

VER PARA ENTENDER: DESIGN COM A CIÊNCIA

MARIA TERESA ALMEIDA PINHO NEVES

Mestrado em Design de Comunicação
Setembro, 2021

VER PARA ENTENDER: DESIGN COM A CIÊNCIA

MARIA TERESA ALMEIDA PINHO NEVES

ORIENTADOR

Rúben Dias

CO-ORIENTADORA

Susana Fernando

Mestrado em Design de Comunicação
Setembro, 2021



AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, professor Rúben Dias, e à minha co-orientadora, professora Susana Fernando, não só por me aceitarem como orientanda, mas também por todo o apoio, disponibilidade, e, sobretudo, paciência ao longo deste processo.

Ao professor Sushil Mendiratta e ao professor Carlos Herdeiro, pela ajuda com o conteúdo científico e por sempre demonstrarem interesse no projeto. Obrigada por ouvirem as minhas ideias e pela prontidão em esclarecer todas as minhas dúvidas, por muito simplistas que fossem.

Ao professor Manuel Santos, pelas competências informáticas, nomeadamente na estruturação e construção do *website* no contexto do exercício concetual, contribuindo para o seu enriquecimento.

Aos meus pais e à minha irmã, por me proporcionarem todas as condições necessárias para a realização deste projeto e por sempre acreditarem em mim, apesar das minhas inseguranças. Obrigada por tornarem isto possível.

RESUMO

O Design apresenta-se como uma disciplina transversal, podendo ser considerado como uma ferramenta que colabora com outras áreas da atividade humana. As competências do Design de Comunicação – na criação de elementos visuais, por exemplo – representam um contributo em diversas áreas do conhecimento, entre as quais a Ciência.

A comunidade científica manifesta interesse na partilha de conhecimento com a sociedade, mas muitos conceitos científicos são difíceis de compreender devido à sua natureza abstrata ou complexa. Neste contexto, o Design de Comunicação pode ter um papel relevante.

Este estudo pretende sublinhar a importância que o Design tem na comunicação da Ciência, através não só da problematização da relação entre as duas disciplinas, como também de uma revisão histórica que permite verificá-la. É também apresentada uma compilação de estudos de caso específicos desta prática e, finalmente, um exercício de exploração gráfica que constrói uma ferramenta facilitadora da compreensão de escala.

PALAVRAS-CHAVE

Design de Comunicação, Comunicação da Ciência, Visualização

ABSTRACT

Design presenting itself as a transversal discipline can be considered a collaborative tool for other areas of human activity. Communication Design's skills – regarding the creation of visual elements, for example – represent a contribution in several areas of knowledge, including Science.

The scientific community expresses interest in sharing knowledge with society, but many scientific concepts are difficult to understand due to their abstract or complex nature. In this context, Communication Design can play a relevant role.

This study aims to highlight the relevance of Design in Science communication by questioning the relationship between both fields of activity, as well as setting a historical lens over it. A compilation of specific case studies is included, and also a practical exercise regarding a scale understanding visual tool.

KEYWORDS

Communication Design, Science Communication, Visualization

ÍNDICE

RESUMO	5
ABSTRACT	7

1.	INTRODUÇÃO	13
1.1.	OBJETIVOS	15
1.2.	METODOLOGIA	17
2.	ENQUADRAMENTO TEÓRICO	19
2.1.	A VISUALIZAÇÃO COMO POTENCIAL DE COGNIÇÃO	21
2.2.	DESIGN COM A CIÊNCIA: CONVERGÊNCIAS	45
2.3.	ESTADO DA ARTE	77
2.3.1.	POWERS OF TEN	79
2.3.2.	ZOOM	83
2.3.3.	NESTED	87
2.3.4.	HERE IS TODAY	91
2.3.5.	IF THE MOON WERE ONLY 1 PIXEL	95

3.	EXERCÍCIO PROJETUAL	99
3.1.	TEMA	103
3.2.	AMOSTRA	107
3.3.	PERFIL DO UTILIZADOR	115
3.4.	FORMATO	119
3.5.	OPÇÕES FORMAIS	123
4.	CONCLUSÕES	133
5.	FONTES CONSULTADAS	139
6.	ANEXOS	147
6.1.	LISTA DE ELEMENTOS DA AMOSTRA	149
6.2.	QUESTIONÁRIO GERAL: PROF. SUSHIL MENDIRATTA	159
6.3.	QUESTIONÁRIO ESPECÍFICO: PROF. CARLOS HERDEIRO	163

1.

INTRODUÇÃO

O caráter transversal do Design permite considerá-lo uma ferramenta passível de colaborar com outras áreas da atividade humana. O propósito do Design de Comunicação para a criação de elementos visuais tais como imagens, esquemas, ícones, símbolos, entre outros, ajuda ao desenvolvimento de atividades tão díspares como a Publicidade, a Economia, a Engenharia ou até mesmo a Religião, nomeadamente através da visualização de conceitos. Também a Ciência se enquadra neste contexto.

Muitos conceitos científicos são difíceis de compreender por serem demasiado abstratos ou complexos. É o caso, por exemplo, de realidades dificilmente observáveis (ou mesmo de observação impossível), tais como o infinitamente pequeno, o infinitamente distante ou o efêmero. A corporização de números imaginários para possibilitar o trabalho e entendimento de conceitos matemáticos ou até mesmo a utilização de simulações de computador são, em si, exemplos que suportam a necessidade de um auxílio visual para comunicar Ciência a um público sem um conhecimento científico aprofundado. Neste sentido, o Design é um elemento chave devido à sua natureza intrínseca de comunicação – através de competências como, por exemplo, a criação e articulação de elementos visuais.

1.1.

OBJETIVOS

O presente estudo tem como objetivo principal sublinhar a importância do Design como ferramenta de comunicação visual para a Ciência, de modo a disponibilizar informação e conhecimento. Para este efeito, pretende-se, em primeiro lugar, evidenciar a necessidade de comunicação de conceitos científicos simples e complexos para a sua compreensão, e, em segundo, identificar a relevância da colaboração entre o Design e a Ciência. Num terceiro momento, é desenvolvido um exercício prático com o intuito de explorar estas premissas.

Esta última atividade consiste na conceção de um elemento de carácter pedagógico que, fazendo uso de imagens e outros elementos visuais, possa facilitar a compreensão de informação de cariz científico.

Dada a existência de um leque de utilizadores com níveis de literacia científica variados, o exercício orientou-se para um tipo de indivíduo com conhecimentos científicos modestos, mas familiarizado com as tecnologias de informação e comunicação.

1.2.

METODOLOGIA

O plano de trabalho iniciou-se com uma investigação e familiarização referentes ao tópico em análise, isto é, a relação entre o Design de Comunicação e a Ciência. Para isso, procedeu-se à recolha de conteúdo disponível, considerado relevante, e ainda ao estabelecimento de contactos com personalidades das áreas em estudo, nomeadamente designers, professores e investigadores científicos.

Após a primeira fase, foi selecionado um conceito específico adequado ao desenvolvimento do exercício prático referido no capítulo anterior. A escolha recaiu sobre a escala, tema dissecado mais à frente, e obrigou a uma pesquisa específica adicional.

A etapa seguinte consistiu no desenvolvimento do exercício em questão. Esta tarefa foi informada pela análise de diversos estudos de caso e pelo diálogo com os contactos acima mencionados.

Por fim, teve lugar uma reflexão baseada na pesquisa teórica desenvolvida e na experiência prática realizada, sintetizando as várias dimensões do trabalho.

2.

ENQUADRAMENTO TEÓRICO

Este capítulo desenvolve-se apoiado em três pilares: a visualização como potencial de cognição, a convergência do Design com a Ciência e o estado da arte no que toca a este último aspeto. O enquadramento teórico fornece ainda a base para a realização do exercício projetual que explora graficamente o papel do Design na comunicação científica.

2.1.

A VISUALIZAÇÃO COMO POTENCIAL DE COGNIÇÃO

A expressão “ver para crer” atesta bem a confiança que colocamos no nosso sentido da visão. Note-se, a título de exemplo, a importância significativa que é atribuída às testemunhas oculares nos procedimentos judiciais. Efetivamente, os nossos olhos transmitem, a cada fração de segundo, enormes quantidades de dados que o nosso cérebro processa e transforma em informação. De todos os nossos sentidos, a visão é, de longe, o mais desenvolvido.

Assim, no contexto deste trabalho, entende-se como visualização a representação visual de dados em bruto, de um modo ordenado, coerente e sintético, utilizando imagens reconhecíveis de formas naturais ou geométricas, de maneira a poderem ser interpretados como informação inteligível. Isto pode ser conseguido não só através de ilustrações, animações, gráficos, esquemas, diagramas, etc., mas também através da construção de imagens mentais. Por isso, a visualização torna-se num veículo para transmitir uma mensagem.

Todavia, esta pode também ser entendida como uma ferramenta dinâmica. De acordo com perspectiva de Weinstein e Mayer (1986), as estratégias cognitivas são formas através das quais as pessoas gerem o seu próprio conhecimento, especialmente na resolução de problemas. A visualização encontra-se entre as estratégias mais vulgarmente adotadas. Na vida quotidiana, pessoas comuns têm a tendência natural para recorrer a estratagemas visuais para facilitar a solução de um determinado dilema. Considere-se o ato de indicar uma direção, por exemplo, onde a preferência é dada à visualização, em detrimento de uma descrição verbal. O emissor imagina, na sua cabeça, um trajeto que tenta comunicar ao recetor, utilizando gestos e pontos de referência

(1) “A visualização é a representação visual de dados, estática ou interativa, para potencializar a cognição humana. [...] O sistema visual humano é responsável por cerca de 50% do processamento no cérebro. A visualização de dados suporta esta capacidade de processamento e pode permitir a exploração e a descoberta de dados visuais.” (Borkin, 2014, trad. livre)

(2) “Pirâmides, catedrais e foguetes existem não apenas devido à geometria, teoria de estruturas ou termodinâmicas, mas devido a terem sido primeiro uma imagem – literalmente uma visão – nas mentes de quem os construiu. [...] A racionalização que ocorreu durante a denominada ‘revolução científica’ não deriva da mente, do olho, da filosofia, mas sim da visão.” (Latour, 1986, trad. livre)

visuais, denominados *landmarks* (Lynch, 1982), tais como edifícios, monumentos, elementos paisagísticos, etc. O recetor, por sua vez, tenta recriar a mesma imagem mental. O processo de visualização torna-se, então, um auxiliar poderoso da cognição.

A cognição, por definição, refere-se a um processo complexo de assimilação de conhecimento e informação para o qual concorrem a perceção, a atenção, a aprendizagem, a memória, o pensamento, a construção de conceitos, a leitura ou a resolução de problemas. Depende grandemente dos elementos recolhidos através dos órgãos sensoriais, designadamente da visão. O ser humano caracteriza-se por possuir um sentido de visão muito apurado, quer a nível da fisiologia do olho, quer a nível do desenvolvimento da zona que lhe corresponde no córtex cerebral. Segundo Sekuler e Blake (1994), de entre todos os sentidos, este é o principal responsável pela maior e mais diversificada recolha de informação de estímulos do mundo exterior.

“Visualization is the static or interactive visual representation of data to reinforce human cognition. [...] The human visual system accounts for almost 50% of processing in the brain. Data visualization harnesses this processing power and can enable visual data exploration and discovery.” (Borkin, 2014) **(1)**

Por que razão é tão importante a relação entre visualização e cognição? O filósofo e antropólogo Bruno Latour, que analisou o trabalho de engenheiros e cientistas, refere, no seu artigo intitulado *Visualization and Cognition: Drawing Things Together*, que foi o pensamento não verbal que permitiu a realização de grandes obras e avanços científicos:

“Pyramids, cathedrals, and rockets exist not because of geometry, theory of structures or thermodynamics, but because they were first a picture – literally a vision – in the minds of those who built them. [...] The rationalization that took place during the so-called “scientific revolution” is not of the mind, of the eye, of philosophy, but of the sight.” (Latour, 1986) **(2)**

(3) “Domínios da realidade que aparentam estar distantes (mecânica, economia, marketing, organização científica de trabalho) tornam-se próximos quando colocados no mesmo plano. A acumulação de desenhos num espaço ótico consistente é, mais uma vez, o ‘permutador universal’ que permite que o trabalho seja planeado, distribuído, realizado e atribuído a um responsável.” (Latour, 1986, trad. livre)

O autor salienta a importância do desenho neste processo e aponta como exemplo o Design Industrial, onde os engenheiros lidam com máquinas complexas muito antes de estas serem construídas. Este “mundo de papel”, como lhe chama, permite também outras inscrições (sic) ou registos, tais como margens de tolerância, contabilização de materiais, cotagem, fluxogramas de trabalho, etc. Assim, o desenho funciona como um nó de articulação que coloca no mesmo plano informação distinta:

“Realms of reality that seem far apart (mechanics, economics, marketing, scientific organization of work) are inches apart, once flattened out onto the same surface. The accumulation of drawings in an optically consistent space is, once again, the ‘universal exchanger’ that allows work to be planned, dispatched, realized, and responsibility to be attributed.” (Latour, 1986) **(3)**

Todavia, Latour observa que as imagens só por si não são responsáveis pelo processo da descoberta científica – o cerne da relação entre a visualização e a cognição não está na perceção. Assinala que as inscrições devem ser dispostas cenograficamente de acordo com o objetivo pretendido. Para além disso, afirma que aquelas se devem inserir num processo dinâmico de mobilização composto por uma sequência de inscrições cada vez mais refinadas e mais sintéticas, que acabará por conduzir a uma visualização e que eventualmente resultará numa descoberta científica. Uma analogia com o cinema ou com o teatro, onde a ação se desenrola com os atores movendo-se em frente a um determinado cenário, permite entender melhor este raciocínio.

Atente-se no exemplo da fotografia do buraco negro Pōwehi no centro da galáxia Messier 87 (**Fig. 1**), cuja divulgação foi feita através da revista científica *The Astrophysical Journal Letters* em 2019. A fotografia, tal como veio a ser conhecida, foi alvo de uma sequência de processamentos complexos de captação, filtragem, coloração, depuração, etc. que se encontra muito distante dos dados originalmente recolhidos. Assim, tal como apontado pelo autor, a importância da



Fig. 1 - Fotografia do Buraco Negro Pōwehi.

Fonte: https://projects.iq.harvard.edu/files/styles/os_files_xlarge/public/ehf/files/20190410-78m-800x466.png?m=1554877319&itok=Jaa3sGO9

(4) “É porque todas estas inscrições podem ser sobrepostas, reordenadas, recombinadas e sintetizadas que novos fenómenos emergem, escondidos de todas as pessoas a quem foram pedidas.” (Latour, 1986, trad. livre)

(5) “A visualização, ao transformar dados em estruturas gráficas, pode incrementar a eficácia da investigação, aumentando as capacidades de perceção humana. Desenvolvidas ao longo de milhões de anos de sobrevivência, estas capacidades permitem-nos ver estruturas e entender relações e padrões à nossa volta.” (Valle, 2013, trad. livre)

visualização no processo cognitivo reside, então, na capacidade de as imagens poderem ser transformadas, agregadas e simplificadas sequencialmente.

“It is because all these inscriptions can be superimposed, reshuffled, recombined, and summarized, and that totally new phenomena emerge, hidden from the other people from whom all these inscriptions have been exacted.” (Latour, 1986) **(4)**

Neste quadro, Latour enumera as qualidades dos registos visuais, salvaguardando que aquelas não devem ser isoladas umas das outras, mas sim vistas no contexto do processo de mobilização que desencadeiam e representam. São elas a mobilidade, a imutabilidade, a bidimensionalidade, a escala, a reprodutibilidade, a recombinação, a sobreposição e a articulação com texto e com a geometria.

Na verdade, o facto de as imagens serem móveis, inalteráveis e facilmente reproduzidas permite que estas sejam transmissíveis, enquanto que um registo bidimensional é universalmente compreensível. Já a sua escala pode ser modificada consoante as necessidades – o infinitamente grande e o infinitamente pequeno podem ser representados na mesma folha de papel! Qualquer figura pode ser complementada com texto ou convertida num traçado geométrico, aumentando o seu nível de informação e a sua capacidade de manuseamento. São precisamente estas características que, segundo Latour, possibilitam a sua recombinação e as tornam tão flexíveis e necessárias ao processo científico.

Outros autores vão no mesmo sentido ao defenderem que a visualização facilita e potencia o processo cognitivo, um amplificador da cognição nas palavras de Valle (2013):

“Visualization, transforming data into graphical structures, can enhance research effectiveness by leveraging human visual perceptual capabilities. Evolved over millions of years for survival, these capabilities enable us to see structures and perceive correlations and regularities around us.” (Valle, 2013) **(5)**

(6) “Não devemos assumir que a visualização é apenas composta da representação de complexos gráficos tridimensionais; até um simples gráfico pode ser uma visualização eficaz se nos fizer pensar em algo novo e inesperado acerca de determinados dados, como observou John Tukey: “A maior importância de uma imagem é quando nos força a reparar naquilo que não estávamos à espera de ver”.” (Valle, 2013, trad. livre)

Ver é, para este autor, uma boa maneira de compreender e gerar conhecimento. Grande parte deste é transmitido sob a forma visual, como acontece no ensino, que recorre, maioritariamente, àquele modo de apresentar informação. Porém, como anteriormente apontado, as técnicas de visualização podem ser também exploradas como base de algumas das nossas mais versáteis e robustas ferramentas de construção cognitiva. De modo algum as soluções visuais mais elementares devem ser consideradas inferiores às de carácter abstrato.

“Do not assume that only 3D complex graphical representations are visualization; even a simple line chart is an effective visualization if it makes one think about something new and unexpected regarding data, as John Tukey observed: “The greatest value of a picture is when it forces us to notice what we never expected to see”.” (Valle, 2013) **(6)**

O autor faz notar que algumas áreas do conhecimento que são abstratas por natureza, como a geometria, pressupõem uma visualização para serem compreendidas e trabalhadas. Quaisquer dados, por mais simbólica ou abstrata que seja a sua natureza, são passíveis de ser transformados em formas, cores e elementos geométricos. Valle realça ainda que ciências como a química são iminentemente visuais e que os cientistas serão, portanto, “pessoas visuais”.

A necessidade de visualização parece ser uma permanência no raciocínio dos cientistas e um elemento essencial no seu processo inventivo. O próprio momento da descoberta parece surgir sob a forma de uma “epifania científica” – uma imagem, no fundo. De acordo com Rieber (1995), é esta representação visual da descoberta que o cientista posteriormente deverá converter em fórmulas e descrições verbais.

“It is stunning to realize how many scientists and inventors placed a great deal of importance on the nonverbal in the act of creative imagination. Many describe the phenomenon of sudden illumination where solutions just “showed themselves” or came to them in sudden bursts of insight. Indeed, many described grasping a solution instantaneously and as a whole, only then having to face the arduous task of putting

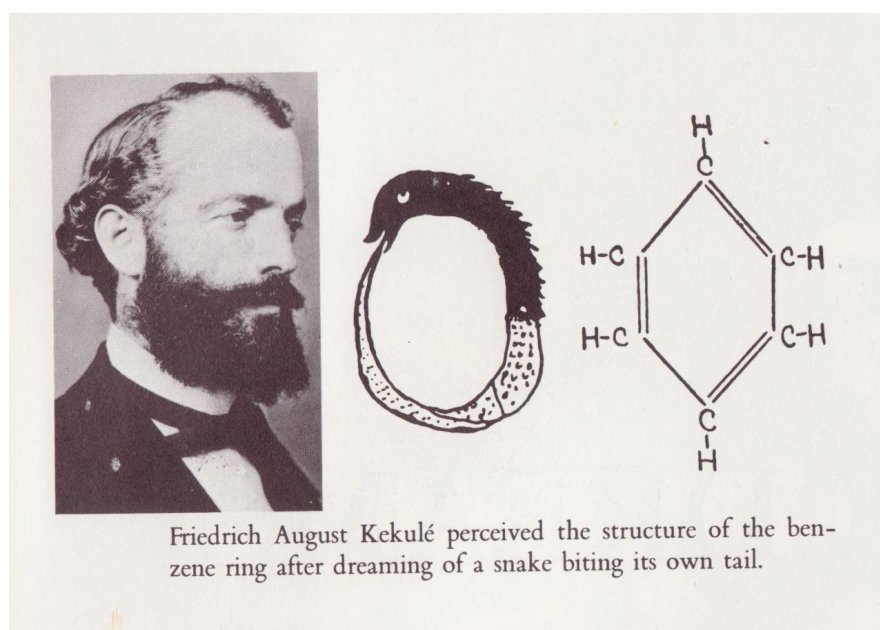


Fig. 2 - August Kekulé, o símbolo de Ouroboros e o esquema do anel de benzeno.

Fonte: <https://i.pinimg.com/originals/1a/97/b5cd4abbc67dfa61c140845c4496.jpg>

(7) “É surpreendente a quantidade de cientistas e inventores que colocam grande importância no ato não verbal de imaginação criativa. Muitos descrevem o momento em que as soluções lhes surgiram ou se manifestaram em momentos de introspeção como um fenómeno de iluminação súbita. De facto, muitos descrevem compreender uma solução instantaneamente e como um todo, apenas para depois se defrontarem com a tarefa árdua de transpor a ideia, já completamente concebida, numa forma verbal apropriada para partilhar com outros (tal como um artigo científico).” (Rieber, 1995, trad. livre)

(8) “[...] a história está cheia de exemplos fascinantes em que a visualização foi um recurso cognitivo importante na descoberta e na invenção humanas.” (Koestler, 1964, trad. livre)

the idea, already completely conceived, into an appropriate verbal form to share with others (such as a scientific paper).” (Rieber, 1995) **(7)**

O autor lembra ainda que algumas das mais interessantes resoluções de problemas científicos constituem bons exemplos de como raciocínios visuais conduziram a brilhantes descobertas. Esta ideia é igualmente defendida por Koestler:

“[...] history is full of fascinating examples where visualization has been an important cognitive resource in human discovery and invention.” (Koestler, 1964) **(8)**

Rieber (1995) prossegue afirmando que a história está cheia destes exemplos. Talvez um dos mais conhecidos tenha como protagonista Albert Einstein, que tinha por hábito usar métodos pouco convencionais para encontrar soluções para os seus dilemas científicos, servindo-se muitas vezes de mecanismos não-verbais no seu raciocínio. Imaginar como seria viajar num feixe luminoso, por exemplo, permitiu-lhe dar forma ao conceito de “luz” e, consequentemente, possibilitar a resolução de paradoxos que estiveram na origem da sua Teoria da Relatividade. Noutra ocasião, com o intuito de entender a natureza da velocidade da luz, Einstein pensou na forma como seria vista a trajetória de uma partícula luminosa por um observador estático ao considerá-la num veículo em movimento.

August Kekulé, um físico alemão, é igualmente conhecido por empregar estratégias visuais na sua atividade profissional ao gerar visualizações de átomos. Uma das suas descobertas, o anel de benzeno, foi-lhe sugerida ao observar o símbolo de Ouroboros (uma serpente a comer a própria cauda), originando o esquema de representação da estrutura molecular do elemento. **(Fig. 2)**

É importante referir também a contribuição de John Snow com o seu mapa da epidemia de cólera em Londres, em 1854. O mapeamento dos casos da doença na referida cidade mostrou uma elevada ocorrência de casos perto da bomba de água de Broad Street. **(Fig. 3)** Apesar da falta de uma relação direta entre o abastecimento de água e os episódios

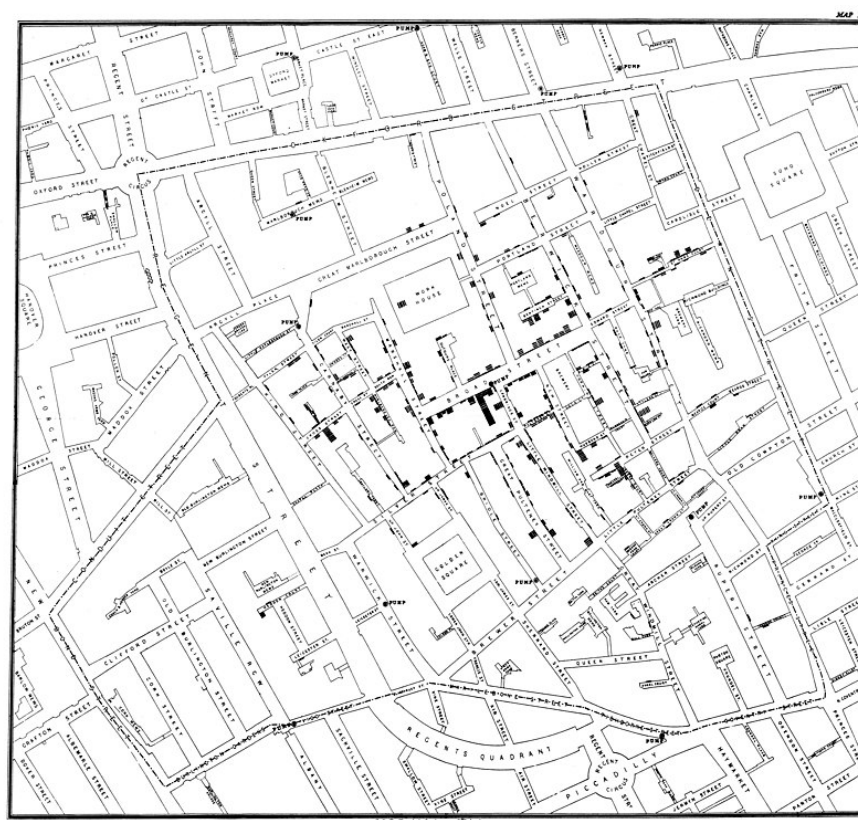


Fig. 3 - Representação do mapa original de John Snow, demonstrando os casos de cólera em Londres em 1854.

Fonte: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/27/Snow-cholera-map-1.jpg/800px-Snow-cholera-map-1.jpg>

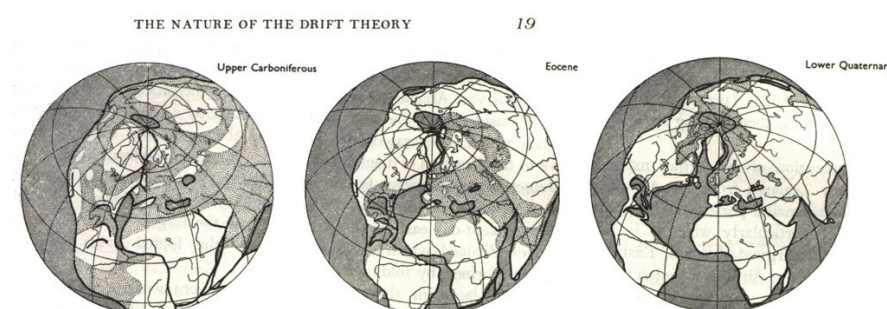


Fig. 4 - Ilustração da teoria da deriva continental, segundo Alfred Wegener.

Fonte: <https://www.groupweston.com/accretion/Wegener%20globes%20horiz%2072.jpg>

de cólera, a visualização gerada por John Snow levou as autoridades a desativar a bomba de água, que mais tarde se revelou estar contaminada. Pouco tempo depois, a epidemia do bairro de Londres veio a considerar-se extinta (Tufte, 1983).

Outro exemplo significativo é o do geofísico e meteorologista Alfred Wegener. Este cientista reparou na semelhança das linhas costeiras de diferentes continentes, que se encaixavam conforme as peças de um *puzzle*, como é, por exemplo, o caso das formas complementares da costa leste da América do Sul e da costa oeste de África. **(Fig. 4)** A constatação deste facto influenciou a formulação da teoria da deriva continental em 1912 e, mais tarde, o modelo atual das placas tectónicas.

O autor e cientista Roger Shepard (1988) descreve ainda diversos eventos de descobertas despoletadas por raciocínios visuais. É o caso das visualizações das linhas de campos eletromagnéticos de Michael Faraday **(Fig. 5)**, da invenção do motor de indução de Nikola Tesla, da famosa hélice dupla do ADN, concebida por James Watson e Francis Crick **(Fig. 6)**, e dos diagramas de eletrodinâmica quântica de Richard Feynman **(Fig. 7)**, entre tantos outros.

A Tabela Periódica é uma descoberta científica resultante de um processo exclusivamente visual. O geólogo francês Chancourtois foi o primeiro a notar que existiam propriedades recorrentes nos elementos químicos, em intervalos regulares, quando os juntou numa espiral, ordenados por número atómico crescente. Posteriormente, Mendeleev encontrou outra forma de visualização com mais níveis de informação, agrupando os elementos em linhas e colunas de acordo com o seu número atómico e começando uma nova fiada cada vez que as suas características se repetiam. **(Figs. 8 e 9)** Com isto, verificou que surgiam lacunas na sua tabela, o que o levou a concluir que deviam existir elementos desconhecidos a ocupar esses lugares. Foi este diagrama que conduziu à tabela que hoje conhecemos, que permitiu a descoberta dos elementos químicos presumidos e que esteve na

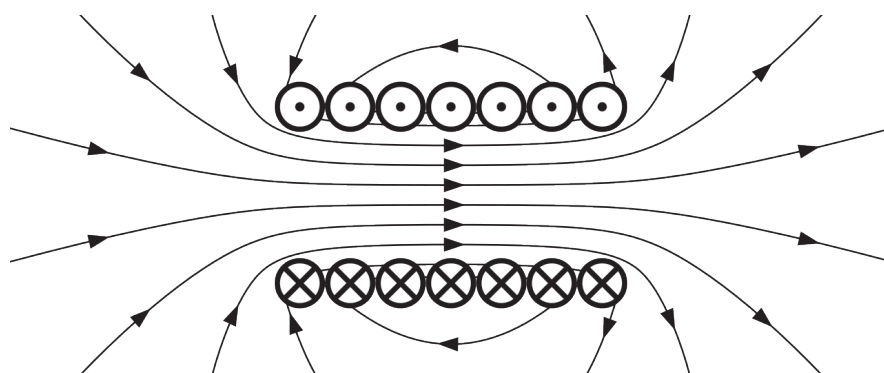


Fig. 5 - Diagrama do fluxo dos campos eletromagnéticos segundo a lei de indução de Faraday.

Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_induction#/media/File:VFPT_Solenoid_correct2.svg

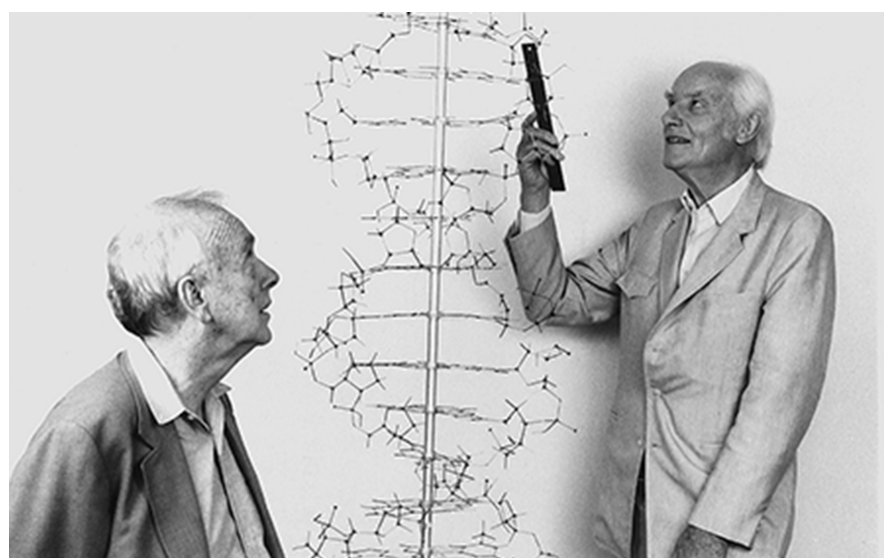


Fig. 6 - James Watson e Francis Crick, co-inventores da estrutura de hélice dupla de ácidos nucleicos tal como o ADN, posam com um modelo semelhante ao originalmente construído para explicar a sua descoberta.

Fonte: https://www.cshl.edu/wp-content/uploads/2013/04/Crick_Watson_DNAmodel.jpg

base dos modelos planetários da constituição dos átomos, tal como formulados por Rutherford e Bohr.

A importância das visualizações pode ser também demonstrada pela inversa, isto é, quando uma imagem é desadequada ou mal interpretada no quadro de um raciocínio científico, podendo conduzir a conclusões erradas. Um exemplo desta premissa verificou-se com os aviões de combate da Segunda Guerra Mundial. De início pensou-se que a estrutura das aeronaves devia ser reforçada nos pontos que exibiam mais danos causados pelos projéteis inimigos. **(Fig. 10)** Esta ideia acabou por se revelar errada, pois uma análise mais ponderada revelou que aqueles danos não eram incapacitantes, uma vez que os aviões tinham regressado. Assim, por exclusão de partes, passou a reforçar-se outros pontos da fuselagem (Rieber, 1995).

O mesmo autor salienta também a interpretação dada pelo astrónomo Percival Lowell às linhas de paisagem marciana, que tomou por construções artificiais de uma civilização antiga usadas para transportar água, quando, de facto, eram apenas ilusões de óptica. Trata-se de um exemplo clássico de formulação de conclusões com base numa evidência pouco consistente, conhecido na área da psicologia por *top-down processing*. No entanto, interessa lembrar que este raciocínio, ainda que viciado, teve origem numa imagem.

O mesmo se passou com as Teorias Geocêntrica e Heliocêntrica. A primeira, tal como o nome indica, assumia o planeta Terra como o centro do Universo, orbitado por corpos celestes, e era defendida por filósofos como Aristóteles e Ptolomeu. É importante sublinhar que esta teoria foi formulada a partir das observações feitas na época sem qualquer instrumento ótico auxiliar: do ponto de vista terrestre, o Sol aparentava (e ainda aparenta!) deslocar-se em torno da Terra. Portanto, baseada nesta “imagem”, a teoria fazia todo o sentido. Com o aparecimento de equipamentos mais complexos, que forneceram novas imagens celestes, a Teoria Heliocêntrica, que defendia o Sol como o centro do Universo, impôs-se. **(Figs. 11 e 12)** Mais recentemente, com

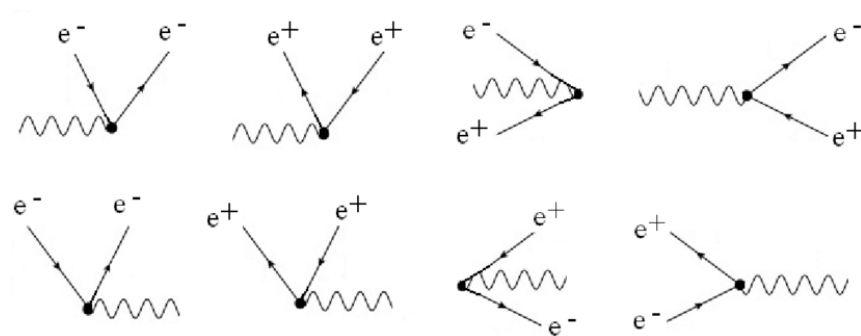
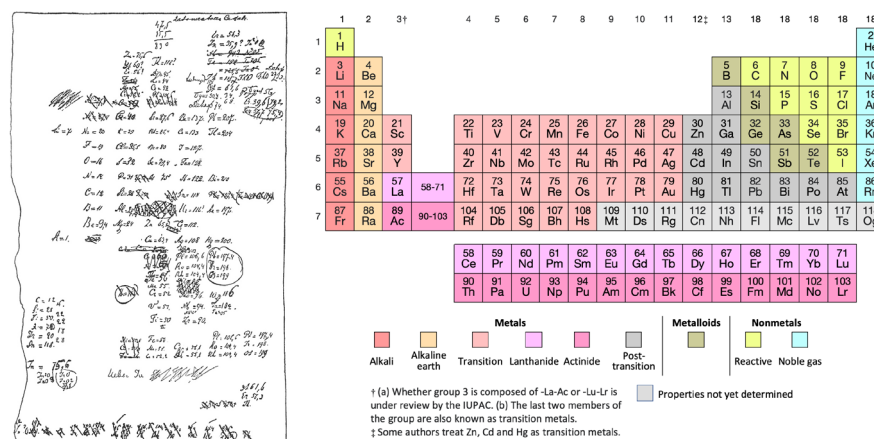


Fig. 7 - Diagramas de eletrodinâmica quântica de Richard Feynman.

Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Fundamental-Feynman-diagrams-of-quantum-electrodynamics_fig4_325851197



Figs. 8 e 9 - Primeiro rascunho da tabela periódica de Mendeleev e atual tabela periódica, respectivamente.

Fonte: <https://images-of-elements.com/l/draft.jpg> (esquerda), https://cdn.zmescience.com/wp-content/uploads/2020/11/1280px-Taxonomic_PT_with_colour_categories-1024x760.jpg (direita)

aparelhos ainda mais potentes, foi possível substituir o Heliocentrismo pelo conceito que temos atualmente do Cosmos. Os limites do que conseguimos ver são, frequentemente, os limites do nosso pensamento.

Talvez a lenda do instante da descoberta de uma das leis da dinâmica dos fluidos, por Arquimedes, seja a mais demonstrativa da relação entre o momento da visualização e o da cognição. **(Fig. 13)** Este episódio muito conhecido ficou associado à expressão *Eureka!*, que é utilizada, ainda hoje, para caraterizar um acontecimento de revelação, neste caso científica. O psicólogo Stellan Ohlsson (2011) assinala, a este respeito, que qualquer processo de resolução de um problema se inicia com a sua representação mental. Frequentemente, durante essa ação, surgem impasses que apenas são ultrapassados quando a referida representação mental se altera e, conseqüentemente, sugere a solução. Foi o que sucedeu com Arquimedes.

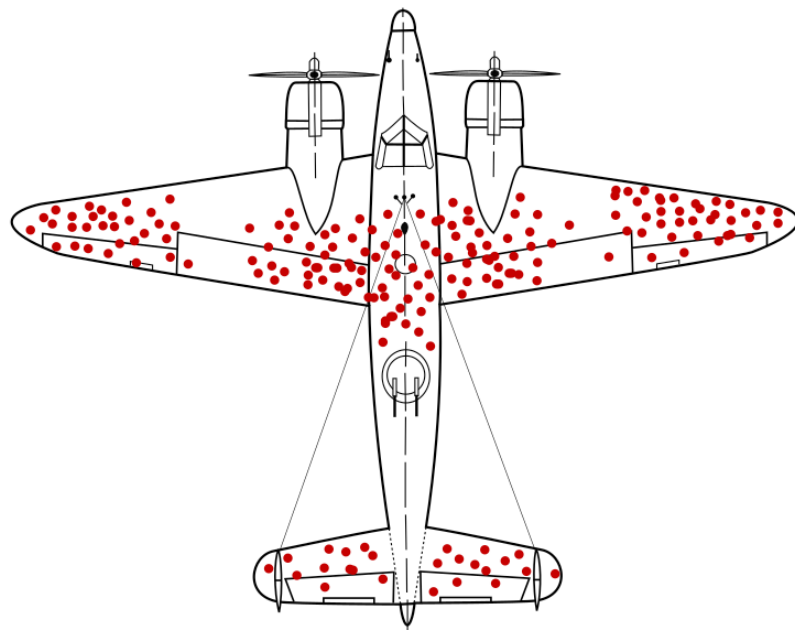
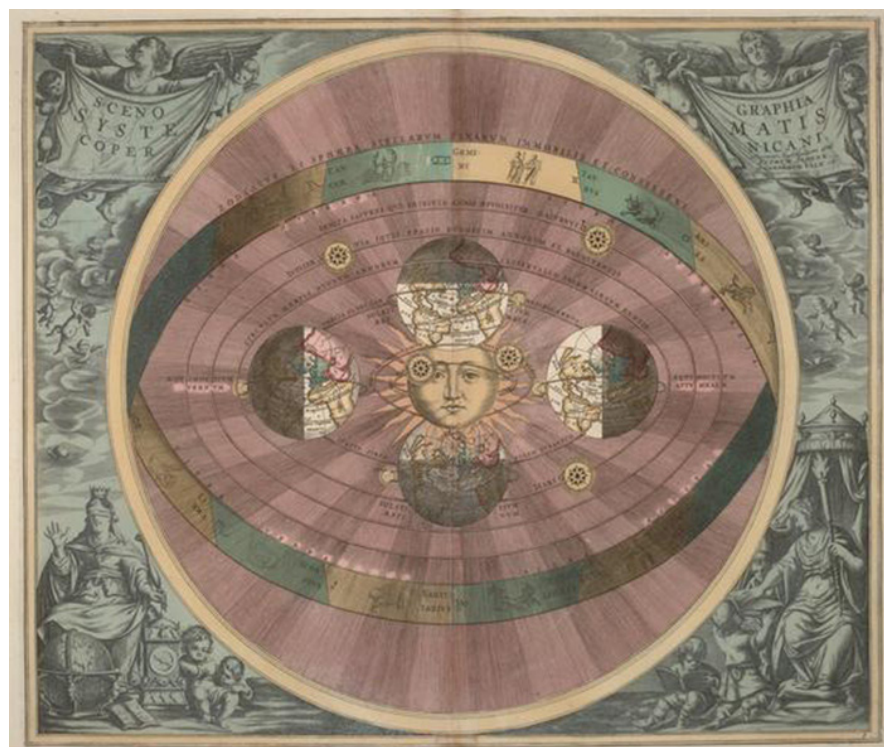
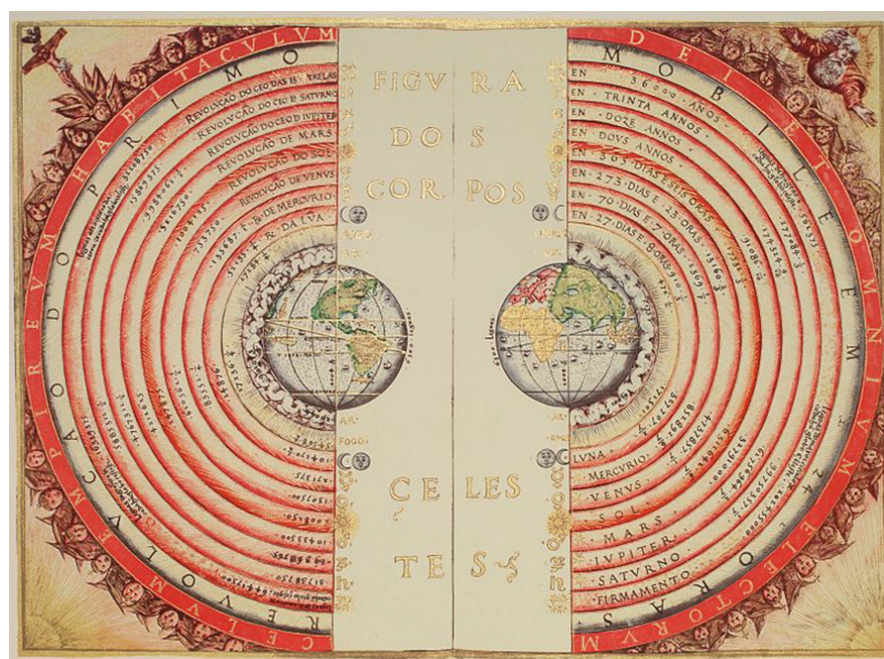


Fig. 10 - Mapeamento do padrão de projéteis inimigos em aviões da Segunda Guerra Mundial. As zonas assinaladas a vermelho demonstram danos não incapacitantes para as aeronaves, visto que estas haviam regressado à base.

Fonte: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b2/Survivorship-bias.svg/800px-Survivorship-bias.svg.png>



Figs. 11 e 12 - Modelo Geocêntrico ilustrado por Bartolomeu Velho, 1568, e Modelo Heliocêntrico ilustrado por Andreas Cellarius para o atlas estelar *Harmonia Macrocosmica*, 1660, respetivamente.

Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/7b/Bartolomeu_Velho_1568.jpg/800px-Bartolomeu_Velho_1568.jpg (em cima), <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/57/Heliocentric.jpg> (em baixo)

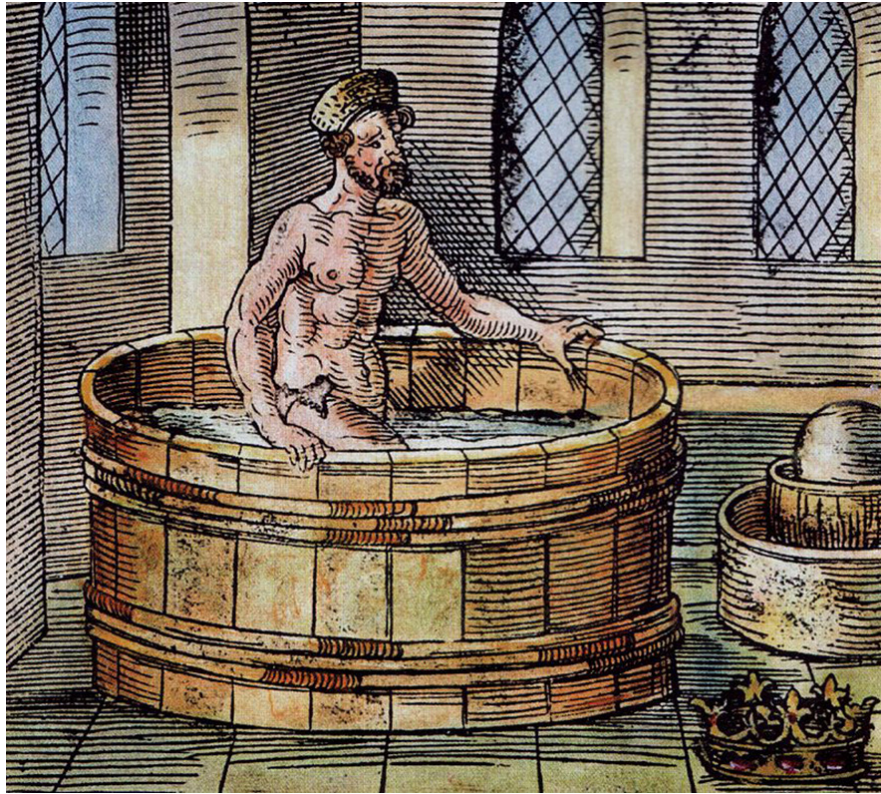


Fig. 13 - Ilustração do século XVI de Arquimedes no banho, no seu momento de *Eureka!*. A coroa de Hierão, objeto na origem da descoberta das leis das dinâmicas dos fluidos, encontra-se representada no canto inferior direito.

Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/c2/Archimede_bain.jpg/800px-Archimede_bain.jpg

2.2.

DESIGN COM A CIÊNCIA: CONVERGÊNCIAS

Conforme analisado no capítulo anterior, a visualização é um auxiliar poderoso da cognição. No caso em apreço, a Ciência usufrui das contribuições de várias disciplinas como a Fotografia ou a Ilustração Científica, por exemplo, quer no seu processo de trabalho, quer para comunicar os seus resultados. Também o Design pode desempenhar o mesmo papel, contribuindo não só para a comunicação e divulgação científica, como proporcionando igualmente ferramentas e métodos de trabalho passíveis de serem adotados pelos cientistas e participarem ativamente na investigação científica.

Pretende-se, então, evidenciar as relações entre o Design e a Ciência, enfatizando duas vertentes: uma de carácter mais passivo, em que o primeiro fornece visualizações à segunda, e uma outra mais dinâmica, em que as duas disciplinas se encontram no mesmo plano e partilham métodos e ferramentas com a mesma finalidade.

É do senso comum o âmbito destas duas áreas disciplinares, pois estão exaustivamente descritas e documentadas a nível teórico e prático por especialistas e autores conceituados, pelo que esta temática não será abordada neste trabalho. Ainda assim, convém problematizar a relação entre ambos: são distintos? São opostos? São semelhantes? Complementam-se?

Há quem tenha tendência para classificar a Ciência e o Design como disciplinas opostas. O mesmo sucede com a Arte e a Ciência. Albert Frantz (2012), na sua TED Talk denominada *The Science of Art and The Art of Science*, defende que é mais correto caraterizar esta relação como um diálogo:

(9) “Temos a tendência para pensar na Arte e na Ciência como opostos, quando na verdade elas são dialéticas. A Arte é sobre o que nos torna humanos, mas a Ciência também. Na realidade, existe uma gama que vai de pura subjetividade a pura objetividade. A Ciência deseja a pura objetividade, e, no entanto, nem a Arte nem a Ciência se encontram em nenhum dos extremos. Os cientistas são, apesar de tudo, pessoas.” (Frantz, 2012, trad. livre)

(10) “Existe uma semelhança entre os atos criativos mentais na Arte e na Ciência.” (Bronowski, 1965, trad. livre)

“We tend to think of Art and Science as opposites of a spectrum, when in fact they’re dialectical. Art is about what makes us human, but so is Science. In reality, there’s a spectrum that ranges from pure subjectivity to pure objectivity. Science aspires to pure objectivity, and yet neither Art nor Science are at either extreme. Scientists are, after all, subjects.” (Frantz, 2012) **(9)**

Existem, efetivamente, estereótipos em relação ao entendimento sobre o que são o Design e a Ciência. O mesmo acontece com a Arte, objeto de muitas ideias pré-concebidas: que os artistas carecem de método, que se movem no domínio da pura subjetividade, que a obra de arte é fruto da “inspiração” e que deve ser “bonita”, por exemplo. Porém, ao deixarmos de lado os preconceitos e analisarmos estas questões com mais rigor, reparamos que não existem tantas diferenças entre as várias metodologias como aparentemente se podia pensar, pois todas elas partem de um problema inicial em busca de uma solução. O percurso entre estes dois pontos é quase sempre feito de avanços e recuos, podendo obedecer a um protocolo pré-definido ou ter caráter empírico.

Nichols e Stephens (2013) lembram que o método que os cientistas usam é bastante similar ao processo que os artistas experienciam quando criam as suas obras. Citam Bronowski (1965): “There is likeness between the creative acts of the mind in art and in science”. **(10)** Na verdade, na Ciência, o método científico é usado para testar hipóteses, responder a questões e formular teorias; na Arte, o processo criativo é utilizado para produzir novas obras, interpretar trabalhos existentes e encontrar novas formas de expressão. No cerne de ambos reside a atitude crítica – é importante relevar este paralelismo de mentalidades.

Uma maneira eficaz de entender estas metodologias é a sua análise através de um sistema racional, como refere Oliver O’Donnell (2016), citando um estudo realizado por Marquand aplicado ao domínio artístico, onde este autor destaca a existência das três etapas citadas – finalidade, processo, concretização:

(11) “O que se pretende com a interpretação de uma obra de arte não é apenas (1) o seu propósito, mas também (2) a maneira como esse propósito foi conseguido (processo) e (3) se foi conseguido da melhor forma (grau de sucesso).” (Marquand, 1889, trad. livre)

(12) “Pode-se começar com uma questão relevante que é testada rigorosamente, ou pode-se ‘ir à pesca’, avaliando diferentes fatores sem uma questão definida. Independentemente do processo que se siga [...] a comunicação é essencial. Um facto científico não existe a não ser que seja comunicado. [...] Não faz sentido estudar Ciência sem a comunicar, visto que a comunicação de conhecimento fomenta questões que movem o processo de criação de conhecimento.” (Rees, 2011, trad. livre)

“What we wish to know in interpreting a work of art is not only (1) its purpose but also (2) how that purpose has been accomplished (process) [and] (3) whether it has been accomplished in the best possible way (degree of success).” (Marquand, 1889) **(11)**

Tal como foi apresentado, existem várias afinidades entre campos aparentemente tão afastados no espectro como a Arte e a Ciência. Neste quadro, será possível também encontrar pontos de contacto entre o Design e a Ciência?

Consideremos o texto *Science and Design: Parallel Processes?*, da autoria de Lizzie Crouch. A entrada no blogue homónimo relata um debate realizado na universidade Central Saint Martins, em Londres, do qual faziam parte dois cientistas (Geraint Rees e Stephen Curry) e dois designers (Alexandra Daisy Ginsberg e Joel Gethin Lewis), juntamente com um público composto por indivíduos com diferentes experiências profissionais e pessoais. No decorrer do evento, foram discutidas várias ideias relacionadas com o método de trabalho de cientistas e designers na tentativa de entender as semelhanças e diferenças entre eles.

Quando questionado acerca do processo de trabalho e de como esse poderia afetar o comportamento de um indivíduo em relação a colaborações, o professor Geraint Rees, diretor do Instituto de Neurociência Cognitiva na UCL, explicou que existem diversas abordagens para gerar conhecimento no processo de investigação científica, mas que a comunicação é crucial:

“You could start with a meaningful question that you rigorously test, or you could go on a ‘fishing trip’, measuring lots of different factors without a set question in mind. Whichever process you follow, [...] communication is essential. A scientific fact doesn’t exist unless it is communicated. [...] There is no point in doing science unless you communicate it, as communication of knowledge feeds into generating questions to move the knowledge-making process forward.” (Rees, 2011) **(12)**

Do ponto de vista de Joel Gethin Lewis, um designer com formação em Matemática e Ciência de Computação, também participante no

evento, não existem diferenças entre os campos de Ciência e Design. Os designers podem ser indivíduos extremamente metódicos, da mesma maneira que os cientistas têm tendência para ser pessoas imensamente criativas, fazendo com que pessoas destas duas áreas tenham mais em comum do que se poderia pensar inicialmente (Lewis, 2011). Estas semelhanças podem vir a facilitar colaborações entre a Ciência e o Design no que toca a processos de trabalho.

Durante o decorrer deste debate foi também discutido como a barreira da linguagem e vocabulário característico a cada uma das duas áreas poderá criar obstáculos. É importante sublinhar que, em casos como este, a melhor solução é encontrar uma linguagem comum que possa beneficiar tanto a área da Ciência como a área do Design. Assim, quando surge a necessidade de comunicação, muitas vezes é dada prioridade à comunicação visual – a linguagem de imagens e símbolos é universal! – e parte-se do princípio que qualquer indivíduo terá facilidade em compreender o que está representado sem conhecimento prévio específico intrínseco a qualquer uma das duas áreas.

Outro texto que reforça a ideia da convergência entre a Ciência e o Design é o artigo *Science and Design: The Next Wave*. Aqui, a designer gráfica Jessica Helfand reflete sobre a cooperação entre ambos após a participação num evento em que designers gráficos e microbiologistas trabalharam juntos. Este episódio despertou a curiosidade da designer, que depressa se dedicou a investigar melhor as ideias comuns às duas áreas. As suas pesquisas revelaram que a palavra mais usada nos dois campos era uma: síntese.

“Synthesis — that’s it? As I sat there in England listening to scientists eloquently explaining their work with protein architecture, I was stunned — for while my scientific aptitude was (is) negligible, I understood perfectly what was going on. They showed molecules magnified through extraordinary microscopy; viruses made visual by light and shadow; forms made visual through science, and made understandable because of

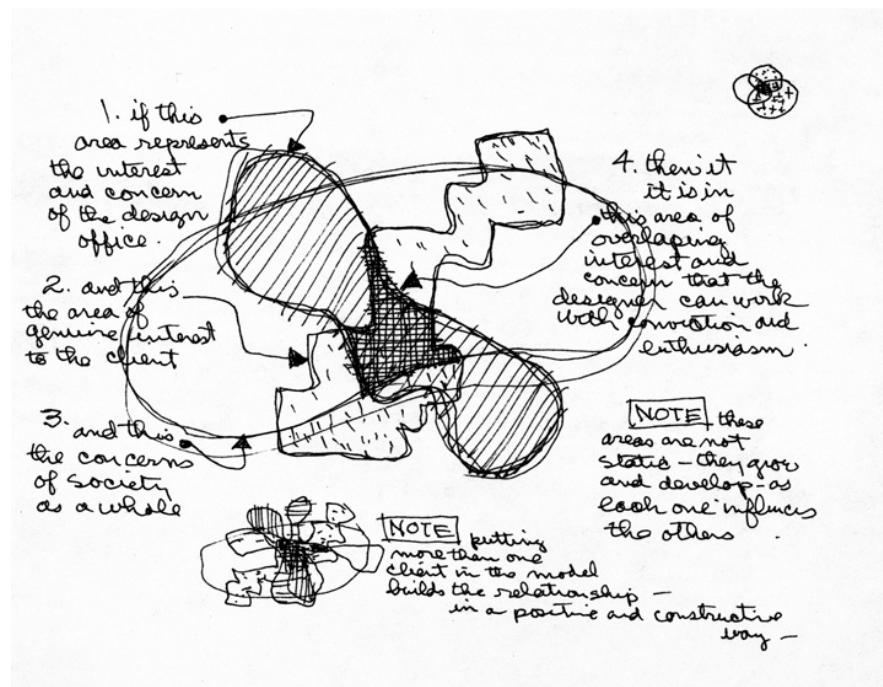


Fig. 14 - Diagrama feito por Charles Eames para a exposição *What is Design?*, realizada em Paris em 1969. O diagrama reforça a ideia de que o Design trabalha em zonas de sobreposição.

Fonte: https://www.eamesoffice.com/wp-content/uploads/2016/05/AW_CEn007-1.jpg

(13) “Síntese — é só isso? Enquanto me encontrava em Inglaterra a ouvir cientistas a explicar eloquentemente o seu trabalho sobre arquitetura de proteínas, fiquei surpreendida — apesar da minha aptidão científica ser nula, conseguia perceber perfeitamente o que se estava a passar. Mostraram-se moléculas ampliadas através de microscopia; vírus tornados perceptíveis através de luzes e sombras; formas tornadas perceptíveis através da Ciência e compreensíveis devido à maneira como eram visualizadas. E eu que sempre pensei que visualização era o trabalho de designers.” (Helfand, 2007, trad. livre)

how they were visualized. And I always thought visualization was what designers did.”

(Helfand, 2007) **(13)**

Contrariando a ideia generalizada de que, pelo facto de serem atividades de natureza distinta, a Ciência e o Design são incompatíveis, diversas opiniões fundamentadas vão no sentido oposto e defendem a existência de vários pontos de contacto, designadamente nos métodos de trabalho. Consequentemente, existirá a possibilidade de colaboração.

Para a exposição *What is Design?*, realizada em Paris em 1969, Charles Eames elaborou um diagrama na tentativa de explicar que o Design surge na zona de sobreposição de várias disciplinas e interesses: do cliente, do Design e da sociedade. **(Fig. 14)**

É possível também encontrar zonas de sobreposição com a Ciência. Analisemos então três grandes aspetos relevantes e transversais às duas atividades: que métodos de trabalho são utilizados, que papel desempenha a comunicação e quais as ferramentas operativas mais comuns. Importa ainda conhecer os pontos de contacto entre ambas as disciplinas e, com base nestes, explorar formas de cooperação entre o Design e a Ciência.

Müller (2017) lembra que, durante muito tempo, o Design foi uma disciplina pouco científica no que toca aos métodos de trabalho, pois não possuía uma base teórica nem um fluxo de trabalho sistematizado que suportasse as opções formais. Aponta como exemplo o movimento *Arts and Crafts*, no século XIX, considerado historicamente a origem do Design moderno, que, como o próprio nome indica, situava-se bastante próximo da mentalidade artística. Note-se que William Morris, impulsionador do movimento, considerava tão importante a qualidade artística como a qualidade da manufatura e como os aspetos sociais subjacentes (Frampton, 1983). Ainda hoje, há quem veja o Design como uma tentativa de embelezar os nossos objetos do quotidiano. O próprio ensino deste tem sido, até à atualidade, realizado nas mesmas escolas onde se lecionam cursos de carácter artístico.

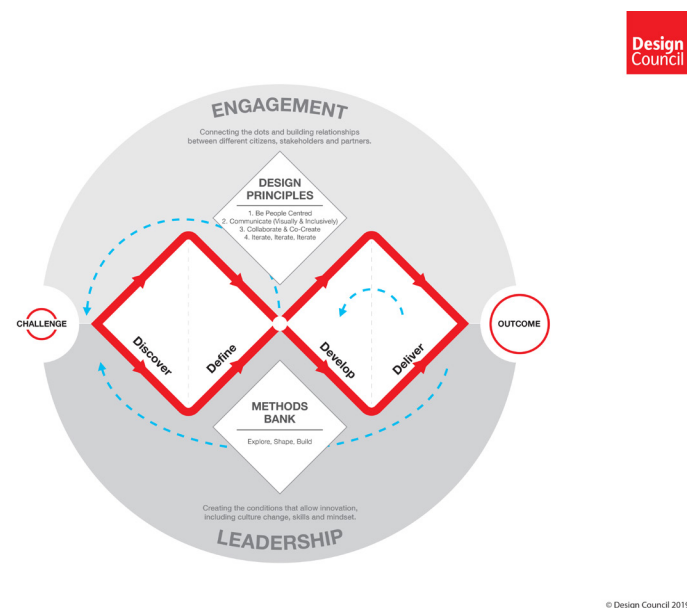


Fig. 15 - Diagrama *Double Diamond*. O processo representado não é linear e, em vários momentos, pode ser necessário retroceder e testar novas hipóteses, repetindo a sequência.

Fonte: <https://www.designcouncil.org.uk/sites/default/files/asset/document/Double%20Diamond%20Model%202019.pdf>

Gradualmente, esta abordagem inicial foi sendo substituída por processos em que eram incluídas preocupações do mundo da indústria e métodos de produção racionalizados. Tomemos como exemplo a *Deutsche Werkbund*, fundada em 1907, pioneira no trabalho multidisciplinar entre designers, artistas e artesãos. Aqui foram introduzidas também outras questões, tais como a economia, as propriedades dos materiais, a otimização de processos de produção, os custos, etc., dando origem a um método que foi progressivamente sendo adotado (Frampton, 1983).

Esta metodologia foi consolidada com a escola alemã Bauhaus, a partir de 1919, tendo o seu fundador, Walter Gropius, o discernimento de a aplicar ao ensino. Curiosamente, isto não se verificou desde o início, pois o diretor do curso preliminar, Johannes Itten, tinha uma visão próxima do Expressionismo. Posteriormente, quando foi substituído pelo húngaro László Moholy-Nagy, foi introduzido um novo nível de racionalização, focando o ensino definitivamente no Design. Com a subida dos nazis ao poder e o encerramento da escola, os mestres e alunos que aí tinham sido formados emigraram (nomeadamente para a Inglaterra e para os Estados Unidos), levando consigo as suas ideias e os seus métodos (Droste, 1992).

Mais tarde, a *Hochschule für Gestaltung Ulm* também seguiu semelhante abordagem racionalista do Design, aceitando os seus primeiros estudantes em 1953. Um dos objetivos do ensino nesta área era a criação de fundamentação teórica e o uso de opções formais baseadas em raciocínios lógicos. Nas palavras de Müller (2017), o Design tinha uma responsabilidade política e social e a única maneira de ir ao encontro destas necessidades era tornando-se mais objetivo e mais científico, participando no progresso social e intelectual.

Esta evolução histórica, gradualmente, veio a resultar na implementação de uma sequência de procedimentos operativos denominada, de uma forma genérica, método de Design. Não cabe no

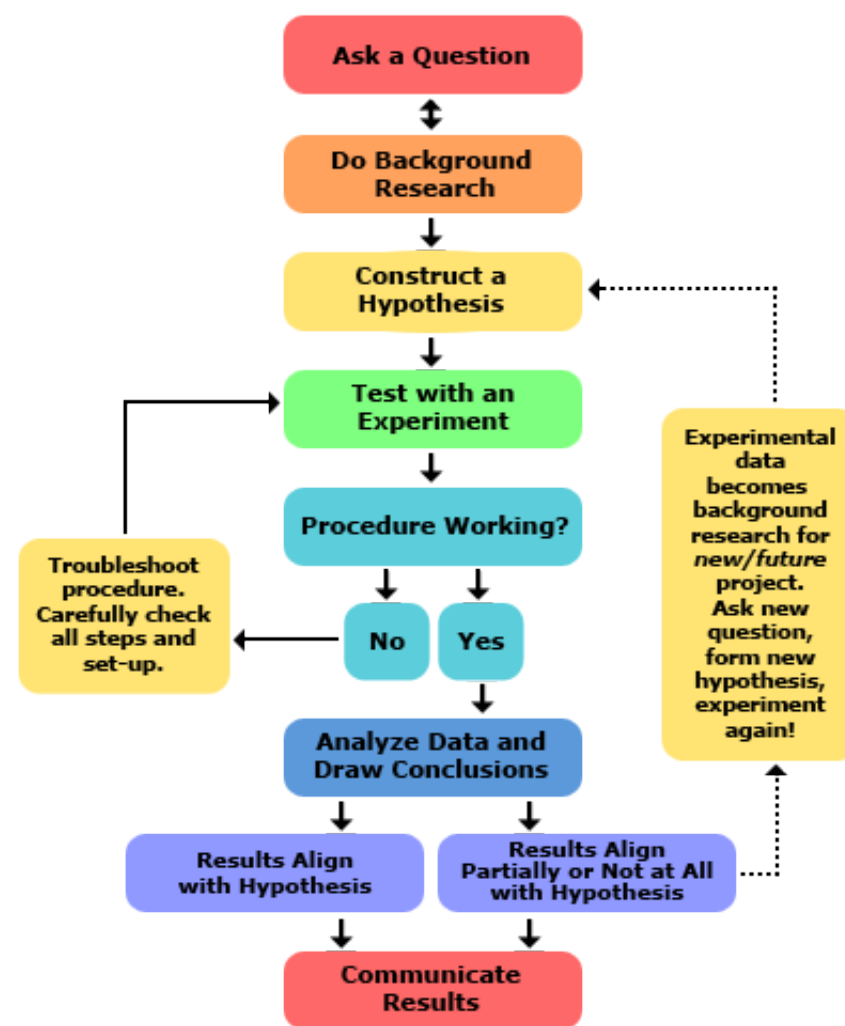


Fig. 16 - Esquema representativo das várias etapas do método científico.

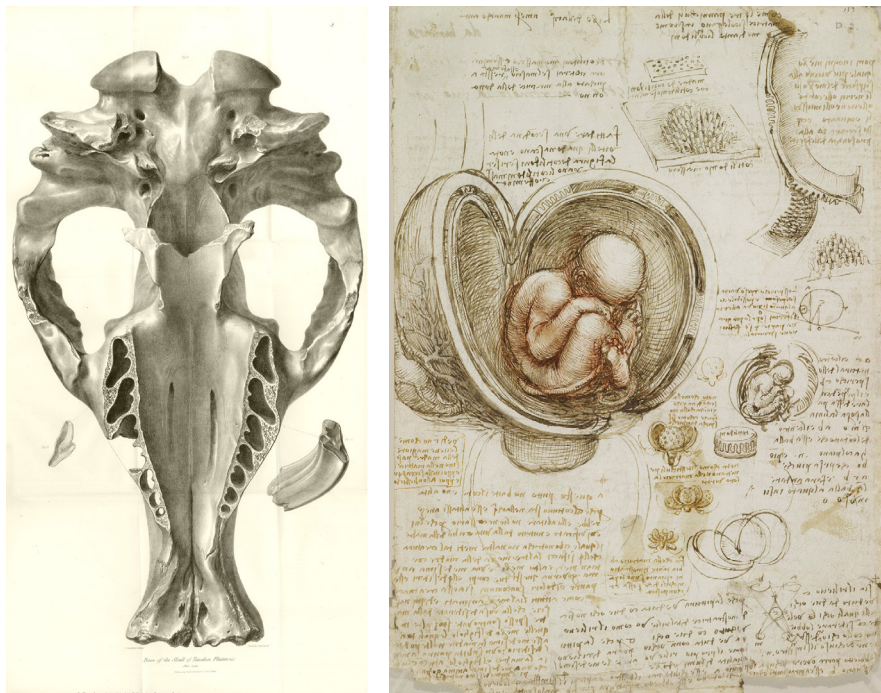
Fonte: https://cdn.sciencebuddies.org/Files/5084/7/2013-updated_scientific-method-steps_v6_noheader.png

âmbito deste trabalho debruçar-nos exhaustivamente sobre este tema ou tecer considerações sobre ele. Porém, para se entender a sua relação com o método científico, é necessário apresentá-lo simplificado. Assim, recorreu-se à definição elaborada pelo *Design Council* britânico, expressa no diagrama *Double Diamond* que estabelece quatro fases: *Discover, Define, Develop, Deliver*. **(Fig. 15)**

Como é evidente na imagem, este diagrama constitui um sistema estratificado, lógico e sequencial, características que, pela sua natureza racional, permitem que seja utilizado em áreas como a engenharia ou a investigação científica. É importante realçar que, no artigo publicado no seu site oficial (*Design Council*, 2019), se refere que este modelo constitui um método que pode ser adotado universalmente por qualquer pessoa, não apenas por designers. Podemos facilmente imaginar, por exemplo, esta metodologia a ser utilizada pelos engenheiros da NASA em todo o percurso que levou o Homem à Lua.

Importa também conhecer sinteticamente o método científico para poder estabelecer comparações. O documentário *Scientific Method* (1999), produzido pela *Cambridge Educational*, explica-o com clareza nas suas várias etapas: a partir da definição de um problema inicial, ou seja, de uma questão que necessita de resposta, procede-se à formulação de uma hipótese com base no conhecimento existente, fase que é seguida da realização de experiências e de observações para análise de dados e determinação de conclusões, finalizando-se com a comunicação dos resultados obtidos. **(Fig. 16)**

Note-se que, neste processo racional, a variedade é considerada normal e podem surgir diversas soluções para o mesmo problema inicial. Mais: é sempre possível regressar a etapas anteriores, inclusivamente ao ponto de partida, caso se julgue que a formulação inicial não está correta, que as soluções não sejam completamente satisfatórias ou que apareçam novos dados que coloquem em causa a sua validade. Tal como um artista, o cientista deve conceber hipóteses criativas para resolver



Figs. 17 e 18 - Ilustração da base de uma caveira de toxodonte, como descrito por Charles Darwin em *The Zoology of the Voyage of H.M.S. Beagle* (1838) e estudos anatómicos de embriões, por Leonardo da Vinci (1510-1513), respetivamente.

Fonte: [http://darwin-online.org.uk/converted/scans/1838_Zoology_F8.1\(online\)/1838_Zoology_F8.1_053.jpg](http://darwin-online.org.uk/converted/scans/1838_Zoology_F8.1(online)/1838_Zoology_F8.1_053.jpg) (esquerda), <https://flashbak.com/wp-content/uploads/2018/02/Leonardodavincianatomy-51.jpg> (direita)

(14) “[...] É importante articular e formalizar o papel que a visualização concetual (criação de paradigmas visuais), bem como a visualização descritiva (representação de dados), desempenham na formação e investigação científicas. [...] A falta de preparação em competências de comunicação levou a um abrandamento da transferência do conhecimento entre várias disciplinas, elemento importante na investigação científica e desenvolvimento de novos ramos da Ciência.” (Sorensen, 1989, trad. livre)

o problema: Bronowski (1965) descreve as descobertas científicas e as obras de arte como um ato criativo, no qual surge um pensamento original (Nichols & Stephens, 2013). Esta cadeia simples e lógica de procedimentos pode ser utilizada não apenas por cientistas, mas por qualquer pessoa no quotidiano para dar resposta a problemas correntes.

Pelo exposto, é, portanto, possível notar-se uma grande afinidade nos processos de trabalho. Não surpreende que assim seja: qualquer realização carece de um planeamento prévio e de um fluxo de trabalho mais ou menos consistente para ter sucesso. Tal fluxo deve ser ainda sistematizado e reproduzível, de maneira a possibilitar a sua utilização em novas realizações. Esta evidência refuta os preconceitos relativamente às diferenças e hierarquização de estatutos existentes no espectro das atividades humanas, nomeadamente entre a Arte e a Ciência, por exemplo.

Sorensen (1989) refere ainda uma característica presente em ambos os métodos de trabalho, conhecida por pensamento visual (*visual thinking*), que permite, quer a cientistas, quer a designers, idealizar modelos espaciais determinantes para a resolução dos problemas e busca das respetivas soluções. O autor afirma também que a inexistência desta capacidade é bastante penalizadora no processo de investigação científica:

“[...] It is important to articulate and formalize the role that conceptual visualization (creation of visual paradigms) as well as descriptive visualization (display of data) skills play in science education and research. [...] The lack of training in communication skills has led to a slowing of knowledge transfer between various disciplines, an important element in scientific research and in the development of new branches of science.” (Sorensen, 1989) **(14)**

Atualmente, é do senso comum a importância do papel da comunicação em Ciência. Na investigação científica, as imagens sempre desempenharam um papel proeminente: ilustrações de história natural, desenhos anatómicos, visualizações de conceitos abstratos, fotografias



Fig. 19 - F. Percy Smith, naturalista britânico e pioneiro do *time-lapse* e fotografia microscópica, trabalhando nos seus documentários em 1945, pouco antes da sua morte.

Fonte: https://i.guim.co.uk/img/media/410907461dbfcc599ee-638b1486692eaaebb3c4/103_64_4651_3474/master/4651.jpg?width=620&quality=85&auto=format&fit=max&s=c0373acdd53a-969c41ba00bd34c2db9a

macro e microscópicas, etc. **(Figs. 17, 18 e 19)** Gradualmente, foi sendo tomada consciência de que essas mesmas imagens poderiam ser também usadas para a divulgação e percepção da Ciência pelo público em geral (Rigutto, 2017).

Atualmente, a linguagem visual domina quase completamente os meios de comunicação. No entanto, muitas pessoas, incluindo os próprios cientistas, não têm consciência do seu impacto real. Em Ciência, a necessidade de visualização levou os cientistas a tentarem entender melhor esta linguagem, pois as imagens tornaram-se no veículo mais importante na representação de dados e na comunicação científica (Sorensen, 1989).

Na verdade, Müller (2017) assinala que a comunidade científica nunca se mostrou particularmente interessada em divulgar os resultados das suas publicações e descobertas para fora do seu círculo. Durante muito tempo, a maioria dos elementos visuais produzidos por cientistas eram sobretudo funcionais e não se destinavam à divulgação. Este autor refere ainda que uma das primeiras tentativas de utilização do Design para comunicar dados científicos ocorreu em 1925, quando Otto Neurath concebeu um sistema composto por uma linguagem visual que permitia explicar de uma forma normalizada uma grande variedade de conceitos através de imagens e símbolos gráficos – pictogramas. Em 1934, este sistema ficou conhecido como ISOTYPE, sigla para *International System of Typographic Picture Education*. **(Fig. 20)** Embora Neurath tivesse consciência de que uma linguagem visual não substitui uma linguagem verbal, conseguiu demonstrar a capacidade dos elementos pictóricos no que toca à comunicação de dados.

Em 1985, a publicação do relatório *The Public Understanding of Science* pela *Royal Society* veio reconhecer a importância de comunicar os resultados da investigação científica ao grande público, facto que teve fortes repercussões nas relações entre a Ciência e o Design. A partir de então, este passou a ser mais frequentemente utilizado para conceber

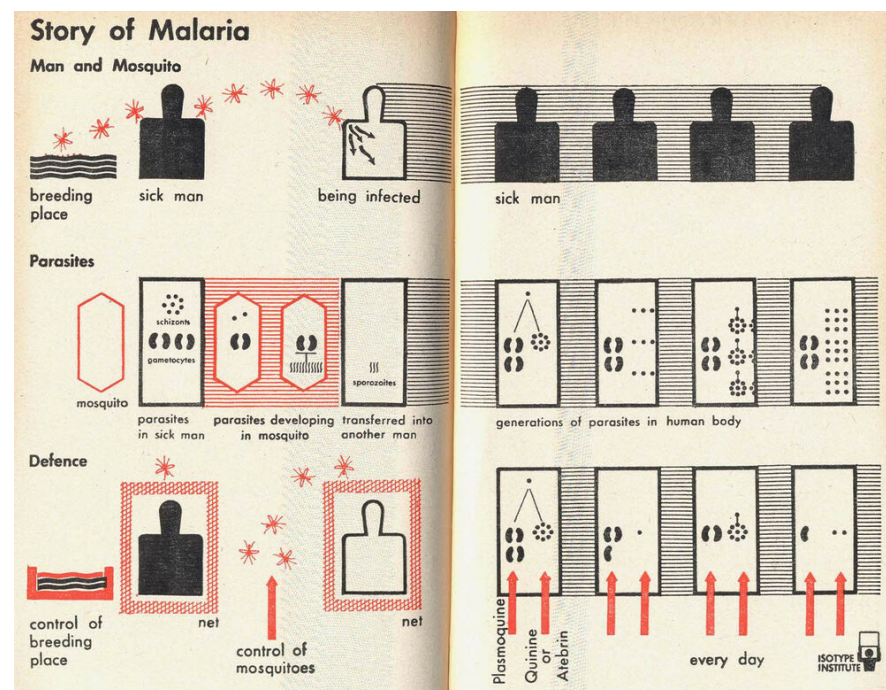


Fig. 20 - Exemplo do sistema ISOTYPE utilizado na explicação da doença da malária.

Fonte: <https://i.ebayimg.com/images/i/361301689348-0-1/s-l1000.jpg>

(15) “Descobertas científicas conduziram a novas tecnologias, novos materiais e novos espaços sociais. Mas foram a engenharia e o design que tornaram estas inovações técnicas acessíveis a um público vasto. Assim, podemos argumentar que o design torna o progresso científico visível e utilizável.” (Müller, 2017, trad. livre)

(16) “O computador tem o potencial de se tornar uma das nossas ferramentas cognitivas mais importantes, semelhante à forma como o papel e o lápis pouparam a memória humana. Ambientes de aprendizagem computacionais altamente visuais permitiram lidar com ideias sofisticadas oriundas da matemática e da ciência de forma simultaneamente concreta e intuitiva.” (Rieber, 1995, trad. livre)

diagramas, ilustrações, exposições e toda uma diversidade de iniciativas destinadas a comunicar o conhecimento científico de uma forma clara e perceptível a indivíduos sem formação especializada. Colocou-se, assim, um grande desafio aos designers, que necessitaram de conhecer intimamente o trabalho dos cientistas e escolher a forma mais adequada de comunicar inequivocamente as suas ideias. O designer passou a assumir uma enorme responsabilidade, pois a forma como comunica tornou-se, para a sociedade, no facto científico em si. Em boa parte, é também através do Design que a sociedade usufrui da Ciência:

“Scientific discoveries led to new technologies, new materials and new social spaces. But it was engineering and design that made these technical innovations accessible and affordable to a wider public. So one could argue that design makes scientific progress visible and usable.” (Müller, 2017) **(15)**

Mas, paralelamente ao Design, vários outros intervenientes fornecem imagens para a Ciência, como, por exemplo, a fotografia ou a ilustração. No final do século XX, um novo ator com grandes potencialidades entrou em cena: o computador. Com o incremento das suas capacidades de processamento, o computador tem vindo a tornar-se um aliado poderoso da Ciência, através da criação de simulações e visualizações. **(Fig. 21)** Sobre esta matéria, Rieber (1995) chama a atenção para que as simulações computacionais visam gerar imagens que materializem conceitos abstratos e complexos de uma forma que permita o seu manuseamento, estudo e interpretação:

“The computer has the potential to become one of our most important cognitive tools, similar to the way paper and pencil reduced demands on human memory. Highly visual computer-based learning environments [...] allow individuals to grapple with sophisticated ideas from math and science in visual ways that are at once both concrete and intuitive.” (Rieber, 1995) **(16)**

Estes atores têm vindo a trabalhar de forma cada vez mais próxima em prol da Ciência, e, neste quadro, o Design tem desempenhado um papel de articulação, visando transformar aquelas imagens – fotografias,

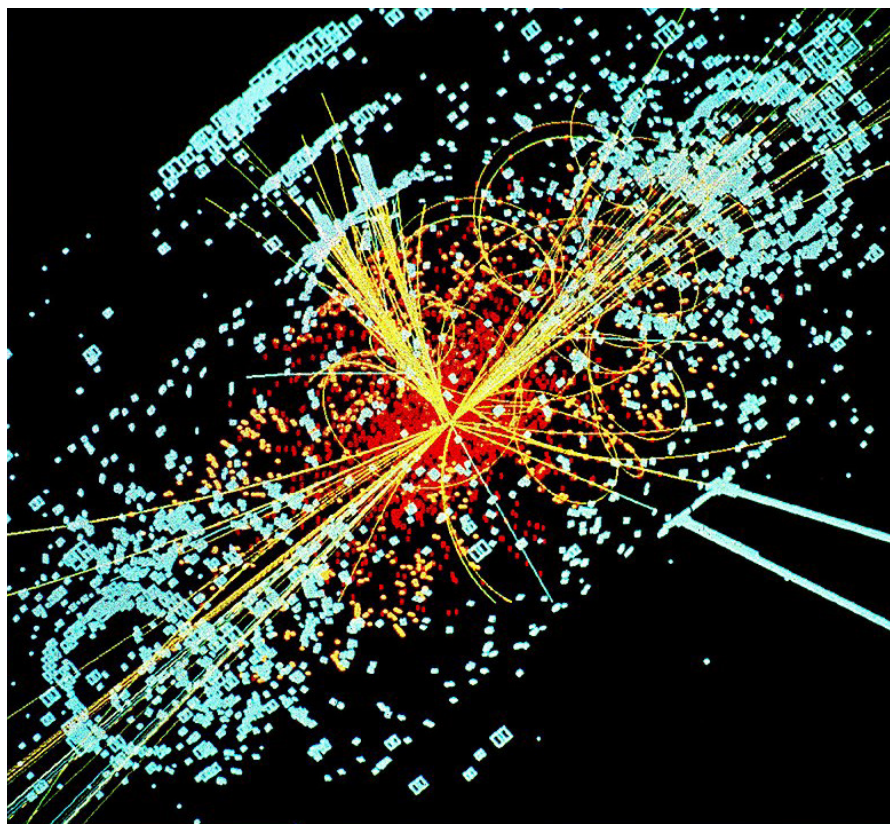


Fig. 21 - Simulação da colisão de partículas pelo *Large Hadron Collider* onde surge o bóson de Higgs.

Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/1c/CMS_Higgs-event.jpg/800px-CMS_Higgs-event.jpg

(17) “Na *web*, quer os comunicadores de ciência, quer o público, conseguem co-criar, configurar, modificar, descontextualizar e partilhar elementos visuais. Quando acontece que públicos de baixa literacia científica desguarnecem uma imagem dos seus atributos, legenda ou origem, distorcem o seu significado e perpetuam desinformação.” (Rigutto, 2017, trad. livre)

ilustrações, simulações digitais, etc. – em comunicação. Mais recentemente, o computador tornou-se, igualmente, num importante aliado do Design.

Com o crescimento da Internet, surgiu também um novo veículo de divulgação científica, que rapidamente assumiu proporções avassaladoras. Neste contexto, designers e outros comunicadores enfrentaram novos desafios, uma vez que o uso de imagens para ilustrar, explicar e facilitar o entendimento já não era suficiente: comunicar Ciência através da *web* é completamente diferente. Atualmente, num meio tão acessível e tão intensamente utilizado, qualquer um pode partilhar informação, expressar opiniões e emoções, manipular, etc., assim como produzir imagens, partilhá-las e modificar imagens de outros. Na expressão de Alvin Toffler, toda a gente pode ser um *prosumer* (*producer and consumer*).

A manipulação digital, a descontextualização, a deturpação ou a possível falta de atratividade das imagens, entre outros, são inconvenientes reais e penalizadores de uma boa comunicação científica na Internet. A produção e divulgação de imagens científicas deixou de ser exclusiva dos cientistas, designers e outros profissionais da comunicação. Qualquer pessoa, independentemente do seu grau de literacia científica, pode fazê-lo:

“On the web both science communicators and the public manage to co-create, shape, modify, decontextualise and share visuals. When it happens that low science literacy publics devoid a picture of its information assets, caption or source, they distort image meaning and perpetuate misinformation.” (Rigutto, 2017) **(17)**

A autora realça igualmente que aquela descontextualização pode resultar, inclusivamente, na criação de conteúdos pseudo-científicos com significados opostos aos das imagens originais. Estes podem não apenas induzir em erro de imediato, como também, através da sua repetição e disseminação exponencial, transformar-se em

(18) “Transforma-se num instrumento de mobilização, aumenta o interesse em assuntos científicos, cria confiança na comunidade científica e alcança uma vasta amostra de pessoas que não estão interessadas em ciência, mas que podem ser cativadas por um vídeo, por uma imagem espetacular ou por gráficos atrativos.” (Rigutto, 2017, trad. livre)

falsas memórias. Inicia-se então um ciclo vicioso, onde a informação verdadeira acaba por se perder.

Rigutto afirma ainda que, simultaneamente, a divulgação científica na *web* relega as imagens para um papel em que se desvanece a sua relação com o texto contendo as respetivas explicações. Ao invés, enfatizam-se os seus aspetos apelativos e espetaculares – as imagens valem por si! Neste quadro, a definição do que constitui uma boa ou uma má imagem científica alterou-se, indo ao encontro de uma estética *mainstream*, de agrado universal, e adquirindo, com isso, uma nova importante funcionalidade: a atratividade. Muitas vezes, a escolha da imagem que acompanha um determinado artigo científico não é ditada apenas pelas suas qualidades explicativas, mas também pela integração com o *layout*. Critérios tais como a paleta de cores, o tamanho, a orientação, entre outros, passam a ser preponderantes.

No entanto, isto não significa que a comunicação visual da Ciência esteja comprometida por esta necessidade, real e desejável, de envolver o recetor. Se bem trabalhado, este fator pode contribuir para o enriquecimento da comunicação, que se torna então algo mais do que a mera disseminação do conhecimento:

“It turns into an engagement instrument, arouses interest in scientific topics, creates trust in the scientific community, and reaches that large share of people that are not interested in science, but may be attracted by a video, a spectacular picture or eye-catching graphics.” (Rigutto, 2017) **(18)**

Assim, de um modo geral, a era digital veio evidenciar as potencialidades do trabalho colaborativo, da partilha e da interatividade. Se, no passado, a comunicação em Ciência tinha como objetivo principal documentar a investigação e disseminar o conhecimento, atualmente é desejável que o trabalho científico reflita esta realidade e assuma um carácter mais dinâmico, não apenas no que diz respeito à comunicação, mas também à própria investigação. Para esse efeito, tem ao seu dispor potenciais colaboradores em outras áreas

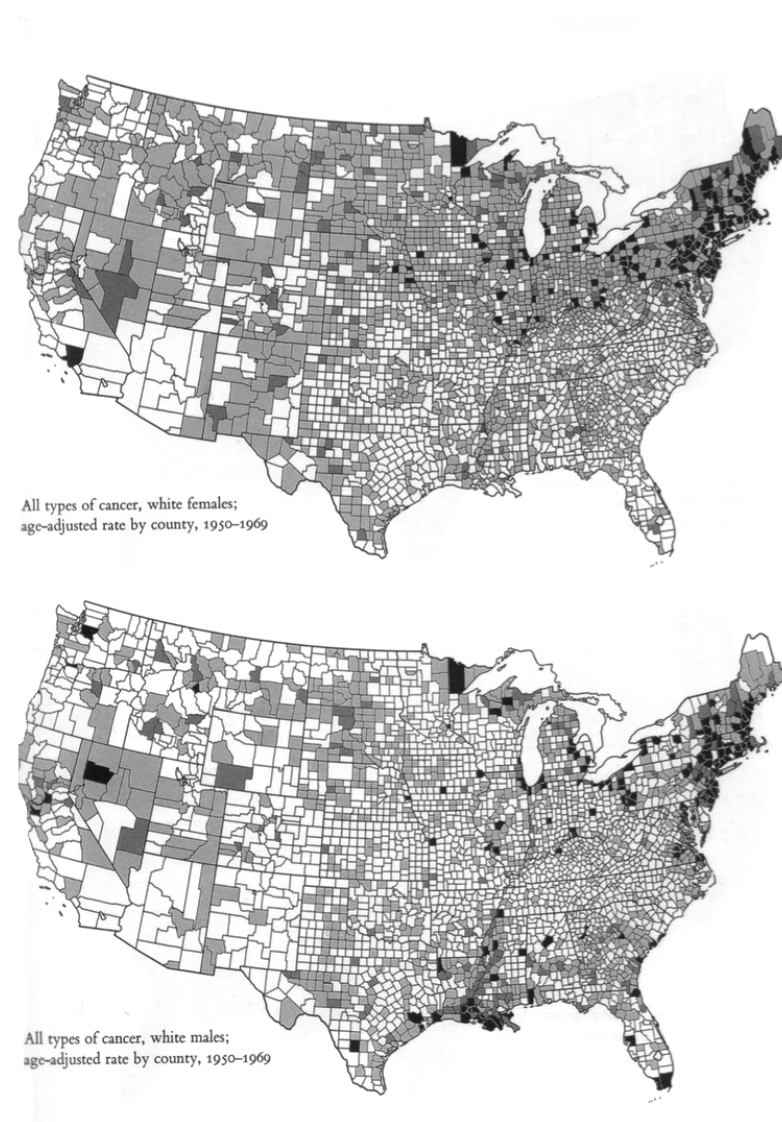


Fig. 22 - Mapeamento dos casos de cancro ocorridos nos Estados Unidos entre 1950 e 1969, organizados por género. Tufte aponta para a predominância de cancro no nordeste do país, provavelmente devido ao consumo abundante de peixe fumado, e nos homens no sul, explicado pelo manuseamento prolongado de amianto.

Fonte: Tufte, E. (2001). *The visual display of quantitative information*. Cheshire, Connecticut: Graphics Press.

disciplinares. O Design, como já foi apontado, pode assumir aqui um papel ativo e proporcionar instrumentos de trabalho efetivos que vão ao encontro deste objetivo. Müller reforça esta ideia:

“The scientific community should understand “design” not only as an aide in the sense of “public understanding of sciences” but also as a contributor to the scientific work itself. [...] I believe design can make contributions to the scientific progress itself. Design can and should be part of science.” (Müller, 2017) **(19)**

Debrucemo-nos então sobre o Design como uma ferramenta operativa no trabalho científico. Susana Fernando, na sua *TED Talk* de 2019 *Poderá o Design Incitar o Olhar da Ciência?*, explica como a visualização permite não só entender, mas também articular conceitos. Assim, o Design funciona como uma ferramenta do processo, quer para chegar a um produto final, quer para compreender a informação com a qual se pretende trabalhar. Muitas vezes, é este sistema que permite novas descobertas.

A importância dada ao Design como um instrumento processual no trabalho científico é precisamente um dos aspetos que nos interessa relevar neste ponto e analisar mais profundamente. Verifica-se que muitas das ferramentas em questão são frequentemente ordenações de dados sob um formato visual – gráficos, mapas, etc. Este procedimento, conhecido como Design de Infografia, sempre foi necessário para a compreensão daqueles dados. Neste sentido, uma simples seleção de dados pode ser considerada um ato básico de Design.

Já Tufte (1983) havia chamado a atenção para a importância da utilização de dispositivos visuais na análise e processamento de dados. Logo no início do seu livro *The Visual Display of Quantitative Information*, apresenta como exemplo uma base de dados com registos de casos de cancro ocorridos nos Estados Unidos entre 1950 e 1969, organizados em três campos: género, tipo de cancro e localização. **(Fig. 22)** Em primeiro lugar, a simples apresentação visual dos dados sobre um mapa permite, desde logo, detetar padrões. Porém, ao

(19) “A comunidade científica deve entender o Design não apenas como uma ajuda no sentido do conhecimento público das ciências, mas também como um provedor do trabalho científico em si. [...] Acredito que o Design pode fazer contribuições para o próprio progresso científico. O Design pode e deve ser parte da Ciência.” (Müller, 2017, trad. livre)

selecionar os campos “género” e “localização”, poderemos distinguir em que zonas geográficas há maior número de ocorrências em homens e em mulheres. Da mesma maneira, se os campos selecionados forem “género” e “tipo de cancro”, teremos uma noção de quais as patologias que mais afetam cada um dos géneros por área. Note-se que estes mapas não constituíram apenas imagens para serem comunicadas; inseriram-se num plano de monitorização da saúde pública americana e, nesse sentido, foram instrumentos de trabalho determinantes para estabelecer medidas preventivas e outros atos médicos. Em qualquer altura, poderão ser reutilizados e reajustados ao longo de todo o processo, pois não constituem apenas uma visualização destinada a apresentar o resultado final, mas sim um elo da sua cadeia.

Desde o ato elementar de selecionar dados até à produção de gráficos sofisticados, estas são formas através das quais o Design pode assumir uma intervenção ativa e dinâmica no processo de investigação científica. Quanto mais variados e complexos forem os dados e mais específicos e sofisticados forem os instrumentos, maior será a tarefa e a responsabilidade do designer.

Contudo, o recurso ao Design como ferramenta operativa não se esgota na ordenação de dados sob formatos visuais. Outro campo onde se abrem inúmeras possibilidades é o das simulações, entendidas como imagens ilustrativas de conceitos abstratos e de cenários teóricos, criadas com intuito de os testar e avaliar para posterior desenvolvimento. Nas ciências médicas, nomeadamente no ramo da epidemiologia, a utilização de simulações tem-se revelado uma ajuda fundamental no estudo da propagação das doenças.

Recentemente, no quadro da pandemia causada pelo vírus SARS-CoV-2, o projeto *Nextstrain* veio demonstrá-lo. Esta iniciativa consiste numa plataforma virtual *open-source* que mantém um repositório, atualizado e acessível, de dados relativos a genomas patogénicos e que fornece ferramentas analíticas e de visualização para serem utilizadas

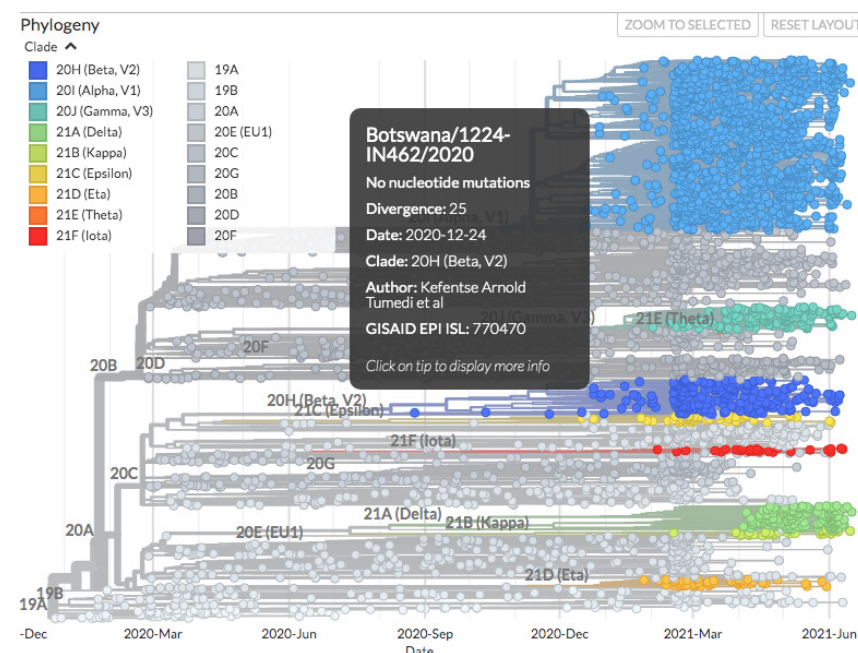


Fig. 23 - Diagrama das variantes do vírus SARS-CoV-2.

Fonte: <https://nextstrain.org/ncov/global>

no âmbito da investigação científica. O seu objetivo é contribuir para o conhecimento das evoluções epidemiológicas e orientar a resposta a surtos de doenças contagiosas. A plataforma constitui um valioso instrumento de monitorização em tempo real que tem permitido a virologistas, epidemiologistas, agentes de saúde pública e cientistas em geral acompanhar o desenvolvimento e propagação de várias patogenias específicas, e não apenas do SARS-CoV-2: gripe, ébola, sarampo, tuberculose, dengue, entre outros.

O *layout* da página principal relativa ao SARS-CoV-2 é interativo e exibe a evolução cronológica da pandemia com as variantes do vírus devidamente identificadas, apresentadas em múltiplos tipos de diagramas. Para além da perspetiva global, é possível também selecionar apenas um genoma, um determinado intervalo de tempo ou uma localização em particular e estudar aí a sua linha de transmissão. Ao sobrepor o cursor sobre qualquer ponto, surge uma janela com informação detalhada sobre a estirpe em questão: designação, ascendência, mutações sofridas, data e local de deteção, etc. Embora os autores da plataforma advirtam que as estimativas temporais e os padrões de transmissão previstos sejam apenas hipotéticos, a grande mais-valia deste instrumento é a possibilidade de delinear cenários futuros para a evolução epidemiológica. **(Fig. 23)**

Como exposto, o Design tem a possibilidade de fornecer instrumentos de trabalho específicos, seja para dar forma a ordenações de dados e torná-los compreensíveis, transformando-os em informação, seja para materializar hipóteses teóricas, testá-las e visualizar cenários futuros. Ferramentas genéricas como as bases de dados, os mapas e os gráficos, a título exemplificativo, são apenas conceitos que necessitam de ser trabalhados em função do que se pretende observar e analisar. Somente através do Design estes dispositivos genéricos se podem transformar em ferramentas operativas passíveis de serem utilizadas de uma forma ativa na investigação científica.

Ao longo deste capítulo, verificou-se existirem várias zonas de sobreposição entre o Design e a Ciência, designadamente nos métodos de trabalho, o que poderá, à partida, ser um fator que facilita o entendimento e a cooperação entre as duas áreas. Apresentaram-se vários exemplos de possíveis formas de parceria, como no âmbito da comunicação, domínio que a Ciência, embora tardiamente, veio a reconhecer como fundamental. De igual modo, foram enumerados alguns casos em que o Design protagonizou uma relação mais ativa com a Ciência, através da criação de instrumentos auxiliares de visualização e simulação essenciais ao processo de investigação e desenvolvimento científico. Assim, para além de todos os outros setores de atividade do Design, este encontrou aqui uma oportunidade de dar um contributo para o conhecimento da Humanidade.

2.3.

ESTADO DA ARTE

Para este capítulo, realizaram-se diversos estudos de caso que tiveram por objeto trabalhos que abordassem, de algum modo, a problemática da visualização da escala, o tema escolhido para o exercício prático, mas também que adotassem um formato dinâmico e, eventualmente, interativo. Um critério de ordem secundária, mas também considerado, foi o de possuírem uma mais-valia pedagógica. O conjunto apresentado está ordenado por formato e, seguidamente, por data.

Com o objetivo de se proceder a uma análise sistemática, estabeleceram-se alguns parâmetros, a saber: identificação do trabalho (título, autores e data), tema, suporte e formato. Adicionalmente será feita uma breve contextualização e descrição, acompanhadas de uma ou mais imagens para melhor entendimento.

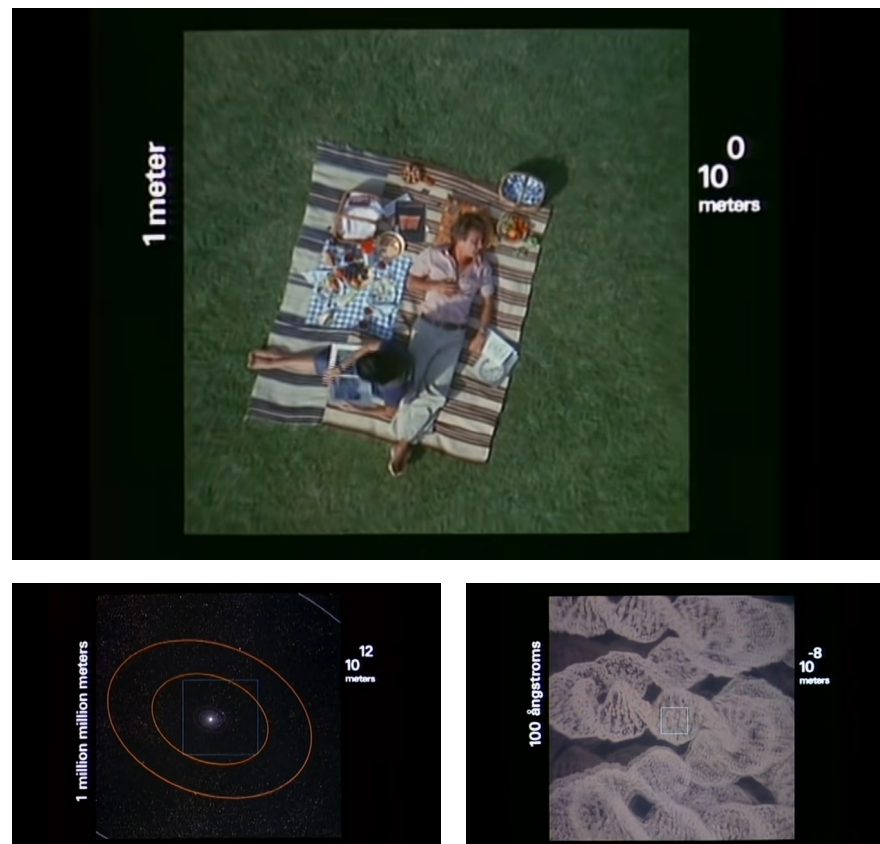
2.3.1.

POWERS OF TEN

Publicado em 1977 por Charles e Ray Eames **(20)**, o documentário *Powers of Ten* é uma das mais conhecidas contribuições do Design para explicar o conceito de escala, utilizado durante muito tempo com esta finalidade em diversos contextos educativos. Apresentado sob a forma final de um *short film* com a duração de 9 minutos, é composto por uma sequência de imagens que se vão transformando, aumentando e diminuindo ao longo do tempo, transmitindo, assim, a variação da dimensão das coisas. Este documentário foi concebido originalmente em 1968 com o título *A Rough Sketch for a Proposed Film Dealing with the Powers of Ten and the Relative Size of things in the Universe*, baseado na obra de Kees Boeke, *Cosmic View: The Universe in Forty Jumps*, de 1957.

A ação inicia-se com a cena de um piquenique que representa a dimensão humana. A partir daqui, o local passa a ser visto através de um plano picado. A cada dez segundos, a distância aumenta dez vezes em relação à imagem anterior, até atingir o seu valor mais elevado, 10^{24} metros, momento em que o observador se encontra no ponto mais longínquo do universo (tal como conhecido à data). Regressando à posição inicial, desenrola-se o movimento oposto, com enfoque na mão do indivíduo. À mesma cadência, a distância vai diminuindo em igual proporção, percorrendo células e átomos, até ao valor de 10^{-16} metros, ponto em que se representa o interior de um próton de um átomo de carbono contido no ADN de uma célula sanguínea.

O *layout* consiste numa área quadrada, no centro da tela, onde são visualizados os movimentos de *zoom in* e *zoom out*. Em ambos os lados são apresentados os valores das distâncias em metros, quer sob a forma



Figs. 24, 25 e 26 - Cenas do documentário *Powers of Ten* (1977), da autoria de Charles e Ray Eames.

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=OfKBhvDjuyO>

(20) Charles e Ray Eames interessaram-se por vários temas na área da Ciência, nomeadamente levando a cabo a famosa exposição *Mathematica: A World of Numbers and Beyond*, em 1961. Este evento foi descrito como “uma montra de informação científica transformada em jogo intelectual, [...] um parque temático de problemas de matemática fundamentais e suas soluções expostos por meio de painéis gráficos, demonstrações e sistemas interativos explicativos”. (Koenig, 2007)

convencional, quer sob a forma de potências de base 10. Isto permite ao observador situar-se e ter uma noção da evolução do processo de aumento e diminuição da escala, além de que cria uma associação entre as imagens concretas e as suas representações numéricas, ou seja, abstratas. **(Figs. 24, 25 e 26)** Ao longo do filme, a navegação visual é acompanhada por explicações em voz *off*.

Powers of Ten representa um contributo do ponto de vista do Design para a transmissão do conhecimento científico e aborda o tema da escala de um modo visual com uma preocupação pedagógica implícita. Repare-se também que, neste documentário, quer o infinitamente grande, quer o infinitamente pequeno, são vistos da perspetiva de um ser humano: o ponto de partida é uma cena do quotidiano e a unidade de medida é próxima das dimensões humanas (na verdade, as unidades de medida sempre tiveram por referência o ser humano – polegadas, pés, etc. – que o sistema métrico apenas veio normalizar). A escolha de um formato audiovisual proporciona alguma dinâmica na comunicação, mas não possui carácter interativo, pois a tecnologia não o permitia.

2.3.2.

ZOOM

Zoom é um livro publicado pela primeira vez em 1995 pelo ilustrador húngaro Istvan Banyai. **(21)** É invulgar encontrarmos o tema da escala abordado neste formato devido às características intrínsecas do meio. Esta obra dispensa qualquer tipo de texto ou de instruções; toda a informação é transmitida exclusivamente através de imagens. São razões fortes para se incluir aqui este estudo de caso. Foi considerado um dos melhores livros infantis do ano pelo jornal *New York Times* e pela revista *Publishers Weekly*. Atualmente, encontra-se traduzido em dezoito línguas.

O conceito de funcionamento do livro é extremamente simples: com o virar de cada página a imagem anterior torna-se num pormenor da cena seguinte, ação que se repete ao longo de 32 páginas. Neste processo, o enquadramento vai abrindo. Inicia-se com o grande plano da crista de um galo, que dá lugar a uma cena de uma criança à janela, que por sua vez faz parte de um jogo, cadeia que se vai repetindo com diferentes cenários até terminar com uma perspetiva da Terra no vazio do espaço. **(Fig. 27)** Deste modo, simula-se o movimento de afastamento de uma câmara (*zoom out*), daí o nome do livro. A obra pode também ser percorrida de trás para a frente, proporcionando o efeito inverso. A analogia com *Powers of Ten* é flagrante (McCormick, 1995).

As opções estéticas de Banyai remetem claramente para os *cartoons*, influências igualmente presentes na sua formação. As figuras são pormenorizadas, possuem contornos a negro (estilo conhecido como linha clara), cores lisas e uma paleta vibrante. As páginas pares são propositadamente de cor preta, o que acentua o enfoque nas páginas ímpares, onde se encontram as ilustrações.



Fig. 27 - Sequência das primeiras nove páginas do livro *Zoom*, da autoria de Istvan Banyai.

Fonte: <http://mslouieslearning.weebly.com/uploads/4/7/1/1/47118277/963591666.jpg>

(21) Banyai estudou arquitetura, design gráfico e ilustração na universidade de Arte e Design Moholy-Nagy, em Budapeste. Começou a trabalhar como designer e desenvolveu conceitos experimentais para filmes de animação, onde explorava efeitos de tempo e espaço. Estas questões têm sido recorrentes nos seus projetos e conduziram a novas ideias, tais como universos em expansão, imagens dentro de imagens, dualidades, etc. *Zoom* reflete-o.

O caráter lúdico e educativo é bastante evidente. À exceção da parte final, todas as ilustrações têm por base a escala humana. Na verdade, não é, em rigor, de escala que trata este livro, mas de imagens dentro de imagens. De outro modo, seria de esperar que, no nível inicial, aparecessem seres microscópicos e outros elementos de reduzida dimensão, por exemplo. Assim, ao retratar sucessivamente ambientes conhecidos, confunde-se a perceção do leitor, mas convém ter em mente que estamos perante uma obra destinada a um público infantil, onde a fantasia é comum. Neste sentido, não é possível encontrarmos aqui uma perspetiva de conjunto que nos permita comparar o infinitamente grande e o infinitamente pequeno.

2.3.3.

NESTED

De algum modo, podemos ver abordado o tema da escala em *Nested* (<http://orteil.dashnet.org/nested>), idealizado por Julien Thiennot **(22)** em 2011. Encontra-se alojado num *website* desenvolvido em *javascript* e consiste numa conceção fictícia do universo sob a forma de um diretório de pastas. Esta estrutura possui uma organização hierarquizada onde podemos encontrar subdiretórios, que por sua vez conduzem a outros, ao longo de uma extensa cadeia. Em alguns casos particulares, o fim da cadeia conduz ao início.

Nested não é exatamente um jogo, mas sim um passatempo *online* que tem como temática o Universo, que constitui, aliás, o ponto de partida. Parte-se do princípio de que um utilizador minimamente familiarizado com a informática sabe como proceder para abrir uma pasta. Assim, abrindo a raiz do diretório intitulada “universo”, é ativado um gerador aleatório de elementos cósmicos que cria um rol de pastas que correspondem a aglomerados de galáxias e que, por sua vez, contêm no seu interior novas pastas, cada uma com uma galáxia. Este processo é replicado todas as vezes que se abre uma pasta e o gerador cria elementos sucessivamente mais pequenos que podem assumir diversas formas (estrelas, buracos negros, planetas, continentes, cidades, vida, etc.) até, eventualmente, ser atingido um nível subatômico. **(Figs. 28 e 29)** Quando a cadeia termina, duas coisas podem suceder: ser necessário retroceder o caminho ou haver uma ligação que nos traz de volta ao ponto inicial.

O *layout* do *website* é simples, quase primário. Não existem imagens, animações ou qualquer outro elemento do mesmo género; apenas as pastas, identificadas pelo seu nome, tal como na estrutura



Figs. 28 e 29 - Página inicial de *Nested* e exemplo de um trajeto de navegação possível, respetivamente.

Fonte: <http://orteil.dashnet.org/nested>

(22) Julien Thiennot, também conhecido por Orteil, é um jovem *web* e *game developer* francês responsável por criar alguns jogos *online* bastante populares e viciantes, como é o caso de, por exemplo, *Cookie Clicker* (<http://orteil.dashnet.org/cookieclicker/>).

do explorador de ficheiros de um computador. Há somente a funcionalidade de mudar a paleta cromática, entre oito opções possíveis. Uma destas opções mostra, porém, um fundo de ecrã composto por uma imagem do espaço.

Este projeto apresenta-nos uma perspetiva global, com um enfoque sucessivamente mais restrito. Possui uma componente interativa, é exclusivamente lúdico e desprovido de qualquer intenção educativa ou rigor científico. Ainda assim, podemos-nos servir dele como auxiliar no entendimento do conceito de escala.

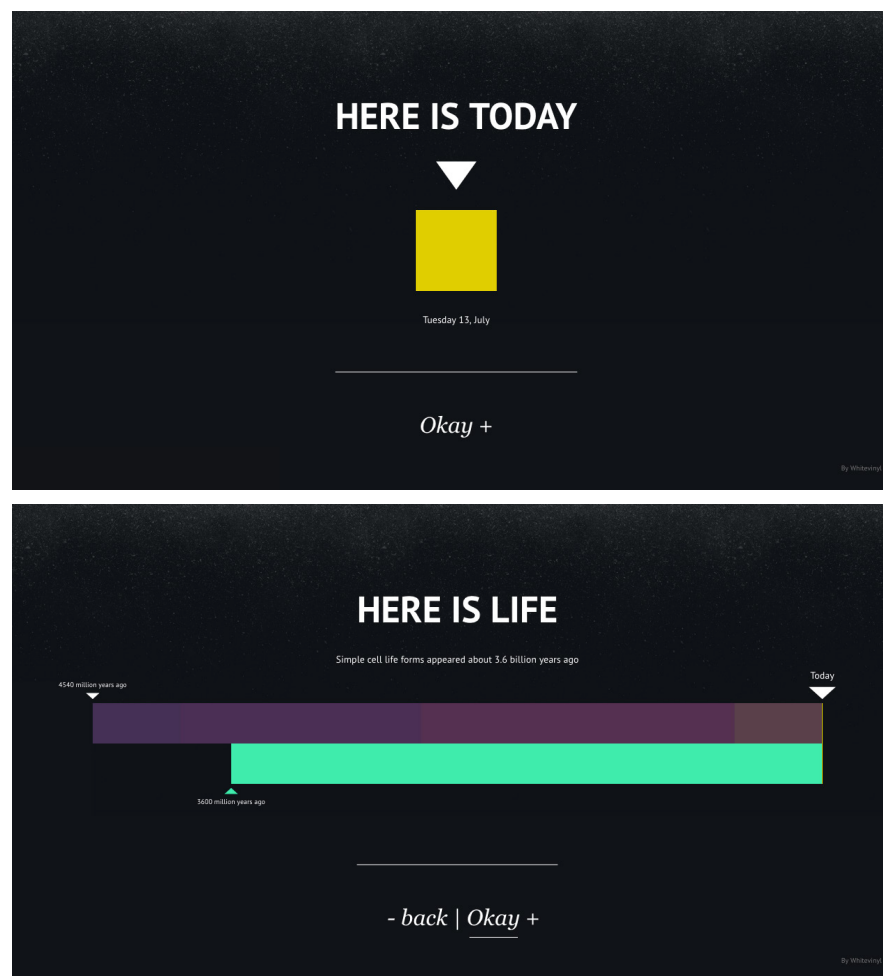
2.3.4.

HERE IS TODAY

HERE IS TODAY (<http://hereistoday.com/>) é um projeto criado em 2013 pelo designer britânico Luke Twyman **(23)**, com o intuito de representar visualmente o tempo tendo por referência a unidade de medida correspondente a um dia. Apresenta-se sob a forma de um *website* em HTML5 que permite navegar através de um friso onde são exibidos, proporcionalmente, os diferentes tipos de períodos temporais. Assim, adquire-se uma perspetiva da passagem do tempo e contextualiza-se a duração de um dia. O projeto explora a questão da escala justapondo períodos de tempo com diferentes extensões.

A página inicial contém a frase “here is today” (“o hoje é aqui”), acompanhado de uma seta que aponta para um grande quadrado amarelo que simboliza o dia presente, com a respetiva data. A partir do momento atual, inicia-se uma viagem de recuo no tempo que, a cada clique, nos leva até à origem do Universo (13798 milhões de anos). O quadrado passa, então, a estar inserido num friso onde a dimensão do tempo é representada pelo comprimento de cada secção – mês, ano, século, milénio, época, período, etc. – até atingir o tamanho da idade da Terra (4540 milhões de anos). Após esta etapa, é acrescentada ao friso uma nova faixa onde são exibidas secções correspondentes à evolução da vida, terminando com uma comparação entre a antiguidade da Terra e a do Universo. **(Figs. 30 e 31)**

O *website* possui um *layout* minimalista: o fundo é negro e, quer o quadrado inicial, quer o friso, estão centrados no monitor. Os vários períodos temporais são assinalados por secções com cores lisas distintas. Os componentes de texto, em caracteres de cor branca, estão organizados de uma forma hierarquizada: em cima, o título situa



Figs. 30 e 31 - Página inicial de *HERE IS TODAY* e representação da evolução da vida em comparação com a idade da Terra em simultâneo, respetivamente.

Fonte: <http://hereistoday.com/>

(23) O autor é um designer *freelancer* com formação inicial em música e que tem manifestado interesse no tema da visualização de dados. Fundador da *Whitevinyl*, tem desenvolvido vários projetos que conjugam estas duas dimensões, como é o caso, por exemplo, de *SolarBeat* (<http://whitevinyl.design.com/solarbeat/>), onde o tempo é representado pela duração das órbitas dos planetas do Sistema Solar. Cada planeta se desloca ao seu ritmo e produz um som no início de cada nova trajetória, compondo uma melodia. Assim, perspetiva-se as diferentes velocidades de revolução dos planetas de uma maneira lúdica.

o utilizador nas diversas comparações estabelecidas; por baixo, os subtítulos fornecem informação complementar; associadas ao friso, múltiplas legendas identificam acontecimentos marcantes; finalmente, no rodapé da composição, surgem os comandos de navegação.

O tema da escala é aqui abordado através da comparação de diversas dimensões, neste caso temporais, e constitui uma boa maneira de visualizar e explicar este conceito. Contudo, alguns aspetos parecem ser pouco expressivos: a navegação, por exemplo, parece conduzir-nos ao longo de um percurso cronológico contínuo quando, na verdade, existem sistemas temporais diferentes. Já a perceção global se perde durante a navegação, apenas sendo conseguida no final. Apesar de tudo, é clara a componente educativa, até porque a experiência do utilizador tem por referência o dia, ou seja, uma medida à escala humana.

2.3.5.

IF THE MOON WERE ONLY 1 PIXEL

If the Moon Were Only 1 Pixel (https://joshworth.com/dev/pixelspace/pixelspace_solarsystem.html), da autoria de Josh Worth **(24)**, é um *website* em HTML concebido em 2014 com o objetivo de representar a escala dos vários corpos do nosso Sistema Solar e das distâncias entre eles. Como o próprio nome indica, o tamanho da Lua corresponde a um pixel e é usado como unidade de medida para estabelecer comparações dimensionais. Desde o seu lançamento, altura em que recebeu o prémio *2014 Webby Award* para *websites* científicos, tem-se tornado muito popular e tem sido um recurso educativo comum em contextos académicos, museus, exposições, etc. Atualmente, está traduzido em dezasseis línguas.

A navegação no *website* inicia-se no centro do Sol. É-nos, de imediato, apresentada informação respeitante ao tamanho relativo do Sol e da Lua, bem como uma escala gráfica em rodapé, personalizável (quilómetros, minutos-luz, unidades astronómicas, planetas Terra, muralhas da China, etc.), que ajuda o utilizador a ter uma melhor noção da dimensão das coisas. **(Figs. 32 e 33)** Através do *scroll* horizontal, é possível traçar um percurso radial até Plutão, ao longo do qual vão surgindo os vários planetas do Sistema Solar. A lenta progressão em direção às órbitas externas, pontuada por algumas frases informativas com algum humor, traduz as grandes distâncias entre os vários corpos celestes. Existem botões que nos levam rapidamente a cada um dos planetas e ainda, no canto inferior direito, um comando que nos permite simular a viagem à velocidade da luz e verificar quão vagarosa é no quadro do Sistema Solar (e do Universo).



Figs. 32 e 33 - Screenshots do projeto *If the Moon Were Only 1 Pixel*, representando o Sol, o planeta Terra e a Lua, respetivamente.

Fonte: https://joshworth.com/dev/pixelspace/pixelspace_solarsystem.html

(24) Josh Worth realizou também *Asteroid Close Calls* (<https://www.planetary.org/defend-earth/asteroid-close-calls>) para a conceituada organização *The Planetary Society*, com sede na Califórnia, no qual mapeou visualmente informação relativa aos asteróides que passaram perto da Terra, numa órbita inferior à da Lua, organizados por altitude e por data. Entre outras atividades, o autor tem desenvolvido colaborações regulares com outras instituições científicas, tais como o *American Museum of Natural History*, em Nova Iorque, o *Center for Engineered Natural Intelligence* da Universidade de San Diego, Califórnia ou o *Max Planck Institute for Physics*, em Munique, com vários projetos ligados à Ciência, como o caso em estudo.

O fundo negro da página simboliza o vazio do espaço e acentua a sua vastidão. Os textos e elementos gráficos, como o friso métrico, por exemplo, destacam-se a branco. Apenas os astros e respetivo *lettering* assumem as cores que vulgarmente lhe são associadas (amarelo para o Sol, azul para a Terra, vermelho para Marte, etc.). Os botões de navegação respeitantes aos planetas encontram-se na parte superior da página e são assinalados pelos símbolos astronómicos correspondentes.

Este é também um *website* com um carácter educativo. A simulação da viagem à velocidade da luz é uma das funcionalidades que melhor evidenciam a noção de escala, sobretudo a passagem do tempo, mas estamos perante uma visão cósmica. Não obstante, nunca se consegue visualizar integralmente o Sistema Solar, pelo que se perde a perceção de conjunto e torna-se difícil ter uma noção visual das relações de tamanho e das distâncias entre os vários componentes deste sistema.

3.

EXERCÍCIO PROJETUAL

Este exercício possui um objetivo pedagógico. Foi idealizado como um projeto para um *website* com um interface destinado a ser visualizado quer em computadores, quer em dispositivos móveis, por um utilizador com baixa literacia científica. Procurou-se criar um cenário que permitisse comunicar visualmente e de forma adequada o tema do trabalho, isto é, a noção de escala. Para isso, foi utilizada uma amostra constituída por entidades com valores diferentes ao nível da sua dimensão e da sua longevidade.

Estas condicionantes obrigaram a ter em conta determinados aspetos específicos. Como lembra Rigutto (2017), na conceção de uma plataforma *online*, fatores como o dimensão e a orientação de uma imagem, as cores e a estética devem ser considerados e integrados, do ponto de vista da comunicação, como elementos fundamentais na conceção do *layout*, pois estes contribuem para aumentar a sua atratividade e acessibilidade.

Devido à natureza física deste documento, neste capítulo apenas é descrito o funcionamento do *website* projetado, acompanhado de imagens dos seus vários componentes visuais.

O utilizador é recebido numa *landing page* que contém as informações necessárias para a navegação. Daqui segue-se para uma nova página, cujo *layout* remete para a imagem de um radar. Os vários elementos da amostra selecionada são representados por pontos numa grelha graduada com dois eixos ortogonais, em que o horizontal corresponde ao tempo e o vertical ao tamanho. Cada um dos pontos está posicionado de acordo com as suas coordenadas (dimensão e longevidade), exibidas

numa janela de *pop-up* juntamente com mais algumas informações. Ao explorar a página e ao observar a localização das entidades representadas e respetiva informação, é possível ter uma noção das relações de escala entre elas.

3.1.

TEMA

Na tentativa de restringir o campo de trabalho e torná-lo mais adequado aos pressupostos do estudo, elegeu-se a Física como uma área com bastante potencialidades neste quadro. De facto, esta disciplina trabalha com níveis teóricos e de abstração elevados, o que torna pertinente a necessidade de visualização. Paralelamente, surgiu a oportunidade de tirar partido do conhecimento de professores e investigadores que operam neste ramo.

Numa fase preliminar foi feita uma auscultação a dois membros da comunidade científica – designadamente um professor do Departamento de Física da Universidade de Aveiro e um investigador da mesma instituição de ensino – para identificação de temas relevantes, polémicos ou em estudo, pertinentes neste contexto.

Para este efeito, ao longo do estudo foram elaborados questionários **(25)**, submetidos aos cientistas, e realizadas entrevistas para debater os assuntos tratados, esclarecer dúvidas, clarificar opções e definir orientações. O conceito de granularidade do espaço-tempo foi um dos tópicos sublinhado por ser relevante no quadro científico atual.

Para se perceber sumariamente este conceito, refira-se que, contrariamente ao entendimento de que o tempo e o espaço são contínuos, a teoria da granularidade do espaço-tempo defende que aqueles, tal como o nome indica, possuem uma textura granular. Portanto, o espaço não será infinitamente divisível, o que implica a existência de uma unidade base fundamental que não pode ser subdividida, denominada *Planck Scale* – a fração de matéria mais pequena possível.

(25) Consultar os anexos 6.2. Questionário geral: Prof. Sushil Mendiratta e 6.3. Questionário específico: Prof. Carlos Herdeiro.

(26) “Até a própria noção de escala é impossível de compreender sem uma inscrição ou uma cartografia mental. Um ‘grande homem’ é um pequeno homem que olha para um bom mapa. No frontispício de Mercator, Atlas é transformado de um Deus que carrega o mundo às costas num cientista que o segura na sua mão!” (Latour, 1986, trad. livre)

Numa familiarização com este tópico, entendeu-se que seria difícil explorá-lo convenientemente no quadro deste trabalho de mestrado. Chegou-se à conclusão, ingualmente, de que o tema era demasiado complexo para ser explicado sem referir previamente outros conceitos. Um deles, imprescindível ao seu correto entendimento, é o de escala, apenas compreendido através da comparação de vários elementos de dimensões diversas, tarefa tanto mais difícil quanto maior a disparidade dos seus tamanhos. Como abstração que é necessita, por isso, de uma “muleta” – a visualização. Como explica Latour no seu artigo de 1986 intitulado *Visualization and Cognition: Drawing Things Together*, a noção de escala é impossível de ser entendida sem um auxílio visual:

“Even the very notion of scale is impossible to understand without an inscription or a map in mind. The ‘great man’ is a little man looking at a good map. In Mercator’s frontispiece Atlas is transformed from a god who carries the world into a scientist who holds it in his hand!” (Latour, 1986) **(26)**

Pelo que foi dito, verifica-se que este tema possui potencial para integrar o exercício proposto, pois, embora detenha alguma complexidade, se comunicado de maneira adequada pode ser transmitido de modo inteligível a um utilizador sem formação especializada. É precisamente este o objetivo do exercício em questão.

3.2.

AMOSTRA

Como anteriormente mencionado, a compreensão do conceito de escala pressupõe a justaposição de vários elementos de dimensões diversas. Nesse sentido, tornou-se necessário reuni-los numa amostra **(27)** tendo em conta dois parâmetros, dimensões físicas e longevidade, e que inclui apenas entidades que se encontram no seu estado natural e oriundos dos três reinos da Natureza: animal, vegetal e mineral. A amplitude da amostra varia, por este motivo, do infinitamente grande ao infinitamente pequeno e do efêmero ao perdurável.

A seleção é variada e vai desde pequenos seres vivos (um ácaro, por exemplo) a entidades geográficas, passando por elementos vegetais de grande porte e longevidade. Para casos como estes, optou-se por utilizar a dimensão maior (por exemplo, no caso do elefante utilizou-se a altura, 4 metros, e no caso do tiranossauro o comprimento, 13 metros). No entanto, em seres mais pequenos, este aspeto não é relevante. Em elementos próximos da escala humana, as suas dimensões são conhecidas ou são facilmente determinadas com bastante precisão.

Contudo, existe alguma incerteza nas dimensões quer das identidades atómicas e subatómicas, quer das astronómicas. A longevidade, por exemplo, pode ser medida de duas maneiras: a) observando exatamente o tempo de morte de um elevado número de exemplares de uma espécie e calculando estatisticamente o tempo de vida; b) postulando a dinâmica do processo de degradação da entidade e calculando, assim, o seu tempo de vida. Em alguns casos, este valor tem de ser verificado experimentalmente, embora ambos os processos tenham limitações neste domínio. Para tempos muito curtos, não existem mecanismos com precisão suficiente; para tempos muito longos, como é o caso das

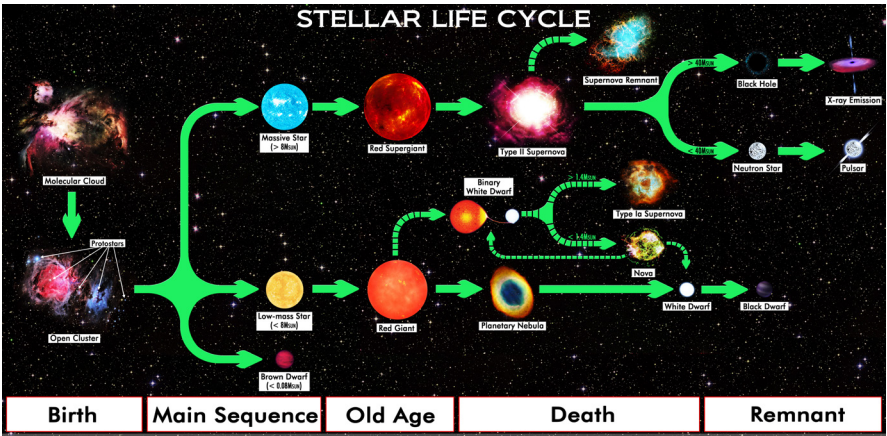


Fig. 34 - Diagrama explicativo da teoria da evolução estelar.
Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/47/Star_Life_Cycle_Chart.jpg/1280px-Star_Life_Cycle_Chart.jpg

Mass (solar masses)	Time (years)	Spectral type
60	3 million	O3
30	11 million	O7
10	32 million	B4
3	370 million	A5
1.5	3 billion	F5
1	10 billion	G2 (Sun)
0.1	1000s billions	M7

Fig. 35 - Tabela onde se encontra representada a longevidade de diferentes tipos de estrelas em função das suas massas.
Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a9/Representative_lifetimes_of_stars_as_a_function_of_their_masses.svg/1280px-Representative_lifetimes_of_stars_as_a_function_of_their_masses.svg.png

(27) Consultar o anexo 6.1. Lista de elementos da amostra.

estrelas, a dificuldade reside não só em saber o momento de início da sua identidade, como também apenas podemos especular quanto ao seu fim teorizando o processo de degradação (perda de massa e de energia). Assim, dados sobre estrelas e galáxias são previsões teóricas, presentemente aceites. Além disso, quanto maior for o alcance do instrumento de medição, maior é a incerteza (S. K. Mendiratta, e-mail, agosto 11, 2021).

Relativamente aos corpos celestes de grandes dimensões, como é o caso das estrelas, é possível estabelecer uma relação entre a sua massa e a sua longevidade. O tempo de vida de uma estrela depende da sua massa e composição química original. As estrelas são feitas essencialmente de hidrogénio, que queimam, formando elementos mais pesados. Quanto mais massivas são as estrelas, mais depressa queimam o seu combustível e mais depressa morrem. **(Figs 34 e 35)** Hoje conhece-se bem a teoria da evolução estelar, pelo que, estimando a massa de uma estrela e analisando a sua composição química, pode-se determinar em que estágio da vida se encontra (C. Herdeiro, e-mail, agosto 10, 2021).

A questão dos planetas (e cometas) é mais delicada. Dado que alguns são apenas pedaços de rocha ou de gás seguros pela sua auto-gravidade, não há um mecanismo evolutivo. Espera-se que, no caso do sistema solar, quando o Sol se aproximar do fim do seu ciclo evolutivo, se transforme numa gigante vermelha. Esta poderá ter a extensão da órbita de Vénus ou até mesmo da Terra. Nesse sentido, Mercúrio, Vénus e, possivelmente, a Terra serão destruídos, daí que o tempo de vida da estrela possa determinar o tempo de vida de alguns ou todos os planetas que orbitam em seu redor. No caso de estrelas mais massivas que terminem a vida numa explosão denominada supernova, todos os planetas em seu redor serão certamente destruídos. Quanto a Júpiter, podemos apenas especular, mas é possível que sobreviva ao ciclo final da órbita do Sol. Os cometas têm uma degradação adicional: cada vez que se aproximam do Sol perdem parte do seu material e, eventualmente, podem perder todo o gelo, ficando apenas com um

núcleo rochoso e tornando-se asteroides numa órbita elíptica. Em todo o caso, um cometa que passe suficientemente perto do Sol, como o Halley, seria também afetado pela sua fase de gigante vermelha (C. Herdeiro, e-mail, agosto 10, 2021).

Quanto às galáxias, podemos assumir que a sua longevidade é a mesma que a do Universo. No entanto, a teoria atualmente aceite, baseada em observações feitas pelo telescópio Hubble, prevê que a galáxia de Andrómeda colida com a Via Láctea daqui a 5 biliões de anos, pelo que o tempo de vida estimado desta última seja de 19 biliões de anos. Ninguém sabe qual dos cenários para o futuro do Universo é o correto e, por isso, não é possível prever a sua longevidade.

No caso de entidades atómicas e subatómicas, o seu tempo de vida depende de duas coisas: se são neutros ou não e do campo eletromagnético à sua volta. Um átomo isolado tem uma vida muito longa (S. K. Mendiratta, e-mail, agosto 11, 2021). Há partículas elementares que se julgam ser absolutamente estáveis, como o electrão ou o fóton, e outras que são instáveis, como o muão ou o tau, que decaem para outras partículas estáveis. As partículas compostas exibem comportamentos diferentes: o protão, constituído por três quarks (dois *up* e um *down*), julga-se estável, mas o neutrão, que também é constituído por três quarks (dois *down* e um *up*), se isolado, decai em cerca de 15 minutos. Dentro do mesmo elemento, podem existir isótopos estáveis e instáveis, todos com o mesmo número de protões, mas com um diferente número de neutrões no núcleo. Por exemplo, o hidrogénio tem os isótopos prótio (um protão – estável), deutério (um protão e um neutrão – estável) e trítio (um protão e dois neutrões – instável, com um tempo de vida de cerca de 12 anos). Outro exemplo, o Urânio, tem isótopos instáveis devido à sua radioatividade, que corresponde ao tempo de decaimento (cerca de 4,5 biliões de anos para o Urânio-238 e cerca 700 milhões de anos para o Urânio-235) (C. Herdeiro, e-mail, agosto 10, 2021).

Assim, a escolha das entidades infinitamente grandes e infinitamente pequenas foi ponderada e criteriosa. Há que considerar uma margem de erro nos valores utilizados no projeto, independentemente dos arredondamentos já mencionados.

3.3.

PERFIL DO UTILIZADOR

Inicialmente, o exercício foi pensado para um tipo de utilizador oriundo da comunidade científica, isto é, um corpo de indivíduos pertencentes à área da Ciência, incluindo diversos grupos dentro da mesma: cientistas, investigadores, docentes, técnicos, etc. Pode dizer-se que o foco daquela comunidade é aumentar o conhecimento científico e fazer evoluir a sociedade através da promoção da investigação e do desenvolvimento científico, o que também fortalece as relações entre os membros da comunidade e, conseqüentemente, se reflete de maneira benéfica na qualidade de investigação e interpretação de resultados obtidos.

Ao auscultar alguns membros da referida comunidade, foi apontado que poderá não ser necessária uma visualização gráfica de alguns conceitos, mas apenas uma representação mental. Neste quadro, a visualização poderá não consistir apenas em imagens, mas também em fórmulas, esquemas matemáticos, etc., podendo estes últimos, eventualmente, serem a última escolha como linguagem de comunicação entre pares **(28)**. Os entrevistados esclareceram que consideravam as visualizações gráficas úteis, mas vocacionadas para a comunicação de conceitos para fora da comunidade científica. Com base nesta informação, entendeu-se que este exercício devia destinar-se maioritariamente a um utilizador exterior à referida comunidade e, portanto, possuidor de conhecimentos científicos modestos.

Considerou-se igualmente que o tipo de utilizador em função do qual o exercício foi concebido deverá ter competências nas tecnologias de informação e comunicação. Este perfil abrange grande parte da população mundial que lida diariamente, na sua vida pessoal ou profissional, com computadores ou dispositivos móveis. Por esse

(28) Consultar o anexo 6.3. Questionário específico: Prof. Carlos Herdeiro.

motivo, está familiarizada com a navegação num *website*, assim como com a utilização da língua inglesa em menus, legendas e outras funcionalidades. Estes facto suportam a opção pelo formato e pela língua de navegação usados no exercício.

A definição deste perfil de utilizador suscita uma reflexão lógica: qual a relação entre a sociedade e a comunidade científica? Com efeito, esta última não pode fechar-se sobre si própria e ignorar as eventuais contribuições que podem surgir de indivíduos exteriores à disciplina. Se o cidadão comum conseguir entender conceitos científicos, não estará, também, a contribuir para a transmissão desses mesmos conceitos? Por sua vez, uma sociedade informada não poderá gerar *feedback* que uma comunidade científica atenta saberá identificar e aproveitar para a construção de novo conhecimento? Não será o conhecimento científico simultaneamente matéria-prima e produto de uma sociedade científica?

A este propósito, Rieber (1995) lembra que o tipo de conhecimento de que os jovens mais precisam é aquele que os ajudará a obter mais conhecimento. Tudo indica estarmos perante um ciclo auto-sustentável que funciona como uma relação de simbiose onde a comunidade científica alimenta a sociedade, que, conseqüentemente, irá alimentar a comunidade científica. A ação de comunicar e explicar o conhecimento científico é, aliás, intrínseca e essencial ao próprio processo de investigação científica. Divulgar uma questão desta área junto de crianças e jovens, por exemplo, pode despoletar a emergência de futuros cientistas que poderão, eventualmente, vir a resolver a referida questão.

3.4.

FORMATO

Optou-se pelo formato de um *website*, escolha devida a várias razões tendo em conta o conteúdo a apresentar e o perfil do utilizador definido.

Dado o tema selecionado, um formato digital facilita, em simultâneo, a representação de dimensões muito grandes e muito pequenas, uma questão que constitui o cerne do trabalho e que muito dificilmente poderia ser apresentada num suporte físico. Esta lógica aplica-se tanto ao espaço como ao tempo, que, como já referido, constituem duas realidades indissociáveis.

Uma preocupação que orientou este exercício foi a necessidade de se usufruir de uma visão global, pois, como anteriormente mencionado, a noção de escala apenas é percebida corretamente quando são visualizados todos os elementos que se pretendem relacionar. Para esse efeito, é igualmente importante que exista uma visão global através de um ponto de vista humano. A título de exemplo, na tentativa de explicar a dimensão de uma área qualquer, será sempre menos claro dizer “10 hectares” do que “10 campos de futebol”, uma vez que esta última imagem nos é familiar e serve como referência.

Nos vários estudos de caso, esta característica surge poucas vezes ou de forma pouco explícita e pouco intuitiva, pelo que se entendeu relevante que o presente exercício contribuísse para atenuar esta lacuna.

Outra vantagem é a acessibilidade. Um *website* proporciona fácil acesso a partir de qualquer ponto do globo. O uso amplo e generalizado da Internet na atualidade, por si só, garante uma audiência potencialmente muito alargada (razão justificativa para o inglês ser a língua utilizada para a leitura e navegação). Saliente-se que a forma como este *website*

está concebido proporciona uma experiência original e direta, ao invés de ser um repositório de documentação escrita e visual, o que aconteceria se se limitasse a retratar uma exposição física, por exemplo. Neste caso, a experiência direta apenas aconteceria no local onde a exposição decorreu.

Deste modo, a interatividade revelou-se uma característica importante na escolha deste formato. Considerando a natureza pedagógica do projeto e o perfil do utilizador a que se dirige, uma experiência agradável de navegação é um fator cativante e que potencia a descoberta, a aprendizagem e a absorção de novos conteúdos – aprender deve ser divertido!

Por último, refira-se a flexibilidade ou escalabilidade do suporte adotado. Um *website* é, por natureza, multimédia, pois permite alojar vários formatos digitais: vídeo, áudio, fotografia, texto, etc. Além disso, admite também diversas atualizações e evoluções sempre que se considere necessário.

3.5.

OPÇÕES FORMAIS

O *website* é composto por duas partes: a *landing page* e a *homepage*. A primeira introduz as diversas funcionalidades e informações necessárias à navegação, dando acesso à segunda página, que aloja o conteúdo principal. Esta divisão destina-se a otimizar a experiência do utilizador, pois permite que a amostra presente na *homepage* seja explorada sem qualquer elemento que induza distração.

Procurou-se uniformizar o aspeto visual de ambas as páginas. Foi adotada uma paleta cromática limitada ao verde e ao preto e que faz parte do universo visual que é, por tradição, associado ao monitor de um equipamento eletrónico. De igual modo, facilita a leitura e a perceção devido ao contraste das cores.

O tipo de letra utilizado, *Input Mono* (<https://input.djr.com/>), foi concebido por David Jonathan Ross para programação, devido ao espaçamento dos caracteres e à facilidade com que são distinguidos, entre outros aspetos. É disponibilizado sem custos para uso privado. Pelas razões apontadas, recorreu-se a este tipo de letra, restringindo-se as variações de tamanho, de estilo e de peso para não constituir uma distração visual e para homogeneizar os vários componentes textuais.

A *landing page* possui um fundo totalmente negro. As orientações são dadas sobre forma de um texto corrido, sintético e situado ao centro. Por baixo deste encontra-se o botão *FIND IT!* que dá acesso à página principal. **(Fig. 36)** Caso seja necessário, esta possui a funcionalidade de voltar a mostrar as instruções.

O *layout* da *homepage* remete para a imagem de um radar, pois este é associado ao conceito de localização. Tal referência visual deve-se à

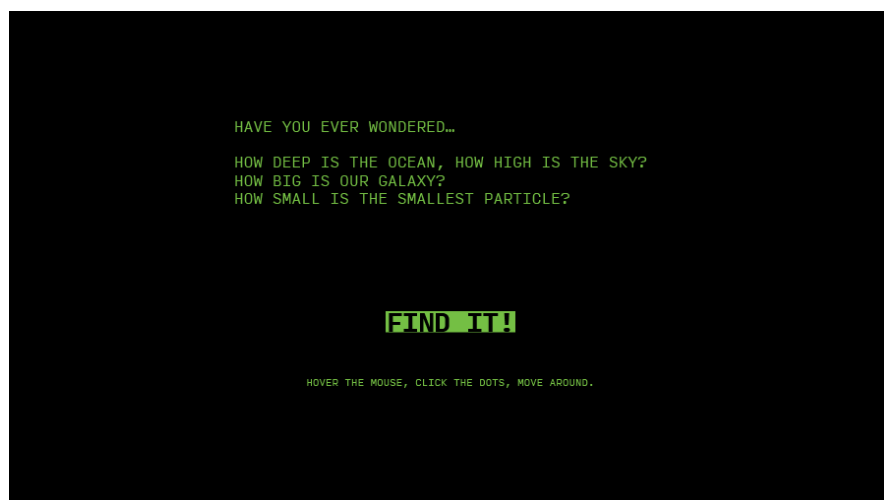


Fig. 36 - Landing page.

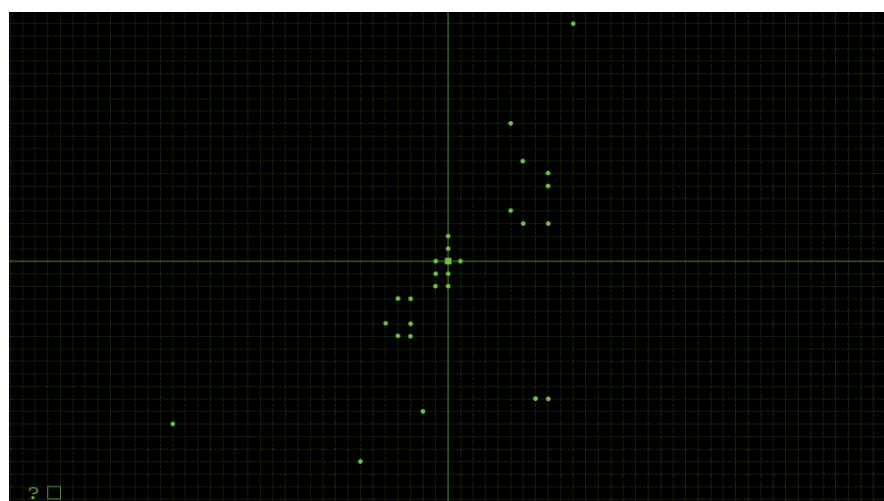
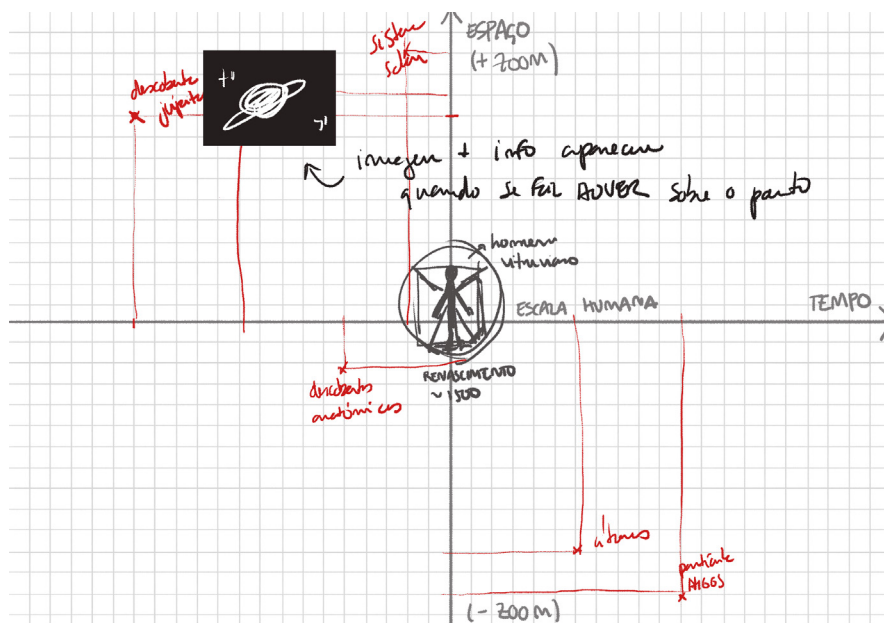
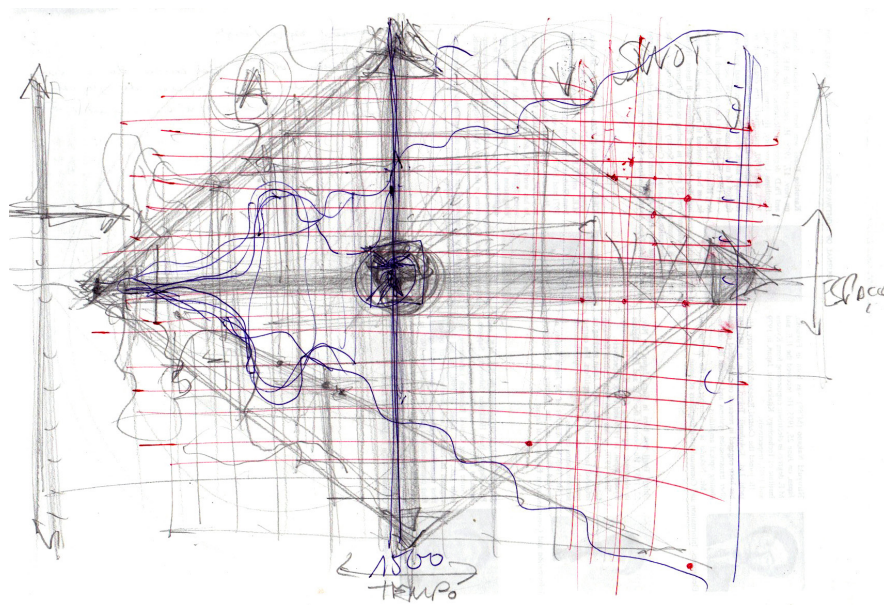


Fig. 37 - Página principal, composta por uma grelha e pelos pontos correspondentes às várias entidades da amostra.

maneira como se escolheu comunicar o tema do exercício. As várias entidades que compõem a amostra estão localizadas no espaço (ou, mais precisamente, no espaço-tempo), que aqui é representado por uma grelha ortogonal marcada por dois eixos fixos. O eixo horizontal corresponde a uma escala temporal, onde é possível medir-se o tempo de vida em anos, enquanto que o eixo vertical está graduado numa escala métrica que representa as dimensões. O centro do gráfico, onde os dois eixos se cruzam, em vez de corresponder ao valor zero, exibe as unidades de medida de um ser humano – cem anos de vida e dois metros de altura – valores arredondados para os mais próximos da escala usada. Esta escolha deve-se ao facto de o gráfico ser visto na perspetiva de um ser humano. **(Figs. 37, 38 e 39)**

A grelha está modulada em potências de base 10, o que resulta num desenvolvimento exponencial necessário para representar a grande amplitude de valores da amostra. Independentemente do eixo, cada intervalo da grelha (quadrícula) corresponde a uma progressão de uma unidade no expoente da potência, ou seja, o primeiro refere-se a 10^1 (10), o segundo a 10^2 (100), o terceiro a 10^3 (1000), o quarto a 10^4 (10000), etc. O mesmo se verifica no sentido oposto com potências de expoente negativo.

A interação com os vários componentes do gráfico é feita de duas formas: passando o cursor por cima (*hover*) ou clicando no elemento com que se pretende interagir. O primeiro processo é usado para obter informação sobre os dois eixos fixos, revelando a sua designação e a unidade de medida (*LIFESPAN/YEARS* para o eixo dos XX e *SCALE/METERS* para o eixo dos YY), e para conhecer a escala de todo o gráfico (ao passar o cursor por cima da quadrícula em destaque no canto inferior esquerdo surge a legenda = *1 POWER OF TEN*). Este processo é ainda usado para identificar os pontos correspondentes às várias entidades da amostra pelo respetivo nome. **(Figs. 40, 41, 42 e 43)** Por outro lado, a ação de clicar é utilizada para abrir janelas de *pop-up* (*LEARN MORE*) em cada um daqueles pontos, exibindo informações



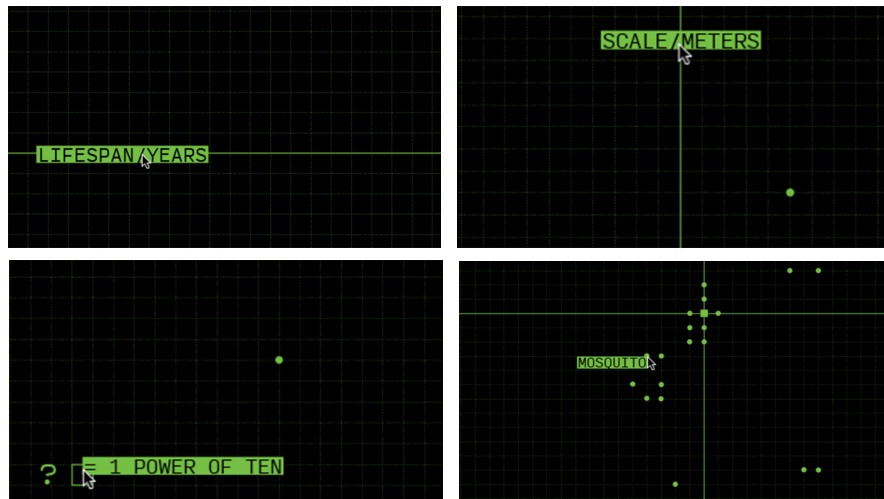
Figs. 38 e 39 - Protótipos da estrutura para a *main page*. Pode observar-se desde já a presença de componentes do *layout* tais como a quadrícula, os eixos ortogonais ou a presença do homem ao centro, entre outros.

adicionais. O mesmo processo é também usado para dar acesso à página principal a partir da *landing page*, através de um botão (*FIND IT!*), e para voltar a ver as instruções de navegação numa janela denominada *HOW IT WORKS*.

Os pontos que correspondem às várias entidades da amostra estão distribuídos pela grelha, posicionados nas suas interseções de acordo com as respetivas coordenadas – valores de longevidade e de dimensão. O ponto central, o homem, é representado por um quadrado que se destaca dos restantes. **(Fig. 44)**

As janelas de *pop-up* são um elemento fundamental do exercício, pois permitem aceder a informação adicional respeitante a cada uma das entidades. Por questões de comodidade e leitura da grelha, estas janelas podem ser movidas com o cursor e minimizadas.

O conteúdo das janelas inclui uma imagem ilustrativa, para facilitar a rápida identificação das diferentes entidades, a sua designação comum, o seu tempo de vida e as suas dimensões, exibidas sob a forma numeral para melhor compreensão da sua grandeza atendendo ao perfil do utilizador definido (por exemplo, a forma 1 000 000 000 é mais expressiva do que a forma 10^9). **(Figs. 45 e 46)** As imagens foram alvo de um tratamento digital, no sentido de as simplificar e uniformizar no quadro da estética do exercício.



Figs. 40, 41, 42 e 43 - Utilização da funcionalidade de *hover* para revelar as designações e unidades de medida dos eixos dos XX e dos YY, a escala da quadrícula e a legenda dos diferentes pontos, respectivamente.

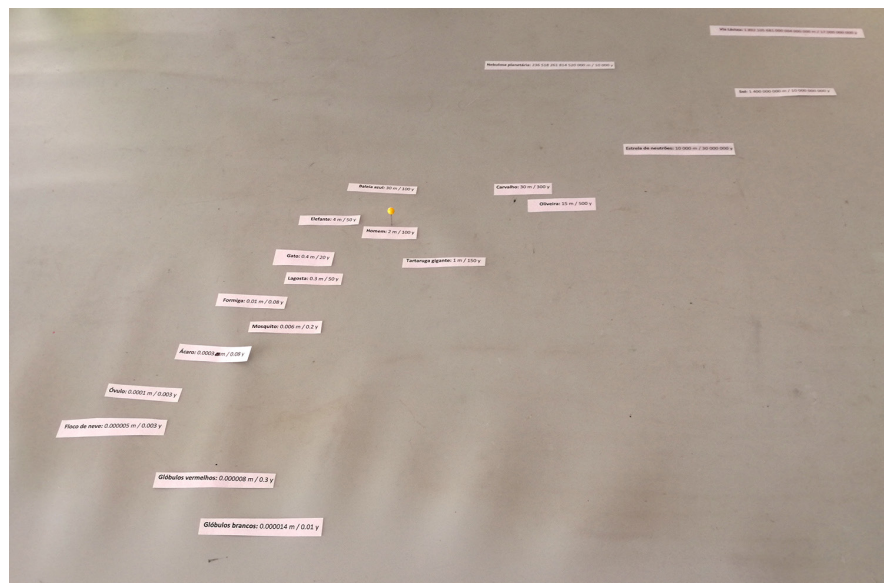
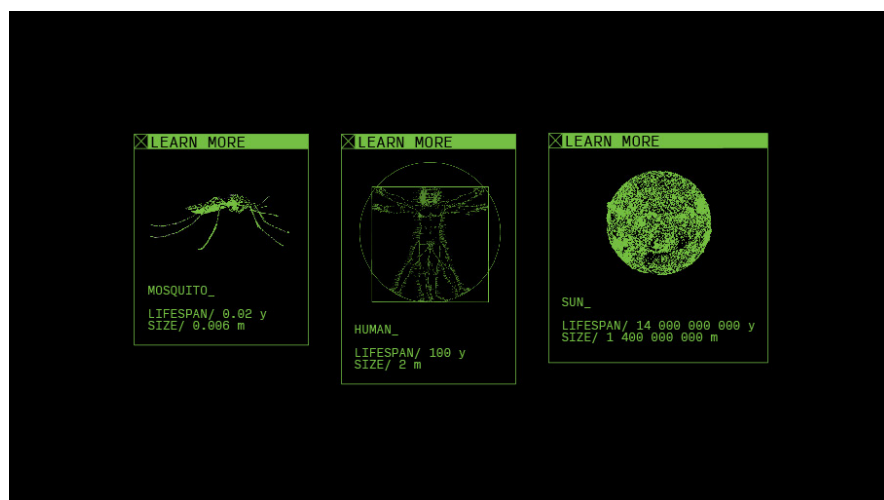
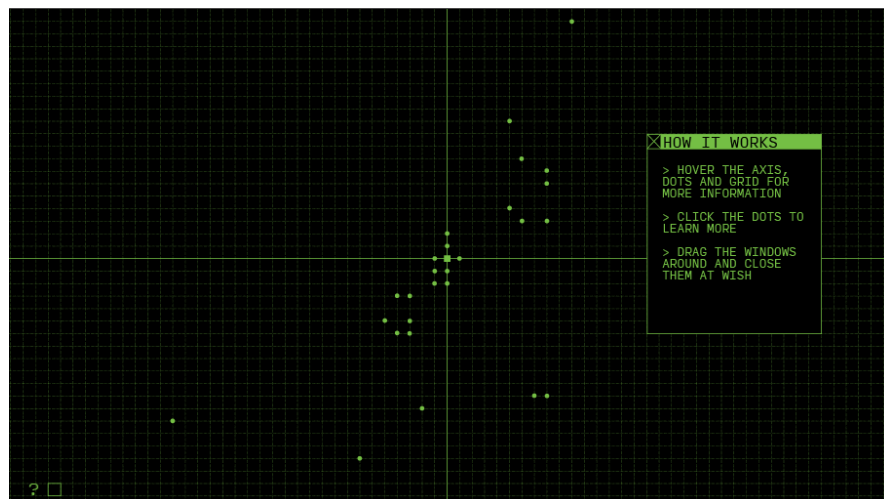


Fig. 44 - Experiência de posicionamento das diferentes entidades da amostra através de recursos físicos (etiquetas).



Figs. 45 e 46 - Janela *pop-up* contendo indicações sobre o funcionamento do website (em cima) e três exemplos de janelas com informação adicional sobre diferentes pontos da grelha (em baixo).

4.

CONCLUSÕES

Para sublinhar a importância do Design como ferramenta de comunicação visual para a Ciência, foram desenvolvidas três ações em paralelo: uma investigação de caráter teórico, onde se procurou recolher a maior quantidade de informação possível sobre o tópico, uma análise de diversos estudos de caso e um exercício projetual para explorar aquela premissa.

A investigação teórica forneceu uma série de textos oriundos quer da área da Ciência, quer da área do Design, que advogam as vantagens da visualização para a comunicação do conhecimento científico. Outros textos vão mais longe e referem as potencialidades da utilização do Design como ferramenta de trabalho de cientistas e investigadores.

Adicionalmente, foi feita uma auscultação a dois investigadores e professores do campo da Física, sob a forma de questionários **(29)**. As respostas obtidas confirmaram, por um lado, a utilidade da visualização para a comunicação e, por outro lado, o requisito de a Ciência ser comunicada, como património da humanidade que é.

Uma primeira conclusão revela, então, que os resultados desta investigação teórica parecem demonstrar que o Design pode contribuir para a comunicação em Ciência.

Na análise de vários estudos de caso pôde verificar-se que todos eles tentam representar a relação de tamanho entre realidades muito diversas e de várias naturezas usando técnicas e meios que vão desde o material impresso ao vídeo, passando pelos suportes digitais. Todavia, nem sempre é conseguida uma visão de conjunto. Da mesma maneira, a perspetiva humana encontra-se, por vezes, ausente. Pode concluir-se

(29) Consultar os anexos [6.2. Questionário geral: Prof. Sushil Mendiratta](#)
e [6.3. Questionário específico: Prof. Carlos Herdeiro](#).

que este facto se deve, provavelmente, à dificuldade em conjugar todos estes requisitos simultaneamente no mesmo tipo de suporte.

O exercício projetual constitui uma proposta de exploração das premissas já enunciadas. Por essa razão, algumas questões foram contempladas, mas não desenvolvidas. Referimo-nos à escalabilidade, isto é, à possibilidade de incorporar futuramente novos elementos para tornar a amostra mais variada e mais rica, e à função responsiva, que permite a adaptação do *layout* a outros formatos, nomeadamente aos dos dispositivos móveis. Procurou-se explicar visualmente o conceito de escala que, não obstante ser relativamente inteligível em situações próximas das dimensões humanas, torna-se difícil de imaginar quando se exploram simultaneamente grandezas microscópicas e cósmicas. Ao fazê-lo, tentou-se também dar resposta a aspetos menos conseguidos nos estudos de caso, como mencionado no parágrafo anterior.

O sistema de visualização que disponibiliza o exercício projetual evidencia a prevalência de relações de proporcionalidade direta entre o tamanho dos elementos e o seu tempo de vida, como por exemplo a grande longevidade dos corpos celestes em oposição ao carácter efémero das partículas subatómicas. Outra observação possível no exercício é a organização espectral dos vários elementos da amostra em três grandes zonas: o infinitamente pequeno (até cerca de 0.000000000175 metros), o infinitamente grande (a partir de 4 880 000 metros, aproximadamente) e, entre eles, uma faixa intermédia onde se situam os seres vivos. Verifica-se que a escala humana corresponde, no fundo, à escala da vida.

Em conclusão, este exercício evidencia a importância de uma visualização apropriada para se conseguir o entendimento e a articulação adequados de um conceito científico, pois permite tornar acessível o tema escolhido a um conjunto de indivíduos definidos no perfil de utilizador.

A exploração desenvolvida por intermédio do exercício projetual reforça, portanto, as ideias acima expostas, que vêem como favorável uma colaboração entre o Design de Comunicação e a Ciência.

5.

FONTES CONSULTADAS

Banyai, I. (2014). *Zoom*. Matosinhos: Kalandraka.

Borkin, M. A. (2014). *Perception, cognition, and effectiveness of visualizations with applications in science and engineering*. Tese de doutoramento, Harvard University. Retirado em maio 18, 2021 de <http://nrs.harvard.edu/urn-3:HUL.InstRepos:12274335>

Cambridge Educational (produtor) (1999). *Scientific method* [Vídeo]. Estados Unidos da América: Films Media Group.

Crouch, L. (2012). *Science and design – parallel processes?* Retirado em setembro 29, 2020 de <https://lizziecrouch.com/2012/03/26/dsrg-science-and-design-parallel-processes/>

Design Council. (2019). *What is the framework for innovation? Design Council's evolved Double Diamond*. Retirado em junho 13, 2021 de <https://www.designcouncil.org.uk/news-opinion/what-framework-innovation-design-councils-evolved-double-diamond>

Droste, M. (1992). *Bauhaus*. Alemanha: Benedikt Taschen Verlag GmbH.

Eames, C. & Eames, R. (1977). *Powers of ten*. [Vídeo]. Retirado em julho 13, 2021 de <https://www.youtube.com/watch?v=ofKBhvDjuyo>

Eames Office. *Powers of ten and the relative size of things in the universe*. Retirado em julho 13, 2021 de <https://www.eamesoffice.com/the-work/powers-of-ten/>

Fernando, S. (2019). *Poderá o design incitar o olhar da ciência?* [Vídeo]. Retirado em setembro 30, 2020 de https://www.ted.com/talks/susana_fernando_podera_o_design_incitar_o_olhar_da_ciencia

Frampton, K. (1983). La Deutsche Werkbund, 1989-1927. *Historia crítica de la arquitectura moderna*. México: Ediciones G. Gili, S.A.

Frantz, A. (2012). *The science of art and the art of science*. [Vídeo]. Retirado em setembro 30, 2020 de <https://www.youtube.com/watch?v=VU8uvJkMBaA>

Helfand, J. (2007). *Science and design: the next wave*. Retirado em setembro 16, 2020 de <https://designobserver.com/feature/science-and-design-the-next-wave/6077>

Illustration History. *Istvan Banyai – illustration history*. Retirado em julho 16, 2021 de <https://www.illustrationhistory.org/artists/istvan-banyai>

Koenig, G. (2007). *Eames*. Lisboa: TASCHEN.

Latour, B. (1986). *Visualization and cognition: drawing things together*. In H. Kuklick (ed.). *Knowledge and society studies in the sociology of culture past and present*. Jai Press, 6, 1–40. Retirado em junho 3, 2021 de <http://worrydream.com/refs/Latour%20-%20Visualisation%20and%20Cognition.pdf>

Lynch, K. (1982). *A Imagem da cidade*. Lisboa: Edições 70.

Marquand, A. (1889). *On scientific method in the study of art*. In O'Donnell & C. Oliver (ed.). *European Journal of Pragmatism and American Philosophy*, VIII. Retirado em junho 13, 2021 de <https://journals.openedition.org/ejpap/651>

McCormick, P. (1995). *All things reconsidered – the New York times*. Retirado em julho 16, 2021 de <https://www.nytimes.com/1995/11/12/books/all-things-reconsidered.html>

Melodysheep. (2019). *TIMELAPSE OF THE FUTURE: A Journey to the End of Time (4K)*. [Vídeo]. Retirado em agosto 13, 2021 de <https://www.youtube.com/watch?v=uD4izuDMUQA>

Müller, B. (2017). *Bringing design to science*. Retirado em junho 9, 2021 de <https://borism.medium.com/bringing-design-to-science-3fa653f2c149>

Neurath, O. (1936). *International picture language*. Londres: K. Paul, Trench, Trubner & co., ltd. Retirado em junho 19, 2021 de <https://archive.org/details/internationalpicooneur/mode/2up>

Nichols, A. J & Stephens, A. H. (2013). *The scientific method and the creative process: Implications for the K-6 classroom*. Journal for Learning through the Arts, 9(1). Retirado em 14 junho, 2021 de <https://escholarship.org/uc/item/oz72t75q>

Ostroff, D. (2016). *Why did Charles and Ray Eames make models | Eames office*. Retirado em julho 11, 2021 de <https://www.eamesoffice.com/blog/why-did-charles-and-ray-eames-make-models/>

Rieber, L. P. (1995). *A historical review of visualization in human cognition*. Educational Technology Research and Development, 43(1), 45–56. Retirado em maio 18, 2021 de <https://doi.org/10.1007/BF02300481>

Rigutto, C. (2017). *The landscape of online visual communication of science*. JCOM 16 (02), Co6_en. Retirado em junho 18, 2021 de https://jcom.sissa.it/archive/16/02/JCOM_1602_2017_Co1/JCOM_1602_2017_Co6

Shepard, R. (1988). *The imagination of the scientist*. In K. Egan & D. Nadaner (eds.). *Imagination and education*. Nova Iorque: Teachers College Press.

Sorensen, V. (1989). *The contribution of the artist to scientific visualization*. Retirado em junho 17, 2021 de <http://visualmusic.org/text/scivi1.html>

Stellan, O. (2011). *Deep learning: how the mind overrides experience*. Nova Iorque: Cambridge University Press.

The Royal Society. (1985). *The public understanding of science*. Retirado em junho 17, 2021 de https://royalsociety.org/-/media/Royal_Society_Content/policy/publications/1985/10700.pdf

Tufte, E. (2001). *The visual display of quantitative information*. Cheshire, Connecticut: Graphics Press.

Valle, M. (2013). *Visualization: a cognition amplifier*. *International Journal of Quantum Chemistry*, 113, 2040-2052. Retirado em maio 20, 2021 de <https://www.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/qua.24480>

Weinstein, C. & Mayer, R. (1986). *The teaching of learning strategies*. *Innovation Abstracts*, 5(32). Retirado em maio 23, 2021 de <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED237180.pdf>

6.

ANEXOS

Lista de elementos da amostra

Questionário geral: Prof. Sushil Mendiratta

Questionário específico: Prof. Carlos Herdeiro

6.1.

LISTA DE ELEMENTOS DA AMOSTRA

1 . Neutrão

Dimensões: 0.00000000000000016 metros

Longevidade: 0.00003 anos

Fonte: <https://www.quora.com/What-is-the-size-of-a-neutron>, <https://pt.wikipedia.org/wiki/N%C3%AAutron>

2. Tau

Dimensões: 0.0000000000002 metros

Longevidade: 0.00000000000000000009 anos

Fonte: C. Herdeiro, e-mail, agosto 10, 2021, [https://pt.wikipedia.org/wiki/Tau_\(part%C3%ADcula\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Tau_(part%C3%ADcula))

3. Hidrogénio (Trítio)

Dimensões: 0.000000000025 metros

Longevidade: 12 anos

Fonte: <https://en.wikipedia.org/wiki/Hydrogen>, <https://pt.wikipedia.org/wiki/Tr%C3%ADtio>

4. Urânio-235

Dimensões: 0.000000000175 metros

Longevidade: 700 000 000 anos

Fonte: <https://en.wikipedia.org/wiki/Uranium>

5. Urânio-238

Dimensões: 0.000000000175 metros

Longevidade: 4 500 000 000 anos

Fonte: <https://en.wikipedia.org/wiki/Uranium>

6. Floco de neve

Dimensões: 0.000005 metros

Longevidade: 0.003 anos

Fonte: <https://treehozz.com/what-is-the-average-size-of-a-snowflake>

7. Glóbulo vermelho

Dimensões: 0.000008 metros

Longevidade: 0.3 anos

Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Red_blood_cell, https://stanfordbloodcenter.org/how_long_do_red/

8. Óvulo

Dimensões: 0.0001 metros

Longevidade: 0.003 anos

Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Egg_cell, <https://ovulationnsymptoms.netlify.app/lifespan-of-human-egg-after-ovulation.html>

9. Ácaro

Dimensões: 0.0003 metros

Longevidade: 0.08 anos

Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/%C3%81caro>

10. Mosquito

Dimensões: 0.006 metros

Longevidade: 0.2 anos

Fonte: <https://en.wikipedia.org/wiki/Mosquito>

11. Formiga

Dimensões: 0.01 metros

Longevidade: 0.08 anos

Fonte: <https://en.wikipedia.org/wiki/Ant>

12. Musgo

Dimensões: 0.1 metros

Longevidade: 10 anos

Fonte: <https://en.wikipedia.org/wiki/Moss>, <https://boardgamestips.com/helpful-tips/what-is-the-lifespan-of-moss/>

13. Lagosta

Dimensões: 0.3 metros

Longevidade: 50 anos

Fonte: <https://en.wikipedia.org/wiki/Lobster>

14. Gato

Dimensões: 0.4 metros

Longevidade: 20 anos

Fonte: <https://en.wikipedia.org/wiki/Cat>

15. Homem

Dimensões: 2 metros

Longevidade: 100 anos

16. Elefante

Dimensões: 4 metros

Longevidade: 50 anos

Fonte: <https://en.wikipedia.org/wiki/Elephant>

17. Oliveira

Dimensões: 15 metros

Longevidade: 500 anos

Fonte: <https://en.wikipedia.org/wiki/Olive>, <https://green-infos.com/library/lecture/read/212407-what-is-the-lifespan-of-an-olive-tree>

18. Tiranossauro

Dimensões: 13 metros

Longevidade: 30 anos

Fonte: <https://en.wikipedia.org/wiki/Tyrannosaurus>

19. Carvalho

Dimensões: 30 metros

Longevidade: 300 anos

Fonte: <http://www.mysunnylawn.com/a59617.php>

20. Baleia azul

Dimensões: 30 metros

Longevidade: 100 anos

Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Blue_whale, <https://www.whalefacts.org/blue-whale-lifespan/>

21. Monte Evereste

Dimensões: 8848 metros

Longevidade: 58 848 000 anos

Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Mount_Everest, <https://hudsonvalleygeologist.blogspot.com/2013/01/normal-o-false-false-false-en-us-x-none.html>

22. Cometa Halley

Dimensões: 15 000 metros

Longevidade: 10 000 000 000 anos

Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Halley%27s_Comet, C. Herdeiro, e-mail, agosto 10, 2021

23. Ilha do Hawaii

Dimensões: 148 059 metros

Longevidade: 30 300 000 anos

Fonte: <https://askinglot.com/how-many-miles-long-is-the-big-island-of-hawaii>, <https://www.sfgate.com/news/article/Kiss-that-Hawaiian-timeshare-goodbye-Islands-2468202.php>

24. Mercúrio

Dimensões: 4 880 000 metros

Longevidade: 10 000 000 000 anos

Fonte: [https://en.wikipedia.org/wiki/Mercury_\(planet\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Mercury_(planet)), C. Herdeiro, e-mail, agosto 10, 2021

25. Júpiter

Dimensões: 70 000 000 metros

Longevidade: 14 000 000 000 anos

Fonte: <https://en.wikipedia.org/wiki/Jupiter>, C. Herdeiro, e-mail, agosto 10, 2021

26. Sol

Dimensões: 1 400 000 000 metros

Longevidade: 14 000 000 000 anos

Fonte: <https://en.wikipedia.org/wiki/Sun>, <https://www.britannica.com/place/Sun/Evolution>

27. Betelgeuse

Dimensões: 1 400 000 000 000 metros

Longevidade: 10 000 000 anos

Fonte: <https://en.wikipedia.org/wiki/Betelgeuse>, https://en.wikipedia.org/wiki/Stellar_evolution

28. Via Láctea

Dimensões: 1 892 105 681 000 004 000 000 metros

Longevidade: 19 000 000 000 anos

Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Milky_Way, https://en.wikipedia.org/wiki/Andromeda%E2%80%93Milky_Way_collision

6.2.

QUESTIONÁRIO GERAL: PROF. SUSHIL MENDIRATTA

1. Considera possível desenvolver uma atividade científica, em geral, a um nível maioritariamente abstrato ou técnico, sem qualquer suporte visual? No que toca ao campo de investigação, julga possível trabalhar apenas com fórmulas e cálculos matemáticos, por exemplo, e dispensar o referido suporte visual?

Um suporte visual ajuda a ter uma perspectiva global, nalguns casos, e uma ilustração de ideias genéricas, nos outros.

2. Acha importante que os resultados da investigação científica sejam comunicados para fora da comunidade científica de uma maneira acessível?

Sim. O conhecimento científico, bem como o literário, é um património colectivo de humanidade e, por isso, deve ter acesso livre e universal.

3. Qual a sua opinião sobre o papel do Design neste contexto? Considera isso relevante e/ ou exequível?

Não percebo muito bem o âmbito de significado da palavra “Design”, por isso não posso responder esta pergunta.

4. Que instrumentos conhece que sejam frequentemente utilizados como auxiliares de visualização na investigação e na divulgação científica (infografias, software, gráficos, simulações, ilustrações, diagramas, etc.)?

Diria que ilustrações e diagramas são os utilizados mais frequentemente.

5. Na área das ciências exatas, como a Matemática ou a Física, existem temas importantes que sejam, atualmente, objeto de investigação? Quais? Possuem caráter iminentemente teórico ou abstrato?

É muito difícil responder a esta pergunta; qualquer área de ciência, hoje em dia, é um mundo vasto de conhecimento de conceitos teóricos e de técnicas específicas.

6. Estes temas beneficiariam do Design como auxiliar de visualização para a sua investigação ou comunicação?

Penso que a maior parte de temas beneficiaram de ferramentas de “Design” para melhorar a comunicabilidade de conceitos e ideias subjacentes.

Nota: As respostas do Prof. Sushil Mendiratta encontram-se escritas segundo o antigo acordo ortográfico.

6.3.

QUESTIONÁRIO ESPECÍFICO: PROF. CARLOS HERDEIRO

1. O que significa exatamente o conceito de “granularidade do espaço-tempo”?

Historicamente, o espaço e o tempo começaram por ser entendidos, no âmbito da física clássica, como malhas lisas e ininterruptas, ou seja, como contínuos. Mas a física do séc. XX, nomeadamente a teoria da relatividade, unifica o espaço e o tempo num contínuo quadridimensional, o “espaço-tempo”. A teoria da relatividade geral é uma descrição da gravidade. Por outro lado, a física moderna, nomeadamente a mecânica quântica, mostra que muitas quantidades físicas aparecem quantificadas a nível microscópico, por exemplo a energia da radiação eletromagnética vem em “pacotes” ou quantões: os fótons.

A hipótese da granularidade do espaço-tempo surge em algumas teorias que tentam descrever a gravidade a nível microscópico, e propõe que, a esse nível, essa malha revelará ser composta por grãos, ou seja, é descontínua. Estes grãos são os blocos fundamentais, os “quantões” de construção do espaço e do tempo, ou seja, a unidade de medida mais pequena do espaço-tempo.

Imaginemos um deserto ou uma praia: apesar de as respetivas superfícies parecerem uniformes e suaves vistas a uma certa distância, são compostas por pequenos grãos que ficam claros quando fazemos uma observação próxima. Uma outra analogia é a semelhança à espuma, pois aparenta ter uma superfície suave e estática de longe, mas ao perto revela-se não só composta por

uma rede de filamentos mas, adicionalmente, dinâmica, com estes filamentos a serem permanentemente desfeitos e refeitos.

2. Qual é a relevância deste tema no contexto da Ciência atualmente?

A procura de uma descrição fundamental e microscópica da gravidade é uma espécie de “Santo Graal” da física moderna. Uma tal teoria irá conter noções fundamentais: o espaço é o palco e o tempo é a legenda. O facto do espaço ter uma estrutura granulada terá implicações conceptuais e observacionais. Isto é importante em áreas como a Cosmologia para permitir compreender melhor algumas questões: a origem do universo (a teoria do Big Bang), o que poderá estar no centro de um buraco negro, etc. De certa maneira, pode-se dizer que esta teoria é usada na tentativa de resolver alguns dos maiores mistérios da física moderna, que se ligam a algumas grandes questões filosóficas (como se o Universo poderá ter tido um início).

A granularidade do espaço-tempo é, de facto, o casamento entre o infinitamente pequeno (o nível quântico) e o infinitamente grande (o nível astronómico). Tentar unificar leis de teorias diferentes de um modo consistente é bastante difícil. Como já mencionado, a hipótese da granularidade do espaço-tempo cai no âmbito da gravidade a um nível microscópico, isto é, da gravidade quântica.

3. Existem algumas dificuldades específicas neste campo de investigação científica? É (ou poderá ser) este conceito trabalhado corretamente a um nível abstrato, ou existem já representações gráficas? Seria útil ou necessário alguns elementos mais concretos, tais como imagens ou representações, por exemplo? Um investigador necessita de esboçar ou criar esquemas com as suas ideias para o ajudar a pensar?

A nível científico, as dificuldades em confirmar a hipótese da granularidade do espaço tempo devem-se, maioritariamente, à inexistência de dados observacionais sobre os regimes onde esta granularidade pode ter consequências observáveis. Por exemplo, observações sobre buracos negros ou sobre o Big Bang são notoriamente difíceis. Há, por isso, a necessidade de recorrer a modelos matemáticos e ao estabelecimento de hipóteses, mas que não são universais, isto é, decorrem de modelos específicos.

A descrição de átomos, por exemplo, ilustra estas dificuldades. A Mecânica Quântica é uma construção fenomenológica. Seria complicado (impossível mesmo) ter descoberto a mecânica quântica apenas com base em princípios de consistência matemática; foi fundamental basearmo-nos em dados experimentais. No caso da gravitação quântica, estes dados ainda não existem de uma maneira clara. Ainda assim, as recentes observações de buracos negros (através de ondas gravitacionais e outros métodos), começam a prometer pistas sobre a gravitação quântica.

A introdução da dinâmica quântica na gravitação pode levar à compreensão de alguns dos grandes mistérios atuais. Um exemplo é a noção do vazio, na Física de Partículas. Classicamente, o vazio é entendido como a ausência de matéria. Por um lado, a relatividade ensina-nos que matéria e energia são a mesma coisa ($E=mc^2$). Logo, o vazio teria de ser a ausência de energia também. Por outro lado, a mecânica quântica ensina-nos que não podemos ter em simultâneo ausência de energia e a variação de energia (é uma versão do princípio da incerteza de Heisenberg). Logo, o “vazio” terá necessariamente flutuações de energia e corresponderá a uma “espuma” dinâmica em que partículas (ditas virtuais) surgem e se extinguem. Assim, o vazio não é estático, mas sim dinâmico, como pode ser confirmado através da colisão de partículas em aceleradores. No contexto da gravidade, esta dinâmica do vazio

poderá explicar um dos grandes mistérios da Cosmologia moderna – a expansão acelerada do Universo.

A teoria da granularidade do espaço-tempo descreve uma força: a gravidade. Como não se conhecem bem as suas regras, é necessário formular teorias que tenham hipótese de vir a ser comprovadas. Na verdade, nunca conseguimos provar em absoluto que uma teoria é correta, apenas o quão perto se encontra da realidade, nem podemos classificar os modelos teóricos como certos ou errados.

4. Necessita (ou poderá necessitar) este conceito de elementos visuais para ser mais bem compreendido, estudado ou comunicado?

As analogias são muito poderosas. São úteis para comunicar com o público em geral, visto que conceitos como este são, normalmente, bastante complexos. Não são apenas imagens do mundo real, funcionam também como ferramentas.

5. Que auxiliares de visualização existem já no que toca a este conceito (infografias, software, gráficos, simulações, ilustrações, diagramas, etc.)?

Já existem algumas equipas que trabalham com modelos. O modelo denominado *Casual Dynamic Triangulations* é semelhante a ilustrações, muito visual e intuitivo. Outros modelos, como a Teoria das Cordas, a gravidade quântica, etc., são mais abstratos, mas igualmente válidos.

6. Tem conhecimento de mais algum projeto de natureza gráfica com um tema igual ou semelhante a este no campo da Física? Se sim, qual ou quais?

Não tenho conhecimento, mas acredito que haja a possibilidade de já existirem estudos realizados por pessoas de outras áreas.

7. Qual a sua opinião sobre a ideia de visualizações como uma ferramentas da comunicação e investigação científica? Considera isso relevante e/ ou exequível?

A comunicação é muito útil. Agrade-me comunicar com o público em geral. Para este efeito, normalmente, utilizo imagens da autoria de artistas visuais tais como Escher (matemática, paradoxos) e Dalí (*A Persistência da Memória* como uma analogia para deformações do tempo). Estas são boas para representar estes conceitos, independentemente de essa ter sido a intenção original do artista.

No caso da teoria da granularidade do espaço-tempo, poderá ser útil relacioná-la com obras cubistas. O fator mais importante é a imagem escolhida ser simples sem perder rigor.



