite suggesting that the phyllite would only have been a magma contaminant.

The U-Pb ages of detrital zircons show that the maximum depositional age is the same (577-578 Ma) for Grupo das Beiras and Grupo do Douro.

Resumo

Na área de Gouveia, os granitos são variscos, do tipo S e a maioria são estaníferos. Dois granitos definem uma série de diferenciação. Os granitos tardi- e pós-D_3 apresentam distinção nas idades do zircão ígneo e monazite. Num granito tardi-D_3, a monazite é mais jovem do que o zircão ígneo mas é igual à idade dada pelo zircão ígneo dos granitos pós-D_3, sugerindo que a monazite dos granitos tardi-D_3 (re)cristalizou devido à implantação dos granitos pós-D_3. A monazite dos granitos pós-D_3 também é mais jovem do que o zircão ígneo. A (re)cristalização desta monazite deverá ter ocorrido devido à implantação tardia de filões de aplito, pegmatito e quartzo na área. A idade ^{39}Ar-^{40}Ar da moscovite é igual nos granitos tardi- e pós-D_3. A moscovite do granito tardi-D_3 perdeu Ar e a do granito pós-D_3 dá a idade de arrefecimento depois da intrusão do magma. Os zircões herdados dos granitos são predominantemente do Neoproterozóico e provavelmente derivados de sedimentos da Gondwana provenientes do Cratão Oeste Africano e cinturões Pan-africanos que o rodeiam.

Na área de Sabugal, as idades ID-TIMS U-Pb são ~309 Ma (para um granito sin- a tardi-D_3), ~303 Ma (para um granito tardi-D_3) e ~300 Ma (para os granitos tardi- a pós-D_3). Os zircões ígneos dos granitos sin- a tardi-D_3 e tardi-D_3 têm εHf_t negativo e os valores $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ e εNd_t indicam que estes granitos são derivados da fusão parcial de materiais metassedimentares. Nos granitos tardi- a pós-D_3, alguns zircões têm εHf_t negativo, mas outros apresentam-no positivo, sugerindo que houve a interacção de magmas mantélicos e crustais. Contudo, os valores de $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ e εNd_t destes granitos apontam para uma origem predominantemente crustal. Os granitos sin- a tardi-D_3 e tardi-D_3 desta área serão do tipo S. Os zircões herdados de um granito tardi- a pós-D_3 e os zircões detríticos do metagrauvaque do Grupo das Beiras apresentam um número significativo de idades diferentes e valores de εHf_t distinto, mostrando que o metagrauvaque não terá sido um protólito deste granito.

O granito da área de Carrazeda de Ansiães é varisco, sin-D_3 (~320 Ma). Os valores negativos de εHf_t do zircão e valores de $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ e εNd_t do granito indicam que este terá resultado da fusão parcial de materiais crustais, sendo do tipo S. A idade U-Pb e os valores εHf_t idênticos dos zircões herdados deste granito e dos zircões detríticos do filito clorítico da formação de Ervedosa do Douro, do Grupo do Douro, sugerem que este filito pode ter sido um protólito do granito. Mas o menor valor médio de εHf_t dos zircões detríticos do filito clorítico do que o dos zircões ígneos do granito indica que este filito terá sido só um contaminante do magma.

A idade U-Pb de zircões detríticos mostra que a idade máxima de deposição do Grupo das Beiras e do Grupo do Douro é a mesma (577-578 Ma).

1. INTRODUÇÃO

O zircão é o mineral mais utilizado em geocronologia U-Pb, pois é um mineral acessório comum numa grande variedade de rochas, contém concentrações de U significantemente superiores às da rocha hospedeira e discrimina fortemente o Pb durante a cristalização (e.g. DAVIS et al., 2003). O zircão é ainda capaz de sobreviver a múltiplos eventos magmáticos, metamórficos e erosionais, que destroem a maioria dos minerais comuns (CORFU et al., 2003). Devido à baixa solubilidade do Zr em magmas graníticos peraluminosos hidratados, é comum a ocorrência de núcleos de zircão herdados nos granitos peraluminosos (e.g. Miller et al., 2007). A idade do zircão ígneo corresponde à idade de implantação dos

granitos, enquanto a idade dos núcleos herdados dá informação sobre a idade das rochas que fundiram parcialmente para originar o granito.

O zircão ígneo pode ser datado por U-Pb usando ID-TIMS, SHRIMP e LAM-ICPMS. A precisão e o tempo necessário para a datação decrescem do primeiro para o terceiro método. Os zircões detríticos podem ser datados por SHRIMP e LAM-ICPMS e os dados de Lu-Hf do zircão podem ser obtidos por ID-TIMS e LAM-ICPMS. Estes últimos dados isotópicos do zircão dão importante informação sobre a proveniência do zircão numa população de idade simples (e.g. Teixeira et al., 2011 e suas referências), pois estes dados não são afectados por alterações meteórica e hidrotermal e deformação (Hawkesworth e Kemp, 2006). Neste trabalho foram usados os três métodos, embora o SHRIMP tenha sido unicamente usado na área de Gouveia.

A monazite é um importante geocronómetro complementar e geralmente dá idades próximas a ligeiramente inferiores à idade do zircão. Esta pode ser datada a partir dos métodos usados para a determinação da idade do zircão. As idades de monazite apresentadas neste trabalho foram obtidas por ID-TIMS e SHRIMP. A datação da moscovite por ^{39}Ar-^{40}Ar dá a idade a que se atingiram temperaturas inferiores a ~350 ± 50 .ºC, que é a temperatura de fecho da moscovite para o sistema ^{39}Ar-^{40}Ar (Hammes e Bowring, 1994).

As áreas de Gouveia, Sabugal e Carrazeda de Ansiães situam-se na Zona Centro Ibérica (ZCI) do Maciço Ibérico (Fig. 1). Portanto, localizam-se na parte sudoeste da cadeia varisca da Europa. A ZCI é

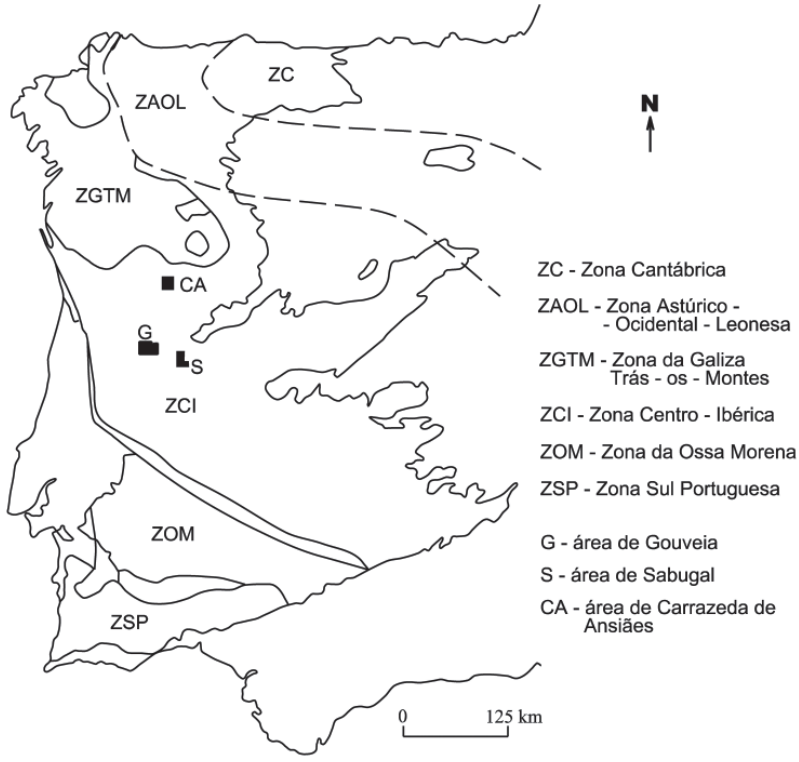


Figura 1
As três áreas de Gouveia (G), Sabugal (S) e Carrazeda de Ansiães (CA) projectadas na Zona Centro-Ibérica do Maciço Ibérico.

constituída pelo Complexo Xisto-Grauváquico, formado por filitos e grauvaques de idade Neoproterozóica a Câmbrica, granitóides e rochas vulcânicas félsicas Cambro-Ordovícicas e grandes volumes de rochas graníticas variscas, principalmente granitos do tipo S relacionados com a terceira fase de deformação varisca. O Complexo Xisto-Grauváquico é constituído pelo Grupo do Douro e o Grupo das Beiras, sendo definido como Super Grupo Dúrico-Beirão (Fig. 2, Oliveira et al., 1992). Idades U-Pb e dados Lu-Hf de zircões herdados obtidos por LAM-ICPMS de granitos das áreas de Sabugal e Carrazeda de Ansiães são comparados com os dados de zircões detríticos de rochas metassedimentares do Grupo das Beiras e do Grupo do Douro, respectivamente, para procurar potenciais protólitos. Na área de Gouveia, as idades de zircões herdados indicam as idades dos protólitos. Nas três áreas, são apresentadas as idades da implantação dos granitos, discutindo-se para a área de Gouveia as diferentes idades obtidas em zircão, monazite e moscovite. A origem dos granitos das três áreas baseia-se em dados isotópicos.

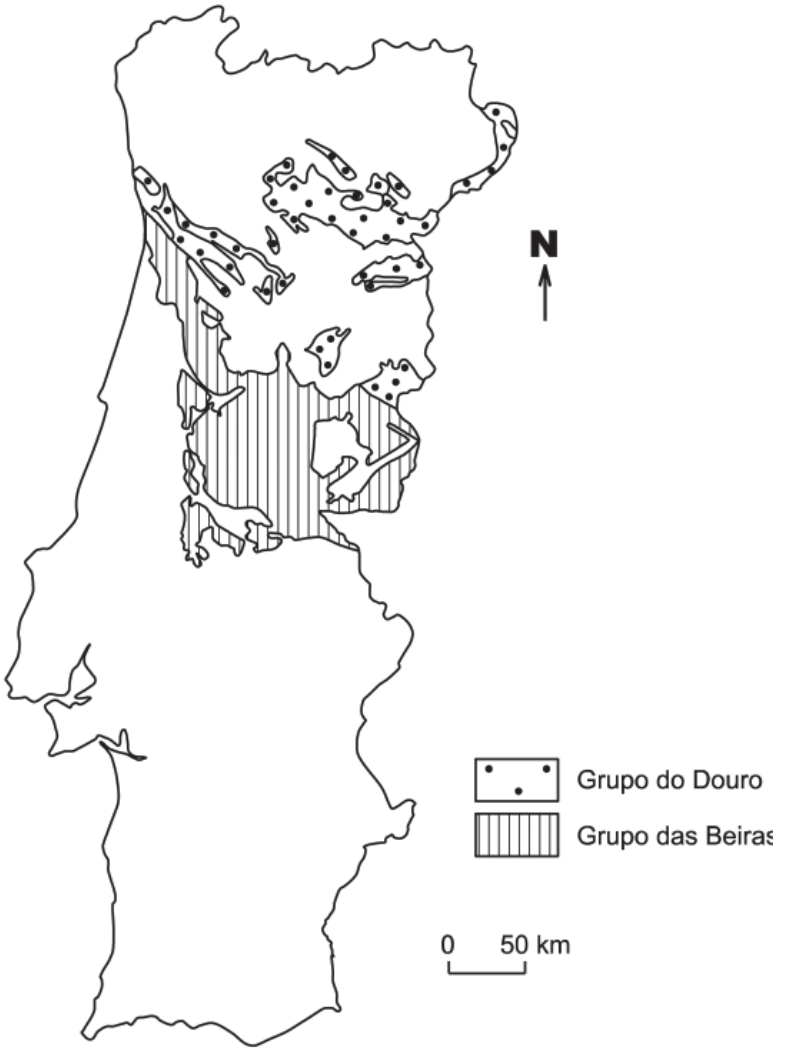


Figura 2
Projecção das duas unidades do Grupo Dúrico-Beirão: Grupo do Douro e Grupo das Beiras no mapa de Portugal (Dias et al., 2006).

2. ÁREA DE GOUVEIA

2.1 *Geologia*

Na área de Gouveia (Fig. 3), predominam as rochas graníticas, que instruíram o Complexo Xisto-Grauváquico. Afloram o granodiorito de grão médio a grosseiro levemente porfiróide biotítico (G1) do Ordovícico Inferior e dominantemente granitos variscos, que são divididos em dois grupos (NEIVA et al., 2009). O granito de grão médio a fino porfiróide moscovítico>biotítico (G2), o granito de grão médio levemente porfiróide moscovítico>biotítico (G3) e o granito de grão grosseiro a muito grosseiro porfiróide biotítico>moscovítico (G4) são tardi-D_3. O granodiorito-granito de grão grosseiro porfiróide moscovítico>biotítico (G5), o granito de grão médio a grosseiro levemente porfiróide moscovítico>biotítico (G6), o granito de grão médio moscovítico>biotítico (G7) e o granito de grão fino a médio levemente porfiróide

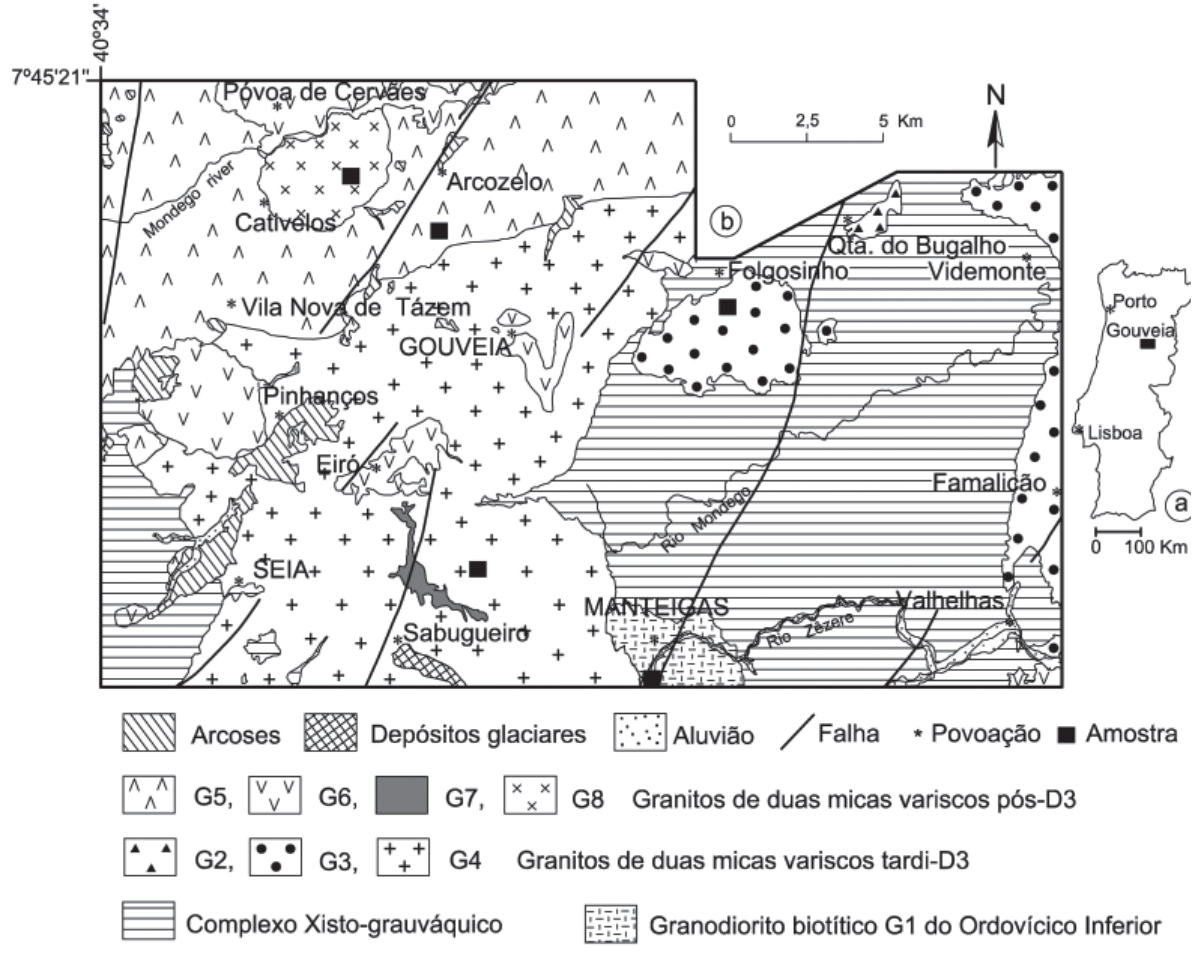


Figura 3

a. Projecção da área de Gouveia no mapa de Portugal. b. Mapa geológico da área de Gouveia. G1 – granodiorito de grão médio a grosseiro levemente porfiróide biotítico; G2 – granito de grão médio a fino porfiróide moscovítico>biotítico; G3 – granito de grão médio levemente porfiróide moscovítico>biotítico; G4 – granito de grão grosseiro a muito grosseiro porfiróide biotítico>moscovítico; G5 – granodiorito-granito de grão grosseiro porfiróide moscovítico>biotítico; G6 – granito de grão médio a grosseiro levemente porfiróide moscovítico>biotítico; G7 – granito de grão médio moscovítico>biotítico; G8 – granito de grão fino a médio levemente porfiróide biotítico≈moscovítico. As amostras datadas estão marcadas.

biotítico≈moscovítico (G8) são pós-D_3. Os contactos entre granitóides são geralmente nítidos, mas o granito G5 passa gradualmente ao granito G6. Os granitos possuem geralmente xenólitos metassedimentares e raramente encraves microgranulares.

O granodiorito ordovícico produziu uma auréola de metamorfismo de contacto com corneana, enquanto os granitos variscos produziram principalmente micaxisto de metamorfismo de contacto e localmente uma zona interna de corneana (Neiva et al., 2009).

2.2 *Idade e protólitos dos granitos*

O zircão do granodiorito do Ordovícico Inferior foi datado por SHRIMP na Universidade Nacional da Austrália em Canberra, tendo sido obtida uma idade de 481.8 ± 5.9 Ma (Neiva et al., 2009).

Zircão (U-Pb) e monazite (U-Th-Pb) de granitos variscos seleccionados (G3, G4, G5 e G8) também foram datados por SHRIMP, na mesma Universidade. A idade do zircão ígneo do granito varisco tardi-D_3 G4 é 310.1 ± 4.3 Ma, enquanto as idades dos zircões ígneos dos granitos variscos pós-D_3 (G5 e G8) são inferiores, 297.3 ± 3.1 Ma e 302.6 ± 6.7 Ma, respectivamente (Tabela 1, Neiva et al., 2012). Há também uma distinção entre as idades da monazite dos granitos variscos tardi-D_3 (G3 e G4) e as da monazite dos granitos variscos pós-D_3 (G5 e G8) (Tabela 1, Neiva et al., 2009).

Tabela 1

Idades (Ma) U-Pb de zircão ígneo e U-Th-Pb de monazite e idades Ar-Ar de moscovite dos granitos variscos de duas micas da área de Gouveia

	Zircão $^{206}Pb/^{238}U$	Monazite $^{208}Pb/^{232}Th$	Moscovite $^{39}Ar/^{40}Ar$
Granitos tardi-D_3			
G3	–	303.8 ± 3.2	–
G4	310.1 ± 4.3	301.4 ± 2.6	286.3 ± 2.7
Granitos pós-D_3			
G5	297.3 ± 3.1	288.6 ± 2.5	286.4 ± 3.1
G8	302.6 ± 6.7	288.7 ± 2.6	–

Zircão e monazite datados por SHRIMP (Neiva et al., 2009; 2012).

As idades da monazite dos granitos tardi-D_3 (G3 e G4) são semelhantes (Tabela 1), mas G4 é geologicamente mais jovem do que G3, pois possui raros encraves de G3. Portanto, a monazite de G3 terá recristalizado. A idade da monazite de G4 (301.4 ± 2.6 Ma) é menor do que a idade do zircão ígneo (310.1 ± 4.3 Ma) do mesmo granito, mas idêntica à do zircão do granito pós-D_3 G5 que o rodeia (Tabela 1; Fig. 3). Consequentemente, ou a monazite de G4 recristalizou ou uma nova monazite cristalizou em G4, devido à intrusão dos granitos pós-D_3 (G5, G6 e G7), que rodeiam ou instruíram G4 (Fig. 3), e cuja implantação foi contemporânea do evento tectónico Astúrico do Carbónico (Neiva et al., 2012).

As idades do zircão ígneo dos granitos pós-D_3 (G5 e G8) são semelhantes, considerando o erro analítico (Tabela 1). As idades da monazite destes granitos também são semelhantes, mas cerca de 10 Ma menor do que a do zircão ígneo destes granitos. Logo, a monazite terá (re)cristalizado devido a um aquecimento regional e aumento da mobilização de fluidos como indicado pela presença de filões de aplito, pegmatito e quartzo que intruíram estes granitos durante os movimentos variscos Saálicos (Neiva et al., 2012).

As moscovites de um granito tardi-D_3 (G4) e outro pós-D_3 (G5) foram datadas pelo método ^{39}Ar-^{40}Ar para determinar quando é que a área arrefeceu abaixo de ~350 ± 50 .ºC, que é a temperatura de fecho da moscovite para o sistema ^{39}Ar-^{40}Ar (Hammes e Bowring, 1994). As idades obtidas são semelhantes (Tabela 1), o que indica que a área de Gouveia foi aquecida acima de 350.ºC durante a intrusão dos granitos pós-D_3 e os movimentos Astúricos e Saálicos causaram perda de gás, tendo havido arrefecimento posterior muito rápido (Neiva et al., 2012).

A idade ^{39}Ar-^{40}Ar da moscovite do granito tardi-D_3 G4 (286.3 ± 2.7 Ma) é menor do que a idade do zircão ígneo deste granito (310.1 ± 4.3 Ma) e a idade de (re)cristalização da monazite (301.4 ± 2.6 Ma) (Tabela 1), devido a perda de Ar. A idade ^{39}Ar-^{40}Ar da moscovite do granito pós-D_3 (286.4 ± 3.1 Ma) é semelhante à idade da monazite (re)cristalizada deste granito (288.6 ± 2.5 Ma), mas menor do que a idade do zircão ígneo (297.3 ± 3.1 Ma) (Tabela 1). Portanto, a idade da moscovite é de arrefecimento depois da intrusão (Neiva et al., 2012).

A idade mais abundante do zircão herdado é do Neoproterozóico (Tabela 2) e idêntica nos granitos G3, G4 e G8, sugerindo que os protólitos metassedimentares destes granitos foram semelhantes ou tiveram origens semelhantes. Foram também encontrados raros zircões herdados do Câmbrico e Paleoproterozóico e do Carbónico, Devónico e Ordovícico (Tabela 2), estes de idade semelhante à do zircão dos grauvaques e conglomerados sinorogénicos da parte NW do Maciço Ibérico (e.g. Martínez Catalán et al., 2008). Contudo, os granitos Ordovícicos (Antunes et al., 2009; Neiva et al., 2009) também poderão ter contribuído. A ausência generalizada de idades do Mesoproterozóico (NEIVA et al., 2012) sugere que a potencial fonte destes zircões detríticos terá sido a Gondwana, mais especificamente do Cratão do Oeste Africano e cinturões Pan-africanos que o rodeavam (KOBER et al., 2004; PEREIRA et al., 2012).

Só foram encontradas monazites herdadas no granito G3, que são do Carbónico ~320 Ma, Silúrio ~420 Ma e Ordovícico ~446 Ma (Neiva et al., 2009).

Tabela 2
Idades de zircões herdados dos granitos variscos G3, G4 e G8 da área de Gouveia

	Neoproterozóico	**Carbónico**	**Devónico**	**Ordovícico**	**Câmbrico**	**Paleoproterozóico**
Idades	~809 a ~550 Ma	~341 e ~349 Ma	~362 e ~380 Ma	~458 e ~484 Ma	~502 e ~535 Ma	~1.97 e ~2.06 Ga
Granitos	G3, G4 e G8	G3 e G4	G3 e G8	G3	G3 e G4	G3 e G8

Zircões datados por SHRIMP (Neiva et al., 2012).

2.3 *Origem dos granitos*

O granodiorito G1 do Ordovícico Inferior possui biotite como o único mineral máfico, mas também tem titanite e magnetite, é fracamente peraluminoso (A/CNK = 1.03) e apresenta $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ = 0.7036, εNd_T = +2.5, $\delta^{18}O$ = 8.8 ‰, sendo do tipo I e derivado da crusta ígnea inferior (Neiva et al., 2009).

Os granitos variscos são peraluminosos com A/CNK variando de 1.16 a 1.34, excepto G5 com A/CNK = 1.06, com corundo normativo ≥ 1.22 %, $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ variando de 0.7076 a 0.7174 e $\delta^{18}O$ de 10.7 a 13.4 ‰, sendo do tipo S. A maioria são estaníferos com teores de Sn de 16 a 40 ppm. Correspondem a pulsações independentes de magma granítico, derivados principalmente da fusão parcial de metassedimentos heterogéneos (metapelitos e metagrauvaques) da crusta média. Contudo, os granitos G5 e G6

definem uma série, confirmada por uma isócrona Rb-Sr de rocha total que dá a idade de 294 ± 3 Ma e $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ = 0.70768 ± 0.00078. Esta série foi também confirmada pela modelização de elementos maiores e menores dos granitos (Neiva et al., 2009).

3. ÁREA DO SABUGAL

3.1 *Geologia*

Na área de Sabugal, os granitos intruíram os metassedimentos do grupo das Beiras do Complexo Xisto-Grauváquico (Fig. 4) e produziram micaxistos e corneanas nas auréolas de metamorfismo de contacto. Nesta área distinguiram-se seis granitos variscos (Neiva et al., 2011), mas neste estudo serão apenas considerados quatro desses granitos (Fig. 4). O granito de grão médio porfiróide biotítico>moscovítico (G1) é sin- a tardi-D_3, enquanto o granito de grão médio levemente porfiróide biotítico≈moscovítico (G4) é tardi-D_3 e o granito de grão fino a médio porfiróide biotítico>moscovítico (G5) e o granito de grão grosseiro porfiróide biotítico>moscovítico (G6) são tardi- a pós-D_3. O granito G5 passa gradualmente ao granito G6. Os granitos G1 e G5 têm encraves microgranulares e todos têm xenólitos metassedimentares e encraves sobremicáceos.

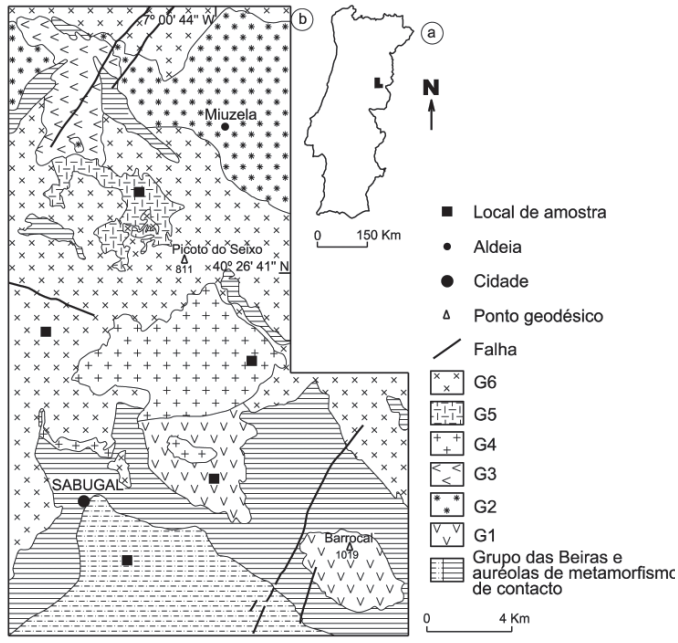


Figura 4
a. Projecção da área de Sabugal no mapa de Portugal. b. Mapa geológico simplificado da área de Sabugal. G1 – granito de grão médio porfiróide biotítico>moscovítico; G2 – granito de grão muito grosseiro porfiróide biotítico>moscovítico; G3 – granito de grão médio moscovítico>biotítico; G4 – granito de grão médio levemente porfiróide biotítico≈moscovítico; G5 – granito de grão fino a médio porfiróide biotítico>moscovítico; G6 – granito de grão grosseiro porfiróide biotítico>moscovítico. As amostras datadas estão marcadas.

3.2. *Idade e protólitos dos granitos*

Foram datados zircões e monazites dos granitos G1, G4, G5 e G6 por ID-TIMS e também zircões destes granitos por LAM-ICPMS na Universidade de Oslo, Noruega (Neiva et al., 2011; TEIXEIRA et al., 2011). Também foram obtidas as idades dos zircões detríticos de um metagrauvaque do Grupo das Beiras e feitas análises Lu-Hf dos zircões deste metagrauvaque e dos zircões ígneos dos granitos acima citados e dos zircões herdados do granito G5 por LAM-ICPMS na mesma Universidade (Teixeira et al., 2011).

Todos os granitos têm idades variscas (~309 Ma para G1 a ~300 Ma, para G5; Tabela 3). As idades de zircão ígneo obtidas por ID-TIMS são iguais, dentro do erro analítico, às idades da monazite e são mais precisas e consideravelmente inferiores às obtidas por LAM-ICPMS. Num magma granítico há diferentes impulsos com idades distintas. Deste modo, as idades obtidas por ID-TIMS deverão corresponder à idade da fase final de implantação.

Tabela 3
Idades (Ma) de zircão e monazite ígneos obtidas por ID-TIMS e de zircão ígneo determinadas por LAM-ICPMS de granitos variscos da área de Sabugal

Granitos	ID-TIMS		LAM-ICPMS
	Monazite	Zircão	Zircão
Sin- a tardi-D3			
G1	308.5 ± 2.5	309.2 ± 1.8*	318 ± 6
Tardi-D3			
G4	303.1 ± 0.5	302.9 ± 0.7*	336 ± 16
Tardi- a pós-D3			
G5	299.8 ± 0.6*	293 ± 5	311 ± 4
G6	299.1 ± 1.3	301.1 ± 2.2*	314 ± 4

Idades ID-TIMS (Neiva et al., 2011). Idades LAM-ICPMS (Teixeira et al., 2011).
* – idade considerada melhor.

Os núcleos de zircão herdados do granito G5 tardi- a pós-D_3, datados por LAM-ICPMS são do Neoproterozóico (556 a 850 Ma). Os zircões detríticos do metagrauvaque do Grupo das Beiras, datados pelo mesmo método, mostram predomínio do Neoproterozóico, especialmente do Criogeniano (636-810 Ma), mas também do Toniano (921-995 Ma e 864-982 Ma). Contudo, há alguns zircões detríticos no metagrauvaque com idades Mesoproterozóicas (1012-1142 Ma), Paleoproterozóicas (1732-2470 Ma) e Neoarcaicas (2544-2681 Ma), que não se sobrepõem às idades dos núcleos herdados de zircão do granito G5. A idade máxima de deposição dada pelos zircões detríticos do metagrauvaque é de 577 ± 12 Ma. Para além disso, os zircões ígneos do granito G5 têm em média εHf_{300} = -1, enquanto os zircões detríticos do metagrauvaque têm εHf_{300} = -25. Estas evidências sugerem que o metagrauvaque não pode ter sido um protólito deste granito, o que é ainda confirmado pelos tempos de residência crustal dos zircões herdados do granito G5 (1064-1421 Ma) que só se sobrepõem aos tempos de residência crustal mais jovens dos zircões detríticos do metagrauvaque (804-1532 Ma) (Teixeira et al., 2011).

3.3 *Origem dos granitos*

Os zircões ígneos dos granitos G1 e G4 têm intervalo negativo de εHf_t (Tabela 4). Além disso, $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ e εNd_t de 0.7100 ± 0.003 e -6.2 para o granito G1 e de 0.7088 ± 0.0002 e -5.1 para o granito G4 indicam que ambos derivam da fusão parcial de material crustal (Neiva et al., 2011). Alguns zircões ígneos de G5 e G6 têm εHf_t positivo e outros têm εHf_t negativo (Tabela 4), sugerindo mistura de um magma mantélico e um magma crustal. O granito G5 tem menores valores de $(^{87}Sr/^{86}Sr)_{300}$ = 0.7078 ± 0.0005 e maiores de εNd_{300} = -3.5 (Neiva et al., 2011) do que os metassedimentos do Grupo Dúrico Beirão $(^{87}Sr/^{86}Sr)_{300}$ = 0.7143-0.7210 e εNd_{300} = -11.3 a -8.7 (Teixeira, 2008) e $(^{87}Sr/^{86}Sr)_{300}$ = 0.7201-0.7385 e εNd_{300} = -5.3 a -3.9 (Beetsma, 1995), mas indicando origem na crusta inferior. Os granitos sin- a tardi-D_3 e tardi-D_3 desta área serão do tipo S.

Tabela 4
Algumas características isotópicas dos zircões ígneos de alguns granitos da área de Sabugal

Granitos	$^{176}Hf/^{177}Hf$	εHft	Idade $^{206}Pb/^{238}U$
G1	0.28236-0.28256	-8 a -1	318 ± 6 Ma
G4	0.28240-0.28248	-6 a -3	336 ± 16 Ma
G5	0.28235-0.28275	-8 a +6	311 ± 4 Ma
G6	0.28248-0.28270	-4 a +4	314 ± 4 Ma

Obtidas por LAM-ICPMS (Teixeira et al., 2011).

4. ÁREA DE CARRAZEDA DE ANSIÃES

4.1 *Geologia*

Na região de Carrazeda de Ansiães afloram granitos variscos (Fig. 5), mas só foi seleccionado para estudo o granito de grão grosseiro a médio porfiróide biotítico≈moscovítico G que é sin-D_3 e intruiu as rochas metassedimentares do Grupo do Douro, produzindo uma auréola de metamorfismo de contacto com micaxisto e corneana. Este granito possui encraves de tonalito. Apresenta contactos nítidos com os outros granitos variscos.

4.2 *Idade e protólito do granito*

Foram obtidas idades de zircão e monazite ígneos do granito G por ID-TIMS e também do zircão ígneo por LAM-ICPMS. Também foram obtidas as idades dos zircões detríticos de um filito clorítico do Grupo do Douro e obtidas análises Lu-Hf dos zircões deste filito e dos zircões ígneos e herdados do granito G, usando LAM-ICPMS na Universidade de Oslo, Noruega (Teixeira et al., 2011). A idade do zircão ígneo do granito G obtida por ID-TIMS U-Pb é de 320.7 ± 2.7 Ma, dada por uma discórdia, e a idade de duas fracções concordantes de monazite é de 320.5 ± 0.5 Ma, que indica a idade de cristalização (Teixeira et al., 2008).

A idade U-Pb do zircão ígneo deste granito obtida por LAM-ICPMS é de 327 ± 3 Ma. Os resultados são concordantes, mas apresentam uma dispersão de alguns milhões de anos entre a população de zircões, devido a antecristais ou núcleos herdados (TEIXEIRA et al., 2011).

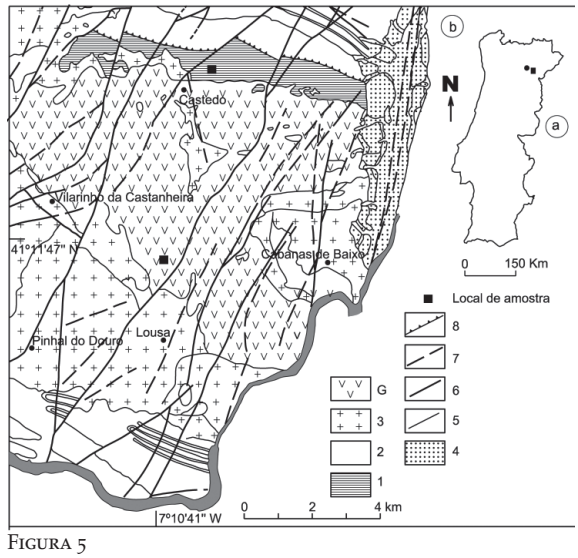


Figura 5
Localização da área de Carrazeda de Ansiães no mapa de Portugal. Mapa geológico simplificado da área de Carrazeda de Ansiães. 1 – Formação de Ervedosa do Douro; 2 – outras formações metassedimentares do Grupo do Douro; 3 – granitos variscos; G – granito de grão grosseiro a médio porfiróide biotítico≈moscovítico; 4 – depósitos sedimentares; 5 – contacto geológico; 6 – falha; 7 – falha provável; 8 – cavalgamento sin-sedimentar. As amostras datadas estão marcadas.

As idades dos núcleos herdados de zircão do granito G datados por LAM-ICPMS são do Ordovícico Inferior (477 a 478 Ma), Neoproterozóico (576 a 893 Ma), Mesoproterozóico (1333 Ma) e Paleoproterozóico (1828 a 2056 Ma), mas predominam as idades do Neoproterozóico (TEIXEIRA et al., 2011).

Nos zircões detríticos do filito clorítico da Formação de Ervedosa do Douro predominam também idades do Neoproterozóico 561-774 Ma (Ediacariano a Criogeniano) e 921-995 Ma (Toniano), mostrando sobreposição com os núcleos herdados de zircão do granito G. O resto dos zircões detríticos têm idades Mesoproterozóica (1140-1533 Ma), Paleoproterozóica (1707-2397 Ma) e Neoarcaica (2607 Ma), mostrando sobreposição parcial com os núcleos herdados mais antigos do granito G. Portanto, o filito clorítico poderá ser um protólito do granito G. As idades U-Pb dos zircões detríticos deste filito sugerem uma idade máxima de deposição de 578 ± 6 Ma (Teixeira et al., 2011). Além disso, os núcleos herdados de zircão do granito G e os zircões detríticos do filito clorítico têm idênticos valores de $^{176}Hf/^{177}Hf$, apoiando que este filito poderá ser um dos protólitos do granito G.

Há sobreposição dos tempos de residência crustal para o Hf de 1332-3083 Ma dos núcleos herdados de zircão do granito G e 1177-3484 Ma dos zircões detríticos do filito clorítico. O granito G tem idades modelo do manto empobrecido (T_{DM}) Sm-Nd de 1350-1460 Ma e de Hf do zircão ígneo de 1308-1536 Ma que estão de acordo com a idade T_{DM} de Sm-Nd do filito clorítico (1490 Ma), o que também apoiaria a possibilidade deste filito poder ser um dos protólitos envolvidos na génese do granito G (Teixeira et al., 2011).

4.3 *Origem dos granitos*

Os zircões ígneos do granito G têm um intervalo largo de εHf_t negativo (-8 a -4), indicando que o magma granítico se terá formado por fusão parcial de material crustal heterogéneo ou do magma do manto contaminado pela crusta (Teixeira et al., 2011). Os valores de $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i = 0.7124\pm0.0007$ e $\varepsilon Nd_t = -7.5$ do granito G indicam que resulta da fusão parcial de materiais metassedimentares e será um granito do tipo S (Teixeira, 2008).

5. CONCLUSÕES

Na área de Gouveia, predominam granitos variscos tardi- e pós-D_3 do tipo S, cuja maioria resultou da fusão parcial de metapelitos da crusta média. Dois granitos definem uma série de cristalização fraccionada. A maioria deles são estaníferos.

A monazite dos granitos tardi-D_3 e pós-D_3 provavelmente sofreu (re)cristalização. A (re)cristalização da monazite nos granitos tardi-D_3 terá sido provocada pelo aumento da temperatura regional causado pela implantação dos granitos pós-D_3, enquanto a (re)cristalização da monazite dos granitos pós-D_3 terá sido devida à implantação tardia de filões de aplito, pegmatito e quartzo na área.

A idade ^{39}Ar-^{40}Ar da moscovite dos granitos tardi- e pós-D_3 é igual. A idade da moscovite do granito tardi-D_3 é menor do que as idades U-Pb do zircão e da monazite (re)cristalizada, devido a perda de árgon. A idade da moscovite do granito pós-D_3 é semelhante à idade U-Th-Pb da monazite (re)cristalizada e menor do que a do zircão. A idade desta moscovite dá a idade de arrefecimento, depois da intrusão do magma granítico.

Os granitos tardi-D_3 e pós-D_3 têm zircão herdado predominante do Neoproterozóico, indicando que os protólitos metassedimentares terão sido de origem semelhante. A ausência de zircões herdados do Mesoproterozóico apontam a Gondwana como a fonte mais provável destes sedimentos.

Os granitos da área de Sabugal são variscos e as idades obtidas por ID-TIMS U-Pb são menores e mais precisas do que as obtidas por LAM-ICPMS, o que é atribuído ao facto de num magma granítico haver vários impulsos com idades distintas. Os zircões ígneos dos granitos sin- a tardi-D_3 e tardi-D_3 têm εHf_t negativo, indicando que são granitos do tipo S, o que é apoiado pelos valores $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ e εNd_t destes granitos. Alguns zircões ígneos dos dois granitos tardi- a pós-D_3 têm εHf_t negativo, mas outros têm εHf_t positivo, sugerindo envolvimento de magma crustal, mas também de magma mantélico. Contudo, $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ e εNd_t destes granitos indicam origem maioritariamente por fusão parcial de materiais metassedimentares crustais, pelo que o magma mantélico terá sido provavelmente apenas um contaminante.

Embora os zircões herdados de um granito tardi- a pós-D_3 e os zircões detríticos do metagrauvaque da área de Sabugal (Grupo das Beiras) sejam predominantemente do Neoproterozóico, há um número significativo de zircões detríticos de idade distinta da dos zircões herdados do granito. Além disso, os zircões herdados do granito e os zircões do metagrauvaque têm distintos valores de εHf_t. Portanto, o metagrauvaque não pode ter sido um protólito do granito.

O granito estudado da área de Carrazeda de Ansiães é varisco e tem 320.5 ± 0.5 Ma, datado por ID--TIMS U-Pb, mas a idade LAM-ICPMS é de 327 ± 3 Ma, devido à ocorrência de antecristais ou núcleos herdados. Os valores de $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ e εNd_t do granito indicam que é do tipo S, tendo resultado da fusão parcial de materiais metassedimentares. Os valores negativos de εHf_t de -8 a -4 apoiam esta hipótese, mas indicam que o material crustal terá sido heterogéneo.

Na área de Carrazeda de Ansiães, os zircões detríticos do filito clorítico (Grupo do Douro) têm idade U-Pb e valores εHf_t idênticos aos dos zircões herdados do granito estudado, sugerindo que este filito foi um protólito do granito. Contudo, os zircões ígneos do granito necessitam de menor valor médio de εHf_t do que o indicado pelos zircões detríticos do filito, sugerindo que o filito foi apenas contaminante do magma.

As idades U-Pb de zircões detríticos mostram que a idade máxima de deposição do metagrauvaque do Grupo das Beiras (577 Ma) e do filito clorítico do Grupo do Douro (578 Ma) é a mesma.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pelo Estado Português através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do projeto PEst-OE/CTE/UI0073/2011 do Centro de Geociências.

BIBLIOGRAFIA

Antunes, I. M. H. R., Neiva, A. M. R., Silva, M. M. V. G. and Corfu, F. (2009) – «The genesis of I- and S-type granitoid rocks of the Early Ordovician Oledo pluton, Central Iberian Zone (central Portugal)». Lithos, 111, pp. 168-185.

Beetsma, J. J. (1995) – «A late Proterozoic/Paleozoic and Hercynian crustal evolution of the Iberian Massif, N Portugal». Tese de doutoramento não publicada, Vrje Universiteit Amsterdam, 223 pp.

CORFU, F., HANCHAR, J. M., HOSKIN, P. W. O. and KINNY, P. (2003). «Atlas of Zircon Textures». In Hanchar, J. M., and Hoskin, P. W. O. (editores). Mineralogical Society of America and Geochemical Society. Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 53, pp. 469-500.

DAVIS, D. W., WILLIAMS, I. S. and KROGH, T. E. (2003). «Historical development of zircon geochronology». In Hanchar, J. M., and Hoskin, P. W. O. (editores). Mineralogical Society of America and Geochemical Society. Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 53, pp. 145-181.

Dias, R., Coke, C. e Ribeiro, A. (2006) – «Da deformação na Serra do Marão ao zonamento do autóctone da Zona Centro-Ibérica». In Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P., Kulberg, J. (editores). Geologia de Portugal no contexto da Ibéria, Universidade de Évora, Évora, pp. 35-61.

Hammes, W. E. and Bowring, S. A. (1994) – «An empirical evaluation of the argon diffusion geometry in muscovite». Earth and Planetary Science Letters, 124, pp. 161-167.

Hawkesworth, C. J. and Kemp, A. I. S. (2006) – «Using hafnium and oxygen isotopes in zircons to unravel the record of crustal evolution». Chemical Geology, 226, pp. 144-162.

KOBER, B., KALT, A., HANEL, M. and PIDGEON, R. T. (2004). «SHRIMP dating of zircons from high-grade metasediments of the Schwarzwald/SW-Germany and implications for the evolution of the Moldanubian basement». Contributions to Mineralogy and Petrology, 147, pp. 330-345.

Martínez Catalán, J. R., Fernández-Suárez, J., Meireles, C., González Clavijo, E., Belousova, E. and Saeed, A. (2008) – «U-Pb detrital zircon ages in synorogenic deposits of the NW Iberian Massif (Variscan belt): interplay of Devonian--Carboniferous sedimentation and thrust tectonics». Journal of Geological Society of London, 165, pp. 687-698.

Miller, J. S., Matzel, J. E. P., Miller, C. F., Burgess, S. D. and Miller R. B. (2007) – «Zircon growth and recycling during the assembly of large, composite arc plutons». Journal of Volcanology and Geothermal Research, 167, pp. 282-299.

Neiva, A. M. R., Silva, P. B., Corfu, F. and Ramos, J. M. F. (2011) – «Sequential melting and fractional crystallization: granites from Guarda-Sabugal area, central Portugal». Chemie der Erde, 71, pp. 227-245.

Neiva, A. M. R., Williams, I. S., Ramos, J. M. F., Gomes, M. E. P., Silva, M. M. V. G. and Antunes, I. M. H. R. (2009) – «Geochemical and isotopic constraints on the petrogenesis of Early Ordovician granodiorite and Variscan two-mica granites from the Gouveia area, central Portugal». Lithos, 111, pp. 186-202.

Neiva, A. M. R., Williams, I. S., Lima, S. M. and Teixeira, R. J. S. (2012) – «U-Pb and $^{39}Ar/^{40}Ar$ data constraining the ages of the source, emplacement and recrystallization/cooling events from late- to post-D_3 Variscan granites of the Gouveia area, central Portugal». Lithos, 153, pp. 72-83.

OLIVEIRA, J., PEREIRA, E., PIÇARRA, J., YOUNG, T. e ROMANO, M. (1992) –«O Paleozóico Inferior de Portugal: síntese da estratigrafia e da evolução paleogeográfica». In Gutiérrez Marco, J. C., Saavedra, J., Rábano, I. (editores). Paleozóico Inferior de Ibero-América, Universidad de Extremadura, Badajoz, pp. 359-375.

PEREIRA, M. F., SOLÁ, A. R., CHICHORRO, M., LOPES, L., GERDES, A. and SILVA, J. B. (2012). North-Gondwana assembly, break-up and paleogeography: U-Pb isotope evidence from detrital and igneous zircons of the Ediacaran and Cambrian rocks of SW Iberia. Gondwana Research, 22, pp. 866-881.

TEIXEIRA, R. J. S. (2008) – «Mineralogia, petrologia e geoquímica dos granitos e seus encraves da região de Carrazeda de Ansiães». Tese de doutoramento não publicada, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 430 pp.

TEIXEIRA, R. J. S., NEIVA, A. M. R., Silva, P. B., GOMES, M. E. P., ANDERSEN, T. and RAMOS, J. M. F. (2011) – «Combined U-Pb geochronology and Lu-Hf isotope systematics by LAM-ICPMS of zircons from granites and metasedimentary rocks of Carrazeda de Ansiães and Sabugal areas, Portugal, to constrain granite sources». Lithos, 125, pp. 321-334.

(Comunicação apresentada à Classe de Ciências
na sessão de 19 de julho de 2012)

Plantas medicinais: passado, presente e futuro

J.M. Toscano Rico

Na lenta evolução do conhecimento humano, mais acentuada ainda nos seus primórdios, uma das áreas que sobressai em todas as civilizações é a da saúde. Em todos os tempos e lugares os Homens sempre se preocuparam com evitar o sofrimento, curando ou prevenindo as doenças. O equilíbrio biológico do ser humano é sempre precário, sujeito a muitas perturbações e desvios, quer exógenos quer endógenos. Desde sempre se procuraram as causas, as relações das causas com os efeitos, sinais ou sintomas apresentados pelos doentes, assim como os meios para curar as doenças. Se o predomínio era dado a causas sobrenaturais recorria-se a práticas mágicas. Noutros casos procurava-se a própria natureza, com um predomínio da utilização de plantas que se foi verificando provocarem alguns efeitos sobre o ser humano. Durante séculos foi acumulado um conhecimento empírico sobre as virtudes medicinais das plantas, algumas das quais ainda hoje se utilizam, mas também de minerais e nalguns casos mesmo de animais ou dos seus produtos.

O conhecimento de que determinadas plantas provocavam alterações no equilíbrio biológico do ser humano pode assim dizer-se que é tão antigo quanto a própria humanidade. Na sua procura de alimentos os homens foram verificando que algumas plantas podiam provocar vómitos ou diarreia, outras sonolência, outras ainda estados alterados de consciência como alucinações e inclusivamente podiam provocar a morte.

Figura 1
Prescrições Médicas.

Este conhecimento foi sendo acumulado de uma forma empírica e esteve frequentemente ligado a práticas mágicas ou religiosas. Com o tempo a arte de curar divergiu em ramos autónomos, o médico e o sacerdote, embora tenham existido diversas tentativas para reparar esta dicotomia que actualmente se designam de uma forma geral como Medicina Holística.

A separação da Medicina da Religião e da Superstição deveu-se a um acumular sistematizado de elementos, primeiro empíricos, mais tarde experimentais e reprodutíveis, passíveis de uma análise quantitativa e estatísticamente validada, conduzindo ao actual espírito científico que norteia a investigação e permite o avanço e o aprofundamento dos conhecimentos tal como hoje os encontramos.

O conhecimento empírico foi sendo compilado ao longo dos séculos desde o desenvolvimento da escrita. Aparecem referências a plantas com propriedades medicinais em escrita cuneiforme já 3000 anos antes de Cristo (Fig.1, Fig.2), assim como no Pen T'Sao-Sing do tempo do lendário imperador chinês Shen Nung (2700 AC) embora o documento tenha sido escrito mais tarde, assim como nos livros sagrados da Índia, os Vedas.

Figura 2
Medicina na Mesopotâmia.

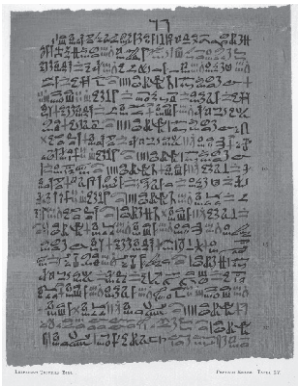


Figura 3
Papiro de Ebers.

Figura 4
Dioscorides.

O célebre papiro de Ebers (1550 AC), rolo com 20 metros de comprimento em escrita demótica, contém material muito mais antigo, possivelmente desde 3400 AC. Inclui mais de 800 prescrições, para além de receitas mágicas (Fig.3). Já existem referências ao óleo de rícino como purgativo e também como loção capilar contra a calvície, assim como à papoila para induzir o sono. Contem referências a numerosas outras espécies como o áloes, centeio, fava, cedro, alho, linho, hortelã-pimenta, entre outras.

A arte médica foi desenvolvida na Grécia por Hipocrates (460-370 AC) mas este preocupou-se sobretudo com as causas das doenças. O original grego perdeu-se e só conhecemos a sua obra pelas traduções árabes que chegaram aos nossos dias.

Na Grécia, Theophartes Diocles de Eresus (372-287 AC) que foi aluno e sucessor de Aristóteles no Lyceum já apresenta uma descrição sistemática de plantas, dos seus efeitos e da sua preparação.

No entanto uma das personalidades mais importante pela influência que exerceu ao longo dos séculos foi Pedanius Dioscorides (20-70 DC) de Anazarba, cidade no sueste da actual Turquia a algumas dezenas de quilómetros a nordeste de Tarso. Compilou um enorme tratado com mais de 500 plantas medicinais a que chamou *De Materia Medica* (Fig.4), termo que permaneceu até ao final do Século XIX em que foi suplantado pelo de Farmacologia, tendo o estudo das plantas medicinais passado a ser designado como Farmacognósia. Muitas das plantas e das receitas descritas por Dioscorides foram utilizadas até ao Século XX. Foi uma obra com uma enorme difusão, com numerosos comentários, muitos deles ao longo do mundo árabe, e objecto de numerosas impressões a partir do Século XVI.

Outros dos Autores da Antiguidade que trataram de plantas medicinais não o fizeram com um objectivo directo de aplicação médica mas antes como conhecimento do mundo natural, como sucede com a *Historia Naturalis* de Plínio "O Velho".

Galeno (c131-c200 DC) procurou conjugar, sistematizar e harmonizar num corpo único muitas das doutrinas médicas da antiguidade. Fundamenta a patologia nos quatro humores de Hipócrates. O sangue forma-se no fígado e alimenta todo o corpo. A bílis assegura uma boa irrigação e é expulsa com os produtos de refugo. A atrabilis é responsável por uma boa digestão e deve ser parcialmente eliminada de modo a depurar o sangue. A pituíta caracteriza a função cerebral e contém os seus produtos descartáveis. As doenças dever-se-iam ao desequilíbrio entre estes humores com um anormal predomínio de uns sobre os outros. Foi uma personalidade e uma obra cuja influência perdurou pelo tempo, orientando não só o ensino como a prática médica na Europa até ao século XVIII.

Devem-se a Galeno numerosos preparados farmacêuticos que se mantiveram nas farmacopeias dos diversos países europeus tais como emplastros, unguentos, bálsamos, etc.

Um dos Autores antigos que ficou consagrado pela sua obra foi Oribasio de Pérgamo (325-403 DC). Conterrâneo de Galeno, Oribasio foi médico e conselheiro do Imperador Juliano "O Apóstata". Compilou quase 500 plantas na sua *Sinagogae Medicae* composta por 70 livros dos quais só 20 chegaram aos nossos dias.

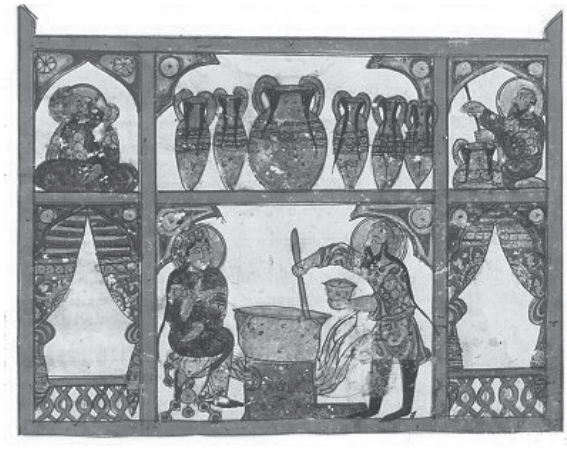


Figura 5
Preparação de Medicamentos.

No decurso da Idade Média, sobretudo no seu início, sobressaem os Autores árabes e persas com especial relevo para Avicena, Averroes e Razes. Avicena (980-1037 DC) é a designação latina de Abu Ali al-Hussein ibn Abd-Allah ibn Sina. Influenciou a Medicina e o seu ensino universitário até ao século XVII pelo *Canon* que escreveu. Esta obra compreende 5 livros sendo o segundo *De Materia Medica* e o quinto *Drogas compostas* (Fig. 5). Para além de dados obtidos de Dioscorides juntou muita informação sobre plantas medicinais provinda dos persas, árabes, indianos e gregos. Preocupou-se não só com o reconhecimento das plantas mas também com a forma de as conservar e com as indicações para o seu uso terapêutico.

No decurso da Idade Média outros Autores escreveram sobre plantas medicinais embora sem a extensão e a profundidade destes. Salientam-se no entanto duas figuras. Uma delas é uma das figuras femininas mais notáveis do seu tempo, também na Filosofia, Hildegard von Bingen (1098-1179 DC) (Fig. 6). Sobre temas ligados à saúde Hildegard escreveu o *Liber subtilitatum diversarum naturarum creaturarum*, (Livro das propriedades – ou sutilezas – das várias criaturas da natureza), dividido em Physica (*Liber*

Figura 6
Hildegard von Bingen.

	Nº	%
Dioscorides	281	26,3 %
Experimentator	244	22.8 %
Constantinus	120	11,2 %
Galenus	108	10,1 %
Gilbertus	92	8,6 %
Avicena	88	8,2 %
Macer	58	5,4 %
Circa Instans	58	5,4 %
Kiranus	55	5,1 %
Sixtus	39	3,6 %

Figura 7
Autores citados no *Thesaurus Pauperum* e no *Tratactus de febrirus.*

Figura 8
Escola de Salerno.

Figura 9
Farmácia Medieval.

Figura 10
Mandrágora.

simplices medicinae) (Física – Livro dos simples da medicina) e Causae et curae (*Liber compositae medicinae*) (Causas e curas – Livro da medicina complexa). Estava familiarizada com a medicina de Galeno, de Hipócrates, as práticas árabes e o curandeirismo tradicional alemão.

A segunda figura é Pedro Hispano que, nascido em Portugal, veio a ser Papa com o nome de João XXI. Corria a segunda década do Século XIII reinando em Portugal D. Sancho II quando nasceu na Freguesia de S. Julião em Lisboa um menino filho de um médico, Julião Rebelo de seu nome, e de Teresa Gil. Foi-lhe posto o nome de Pedro Julião. também conhecido por Pedro Hispano, ou como a si próprio se designava Petrus Hispanus Portugalensis.

Com uma obra filosófica enorme, justamente celebrada pelas regras da lógica, o seu *Thesaurus Pauperum* contém um manancial dos conhecimentos da época sobre plantas medicinais e terapêutica medicamentosa. Não sendo um trabalho original nesta matéria, compilou os conhecimentos existentes na época referenciando os Autores das receitas apresentadas, pelo que já tem neste campo um aspecto de modernidade (fig.7).

Figura 11
Mandrágora.

Figura 12
Apanha de víboras.

Muitos dos trabalhos da antiguidade e da medicina árabe conservaram-se na Escola Médica de Salerno (Fig.8), no sul da Itália, onde se realizaram numerosas traduções dos Autores árabes e que teve uma grande notoriedade nos séculos XII e XIII e onde uma das figuras proeminentes foi Constantino "O Africano".

Ao longo de toda a Idade Média, dada a falta de conhecimentos médicos fundamentais, a Medicina teve uma forte influência filosófica e orientou-se pelos escritos de Hipócrates, os célebres "Aforismas", e de Galeno e a sua teoria dos humores. Na ausência de conhecimentos mais precisos as plantas eram classificadas com base nos efeitos que provocavam, na tentativa de reduzir ou contrariar os desvios provocados pelas doenças (Fig.196, Fig.197, Fig.198). Utilizavam-se assim misturas de algumas dezenas de plantas, eventualmente associadas a cabeças de víbora (Fig.199), misturas estas que eram designadas por teríagas. Pedro Hispano no seu *Thesaurus Pauperum* refere uma teríaga major e uma teríaga minor.

No século XVI podemos referir duas figuras notáveis. Uma é portuguesa, Garcia de Orta, que viveu muitos anos em Goa onde publicou em 1562 o seu único livro *Colóquios dos Simples e Drogas e Cousas Medicinais da Índia e assim de algumas frutas achadas nella onde se tratam algumas cousas tocantes à Medicina Prática e outras cousas boas de saber*, livro este que trouxe para a Europa o conhecimento de numerosas plantas orientais. Algumas delas são reconhecíveis pelos seus nomes comuns, noutros casos este reconhecimento é mais difícil como sucede com o Pau de Cobra, possivelmente uma trepadeira como é a *Rauwolphia serpentina* usada na medicina tradicional hindu e de onde, já nos anos 40 do século XX foi extraída a reserpina, o primeiro composto usado na terapêutica da esquizofrenia e que permitiu pela primeira vez reduzir drasticamente os internamentos em hospitais psiquiátricos. Os *Colóquios* para além do seu interesse apresentam também uma quantidade enorme de dados sobre a nossa presença na Índia desde aspectos sociais até a campanhas militares. Seguindo o modelo de muitos dos repositórios, herdeiros de toda uma tradição do mundo antigo, o livro consiste num diálogo estabelecido entre o Autor e um interlocutor hipotético, chamado Ruano. Este personagem representa a figura do escolástico de épocas anteriores, conhecedor erudito de todos os Autores clássicos, citando-os a propósito das diversas plantas e das suas aplicações, e em contraponto dando oportunidade a Garcia de Orta para apresentar as suas observações directas. No entanto Ruano evidencia já uma curiosidade, uma ausência de dogmatismo e uma abertura de espírito típicas de toda uma evolução histórica. No texto referem-se 51 Autores admitindo-se que Garcia de Orta tivesse acesso a pelo menos 22 obras dada a extensão e o pormenor das citações. É de salientar que Garcia de Orta tem a primeira referência conhecida à ética do estudo de medicamentos no ser humano. No diálogo sobre a Datura, (Fig.13) planta reconhecidamente tóxica desde a antiguidade, ao perguntar-lhe Ruano se "*Já o deste a um vosso negro ou negra?*" teve como resposta "*Não porque não me conformei com a minha consciência fazê-lo*".

Figura 13
Datura stramonio, Cristóvão da Costa (1578).

A segunda figura é Phillipus Aureolus Theophrastus Bombastus von Hohenheim, também conhecido como Paracelso (Fig.14). Nascido na Suíça em 1493 faleceu em 1541. Personalidade complexa, com algo de médico, de alquimista, de místico, no âmbito que nos propusemos desenvolver é conhecido por se ter pronunciado contra as misturas complexas de plantas defendendo que o importante era extrair os princípios activos nelas existentes, evidenciando assim um espírito de modernidade raro na época.

Figura 14
Paracelso.

No século XVII a Medicina dividiu-se em dois ramos. Um deles que foi o principal e ainda hoje norteia a prática clínica, designou-se como Medicina Alopática em que o tratamento visa contrariar os desvios provocados pela doença e assim reequilibrar o funcionamento do organismo. Usavam-se assim plantas com efeitos

opostos aos sintomas apresentados pelo doente, ainda dentro do conceito dos humores desenvolvido com base nas doutrinas de Galeno. O segundo ramo, pelo contrário propunha o emprego de plantas com efeitos análogos aos da doença em causa, mas em doses ínfimas. Ficou conhecida como Medicina Homeopática que ainda perdura nalgumas regiões mas que nunca teve a difusão e a importância da anterior, até porque lhe falta a base científica e racional que permitiu o progresso alcançado até aos nossos dias.

Só mais uma referência histórica a William Withering (1741-1799) que descobriu, um pouco por acaso, que a dedaleira (*Digitalis purpurea*) melhorava doentes com um quadro de insuficiência cardíaca. Esteve em Portugal onde a Digitalis é uma planta expontânea e ainda hoje os seus princípios activos são utilizados na terapêutica humana.

Foi só a partir dos meados do século XIX com os progressos no campo da Química e da Biologia que se começaram a utilizar medicamentos extraídos das plantas medicinais. Inicialmente foram aplicados os princípios activos extraídos das plantas e só bastante mais tarde, com os avanços da Química de Síntese se obtiveram compostos que nada tinham que ver com os produzidos pela natureza a não ser, por vezes, a semelhança da composição química sobretudo nos compostos semi-sintéticos. Um dos primeiros princípios activos obtidos no estado puro foi a Morfina, extraída do ópio em 1804 por Friedrich Wilhelm Sertürner. O farmacêutico Mein isolou a atropina que existe nas plantas da família das solanáceas como a *Atropa belladonna*, a *Mandrágora officinarum* e outras em 1831.

Simultaneamente os progressos na Biologia iniciados com os trabalhos de Claude Bernard em Paris em meados do século XIX deram um contributo fundamental para o progresso da Ciência. Pela primeira vez, na sequência de um raciocínio científico e de uma experimentação muito bem delineada e que ainda hoje são exemplares, Claude Bernard demonstrou o local de actuação de um composto de origem vegetal, o curare, extraído de pontas de flechas utilizadas pelos índios da floresta amazónica. Este veneno provoca uma paralisia dos animais não afectando nem os nervos nem os músculos mas actuando entre o nervo e o músculo. Estas experiências deram início à moderna Farmacologia e às suas bases experimentais, e com ela à actual terapêutica medicamentosa.

Durante séculos os médicos eram obrigados a conhecer as plantas que utilizavam, a colhê-las no campo e a manipulá-las até à forma final que era administrada ao doente. Com o tempo esta manipulação passou a ser do domínio do Farmacêutico originando uma profissão com características próprias e uma crescente complexidade.

Não existindo de início um estudo e uma classificação sitemática das plantas, o seu reconhecimento era empírico por vezes baseado nas descrições de Autores antigos. Só depois dos trabalhos de Carl Linnaeus (1707-1778) e da sua obra monumental *Systema Naturae* é que se passou a utilizar um sistema lógico e consistente de classificação e reconhecimento das plantas.

Iniciamos esta parte do trabalho por algumas definições e referiremos em seguida a algumas das plantas ainda em uso na terapêutica humana.

Por fármaco entende-se toda e qualquer substância com uma composição química definida que, por qualquer mecanismo, é capaz de modificar a actividade de células, de órgãos ou de sistemas do organismo humano ou animal. Excluem-se assim desta definição misturas indeterminadas como sucede com extractos vegetais, embora estes possam exercer efeitos diversos, e por vezes benéficos, no organismo. No entanto estas misturas não são susceptíveis de uma investigação precisa permitindo tirar conclusões

seguras quanto aos seus possíveis benefícios, para além das proporções relativas dos diversos componentes poderem variar de amostra para amostra o que dificulta ainda mais um estudo rigoroso.

Deste universo muito extenso, apenas alguns compostos são utilizados no tratamento das doenças. São estes que recebem a designação de medicamentos. Segundo a legislação vigente (Dec. Lei 2/91 de 8 de Fevereiro) "Medicamento é toda a substância ou composição que possua propriedades curativas ou preventivas das doenças ou dos seus sintomas, do Homem ou do animal, com vista a estabelecer um diagnóstico médico ou a restaurar, corrigir ou modificar as suas funções orgânicas".

Esta definição introduz não só o conceito da prevenção das doenças mas também as outras duas finalidades em que os medicamentos são correntemente utilizados.

Por um lado os medicamentos aplicam-se com uma finalidade puramente sintomática, aliviando os sintomas referidos pelo doente mas sem tratar a causa que os originou. Por exemplo, os analgésicos diminuem a dor independentemente da sua causa, ou os antipiréticos que diminuem a temperatura corporal qualquer que seja a causa da febre. Por outro lado os medicamentos podem aplicar-se curativamente, dirigindo-se à causa primeira da doença, como sucede por exemplo com o emprego dos antibióticos no tratamento das infecções.

Toda a investigação moderna sobre os novos medicamentos procura encontrar compostos específicos para cada uma das doenças com o objectivo final de personalizar o mais possível a terapêutica medicamentosa. No entanto, muitos dos medicamentos actualmente existentes não são tão electivos como se poderia desejar e, com frequência, actuam em diversos locais do organismo para além dos procurados do ponto de vista terapêutico, provocando efeitos indesejáveis. Estes são assim designados como efeitos acessórios dos medicamentos. Esta multiplicidade de pontos de acção pode por vezes ser utilizada com fins terapêuticos em que nalgumas situações se procuram alguns destes efeitos sendo os outros considerados como acessórios, enquanto que noutros casos são estes os procurados sendo os primeiros considerados como acessórios.

Por vezes podem ainda surgir consequências dos efeitos acessórios que são designadas como efeitos secundários. É o que pode suceder, por exemplo, no decurso da administração de antibióticos de largo espectro porque abrangem numerosas estirpes de microorganismos. Estes compostos são utilizados no tratamento de infecções, em geral causadas por uma única bactéria. No entanto, um dos efeitos acessórios possível é a destruição da flora bacteriana normal existente à superfície das mucosas. Um dos efeitos secundários que pode surgir é a superinfecção por outros microorganismos, bactérias ou fungos, resistentes ao antibiótico utilizado.

Voltando ao estudo dos medicamentos, estes podem ter três tipos de origem (Fig.15). Nalguns casos são compostos naturais, em geral extraídos de plantas, noutros casos produzidos por microorganismos. Conhecidas as estruturas químicas podem produzir-se compostos semi-sintéticos procurando substâncias com mais vantagens ou menos inconvenientes que os produtos naturais iniciais.

Figura 15
Origem dos Medicamentos.

Como exemplo pode dar-se a Penicilina. O composto inicial, a Penicilina G, é produzido por um fungo, o *Penicilium notatum*. Durante muitos anos foi o único composto utilizado, mas como é destruído muito rapidamente em meio ácido, não podia ser administrado por via digestiva, obrigando a injectá-lo cada três horas com o consequente desconforto para o doente e acréscimo de trabalho para os profissionais de saúde. Por outro lado numerosas estirpes bacterianas são resistentes à Penicilina G porque produzem enzimas que a destroem muito rapidamente. O aparecimento de compostos semi-sintéticos seguiu assim duas vias. Por um lado tentar obter substâncias que fossem absorvidas mais lentamente, funcionando como reservatórios da Penicilina, libertando-a ao longo de um período mais longo de tempo, é o caso da Procaina-penicilina ou a Benzatina-penicilina, administradas respectivamente uma vez ao dia ou uma vez por mês. Por outro lado tentou-se encontar compostos que fossem resistentes às beta--lactamases, os enzimas responsáveis pela destruição da Penicilina, como acontece com a Carbenicilina, e finalmente obter substâncias resistentes ao ácido gástrico podendo ser administradas por via oral. Um dos exemplos é a Amoxicilina.

Mais recentemente os conhecimentos da química de síntese permitiram obter a maior parte dos medicamentos hoje utilizados, inclusivamente prevendo quais as estruturas químicas que serão mais adequadas para os efeitos terapêuticos desejados. Esta síntese química procura substâncias com uma analogia com outras já conhecidas como eficazes. Outras vezes parte do conhecimento dos locais de acção, até já a nível da estrutura molecular tridimensional das células onde os compostos exógenos se vão fixar para provocar os efeitos pretendidos. O objectivo tem sido sempre encontrar medicamentos cada vez mais específicos, mais activos, e com menos probabilidade de provocar efeitos indesejáveis.

Finalmente uma outra origem dos medicamentos é biotecnológica. Por manipulação do genoma de microorganismos, leveduras ou bactérias, é possível induzir a síntese de compostos que lhes são totalmente alheios como a insulina, factores de coagulação do sangue ou hormonas.

Um novo medicamento pode assim surgir de diversas maneiras. Nalguns casos a partir de uma observação fortuita de um investigador atento. Foi o caso da Penicilina por Flemming e que deu origem a todo o desenvolvimento dos modernos antibióticos. Noutros casos foi a partir de estruturas químicas já conhecidas, como sucedeu com os corantes no início do século XX que deram origem às sulfamidas e, mais tarde, a partir de alguns dos seus efeitos acessórios, aos antidiabéticos orais e a alguns diuréticos.

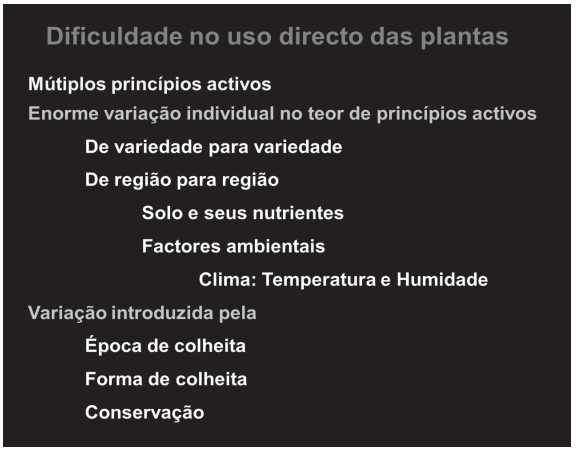


Figura 16
Dificuldade no uso directo das plantas.

Noutros casos é a partir do conhecimento da estrutura dos receptores, dos pontos de fixação dos medicamentos nas células, ou nos enzimas, que se podem desenhar e modelar no computador moléculas novas e só depois procurar sintetizá-las.

Finalmente, com base no conhecimento da estrutura genética responsável pela produção de uma determinada molécula, é possível modificar o genoma de um microorganismo e provocar assim a sua produção.

A necessidade de determinar não só a segurança como também a eficácia de um medicamento

implica toda uma série de investigações não só laboratoriais como também clínicas. Esta multiplicidade de estudos e a sua complexidade podem demorar por vezes dez anos para obter um máximo de garantia de êxito terapêutico com um mínimo de risco para os doentes.

Neste âmbito surgem diversas dificuldades com as plantas medicinais utilizadas directamente. Em primeiro lugar elas não têm apenas um princípio activo. Na maior parte dos casos os compostos biologicamente activos são produtos do metabolismo da planta, por vezes produtos intermediários na síntese de outros que a planta necessita e estão presentes em proporções variáveis. Assim o teor de substância activa pode ser diferente não só de planta para planta como de região para região, dependendo do clima, da sua temperatura e humidade, do solo e dos nutrientes que dele a planta pode extrair, e de todos os restantes factores ambientais que a rodeiam. Para além desta variabilidade, a forma de colher e conservar as plantas pode também influenciar profundamente o teor em compostos activos presentes, dado que muitos compostos se degradam em presença do oxigénio do ar não podendo ser substituidos por novas moléculas dado que a planta está morta (Fig.16).

Apesar destas dificuldades continuam a estudar-se plantas com fins medicinais, procurando novas moléculas, continuam a utilizar-se substâncias extraídas das plantas, sobretudo compostos com uma estrutura química complexa que seja muito difícil ou oneroso sintetizar.

A título de exemplo e a terminar daria alguns exemplos de plantas ainda hoje utilizadas pelos princípios activos que delas se extraem.

De entre muitas plantas que foram utilizadas pelos seus efeitos, podemos agrupar algumas pelo local onde actuam os seus princípios activos e pelo tipo de efeitos que provocam.

Assim, num primeiro grupo, podemos incluir plantas com princípios activos que actuam predominantemente no Sistema Nervoso Central como é o caso da morfina, extraída da *Papaver somniferum* e a cocaína obtida da *Erytroxylon coca*.

A *Papaver somniferum* (Fig.17) é uma das plantas conhecidas e utilizadas há mais tempo. O suco obtido das suas cápsulas, depois de seco, é o ópio e dele se extrai a morfina, o seu principal acaloide. No entanto, a morfina pelos seus efeitos sobre o Sistema Nervoso Central e pelo risco de provocar uma forte toxicodependência física e psíquica, é o princípio activo mais importante. É um analgésico potente no tratamento da dor, embora tenha efeitos também na esfera psíquica e como depressor do centro respiratório, que pode levar à morte em doses elevadas. Ao longo dos anos propuseram-se numeroso sucedâneos sintéticos procurando subtâncias que não tivessem o mesmo risco de toxicodependência mas todos mostraram o mesmo perigo. A morfina continua a ser utilizada clinicamente como analgésico. Para além da morfina o ópio contém outros alcaloides, um deles é a papaverina que continua a ser utilizada como relaxante do músculo liso no tratamento de cólicas.

Figura 17
Paperver somniferum.

Figura 18
Erytroxylon coca.

Figura 19
Cofea arabica.

Ainda neste grupo, mas agora com efeitos opostos, estimulantes do Sistema Nervoso Central, podemos incluir a *Erytroxylon coca* (Fig.18) e o seu alcaloide, a cocaína. A planta é um arbusto originário dos Andes, na América do Sul, cujas folhas já desde tempos imemoriais eram mascadas pelos indígenas pelos seus efeitos estimulantes que diminuiam o cansaço das longas caminhadas na montanha transportando pesadas cargas. A cocaína utilizou-se inicialmente como anestésico local em aplicação tópica, e foi-o durante muitos anos sobretudo em otorrino--laringologia. Com o tempo verificou-se que provocava também uma estimulação central muito intensa e que tinha o risco de desencadear uma forte toxicodependência psíquica. Com o aparecimento de antésicos locais sintéticos sem este risco de acção sobre o Sistema Nervoso Central, a cocaína deixou de ser utilizada em Medicina e actualmente só tem importância toxicológica pelo seu consumo pelos toxicodependentes procurando a euforia que provoca. A cocaína actua por bloquear a recaptação de catecolaminas nas terminações nervosas adrenérgicas quer no Sistema Nervoso Central quer nas periféricas, ficando estes neuromediadores em maior concentração junto dos receptores dos órgãos efectores e assim potenciando os seus efeitos. Explicam-se deste modo não só a euforia, a agitação psicomotora podendo chegar a alucinações e a convulsões, e o aumento da pressão arterial.

Ainda dentro deste tipo genérico de acção estimulante sobre o Sistema Nervoso Central referiria apenas um grupo de plantas mais utilizadas pelo Homem, tipicamente a *Cofea arabica* (Fig.19). O seu princípio activo, a cafeína, é a trimetilxantina e possui propriedades estimulantes do Sistema Nervoso Central. É curioso também que todas as plantas que contêm cafeína são consumidas em todas as latitudes, como a *Camelia sinensis*, o chá, no Oriente, o *Ilex paraguaiensis*, o chá mate na Patagónia e a *Cola acuminata*, a noz de cola, em África.

Num segundo grupo podemos incluir as plantas com princípios activos que actuam perifericamente sobre o Sistema Nervoso Simpático e sobre o Parasimpático.

Já falamos da potenciação dos efeitos simpáticos exercida pela cocaína ao bloquear a recaptação da noradrenalina nas terminações nervosas adrenérgicas, responsável pelo aumento da pressão arterial.

Um composto que estimula as respostas periféricas do Sistema Nervoso Simpático, quer provocando uma libertação do neurotransmissor, a noradrenalina, quer actuando directamente sobre os seus receptores é a efedrina, presente em numerosas espécies do género *Ephedra*, existentes no oriente e aí utilizadas na medicina tradicional. Actualmente ainda é empregue como vasoconstritor nasal.

Um efeito inverso é provocado pelo principal alcaloide de uma planta, a *Rawvolfia serpentina* (Fig.20), a reserpina. Este composto impede o armazenamento das catecolaminas e da serotonina nas terminações nervosas, tanto no Sistema Nervoso Central como sobretudo perifericamente no Sistema Nervoso

Simpático. Leva assim a uma deplecção destes neuromediadores e subsequentemente a uma diminuição da transmissão nervosa. As consequências são assim uma diminuição da pressão arterial, e no Sistema Nervoso Central um potente efeito anti-psicótico. Actualmente a reserpina é sobretudo utilizada como uma ferramenta farmacológica para estudar os mecanismos envolvidos na neurotransmissão, dado que os conhecimentos que ela permitiu obter levaram à síntese de compostos mais electivos e eficazes como anti-hipertensores e como anti-psicóticos e com menos acções acessórias.

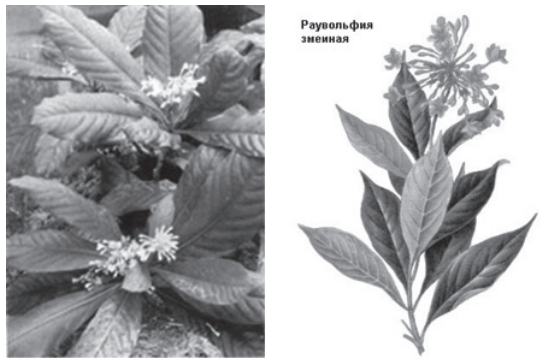


Figura 20
Rawolfia serpentina..

Sobre o Sistema Nervoso Parasimpático também podemos considerar um grupo de plantas com princípios activos que o estimulam, quer directa quer indirectamente. O alcaloide do *Pilocarpus jaborandi*, planta originária da América do Sul, é a pilocarpina. Estimula directamente os receptores chamados muscarínicos do neuro mediador fisiológico, a acetilcolina, provocando um aumento da salivação, da sudação, e uma contracção da pupila acompanhada de uma diminuição da pressão intra-ocular. Foi em tempos utilizada nos doentes com insuficiência renal para procurar eliminar pelo suor compostos que o rim não estava a excretar. Actualmente é utilizada directamente sobre o globo ocular para diminuir a pressão intra-ocular nos casos de glaucoma.

Um outro composto vegetal que estimula directamente os receptores muscarínicos da acetilcolina é a arecolina, existente nas sementes da *Areca catechu* (Fig.21). Estas chamadas nozes de areca são o principal componente do betel, mascado em todo o continente indiano e no extremo oriente. A arecolina provoca um aumento da salivação e da sudação. Este efeito chamado diaforético pode ser agradável em climas muito quentes.

Um aumento da resposta do Sistema Nervoso Parassimpático pode ser determinado indirectamente pelo alcaloide do *Physostigma venenosum* (Fig.22), também conhecido por Fava do Calabar. A planta era tradicionalmente utilizada como forma de julgamento em várias regiões da costa ocidental da África, sendo os acusados obrigados a ingerir uma preparação feita com ela, acreditando-se que se estivessem inocentes sobreviveriam. O princípio activo é a fisostigmina que bloqueia a acetilcolinesterase, enzima que destroi a acetilcolina. Os efeitos deste neurotransmissor são assim potenciados, embora a fisostigmina não provoque nenhum efeito directo sobre o organismo. A sua única aplicação actual é no tratamento do glaucoma.

Figura 21
Areca catechu.

Figura 22
Chodrodendron tomentosum.

Inversamente, existem numerosas espécies vegetais com propriedades opostas, contendo alcaloides que bloqueiam

Figura 23
Atropa belladona.

os receptores muscarínicos da acetilcolina. A maior parte delas pertencem ao grupo das solanáceas. Uma das conhecidas há mais tempo é a *Mandragora officinarum* que durante séculos se julgou ter virtudes mágicas porque a sua raiz tuberosa por vezes tem um aspecto antropomórfico. Era usada nos sabaths das bruxas durante a Idade Média para provocar estados alucinatórios. Outra das plantas é a *Datura stramonium,* também conhecida como Figueira do Inferno, que existe espontaneamente em Portugal tal como a planta principal deste grupo, a *Atropa belladona* (Fig.23). O princípio activo de todas estas solanáceas é a atropina que bloqueia especificamente os receptores muscarínicos da acetilcolina e impede assim as respostas ao Sistema Nervoso Parasimpático. Um outro composto com uma estrutura química parecida e efeitos análogos é a escopolamina existente na *Scopolia carniolica.* Estes compostos, pelo seu mecanismo de acção foram durante muito tempo utilizados, por exemplo, para diminuir a secreção gástrica ou no tratamento da asma, embora tenham nestas duas aplicações sido suplantados por substâncias sintéticas mais específicas e melhor toleradas. São ainda utilizados para tratar cólicas e, em aplicação tópica sobre o globo ocular, para dilatar a pupila no decurso de exames oftalmológicos. Empregam-se também na terapêutica humana compostos sintéticos com uma estrutura química análoga.

Ainda em relação com a acetilcolina como neurotransmissor, mas agora ao nível dos músculos voluntários e actuando sobre os seus receptores nicotínicos, o *Condodendron tomentosum* e a *Strychnus toxifera* (Fig.211) existentes na região amazónica foram utilizados pelos indígenas para envenenar as flechas que utilizavam na caça e na guerra. O veneno tinha o nome de curare e provocava a paralisia dos animais e dos homens atingidos. Foi com o curare que o investigador francês Claude Bernard conseguiu pela primeira vez determinar o ponto de acção de um fármaco e, com as suas experiências, abrir todo o campo à moderna investigação farmacológica. O princípio activo mais importante do curare é a tubocurarina que, tal como a atropina para os receptores muscarínicos, bloqueia especificamente os receptores nicotínicos existentes nos músculos voluntários. É assim utilizada no decurso de intervenções cirúrgicas para obter um relaxamento muscular sem ser necessário deprimir muito o Sistema Nervoso Central com o anestésico utilizado.

Figura 24
Strychnus toxifera.

Figura 25
Digitalis Purpurea.

Outras plantas possuem princípios activos que actuam nos diversos órgãos e sistemas sem ser por intermédio dos neurotransmissores. Como exemplo podemos referir a *Digitalis purpurea*, (Fig.25) a *Digitalis lanata* e a *Strophantus yoimbe*. São

plantas que contêm diversos princípios activos com um mecanismo de acção análogo ao nível do músculo cardíaco. O efeito mais importante, e utilizado medicamente, é um aumento da força de contracção que leva a um aumento do débito cardíaco nos doentes com insuficiência cardíaca congestiva. Os princípios activos mais importantes são a digitoxina, a digoxina e a uabaina. Actuam por aumentar a concentração intracelular de cálcio no músculo cardíaco e, por ela, aumentar a força desenvolvida. Estas plantas têm também um interesse histórico porque Withering as descreveu no Séc. XVIII.

Figura 26
Vinca rosea.

Figura 27
Taxus bacata.

Mais modernamente descobriram-se outras espécies vegetais com princípios activos que interferem na divisão celular e que, por isso, têm vindo a ser utilizados no tratamento de neoplasias. Uma destas plantas é a *Vinca rosea* (Fig.26) que contém a vincristina e a vimblastina. Estas substâncias ligam-se à tubulina impedindo a sua polimerização e deste modo bloqueiam a formação dos microtubulos na célula, estruturas essenciais para deslocar os cromosomas durante a mitose. A divisão celular pára na metafase levando à morte celular. Aqueles compostos são utilizados no tratamento de leucémias e de linfomasassim como de alguns tumores sólidos.

Outra planta é comum nos jardins, o *Taxus bacata* (Fig.27). O seu principal princípio activo é o paclitaxel que exerce um efeito antimitótico por promover a formação de microtubulos mas de uma forma anárquica, aparecendo estruturas aberrantes que interferem com o normal funcionamento da célula. Tem sido utilizada no tratamento de tumores da glandula mamária e do ovário.

O *Podophylum peltatum* era usado pelos indígenas da América do Norte com fins eméticos e purgativos. O princípio activo é a podofilotoxina. Pára a divisão celular. Actualmente só se usam derivados semi-sintéticos.

Uma outra planta, o *Colchicum autonale* é a fonte da colchicina, ainda utilizada como anti-inflamatório no tratamento de certos casos de gota. Este efeito só se verifica na gota e tem sido atribuido a uma diminuição da mobilidade e da fagocitose dos leucocitos, possivelmente por interferir com a polimerização dos microtubulos envolvidos nestas actividades. Param assim a divisão celular na metafase da mitose. Este efeito tem sido também aplicado em botânica para obter células com um maior número de cromossomas e portanto com uma possibilidade de produzirem mais.

A *Cinchona officinalis* (Fig.28), embora a sua utilização tenha diminuido com o aparecimento dos antimaláricos de síntese, continua a ter uma utilidade nesta doença por não existirem formas do plasmódio resistentes à acção do seu princípio activo, a quinina. Este composto também tem um gosto intensamente amargo pelo que foi utilizado como estimulante do apetite nos chamados vinhos quinados e no início da água tónica. A Cinchona foi uma

Figura 28
Cinchona officinalis.

Figura 29
Ricinus communis.

planta também estudada entre nós por um Académico, Bernardino António Gomes, que em 1812 apresentou nesta sala um trabalho sobre o isolamento da cinchonina, um outro alcaloide da planta. Só não ficou imortalizado por esta descoberta porque o composto nunca chegou a ser utilizado clinicamente e só a quinina teve um assinalável sucesso.

Três outras plantas são utilizadas como purgante, todas conhecidas desde há séculos dado que este tipo de terapêutica é das mais antigas registadas na história da Medicina. A *Cassia angustifolia*, a *Rhamnus purshiana* e o *Ricinus communis* (Fig.29). A *Cassia angustifolia* é conhecida também com o nome de "sene". A *Rhamnus purshiana* também é utilizada há muito tempo com o nome de "cáscara sagrada". Contêm princípios activos que estimulam a motilidade intestinal. O *Ricinus communis* é uma das mais antigas plantas usadas em Medicina. Foi descrita já pelos egípcios. Contém como princípio activo o ácido ricinoleico que é irritante para o intestino delgado aumentando assim a sua motilidade. Dada a multiplicidade de compostos actualmente disponíveis o seu uso é muito menos frequente. Para além do ácido ricinoleico, contém uma toxialbumina que já foi usada em situações de terrorismo e que é muito tóxica para o fígado.

Uma outra planta, originária da floresta amazónica, é a *Cephaelis ipecacuanha*, já referida em 1560 pelo Pe. José de Anchieta nas suas descrições sobre as plantas utilizadas pelos indígenas do Brasil. Contém um princípio activo, a emetina, com múltiplas acções no organismo humano, entre as quais a de estimular o centro do vómito, mas que é sobretudo utilizada como expectorante para fluidificar as secreções brônquicas.

Mencionados o passado e o presente das plantas medicinais, uma breve alusão ao seu futuro. Ao falar do futuro só é possível abrir algumas perspectivas dentro do que se pode antever.

Em primeiro lugar, a pesquisa de novos princípios activos continua, com as dificuldades inerentes à separação, identificação e purificação das numerosíssimas substâncias que se encontram em qualquer das plantas. Isolado e purificado o composto, determinada a sua fórmula estrutural, é possível fazer uma série de ensaios, comum a qualquer novo composto potencialmente útil como eventual medicamento. Muito se pode ainda esperar do Reino Vegetal.

Uma segunda área é constituída pelas plantas geneticamente modificadas, ou orientadas no sentido de aumentar a sua produção de um determinado produto ou de derivados semelhantes que se pense poderem ter algumas vantagens em relação aos princípios activos já conhecidos. Aproveita-se neste caso o facto do processo de síntese biológico ser mais económico que a síntese química no laboratório.

Finalmente a procura de plantas ou outras espécies vegetais existentes em locais ainda praticamente não explorados, como o mar ou regiões com uma enorme riqueza de flora como sucede nas florestas tropicais. Aqui, o emprego tradicional de algumas plantas no tratamento de diversas enfermidades pode conduzir a novas descobertas. É um domínio potencialmente de grande interesse.

Nesta breve síntese de um longo capítulo que acompanha a história humana gostaria finalmente de mencionar que, embora as plantas medicinais tenham limitações ao seu uso tal como são colhidas, ainda muito se pode esperar do seu estudo científico e da descoberta de novos princípios activos.

PLANTAS MEDICINAIS

Resumo

I – A História das Plantas Medicinais-1

Assíria – O Código de Hamurabi-2-3-4
Egipto – O papiro de Ebers 3400-1500 AC, 800 Re-5
Grécia – Hipócrates, Theophrastes Diocles de Ereus-6
Roma – Galeno, Dioscórides, *Materia Medica*, 7-8 Oribásio, *Sinagogae Medica*, Plínio "O velho"
Idade Média – Médicos árabes, Avicena, Averroes, Razes, 9-10-11,
Hildegard von Bingen, *Liber subtilitatum diversarum naturarum creaturaram*-12,
Pedro Hispano, *Thesaurus pauperum* -13
Escola de Salerno 14
15-16-17-18-19-20-21-22-23-24
Século XVI – Garcia de Orta e a flora exótica, obras na ACL -25-26-27-28-29-30
Phillipus Aureolus Bombastus von Hoenheim- Paracelso-31-32-33
Século XVII – Medicina Alopática e Homeopática
Século XVIII – Whitering
Século XIX – Claude Bernard e a experimentação biológica

II – As plantas medicinais na actualidade

Papaver somniferum-34
Erytroxylon coca-35
Cofea arabica-36, Camelia sinensis-37, Ilex paraguayensis-38, Cola acuminata-39
Rauwolfia serpentina-40
Pilocarpus jaborandi-41, Areca catechu-42, Physostigma venenosum-43
Atropa belladona-44, Mandragora officinalis-45, Datura stramonio, Scopolia carniolica
Chondrodendron tomentosum, Strychnus toxifera-46
Digitalis purpurea, Digitalis lanata-47, Strophantus gratus-48
Vinca rosa-49-50, Taxus bacata, Podophylum peltatum-51
Cinchona officinali-52
Colchicum autonale-53
Cassia angustifolia-54, Rhamnus purshiana-54, Ricinus comunis-55
Cephaelis ipecacuanha-56

III – O futuro das plantas medicinais

Plantas cultivadas deliberadamente
Novos princípios activos isolados de plantas já conhecidas
Outras origens de plantas – Plantas exóticas – Plantas marinhas
Plantas geneticamente modificadas

(Comunicação apresentada à Classe de Ciências
na sessão de 7 de fevereiro de 2013)

Anatomia artística na Fenícia e em Cartago I

Fenícia

J. A. Esperança Pina[1]

A Fenícia, correspondente ao actual Líbano, representava um papel de excepcional importância, devido à sua situação geográfica em relação aos territórios ocupados pelo Egipto, Assíria, Babilónia, Hatti (Hititas) e Pérsia. Os fenícios eram impotentes perante estes potentes povos orientais, tão fortes, tendo muitas vezes sido incorporados, sob o ponto de vista político, ao ritmo dos dominadores do momento, mas por vezes mantiveram a independência cultural.

Os fenícios inventaram a escrita alfabética, na qual se utilizavam pouco sinais tornando a escrita mais simples que a cuneiforme. A escrita alfabética expandiu-se por todo o Mediterrâneo, sendo também adoptada pelos gregos e romanos.

1. GEOGRAFIA DA FENÍCIA

O território habitado pelos fenícios era uma pequena faixa de terra bem limitada: ao norte, pelo golfo Issus situado próximo do rio Eleutero (actualmente rio Nahr-el-Kebir); ao sul, pelo monte Carmelo; a oeste, pelo Mar Mediterrâneo; a este, pelas montanhas da cordilheira do Líbano, que separam da Síria. Estas cordilheiras, sempre cobertas de neve, formam muralha de difícil acesso, com altitudes que podem alcançar 3.000 metros, desdobrando-se a escassos quilómetros da costa e aí terminam abruptamente dividindo a pequena Fenícia em porções isoladas, tornando-se a via marítima quase o único meio de comunicação do território. Esta configuração é a razão pela qual a Fenícia nunca constituiu um verdadeiro reino mas um conjunto de pequenos estados que se revezavam na supremacia.

A Fenícia era atravessada pelos rios Nahr Liani e Orontes, que transbordavam na estação das chuvas e permaneciam quase secos no calor do verão.

As cidades eram edificadas nos cabos, de preferência os situados próximo de ilhas, pois esta situação permitia em caso de guerra, um abrigo com segurança para a população e um porto para as embarcações.

2. VIDA ECONÓMICA DA FENÍCIA

A Fenícia era constituída por florestas impenetráveis com carvalhos, nogueiras, pinheiros, ciprestes e sobretudo o cedro, a árvore emblema do Líbano.

[1] Membro Efectivo da Academia das Ciências de Lisboa. Professor Catedrático Jubilado da Faculdade de Ciências Médicas da U.N.L. Professor Catedrático da Faculdade de Direito de Lisboa da U.C.P. Ex-Reitor da Universidade Nova de Lisboa.

Os *cedros* constituíam a principal riqueza e a maior fonte de exportação, emitindo, um cheiro característico pressentido de muito longe, facto este pelo qual a Fenícia era conhecida por montanha dos perfumes. É uma árvore conífera, com folhagem perene, com a copa rasa com andares distintos. As folhas em forma de agulhas espaçadas nos ramos maiores, e em grupos de 15 a 45 nos ramos menores.

O mais importante artigo produzido era o tecido púrpura, tingido com o líquido branco excretado pelas glândulas dos moluscos *murex*. Os tecidos eram banhados neste líquido e postos a secar ao sol que revelava a tintura púrpura brilhante. Estes tecidos eram utilizados nas vestimentas dos nobres, e as cores variavam do rosa ao violeta, dependendo do tempo em que o tecido ficava ao sol e da quantidade do líquido utilizado.

3. NAVEGAÇÃO E COMÉRCIO

A situação geográfica da fenícia impôs aos seus habitantes a navegação, para a realização do comércio nas cidades fenícias.

Os primeiros barcos fenícios eram utilizados no comércio entre as cidades-estados da Fenícia. Eram embarcações pequenas, com a popa arredondada, com o comprimento de 20 a 30 metros, a largura de 6 a 10 metros e a proa curvilínea terminava com uma figura zoomorfa, normalmente representando um cavalo.

Os barcos comerciais para diversas cidades do Mediterrâneo, apresentavam velas quadradas situadas no centro, propulsando o barco com os ventos de popa. O barco era dirigido por um timoneiro com um grande leme, com uma tripulação com cerca de trinta marinheiros.

As viagens tornaram-se cada vez mais longas, obrigando à protecção dos marinheiros, dando origem à construção de barcos de guerra mais longos, estreitos e rápidos, com dois pisos, o inferior para os remadores e o superior para os guerreiros protegidos com escudos, a proa com esporão de bronze, para cravar no costado do navio inimigo, e retirá-lo rapidamente para que a água penetrasse pela abertura feita.

4. CIDADES-ESTADO DA FENÍCIA

A partir de 3.000 a.C., na Idade do Bronze Antigo (2.900 a 2.300 a.C.), iniciaram-se centros urbanos, sendo os mais importantes de norte a sul, Ugarit, Biblos, Sidon, e Tiro.

Ugarit

Em 2.000 a.C., Ugarit estava em plena prosperidade, através da influência da XII dinastia egípcia, demonstrado pelos monumentos egípcios encontrados. Na época da invasão dos hicsos, os hurritas instalaram-se na cidade-estado, no norte do litoral fenício, onde também se fazia sentir a civilização egeia. Um terramoto reduziu Ugarit a cinzas e renasceu sob o controle dos hititas, tendo lutado a seu lado contra os egípcios na batalha de Kadessh. Seguiu-se depois a influência micénica e cipriota. A invasão dos Povos do Mar veio por fim ao poderio de Ugarit.

Biblos

As fontes egípcias mencionam o comércio da madeira de cedro das montanhas do Líbano. Desde 3.000 a.C., a cidade-estado manteve relações com o Egipto, e os príncipes de Biblos tornaram-se vassalos dos faraós da XII dinastia, sendo neste período a introdução do embalsamamento na Fenícia. Sob o Império Novo Egípcio, após a invasão dos hicsos recomeçaram as relações. Após a invasão dos Povos do Mar, a milenar amizade entre ambos os povos cai em decadência acompanhando a queda do império faraónico.

Sidon

Fundada em 3.000 a.C. Sidon foi destruída na época da invasão dos hicsos. Sob o Império Novo Egípcio, a cidade-estado é mencionada como uma das bases marítimas utilizadas pelos faraós nas suas expedições asiáticas. Sidon é devastada pela invasão dos Povos do Mar. A decadência do Egipto e a queda do Império Hitita contribuíram para que a cidade-estado atingisse um elevado grau de progresso recolhendo os remanescentes da força política e económica cretense e micénica. Chipre, Rodes, Creta e as ilhas do Mar Egeu entraram na órbita do comércio de Sidon. Em 2.000 a.C. cai sob o domínio assírio construindo uma nova cidade que vai lutar contra os egípcios e persas, até cair, sem resistência, em poder dos gregos.

Tiro

A cidade foi fundada em 2.750 a.C., atingindo o apogeu do seu prestígio e progresso entre 1.000 e 500 a.C., sendo a cidade dominante dos Fenícios. O Antigo Testamento informa os grandes acontecimentos de Tiro e a referência aos reis Hirão I e Itobaal I.

Hirão I foi um grande construtor, colonizou Chipre e realizou grandes iniciativas comerciais através do Mediterrâneo e do mar Vermelho, tendo Tiro sido convertido na mais importante metrópole fenícia. Ithobaal I foi contemporâneo do cisma que dividiu politicamente os hebreus nos reinos de Judá e de Israel. Acab, rei de Israel desposou Jesabel, filha de Ithobaal I. Tal casamento permitiu a introdução de divindades fenícias em Israel, proporcionando à realização do culto idólatra. À morte de Ithobaal I seguiu-se um período de graves crises dinásticas.

5. EXPANSÃO MARITIMA DOS FENÍCIOS

As superpovoadas cidades-estado fenícias, juntamente com o défice agrícola do território estimularam a emigração, iniciada no século IX a.C. Os fenícios com os seus conhecimentos sobre os astros e os progressos na construção de navios e das técnicas de navegação, iniciaram a expansão marítima no Mediterrâneo e fundaram muitas colónias e na procura das matérias-primas e riquezas de que a Fenícia carecia. Todos estes locais foram utilizados para reabastecer de água e alimentos, para se abrigarem das tempestades, para consertar eventuais danos nos barcos e embarcar ou desembarcar mercadorias.

No Mediterrâneo numerosas cidades constituíram-se em colónias ou feitorias fenícias, situadas em Cartago, nas Ilhas de Chipre, Creta, Rodes, Sicília e Malta, na África do Norte e na Península Ibérica.

As colónias fenícias situadas nas ilhas de Chipre e de Creta serão referidas na Fenícia e as restantes, em Cartago, ligada à história da Fenícia, pela sua importância, riqueza do seu comércio, a sua numerosa população, o poderio da sua esquadra, tornando-se a maior colónia do Mediterrâneo Ocidental.

Chipre

A ilha de Chipre foi o primeiro local a ser colonizado pelo rei Hirão I de Tiro, tendo a ilha proporcionado os indícios da sua presença durante a Idade do Bronze. Chipre situado a uma curta distância da costa fenícia tinha cobre em grandes quantidades, sendo sempre a primeira etapa das rotas marítimas dos fenícios, povo de viajantes e comerciantes. A mais importante colónia situava-se em Kiton.

Creta

A Ilha de Creta sofreu forte influência fenícia, não apenas comercialmente, pois eram donos da navegação egeia, mas também culturalmente, pois adoptaram nesta época o alfabeto fenício e a escultura em bronze da época arcaica dependente da importação do bronze. As mais importantes colónias situaram-se em Knossos e Kamarès.

6. ANATOMIA ARTÍSTICA NA FENÍCIA

O que caracteriza a arte dos fenícios é, em geral, a falta de originalidade. Os fenícios estiveram em contacto com diversos povos, confundindo a sua capacidade artística com a arte egípcia, mesopotâmica, hitita, persa, grega, romana, entre outras.

A Fenícia situada no centro da primeira civilização humana, entre os prósperos vales do rio Nilo e dos rios Tigre e Eufrates, no cruzamento de todas as rotas que ligavam o oriente ao ocidente, tornou-se o centro das relações galvanizadoras das civilizações pré-clássicas.

Os fenícios, grandes empreendedores de trocas e criadores de recursos, souberam assimilar a arte estrangeira e sintetizá-la para realizar a sua arte.

6.1. Pré-Fenícios

A configuração e a situação geográfica da Fenícia do Oriente-Próximo determinaram a sua história e arte. O homem habitou esta região, muito arborizada e quase intransponível desde a pré-história, no paleolítico, a 50.000 a.C., habitando grutas em cujas paredes apareceram as primeiras manifestações pintalgadas a cores.

O fragmento de estatueta, em terracota, de 5.000 a.C., proveniente de Biblos, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa uma divindade do neolítico, com os olhos em protusão, quase verticais e os membros superiores cruzados no abdómen.

O animal com o vaso, em marfim, de 4.000 a.C., proveniente de Biblos, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa um quadrúpede precedendo um vaso.

6.2. Fenícia em 3.000 a.C.

No terceiro milénio a.C. os Fenícios estavam estabilizados no seu território. As relações com a Mesopotâmia fomentaram a realização de vasos e pequenas estatuetas com características semelhantes.

O vaso, em terracota, de 3.000 a.C., proveniente de Biblos, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa um vaso zoomórfico de um touro com uma cabeça pequena e corpo pesado.

Vaso, em terracota, de 3.000 a.C., proveniente do templo de Baalat Gubal, em Biblos, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa duas estatuetas humanas segurando o vaso.

A cabeça de touro, em terracota, de 3.000 a.C., proveniente do templo de Baalat Gubal, em Biblos, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa a cabeça de um touro vigoroso com olhos e focinho bem marcados.

Os lavradores com bois, em terracota, de 2.000 a.C., proveniente de Biblos, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa dois lavradores em pé e a cabeça coberta com toucas cónicas, estando ladeados por dois bois em posição defensiva.

6.3. Biblios e seus tesouros

O Império Novo do Egipto estabeleceu novamente relações com os países do Oriente, entre os quais a cidade-estado de Biblos. Entre 1.900 e 1.800 a.C., os faraós encheram os templos com ricas ofertas, mas também os reis de Biblos, com objectos decorativos que foram encontrados nos túmulos de Abi Shemou e Ip Shemou Abi e outros reis fenícios. Foi durante este período que a arte fenícia se inspirou na arte egípcia.

6.3.1. Escultura

Estela de Biblos, em pedra, século IV a.C., proveniente de Biblos, encontra-se no Museu do Louvre de Paris, representa a deusa Isis-Hathor sentada recebendo a homenagem do rei Yehawmilk.

Estatueta com cabeça de fenício, em terracota, século XVIII a.C., proveniente de Biblos, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa uma cabeça com touca cónica mantida em posição por um francalete situado na região lateral do pescoço, com mímica de grande concentração.

Estatueta de fenício com cabeça egípcia, em terracota, séculos XIX-XVIII a.C., proveniente de Biblos, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa uma figura feminina dormitando tranquilamente, o cabelo curto e entrançado e o braço esquerdo cruzado sobre o tórax.

Estatueta de divindade, em bronze, século VIII a.C., proveniente de Khaldé, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa uma divindade com a mão direita parecendo abençoar, cabeça rapada, com uma vestimenta justo ao corpo.

Estatueta de deusa da fecundidade, em terracota, século XVIII a.C., proveniente de Biblos, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa uma figura feminina nua, um pouco obesa, com a mão esquerda apoiando a mama e o monte de púbis marcado por um triângulo pontilhado.

Estatueta de deusa da fecundidade, em bronze, século XVIII a.C., proveniente de Biblos, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa a deusa Isthar mesopotâmica, nua, muito magra, com as mãos apoiando as mamas e o monte do púbis pontilhado.

Estatueta de fenício barbudo, em bronze, séculos XIX-XVIII a.C., proveniente de Biblos, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa uma figura masculina com touca cónica, corpo adelgaçado, espáduas horizontalizadas, membros superiores estendidos ao longo do corpo e mãos em supinação.

Estatueta de deusa mãe, em bronze, século IV a.C., proveniente de Tiro, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa uma figura feminina amamentando o filho.

Estatueta de grotesco, em massa de vidro cozida, séculos XIX-XVIII a.C., proveniente do templo dos obeliscos em Biblos, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa uma figura disforme.

Estatueta do deus Bès, em calcário, séculos XIX-XVIII a.C., proveniente do templo dos obeliscos em Biblos, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa o deus Bês com cabeça de leão, com os músculos dos membros superiores muito desenvolvidos.

Deus Rashap, em bronze recoberto a folha de ouro, séculos XIX-XVIII a.C., proveniente de Biblos, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa uma estatueta com a touca cónica, o membro superior direito ao longo do corpo e o esquerdo flectido no cotovelo, os supercílios com concavidade inferior, a fenda da boca disposta horizontalmente, com mímica de reflexão.

Grupo de estatuetas, em bronze recobertas a folha de ouro, séculos XIX-XVIII a.C., proveniente de Biblos, encontram-se no Museu Nacional de Beirute, representam numerosas estatuetas, com toucas cónicas, ainda utilizadas em certas regiões das montanhas libanesas. Estas dezenas de estatuetas semelhantes, apresentam os militares em oração num templo, antes do embarque para uma campanha militar.

6.3.2. Vasos

Vaso, em ouro, século XIX a.C., proveniente de Biblos, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, apresenta uma forma bojuda com gargalo.

Vaso, em ouro, século XIX a.C., proveniente de Biblos, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, apresenta a forma de caldeira com duas asas.

6.3.3. Objectos decorativos

Peitoral, em ouro, século XVIII a.C., proveniente de Biblos, encontra-se no Museu do Louvre de Paris, representa o peitoral do rei Abi Shemou, decorado com um falcão e palmeiras.

Peitoral, em ouro, esmalte e pedras preciosas, XVIII a.C., proveniente de Biblos, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa o peitoral do rei Ip Shemou Abi., com duas figuras sentadas de cada lado de uma mesa onde está um animal alado.

Medalhão, em ouro, século XIX a.C., proveniente de Biblos, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, apresenta a forma de uma rosácea.

Medalhão, em ouro, esmalte e pedras preciosas, século XVIII a.C., proveniente de Biblos, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa o medalhão do rei Ip Shemou Abi, incluído numa moldura, com um escaravelho como motivo principal.

Anel, em ouro e lápis-lazúli, século XIX., proveniente de Biblos, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa um sinete com decorações geométricas.

Faca, em ouro e prata, século XVIII a.C., proveniente de Biblos, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa uma faca com decoração geométrica pertencente ao rei Ip Shemou Abi.

Punho de punhal, em ouro e marfim, séculos XIX-XVIII a.C., proveniente do templo dos obeliscos em Biblos, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa o punho de um punhal com três cervídeos, em que dois encostam carinhosamente os focinhos e o terceiro situado superiormente encontra-se a pastar.

Machado, em filigrana de ouro, séculos XIX-XVIII a.C., proveniente de Biblos, encontra-se no Museu Nacional de Beirute e representa o pormenor de um cabo de machado fenestrado, mostrando a cena de uma oferenda a uma divindade.

Machado, em filigrana de ouro, séculos XIX-XVIII a.C., proveniente do templo dos obeliscos de Biblos, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa desenhos geométricos no cabo do machado.

Machado, em filigrana de ouro, séculos XIX-XVIII a.C., proveniente de Biblos, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa Gilgamesh e Enkidu.

Roda, em ouro e cornalina ao centro, séculos XIX-XVIII a.C., proveniente do templo de obeliscos em Biblos, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa uma roda decorada com quatro palmeiras dispostas radialmente, motivo e disposição frequentemente encontrada na Fenícia.

6.4. Os Fenícios entre o domínio dos Hicsos e os Povos do Mar

Entre 1.800 e 1.600 a.C. a Fenícia encontrou os traços específicos da sua arte, tendo a chegada dos hicsos terminado com a influência artística do Egipto.

6.4.1. Escultura

Estela do deus Baal, em calcário, séculos XIX-XVIII a.C., proveniente de Ugarit, encontra-se no Museu do Louvre de Paris, representa o deus armado com uma clava e uma lança, a cabeça com touca cónica, dois cornos e lateralmente uma trança terminando em espiral.

Estela do acordo, em calcário, século XIV a.C., proveniente de Ugarit, encontra-se no Museu Arqueológico Nacional de Alepo, representa duas personagens com vestes orientais, de cada lado de uma mesa de pé de galo, com duas flores de lótus na parte superior da cena, parecendo estabelecer um acordo.

Ornamento de leito, em marfim, século XIV a.C., proveniente de Ugarit, encontra-se no Museu Nacional de Damasco, representa o rei com barba, munido com um punhal, enquanto a mão esquerda se apoia na cabeça do inimigo, que ajoelhado implora perdão.

Ornamento de leito, em marfim, século XIV a.C., proveniente de Ugarit, encontra-se no Museu Nacional de Damasco, representa o rei e a rainha carinhosamente abraçados.

Placa da luta de animais, em marfim, século XIII a.C., proveniente do túmulo do rei Ahiram em Biblos, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa um touro muito musculado atacado por um leão e um grifo (animal mitológico proveniente de uma águia e leão).

Tampa de um vaso píxide, em marfim, século XIV a.C., proveniente de Ugarit, encontra-se no Museu do Louvre de Paris, representa uma mulher entre dois cabritos monteses, com um nariz tipo grego, em que o dorso do nariz se continua directamente com a fronte, os cotovelos flectidos e as mãos segurando plantas.

Sarcófago do rei Ahirôm, em calcário, século XIII a.C., proveniente de Biblos, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa o sarcófago assente em quatro leões e, em que os quatro lados apresentam um friso com flores de lótus e por baixo estão esculpidas cenas com numerosas personagens, apresentando no lado pequeno quatro carpideiras em que duas rasgam as vestes e as outras duas arrancam os cabelos em desespero; e no lado maior do sarcófago encontra-se o rei a receber uma procissão de portadores de oferendas.

Sarcófago do rei Ahirôm, em calcário, século XIII, o lado maior do sarcófago está esculpido o rei com uma mesa de oferendas, a receber uma procissão de portadores de oferendas, sendo a fila encabeçada pelo filho do rei, o seu primeiro servidor, com uma toalha na mão esquerda e um enxota-moscas na mão direita.

Estatueta de duas personagens, em massa de vidro cozida, séculos XX-XIX a.C., proveniente de Ugarit, encontra-se no Museu do Louvre de Paris, representa dois indivíduos com cabeças redondas e barba, em pé sobre um carro votivo, denunciando uma influência mesopotâmica.

Estatueta de divindade, em bronze, século XX a.C., proveniente de Bekaa, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa uma personagem com acentuada rudeza, característica dos habitantes dos planaltos, onde o clima é muito agreste.

Estatueta de divindade, em prata e ouro, séculos XX-XIX a.C., proveniente de Ugarit, encontra-se no Museu do Louvre de Paris, representa o deus com nariz pontiagudo, característico dos povos da região.

Estatueta de divindade, em bronze, século XX a.C., proveniente de Bekaa, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa um deus com traços suaves lembrando o faraó Tutmóses III, apresentando a touca cónica, membro superior direito com abdução do ombro e flexão do cotovelo, membro superior esquerdo com o cotovelo em flexão, com mímica de muita tranquilidade.

Estatueta de divindade, em marfim, séculos XIII-XIV a.C., proveniente de Bekaa, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa uma deusa tipo egípcia, sentada, com os supercílios arqueados, os olhos em relevo, o sorriso natural e as mãos assentes nos joelhos.

Cabeça feminina, em massa de vidro cozido, século XIV a.C., proveniente de Ugarit, encontra-se no Museu do Louvre de Paris, representa um vaso com a forma de uma cabeça feminina, a touca semicónica, a fronte apresenta uma madeixa de cabelo ondulado do tipo micénico e mímica com riso malicioso.

Cabeça feminina, em marfim, século XIV a.C., provenientes de Ugarit, encontra-se no Museu do Nacional de Damasco, representa uma cabeça com grande penteado e mímica de atenção com concentração e riso natural.

6.4.2. Objectos decorativos

Ornamento, em ouro, séculos XV-XIV a.C., proveniente de Ugarit, encontra-se no Museu do Louvre de Paris, representa uma cena de caça real, com quatro cavalos na rosácea central, e rodeada com cavalos a galope puxando um carro conduzido pelo rei disparando o seu arco contra uma gazela, enquanto dois touros fogem e um terceiro ataca o carro.

6.5. Fenícia durante a expansão no Mediterrâneo

A destruição dos grandes Impérios do Oriente Próximo facilitou a expansão dos fenícios no Mar Mediterrâneo. Em 814 a.C. os fenícios fundaram Cartago. Nos séculos VIII e VII a.C. os fenícios fundaram colónias na Sicília, Malta, Sardenha e Península Ibérica.

6.5.1. Escultura

Estela de promessa solene, em esteatite, século X a.C., proveniente de Biblos, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa dois reis de cada lado de uma pequena mesa e de uma palmeira, a realizarem uma promessa solene; a cabeça de um dos soberanos tem características egípcias e a do outro rei apresenta vestes abertas permitindo expor os membros inferiores.

Ornamento de leito real, em marfim, século IX a.C., proveniente de Arslan-Tash, encontra-se no Museu do Louvre de Paris, representa o rei de Damasco Hazaël, com barba e cabelo comprido, está de pé, com as mãos juntas sobre o tórax.

Ornamento de leito real, em marfim, século IX a.C., proveniente de Arslan-Tash, encontra-se no Museu Arqueológico Nacional de Alepo, representa duas esfinges aladas com cabeças de carneiros, e os corpos e membros de leão, preparando o início da luta.

Ornamento de leito real, em marfim, século IX a.C., proveniente de Arslan-Tash, encontra-se no Museu Arqueológico Nacional de Alepo, representa uma esfinge sentada com um sorriso tranquilo, a asa estendida e o corpo de cabra evidenciando os membros anteriores.

Ornamento de leito real, em marfim, século IX a.C., proveniente de Arslan-Tash, encontra-se no Museu do Louvre de Paris, representa o nascimento de Horus, protegido por duas deusas com características egípcias.

Mascara funerária, em terracota, século VIII a.C., proveniente do templo de Khaldé, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa a *facialis*, circular com olhos redondos, as orelhas afastadas e os lóbulos horizontalizados.

Divindade sentada, em terracota, século VII a.C., proveniente de Tiro, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa uma personagem no seu nicho, com touca cónica, face disforme e pescoço protegido por uma fita fixando um disco envolvido por um crescente.

Estátua do tipo egípcio, em calcário, século VIII a.C., proveniente de Tiro, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa um tronco masculino com numerosos colares e uma tanga segura por um cinto e a mão esquerda num movimento de preensão perfeito, segurando um objecto cilíndrico.

Estatua, em mármore, século V a.C., proveniente de Chipre, encontra-se no Museu do Louvre de Paris, representa uma cabeça barbuda coberta com um turbante, com barba pontiaguda e bigode, lábios carnosos, olhos abertos, pálpebras espessas, com mímica esboçando um riso falso.

Estátua do tipo cipriota, em calcário, século VI a.C., proveniente do templo de Eshmun em Sidon, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa um busto recordando os kouros gregos, com a peruca ornada de linhas sinuosas, o nariz pontiagudo tipo grego, os olhos em amêndoa, com mímica de um riso malicioso.

6.5.2. Vasos

Vaso, em terracota, século XI a.C., proveniente de Qurayeh, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa um elegante vaso em forma de cálice, com decoração policromática, dividido em bandas verticais paralelas e também aves com o corpo coberto de motivos geométricos dispostos em vários sentidos.

Vaso, em terracota, século IX a.C., proveniente de Khaldé, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa um vaso com duas pegas, apresentando um pato esboçando um largo movimento ondulado, com o corpo decorado de linhas geométricas variadas.

Vaso, em terracota, século VIII a.C., proveniente de Tiro, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa um vaso em forma de barril com abertura cónica e uma pega, estando decorado com linhas concêntricos de diversas espessuras, intercaladas por bandas com círculos de diversos tamanhos.

6.5.3. Objectos decorativos

Colar com medalhão, em filigrana de ouro, séculos V-IV a.C., proveniente de Sidon, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa um colar com medalhão apresentando a cabeça de Gorgone, de rosto hediondo fazendo caretas, língua pendente entre os dentes incisivos e na fronte os cabelos dispostos em madeixas.

Colar, em filigrana de ouro e ágatas, séculos V-IV a.C., proveniente de Sidon, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa o colar com duas ágatas rodeadas por uma cercadura em filigrana.

Colar, em ouro, esmalte, cornalinas, turquesas e ágatas, séculos V-IV a.C., proveniente de Sidon, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa o colar com uma coroa centralizado por uma rosácea.

6.6. Sidon e os sarcófagos antropomorfos

Sidon foi fundada em 3.000 a.C., sendo destruído pelos hicsos. Sob o Império Novo do Egipto tornou-se numa das bases marítimas mais utilizadas pelos faraós. Após a decadência do Egipto e a queda do Império Hitita, a cidade atingiu um grande progresso. As escavações realizadas descobriram grande quantidade de sarcófagos antropormofos, realçando-se os encontrados na necrópole de Magharat Tabloun.

6.6.1. Escultura

Sarcófago de Eshmunazar, rei de Sidon, em pedra negra, do século VI a.C., proveniente de Sidon, encontra-se no Museu do Louvre de Paris, representa um sarcófago antropomorfo com caracteres hieroglíficos e características egípcias, com lábios negróides, com mímica de sono tranquilo.

Sarcófago antropomorfo, em mármore, século IV a.C., proveniente da necrópole de Magharat Tabloun, em Sidon, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa o defunto em relevo com o corpo inteiramente reproduzido, a *facialis* com muita expressão, o membro superior direito flectido sobre o tórax, o membro superior esquerdo estendido ao longo do corpo e os pés em evidência.

Sarcófago antropomorfo, em mármore, século V a.C., proveniente da necrópole de Magharat Tabloun, em Sidon, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa o busto do defunto com as abas do vestuário, com mímica tranquila parecendo designada.

Sarcófago antropomorfo, em mármore branco, séculos IV-III a.C., proveniente da necrópole de Magharat Tabloun, em Sidon, encontra-se no Museu do Louvre de Paris, representa o busto do defunto com penteado levantado e com duas tranças ondulantes caindo sobre os ombros, a *facialis* apresentando arcadas superciliares proeminentes, olhos alongados, pálpebras bem marcadas, nariz longo, boca com lábios carnudos ligeiramente entreabertos, com mímica de dureza.

Sarcófago antropomorfo, em mármore branco, séculos IV-III a.C., proveniente da necrópole de Magharat Tabloun, em Sidon, encontra-se no Museu do Louvre de Paris, representa o busto de uma mulher jovem, o penteado com risco mediano, constituído por longas mechas onduladas, escondendo as orelhas, nariz recto e fino, olhos em amêndoa, boca ligeiramente entreaberta com lábios carnudos, com mímica de atenção e admiração.

Sarcófago antropomorfo, em mármore, século IV a.C., proveniente da necrópole de Magharat Tabloun, em Sidon, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa uma cabeça do tipo grego, com o cabelo aparentando um rico bordado, com mímica de reflexão e inquietação.

Sarcófago antropomorfo, em mármore branco, séculos IV-III a.C., proveniente da necrópole de Magharat Tabloun, em Sidon, encontra-se no Museu do Louvre de Paris, representa o defunto em relevo, o busto de uma mulher com uma fronte muito larga e pescoço espesso, cabelo frondoso com longas madeixas onduladas, escondendo as orelhas, nariz recto e fino, olhos em amêndoa, pálpebras espessas, arcadas superciliares pronunciadas, boca entreaberta, lábios carnudos, mento arredondado, com mímica de reflexão e inquietação.

Sarcófago antropomorfo, em mármore branco, séculos IV-III a.C., proveniente da necrópole de Magharat Tabloun, em Sidon, encontra-se no Museu do Louvre de Paris, representa o defunto com rosto masculino desproporcionado em relação ao corpo, com coifa transparente, fronte baixa, arcadas superciliares pronunciadas, olhos encovados, rima palpebral deixando ver a íris e pupilas, nariz tipo grego, lábios carnudos, orelhas descoladas e desmesuradas em relação à *facialis*, mento espesso, com mímica de atenção e luta íntima.

Sarcófago antropomorfo, em mármore branco, século V a.C., proveniente da necrópole de Magharat Tabloun, em Sidon, encontra-se no Museu do Louvre de Paris, representa o defunto com rosto masculino, em que a barba constituída por três filas de madechas, bigode lateralmente pendente, nariz tipo grego, olhos em amêndoa, boca entreaberta com lábios carnudos, com mímica de reflexão e inquietação.

Sarcófago antropomorfo, em mármore branco, século IV a.C., proveniente da necrópole de Magharat Tabloun, em Sidon, encontra-se no Museu do Louvre de Paris, representa o defunto com rosto masculino, o mento repousando sobre a porção superior arredondada da tampa do sarcófago, os cabelos ondulados cobrindo as regiões laterais do pescoço, nariz tipo grego, olhos em amêndoa assimétricos, pálpebras superiores proeminentes e quase coladas às arcadas superciliares, lábios carnudos entreabertos, com mímica de reflexão e pensamentos específicos.

Sarcófago antropomorfo, em mármore branco, séculos IV-III a.C., proveniente da necrópole de Magharat Tabloun, em Sidon, encontra-se no Museu do Louvre de Paris, representa o defunto com rosto masculino alongado, o mento repousando sobre a porção superior arredondada da tampa do sarcófago, os cabelos constituídos por mechas deixando visíveis os lóbulos das orelhas, nariz tipo grego, olhos em amêndoa assimétricos, pálpebras superiores proeminentes, lábios carnudos, com mímica de tranquilidade esboçando um discreto sorriso.

Sarcófago antropomorfo, em mármore branco, século IV a.C., proveniente da necrópole de Magharat Tabloun, em Sidon, encontra-se no Museu do Louvre de Paris, representa o defunto com o corpo evidenciado por uma massa volumosa em relevo, em relação à cabeça com rosto masculino alongado, os cabelos constituídos por mechas frontais, onduladas e franzidas a partir de uma risca central, deixando visíveis os lóbulos das orelhas, nariz tipo grego, olhos em amêndoa alongados, com mímica de reflexão e pensamentos sombrios.

6.7. Fenícia helenizada

A arte grega penetrou na Fenícia antes do país fazer parte da Grécia, após a conquista de Alexandre Magno.

6.7.1. Escultura

Sarcófago das carpideiras, em mármore, séculos IV-III a.C., proveniente de Sidon, encontra-se no Museu Arqueológico de Istambul, representa um sarcófago muito helenizado, com dezoito carpideiras separadas por colunas jónicas, em diversas atitudes, mas todas com mímicas de tristeza aparentando um grande desgosto.

O s*arcófago das carpideiras*, apresenta uma carpideira, com os supercílios repuxados ínfero-lateralmente, a rima palpebral rectangular, os olhos olhando inferiormente, o sulco naso-mentual bem marcado, o

cabelo com madeixas onduladas cobrindo parcialmente a orelha e a mão esquerda segurando a cabeça levemente inclinada, com mímica de sofrimento, dor e muito pensativa.

O *Sarcófago de Alexandre Magno ou do rei Abdalonymus*, em mármore, século III a.C., proveniente de Sidon, encontra-se no Museu Arqueológico de Istambul, representa a batalha entre gregos e persas.

O s*arcófago de Alexandre Magno ou do rei Abdalonymus*, representa uma cena de caça, onde os gregos parecem confraternizar com os inimigos após a conquista dos gregos.

O *sarcófago do sátrapo*, em mármore, século IV a.C., proveniente de Sidon, encontra-se no Museu Arqueológico de Istambul, representa a arte fenícia durante a época aquemênida, com um sátrapa, ou seja o governador de uma satrapia (província) da Pérsia Antiga, sentado num trono com barba e touca cónica, segurando um bastão, e na sua frente uma personagem de costas preparando-se para conduzir quatro cavalos.

Estela de Amrit, em calcário, século V a.C., proveniente de Amrit, encontra-se no Museu do Louvre de Paris, representa um terreno montanhoso, com o deus Baal em pé sobre um animal, à maneira hitita, segurando um animal na mão esquerda, e a coroa com *uroeus* à maneira egípcia.

Estela de Baalshamar, em pedra, século II a.C., proveniente de Oum el Amad, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa um disco alado, situado superiormente a uma personagem com barba, vestindo uma túnica plissada e com touca, parecendo preparar-se para entregar a oferenda transportada na mão esquerda.

Estela de Baalyaton, em calcário, séculos III-II a.C., proveniente de Oum el Amad, encontra-se no Museu de Copenhaga, Ny Carlsberg Glyptotrk, representa Baalyton, com um gorro, uma toga ampla e plissada e mangas apertadas nos punhos, levanta a mão direita em sinal de adoração, sustentando na mão esquerda um queimador de incenso.

Estatueta, em pedra, séculos IV a III a.C., proveniente de Oum el Amad, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa um adolescente com vestes amplas e plissadadas, com um queimador de incenso nas mãos.

Estatueta, em terracota, século IV a.C., proveniente de Kharayeb, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa um fragmento de personagem com pêra isto é com a barba na porção inferior do mento, vestido como os persas, a touca coberta com um véu, as vestes amplas e a mão direita acariciando a pêra.

Estatueta, em terracota, século IV a.C., proveniente de kharayeb, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa uma personagem do tipo oriental com o cabelo continuando-se com a barba, cobrindo a quase totalidade da face.

Estatueta, em terracota, século IV a.C., proveniente de kharayeb, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa o deus Bês asfixiando serpentes com as mãos, tendo a musculatura dos membros muito desenvolvida.

Estatueta, em terracota, séculos III-II a.C., proveniente de kharayeb, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa Papposilène conduzindo Dionísio, apresentando Papposilène, disforme, com grande desenvolvimento muscular, barba espessa e cabelo abundante cortado ao nível das espáduas, com mímica de dureza agressiva.

Figurinha bailando, em terracota, século III-II a.C., proveniente de kharayeb, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa uma bailarina rodopiando com muita leveza.

Estatueta do beijo, em terracota, séculos III a II a.C., proveniente de kharayeb, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa Déméter e Core beijando-se como símbolo da paixão, acentuada com a doçura velada e sensual dos corpos.

Estátua de criança, em mármore, séculos IV a.C., proveniente do templo de Eshmun em Sidon, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa uma criança sobre um pedestal com texto fenício, oferecido ao deus Eshmun como testemunho de gratidão em ex-voto, apresentando a cabeça, o tronco e os membros superiores uma perfeita anatomia de superfície.

6.7.2. Vasos

Vaso, em vidro opaco, séculos VII-VI a.C., encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa um vaso com uma grande pega, decorado com duas bandas com linhas concêntricos, ladeando uma banda com linhas quebradas.

Vaso, em vidro opaco, século I a.C., encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa uma ânfora com decoração vegetal.

Vaso, em vidro opaco, século I a.C., encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa um vaso bojudo com duas pequenas pegas, decorado com uma banda com linhas quebradas ladeadas por linhas concêntricos.

Vaso, em vidro opaco, século II a.C., proveniente de Um mel Amed, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa um vaso com cabeça masculina, barba espessa e duas pegas estando a superior situada no local da orelha.

6.8. Fenícia romanizada

A Fenícia Helénica fez parte do Império Romano depois da campanha de Pompeu, em 64 a.C. A Fenícia adoptou a romanização, desde as crenças às vestimentas. As ruas tornaram-se rectilíneas e alguns pórticos tornaram-se até mais sumptuosos que os de Roma.

6.8.1. Escultura

Baixo-relevo de um tanque, século II, encontra-se no templo de Júpiter em Baalbek, representa Vénus sentada, recebendo uma concha dada por Eros.

Escultura, em calcário, século III, proveniente de Baalbek, encontra-se no Museu Nacional de Beirute, representa a cabeça do deus Pan, a rima palpebral muito aberta deixando observar a esclero, a rima da boca rectangular e o sulco mental bem marcado, com mímica de dureza agressiva.

6.8.2. Mosaicos

Mosaicos, século III, proveniente de Baalbek, encontram-se no Museu Nacional de Beirute, representam Calliope rodeada por sábios, com os rostos emaciados e barbas bem tratadas.

Mosaicos, século VI, provenientes de Jenah, encontram-se no Museu Nacional de Beirute, representam diversos animais, a cabra dormitando, o touro comendo as folhas de uma árvore, a gazela pastando, o felino ameaçando e o urso visto de dorso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arqueologia (1988), volume 3, Os senhores do Mediterrâneo, pgs. 176-196. Barcelona: Planeta-Agostini.

Blázquez, José Maria, Alvar, Jaime & Wagner, Carlos G. (1999), *Fenícios y Cartagineses en el Mediterrâneo*. Madrid: Ediciones Cátedra.

Blázquez, José Maria, Martínez-Pinna, Jorge, Presedo, Francisco, Melero, Raquel López & Alvar, Jaime (1992), *Historia de Oriente Antiguo*. Madrid: Ediciones Cátedra, S.A.

Briquel-Chatonnet, Françoise & Gubel, Éric (1998), *Les Phéniciens aux origins du Liban*, Découvertes Gallimard Histoire.

Dictionnaire de la Civilisation Phénicienne et Punique (1992). Brepols.

Frankfort, Henry (1988), *The Art and Architecture of the Ancient Orient*, Penguin Books.

Giordani, Mário Curtis (1987), *História da Antiguidade Oriental* (8.ª edição). Petrópolis: Editora Vozes Limitada.

Gubel, Éric (2002), *Art Phénicien. La sculpture de tradition phénicienne*. Paris: Éditions de la Réunion des Musées Nationaux. Paris.

Harden, Donald (1968), *História Mundi*, Os Fenícios. Lisboa: Editorial Verbo.

História da Humanidade, *O Egipto e as Antigas Civilizações* (2007), A civilização do mar, 376-408. Lisboa: Círculo dos Leitores.

Markoe, Glenn E. (2000), *Phoenicians*. Great Britain: Britsh Museum Press.

Martínez, Fernando Prados (2007), *Los fenícios*. Madrid: Marcial Pons, Ediciones de Historia, S.A.

Moscati, Sabatino & DiStefano, Carmela Ângela (2006). *Palermo: Museo Archeologico*, Edizioni Novecento.

Olaguer-Feliu, Fernando de (1994), *Historia del Arte del Próximo Oriente* (1994). Barcelona: Editorial Planeta, S.A.

Padró, José (1987), *Los Fenícios* (1987), Gran Historia Universal. volume II, Antigos Impérios Orientales.Madrid: Najera

Parrot, André, Chéhab, Maurice H. & Moscati, Sabatino (1975), *Les Phéniciens*. Paris: L'expansion phénicienne. Cartage, Éditions Gallimard.

Parrot, André, Chéhab, Maurice H. & Moscati, Sabatino (2007), *Les Phéniciens*. Paris: Cartage, Éditions Gallimard.

Peinado, Federico Lara (1990), *Así vivían los Fenicios*. Madrid:Grupo Anaya, S.A.

Peinado, Federico Lara & Zoilo, Joaquín Córdoba (1989), *Historia del Arte, El Mediterrâneo Oriental, El arte fenicio*, pg. 40-59. Historia 16.

Pijoan, Jose (1981), *Summa Artis, Historia Geral da Arte*, volume II, Arte del Asia Occidental, Fenicia, pgs. 401-418. Madrid: Espasa--Calpe, S. A.

Rawlinson, George (2007), *History of Phoenicia*: Bibliobazar.

Wagner, Carlos G. (1989), *Los Fenícios*. Madrid: Ediciones Akal, S.A.

(Comunicação apresentada à Classe de Ciências
na sessão de 21 de fevereiro de 2013)

Anatomia artística na Fenícia e em Cartago II

Cartago e colónias

J. A. Esperança Pina[1]

Cartago está intimamente ligado à história da Fenícia, quando em 814 a.C. os fenícios fundaram esta colónia, que passou a desempenhar um influente papel económico nas cidades do Mar Mediterrâneo. Cartago pela sua situação privilegiada, pela riqueza do seu comércio, pelas suas importantes construções, pela sua numerosa população, pelo poderio da sua esquadra, transformou-se na grande potência mediterrânica, passando a ter um notável império marítimo, fortalecendo as colónias fenícias da Sicília, Malta, Sardenha, África do Norte e Península Ibérica.

1. CARTAGO E ÁFRICA DO NORTE

1.1. História Política

Cartago, a maior colónia fenícia, situava-se numa ampla península limitada a leste pelo mar, ao norte pela laguna de Sukra, a sul pelo golfe de Tunis e ligada ao continente pelo oeste.

Na costa mediterrânica da África do Norte, depois de terem fundado Cartago, os fenícios estabeleceram colónias em Hadrumete, Karkouane, Utica, Orán, Tingis (Tânger), entre outras. Na costa atlântica de África, os fenícios fixaram-se em Nixus e Mogador, a colónia com interesse no comércio do marfim e dos metais.

Cartago e África do Norte

Cartago a maior colónia fenícia foi fundada como consequência de uma série de factos históricos.

À morte do rei Ithobaal I de Tiro seguiu-se um período de graves crises dinásticas. Elissa, descendente de Itobaal I, disputa o trono com seu irmão Pigmalião e, como não obteve êxito, vê-se obrigada a exilar acompanhada por numerosos e poderosos comerciantes tírios. A comitiva passa pela Ilha de Chipre e de lá para a África do Norte, onde em 814 a.C. fundou Cartago.

Cartago transformou-se na grande potência mediterrânica entre os séculos VI e II a.C., com hegemonia depois da queda de Tiro.

Cartago foi, aos poucos substituindo o papel colonizador e comercial desempenhado por Tiro. No século VI a.C. o poderio de Tiro sofreu um rude golpe após a sua anexação pela Assíria, e depois de um cerco submetido por Nabuconosor II. Cartago passou a ter um notável império marítimo, substituindo Tiro na hegemonia exercida sobre as colónias fenícias. Mas os cartagineses encontraram ferozes adversários nos gregos, então em plena expansão, pelo que fez alianças com os etruscos e os persas.

[1] Membro Efectivo da Academia das Ciências de Lisboa. Professor Catedrático Jubilado da Faculdade de Ciências Médicas da U.N.L. Professor Catedrático da Faculdade de Direito de Lisboa da U.C.P. Ex-Reitor da Universidade Nova de Lisboa.

Quando Tiro e as restantes cidades-estado da Fenícia perderam a independência, já Cartago tinha uma grande população procedente das emigrações do oriente, além de praticarem também o comércio de outro tipo de produtos. A sua posição privilegiada no Mediterrâneo, os resultados obtidos pelo desenvolvimento do comércio e a constituição de uma importante esquadra naval, tornaram Cartago na principal potência mediterrânica pronta a rivalizar com Roma.

Cartago foi destruído em 146 a.C., sendo o seu protagonismo substituído por Roma, quando esta venceu as guerras púnicas.

Em Cartago, na África do Norte, na Sicília e na Sardenha, a religião considerava que os deuses exigiam sacrifícios de crianças. Estas eram oferecidas ao deus Baal, os pais entregavam o filho ao sacerdote, que o estrangulava e colocava o corpo nas mãos inclinadas da imagem em bronze do deus, originando a sua queda que rolava para uma fogueira onde era cremada.

Foram descobertas dezenas de áreas sagradas, os *tufets*, ou seja recintos a céu aberto, rodeadas por uma muralha rudimentar de terra e pedras.

Nos *tufets*, eram colocadas estelas votivas que estavam sobre urnas de terracota que continham restos de ossadas ou cinzas. A análise mostrou que se tratava de esqueletos de crianças sacrificadas com pouca idade.

Os cartagineses acreditavam na vida além-túmulo, não sendo mais do que uma sombra da existência terrena, limitada apenas pelas paredes do sepulcro onde o morto permaneceria com tranquilidade e conforto.

1.2. Anatomia artística de Cartago

A arquitectura cartaginesa caracterizou-se por grandes construtores, ao analisar muralhas poderosas, templos, edifícios e portos protectores.

A arte funerária, através dos túmulos e estelas é bem conhecida pelas escavações arqueológicas.

As esculturas eram produto do saque de cidades da Sicília, ou eram, na maioria, obra de artistas de origem grega, que viviam em Cartago.

1.2.1. Escultura

Bétilo ou pilar sagrado, em pedra, século VI a.C., encontra-se em Mogador, representa uma escultura não figurativa.

Escultura, em terracota, séculos VIII-VII a.C., proveniente da necrópole de Dermech em Cartágo, encontra-se no Museo Bardo de Tunis, representa uma figura feminina, aparentando uma múmia egípcia segurando uma pomba contra o peito.

Estatueta masculina, em terracota pintada, séculos VII-VI a.C., proveniente de Cartago, encontra-se no Museu Nacional de Cartago, representa uma figurinha masculina com tronco em forma de sino, com bandas coloridas cruzadas e o umbigo proeminente.

Estatueta feminina, em terracota pintada, séculos VI-V a.C., proveniente da necrópole de Ard em Cartago, encontra-se no Museu Nacional de Cartago, representa uma figurinha feminina tipo helénico, segurando um disco contra o peito, com mímica esboçando um riso natural.

Estatueta feminina, em terracota pintada, século VI a.C., proveniente da necrópole de Douimès de Cartago, encontra-se no Museu Nacional de Cartago, representa uma figurinha feminina do tipo egípcio, como as representadas nos sarcófagos das múmias, com mímica de tranquilidade.

Relevo, em granito, século V a.C., proveniente da necrópole de Douimès de Cartago, encontra-se no Museo Bardo de Tunis, representa a gravação de uma *facialis* humana.

Estela, em mármore, século IV a.C., proveniente de Cartago, encontra-se no Museo Bardo de Tunis, representa um símbolo astral com o ídolo em pé sobre um vaso.

Estela, em grés, século V a.C., proveniente de Cartago, encontra-se no Museo Bardo de Tunis, representa uma personagem colocada numa espécie de oratório.

Estela, em calcário negro, século IV a.C., proveniente de Cartago, encontra-se no Museu Bardo de Tunis, representa uma estela com cerca de 1,20 m de altura, com um sacerdote de perfil sustentando uma criança no membro superior esquerdo.

Tampa de sarcófago, em mármore, século IV-III a.C., proveniente de Cartago, encontra-se no Museu Nacional de Cartago, representa uma sacerdotisa com um longo véu descendo da cabeça, onde está um falcão e o cotovelo esquerdo flectido tendo na mão um incensário.

Tampa de sarcófago, em mármore, século IV-III a.C., proveniente da necrópole de Sainte-Monique em Cartago, encontra-se no Museu do Louvre de Paris, representa um sacerdote com barba e bigode, uma toga muito plissada, o cotovelo direito flectido e com a mão abençoando, com mímica de grande concentração.

1.2.2. Máscaras funerárias e Prótomos

Máscara funerária grotesca, em terracota moldada, séculos VII-VI a.C., proveniente da necrópole de Bou Mnijel de Cartago, encontra-se no Museu Bardo de Tunis, representa as rimas das pálpebras em crescente e com as extremidades dirigidas inferiormente, a boca aberta, com as comissuras repuxadas superiormente, deixando ver os dentes das maxilas e da mandíbula, as orelhas em abano, com mímica de riso malicioso.

Máscara funerária grotesca, em terracota moldada, séculos VII-VI a.C., proveniente da necrópole de Dermech de Cartago, encontra-se no Museu Bardo de Tunis, representa uma *facialis* negróide, a rima das pálpebras muito abertas e ovalares, o dorso do nariz esmagado, a boca aberta com a comissura esquerda repuxada súpero-lateralmente, com mímica de malvadez agressiva.

Prótomo masculino, em terracota moldada, século VI a.C., proveniente da necrópole de Utica, encontra-se no Museu de Utica, representa uma cabeça tipo egípcia, cabelo encaracolado, barba rectangular adelgaçada, com mímica de tristeza.

Prótomo masculino, em terracota moldada, século V a.C., proveniente de Cartago, encontra-se no Museu Bardo de Tunis, representa uma cabeça muito naturalista, com *facialis* oval, cabelo encaracolado, barba rectangular adelgaçada, com mímica de atenção e admiração.

Prótomo feminino, em terracota moldada, século VI a.C., proveniente da necrópole de Douimès em Cartago, encontra-se no Museu Nacional de Cartago, representa uma cabeça tipo egípcia, os cabelos estendendo-se para a fronte, os olhos com dimensões correctas, os supercílios fazendo um ângulo recto com o dorso do nariz, a boca pequena, as bochechas salientes, com mímica de sofrimento.

Prótomo feminino, em terracota moldada, século VI a.C., proveniente da necrópole de Dermech em Cartago, encontra-se no Museu Barbo de Tunis, representa uma cabeça tipo helénica, os cabelos estendendo-se para o pescoço, pálpebras muito grandes com supercílios arqueados continuando-se com o dorso do nariz, a fenda da boca com concavidade olhando superiormente, o mento saliente, com mímica de riso malicioso.

Mascara apotropaica, em casca de ovo de avestruz pintado, séculos IV-III a.C., proveniente de Cartago, encontra-se no Museu Nacional de Cartago, representa uma *facialis* pintada a negro e vermelho, a fenda da boca muito comprida, a rima das pálpebras muito aberta, os cílios muito desenvolvidos, com mímica de malvadez.

1.2.3. Vasos

Vaso, em pasta de vidro, século VI a.C., proveniente de Cartago, encontra-se no Museu Nacional de Cartago, representa uma mulher ajoelhada apoiando as mãos num recipiente.

Vaso de unguento, em pasta de vidro pintado, séculos VII-VI a.C., proveniente de Cartago, encontra-se no Museu Barbo de Tunis, representa o vaso com uma grande pega, bandas em linhas rectas pintadas a amarelo e bandas quebradas pintadas a amarelo e verde.

Vaso, em terracota envernizada, século VII a.C., proveniente de Cartago, encontra-se no Museu Nacional de Cartago, representa o vaso com abertura em disco e uma pequena pega.

Askos, em terracota pintada, século VIII a.C., proveniente de Cartago, encontra-se no Museu Barbo de Tunis, representa um vaso helénico, em forma de odre como uma ave, decorada com figuras geométricas.

*Askos***,** século VIII a.C., em terracota pintada, proveniente de Cartago, encontra-se no Museu Nacional de Cartago, representa um vaso helénico, em forma de odre como um carneiro, decorado com linhas rectas dispostas vertical e horizontalmente.

1.2.4. Amuletos

*Amuleto***,** em pasta de vidro, século VII-IV a.C., proveniente de Cartago, encontra-se no Museu Nacional de Cartago, representa o deus egípcio Ptah, a mão direita segurando na longa barba, com mímica de reflexão e inquietação.

*Amuleto***,** em pasta de vidro, século VII-IV a.C., proveniente de Cartago, encontra-se no Museu Nacional de Cartago, representa o deus egípcio Ptah em criança, macrocéfalo e corpo disforme.

*Amuleto***,** em pasta de vidro, século VII-IV a.C., proveniente de Cartago, encontra-se no Museu Bardo de Tunis, representa o deus egípcio Bês, como um anão com braços longos e pernas curtas, com uma *facialis* de leão, barba desgrenhada, aparentado o aspecto provocador e agressivo.

1.2.5. Objectos utilitários e decorativos

*Disco***,** em jaspe verde, século VII-VI a.C., proveniente da necrópole de Dermech em Cartago, encontra-se no Museu Bardo de Tunis, representa a deusa egípcia Hator com um escaravelho sobre a cabeça.

*Disco***,** em terracota, século VII-VI a.C., proveniente da necrópole de Douimès em Cartago, encontra-se no Nacional de Cartago, representa um modelo redondo com motivos geométricos e florais.

*Disco***,** em terracota, século VII-VI a.C., proveniente de Cartago, encontra-se no Museu Nacional de Cartago, representa um cavaleiro armado montado num cavalo e acompanhado por um cão.

*Cabo de espelho***,** em marfim, século VII a.C., proveniente da necrópole de Douimès em Cartago, encontra-se no Museu Nacional de Cartago, representa uma mulher com os membros superiores cruzados no tórax com um objecto nas mãos, usando uma vestimenta cinturada.

*Pente***,** em marfim, século VI a.C., proveniente da necrópole de Junon em Cartago, encontra-se no Museu Bardo de Tunis, representa uma esfinge e flores de lótus.

Navalha, em bronze, século III a.C., proveniente da necrópole de Sainte-Monique em Cartago, encontra-se no Museu Nacional de Cartago, representa uma lâmina rectangular com um orifício saliente situado superiormente, tendo numa das faces gravado uma personagem egípcia.

Medalhão, em ouro, séculos VII-VI a.C., proveniente de Cartago, encontra-se no Museu Nacional de Cartago, representa um recipiente bojudo ladeado por duas pequenas personagens.

Medalhão, em ouro, século VII a.C., proveniente da necrópole de Douimès em Cartago, encontra-se no Museu Nacional de Cartago, representa uma forma circular preenchido com numerosos caracteres.

Brincos, em ouro, séculos VII-VI a.C., proveniente de Cartago, encontram-se no Museu Nacional de Cartago, representa um par de brincos em forma de cesto.

Anel, em ouro, século VI a.C., proveniente da necrópole de Borrdj em Cartago, encontra-se no Museu Bardo de Tunis, representa um guerreiro lutando contra um leão.

2. SICÍLIA E MALTA

2.1. História Política

A parte ocidental da Sicília foi uma das principais colónias fenícias, situada na parte central do Mediterrâneo, no século VIII a.C., onde os fenícios fundaram as cidades de Sélimonte, Solunto, Lilibeo (Massala), Mozia (Motya), Panormo (Palermo), Solunto, entre outras.

A Ilha de Malta foi ocupada pelos fenícios, que fundaram as cidades de Mota e Himer, tendo no século IV a.C. ficado sob o controlo de Cartago.

Mozia (Motyé)

Entre os séculos VIII e VII a.C., Cartago fortaleceu as cidades fenícias, tendo a Sicília passado a ser a porta de entrada de mercadorias para Itália, além de se transformar no eixo político, económico e militar entre a África do Norte e a Europa. No século IV a.C., Malta ficou sob a dependência de Cartago, e assim passou a controlar o Mediterrâneo Central, deixando apenas livre o estreito de Messina.

2.2. Anatomia artística na Sicília

2.2.1. Escultura

Estátua, em pedra, séculos XIV-XII a.C., proveniente de Marsala, encontra-se no Museu Arqueológico Nacional de Palermo, representa um tronco com uma veste no abdómen, a mão esquerda contra o tórax e membro superior direito ao longo do corpo.

Estatueta, em bronze, séculos XIV-XIII a.C., proveniente de Selinonte, encontra-se no Museu Arqueológico Nacional de Palermo, representa uma divindade com um turbante pontiagudo, o membro superior direito flectido em ângulo recto, o antebraço vertical, e o membro superior esquerdo estendido anteriormente.

Estatueta, em terracota, século VI a.C., proveniente de Mozia, encontra-se no Museu Whitaker de Mozia, representa uma figurinha campaniforme, umbigo proeminente e as mãos em posição de oração.

Estatueta, em tufo, século VI a.C., proveniente de Pizzo Cannita, encontra-se no Museu Arqueológico Nacional de Palermo, representa o fragmento de uma estátua, com uma vestimenta plissada, sentada num trono entre duas esfinges.

Estela dupla, em calcário, século VI a.C., proveniente de Mozia, encontra-se no Museu Whitaker de Mozia, representa duas figuras de perfil erguidas numa base única, mas separadas.

Estela, em calcário, século V a.C., proveniente de Mozia, encontra-se no Museu Whitaker de Mozia, representa um figura feminina de frente com as mãos unidas no peito, com uma vestimente cónica.

Estela, em calcário, século VI a.C., proveniente de Mozia, encontra-se no Museu Whitaker de Mozia, representa um figura feminina de frente com as mãos unidas no peito, com uma vestimenta cilindróide.

Estela, em calcário, século V a.C., proveniente de Mozia, encontra-se no Museu Whitaker de Mozia, representa um figura feminina de perfil tocando um pequeno tambor.

Estela pintada, em tufo pintado, século I, proveniente de Lilybée, encontra-se no Museu Arqueológico Nacional de Palermo, representa a cena de um banquete funerário entre duas colunas pintadas.

S*arcófago antropomorfo,* em mármore, séculos VI-V a.C., proveniente de Pizzo Cannita, encontra-se no Museu Arqueológico Nacional de Palermo, representa uma figura feminina trabalhada em relevo, com um vestimento pregueado, as mãos unidas sobre o peito e a *facialis* de influência helénica.

2.2.2. Objectos utilitários

Moeda siciliana, em prata, século IV a.C, encontra-se no Museu Arqueológico Nacional de Palermo, representa numa face, uma cabeça feminina de perfil com coroa de louros, a *facialis* mostrando uma perfeita anatomia de superfície, com mímica de descontracção e felicidade.

3. SARDENHA

3.1. História Política

A ilha de Sardenha começou a ser visitada pelos fenícios no século X a.C., com a finalidade de se abrigarem ou para usarem ancoradouros, ao longo das suas longas viagens, desde as suas cidades--estados na Fenícia. No século IX a.C. os fenícios fundaram em Sardenha as cidades de Genoni, Nora, Bithia, Sulcis, Monte Sirai, Tharros, entre outras.

Monte Sirai

Em 509 a.C. a guerra iniciou-se entre os nativos e os fenícios, tendo estes pedido ajuda a Cartago. Depois de várias campanhas militares, os cartagineses dominaram toda a ilha, tendo sido integrada no império cartaginês, durante três séculos.

3.2. Anatomia Artística da Sardenha

3.2.1. Escultura

Estátua, em calcário, séculos VII-VI a.C., proveniente de Monte Sirai, encontra-se no Museu Arqueológico Nacional de Cagliari, representa uma mulher com o corpo não completamente esculpido, a cabeça cuidadosamente trabalhada, a *facialis* estilizada, com mímica expressando um riso natural.

Estátua de Bès, em grés, proveniente de Bithia, encontra-se no Museu Arqueológico Nacional de Cagliari, representa o deus disforme, barbudo e obeso.

Estatueta campaniforme, em terracota, séculos III-II a.C., proveniente de Bithia, encontra-se no Museu Arqueológico Nacional de Cagliari, representa uma figurinha com os membros superiores longos e curvilíneos escondendo a *facialis*.

Estatueta campaniforme, em terracota, séculos III-II a.C., proveniente de Bithia, encontra-se no Museu Arqueológico Nacional de Cagliari, representa uma figurinha com os membros superiores curtos ao longo do tronco.

Estatueta campaniforme, em terracota, séculos III a II a.C., proveniente de Bithia, encontra-se no Museu Arqueológico Nacional de Cagliari, representa uma figurinha com os membros superiores flectidos no cotovelo e cruzados no tórax, com uma criança apoiada no braço esquerdo.

Estatueta, em bronze, século VIII a.C., proveniente de Paulilatino, encontra-se no Museu Arqueológico Nacional de Cagliari, representa uma figurinha filiforme sentada, com os membros superiores dirigidos anteriormente com as mãos unidas.

Estatueta, em bronze, século VIII a.C., proveniente de Nurra, encontra-se no Museu Arqueológico Nacional de Cagliari, representa o tronco de uma figurinha, com a cabeça coberta por um turbante cónico, o membro superior direito num gesto de abençoar, enquanto o membro superior esquerdo tem o cotovelo flectido em ângulo recto.

Estatueta, em bronze, século VI a.C., proveniente de Monte Sirai, encontra-se no Museu Arqueológico Nacional de Cagliari, representa uma figurinha sentada tocando lira.

Estatueta, em bronze, século VI a.C., proveniente de Monte Sirai, encontra-se no Museu Arqueológico Nacional de Cagliari, representa uma figurinha sentada, enchendo um recipiente com liquido contido num vaso com uma grande pega.

Estatueta, em bronze, século IV a.C., proveniente de Genoni, encontra-se no Museu Arqueológico Nacional de Cagliari, representa uma figurinha tendo na cabeça uma rica tiara com plumas, com um gesto de abençoar, com mímica de atenção e grande concentração.

Estatueta, em terracota moldada, século VI a.C., proveniente de Nora, encontra-se no Museu Arqueológico Nacional de Cagliari, representa uma figurinha feminina, nua, com formas muito bem proporcionadas, segurando as mamas com as mãos, os membros e o tronco traduzindo uma perfeita anatomia de superfície, a cabeça com uma tiara donde pende um véu que a reveste posteriormente, com mímica expressando sensualidade.

Estela, em grés, século V a.C., proveniente de Nora, encontra-se no Museu Arqueológico Nacional de Cagliari, representa um ídolo em forma de garrafa.

Estela, em tufo traquítico, séculos VI-V a.C., proveniente de Sulcis, encontra-se no Museu Arqueológico Nacional de Cagliari, representa uma mulher com as mãos segurando um disco contra o peito.

Estela, em tufo traquítico, séculos VI-V a.C., proveniente de Monte Sirai, encontra-se no Museu Arqueológico Nacional de Cagliari, representa uma mulher com as mãos segurando um disco contra o peito.

Estela, em mármore, séculos III-II a.C., proveniente de Sulcis, encontra-se no Museu Arqueológico Nacional de Cagliari, representa uma mulher com um rico vestuário muito pregueado, segurando com a mão esquerda uma estola, e com a mão direita o *ankh* dos egípcios, símbolo da vida após a morte.

3.2.2. Mascaras funerárias e Prótomos

Máscara funerária grotesca, em terracota moldada, século VI a.C., proveniente da necrópole de San Sperate, encontra-se no Museu Arqueológico Nacional de Cagliari, representa as rimas das pálpebras rectangulares, a fenda da boca fechada com concavidade superior, as orelhas em abano e um anel no subsepto ou columela, com mímica de riso malicioso,

Máscara funerária grotesca, em terracota moldada, século V a.C., proveniente da necrópole de Tharros, encontra-se no Museu Arqueológico Nacional de Cagliari, representa as rimas das pálpebras muito abertas, a rima da boca deixando ver os dentes do maxilar e da mandíbula, com mímica de malvadez com raiva.

Máscara funerária grotesca, em osso, século VI a.C., proveniente da Sardenha, encontra-se no Museu Arqueológico Nacional de Cagliari, representa a rima das pálpebras abertas e ovalares, o dorso do nariz esmagado, a rima da boca pequena e os lábios com obliquidade ínfero-direita, com mímica de terror expectante,

Prótomo feminino, em terracota moldada, século VI a.C., proveniente da acrópole de Tharros, encontra-se no Museu Arqueológico Nacional de Cagliari, representa uma cabeça tipo egípcia, o cabelo encaracolado pendente para o pescoço, os supercílios marcados com concavidade inferior, a rima das pálpebras permitindo observar os olhos, os sulcos orbito-palpebrais muito marcados, a fenda da boca com as comissuras ligeiramente puxadas, com mímica de um sorriso natural.

3.2.3. Objectos utilitários e decorativos

*Disco***,** século IV a.C., em jaspe verde, proveniente da necrópole de Tharros, encontra-se no Museu Arqueológico Nacional de Cagliari, representa Isis e Horus.

*Elementos de colares***,** em pasta de vidro, séculos IV-III a.C., proveniente da necrópole de Fontana Noa de Olbia, encontram-se no Museu Arqueológico Nacional de Cagliari, representam *facialis* grotescos.

*Pulseira***,** em ouro, séculos VII-VI a.C., proveniente da necrópole de Tharros, encontram-se no Museu Arqueológico Nacional de Cagliari, trata-se de uma pulseira trabalhada em relevo, decorada com motivos egípcios, um escaravelho alado, palmeiras e flor de lótus.

Moeda, em cobre, séculos IV-III a.C, proveniente da Sardenha, encontra-se no Museu Arqueológico Nacional de Cagliari, representa numa face, uma cabeça masculina de perfil, um nariz tipo grego, com uma fita no pescoço.

4. PENÍNSULA IBÉRICA

4.1. História Política

A Península Ibérica foi colonizada pelos fenícios e aí foi encontrada muita prata, cobre e chumbo. A mais antiga colónia instalou-se em Gadés (Cádiz), próximo do estreito de Gibraltar, além de outras colónias situadas no litoral mediterrânico da Andaluzia, as colónias de Málaga, Sexi, Villaricos e Cartagena, entre outras. Em Portugal há vestígios da sua influência, com incidência na província do Algarve, em Ossonoba (Faro) e no tempo de Aníbal, teriam fundado Portus Hannibalis, com provável localização em Portimão ou Alvor e na costa ocidental junto da desembocadura do rio Sado, próximo de Setúbal.

Gadèz (Cádiz)

Foram recentemente encontrados em Cádiz, os vestígios da cidade fenícia de Gadés (Cádiz), do século VIII a.C., passando ser a cidade mais antiga da Península Ibérica.

4.2. Anatomia Artística da Península Ibérica

4.2.1. Escultura

Estatueta, em alabastro, séculos VI-V a.C., proveniente da necrópole de Galera, encontra-se no Museu Arqueológico Nacional de Madrid, representa uma deusa sentada no trono entre duas esfinges, segurando nos antebraços e mãos uma grande bacia, com mímica tranquila.

Estatueta, em terracota, séculos VI-V a.C., proveniente da ilha de Ibiza, encontra-se no Museu Arqueológico de Barcelona, representa uma figurinha masculina campaniforme, com o membro superior direito elevado segurando uma pequena lamparina.

Estatueta, em terracota, século V a.C., proveniente da ilha de Ibiza, encontra-se no Museu Arqueológico de Barcelona, representa uma figurinha masculina campaniforme, com os membros superiores tendo os cotovelos flectidos contra o peito.

Estatueta, em terracota, século IV a.C., proveniente da ilha de Ibiza, encontra-se no Museu Arqueológico de Barcelona, representa uma figurinha masculina campaniforme, com um colar, o membro superior direito ao longo do tronco, a mão no abdómen, e o membro superior esquerdo igualmente curvilíneo parece segurar o umbigo demasiado proeminente.

Estatueta, em terracota, séculos VI-V a.C., proveniente da necrópole de Puig d'es Molins de Ibiza, encontra-se no Museu Arqueológico Nacional de Madrid, representa uma figurinha feminina, com cabeça tipo helénico e tronco e membros tipo egípcio, com mímica expressando um sono tranquilo.

Estatueta, em terracota, séculos IV-III a.C., proveniente da necrópole de Puig d'es Molins em Ibiza, encontra-se no Museu Arqueológico Nacional de Madrid, representa o fragmento de uma figurinha feminina, com vestimenta decorada geometricamente, um colar com medalhão e na cabeça uma tiara.

Estatueta, em terracota, séculos V-IV a.C., proveniente da necrópole de Puig d'es Molins em Ibiza, encontra-se no Museu Arqueológico Nacional de Madrid, representa uma figurinha feminina ricamente decorada, com vestimenta muito rica, um colar com medalhão e na cabeça uma tiara.

Estatueta, em terracota, século IV a.C., proveniente da necrópole de Puig d'es Molins em Ibiza, encontra-se no Museu Arqueológico Nacional de Madrid, representa uma figurinha masculina, o corpo nu, um colar em V com três enfeites e na cabeça os cabelos muito encaracolados e uma tiara simples.

Estatueta, em bronze com a mascara em ouro, séculos VII-VI a.C., proveniente de Cádiz, encontra-se no Museu Arqueológico Nacional de Madrid, representa a figurinha egípcia de Ptah, em pé, as mãos cruzadas no peito, o vestuário longo aderente ao corpo, deixando ver as porções inferiores das pernas e dos pés, e o rosto coberto com uma mascara de traços finos e regulares.

Estatueta, em bronze, século VII a.C., proveniente de Sevilha, encontra-se no Museu Arqueológico Provincial de Sevilha, representa uma figurinha de deusa, sentada, a *facialis* típica dos prótomos egípcios, o corpo nu, os membros inferiores encostados, pés desproporcionados assentes num bloco cúbico com uma inscrição fenícia.

Estatueta, em mármore, século V a.C., proveniente de Cádiz, encontra-se no Museu Arqueológico Provincial de Cádiz, representa a cabeça masculina pertencente a um sarcófago antropomorfo, com características helénicas, os cabelos espessos e encaracolados e barba comprida.

Estátua da dama de Elche, em calcário com traços de pintura, séculos IV-III a.C., proveniente de Elché, encontra-se no Museu Arqueológico Nacional de Madrid, representa um busto feminino, o mais importante da cultura ibérica, vestida com uma túnica e uma mantilha segura por uma espécie de tiara, estando a dama ornamentada com numerosas jóias, grandes brincos formados por uma cadeia de anéis, colares com coroas de pequenas esferas e filigranas e a *facialis* exprimindo grande sensualidade.

4.2.2. Máscaras funerárias e Prótomos

Máscara funerária grotesca, em terracota moldada, século IV a.C., proveniente da necrópole de Puig d'es Molins, encontra-se no Museu Arqueológico de Barcelona, representa as rimas das pálpebras em crescente, a rima da boca com obliquidade súpero-esquerda, com mímica de malvadez com ódio.

Prótomo feminino, em terracota moldada, século V a.C., proveniente da necrópole de Puig d'es Molins, encontra-se no Museu del Cau em Sitges, representa uma cabeça tipo helénica, os supercílios arqueados continuando-se com o dorso do nariz, a fenda da boca com concavidade olhando inferiormente, o mento saliente, com mímica de sono tranquilo.

4.2.3. Objectos utilitários e decorativos

Bracelete, em ouro, século VII a.C., proveniente de La Aliseda, encontra-se no Museu Arqueológico Nacional de Madrid, representa uma jóia decorada com espirais.

Bracelete, em ouro, século VII a.C., proveniente de La Aliseda, encontra-se no Museu Arqueológico Nacional de Madrid, representa uma jóia decorada com espirais.

*Brinco***,** em ouro, século VII a.C., proveniente de La Aliseda, encontra-se no Museu Arqueológico Nacional de Madrid, representa uma jóia decorada com flores de lótus e folhas de palmeira.

*Diadema***,** em ouro, século VII a.C., proveniente de La Aliseda, encontra-se no Museu Arqueológico Nacional de Madrid, representa uma jóia com rica decoração repetitiva, onde se destacam malmequeres e pequenas esferas.

5. CONCLUSÕES

A civilização fenícia e cartaginesa, resultou da junção e assimilação de influências egípcias, mesopotâmicas, assírias, egeias, entre outras, tendo consequências para o futuro civilizador da humanidade.

A navegação e o comércio constituíram a união entre o oriente e o ocidente.

O mundo ocidental deve aos fenícios muitos conhecimentos, sobre astronomia, mitologia, filosofia, direito, história, geografia, agricultura e silvicultura. O seu saber chegou até nós por dados indirectos obtidos em bibliotecas, ou por escritos em papiro e couro, materiais pouco resistentes, ao contrário das tabuinhas de barro, onde se escreviam os caracteres cuneiformes, ou na pedra a escrita hieroglífica.

Através da invenção e difusão do alfabeto, sistema que permitiu transcrever rápida e facilmente a linguagem, que foi ensinada aos povos da antiguidade clássica e a outras civilizações ocidentais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arqueologia (1988), volume 3, Os senhores do Mediterrâneo, pgs. 176-196. Barcelona: Planeta-Agostini.

Blázquez, José Maria, Alvar, Jaime & Wagner, Carlos G. (1999), *Fenícios y Cartagineses en el Mediterrâneo*. Madrid: Ediciones Cátedra.

Blázquez, José Maria, Martínez-Pinna, Jorge, Presedo, Francisco, Melero, Raquel López & Alvar, Jaime (1992), *Historia de Oriente Antiguo*. Madrid: Ediciones Cátedra, S.A.

Briquel-Chatonnet, Françoise & Gubel, Éric (1998), *Les Phéniciens aux origins du Liban*, Découvertes Gallimard Histoire.

Dictionnaire de la Civilisation Phénicienne et Punique (1992). Brepols.

Frankfort, Henry (1988), *The Art and Architecture of the Ancient Orient*, Penguin Books.

Giordani, Mário Curtis (1987), *História da Antiguidade Oriental* (8.ª edição). Petrópolis: Editora Vozes Limitada.

Gubel, Éric (2002), *Art Phénicien. La sculpture de tradition phénicienne*. Paris: Éditions de la Réunion des Musées Nationaux. Paris.

Harden, Donald (1968), *História Mundi, Os Fenícios*. Lisboa: Editorial Verbo.

História da Humanidade, *O Egipto e as Antigas Civilizações* (2007), A civilização do mar, 376-408. Lisboa: Círculo dos Leitores.

Markoe, Glenn E. (2000), *Phoenicians*. Great Britain: Britsh Museum Press.

Martínez, Fernando Prados (2007), *Los fenícios*. Madrid: Marcial Pons, Ediciones de Historia, S.A.

Moscati, Sabatino & DiStefano, Carmela Ângela (2006). *Palermo: Museo Archeologico*, Edizioni Novecento.

Olaguer-Feliu, Fernando de (1994), *Historia del Arte del Próximo Oriente* (1994). Barcelona: Editorial Planeta, S.A.

Padró, José (1987), *Los Fenícios* (1987), Gran Historia Universal. volume II, Antigos Impérios Orientales.Madrid: Najera

Parrot, André, Chéhab, Maurice H. & Moscati, Sabatino (1975), *Les Phéniciens*. Paris: L'expansion phénicienne. Cartage, Éditions Gallimard.

Parrot, André, Chéhab, Maurice H. & Moscati, Sabatino (2007), *Les Phéniciens*. Paris: Cartage, Éditions Gallimard.

Peinado, Federico Lara (1990), *Así vivían los Fenicios*. Madrid:Grupo Anaya, S.A.

Peinado, Federico Lara & Zoilo, Joaquín Córdoba (1989), *Historia del Arte, El Mediterrâneo Oriental, El arte fenicio*, pg. 40-59. Historia 16.

Pijoan, Jose (1981), *Summa Artis, Historia Geral da Arte*, volume II, Arte del Asia Occidental, Fenicia, pgs. 401-418. Madrid: Espasa--Calpe, S. A.

Rawlinson, George (2007), *History of Phoenicia*: Bibliobazar.

Wagner, Carlos G. (1989), *Los Fenícios*. Madrid: Ediciones Akal, S.A.

(Comunicação apresentada à Classe de Ciências
na sessão de 21 de março de 2013)

Anatomia artística no Renascimento português I

Pintura do proto-renascimento
Nuno Gonçalves

J. A. Esperança Pina[1]

CARACTERÍSTICAS GERAIS DA PINTURA DO RENASCIMENTO PORTUGUÊS

O Renascimento em Portugal está rodeado de bastante imprecisão, uma vez que resultou dos contactos com centros renascentistas europeus, como a Flandres e Itália.

Por seu lado, os descobrimentos portugueses desempenharam um papel importante, com a descoberta de novos mundos e o contacto com outras civilizações, o que conduziu a um cruzamento de culturas que se reflectiu na arte. O apogeu foi atingido no final do século XV e nas primeiras duas décadas do século XVI, durante o reinado de D. Manuel I, entre 1495 e 1521.

O Renascimento em Portugal caracterizou-se por um cosmopolitismo com uma vertente europeia e outra ultramarina. Muitos artistas portugueses frequentaram centros europeus dotados de novos ideais humanistas, nomeadamente na Flandres, em França, Espanha ou Itália, e simultaneamente, assiste-se à presença permanente de artistas flamengos, franceses e italianos em Portugal.

Segundo Luís Alberto Casimiro (2006: 87-88):

> "Em Portugal, o fenómeno artístico designado convencionalmente por *Renascimento* encontra-se balizado cronologicamente entre os anos de 1450 e 1550 tendo, portanto, o seu início e fim, mais tarde do que se verificou noutros países europeus mais permeáveis às mudanças estéticas ocorridas em Itália desde o *Trecento*. Durante aquela centúria, a produção artística nacional conheceu situações muito dispares, como a que se verificou nos últimos cinquenta anos de Quatrocentos, sob os reinados de D. Afonso V (1449-1481) e D. João II (1481-1495) em que se regista um número bastante limitado de obras de arte dignas de ser realçadas e a que ocorre durante a primeira metade do século XVI, em que reinaram os monarcas D. Manuel I (1495-1521) e D. João III (1521-1557), o período áureo da grande pintura manuelina-joanina. Todavia, podemos apresentar como excepções, durante o reinado de D. Afonso V, a realização do magnifico políptico, formado por seis painéis, representando a *Veneração de São Vicente*, uma das mais importantes obras-primas da pintura portuguesa, atribuído ao pintor régio Nuno Gonçalves, o introdutor dos valores renascentistas em Portugal."

[1] Membro Efectivo da Academia das Ciências de Lisboa. Professor Catedrático Jubilado da Faculdade de Ciências Médicas da U.N.L. Professor Catedrático da Faculdade de Direito de Lisboa da U.C.P. Ex-Reitor da Universidade Nova de Lisboa.

ANATOMIA ARTÍSTICA NA PINTURA DO PROTO-RENASCIMENTO

A pintura gótica em Portugal nos séculos XIV e XV constitui uma das actividades deste período.

A pintura mural a fresco, muito escassa, tem pouca qualidade em termos artísticos, sendo a do *Tribunal de Monsaraz*, com características civis, muito pobre em recursos técnicos e artísticos, quando comparada com a pintura gótica a fresco em Itália.

A pintura mural antecedeu a pintura sobre madeira, constituída por polípticos, com temática religiosa estreitamente ligados a conventos e igrejas, com pintores desconhecidos, destacando-se apenas as famosas obras do pintor régio de D. Afonso V, Nuno Gonçalves, pela obra excepcional realizada, cuja actividade foi conhecida entre 1450 e 1480.

Segundo Vítor Serrão (2002: 279, 280, 284):

> "A grande obra da pintura portuguesa do século XV e uma das peças máximas da pintura europeia da arte europeia da mesma centúria é, seguramente, o conjunto de quadros retabulares [Painéis de São Vicente de Fora] que se têm adstrito ao nome do pintor régio Nuno Gonçalves. Trata-se de uma obra da mais alta importância no contexto da arte europeia de viragem da Idade Média para a Idade Moderna. (…)
>
> As origens da arte gonçalvina deveriam ser encontradas na desconhecida produção imediatamente anterior e não nos hipotéticos (e improváveis) ecos artísticos decorrentes da viagem a Portugal de Jean van Eyck, em 1428, quando esse mestre flamengo, integrado na embaixada do Duque de Borgonha que vinha pedir a mão da Infanta D. Isabel para Filipe o Bom, aqui estadeou por uns meses: nada, ao nível de escala, do cromatismo, do filigranado acabamento dos segundos planos, ou da apurada técnica a óleo, característica da obra do mestre de Gand, encontra paralelo na nossa pintura de então, ou nos *Painéis de São Vicente*. (…) É no contexto mediterrânico nos anos centrais do século XV, extremamente empreendedor em viagens e itinerários de artistas e de obras de arte com a costa norte-italiana, a faixa de Valência e da Catalunha, o Midi e o sul de Espanha, que melhor de irão poder detectar as raízes do grande pintor régio a quem se devem os *Painéis de São Vicente*. (…)
>
> A nível da perspectiva espacial, o artista dos Painéis dá mostras de pretender rasgar a tradição goticista no seu tempo dominante, ainda com algumas hesitações e tibiezas (…), naturais num meio pouco adestrado para se adequar às novidades do *Quattrocento* transalpino. A nível da poderosa contenção retratística na fixação dos seus modelos psicologicamente definidos *ao vivo*, o artista português revela-se verdadeiro mestre proto-renascentista obsessivo na representação humana, não só na firmeza psicológica das máscaras como também no desenho preparatório sobre os suportes (…). O pintor Nuno Gonçalves é sequaz de uma tradição que encontra no mundo ítalo-mediterrânico e provençal, onde encontra paralelos artísticos um pouco por toda a diáspora, num contexto geográfico que, sob o signo do *Renascimento Mediterrânico*, lhe define o carácter, os valores e as referências. É certo que trai, também, ecos da pintura da Flandres do seu tempo (…),"

A História da Arte, fundamental à realização da Anatomia Artística na Pintura de Nuno Gonçalves, foi essencialmente baseada em publicações de Adriano de Gusmão (1957), Reynaldo dos Santos (1966), Pedro Dias (1986), Dagoberto Markl (1987), Fernando de Pamplona (1988), Vítor Serrão (2002), Jorge de Almeida e M. Manuela de Albuquerque (2003) e Dalila Rodrigues (2007 e 2009).

Nuno Gonçalves

Nuno Gonçalves, pintor e escudeiro régio de D. Afonso V, com actividade conhecida entre 1450 e 1480, pintando os *Painéis de São Vicente*, entre 1458 e 1462, uma obra do *quattrocento* à escala internacional. Esta obra deve querer comemorar, segundo José de Figueiredo, a conquista de Alcácer-Ceguer, levada a

cabo em Outubro de 1458, dois anos antes da morte do Infante D. Henrique, um dos figurantes e protagonista dos Painéis.

Duas pinturas alusivas ao martírio de São Vicente, *São Vicente atado à coluna* e *São Vicente na cruz em aspa*, são também obras de Nuno Gonçalves.

Os quatro santos, *São Pedro*, *São Paulo*, *São Teotónio* e *Santo Franciscano* (São Francisco ou Santo António), apresentam elementos comuns às pinturas de Nuno Gonçalves.

O famoso *Ecce Homo*, considerado a mais impressionante figuração de Cristo, foi durante muito tempo considerada como pintura do século XV, mas provavelmente será uma cópia realizada no século XVI de um original perdido no século XV da autoria de Nuno Gonçalves.

A *Princesa Santa Joana*, filha do rei D. Afonso V, igualmente da autoria de Nuno Gonçalves, como cópia do original desaparecido, apresenta as características da princesa no Painel do Infante.

As obras de pintura de Nuno Gonçalves encontram-se no Museu Nacional de Arte Antiga, em Lisboa, à excepção de Santa Joana no Museu Regional de Aveiro.

Painéis de São Vicente

Os Painéis de São Vicente estão equiparados ao que melhor se fez na Europa, no mesmo período. São seis tábuas, duas largas e quatro estreitas, aparecendo nos dois painéis centrais a mesma figura de São Vicente, que as outras personagens rodeiam e veneram.

A organização do espaço nos painéis faz-nos recordar a obra monumental de Van Eyck, o *Cordeiro Místico* de Gand, onde as diversas personagens foram colocadas paralelamente nos sucessivos painéis, cada um contendo um determinado grupo social.

Segundo Maria Alice Beamont (1991: 119):

> "Se bem que a expressão dos rostos, na sua maioria vincados e enérgicos, seja considerada em algo de muito importante que todos partilham, o centro de atenção não é para todos o Santo venerado [São Vicente]. Muitos olham para alguma coisa de exterior aos painéis. Se os rostos são reais, humanos, ainda que sublimados episodicamente por uma motivação especial, se no desenho e na cor encontramos a qualidade (…), o espaço é uma preocupação secundária e, parece-me, neste caso desnecessária para a excelência da pintura. A sua quase ausência sublinha a atenção ao humano e a força de coesão daquela assembleia."

Nos Painéis de São Vicente, as figuras de São Vicente ocupam simetricamente os dois painéis centrais, organizam toda a estrutura da pintura, onde 58 outras personagens se sucedem, como num imenso retrato colectivo.

Segundo Fernando Pamplona (1987: 67-68):

> "[O poliptíco de São Vicente] É um conjunto na verdade empolgante, em que está reunido em assembleia magna todo o Portugal heróico e místico do Quatrocentos – os príncipes, os guerreiros, os nautas, os letrados, os monges, a arraia-miúda – em seis tábuas prodigiosas de vigor, de verdade, de alta emoção, que resumem um século de história. Rostos graves, meditativos, plenos de vida interior, mas, ao mesmo tempo, enérgicos, vincados, de vontade tensa como um arco, eles estão a meio caminho do sonho e da acção – dos novos mundos que já entrevêem na bruma da esperança e da perspectiva das mil batalhas que, para os ter, hão-de travar com os homens e com os elementos. (…) Embora colocado no segundo plano, o Infante de Sagres é o verdadeiro protagonista deste imenso friso de figuras tão humanas e tão nossas: o seu olhar magnético, enevoado de

sonho e sequioso de acção, contagia irresistivelmente todos quantos o rodeiam, galvanizando as vontades, incendiando as almas, imprimindo nos rostos serenos másculo vigor. Gesta medieva, que vive da sua fé magnifica, do seu clarão interior, ela marca o abrir do ciclo áureo, a largada para a grande empresa marítima que era o destino do Portugal atlântico, a debater-se no drama de sentir a sua alma grande de mais para o seu corpo. Neste misto de energia indómita e de suave espiritualidade se retrata afinal o carácter profundo da lei lusíada, que o régio pintor de Afonso V soube traduzir portuguesmente com largo naturalismo e sentimento nobre e contido.(…)

E, se a obra que surpreende e deslumbra, não menos espanto nos causa o seu autor. Surgido no dealbar da nossa pintura, na sua fase ainda incerta, balbuciante, ele afirma-se o maior pintor português, jamais excedido nem sequer igualado. Eis o milagre do génio, que a si mesmo se basta e é capaz de fazer de um só jacto o trabalho de séculos!"

Autoria e Datação dos Painéis de São Vicente

Jorge Filipe de Almeida e Maria Manuela Barroso de Albuquerque (2003) transcrevem a sigla lida em rotação a 180º, situada no botim esquerdo do Príncipe Perfeito, o futuro D. João II, do Painel do Infante.

Pode decifrar-se a assinatura (S), a abreviatura de Nuno (N), a abreviatura de Gonçalves (Gs), o ano (A), quatrocentos (CCCC), quarenta e cinco (Rb). A sigla atribui aos painéis o autor e a datação.

RECONSTITUIÇÃO CONJECTURAL DO RETÁBULO DE SÃO VICENTE

Os Painéis de São Vicente, outrora colocados na capela-mor da Sé de Lisboa, no lado da Epístola, foram sempre objecto de culto. Foram retirados e guardados no Palácio Episcopal da Mitra em Marvila, onde em 1742, por determinação de D. João V, foram restaurados. Assim se explica que tenham permanecido ilesos no terramoto de 1755, que destruiu grande parte da capela-mor da Sé de Lisboa. Já no século XIX, os painéis foram transferidos para o Paço Episcopal de São Vicente de Fora, onde permaneceram esquecidos até à sua descoberta pelo Cónego Elviro dos Santos, em 1883.

Dagoberto Markl (1988) apresentou um esquema de reconstituição conjectural do Retábulo de São Vicente, com os painéis do Infante, do Arcebispo, dos Frades, dos Pescadores, dos Cavaleiros e da Relíquia; o São Vicente atado à coluna e o São Vicente na cruz em aspa (metade); a Disputa (?), a estátua de São Vicente (?), o relicário com relíquias de São Vicente (?); e 6 painéis desconhecidos (?).

IDENTIFICAÇÃO DA FIGURA CENTRAL DOS PAINÉIS DE SÃO VICENTE

Os painéis de São Vicente, um políptico de Veneração a São Vicente, continuam a provocar polémicas, a desencadear paixões, a alimentar a curiosidade febril dos investigadores e dos simples curiosos, como obra viva e actual que é e continua a ser, apesar dos seus quinhentos anos.

A identificação das figuras permanece em aberto, impedindo ainda resultados conclusivos, sendo o ponto mais controverso, a figura santificada de São Vicente ou do Infante D. Fernando, morto no cativeiro em Fez.

A semelhança fisionómica entre a personagem central dos painéis do Infante e do Arcebispo, com o São Vicente atado à coluna, todas da autoria de Nuno Gonçalves, leva a concluir tratar-se de São Vicente, pelo que decidimos analisar a Anatomia de Superfície, da *facialis* nas três personagens.

As referências cutâneas ósteo-musculares nas regiões frontais e faciais são semelhantes nas três *facialis* de São Vicente:

– Bossas frontais (1);
– Glabela (2);
– Arcos superciliares (3);
– Ossos nasais (8);
– Processo frontal da maxila (9);
– Maxila (11);
– Osso zigomático (16)
– Ramo da mandíbula (12);
– Espinha nasal anterior (10)
– Tubérculos mentuais (15);
– Protuberância mentual (14).

As referências cutâneas das pálpebras são semelhantes nas três *facialis* de São Vicente:
– Pálpebra superior (B1);
– Pálpebra inferior (B2);
– Comissura medial da pálpebra (B3);
– Comissura lateral da pálpebra (B4);
– Sulco orbito-palpebral superior (B5);
– Sulco orbito-palpebral inferior (B6):
– Íris e pupila (A6);
– Esclera (A8).

As referências cutâneas do nariz são semelhantes nas três *facialis* de São Vicente:
– Sulco naso-palpebral (1);
– Sulco naso-geniano (2);
– Sulco naso-labial (3);
– Raiz do nariz (9).
– Dorso do nariz (4);
– Ápice do nariz (5);
– Narinas (6);
– Asa do nariz (7);

As referências cutâneas da boca são semelhantes nas três *facialis* de São Vicente:
– Lábio superior (1);
– Lábio inferior (2);
– Filtro (3);
– Fosseta mediana (4);
– Sulco génio-labial (5);
– Sulco mento-labial (6):

– Tubérculo do lábio superior (7):
– Comissura labial esquerda (8);
– Fenda da boca (9).

A *teoria vicentina*, maioritária defende a representação principal como sendo São Vicente. A *teoria fernandina* considera ser o Infante D. Fernando o protagonista.

Adoptámos a teoria vicentina pelas conclusões obtidas no estudo da anatomia artística de superfície da *facialis*, de São Vicente, no painel do Infante e no painel do Arcebispo, em comparação com o São Vicente atado à coluna, todos da autoria de Nuno Gonçalves.

PAINÉIS DE SÃO VICENTE

Os painéis de São Vicente são seis: Infante, Arcebispo, Frades, Pescadores, Cavaleiros e Relíquias.

Painel do Infante

O painel do Infante é representativo da mais alta hierarquia régia de Portugal na viragem da década de 60 para a de 70 do século XV, e símbolo da adoração dedicada a São Vicente.

O painel do Infante pode constituir-se em quatro partes. A parte central representa São Vicente. A cena, situada à direita, apresenta D. Afonso V, o Príncipe D. João futuro D. João II e o Infante D. Henrique. A cena situada à esquerda apresenta a Princesa Santa Joana e D. Isabel de Portugal. No friso superior do painel encontram-se retratadas onze cabeças.

A figura de *São Vicente* no centro do painel, bem iluminado, surge com o rosto do Santo quase sobrenatural, com vestes vermelhas num tom ardente, ostentando um livro, o Evangelho segundo São João.

D. Afonso V, com saio verde profundo e barrete, está genuflectido, com um joelho em terra e a espada segura na mão esquerda. O rei olha para o missal parecendo talvez que o vai o beijar, fazer um juramento ou até mesmo venerar o livro dos Evangelhos nas mãos de São Vicente. A mímica sugere atenção com admiração e submissão.

O *Príncipe herdeiro D. João*, futuro D. João II é o jovem por detrás do rei, com um gorro na cabeça e com a espada, pois sabe-se que o príncipe tinha sido armado cavaleiro em Arzila, em 1471. A mímica exprime atenção com veneração.

O *Infante D. Henrique,* enlutado em seu mangil roxo e com o seu negro chapeirão de aba larga flamengo, moreno, com ombros estreitos, no meio de mareantes de trajos sombrios. A mímica revela atenção e contemplação.

A *Princesa D. Joana*, filha de D. Afonso V e irmã do futuro rei D. João II, que se veio a tornar freira dominicana no Mosteiro de Jesus de Aveiro, está ajoelhada, e mostra *facialis* alva e as mãos finas. Tem um vestido carmesim, um rico colar com uma esmeralda engastada numa armação de ouro onde estão penduradas cinco pequenas bolas douradas. A mímica exprime reflexão com dependência.

D. Isabel de Portugal, Duquesa de Borgonha, está de pé por detrás da Princesa D. Joana, foi a única filha de D. João I e de sua mulher D. Filipa de Lencastre. Em 1430, casou com Filipe III, Duque de Borgonha, cognominado de Filipe o Bom. Tem um toucado, como era habitual nas viúvas. A mímica exprime reflexão e obediência.

O *chanceler-mor*, provavelmente Ruy Gomes de Alvarenga, está por detrás e à direita de São Vicente, com as mãos metidas nas largas mangas da opa. A mímica exprime atenção e grande concentração.

As duas personagens situadas à direita do chanceler-mor devem ser os homens que, a seguir a ele, ocupavam os primeiros lugares na administração, ou seja os *vedores da fazenda*.

O *primeiro vedor da fazenda* revela uma atenção vulgar.

O *segundo vedor da fazenda* revela atenção, sugerindo luta íntima.

O *capelão-mor*, provavelmente D. Rodrigo Noronha, primo do rei e bispo de Lamego, está por detrás e à esquerda de São Vicente, com as mãos postas em oração. A mímica indica dureza agressiva.

A *personagem* situada à esquerda do capelão-mor, um homem mais novo do que os outros, com barrete e opa castanha à moda italiana, provavelmente de seda, poderá ser um dos primos do rei, já que nenhum outro nobre podia usar tecido de seda. A mímica sugere dureza expressiva.

A quarta *personagem* à esquerda do friso deixa adivinhar dureza.

A quinta *personagem* expressa uma mímica de inquietação.

A sexta *personagem* expressa uma mímica de tristeza.

A sétima *personagem* expressa uma mímica de reflexão com circunspecção.

A oitava *personagem* expressa uma mímica de tristeza profunda.

A nona *personagem* exprime reflexão com pensamentos sombrios.

Painel do Arcebispo

O Painel do Arcebispo é presidido por São Vicente. O Santo está rodeado por guerreiros com bigantinas e couraças, bem como a cota de malha e as cotoveleiras. Mais acima encontra-se o arcebispo ladeado por quatro eclesiásticos.

O painel do Arcebispo pode dividir-se em quatro partes. A parte central representa São Vicente. À esquerda estão três cavaleiros, o Infante D. Fernando, Duque de Beja (?), o D. Pedro (?), filho do regente e D. Pedro, Duque de Coimbra (?). À direita estão dois cavaleiros, D. Diogo (?), filho do Infante D. João e o Infante D. João (?). No friso superior do painel encontra-se um grupo de onze cabeças, onde sobressai o arcebispo de Lisboa, D. Jorge da Costa ladeado por quatro eclesiásticos.

São Vicente encontra-se rodeado por cavaleiros armados, e num plano superior observa-se um grupo de eclesiásticos com um arcebispo. O Santo estende a mão direita ao cavaleiro armado, parecendo encomendar-lhe a responsabilidade da empresa bélica, cujo bastão ainda tem na mão esquerda, juntamente com um livro fechado. O bastão está colocado no centro do painel e está rodeado por personagens com lanças, espadas e o báculo do arcebispo. A força militar e a eclesiástica unem-se sob este bastão de comando para combater os infiéis. Aos pés do Santo, pode observar-se uma corda atada, símbolo da união entre os poderes militar e eclesiástico.

Os *cavaleiros* são personagens que tiveram um papel de destaque nas campanhas de D. Afonso V, *o Africano*.

D. Fernando, Duque de Beja 6.º Condestável (?), irmão de D. Afonso V, que assumiu o governo de Portugal, quando o rei fez a campanha africana de Arzila e Tanger, no painel surge com um joelho flectido, a receber o bastão entregue por São Vicente. A mímica aparenta submissão e contemplação.

O D. Diogo, 4.º Contestável (?), filho do Infante D. João e neto de D. João I, com feições correctas e delicadas. A mímica expressa reflexão sobre algo diferente do ambiente onde se encontra.

O *D. João, 3.º Contestável* (?), filho de D. João I, mostra o tratamento sublime do pintor nos reflexos da armadura, parecendo transmitir a ideia de ter sido designado para cumprir uma missão divina. A mímica expressa atenção com surpresa.

O *D. Pedro (5.º Contestável)* (?), filho de D. Pedro, 1.º Duque de Coimbra, de joelhos segura a espada com ambas as mãos. A mímica expressa reflexão com meditação.

O *D. Pedro, 1.º Duque de Coimbra* (?), filho de D. João I, segura uma lança. A mímica expressa reflexão com meditação.

O *arcebispo de Lisboa*, D. Jorge da Costa, depois Cardeal, está ricamente ornamentado, dirige o olhar em direcção ao observador. Ostenta uma mitra bordada a ouro e rubis, com o pluvial sobre uma sobrepeliz, preso ao peito com uma jóia, apresentando também um anel sobre as luvas. O báculo, símbolo do poder eclesiástico é transportado com a curvatura virada para dentro. A mímica do Cardeal expressa dureza e gravidade.

O arcebispo está ladeado por *quatro eclesiásticos*, podendo estes estarem ligados aos cavaleiros armados para, como capelães das ordens militares, os acompanharem na empresa bélica para a qual, com toda a evidência, aquela gente se preparava.

O *eclesiástico* à direita do Arcebispo tem a cabeça descoberta. A mímica expressa atenção pendente.

O primeiro *eclesiástico* situado à esquerda do arcebispo, Deão ou Cónego da Sé de Lisboa, tem a cabeça a meio rosto olhando o arcebispo, com barrete negro, e pluvial sobre uma sobrepeliz. A mímica expressa atenção com admiração.

Os dois eclesiásticos seguintes ostentam também pluviais bordados a ouro, paramentos verdes e barretes negros.

O segundo *eclesiástico* situado à esquerda do arcebispo expressa uma mímica de dureza agressiva.

O terceiro *eclesiástico* situado à esquerda do arcebispo expressa uma mímica de atenção pendente.

A *personagem calva* pode ser considerada como sendo o auto-retrato de *Nuno Gonçalves.* A mímica expressa reflexão com gravidade.

A *personagem com um livro debaixo do braço* tem sido considerado como um dos cronistas do tempo e poderá ser *Gomes Eanes de Zurara*, cronista de D. Afonso V e guarda-mor da Torre do Tombo. A mímica expressa atenção com espanto.

Junto destas figuras eclesiásticas vêem-se *quatro personagens*, todas colocadas na parte superior do painel, com *facialis* expressivos.

A primeira *personagem* expressa uma mímica de contemplação.

A segunda *personagem* expressa uma mímica de receio.

A terceira *personagem* expressa uma mímica de desassombro.

A quarta *personagem* expressa uma mímica de surpresa.

Painel dos Frades

O Painel dos Frades é constituído por seis frades.

A quase totalidade do painel apresenta uma enorme superfície branca resultante das túnicas de *três frades*, com poderosas fisionomias. Os frades vestem o hábito de São Bernardo e são, talvez, grandes letrados. Os hábitos têm contudo algumas diferenças: o branco dos hábitos dos dois frades que estão em primeiro plano,identificam-se com a Ordem de Cister; o *frade das barbas* tem um hábito com tonalidade

branco-amarelado e o facto de usar barbas faz crer que pertence a outra ordem, pois os cistercienses não usavam barbas compridas, talvez seja um frade da Ordem da Santíssima Trindade ou da Redenção dos Cativos. No friso superior do painel encontram-se *três frades*, evidenciando uma expressão austera e um espaço obscuro, provavelmente uma tampa de caixão ou um leito de pregos, objectos relacionados com a morte ou com os sacrifícios de São Vicente.

O *frade* de joelhos no primeiro plano, com hábito branco, tem o barrete e as duas mãos juntas em oração. A mímica expressa atenção com contemplação.

O *frade* de joelhos no segundo plano, com hábito branco, tem a cabeça descoberta e cabelo grisalho e as mãos escondidas pelas mangas da túnica. A mímica expressa atenção com espanto.

O *frade* em terceiro plano, com longas barbas, com hábito branco-amarelado tem as mãos postas em oração, parcialmente cobertas pelas largas mangas da túnica. A mímica expressa atenção com receio.

O *frade* na parte superior do painel tem hábito esverdeado e cabeça calva com cabelo na franja e nos flancos, parece segurar um barrete semelhante ao dos restantes frades. A mímica expressa atenção com admiração.

O *frade* à esquerda do anterior tem hábito violáceo e a cabeça coberta com um barrete, parece alheado do ambiente onde se encontra. A mímica expressa reflexão com luta íntima.

O *frade* ao lado do espaço obscuro está provavelmente ocupado por um objecto relacionado com a morte ou os sacrifícios de São Vicente. A mímica expressa atenção com temor.

Painel dos Pescadores

O Painel dos Pescadores é constituído por sete personagens, homens do mar ou homens que, pelas suas profissões, estavam ligados à navegação.

O painel divide-se em três partes. No primeiro plano está um penitente deitado no chão. Os dois terços superiores do painel estão representados por três personagens dispostos em triângulo, provavelmente pilotos, dois envergando vestes com cor esverdeada, e outro com veste esbranquiçada. Os três estão ligados por uma rede de pesca. No friso superior, mais recuadas estão três personagens com vestes escuras.

Um *penitente*, no primeiro plano, está isolado, vestido com roupagem castanha, ajoelhado com os cotovelos apoiados no chão, de mãos postas e com olhar sofrido e suplicante, olhos sanguíneos e com blefarite, apresenta um aspecto de pobreza, barba branca, calvo, idade avançada. Esta personagem tem nas mãos magras e queimadas um rosário, constituído por uma simples fiada de contas de vértebras de peixe. A mímica expressa tristeza e desgosto.

O *piloto mais destacado*, talvez *Gil Eanes*, tem uma túnica e capuz verde jade, realçado pelo branco da camisa. Sobre o ombro direito está apoiada a rede de pesca, com a corda segura nas mãos. A mímica expressa reflexão com ponderação.

O *piloto adjacente*, talvez *Lançarote*, com a túnica em verde seco, e também a rede apoiada no ombro esquerdo. A mímica expressa reflexão e luta íntima.

A *terceira personagem*, com túnica esbranquiçada, em cujos ombros passa a corda da rede. A mímica expressa reflexão com meditação.

No friso superior do painel estão representadas *três personagens*, com vestes escuras, podendo estar ligados à navegação, construtores de navios, calafates de naus e armadores.

A *primeira personagem* expressa a mímica de atenção com surpresa.

A *segunda personagem* expressa a mímica de atenção com admiração.

A *terceira personagem* expressa a mímica de atenção com espanto.

Painel dos Cavaleiros

O painel dos Cavaleiros é constituído por oito personagens.

O painel pode constituir-se em três partes. A quase totalidade do painel é ocupada por quatro cavaleiros representando a nobreza, dispostos em losango envergando trajes aristocráticos. No friso superior do painel estão quatro eclesiásticos, absolutamente idênticos, no vestuário e na aparência.

O *primeiro cavaleiro*, em primeiro plano poderá ser D. *Fernando I, 2.º Duque de Bragança* (?). Está ajoelhado em oração, descoberto, com vestes roxas e camisa branca, a espada decorada com fios negros, uma cruz partida pendente do pescoço, e o cinto vertical com furos desalinhados e fivela desapertada. A mímica expressa reflexão com ponderação.

O *segundo cavaleiro*, poderá ser *D. Fernando II (3.º Duque de Bragança)* (?), executado por traição por ordem de D. João II, está também ajoelhado, com barrete negro, as vestes verdes, a espada decorada com fios dourados, uma pérola pendente do pescoço, e o cinto a tiracolo. A mímica expressa reflexão com desdém.

O *terceiro cavaleiro* poderá ser *D. João de Bragança, Marquês de Montemor-o-Novo, 7.º Contestável* (?), filho do 2.º Duque de Bragança, com barrete e vestes vermelhas, e a espada decorada com fios prateados. A mímica expressa reflexão com luta íntima.

Por cima dos três cavaleiros observa-se um *quarto cavaleiro*, talvez *D. Afonso, 1.º Duque de Bragança* (?), filho ilegítimo de D. João I, com longos cabelos e barba, com vestes negras e capacete negro com rebordo dourado. A mímica expressa reflexão com gravidade.

No friso superior do painel encontram-se *quatro eclesiásticos* com paramentos brancos.

O *primeiro eclesiástico* expressa a mímica de dureza e determinação.

O *segundo eclesiástico* expressa a mímica de dureza e energia.

O *terceiro eclesiástico* expressa a mímica de dureza e ameaça.

O *quarto eclesiástico* expressa a mímica de dureza e malvadez.

Painel da Relíquia

O painel da Relíquia é constituído por cinco personagens com três objectos exibidos perante o observador, a relíquia, o livro e o esquife vazio.

O painel pode ser dividido em duas partes. A quase totalidade do painel está ocupada por três personagens dispostas em triângulo com vértice inferior. No friso superior do painel encontram-se dois eclesiásticos.

A personagem do primeiro plano, poderá ser um *Vereador da Câmara de Lisboa*, pois a cidade era governada por três individualidades. Destaca-se a intensidade do carmesim da túnica da personagem que mostra a relíquia, provavelmente parte do osso parietal da cabeça óssea de São Vicente, envolvida num pano quadrado de tecido verde, com pequenas borlas nos cantos. A mímica expressa reflexão com submissão e dependência.

A personagem de opa preta e um livro aberto, provavelmente o *Rabi-mor da Judiaria de Lisboa*, ostenta um símbolo de seis pontas, vai passando as páginas com caracteres semelhantes à escrita hebraica, que poderão contar a história e o martírio de São Vicente. A mímica expressa reflexão com grande meditação.

A personagem modestamente vestida e segurando duas varas, colocada diante do esquife vazio em posição vertical, poderá ser um *ministro dos esquifes*, o cangalheiro dos dias actuais. As varas eram enfiadas em argolas existentes por baixo do esquife, para transportar o morto até à sepultura, descendo depois envolvido no sudário, sendo o ataúde de novo utilizado para outros funerais. A presença do esquife poderá indicar que o Infante Santo, D. Fernando, ainda não descansava em paz, porque os seus restos mortais ainda se encontravam em Fez. A mímica expressa resignação e sofrimento.

No friso superior do painel encontram-se *dois eclesiásticos*.

O *primeiro eclesiástico*, provavelmente o capelão do altar de São Vicente na capela-mor, da Sé-Catedral de Lisboa, cuja sobrepeliz tem um bordado em forma de janelas ogivais e uma grande gola vermelha. A mímica expressa atenção com temor.

O *segundo eclesiástico*, talvez o capelão da Casa de Santo António, cuja sobrepeliz tem um bordado simples. A mímica expressa atenção com desassossego.

SÃO VICENTE ATADO À COLUNA

O São Vicente atado à coluna, do Museu Nacional de Arte Antiga em Lisboa, parece ter pertencido ao políptico de São Vicente, da Sé Catedral de Lisboa. Representa o corpo de um jovem atado a uma coluna, apresentando o santo grande serenidade perante a tortura.

A análise da anatomia artística de superfície, de São Vicente atado à coluna, permite observar correctamente as seguintes referências cutâneas ósteo-musculares:

Referências cutâneas ósteo-musculares das *regiões antero-laterais do tórax e do abdómen*:

– Manúbrio do esterno (2);
– Corpo do esterno (3);
– Músculo peitoral maior (6);
– Músculo recto do abdómen (7);
– Músculo oblíquo externo (8);
– Músculo serrátil anterior (9).

Referências cutâneas ósteo-musculares da *região braquial anterior*:

– Músculo deltóide (1);
– Músculo bicípete braquial (2);
– Músculo braquial (3);
– Sulco bicipital lateral (7).

Referências cutâneas ósteo-musculares da *região femoral anterior*:

– Músculo sartório (3);
– Músculo tensor da fáscia lata (4);
– Músculo recto femoral (5);
– Músculo quadricípete femoral (8).

Referências cutâneas ósteo-musculares da *região anterior da perna*:
– Crista da tíbia (1);
– Maléolo medial da tíbia (2);
– Maléolo lateral da tíbia (3);
– Músculo tibial anterior (4);
– Músculo extensor longo do hálux (5).

Referências cutâneas ósteo-musculares na *região dorsal do pé* são as seguintes:
– Tendão do músculo extensor longo do hálux (10);
– Tendões do músculo extensor longo dos dedos (11).

SÃO VICENTE NA CRUZ EM ASPA

O São Vicente na cruz em aspa, do Museu Nacional de Arte Antiga em Lisboa, parece ter pertencido ao políptico de São Vicente, da Sé Catedral de Lisboa. O corpo do santo torturado apresenta a musculatura contraída.

SÃO PEDRO

Num compartimento com uma parede forrada com dois tipos diferentes de damasco verde, e pavimento ladrilhado visível no canto infero-direito, o Santo está sentado num banco castanho, segura na mão direita as chaves celestiais e na mão esquerda uma funda e um livro. A mímica expressa meditação.

SÃO PAULO

Num compartimento com chão de ladrilho e uma parede forrada a damasco verde, o Santo está sentado num banco castanho segurando na mão direita uma espada e na mão esquerda um livro. A mímica exprime meditação.

SÃO TEOTÓNIO

Num compartimento com uma parede forrada com dois tipos de damasco verde, o santo bispo ou prior é habitualmente identificado com São Teotónio, prior do mosteiro de Santa Cruz de Coimbra. Sentado num banco castanho, o Santo ostenta na cabeça uma mitra branca com galão dourado e na mão o báculo. A mímica sugere meditação.

SANTO FRANCISCANO (SÃO FRANCISCO OU SANTO ANTÓNIO)

Num compartimento com uma parede forrada a damasco verde, o Santo está sentado num banco com hábito franciscano, segurando com as duas mãos um crucifixo. A mímica representa meditação.

ECCE HOMO

O Ecce Homo, do Museu Nacional de Arte Antiga de Lisboa, representa a mais impressionante figuração de Cristo, com as mãos atadas, um laço de corda pendente do pescoço, os espinhos da coroa rompendo o pano branco que a cobre. Cristo traduz a angústia e a solidão do condenado. O corpo esquálido e barba rala, os olhos revestidos pelo sudário de onde saem os espinhos da coroa, criando uma imagem

de intenso dramatismo. Não se observam feridas, mas apenas manchas de sangue no lençol. Cristo fisicamente frágil que, pelo facto de esconder o olhar, não deixa de ter uma intensidade dramática que se advinha.

PRINCESA SANTA JOANA

A Princesa Santa Joana, do Museu Regional de Aveiro, filha de D. Afonso V, é uma jovem com grande beleza, cabelos claros soltos e caídos nos ombros. A cabeça tem uma coroa e diadema em ouro com pedras preciosas e pérolas. A mão direita, tem os dedos finos e longos, com um anel de rubi no dedo indicador, repousa no peito e encontra-se coberta parcialmente por uma faixa da capa. A princesa veste um traje luxuoso e mundano, com decote acentuado e alongado. Para uns, o laço no punho direito, significa firmeza nos votos, e o cordão de ouro ao pescoço significa firmeza na sua entrega a Deus. Para Pedro Flor (2010), o traje luxuoso e o anel podem relacionar-se com um acordo matrimonial, pois a princesa teve alguns projectos de casamento que, por diversos motivos, não se concretizaram, o mais adiantado com o príncipe Carlos, herdeiro do rei Luís XI de França. A expressão da *facialis*, melancólica e grave, com o tom rosado da pele e os olhos escuros fixos no infinito. A mímica exprime o estado de ânimo traduzindo humildade, obediência e submissão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, Carlos Alberto Ferreira de e Barroca, Mário Jorge (2002). *História da Arte em Portugal: O Gótico.* Lisboa: Editorial Presença.

Almeida, Jorge Filipe de e Albuquerque, Maria Manuela Barroso de (2003). *Os Painéis de Nuno Gonçalves.* Lisboa: Editorial Verbo.

Beaumont, Maria Alice (1991). *As 50 melhores obras de arte em museus portugueses.*Lisboa: Chaves Ferreira, Publicações, S.A.

Branco, Theresa Schedel de Castello (1994). *Os Painéis de S. Vicente de Fora. As Chaves do Mistério.* Lisboa: Quetzal Editores.

Carvalho, João Vilhena de e Correia, Maria João Pinto (2009). *Arte Portuguesa: da pré-história ao século XX, volume 7.* Pedroso, Vila Nova de Gaia: Fubu Editores.

Carvalho, José Alberto Seabra (2007). *A pintura quatrocentista. História da Arte Portuguesa, volume 3: O "Modo Gótico (séculos XIII--XV).* Lisboa: Círculo de Leitores.

Casimiro, Luís Alberto (2006-2007). *Pintura e Escultura do Renascimento no Norte de Portugal.* Porto: Revista da Faculdade de Letras, Ciências e Técnicas do Património, I série, volume V-VI, pg. 87-114.

Cruz, José de Matos (1986). *Igreja de Góis. "O Varzeense.Dagoberto, Markl – História da Arte em Portugal (volume 6): O Renascimento.* Lisboa: Publicações Alfa.

Dias, Pedro (1986). *História da Arte em Portugal (volume 4): O Gótico.* Lisboa: Publicações Alfa.

Esperança Pina, J. A. (2010). *Anatomia Humana da Locomoção, Anatomia de Superfície e Artística, 4.ª edição.* Lisboa: Lidel,

Flor, Pedro (2010). *A arte do retrato em Portugal nos séculos XV e XVI.* Lisboa: Assírio & Alvim.

Flor, Pedro. *Nuno Gonçalves.* QN-Edição e Conteúdos, S.A., Matosinhos, 2010.

França, José Augusto (1981). *O Retrato na Arte Portuguesa.* Lisboa: Editora Livros Horizonte.

França, José Augusto, Morales, J. L. e Rincón, Wifredo (1986). *Summa Artis, Arte Portuguesa, volume XXX.* Madrid: Espasa Calpe.

Gusmão, Adriano de (1957) *Nuno Gonçalves.* Lisboa: Colecção Saber, Publicações Europa-América.

Howe, Malcolm (2001). *A Perplexidade dos Painéis: o significado de uma obra-prima medieval portuguesa.* Edição da Associação no Reino Unido da Ordem de São Miguel da Ala.

Markl, Dagoberto (1986). *História da Arte em Portugal (volume 6): O Renascimento.* Lisboa: Publicações Alfa.

Markl, Dagoberto (1987). *O essencial sobre Nuno Gonçalves.* Lisboa: Imprensa Nacional, Casa da Moeda.

Markl, Dagoberto (1988). *O retábulo de São Vicente da Sé de Lisboa e os documentos.* Caminha.

Markl, Dagoberto, Cabral, Teresa Sarsfield e Frazão, Irene (1999). *O fresco do antigo tribunal de Monsaraz: conservação e restauro.* IFFAR.

Pamplona, Fernando de (1987) *Dicionário de Pintores e Escultores, 5 volumes.* Minho: Livraria Civilização Editora.

Pereira, Paulo (2011). *Arte Portuguesa, História Essencial. Temas e Debates.* Lisboa: Circulo de Leitores.

Pinto, Ana Lídia, Meireles, Fernanda e Cambota, Manuela Cernadas (2006): *Arte Portuguesa.* Porto: Porto Editora.

Primitivos Portugueses, 1450-1550, O século de Nuno Gonçalves (2010). Museu Nacional de Arte Antiga & Athena.

Rodrigues, Dalila (2005). *A pintura no período manuelino. História da Arte Portuguesa, volume 5: Renascimentos (século XVI).* Lisboa: Círculo de Leitores

Rodrigues, Dalila (2009). *A pintura num século de excepção 1450-1550. Arte Portuguesa: da pré-história ao século XX, volume 5.* Fubu Editores.

Rodrigues, Dalila (2007). *O episódio de Nuno Gonçalves ou da «Oficina de Lisboa». A pintura quatrocentista. História da Arte Portuguesa, volume 3: O "Modo" Gótico (séculos XIII-XV).* Lisboa: Círculo de Leitores.

Rodrigues, Dalila (2005). *Pintura: o ciclo renascentista. História da Arte Portuguesa, volume 5: Renascimento (século XVI).* Lisboa: Círculo de Leitores.

Santos, Reynaldo dos (1966). *Oito Séculos de Arte Portuguesa. História e Espírito, 3 volumes.* Lisboa: Editora Excelsior.

Serrão, Joel e Marques, H. de Oliveira. (1990). *Nova História de Portugal: Portugal do Renascimento à crise dinástica, Os valores artísticos, vol. 5, cap. XI.* Barcarena: Editorial Presença.

Serrão, Vítor (2002). *História da Arte em Portugal: O Gótico. Pintura e Vitral.* Lisboa: Editorial Presença.

Teixeira, J. C. da Cruz (1981). *A pintura portuguesa do Renascimento.* Lisboa: Dissertação de Doutoramento apresentada à Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa.

Tudella, José (2005). *Os painéis de D. Afonso V.* Editora. Lisboa: Livros Horizonte, 2005.

Vieira, José Bento (2001). *Santa Cruz de Coimbra: Arte e História. 2.ª Edição.* Coimbra: Edição Igreja de Santa Cruz de Coimbra.

(Comunicação apresentada às Classes de Ciências e de Letras
na sessão conjunta de 18 de abril de 2013)

A actualidade de Garcia d'Orta

J. M. Toscano Rico

Evocar Garcia d'Orta é sempre difícil. A riqueza e multiplicidade dos temas que abordou e também depois do trabalho exaustivo e profundo realizado pelo nosso confrade Conde de Ficalho em 1886. A sua prosa, a um tempo rigorosa do homem de ciência, e colorida e viva de um homem de letras, dotado de uma rara erudição e de uma fina sensibilidade, dão-nos um pano de fundo sobre o qual a vida e obra de Garcia d'Orta ressaltam num contexto único como foi a nossa presença na Índia na primeira metade do Seculo XVI.

Abordaremos assim o tema que nos propusemos, o da actualidade de Garcia d'Orta, em duas vertentes. Uma a da sua actualidade em relação ao mundo onde viveu, dado que no seu único livro, os *Colóquios dos Simples e Drogas e cousas medicinais da Índia assi d'algumas fructas achadas nela*, surgem elementos que permitem admitir que Goa não era um lugar remoto, nem um exílio longínquo, mas que, apesar da distância e dos perigos, havia um intercâmbio permanente com a Europa.

A segunda vertente refere-se sobretudo à actualidade com o nosso tempo, não só no conhecimento de plantas, algumas das quais ainda são utilizadas ou têm interesse médico por terem contribuido para esclarecer mecanismos do funcionamento do organismo humano, mas também pela forma de pensar e de encarar o mundo e os homens.

Nascido em Portugal em data incerta, Garcia d'Orta frequentou duas das Universidades mais conceituadas da sua época, a de Salamanca com um ensino clássico baseado em grande parte nos autores romanos, nomeadamente Galeno, e nos textos do árabe Avicena, e a Universidade de Alcala de Henares fundada pelo célebre Cardeal Cisneros, onde tinha sido criada a primeira cátedra de Botânica da Península Ibérica regida por um dos espíritos mais cultos e brilhantes da época, António de Nebrija ou de Lebrija como Garcia d'Orta o designa no seu livro.

Garcia d' Orta possuía assim uma cultura médica muito vasta. O Conde de Ficalho menciona a referência a 51 autores e, pela extensão e pormenor das citações apresentadas, é de admitir que possuisse 22 deles.

Chegado a Goa pelos finais de 1538, sendo Governador Nuno da Cunha, Garcia d'Orta integrou-se na vida da sociedade local. Por um lado convivendo com personagens ilustres, desde Martim Afonso de Sousa e Dimas Bosque, o médico valenciano do Vice-Rei D. Constantino de Bragança, até Luiz Vaz de Camões que no Proémio dos *Colóquios* o dedica ao Conde de Redondo fazendo o elogio de Garcia d' Orta e pedindo-lhe no seu final

Vosso favor e ajuda ao grão
Que agora em luz saíndo
Dará à Medicina um novo lume
E descobrindo irá segredos certos
A todos os antigos encobertos

Esta integração na sociedade goesa fez-se também mercê do ambiente favorável, numa altura em que a convivência dos portugueses com as comunidades locais se fazia com muita cordialidade, como mostra o tratado de 1539 celebrado com Nizam Shah em que se diz "*ey por serviço d'el Rei meu Senhor que as miszquitas sejam guardadas dos portugueses tão honradas asy como as nossas proprias igrejas*".

Este ambiente permitiu-lhe um contacto bastante fácil com os médicos locais essencialmente os muçulmanos, e com personagens indianas altamente colocadas como ele refere no "Coloquio do melam". "*Antes todos estam bem comigo porque eu nam sou muito cubiçoso, ou por dizer mais verdade sou preguiçoso, deixo-os curar quantas curas meto mão, e pergunto-lhes primeiro que andam a fazer e se é mezinha que eu conheço ser boa ou que não fará mal digo-lhes que que usem dela se o paciente se quer curar com eles, e se é má eu defendo-o. Se é mezinha que não sei se é boa ou má, como muitas vezes acontece, também lho defendo*".

Por outro lado este contacto deveu-se também à sua actividade clínica entre a alta sociedade hindu. Como refere ainda no "Coloquio do melam": "*Porque sei todas as enfermidades do terceiro e quarto Avicena e todos os simples do segundo em arabio, e isto me aproveitou muito ter curado aquele Rei meu amigo* [como se referia a Nizam Shah] *e a seus filhos posto que ao principio foi trabalho para mim e aproveitava-me para isto o bem que me queria o Rei que ele me ensinava estes nomes das enfermidades e mezinhas em arabio e eu lhos ensinava em latim do que muito gostava e por sua causa mo ensinavam tambem os fisicos que ele tinha, arabes e coraçones*" termo este pelo qual eram designados os habitantes do Reino de Scia no Pegu.

Esta capacidade de diálogo intercultural e o prestígio clínico alcançado facilitaram certamente a Garcia d'Orta o acesso a muita informação depois compilada nos *Colóquios*.

É neste ambiente e neste contexto que os *Colóquios* são publicados em Goa em 1563. Após a sua publicação teve uma enorme repercução na Europa pela sua tradução em latim por Carlos Clusius, um flamengo nascido em 1526 e que passando por Lisboa em 1564 os encontrou e os publicou de forma algo resumida em Antuérpia em 1567 com o título "*Aromatum et simplicium aliquot medicamentorum apud indos nascentium historia*".

Os *Colóquios* apresentam uma estrutura muito curiosa. Seguindo ainda o modelo de muitos repositórios, herdeiros do mundo antigo, estruturam-se na forma de um diálogo estabelecido entre o Autor e um interlocutor hipotético designado por Ruano. Esta personagem representa a figura do escolástico de épocas anteriores, conhecedor erudito de todos os autores clássicos, citando-os a propósito das diversas plantas e das suas aplicações, e, em contraponto, dando oportunidade a Garcia d' Orta para apresentar as suas observações.. No entanto Ruano evidencia já uma curiosidade, uma ausência de dogmatismo e uma abertura de espírito típicas de uma evolução histórica. Até já foi comparado com a faceta tradicional de Garcia d'Orta colhida e modelada nos seus estudos em Espanha, e confrontada com os dados concretos da realidade, com a observação directa das plantas.

A propósito de uma dada "droga" incluem-se apontamentos de uma enorme vivacidade só possíveis pelo confronto entre a observação directa e o conhecimento obtido dos autores clássicos, incluindo a descrição da planta, do local de onde provinha, e da forma de a preparar e dos usos médicos que lhe eram dados.

Para além do seu enorme interesse para o conhecimento de muitas plantas estranhas à Europa de então, apresenta também muitos aspectos da Medicina da época e uma enorme quantidade de dados sobre a nossa presença na Índia, desde aspectos sociais até a campanhas militares a que assistiu nos primeiros anos da sua presença na Índia até se estabelecer em Goa.

Como muito bem refere o Conde de Ficalho na sua obra "Garcia d'Orta e o seu tempo", "Entre os viajantes da época era um erudito e entre os eruditos um viajante. Dos que viram distingue-se pelo que tinha lido, e dos que leram pelo que tinha visto".

A actualidade de Garcia d'Orta ressalta em primeiro lugar do conhecimento que tinha de publicações recentes, na Europa. Por exemplo cita Gaspar Barreiros publicado em Coimbra em 1561, a propósito da etimologia do nome da cidade de Badajoz. Outra referência contemporânea aparece no "Diálogo de Cousas Novas" a propósito de um escrito do alemão Leonhardus Fuccius publicado pouco antes na Alemanha em que afirmava que não existia marfim verdadeiro, Garcia d'Orta afirma que "*Ha umas mentiras tão grossas que nem merecem ser repreendidas se não leixadas passar avante até que deem doze badaladas como relogio de meio dia*".

Outro aspecto da actualidade de Garcia d'Orta ressalta do seu modo de pensar. Em vez de seguir os textos clássicos e os autores conceituados, pelos quais tinha estudado e que conhecia perfeitamente, é capaz de os criticar face à observação directa, contrapondo esta ao argumento da autoridade como era costume fazer-se e como deveria ter assistido nos seus estudos universitários. Assim, por exemplo, no "Coloquio da Canfora" diz "*... e nisto não tenhais dúvida alguma, porque foram falsas informações que se deram a Avicena e Serapião, de longas vias longas mentiras*", ou no "Coloquio da Pimenta preta", "*Todos a uma só voz se concertaram a não dizer a verdade se não que Dioscorides é digno de perdam porque escreveu por falsa informação e de longas terras, e o mar não ser tão navegado como aguora he, e ele imitou Plinio e Galeno e Isidoro e Avicena e todos os arabios e mais os que aguora escrevem, como Antonio Musa e os frades, têm maior culpa, pois não fazem mais do que dizer todos de huma maneira sem fazer diligencia em cousa tam sabida como é a feição da arvore e a fruta, como amadurece e como se colhe*".

Em outras ocasiões Garcia d'Orta contradiz mesmo os grandes clássicos como no "Dialogo do Cubebas": "*Não vos disse eu já que Serapiãm erra nisto e que não é muito pois era homem e quis ir-se por a razão arriba*". Outro exemplo vem no "Dialogo do Benjuy onde refere: "*Não me ponhais medo com Discorides nem Galeno porque não hey de dizer senam a verdade e o que sei*". Esta consciência da modernidade, a curiosidade do saber, leva-o a afirmar no "Dialogo do Cardamomo" que: "*se sabe mais em um dia aguora pelos portugueses do que se sabia em cem anos pelos romanos*", embora seja também muito crítico para com os seus compatriotas como refere no "Dialogo da Cânfora": "*Certo que passa assi, porque eu estou nesta terra há tanto tempo, com muito trabalho, posso saber uma verdade perfeitamente, e a causa é porque os Portugueses que navegam muita parte no mundo, onde vão não procuram de saber se nam como farão milhor suas mercadorias, e que levarão para lá quando forem e que trarão da torna viagem, não são muito curiosos de saber as cousas que há na terra e se as sabem nam as dizem a quem lhas traz que lhes amostre a arvore e se a veem nam a comparam a outra arvore nossa nem perguntam se da flor ou fruto e que tal é*".

A actualidade de Garcia d'Orta deriva ainda de ter trazido ao conhecimento ocidental diversas plantas. Numa época muito anterior a Carl Linnaeus e ao *Sistema Naturae* em que no século XVIII sistematizou a classificação das plantas, o reconhecimento das diversas espécies fazia-se apenas por uma descrição genérica e pelo uso dos nomes consensuais, na sua maior parte vindos desde a antiguidade, ou pelo menos desde a Idade Média. É o que sucede, por exemplo, com o Calamo aromatico, o Cardamomo, o Linaloes, os Mirabolanos, o Espiquenardo, o Tamarindo e a Turbite. Embora sejam plantas orientais, as rotas comerciais que já ligavam a Índia e mesmo a China aos mercados europeus permitiram aos autores romanos e medievais contactar com diversas espécies e mesmo usá-las com fins medicinais.

No entanto Garcia d'Orta menciona diversas espécies novas no ocidente, entre outras, como a que designa no "Dialogo do Altiht" por "árvore triste" porque só abre as flores durante a noite fechando-as de dia, planta esta designada por Lineu como *Nyctantes arbor-tristis* e celebrada pelo aroma das suas flores. Outra, referida no "Dialogo do negundo", é a *Vitex negundo* na classificação de Lineu, usada topicamente para aliviar as dores mas também com muitas outras finalidades. No "Dialogo de Cousas Novas" referem-se ainda os marmelos de Bengala, *Ægle marmelo Correa* usados em conserva, planta mais tarde descrita por Correa da Serra "On two genera of plants belonging to the natural family of Aurantia (Aegle and Feronia)", Transactions of the Linnean Society (London) v: 218 (1800). Incidentalmente, o interesse por esta planta persiste até à actualidade como se pode ver num artigo recente de Kamalakkanan, N., e Stanley, M.P.P. (2003) intitulado "Effect of *Aegle marmelos Correa* (Bael) fruit extract on tissue antioxidants in streptozotocin diabetic rats". Indian J. Exp. Biol. 41(11):1285-1288.

Outra das plantas largamente discutida por Garcia d' Orta é o "pau de cobra", possivelmente a *Rauwolfia serpentina*, também mencionada nos antigos livros védicos e que, trazida para a Europa após a 2.ª Guerra Mundial, levou à descoberta de um alcaloide, a reserpina, o primeiro composto eficaz no tratamento da hipertensão arterial, e, em doses mais altas, o primeiro psicoléptico usado no tratamento da esquizofrenia. O conhecimento do seu mecanismo de acção, a inibição do armazenamento de neuromediadores como a noradrenalina e a serotonina nas terminações nervosas, constituiu um avanço fundamental para a descoberta de novos compostos actualmente utilizados na terapêutica humana.

A actualidade de Gracia d' Orta ressalta ainda da importância no tempo presente de algumas plantas descritas nos *Coloquios*. Uma delas, no "Dialogo do anfião" são as "dormideiras" a *Papaver somniferum*, discutindo-se se o ópio é extraído de dormideiras brancas ou negras e as diversas características consoante as regiões de onde provém. Menciona igualmente como se obtém, "*Não é mais do que a a guoma das dormideiras...e dixeram-me destas dormideiras se fazia o anfião dando cutiladas nas dormideiras por onde corria o anfião*". Refere os seus efeitos, "*...faz os homens que o comem andar dormindo e dizem que o tomam para não sentir o trabalho*", e conhece a habituação que provoca "*o que tive por enformação (a dose) é de 20 até 50 grãos de trigo de peso mas eu conheci um secretario do nizamoxa coraçone de nação que comia cada dia três tollas que é peso de 10 cruzados e meio, mas este coraçone posto que era bom letrado e grande escrivão e notador sempre dormitava, e porem, metendo-o em prática falava como um homem letrado e discreto e por aqui podeis ver o que faz o costume*".

Do ópio extrai-se a morfina que continua a ser um dos principais analgésicos usados para certos quadros dolorosos. Embora o conhecimento dos seus locais de acção e dos receptores onde actua tenha levado à síntese de numerosos compostos sintéticos, a morfina continua a ter um papel relevante no tratamento de quadros dolorosos graves.

A outra planta descrita por Garcia d'Orta, e actualmente importante, é a que ele designa, na terminologia local por Bangue. A planta é a *Cannabis sativa* também conhecida por cânhamo índico. No "Colóquio do bangue" refere que é feito do pó das folhas pisadas, por vezes com adição de outras plantas como a areca verde (*Areca catchu*) ou de anfião: "*... e estes são os Mouros que muito podem e o proveito que disto tiram é estar fora de si como enlevados, sem nenhum cuidado e prazimenteiros e alguns reir um riso parvo, e já ouvi a muitas mulheres que quando hião ver algum homem, para estar com choquarerias e graciosas, e o que nisto se conta para que foy inventado he que os grandes capitães antiguamente acostumavam embebedar-se com vinho*

ou anfião ou com este bangue para se esquecerem de seus trabalhos e não cuidarem e poderem dormir porque estas pessoas as vigilias as atormentavam".

A terminar, uma outra faceta da actualidade de Garcia d'Orta que ressalta no "Coloquio da Datura". O género "*Datura*" está muito difundido e contém alcaloides, que bloqueiam os receptores muscarínicos da acetilcolina, um dos neurotransmissores importantes quer no Sistema Nervoso Central quer fora dele.

O "Coloquio da Datura" começa com um pedido de ajuda a Garcia d'Orta para uma senhora a quem a criada tinha administrado datura e a quem durante a intoxicação tinha roubado as joias fugindo em seguida. No diálogo que se segue com o hipotético interlocutor Ruano, este a certa altura pergunta-lhe: "*Deste-lo já a algum vosso negro ou negra?*" e a resposta que poderia ter sido dada no dia 25 de Julho de 2013, "*Não porque ão me conformei com a minha consciência a fazê-lo*".

Este sentido ético sobre a vida e a dignidade humana na experimentação de drogas "*in anima nobile*", num tempo em que os escravos eram considerados coisas, mostra de forma inequívoca uma actualidade de pensamento que só por si justifica o título dado a esta comunicação.

(Comunicação apresentada às Classes de Ciências e de Letras
na sessão conjunta de 25 de julho de 2013)

Sistemas de medida de tempo

José Joaquim Pereira Osório
jposorio@fc.up.pt

1. INTRODUÇÃO

No estado actual de desenvolvimento da nossa civilização, quando numa competição desportiva os recordes são batidos ao centésimo do segundo, quando se programa a chegada de um ATV (Automated Transfer Vehicle) à ISS (International Space Station) em órbita à volta Terra com velocidade de 27584 km/h, quando a distância da Terra à Lua com precisão centimétrica é avaliada pelo tempo de ida e volta de um feixe de raios laser, torna-se clara a importância fundamental de um **Sistema de Medida de Tempo (SMT)**. A exactidão no conhecimento de uma Época – instante da ocorrência de qualquer fenómeno físico observável, ou na avaliação de um Intervalo de Tempo – tempo decorrido entre duas épocas, fica fortemente condicionada pelo SMT utilizado. Inversamente, a escolha de um SMT para avaliação de uma Época ou de um Intervalo de Tempo depende do tipo de problema em causa: Um relógio com a exactidão de 10^{-3} segundos é suficiente para avaliar tempos em competições desportivas enquanto a manobra de aproximação de dois veículos espaciais requer o conhecimento do tempo com a exactidão de 10^{-6} segundos; a determinação do tempo que os raios LASER demoram a atingir os reflectores na Lua e a regressar à Terra exige uma exactidão na medida do tempo de 10^{-9} segundos.

Qualquer SMT é baseado num fenómeno físico periódico observável. Dependendo desse fenómeno, assim teremos diferentes SMT.

2. CARACTERÍSTICAS DE UM SISTEMA DE MEDIDA DE TEMPO

Um SMT deverá satisfazer as seguintes condições:

- Capacidade de gerar um intervalo unitário constante;
- Continuidade de operação permitindo relacionar épocas afastadas;
- Possibilidade de acumulação desses intervalos de modo a definir uma época;
- Facilidade de acesso ao sistema.

Há ainda a necessidade de fixar uma origem para o SMT.

A materialização de um SMT é baseada na observação de um fenómeno periódico no âmbito da Astronomia ou da Física Atómica. O período do fenómeno observado é a escala medida para o Sistema em causa. Uma fracção ou um múltiplo dessa escala definem a Unidade de Tempo escolhida, hoje em dia um **Segundo (1s).** Maiores unidades de tempo, como dias, semanas, anos ou séculos, resultam da acumulação dos segundos. A caracterização da origem do SMT **é conseguida através da fixação de um acontecimento. A origem do SMT e a forma como os segundos são**

acumulados em unidades maiores dá origem a um Calendário. Para o nosso dia-a-dia somos sensíveis ao Calendário Gregoriano, cuja origem é o nascimento de Cristo e em que os segundos são acumulados em minutos, horas, dias, meses, anos, séculos e milénios. Mas, neste calendário, os meses não têm todos o mesmo número de dias, o mesmo acontecendo com os anos, por causa dos anos bissextos. Assim, no calendário Gregoriano, relacionar duas épocas muito afastadas no tempo conduz a um exercício de contagem não muito agradável. A Astronomia recorre ao calendário Juliano onde os segundos são acumulados em dias de 86400 segundos e cuja origem é bem mais remota do que o nascimento de Cristo, permitindo assim relacionar, facilmente, por uma simples subtracção, fenómenos astronómicos muito afastados no tempo. Pelo contrário, no calendário do GPS (Global Positioning System) os segundos são acumulados em semanas de 604800 segundos e a sua origem coincide com as 0 horas do dia 6 de Janeiro de 1980. Este calendário, para além de relacionar duas épocas afastadas através de duas simples subtracções, evidencia a importância que o segundo tem para os utilizadores do SMT associado a este calendário.

3. TIPOS DE SISTEMAS DE MEDIDA DE TEMPO

De acordo com o fenómeno periódico observado para a materialização do Sistema, os SMT dividem-se em três grandes grupos:

- Sistemas de Medida de Tempo Baseados na Rotação da Terra;
- Sistemas de Medida de Tempo Baseados no movimento de Corpos Celestes;
- Sistemas de Medida de Tempo Baseados em fenómenos da Física Atómica.

Os primeiros e mais naturais SMT são baseados na Rotação da Terra. Como a velocidade angular de rotação da Terra não é constante, **o intervalo unitário que geram também não é constante**, ou seja, a unidade de tempo **não é compatível com o grau de exigência imposto em muitas das aplicações** da vida moderna. Contudo, ao estarem ligados à sucessão natural dos dias e das noites ou, por outras palavras, à presença do Sol acima do plano do horizonte, continuam a desempenhar um papel importante na medição do tempo.

Os sistemas baseados no movimento de Corpos Celestes terão certamente uma origem remota, quando o corpo celeste utilizado era o nosso satélite natural, a Lua. Contudo, serão as leis de Kepler, as observações astronómicas iniciadas por Galileu e, finalmente, o advento dos computadores na segunda metade do século passado, que vão facilitar a materialização de um SMT, com uma unidade, de elevada exactidão, obtida por cálculos no âmbito da astrodinâmica. O problema destes SMT é, obviamente, **a dificuldade de acesso ao Sistema**.

A realização **precisa e acessível** do Segundo tornou-se possível, na década de 50 do século passado, com o desenvolvimento de padrões de frequência baseados na energia da transição quântica de átomos. Com efeito, o conhecimento da quantização da energia atómica permitiu o desenvolvimento de relógios governados pelas frequências naturais de ressonância de átomos convenientes tais como os de **Césio**, de Rubídio ou de Hidrogénio.

4. SISTEMAS DE MEDIDA DE TEMPO BASEADOS NA ROTAÇÃO DA TERRA

A materialização destes Sistemas **é baseada num conceito** simples: Escolhida uma referência no Espaço, que não participe na rotação da Terra, **1 Dia** será o intervalo de tempo decorrido entre duas passagens superiores consecutivas, dessa referência, no Meridiano do observador. Tratando-se do **Ponto Vernal**, o sistema e a escala observada são designados, respectivamente, por **Tempo Sideral** e **Dia Sideral**. Se a referência for o centro da nossa estrela, isto é, o **Centro do Sol**, o sistema e a escala observada são designados por **Tempo Solar** e **Dia Solar**.

4.1 – Tempo Sideral

O ponto da Esfera Celeste que representa o nodo ascendente, no Equador Celeste, da trajectória anual aparente do Sol, relativamente ao fundo de estrelas, é designado por Ponto Vernal. Por outras palavras, o Ponto Vernal é o ponto da Esfera Celeste onde o Sol se projecta no Equinócio da Primavera e que pertence à intercepção do Equador Celeste com o plano da Eclíptica (Figura 1).

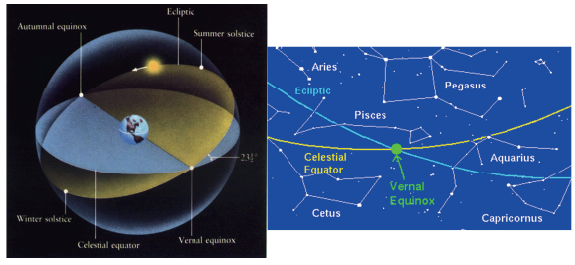


Figura 1
Ponto Vernal.

O Ponto Vernal é, portanto, a referência convencionada para definir **1 Dia de Tempo Sideral** e seus submúltiplos:

1 Dia Sideral – Intervalo de tempo entre duas passagens superiores sucessivas do Ponto Vernal num mesmo Meridiano.

$$1 \text{ Segundo de Tempo Sideral} = \frac{1}{86400} \times 1 \text{ Dia Sideral}$$

O segundo (s) de Tempo Sideral tem como múltiplos o minuto (m) e a hora (h) de acordo com o sistema sexagesimal.

Como o ângulo horário de um astro é avaliado ao longo do Equador Celeste, em sentido retrógrado, a partir do Meridiano do observador, o Tempo Sideral mede, portanto, o **ângulo horário do Ponto Vernal.** O SMT assim obtido **é designado por Tempo Sideral Local (TSL)**. O TSL é importante para que um astrónomo possa saber com exactidão o instante em que as estrelas e outros corpos celestes passam no seu Meridiano. Mas, para efeito de uma avaliação rigorosa do Tempo Sideral e da sua publicação em Almanaques e Efemérides Astronómicas, permitindo que em qualquer ponto da Terra seja possível conhecer o TSL, torna-se necessário reduzir todos os valores a um mesmo meridiano. Esse meridiano é, naturalmente, o Meridiano de Greenwich, origem da avaliação da longitude de um lugar. Assim, representando por TSGr o Tempo Sideral de Greenwich (Figura 2), a sua relação com o TSL envolve, simplesmente, a longitude:

$$TSL = TSG_r + \lambda_E \quad (4.1)$$

onde se representa por λ_E a longitude do lugar, contada positivamente para Este.

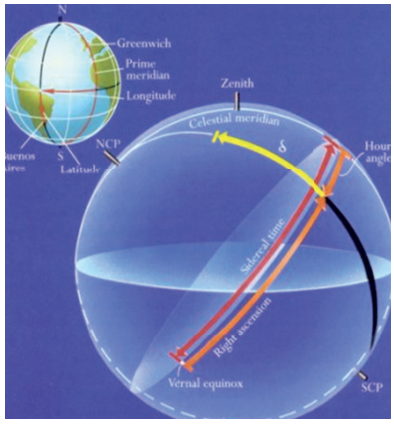


Figura 2
Tempo Sideral de Greenwich.

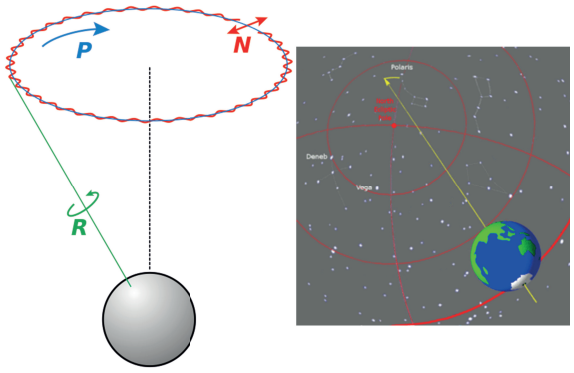


FIGURA 3
Precessão e Nutação Astronómicas.

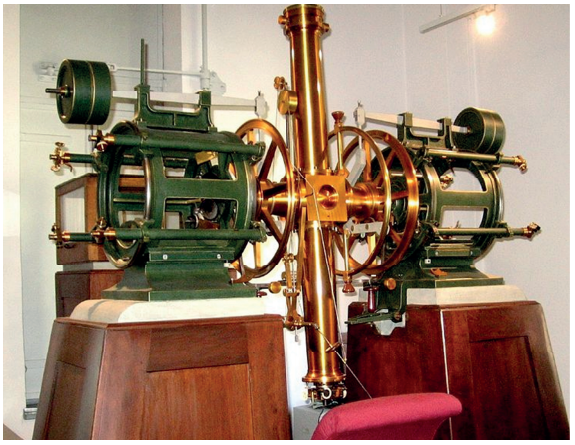


FIGURA 4
Círculo Meridiano.

Será possível construir um relógio que conserve o segundo de TS como acabou de ser definido? Por outras palavras, será possível construir um relógio mecânico que, todos os dias, marque, rigorosamente, 0h 0m 0s no preciso instante em que o Ponto Vernal está a passar no Meridiano desse lugar? A resposta é não. Com efeito, o eixo de rotação da Terra apresenta, relativamente ao fundo de estrelas, dois movimentos periódicos, devidos aos conhecidos fenómenos de Precessão e Nutação Astronómicas (Figura 3). Os modelos matemáticos para a Precessão e a Nutação **são desenvolvidos e actualizados sob a responsabilidade do IERS** (International Earth Rotation and Reference Systems Service) e aprovados pela IAU (International Astronomical Union) durante as suas Assembleias Gerais que se realizam de três em três anos.

Nestas condições, designa-se por Ponto Vernal verdadeiro de uma determinada época, o nodo ascendente da Eclíptica verdadeira, dessa época, no Equador verdadeiro dessa mesma época. Estes dois planos estão em movimento devido à Precessão e à Nutação. O SMT materializado a partir de observações das passagens Meridianas do Ponto Vernal verdadeiro é designado por Tempo Sideral Aparente (TSA). O Tempo Sideral Aparente Local (TSAL) e o Tempo Sideral Aparente de Greenwich (TSAGr) continuam a estar relacionados pela expressão (4.1). Estas duas formas de TSA podem ser obtidas a partir da observação de passagens meridianas de corpos celestes de ascensão recta conhecida (Figura 4).

O intervalo de tempo designado por Dia Sideral Aparente não é, portanto, constante, apresentando variações devidas à Precessão e à Nutação Astronómicas. Mas, enquanto a Precessão introduz uma variação da duração do Dia Sideral sempre no mesmo sentido, logo, de fácil modelação, o efeito da Nutação Astronómica na duração do dia Sideral é periódico e de período curto, o que torna este efeito incompatível com a materialização de um relógio. Assim, corrigindo do efeito da Nutação Astronómica as coordenadas do Ponto Vernal e dos corpos celestes observados, o SMT resultante é designado por **Tempo Sideral Médio (TSM)**. Este Ponto Vernal calculado, designado por Ponto Vernal Médio ou Equinócio Médio, continua a ser dinâmico, mas agora apenas por efeito da Precessão Astronómica. Tal como anteriormente, dependendo do Meridiano a que está referida a origem do Dia Sideral Médio, teremos o TSM local (TSML) e o TSM de Greenwich (TSMGr), continuando a ser a expressão (4.1) a relacionar os dois.

A unidade fundamental do Tempo Sideral Médio é o Dia Sideral Médio, intervalo de tempo entre duas passagens superiores sucessivas do Ponto Vernal Médio num mesmo Meridiano. Continua a ser dividido em 86400 partes, dando origem a 1s de Tempo Sideral Médio que, por sua vez, em acumulação, de acordo com o sistema sexagesimal, tem como múltiplos o minuto e a hora.

A diferença entre o Tempo Sideral Aparente e o Médio **é designada por Equação dos Equinócios, que pode ser representada por uma função periódica complexa com amplitude máxima de cerca de 1 segundo.** A Equação dos Equinócios representa a ascensão recta do Equinócio Médio referida ao Equador e Equinócio Verdadeiros. Os seus valores diários, que permitem relacionar estes dois SMT, estão disponíveis em qualquer Almanaque Astronómico bem como na secção do Tempo no portal da internet do IERS; os programas, em C, para o seu cálculo encontram-se disponíveis na página da IAU Standards Of Fundamental Astronomy (SOFA). A Equação dos Equinócios tem como termo de primeira ordem a Nutação em Longitude:

$$TSAL = TSML + \nabla\psi\cos(\varepsilon) + O(10^{-4}s) \quad (4.2)$$

onde se representa por $\nabla\psi$ a componente da Nutação em longitude e por ε a obliquidade da Eclíptica. Os termos da ordem de $10^{-4}s$ são modelados por uma série que envolve a longitude do nodo ascendente da Lua e a longitude média do Sol.

Como resultado do movimento de translação da Terra, a diferença dos tempos de passagem do Equinócio e do Sol num mesmo meridiano aumenta, diariamente, cerca de 4 minutos (Figura 5).

Consequentemente, no Equinócio da Primavera, quando o Sol se encontra no Ponto Vernal, passam os dois simultaneamente no Meridiano do observador, mas, seis meses depois, o desfasamento das suas passagens será já de 12 horas. Esta situação faz com que o Tempo Sideral seja pouco cómodo para utilização na vida corrente, organizada na sucessão natural dos dias e das noites. Por isso, o Tempo Sideral **é, essencialmente, usad**o no domínio da Astronomia.

4.2 – Tempo solar

Para definir o Tempo Solar é necessário escolher como referência para origem dos dias o centro geométrico do disco solar e, além disso, considerar o movimento aparente do Sol em relação à Terra. Este movimento é a ilusão óptica resultante do movimento de translação da Terra em volta do Sol e, como tal, regido pelas leis de Kepler. Assim, neste movimento aparente, o Sol descreve, aproximadamente, uma elipse de excentricidade da ordem de 0.01673, estando a Terra num dos focos. De acordo com a lei das áreas, esse movimento aparente do Sol não é uniforme, sendo mais rápido no pericentro, ponto onde a Terra e o Sol estão mais próximos. Na prática, este efeito traduz-se pela presença do Sol 185 dias/ano no Hemisfério Norte e apenas 180 dias/ano no Hemisfério Sul. Este movimento é, ainda, perturbado pela acção dos outros planetas sobre a Terra, em especial os de maior massa e os mais próximos. O que acabou de ser exposto evidencia, desde logo, que a escolha do Centro do Sol como referência para a

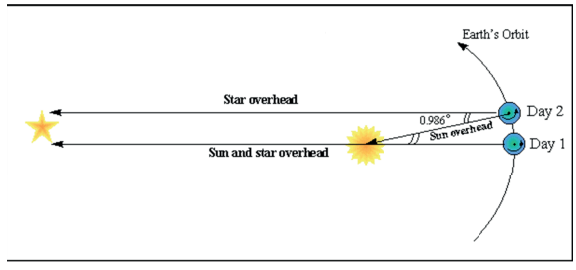


FIGURA 5
Movimento de Translação da Terra.

Figura 6
Relógio de Sol.

materialização de um dia irá conduzir a um sistema não uniforme, o **Tempo Solar Verdadeiro**, incompatível com um relógio; corrigindo o ângulo horário do Sol destas irregularidades o SMT associado é designado por **Tempo Solar Médio**.

Na escala de Tempo Solar Aparente ou Tempo Solar Verdadeiro é avaliado o ângulo horário do Sol Verdadeiro. Os seus valores podem ser modelados pela soma de um polinómio de segundo grau no tempo (variável independente das equações da dinâmica) com termos periódicos que traduzem a sua variação devida à excentricidade da órbita e à acção gravitacional dos planetas. O **Dia Solar Verdadeiro** é o intervalo de tempo entre duas passagens superiores sucessivas do Sol no meridiano do observador e cada época dessa passagem superior é designada por Meio-Dia Solar Local (LAN – Local Apparent Noon); representa o instante em que o Sol está mais alto no horizonte do observador. Mas o LAN tem uma variação diária significativa que torna o Tempo Solar Verdadeiro sem qualquer interesse para os Sistemas de Conservação da Hora. Contudo, nos nossos dias, em que o buraco do ozono permite a entrada, na atmosfera terrestre, de radiação solar prejudicial à nossa pele, a tomada de consciência da aproximação desse instante é importantíssima para a saúde humana. Também a orientação dos painéis solares para a produção de energia solar deve ter em conta o LAN. O Tempo Solar Verdadeiro é, no fundo, a informação que nos é dada pelos bem conhecidos relógios de Sol (Figura 6).

Para a obtenção do Tempo Solar Médio é necessário definir um Sol fictício, isto é, um Sol que tenha, no Plano do Equador, um movimento uniforme ou, por outras palavras, um Sol cuja derivada do ângulo horário em ordem ao tempo seja constante. Esse Sol fictício é designado por Sol Médio e o seu ângulo horário por Tempo Solar Médio. O modelo matemático para o ângulo horário do Sol Médio obtém-se retirando o termo de segundo grau no tempo e os termos periódicos no modelo do ângulo horário do Sol Verdadeiro. Esses termos retirados constituem a designada Equação do Tempo:

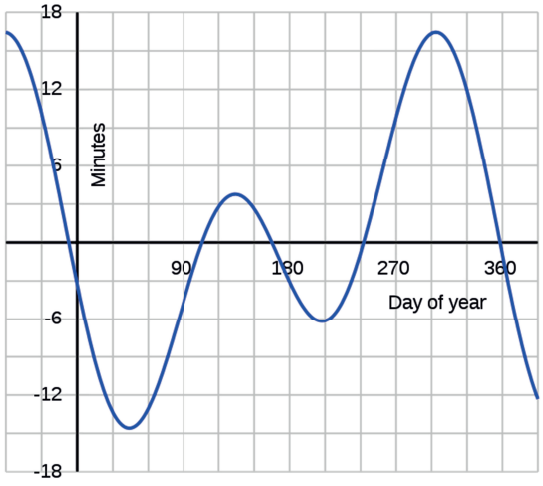


Figura 7
Gráfico da Equação do Tempo.

Equação do Tempo = Tempo Solar Verdadeiro – Tempo Solar Médio

A Equação do Tempo assume valores positivos e negativos. Os seus valores são publicados na forma de tabelas ou gráficos (Figura7) e o seu cálculo pode ser obtido no software disponibilizado no SOFA ou no IERS Conventions Center. Como ao fim de um ano tudo se repete, o valor médio da Equação do Tempo durante um ano deverá ser zero.

Define-se **Dia Médio** como o intervalo de tempo necessário para que o ângulo horário do Sol Médio aumente de 2π, isto é, o intervalo de tempo compreendido entre duas passagens superiores sucessivas do Sol Médio no mesmo meridiano.

A Unidade de Tempo, o Segundo, foi definida com base na rotação da Terra como 1/86400 da duração do dia solar médio.

A relação entre o dia solar médio e o dia sideral médio é dada por:

1 dia solar médio = 1.002 737 909 35 dias siderais médios

= 24h 3m 56.555s de tempo sideral médio

4.2.1 – Tempo Universal – UT0 e UT1

Analogamente ao que foi referido para o Tempo Sideral, há, também, necessidade de conhecer universalmente o Tempo Solar Médio avaliado a partir de um meridiano convencionado. De novo, esse meridiano é o Meridiano de Greenwich.

O Tempo Médio de Greenwich, com a origem do dia no seu anti-meridiano, designa-se por **Tempo Universal (UT – Universal Time),** ou seja, o UT é contado a partir das 0 horas (meia-noite) tendo por unidade a duração do dia solar médio

UT = 12h + Ângulo Horário de Greenwich do Sol Médio

Presentemente, é considerado em duas formas, UT0 e UT1.

UT0 é a forma do UT que, inicialmente, era obtido, em qualquer lugar, por observações ópticas e fotográficas do movimento diurno de estrelas; essas observações têm vindo a ser substituídas por medidas VLBI (Very Long Baseline Interferometry) para **rádio fontes extragalácticas**, os Quasars.

No início da década de 20 do século passado, o desenvolvimento da transmissão de sinais de tempo, via rádio, criou a oportunidade para unificar as medidas de Tempo Universal. Com esse objectivo, foi criado o Bureau Internacional da Hora (BIH), com sede no Observatório de Paris. Começou a operar em 1912, embora os seus Estatutos fossem oficialmente aprovados apenas em 1919. As suas actividades incluíam não só a determinação e a disseminação da hora mas, também, áreas próximas como a Rotação da Terra, os Sistemas de Referência e, mais tarde, o Tempo Atómico.

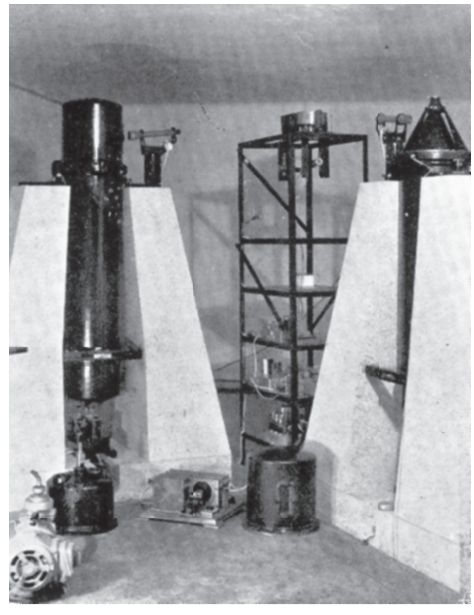


Figura 8
Relógios de Pêndula do Observatório Astronómico "Prof. Manuel de Barros".

O UT0 foi inicialmente conservado por relógios de pêndula (Figura 8). O avanço tecnológico das observações (Figura 9), por um lado, e, por outro, a evolução dos relógios para osciladores de quartzo (Figura 10) levaram os astrónomos a detectar variações no UT0 devidas ao movimento do pólo terrestre.

Este movimento é avaliado num referencial no qual a parte sólida da Terra se considera fixa, ou seja, um referencial centrado e fixo na Terra (ECEF – Earth Centered, Earth Fixed reference frame) e tem uma grandeza da ordem de alguns metros (0.″1≈3m). Este movimento,

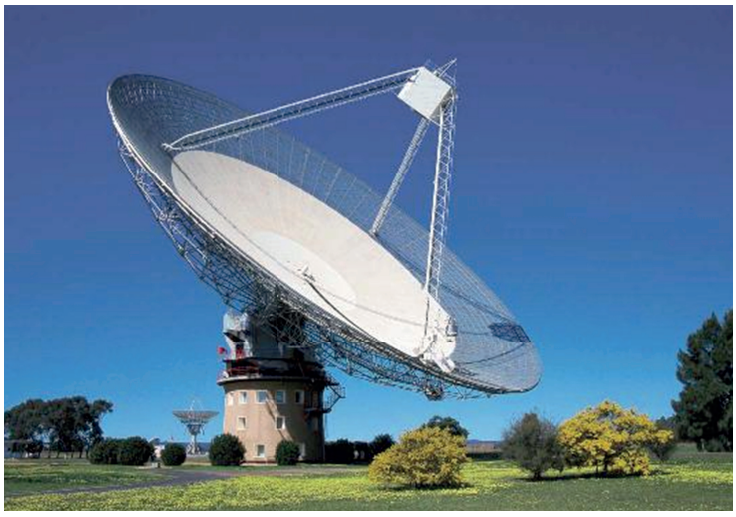


FIGURA 9
Radiotelescópio.

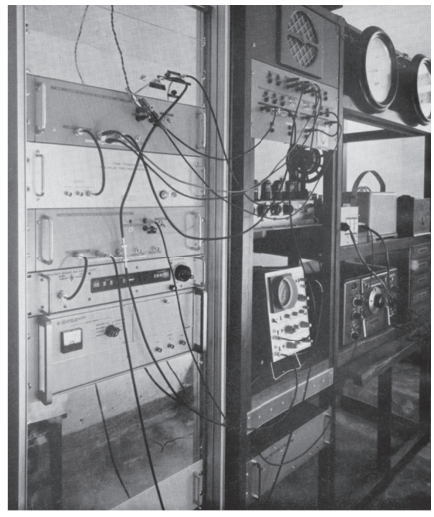


FIGURA 10
Sinais de Tempo a partir de Relógio de Quartzo.

monitorizado no Centro de Orientação da Terra do IERS, está ilustrado na Figura 11. As coordenadas, em segundos de arco, do pólo verdadeiro, relativamente ao **pólo médio de 1900.0 estão publicadas, desde 1962, nos boletins A e B do IERS, disponíveis**, em versão digital, na internet.

Dada a influência do movimento do pólo terrestre nas determinações do UT0, reconheceu-se a necessidade de introduzir uma nova escala de Tempo Universal, o UT1, mais uniforme.

O UT1 começou por ser uma versão melhorada do UT0, em que a longitude da estação de observação era corrigida do movimento do pólo. Porém, como a derivada em ordem ao tempo do ângulo horário do Sol Médio é a velocidade angular de rotação da Terra, ω, a definição do UT1 foi alterada.

Presentemente, na sequência de Resoluções da União Astronómica Internacional, na sua Assembleia Geral no ano 2000, UT1 é definido como uma função linear de θ, Ângulo de Rotação da Terra (ERA – Earth Rotation Angle). ERA é o ângulo geocêntrico entre as direcções de dois pontos no plano do Equador: um, na esfera celeste geocêntrica, designado por Origem Intermédia Celeste (CIO), que não participa da rotação da Terra; outro, à superfície da Terra, designado Origem Intermédia Terrestre (TIO), rodando, naturalmente, com a Terra. Como, $d\theta/dt = \omega$, o UT1 é, então, definido a partir do ERA. Os valores de UT1, assim determinados, **têm uma precisão da ordem dos** microsegundos.

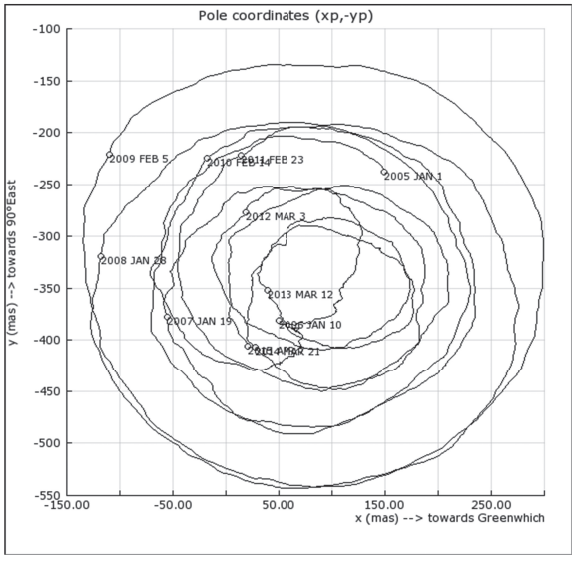


FIGURA 11
Movimento do Pólo.

As unidades de tempo acumulam-se segundo o Calendário Gregoriano adoptado por uma grande parte dos Países. Neste calendário, que

nos é tão familiar, calcular intervalos de tempo entre épocas afastadas não é, como foi já referido, tarefa fácil.

Em muitas aplicações, torna-se conveniente utilizar uma contagem contínua de dias, em vez do calendário civil, para o cálculo de intervalos de tempo. Frequentemente, é usada a Data Juliana (JD).

O Dia Juliano é representado pelo número de dias decorridos desde o meio-dia médio de Greenwich de 1 de Janeiro do ano 4713 A.C. A JD de um dado instante é o dia Juliano seguido da fracção de dia decorrida desde o meio-dia anterior. A Data Juliana Modificada (MJD) é uma versão abreviada da JD

$$MJD = JD - 2\,400\,000.5$$

Em qualquer Almanaque Astronómico está publicada a MJD às 0h de cada dia do calendário Gregoriano.

4.3 – Precisão deste tipo de Sistemas de Medida de Tempo

Todos os SMT baseados na Rotação da Terra, que se acabou de descrever, têm a sua importância e são utilizados de acordo com o problema em causa. Na sua definição e materialização foram sendo ultrapassadas as irregularidades introduzidas na definição do Segundo tendo em linha de conta os fenómenos naturais que os afectam e cada um desses SMT surgiu com o intuito de melhorar o anterior. Assim, partindo do Tempo Sideral Aparente, passou-se ao Tempo Sideral Médio tendo em linha de conta a Nutação Astronómica e separando-os pela Equação dos Equinócios; introduziu-se o Tempo Solar para evitar a troca periódica do dia com a noite a que nos conduziria um Sistema de Tempo Sideral a avaliar o nosso dia-a-dia. Corrigiu-se o Tempo Solar Verdadeiro das irregularidades introduzidas, na duração do Dia Solar, pela excentricidade da órbita da Terra e pela acção gravitacional dos outros planetas do Sistema Solar passando-se ao Tempo Solar Médio através da Equação do Tempo. Definiu-se um Tempo Universal; a materialização do Dia Solar por observações astronómicas em estações distribuídas por toda a Terra permitiu definir o UT0; a substituição das observações ópticas e fotográficas por observações VLBI para Quasars, permitiu detectar irregularidades no Dia Solar, de acordo com a longitude do observatório, compatíveis com o Movimento do Pólo. Passou-se ao UT1 entrando em linha de conta com este movimento. De acordo com as Resoluções aprovadas na Assembleia Geral da IAU em 2000, o UT1 passou a ser determinado como uma função linear do Ângulo de Rotação da Terra, ERA.

A questão que naturalmente se levanta é sobre a precisão de 1s de UT1. Ele terá sempre a mesma duração ao longo dos anos? A resposta é não, pois a velocidade Angular de Rotação da Terra não é constante e está com tendência a diminuir de uma forma não uniforme e não modelável, pelo menos até agora. Como consequência desta aceleração angular negativa e irregular, o intervalo de tempo que define um Dia de UT1 será cada vez mais longo o que afecta a duração do Segundo, definido como 1/86400 do Dia Solar. A avaliação desta nova irregularidade é caracterizada por um parâmetro designado por Comprimento do Dia (LOD – Length Of Day) e que representa a diferença entre a duração de um dia e a sua duração nominal, avaliada em milisegundos de UT1 (Figura 12). Nestas condições, um relógio fornecendo o segundo de UT1 apresenta uma incerteza de ± 3 milisegundos / dia.

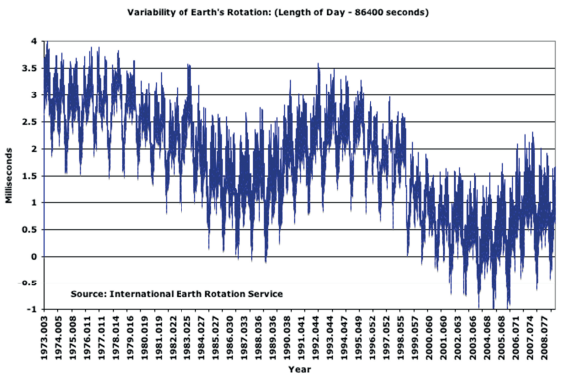


Figura 12
Gráfico da variação do Comprimento do Dia.

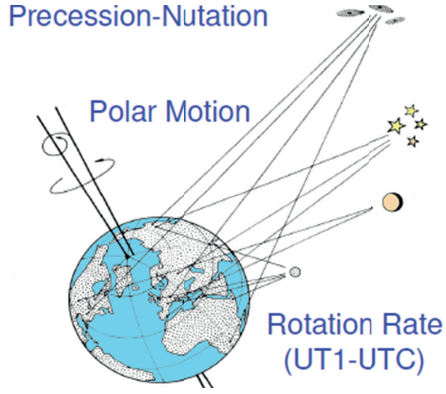


Figura 13
Parâmetros da Orientação da Terra.

É, sem dúvida, o Tempo Solar o que mais se ajusta à organização da nossa vida, toda ela muito influenciada pela sucessão natural dos dias e das noites, como foi já referido. Porém, o desenvolvimento de novas tecnologias, nomeadamente nos processos de conservação da hora, revelou claramente irregularidades no movimento de Rotação da Terra (Figura 13), ou seja, a **impossibilidade de obter uma unidade de tempo constante, mesmo com o UT1.**

5. SISTEMAS DE MEDIDA DE TEMPO BASEADOS NO MOVIMENTO DE CORPOS CELESTES

5.1 – Tempo de Efemérides (ET)

No princípio da década de 30, do século passado, as discrepâncias entre as posições calculadas de astros do Sistema Solar e as suas posições observadas, bem como os desenvolvimentos na tecnologia dos Relógios, nomeadamente os Relógios de Quartzo, rapidamente mostraram que a Rotação da Terra não era uniforme, isto é, a velocidade angular, **ω**, não era constante. O Sistema de Tempo baseado na Rotação da Terra, utilizado até então, não era uniforme, ou seja, não permitia gerar uma unidade de Tempo constante. Os Osciladores de Quartzo foram os primeiros mecanismos de Conservação da Hora a exceder a exactidão da própria Terra.

Foi, então, introduzido um novo Sistema de Tempo "uniforme", baseado no movimento orbital de astros do Sistema Solar, designado por **Tempo de Efemérides (ET)**, que entrou em utilização em 1956, de acordo com as Resoluções da IAU na sua Assembleia Geral de 1952. Como variável independente das equações da Dinâmica, criava, naturalmente, um sistema uniforme.

Definido pelo movimento orbital da Terra em volta do Sol, o Tempo de Efemérides foi inicialmente determinado a partir de observações da Lua, com uma câmara especial, desenvolvida, em 1951, no Observatório Naval de Washington.

O **Segundo de Efemérides** foi definido como a fracção **1/31,556,925.9747 do Ano Trópico** (intervalo de tempo para que a longitude eclíptica do Sol aumente 360º).

Não sendo de fácil acesso, foi essencialmente utilizado nas efemérides dos corpos do Sistema Solar, não tendo interesse nas aplicações da vida corrente. Por isso mesmo, o ET nunca foi distribuído por sinais horários; era, apenas, acessível através da publicação das diferenças para o UT1.

A invenção em 1955 do relógio atómico de césio levou a que, a partir de 1959, a materialização secundária do tempo de efemérides passasse a ser feita com este tipo de relógios, embora a definição de 1s de ET fosse mantida.

5.2 – Tempo Dinâmico Terrestre (TDT) e Tempo Dinâmico Baricêntrico (TDB)

Reconhecendo que o ET não tinha em linha de conta a Teoria da Relatividade e que eram introduzidas, devido à dilatação do tempo, discrepâncias da ordem de 2×10^{-3} segundos entre o tempo próprio de um relógio em repouso relativamente à superfície da Terra e o tempo coordenado de um Sistema de Referência com origem no centro de massa do Sistema Solar, a UAI, na sua XVI Assembleia Geral (Grenoble, 1976) decidiu que, a partir de 1 de Janeiro de 1984, o ET seria substituído por duas novas escalas de tempo:

• Tempo Dinâmico Terrestre (TDT) ou, abreviadamente, **Tempo Terrestre (TT)**, quando os movimentos dos Corpos Celestes e dos Satélites Terrestres (Figura 14) forem avaliados num Sistema de Referência Geocêntrico (origem no centro de massa da Terra);

• **Tempo Dinâmico Baricêntrico (TDB)**, para movimentos dos Corpos Celestes e das sondas interplanetárias avaliados num Sistema de Referência Baricêntrico (origem no centro de massa do Sistema Solar, próximo do centro de massa do Sol).

Com 1 Segundo materializado por relógios atómicos e com o 1 Dia de 86400 segundos ao nível do Geóide, o TT é a variável independente nas efemérides geocêntricas.

Por razões de continuidade o TT foi considerado coincidente com o ET em 1 de Janeiro de 1984.

O TDB é uma escala de tempo coordenado relativista, que tem em linha de conta a dilatação do tempo, utilizado no cálculo de órbitas e efemérides astronómicas de planetas, asteróides, cometas e sondas interplanetárias dentro do Sistema Solar (Figura 15).

A Época de Referência de dados astrométricos modernos, designada J2000.0, é 2000 Janeiro 1, 12^h TT (JD 2451545.0 TT).

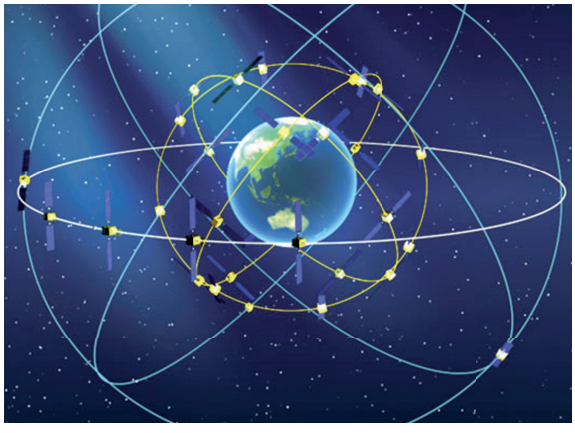


Figura 14
Órbitas Geocêntricas.

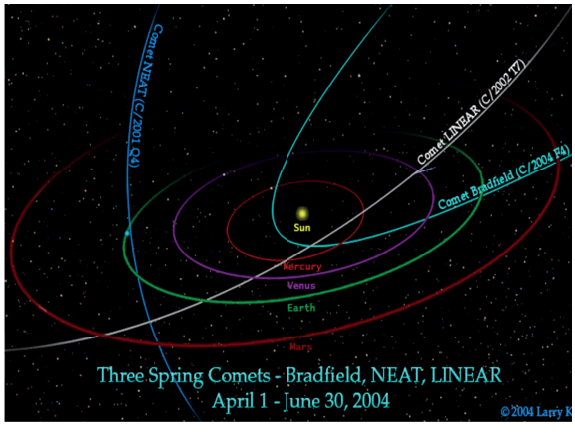


Figura 15
Órbitas Heliocêntricas.

6. SISTEMAS DE MEDIDA DE TEMPO BASEADOS EM FENÓMENOS DA FISÍCA ATÓMICA

De acordo com as leis da Mecânica Quântica os átomos só podem apresentar um número discreto de estados energéticos associados à nuvem electrónica. Um campo electromagnético com uma frequência adequada permite que um electrão salte de um nível energético para outro mais elevado. Inversamente, quando um electrão, num átomo excitado, passa de um nível energético para outro inferior emite radiação electromagnética. A frequência, (v), da radiação capaz de produzir estas transições hiperfinas (associadas à interacção do momento magnético do núcleo com o momento magnético dos electrões) é designada por frequência de ressonância e é directamente proporcional à energia a ela associada, ($E_2 - E_1$), sendo a constante de proporcionalidade a constante de Plank (h):

$$\frac{E_2 - E_1}{v} = h \qquad h = 6.62606957(29) \times 10^{-34} J.s$$

Um relógio atómico utiliza esta quantização da energia atómica e baseia-se no princípio de que numa amostra pura de átomos de um isótopo, de um mesmo elemento, a frequência de ressonância é a mesma para todos os átomos. É possível avaliar a frequência da energia destas transições e os átomos de Césio ($^{133}_{55}C$), com uma distribuição electrónica por níveis energéticos dada por 2, 8, 18, 18, 8, 1, são dos que apresentam melhores condições para estas medidas: 54 dos seus electrões completam níveis energéticos, de acordo com as leis de distribuição electrónica, não influenciando, portanto, as transições energéticas do 55º electrão, sozinho na última camada. Na Tabela Periódica de Elementos, pertencem ao mesmo grupo do Césio (grupo IA) o Rubídio ($^{87}_{37}Rb$) (2, 8, 18, 8, 1) e o Hidrogénio ($^{1}_{1}H$)com um único electrão e, por isso mesmo, também estes, utilizados na construção de relógios atómicos.

Depois de vários anos de investigação, dois astrónomos do Observatório Naval dos Estados Unidos (USNO) e dois astrónomos do Laboratório Nacional de Física (Teddington, Inglaterra) determinaram, em 1955, a relação entre a frequência na transição no átomo de **césio e o segundo de ET**. Determinaram o movimento orbital da Lua em volta da Terra em função do tempo medido por um Relógio Atómico. O valor encontrado diferia significativamente do ET, estabelecido por Markowitz, responsável pelo Serviço do Tempo no USNO. Então, Markowitz e Essen (Figura 16) colaboraram na determinação do melhor valor para a frequência de transição hiperfina no átomo de césio e, em 1958, apresentaram o valor de 9 192 631 770 ciclos/segundo.

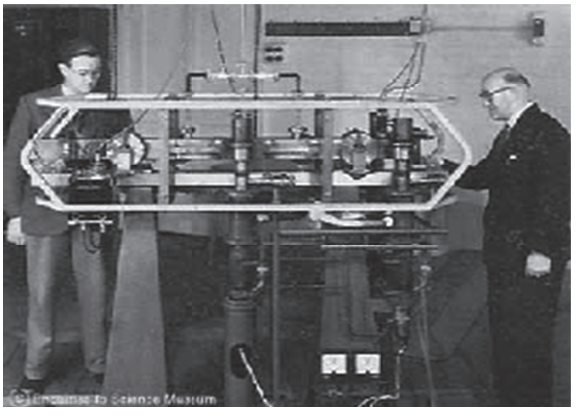


Figura 16
Relógio Atómico de Césio em 1955 (Essen, NPL).

Na 13ª Conferência do Comité Internacional de Pesos e Medidas, em 1967, foi definida, pela primeira vez, a Unidade de Tempo do Sistema Internacional de Unidades, o Segundo (SI), em função do Tempo Atómico (TA) em vez do movimento da Terra:

1 Segundo de TA é a duração de 9 192 631 770 períodos da radiação correspondente à transição entre os dois níveis hiperfinos do estado fundamental dos átomos de Césio 133.

6.1 Relógios Atómicos

O Esquema de funcionamento dos **Relógios Atómicos** está representado na Figura 17.

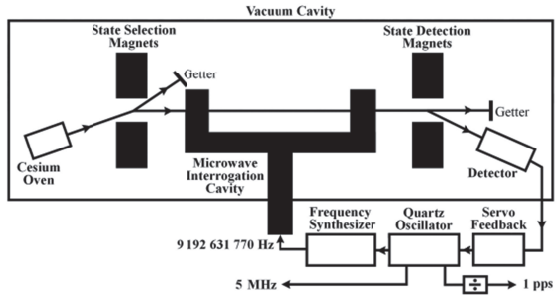


FIGURA 17
Diagrama de um padrão de frequência de Césio.

De um forno é emitido um feixe de átomos neutros de césio que irá passar por dois campos magnéticos não homogéneos. O primeiro magneto faz sair os átomos com spin anti-paralelo, enquanto os de spin paralelo, isto é, a mesma direcção de spin do núcleo e do electrão, passam para um campo magnético uniforme, a denominada cavidade de interacção, onde são excitados pela energia de uma microonda fornecida por um Oscilador de Quartzo. Quando a frequência desta microonda iguala a da transição natural dos átomos, isto é, em condições de ressonância, ocorre uma mudança de estado por absorção ou emissão estimulada, dependendo do estado inicial dos átomos. Depois do feixe passar por um segundo campo magnético não homogéneo, apenas os átomos que sofreram transição são enviados para o Detector e, daí, de novo, para a cavidade de interacção, passando pelo Oscilador de Quartzo. Se a frequência do sinal aplicado não é exactamente igual à frequência da transição dos átomos de césio, não ocorrerá qualquer transição e não haverá sinal à saída do Detector. Então, a frequência do cristal de quartzo do oscilador é regulada até que seja recebido sinal à saída do Detector. Neste momento, sabe-se que a frequência do oscilador é igual à frequência de transição dos átomos de césio, isto é, tem-se acesso ao **Tempo Atómico**.

A utilização generalizada do Tempo Atómico nos mais variados domínios da vida moderna tem provocado um considerável desenvolvimento na concepção e na materialização de Relógios Atómicos, nomeadamente no que respeita à sua Exactidão e às suas Dimensões. A Figura 18 mostra a rápida evolução ***dos Relógios de Césio*** (Cs), no *National Bureau of Standards (NBS)*, nos Estados Unidos, até 1988, posteriormente designado por *National Institute of Standards and Technology (NIST)*, Figura 19.

Um novo avanço na exactidão dos relógios atómicos foi dado pela introdução de um Sistema de Arrefecimento por LASER (Figura 20). Os Relógios de Césio Arrefecidos por LASER

FIGURA 18
Relógios de Césio no NBS.

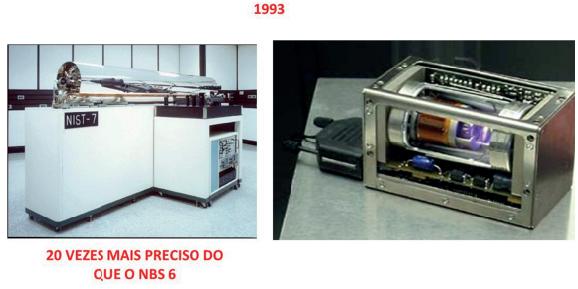


FIGURA 19
Relógios de Césio (NIST7) e de Rubídio (GPS).

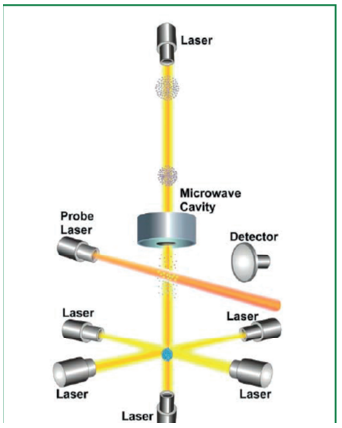
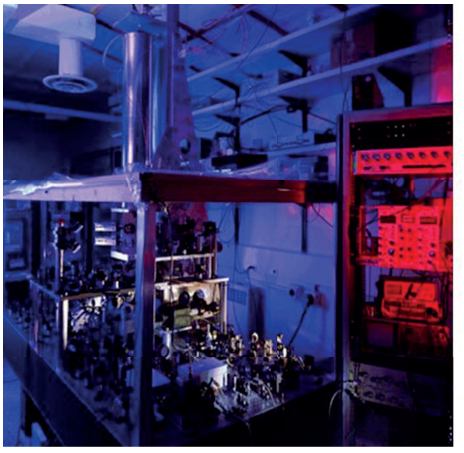


Figura 20
Diagrama de uma Fonte de Césio que utiliza o arrefecimento por laser.



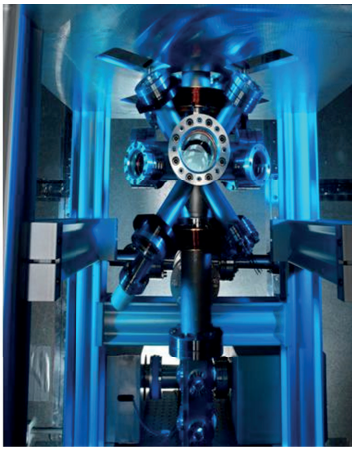


Figura 21
NIST CsF1

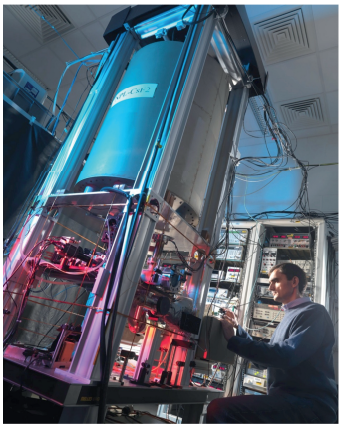


Figura 22
NPL CsF2

desenvolvidos nos Estados Unidos, *NIST CsF1*, e em Inglaterra, *National Physical Laboratory (NPL), NPL CsF2*, estão representados, respectivamente, nas Figuras 21 e 22.

Como se disse anteriormente, assiste-se a um desenvolvimento permanente dos padrões de tempo atómico, no que respeita à exactidão, o que está bem representado no gráfico da Figura 23.

Entretanto, o Prémio Nobel da Física, em 1989, foi atribuído, metade, a Norman F. Ramsey (Harvard University) *"for the invention of the separated oscillatory fields method and its use in the hydrogen maser and other atomic clocks"*, a outra metade, em conjunto, a Hans G. Dehmelt (University of Washington) e Wolfgang Paul (University of Bonn) *"for the development of the ion trap technique"*. Na sequência dessas e outras investigações surgiu o padrão de frequência utilizando o Hidrogénio, o MASER (Microwave Amplification by Simulated Emisson of Radiation) de Hidrogénio. O esquema de funcionamento deste Relógio Atómico está representado na Figura 24. Como é habitual neste tipo de situação, os primeiros exemplares tinham grandes dimensões (Figura 25), tendo vindo a ser progressivamente reduzidas a ponto de, actualmente, os Masers de Hidrogénio serem os Relógios Atómicos que equipam os Satélites do Sistema Galileo (Figura 26).

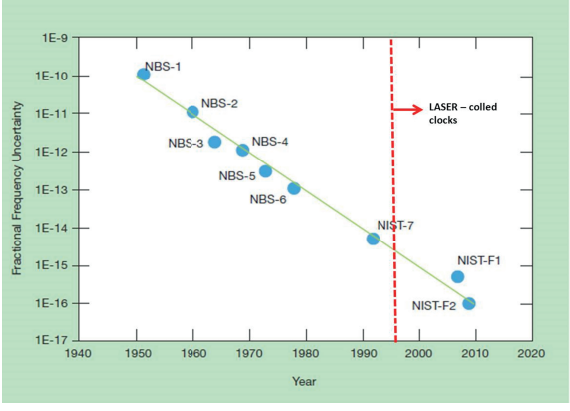


Figura 23
Incerteza nos padrões de frequência do NIST.

Uma experiência a bordo da Estação Espacial Internacional *(International Space Station – ISS)* combina a excelente estabilidade de período curto do MASER de Hidrogénio com a exactidão e a estabilidade de período longo do relógio de Césio arrefecido por LASER (Figura 27).

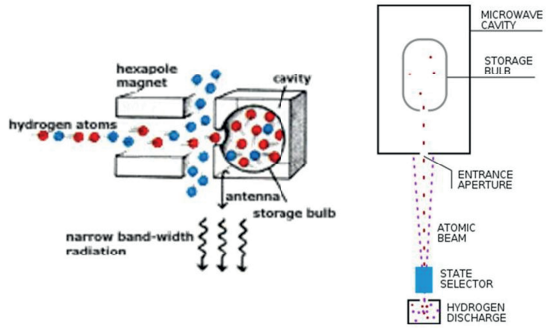


Figura 24
Diagrama de um Maser de Hidrogénio.

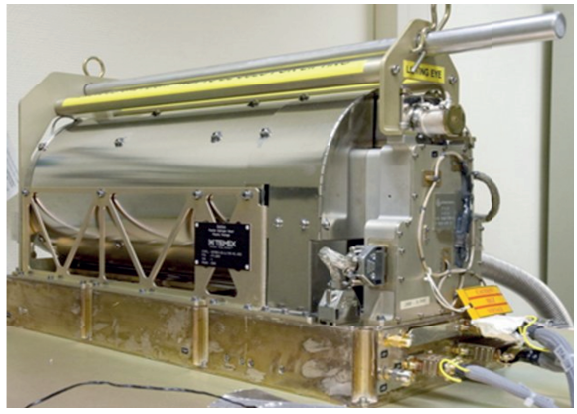


Figura 25
Grandes dimensões dos primeiros masers de Hidrogénio.

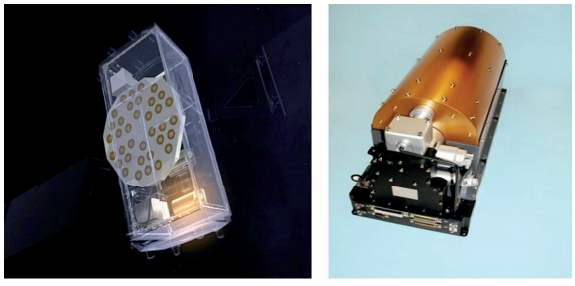


Figura 26
Masers de Hidrogénio dos satélites Galileo.

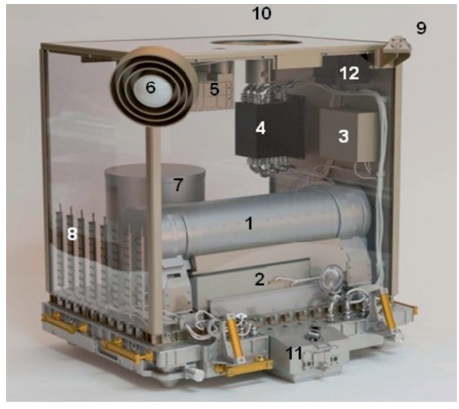


Figura 27
ACES – Atomic Clock Ensemble in Space – a bordo da ISS (Projecto PHARAO).

Em resumo, podemos dizer que, **em Janeiro de 2013, a exactidão estava reduzida a cerca de $3x10^{-15}$ o que significa que não há perda ou ganho de 1s em mais de 100 milhões de anos.**

6.2 Tempo Atómico Internacional

O **Tempo Atómico Internacional (TAI)** é mantido pela Secção do Tempo do Bureau Internacional de Pesos e Medidas (BIPM), em Paris, com base nas informações de um grande número dos mais avançados relógios atómicos em diferentes Laboratórios. Até 31 de Dezembro de 1987, aquela responsabilidade estava atribuída ao Bureau Internacional da Hora (BIH), isto é, **até aquela data, os assuntos** do Tempo eram tratados no âmbito da Astronomia, passando, então, para o domínio dos Padrões Internacionais.

O TAI é calculado como uma média pesada da informação de mais de 300 Relógios individuais. Assim, o TAI é uma escala de tempo formada estatisticamente para utilização internacional. A Época de início do Sistema TAI coincidiu com a Época de UT1 em 1 de Janeiro de 1958. Devido ao atraso

na Rotação da Terra, a diferença entre as duas Escalas está a aumentar, como se reconhece nos seguintes dados de observação:

TAI – UT1 = +6.^{s}1 on January 1, 1968
= +16.^{s}4 on January 1, 1978
= +23.^{s}6 on January 1, 1988
= +30.^{s}8 on January 1, 1998
= +31.^{s}9 on January 1, 2001
= +32.^{s}3 on January 1, 2003

6.3 Tempo Universal Coordenado

Em muitas aplicações, nomeadamente na Navegação, torna-se necessária uma escala de tempo, por um lado, muito uniforme e, por outro, tanto quanto possível adaptada ao UT1, ou seja, à Rotação da Terra. Com esse objectivo, foi introduzida, em 1972, uma solução de compromisso, o **Tempo Universal Coordenado (UTC)**. UTC e TAI diferem de um número inteiro, n, de segundos (leap seconds – segundos intercalares)

UTC = TAI – n(1s)

Os segundos intercalares podem ser introduzidos sempre que necessário, no final dos meses de Dezembro e Junho. Esses segundos são introduzidos de modo a que a diferença, em valor absoluto, não exceda os 0.9 segundos

$DUT1 = |UT1 - \mathrm{UTC}|$
≤ 0.9 *segundos*

A unidade do UTC mantém-se o Segundo Internacional (SI).

O DUT1 é distribuído pelos Boletins do Serviço Internacional da Rotação da Terra e dos Sistemas de Referência (IERS). Este Serviço, ligado à União Astronómica Internacional (UAI), é o responsável pela introdução ou não dos Segundos Intercalares. O Tempo dos sinais horários de muitos Países, Hora Legal desses Países, refere-se ao UTC. Presentemente, UTC-TAI = – 35 segundos, desde 1 de Julho de 2012, 0^h UTC, estando já decidido não haver qualquer segundo intercalar em Dezembro de 2013. De salientar, tendo em atenção o que fica exposto, que o UTC, embora muito utilizado na vida corrente, é um SMT que apresenta descontinuidades (Figura 28).

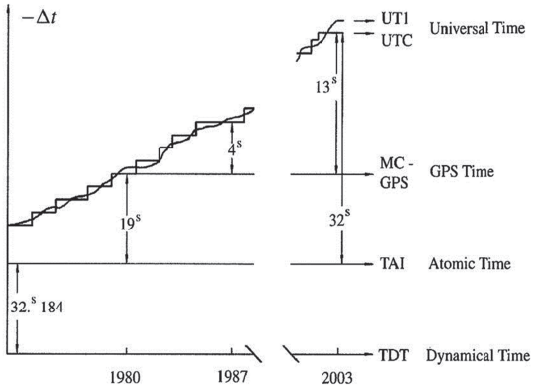


Figura 28
Comparação entre os diferentes SMT.

6.4 Tempo GNSS

Os Sistemas Globais de Navegação por Satélite (GNSS), *GPS, GLONASS, Compass/Beidou e Galileo*, são verdadeiras constelações de Relógios Atómicos em movimento em volta da Terra. Cada um dos Sistemas cria o seu próprio Tempo Atómico, com pequenas diferenças para o Tempo Atómico Internacional. Como a mensagem recebida dos Satélites inclui a informação de Tempo, os respectivos Sistemas são de muito fácil acesso.

O SMT associado ao GPS (**Tempo GPS**) foi posto a coincidir com o UTC às 0h do dia 6 de Janeiro de 1980. Nesse instante, o TAI já estava adiantado relativamente ao UTC em 19 segundos. Como no Tempo GPS não são introduzidos segundos intercalares, pois é mais vantajosa uma escala de tempo contínua, a diferença entre o Tempo GPS e o TAI mantém-se constante, enquanto, em 2013, o UTC já estava atrasado, relativamente ao Tempo GPS, em 16 segundos.

7. CONCLUSÃO

Os diferentes aspectos que intervêm na definição e na materialização dos Sistemas de Medida de Tempo constituem uma área em permanente desenvolvimento (Figura 29).

Actualmente, os dois Sistemas de Medida de Tempo com maior interesse são o UT1 e o TA, estando em curso intensa discussão sobre a eventual eliminação dos Segundos Intercalares no UTC. A tomada de uma decisão está, neste momento, adiada para a Assembleia Geral da UAI em 2015.

Considera-se, também, uma possível redefinição, a curto prazo, do Segundo de Tempo Atómico, como consequência do desenvolvimento constante dos padrões de frequência, como, por exemplo, padrões de frequência ópticos Optical Lattice Clocks –e Ion Optical Clocks –(Figura 30). **É tão grande o interesse e a actualidade deste assunto que** o Prémio Nobel da Física em 2012 foi atribuído a Dave Wineland, do NIST Time and Frequency Division, Estados Unidos, e ao Francês Serge Haroche, da Sorbonne, *"for ground-breaking experimental methods that enable measuring and manipulation of individual quantum systems"*, com aplicações no desenvolvimento de Relógios Atómicos Ópticos.

Figura 29
Linha do Tempo na evolução dos Relógios.

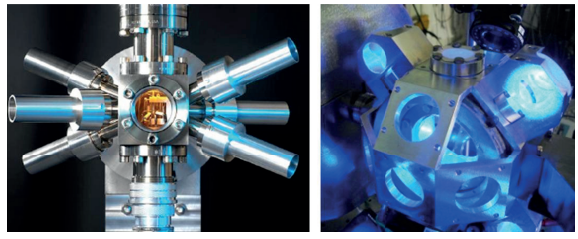


Figura 30
Padrões de frequência ópticos.

BIBLIOGRAFIA

Capitaine, N. and McCarthy, D. D., *The IAU Recommendations on Reference Systems and their Applications*, Observatoire de Paris, May 2004.

Capitaine, N. and Wallace, P. T., *High precision methods for locating the celestial intermediate pole and origin*, A&A 450, 855–872, 2006.

Lombardi, M. A., Heavner, T. P. and Jefferts, S. R., *NIST Primary Frequency Standards and the Realization of the SI Second*, The Journal of Measurements Science, Vol.2 No. 4, December 2007.

Petit, G. and Luzum, B., (eds.), *IERS Conventions (2010)*, IERS Technical Note No. 36, 2010.

Seeber, G., *Satellite Geodesy* – 2nd completely revised and extended edition, Walter de Gruyter, Berlin, 2003.
The Astronomical Almanac for the year 2013, U.S. Government Printing Office, 2012.
http://syrte.obspm.fr/iauWGnfa/NFA_Glossary.html
http://tycho.usno.navy.mil
http://www.iers.org
http://www.iau.org/science
http://www.nist.gov/pml/div688/

(Comunicação apresentada à Classe de Ciências
na sessão de 7 de Novembro de 2013)

Índice

A LÓGICA MATEMÁTICA COMO EMPREENDIMENTO FUNDAMENTADOR 7
Fernando Ferreira

EVOLUÇÃO. VISÃO GLOBAL DE UM NÃO ESPECIALISTA… ENERGIA… MATÉRIA… VIDA… HOMEM… HUMANIDADE… 21
Armando Lencastre

ABERTURA DAS COMEMORAÇÕES DO BICENTENÁRIO DE DARWIN NA ACADEMIA DAS CIÊNCIAS DE LISBOA 37
E. R. de Arantes e Oliveira

EVO DEVO – A PROPOSTA DE RON AMUNDSON 41
Daniel Serrão

DARWIN E A EVOLUÇÃO DAS ANGIOSPÉRMICAS 47
João Pais

ANATOMIA ARTÍSTICA NA ESCULTURA DE MIGUEL ÂNGELO NO RENASCIMENTO ITALIANO PLENO 57
J. A. Esperança Pina

A MATEMÁTICA DA EVOLUÇÃO E A EVOLUÇÃO DA MATEMÁTICA 67
Fábio Chalub

DARWIN AND THE SOMATIC EVOLUTION OF CANCER 73
Jorge M. Pacheco, David Dingli

FROM CHARLES DARWIN TO EVOLUTIONARY GENETIC ALGORITHMS 85
Rui Dilão

ANATOMIA ARTÍSTICA DO RENASCIMENTO EM ITÁLIA (VIII)
PINTURA DO RENASCIMENTO PLENO (SÉCULO XVI)
MIGUEL ÂNGELO BUONARROTI 93
J. A. Esperança Pina

LEITE DE VASCONCELLOS, JOAQUIM FONTES E A ESTAÇÃO PALEOLÍTICA
DE CASAL DO MONTE 105
Miguel Telles Antunes, João Luís Cardoso e Luís Raposo

O DEBATE HISTÓRICO E CONTEMPORÂNEO SOBRE AS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS 125
Filipe Duarte Santos

SISTEMAS GLOBAIS DE NAVEGAÇÃO POR SATÉLITE GNSS 135
José Joaquim Pereira Osório

JUSTIFICAÇÃO DO TEMA 153
Artur Torres Pereira

PALAVRAS DE ABERTURA DA SESSÃO CONJUNTA DAS DUAS CLASSES
DA ACADEMIA DAS CIÊNCIAS DE LISBOA COMEMORATIVA
DO CINQUENTENÁRIO DE C. P. SNOW 155
E. R. de Arantes e Oliveira

DAS DUAS CULTURAS A CONSILIÊNCIA 159
Daniel Serrão

A ACADEMIA DAS CIÊNCIAS DE LISBOA E *AS DUAS CULTURAS*
DE CHARLES PERCY SNOW 167
F. R. Dias Agudo

REGULARIZAÇÃO FLUVIAL DO BAIXO MONDEGO 173
Armando Lencastre

DANIEL SERRÃO: "NA ACADEMIA DAS CIÊNCIAS" 183
Artur Torres Pereira

ANATOMIA ARTÍSTICA NA MESOPOTÂMIA I
SUMÉRIA, ACÁDIA, NEOSUMÉRIA E BABILÓNIA 187
J. A. Esperança Pina

DUARTE PACHECO E A FÓRMULA DE MIRA FERNANDES: "O JUSTO EQUILÍBRIO
ENTRE A INTELIGÊNCIA QUE ESPECULA E A VONTADE QUE EXECUTA" 197
E. R. de Arantes e Oliveira

PERCEPÇÃO INDIVIDUAL DO RISCO E O PROBLEMA DO AQUECIMENTO GLOBAL 207
Jorge M. Pacheco

ANATOMIA ARTÍSTICA NA MESOPOTÂMIA II
ASSÍRIA 221
J. A. Esperança Pina

O REGIMENTO DE AIRES DO QUENTAL (1516).
PRIMEIRO "PLANO DE FOMENTO MINEIRO" NACIONAL 229
Luís Aires-Barros

ANATOMIA ARTÍSTICA NO HATTI (HITITAS) I
PRÉ-HITITAS E COLÓNIAS DE MERCADORES ASSÍRIOS 237
J. A. Esperança Pina

LA DÉSINDUSTRIALISATION DE L'EUROPE: ENTRE ESPOIR ET FATALISME 251
Jean-Pierre Contzen

ANATOMIA ARTÍSTICA NO HATTI (HITITAS) II
REINO HITITA, IMPÉRIO HITITA E REINOS NEO-HITITAS 259
J. A. Esperança Pina

REJEIÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS: MATÉRIA ORGÂNICA E METAIS PESADOS.
O ESTUÁRIO DO TEJO – LABORATÓRIO NATURAL PARA UM ESTUDO COMUNITÁRIO. 269
Armando Lencastre

"O CONSOLO DAS HUMANIDADES" 287
João Lobo Antunes

O PAPEL DA CIÊNCIA NO DIÁLOGO ENTRE A EUROPA E A CHINA VIA LISBOA E MACAU 293
E. R. de Arantes e Oliveira

O ERRO E A IMPORTÂNCIA DO ERRO NA INVESTIGAÇÃO BIOLÓGICA 309
Rui Malhó

A MISSÃO GAIA DA AGÊNCIA ESPACIAL EUROPEIA (ESA) 313
José Joaquim Pereira Osório

CHEMICAL SYNTHESIS IN THE DEVELOPMENT OF THERAPEUTICS:
APPROACH THROUGH ANALOGIES TO NATURAL STRUCTURES AND PROCESSES 323
António Manuel d'Albuquerque Rocha Gonsalves

FADIGA E FRACTURA DE UM AÇO USADO EM ESTRUTURAS SOLDADAS 341
Paulo M. S. Tavares de Castro

IDADE, ORIGEM E PROTÓLITOS DE GRANITOS VARISCOS DE TRÊS ÁREAS PORTUGUESAS 349
A.M. R. Neiva, R. J. S. Teixeira, S. M. Lima, P. B. Silva

PLANTAS MEDICINAIS: PASSADO, PRESENTE E FUTURO 363
J.M. Toscano Rico

ANATOMIA ARTÍSTICA NA FENÍCIA E EM CARTAGO I
FENÍCIA 379
J. A. Esperança Pina

ANATOMIA ARTÍSTICA NA FENÍCIA E EM CARTAGO II
CARTAGO E COLÓNIAS 393
J. A. Esperança Pina

ANATOMIA ARTÍSTICA NO RENASCIMENTO PORTUGUÊS I
PINTURA DO PROTO-RENASCIMENTO. NUNO GONÇALVES 405
J. A. Esperança Pina

A ACTUALIDADE DE GARCIA D'ORTA 419
J. M. Toscano Rico

SISTEMAS DE MEDIDA DE TEMPO 425
José Joaquim Pereira Osório

Índice Onomástico

A. M. R. NEIVA
Idade, Origem e Protólitos de Granitos Variscos de Três Áreas Portuguesas 349

ANTÓNIO MANUEL D'ALBUQUERQUE ROCHA GONSALVES
Chemical Synthesis in the Development of Therapeutics: Approach through analogies to natural structures and processes 323

ARMANDO LENCASTRE
Evolução. Visão global de um não especialista… Energia… Matéria… Vida… Homem… Humanidade… 21

ARMANDO LENCASTRE
Regularização fluvial do Baixo Mondego 173

ARMANDO LENCASTRE
Rejeição de águas residuais: matéria orgânica e metais pesados. O Estuário do Tejo – Laboratório natural para um Estudo Comunitário. 269

ARTUR TORRES PEREIRA
Daniel Serrão: "Na Academia das Ciências" 183

ARTUR TORRES PEREIRA
Justificação do tema 153

DANIEL SERRÃO
Das duas culturas a consiliência 159

DANIEL SERRÃO
Evo Devo – a proposta de Ron Amundson 41

DAVID DINGLI
Darwin and the somatic evolution of cancer 73

E. R. DE ARANTES E OLIVEIRA
Abertura das Comemorações do Bicentenário de Darwin na Academia das Ciências de Lisboa 37

E. R. DE ARANTES E OLIVEIRA
Duarte Pacheco e a fórmula de Mira Fernandes: "O justo equilíbrio entre a inteligência que especula e a vontade que executa" 197

E. R. DE ARANTES E OLIVEIRA
O papel da ciência no diálogo entre a Europa e a China via Lisboa e Macau 293

E. R. DE ARANTES E OLIVEIRA
Palavras de abertura da sessão conjunta das duas classes da Academia das Ciências de Lisboa comemorativa do cinquentenário de C. P. Snow 155

F. R. DIAS AGUDO
A Academia das Ciências de Lisboa e As Duas Culturas *de Charles Percy Snow* 167

FERNANDO FERREIRA
A lógica matemática como empreendimento fundamentador 7

FILIPE DUARTE SANTOS
O Debate Histórico e Contemporâneo sobre as Alterações Climáticas 125

FÁBIO CHALUB
A matemática da evolução e a evolução da matemática 67

J. A. ESPERANÇA PINA
Anatomia artística na escultura de Miguel Ângelo no renascimento italiano pleno 57

J. A. ESPERANÇA PINA
Anatomia artística do renascimento em Itália (VIII). Pintura do renascimento pleno (século XVI). Miguel Ângelo Buonarroti 93

J. A. ESPERANÇA PINA
Anatomia artística na Fenícia e em Cartago I. Fenícia 379

J. A. ESPERANÇA PINA
Anatomia artística na Fenícia e em Cartago II. Cartago e colónias 393

J. A. ESPERANÇA PINA
Anatomia artística na Mesopotâmia I. Suméria, Acádia, Neosuméria e Babilónia 187

J. A. ESPERANÇA PINA
Anatomia artística na Mesopotâmia II. Assíria 221

J. A. ESPERANÇA PINA
Anatomia artística no Hatti (Hititas) I. Pré-hititas e colónias de mercadores assírios 237

J. A. ESPERANÇA PINA
Anatomia artística no Hatti (Hititas) II. Reino Hitita, império Hitita e reinos Neo-hititas 259

J. A. ESPERANÇA PINA
Anatomia artística no Renascimento português I. Pintura do proto-renascimento. Nuno Gonçalves 405

J. M. TOSCANO RICO
A actualidade de Garcia d'Orta 419

J. M. TOSCANO RICO
Plantas medicinais: passado, presente e futuro 363

JEAN-PIERRE CONTZEN
La Désindustrialisation de l'Europe: entre Espoir et Fatalisme 251

JORGE M. PACHECO
Darwin and the somatic evolution of cancer 73

JORGE M. PACHECO
Percepção individual do risco e o problema do aquecimento global 207

JOSÉ JOAQUIM PEREIRA OSÓRIO
A missão GAIA da Agência Espacial Europeia (ESA) 313

JOSÉ JOAQUIM PEREIRA OSÓRIO
Sistemas de medida de tempo 425

JOSÉ JOAQUIM PEREIRA OSÓRIO
Sistemas globais de navegação por satélite GNSS 135

JOÃO LOBO ANTUNES
"O Consolo das Humanidades" 287

JOÃO LUÍS CARDOSO
Leite de Vasconcellos, Joaquim Fontes e a estação paleolítica de Casal do Monte 105

JOÃO PAIS
Darwin e a evolução das angiospérmicas 47

LUÍS AIRES-BARROS
O Regimento de Aires do Quental (1516). Primeiro "plano de fomento mineiro" nacional 229

LUÍS RAPOSO
Leite de Vasconcellos, Joaquim Fontes e a estação paleolítica de Casal do Monte 105

MIGUEL TELLES ANTUNES
Leite de Vasconcellos, Joaquim Fontes e a estação paleolítica de Casal do Monte 105

P. B. SILVA
Idade, Origem e Protólitos de Granitos Variscos de Três Áreas Portuguesas 349

PAULO M. S. TAVARES DE CASTRO
Fadiga e Fractura de um Aço Usado em Estruturas Soldadas 341

R. J. S. TEIXEIRA
Idade, Origem e Protólitos de Granitos Variscos de Três Áreas Portuguesas 349

RUI DILÃO
From Charles Darwin to evolutionary genetic algorithms 85

RUI MALHÓ
O erro e a importância do erro na investigação biológica 309

S. M. LIMA
Idade, Origem e Protólitos de Granitos Variscos de Três Áreas Portuguesas 349

Composto e impresso em Lisboa
na Gráfica 99, em 2018.
Dep. Legal: 447397/18

ISBN 978-972-623-352-7