

J. PINTO PEIXOTO • F. R. DIAS AGUDO • J. TIAGO DE OLIVEIRA • J. CAMPOS FERREIRA
MARGARITA RAMALHO • A. RIBEIRO GOMES • ARMANDO POLICARPO • F. DUARTE SANTOS
J. GOMES FERREIRA • L. A. MENDES VICTOR • MANUEL LARANJEIRA • M. GOMES GUERREIRO
J. CÂNDIDO DE OLIVEIRA • ROBALO CORDEIRO • J. CELESTINO DA COSTA • A. CASTRO CALDAS
BARAHONA FERNANDES • ARANTES E OLIVEIRA • A. F. CARVALHO QUINTELA • A. BARBOSA
DE ABREU • GOUVÊA PORTELA • L. BRAGA CAMPOS • J. J. DELGADO DOMINGOS • A. F.
OLIVEIRA FALCÃO • DOMINGOS MOURA • H. CAMPOS NETO • A. LARCHER BRINCA • J. F.
QUINTINO ROGADO • M. AMARAL FORTES • M. BAPTISTA BRAZ • M. PEREIRA COUTINHO
FERNANDO ESTÁCIO • P. O. PEREIRA SANTOS • A. A. MONTEIRO ALVES • BRITALDO RODRI-
GUES • L. AIRES DE BARROS • MATOS ALVES • M. PORTUGAL FERREIRA • ANTÓNIO RIBEIRO
FRANCISCO GONÇALVES • TELLES ANTUNES • LUÍS ARCHER • J. MONTEZUMA DE CARVALHO
J. FIRMINO MESQUITA • ABÍLIO FERNANDES • J. MALATO-BELIZ • ARSÊNIO PATO DE
CARVALHO • A. XAVIER DA CUNHA • ALLEN DEBUS • J. SIMÕES REDINHA • SEBASTIÃO
J. FORMOSINHO • A. M. A. ROCHA GONSALVES • L. ALMEIDA ALVES • OLIVEIRA CABRAL
FRAÚSTO DA SILVA • JOSÉ V. PINA MARTINS • AMÉRICO COSTA RAMALHO • FERNANDO
REBELO • C. ALBERTO MEDEIROS • ILÍDIO DO AMARAL • MANUEL GARRIDO ARAÚJO
MANUEL VIEGAS GUERREIRO • A. SIMÕES LOPES • A. SOUSA FRANCO • ONÉSIMO T. ALMEIDA
JUSTINO MENDES DE ALMEIDA • FRANCISCO GAMA CAEIRO • RÔMULO DE CARVALHO

HISTÓRIA E DESENVOLVIMENTO DA CIÊNCIA EM PORTUGAL NO SÉC. XX

I VOLUME



PUBLICAÇÕES DO II CENTENÁRIO DA ACADEMIA DAS CIÊNCIAS DE LISBOA
LISBOA • 1992

A CIÊNCIA PORTUGUESA NO SÉCULO XX. O CASO DA ENGENHARIA DAS ESTRUTURAS

E. R. DE ARANTES E OLIVEIRA *

Summary

The favourable conditions set by a comparatively important national demand explain that structural engineering has been one of the main areas of scientific activity in Portugal.

Three kinds of scientifically relevant activities — i) formation, ii) R/D&D, iii) design and building whenever innovative — being possibly considered in such area, three stages may be envisaged in connection with such activities in the history of structural engineering in Portugal during the XXth century.

Activities falling into i) and iii) were predominant during the first stage, as important programs of public works increased the demand for highly skilled structural engineers. The second stage was characterized by the growth of R/D&D activities within the institutional frame of the National Laboratory of Civil Engineering. The development of University research, and the resulting development of fundamental research in structural engineering, was the main feature of the third stage.

It was during this last stage that structural analysis progressed so as to cope with the demands of the existing structural idealizations. A fourth stage may follow during which an important part of the research effort in Portugal will be directed towards improving such idealizations.

Poucas áreas da actividade científico-tecnológica terão conhecido, neste século, em Portugal, um desenvolvimento tão notável como a da engenharia de estruturas.

Uma das explicações para tal desenvolvimento é, sem dúvida, a de esta actividade constituir uma grande tradição nacional.

* Universidade Técnica de Lisboa/Instituto Superior Técnico.

Não desejando sair dos limites da época que nos foi indicada, não parece fora de propósito lembrar os grandes êxitos e contribuições da engenharia de estruturas portuguesa em séculos passados e chamar a atenção para que, em certos aspectos, não se registou, até aos nossos dias, quebra de continuidade.

Parece-nos porém essencial chamar a atenção para uma outra explicação: a de as contribuições originais da engenharia de estruturas portuguesa terem resultado, em grande parte, em cada século, de solicitações associadas com condições favoráveis da procura, condições estas que no nosso século indubitavelmente se reuniram.

Não foi por acaso que fomos percursores por exemplo, na construção pré-fabricada, ou que foi em Portugal que apareceu o primeiro regulamento anti-sísmico.

Também não foi por acaso que o nível da nossa engenharia desceu durante o século XIX e que não acompanhámos, senão com desfazamento, as duas grandes revoluções que se verificaram, durante esse século, na engenharia de estruturas: as que resultaram respectivamente da aplicação dos princípios da Mecânica e da utilização de novos materiais, especialmente dos materiais metálicos, produto da 1.^a Revolução Industrial.

Mas a expansão de actividade que se verificou por meados desse século, sob a égide de Fontes Pereira de Melo, em virtude da construção dos caminhos de ferros e de outras infraestruturas, não fez mais que confirmar a regra.

*

Falando da Medicina, como poderia ter falado da Engenharia, Ortega y Gasset lembrou que ela não é, em si mesma, ciência mas profissão, isto é, uma actividade prática.

Como tal, o seu ponto de vista é diferente do da Ciência: «entra nesta, deita mão de tudo quanto lhe pareça a propósito, toma dos seus resultados o que julga mais eficaz, mas deixa o resto».

Segundo Ortega, «ela está aí para encontrar soluções. Se estas forem científicas, tanto melhor, mas não é indispensável que o sejam. Podem proceder de uma experiência milenária que a Ciência ainda não explica nem sequer consagra».

Ora, tal situação, sem deixar de ser inevitável, é cada vez menos compatível com uma conjuntura como a dos nossos dias em que, cons-

truindo-se mais, mais rapidamente e, por conseguinte, forçosamente, de modo mais económico que em qualquer outra época da História, não só se tornou permanente a necessidade de inovar, mas a profissão passou a ser exercida por um numerosíssimo corpo de engenheiros entre os quais os excepcionalmente dotados não podem ser mais que uma escassa minoria.

Em trabalho dedicado à obra científica de umas personalidades dominantes da história da engenharia das estruturas portuguesa deste século, Manuel Rocha, afirmámos que, por essa razão, ele sempre tinha defendido, que o sentido do progresso na Engenharia é o de esta se tornar cada vez mais transparente e menos misteriosa, mais racional e menos intuitiva, mais científica e menos empírica.

Isto sem prejuízo do que também lembra Ortega y Gasset, isto é, do facto de, «ao entrar na profissão, a Ciência ter de desarticular-se como Ciência para se organizar, segundo outro centro ou princípio, como técnica profissional».

Assim a Engenharia, ao assimilar a Ciência não se torna infiel à sua missão. Fecundada pela Ciência, não se converte ela própria em Ciência, não perde a sua especificidade, não deixa de ser engenharia. Passa simplesmente, de Técnica, ao que hoje chamamos Tecnologia.

A Ciência sofre por seu lado um impacto que determina o constante desenvolvimento das chamadas Ciências da Engenharia.

Considerações necessárias para que se reconheça, na actividade científica ligada à Engenharia, dois tipos de agentes: os investigadores das Ciências da Engenharia e os que promovem a utilização da Ciência na Engenharia.

Estas considerações levam-nos a identificar, na Engenharia de Estruturas, três tipos de actividades com significado científico:

- 1 — as actividades de formação;
- 2 — as de investigação, desenvolvimento e demonstração (I,D&D);
- 3 — as de projecto e construção, sempre que tiverem carácter inovatório.

*

Posto isto, há que considerar três fases sucessivas na história da engenharia de estruturas em Portugal no presente século.

Embora sucessivas, estas três fases articulam-se umas com as outras, no sentido de que, no decorrer de cada uma, se foram desenvolvendo as bases que tornaram possível a passagem à seguinte.

A primeira fase correspondeu a uma predominância quase exclusiva das actividades de formação e de projecto e construção.

Para as primeiras deu contribuição essencial a criação, em 1911, por Brito Camacho de dois estabelecimentos de ensino superior: a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) e o Instituto Superior Técnico de Lisboa (IST), o último dos quais viria a beneficiar, através da obra do seu primeiro director, Alfredo Bensaúde, da influência das escolas de engenharia da Europa Central que, ainda hoje, podem ser consideradas como as melhores do mundo.

Duarte Pacheco viria a dar sentido a este esforço no domínio da formação desempenhando três lugares chave: os de director do IST, de presidente da Câmara Municipal de Lisboa e de Ministro das Obras Públicas.

Por outras palavras, Duarte Pacheco teve oportunidade de contribuir para criar condições para o desenvolvimento, tanto da oferta de engenheiros de estruturas qualificados, como da respectiva procura, criando-lhes condições de pleno emprego através do lançamento dos seus programas de construções.

Primeiro dos eminentes planeadores e gestores de grandes programas de obras públicas que o século XX conheceu em Portugal, a acção de Duarte Pacheco determinou, para os engenheiros de estruturas da nossa era, um desenvolvimento da procura análogo à que tinham conhecido os seus antecessores de séculos passados.

A segunda fase correspondeu à conjugação da actividade da primeira fase com a da investigação científica e desenvolvimento tecnológico conduzida pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), isto é, com a do desenvolvimento, na área da Engenharia Civil, do sector de I&D do Estado.

Criado já depois do falecimento de Duarte Pacheco, parece não haver dúvidas sobre que estava nas intenções desse grande ministro a fundação do Laboratório, fundindo para tal o laboratório de ensaios de materiais que já então existia no MOP com o pequeno Centro de Estudos de Engenharia Civil que, no âmbito do IST e financiado pelo Instituto de Alta Cultura, pré-figurava os centros de investigação sobre cuja rede viria a assentar mais tarde a investigação universitária.

Embora não tivesse sido o director do LNEC durante os primeiros sete anos, isto é, durante a fase de arranque da instituição, é justo considerar Manuel Rocha como a personalidade central da segunda fase.

A obra científica de Manuel Rocha e algumas das maiores contribuições do LNEC estão associadas ao estudo de barragens, para a qual, dada a deficiência dos instrumentos de análise da época (anos 40 e 50), se tornava altamente aconselhável o recurso à técnica dos modelos reduzidos.

O seu extraordinário sentido físico levou-o a rejeitar desde cedo os modelos físicos demasiadamente simplistas e a abordar, em 1952, num dos seus trabalhos mais famosos, as condições de semelhança para estruturas constituídas por materiais com propriedades mecânicas arbitrárias, isto é, altamente não-lineares.

Nestes trabalhos se baseou todo um desenvolvimento da técnica dos modelos reduzidos que tornou o LNEC uma instituição de vanguarda nos estudos de barragens.

Foram também uma base importante para as investigações em modelo reduzido sobre estruturas de betão armado.

A estas há que associar o nome de Júlio Ferry Borges cujas contribuições, nomeadamente as concepções originais sobre a teoria da segurança e sobre engenharia sísmica, o levariam mais tarde à presidência do Comité Euro-Internacional do Betão (CEB), emparceirando com Manuel Rocha na projecção internacional da engenharia de estruturas portuguesa.

Talvez se possa afirmar que, enquanto Manuel Rocha foi sobretudo, à escala mundial, um dos grandes promotores das aplicações da Ciência na Engenharia, Ferry Borges foi, em Portugal, o primeiro grande investigador na área das Ciências da Engenharia.

Em simultaneidade com o desenvolvimento do LNEC iniciou-se, nesta segunda fase, o desenvolvimento em novos moldes da actividade de consultoria e projectos.

O precursor e o melhor exemplo deste desenvolvimento foi Edgar Cardoso, professor do Instituto Superior Técnico, a quem se deve a utilização em moldes originais de técnicas de modelos reduzidos em gabinete de estudos.

Dotado de notável imaginação, Edgar Cardoso representou, enquanto projectista, uma figura nova: a do engenheiro que forja os instrumentos necessários para estudar as estruturas que concebe, em vez de se limitar a projectar as estruturas que sabe calcular.

Formado como investigador no seio do LNEC, Laginha Serafim, que viria a ser o iniciador da escola de Coimbra, desempenhou no projecto de barragens papel comparável.

Ao mesmo tempo, no Porto, Correia de Araújo e, mais tarde, Campos e Matos e Joaquim Sarmiento trouxeram para a prática profissional os conhecimentos científicos de ponta resultantes da sua experiência de grandes professores universitários.

Os nomes apontados devem ser olhados como paradigmas de uma actividade que, paralelamente, se desenvolveu em gabinetes de estudo, que constituíam por si só verdadeiras pequenas e médias empresas de alta tecnologia, ou se apresentavam afectados a grandes empresas de construção de equipamentos fixos ou móveis, adquirindo especial importância, neste último caso, nos sectores da indústria metalomecânica ou da construção e reparação navais.

É justo assinalar que, ao mesmo tempo que se desenvolvia na capacidade de projectar, a engenharia de estruturas portuguesa não se mostrou menos notável na de construir, e é de assinalar que às solicitações resultantes dos grandes programas metropolitanos se somaram as responsabilidades nacionais no desenvolvimento dos territórios ultramarinos. Quanto a estes, o mínimo que pode dizer-se é que poucos países poderão gabar-se de terem podido planear, projectar, construir e equipar de forma tão felizes obras com a complexidade dos aproveitamentos de Cambambe e, especialmente, Cabora-Bassa.

*

O advento dos computadores e das técnicas de elementos finitos viria tornar possível a resolução das equações dos modelos matemáticos da engenharia das estruturas. Daí resultou, não só que estes modelos puderam ser utilizados em termos práticos, mas também que passou a valer a pena elaborar modelos matemáticos novos, correspondentes a idealizações mais complexas da realidade.

Deixou de ser exacta a ideia reinante até então de que os modelos reduzidos eram mais fiéis que os matemáticos e que, ao utilizar estes, se ganhava em economia mas se perdia em rigor. Recorrendo ao cálculo automático, passou-se de facto a ganhar em economia e em rigor.

A elaboração de novos modelos matemáticos e o próprio julgamento da sua adequação à realidade não dispensa, evidentemente, a recolha de dados obtidos por via experimental.

Simplemente, esses dados provêm sobretudo da observação de protótipos, o que reforça o interesse de um dos aspectos essenciais do programa de Manuel Rocha como investigador e director do LNEC: o da observação das obras. De facto, como ele costumava afirmar, estas representam, para o engenheiro civil, a Natureza.

Tendo passado a fazer-se sistematicamente em Portugal, por influência sua e sob sua orientação, a observação, durante longos períodos de tempo, das estruturas mais importantes, os dados recolhidos dessa observação constituem hoje em dia um património de valor mundial cuja exploração pode fornecer trabalho para muitos investigadores.

Não escapou à lúcida inteligência de Manuel Rocha que a própria natureza da investigação tecnológica impõe a necessidade de planear e coordenar a actividade de equipas trabalhando em domínios distintos. Por isso sempre defendeu a investigação integrada.

Esta defesa levou-o a reconhecer que a Universidade humboldtiana (ele dizia simplesmente e infelizmente: a Universidade), organizada em unidades orientadas para as disciplinas científicas, e portanto organizada para a investigação monodisciplinar, não era o local indicado para a investigação tecnológica.

O LNEC, instituição susceptível de realizar a investigação integrada tal como Manuel Rocha a concebia, deve pois ser encarado como um instrumento forjado para desenvolver de forma concertada os conhecimentos científicos, subordinando-os aos objectivos próprios da engenharia civil. Por outras palavras, a orientação científica global do LNEC foi também, para ele, tarefa de investigador.

A terceira fase correspondeu ao desenvolvimento da investigação universitária no domínio da engenharia das estruturas.

O seu florescimento não foi simplesmente obra do acaso, mas consequência da necessidade sentida por todas as tecnologias de, para poderem desenvolver-se, chamarem em seu auxílio a investigação fundamental e cientistas altamente qualificados.

Como tinha acontecido com a segunda fase relativamente à primeira, as raízes da terceira fase amadureceram lentamente durante as anteriores.

Observou-se já que o próprio LNEC tinha nascido do IST. Separar o LNEC, não só administrativa como fisicamente, do IST foi uma transcendente decisão de política científica que correspondeu, na área da engenharia civil, a fazer expandir o sector do Estado antes do do ensino superior.

Evitou-se deste modo, na engenharia das estruturas, uma interrupção na cadeia da inovação que muitas vezes se verifica e que está a verificar-se infelizmente, no nosso País, em muitas das restantes áreas tecnológicas.

Ao tomar esta decisão, correu-se no entanto o risco de chegar a uma situação análoga à que hoje caracteriza os países recentemente industrializados de outros continentes: a de, por carência de bases científicas, impor um tecto ao próprio desenvolvimento tecnológico.

A tradição do ensino de engenharia português de ministrar aos alunos de engenharia uma formação muito forte em matemáticas e física impediu que acontecesse o pior.

Os alunos tinham no entanto as maiores dificuldades em servir-se, nos três últimos anos do curso, dos conhecimentos científicos ministrados nos três primeiros.

A situação no IST não poderia ter deixado de piorar, quando a Escola se viu privada do Centro de Estudos de Engenharia Civil que foi, como se viu, incorporado no LNEC. A entrada de Edgar Cardoso, cuja acção se fazia sentir no último ano do curso, numa fase de formação nitidamente profissional, não poderia colmatar tal deficiência que era de natureza essencialmente propedéutica.

Foi sobretudo na Universidade do Porto que se criou a tradição de uma formação científico-tecnológica de nível muito elevado na área da Engenharia das Estruturas.

Na Faculdade de Engenharia, tal tradição deveu-se, em primeiro lugar, a Correia de Araújo, cuja actividade científica não se limitou simplesmente à de docente sempre a par dos últimos avanços da sua ciência, mas também à de autor de obras científicas, entre as quais avulta um tratado de Elasticidade e Plasticidade que pode ser considerado entre os melhores escritos até à época em que foi publicado.

Da geração seguinte, Campos e Matos e Joaquim Sarmiento vieram reforçar a acção de Correia de Araújo, revelando o primeiro, na sua tese de doutoramento, um domínio da análise matemática sem precedentes entre os grandes engenheiros portugueses. Os três professores prepararam os caminhos para uma intensa actividade científica na Faculdade de Engenharia no domínio da engenharia de estruturas.

Em Lisboa, é de salientar o importante papel desempenhado pelo LNEC no lançamento da terceira fase, não só formando cientistas pela investigação (enquanto a Faculdade de Engenharia os formava sobretudo para a investigação), como não hesitando em patrocinar a investi-

gação fundamental, apesar da sua vocação de instituição de investigação aplicada e desenvolvimento tecnológico.

Quanto a esta aparente contradição entre os objectivos da instituição e os interesses dos investigadores, o LNEC teve o merecimento de compreender dois aspectos: a) que a sua vocação institucional não seria traída desde que a actividade científica global permanecesse centrada na investigação aplicada; b) que o próprio conceito de investigação integrada exigia que os grandes programas de investigação aplicada incluíssem componentes de investigação fundamental.

Desta filosofia colheu o LNEC frutos inesperados (como são em geral os que resultam da investigação fundamental), tais como o facto de ter sido, no plano mundial, uma das instituições pioneiras no método dos elementos de fronteira, na matemática dos elementos finitos e na reformulação da mecânica das estruturas.

Colheu, ou antes, fez colher ao País, outros benefícios mais planeados, como o de ter contribuído para dotar o IST com os quadros científicos de que a Escola carecia para se transformar numa instituição de investigação de ensino de nível europeu no âmbito da engenharia das estruturas.

É de toda a justiça lembrar a contribuição da Fundação Calouste Gulbenkian para o desenvolvimento da investigação no Departamento de Engenharia Civil do IST com o Projecto «Matemáticas Aplicadas à Engenharia Civil», do qual uma boa parte veio a reverter a favor da engenharia das estruturas.

Mas o desenvolvimento da terceira fase não teria sido evidentemente possível sem uma política do Estado tendente a fomentar a investigação no sector do ensino superior. O IAC e depois o INIC foram as duas agências de que o Estado sucessivamente se serviu (mais tarde, viria também a servir-se da JNICT) para fazer executar essa política e também uma política de formação sobre a qual não valerá a pena discorrer porque não foi específica da engenharia das estruturas.

Bastará mencionar que, nesta área, ela conduziu, em Lisboa, ao Centro de Mecânica e Engenharia Estruturais da UTL (CMEST) e, no Porto, ao Centro de Engenharia Civil da Universidade do Porto.

Uma das características da engenharia de estruturas moderna é porém a de ter ultrapassado as fronteiras da engenharia civil e de ser objecto de investigação por parte dos engenheiros mecânicos.

Assim, os centros de engenharia mecânica onde se abordam problemas de mecânica dos sólidos devem ser também incluídos entre as estruturas de investigação no domínio da engenharia das estruturas.

É significativo que não exista nenhum nome singularmente prestigioso para encarnar esta terceira fase da história da engenharia das estruturas. Trata-se de uma situação normal num país saído de uma era de pioneirismo para uma fase mais amadurecida do seu desenvolvimento científico-tecnológico.

Este esbater das figuras dominantes faz-nos no entanto chamar a atenção para que a actividade científica deve ser bastante livre, mas não tão livre que não seja objecto de um planeamento flexível.

Sentimos pois que é indispensável reflectir desde já sobre o que deverá vir a ser uma quarta fase na história da engenharia das estruturas deste século.

No caso da engenharia das estruturas, não pode perder-se de vista que, enquanto no passado a fidelidade das idealizações era limitada pela extrema deficiência dos instrumentos de análise disponíveis, hoje a situação é a inversa: a justeza das previsões sobre a segurança e servibilidade das estruturas peca pela pobreza das idealizações que é possível elaborar.

Por isso se pode afirmar que, na dialéctica entre as idealizações e a Ciência, se passou, de uma fase em que as primeiras desafiavam os cientistas, a uma outra em que são os instrumentos científicos que desafiam os idealizadores.

É importante notar que os engenheiros de estruturas sempre tiveram tendência para negligenciar o seu papel como idealizadores da Natureza.

Ainda hoje, a formação tradicional do engenheiro de estruturas pode caracterizar-se como linear, elástica, homogénea, isotropa, estática e determinística. E as aulas de laboratório ocupam menos horas nos cursos de engenharia estrutural que em quaisquer outras de natureza tecnológica.

Permito-me recordar de novo Manuel Rocha para mencionar que ele tomou desde sempre uma posição fortemente crítica relativamente a esta situação.

Por isso dedicou à observação uma atenção de naturalista.

Não se limitou às obras já construídas, para as quais essa observação veio a mostrar que as estruturas reais se comportam de forma inteiramente distinta da prevista nos projectos.

Deu também uma enorme importância à prospecção geofísica, à geologia da engenharia, ao reconhecimento dos sítios.

Acumulando uma grande experiência como consultor, exerceu um papel de crítico permanentemente debruçado sobre as muitas estruturas que lhe foi dado examinar ou de que simplesmente obteve informações.

Promoveu por outro lado um inquérito à escala mundial destinado a recolher dados sobre o comportamento patológico das barragens e albufeiras. Um dos problemas que mais o interessavam no termo de uma carreira prematuramente interrompida pela morte foi o estudo das formas de rotura global dos sistemas barragem-fundação.

Trata-se de um exemplo. Outros, porventura menos interessantes, poderiam ser lembrados. Mas a conclusão a tirar é a de que a investigação científica moderna necessita de se integrar em grandes projectos mobilizadores, porventura de âmbito internacional, que não suprimam a criatividade individual mas que a estimulem sugerindo-lhe uma orientação.

Nesta terceira fase da história da ciência das estruturas em Portugal neste século, a cena assemelha-se por vezes a uma peça de teatro em que os actores nunca foram tão excelentes, mas em que parecem andar à procura de um autor.

Terminamos com esta observação à qual não deve ser dado um sentido pessimista. Trata-se de um problema, o da prospectiva e do planeamento científico e tecnológico, pelo qual não podemos deixar de nos interessar, mas que transcende certamente o âmbito destas conferências.