

O PROJETO CÁPSULA DO TEMPO E A HISTÓRIA DA GEOTECNIA EM PORTUGAL

Heritage time capsule project and Portuguese geotechnics history

José A. Mateus de Brito^a

^a Consultor geotécnico, Ex-TPF, Portugal.

RESUMO – No âmbito do projeto Heritage Time Capsule, da International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE), a Sociedade Portuguesa de Geotecnia (SPG) tem vindo a desenvolver ações relativas à História da Geotecnia em Portugal. Descrevem-se os objetivos do projeto e as ações já desenvolvidas. Apresentam-se os principais aspetos da contribuição dada pela Sociedade Portuguesa de Geotecnia e descreve-se, de forma sucinta, a história da geotecnia em Portugal nos últimos 100 anos. Explicitam-se os acontecimentos que influenciaram a evolução histórica, dando relevo às contribuições geotécnicas que foram determinantes nessa evolução, não só da conceção e projeto, mas também das técnicas construtivas dos vários tipos de obras geotécnicas portuguesas.

ABSTRACT – Within the scope of the Heritage Time Capsule project, from the International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE), the Portuguese Geotechnical Society (SPG) has been developing actions related to the History of Geotechnics in Portugal. The objectives of the project and the actions already carried out are described, the main aspects of the contribution given by SPG and the most relevant aspects of the development of geotechnics in Portugal in the last 100 years are presented, explaining the events that influenced the development of geotechnics and emphasizing the geotechnical aspects that were determinant of the evolution not only of the conception and design, but also of the construction techniques of the various types of portuguese geotechnical works.

Palavras Chave – História da geotecnia portuguesa, obras geotécnicas portuguesas, património geotécnico.

Keywords – Portuguese geotechnical history, Portuguese geotechnical works, Heritage Time Capsule project.

1 – PROJETO CÁPSULA DO TEMPO

1.1 – Introdução

O Projeto TCP foi promovido pela International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE Time Capsule Project) com o objetivo de criar uma Cápsula do Tempo do Património da ISSMGE designada Heritage Time Capsule (HTC). A HTC é basicamente um conjunto de contribuições de indivíduos e de grupos associados da ISSMGE, reunidas de 2021 a 2023, que visa mostrar a história e os objetivos atuais da ISSMGE, sendo concebida para ser útil para as gerações presentes e futuras de cientistas e engenheiros geotécnicos. O Projeto TCP destina-se a recolher os principais marcos da contribuição e do desenvolvimento da geotecnia em cada país, a nível nacional e no mundo. No âmbito deste projeto, a SPG, tal como todas as outras sociedades membros da ISSMGE, foi convidada a dar o seu contributo. A SPG considerou ser esta uma oportunidade única para divulgar as realizações e o estado atual da engenharia geotécnica

E-mail: jmateusdebrito@gmail.com

portuguesa, bem como de antever e de preparar o futuro. Este artigo constitui o desenvolvimento da intervenção feita pelo autor no seminário “A geotecnia como referência da engenharia portuguesa” comemorativo dos 50 anos da SPG e dos 75 anos do LNEC), que se realizou em Lisboa, no LNEC, em 24 e 25 de novembro de 2022.

1.2 – Objetivos

Foi definido que as contribuições deveriam incluir material para suportar, explicar e destacar o desenvolvimento da engenharia geotécnica nos diversos países e a história da respetiva sociedade nacional, nomeadamente:

- o que foi alcançado pela engenharia geotécnica e quais as condições sociais que o motivaram;
- o papel extremamente influente desempenhado pela educação académica e pela investigação;
- as áreas de contribuição relevante, os projetos exemplares e as personalidades envolvidas;
- o desenvolvimento de técnicas e tecnologias geotécnicas próprias de cada nação;
- o histórico de casos de sucesso ou de fracasso, com as lições aprendidas, e o que é que não pôde ser alcançado;
- o desenvolvimento de normas ou de investigações que contribuíram para a melhoria de boas práticas no exercício da profissão;
- a aprendizagem com os eventos extremos que marcaram a prática profissional;
- os novos caminhos a serem explorados e o desenvolvimento de novas oportunidades;
- a eliminação da lacuna entre a profissão e a academia, envolvendo mais os jovens engenheiros geotécnicos;
- o incremento do perfil da engenharia geotécnica e a promoção de futuros líderes.

O TCP solicitou a contribuição das 90 Sociedades Filiadas da ISSMGE, de 38 Comitês Técnicos, do Grupo Presidencial de Jovens Membros e dos Associados Corporativos da Indústria e definiu as regras abrangentes e as etapas a serem seguidas por todas as sociedades. Após uma progressiva promoção a partir de dezembro de 2021, foi feito o lançamento formal na 20ª ICSMGE, que decorreu em Sidney, em maio de 2022, e criada a plataforma online para reunir e fornecer a herança comum a todos os engenheiros geotécnicos.

1.3 – Sessão TCP na 20ª ICSMGE

Na sessão dedicada ao TCP na 20ª ICSMGE foi relatada a evolução do processo do TCP, por Charles MacRobert, foi realizada uma conferência por Harry Poulos, intitulada “Geotechnics - The Long View”, e uma apresentação da Sociedade Australiana de Geotecnia. Foi, ainda, criado o sítio da Internet dedicado à HTC, (<https://www.issmge.org/the-society/time-capsule>), onde se incluem todos os documentos produzidos. Este sítio contém três partes:

- Parte A, com as contribuições das Sociedades Filiadas (responderam 28 das 90), das Comissões Técnicas e de Associados Corporativos da Indústria;
- Parte B, dedicada às contribuições dos ex-presidentes da ISSMGE (há 18 ex-presidentes de 1936 a 2023), bem como de várias personalidades, vice-presidentes regionais e membros de algumas Comissões ao nível da Direção da ISSMGE;
- Parte C, que foi relançada em 2023, para contribuições provenientes de descobridores (cientistas e engenheiros geotécnicos que queiram comentar as contribuições dadas e o futuro da geotecnia), para apresentação das conclusões de sessões de conferências da ISSMGE dedicadas ao HTC e para comunicações de especialistas.

2 – CONTRIBUIÇÃO DA SPG

2.1 – Objetivos

A SPG definiu os seguintes objetivos para a sua contribuição para o projeto HTC:

- divulgar a herança do património cultural, científico e tecnológico, mostrando o que há de importante na história da geotecnia portuguesa, catalisando, assim, o interesse dos geotécnicos, especialmente dos mais novos, e contribuindo para eliminar a lacuna entre a profissão e a academia;
- evidenciar, a par do desenvolvimento da geotecnia portuguesa, o papel da engenharia civil e do desenvolvimento social, económico e político do país;
- apresentar os casos de obras mais sugestivos, que evidenciam, através das correspondentes soluções, o desenvolvimento e a caracterização da cada um dos estágios dos conhecimentos científicos e das técnicas construtivas;
- evidenciar os sucessos e mostrar os fracassos do passado;
- envolver um vasto número de geotécnicos das áreas de investigação, do ensino, dos laboratórios, dos estudos e projetos, dos construtores e dos decisores, incluindo desde os seniores aos jovens profissionais, por forma a cobrir vasta abrangência de conhecimentos.

A SPG desenvolveu os seguintes tópicos como base da contribuição portuguesa:

- Pilares da Geotecnia Portuguesa;
- Obras geotécnicas relevantes portuguesas, no país e no estrangeiro;
- História da Geotecnia Portuguesa;
- Futuro da Engenharia Geotécnica em Portugal.

2.2 – Pilares da geotecnia portuguesa

Consideraram-se representativos da atividade da engenharia geotécnica nacional os seguintes pilares:

- Ensino e investigação geotécnica - Evolução do ensino e da investigação geotécnica nas universidades e instituições de investigação;
- Associações geotécnicas, eventos e publicações - Evolução das associações geotécnicas, principais eventos geotécnicos portugueses e eventos geotécnicos internacionais que ocorreram em Portugal;
- Empresas de consultoria geotécnica - História e principais realizações das principais empresas de consultoria do passado e do presente;
- Empreiteiros de obras geotécnicas - História e principais realizações dos principais empreiteiros do passado e do presente;
- Personalidades geotécnicas do passado - Apresentação da importância do trabalho de algumas personalidades geotécnicas que foram decisivas para a engenharia geotécnica portuguesa.

Alguns dos documentos relativos aos pilares estão concluídos e disponíveis no site da SPG.

2.3 – Obras geotécnicas relevantes portuguesas no país e no estrangeiro

Para a elaboração das informações sobre as obras geotécnicas relevantes, estas foram agrupadas nos seguintes tipos:

- Barragens e reservatórios em aproveitamentos hidroagrícolas;
- Barragens em aproveitamentos hidroelétricos;
- Infraestruturas de transporte;
- Fundações;

- Obras subterrâneas;
- Tratamento de terrenos;
- Escavações em meio urbano;
- Obras de suporte e estabilização de taludes;
- Obras marítimas, fluviais e de adução;
- Indústria do ambiente;
- Explorações mineiras;
- Reabilitação de obras geotécnicas.

As fichas elaboradas para as obras geotécnicas estão disponíveis no site da SPG.

2.4 – História da geotecnia portuguesa

2.4.1 – Princípios que presidiram à organização do texto da história

Não se pode falar no desenvolvimento da geotecnia sem falar em engenharia civil e no desenvolvimento social, económico e político em Portugal e no estrangeiro. Por isso, a par com a evolução da geotecnia, considerou-se ser relevante mencionar os aspetos mais marcantes da evolução da engenharia civil e introduzir alguns acontecimentos determinantes do desenvolvimento de Portugal e algumas referências internacionais relevantes. Das obras geotécnicas foram escolhidas aquelas que, pelas suas condições geológicas e geotécnicas, traduzem aspetos relevantes e inovadores. A história da geotecnia refere-se ao período posterior ao século XVIII, tendo sido dividida em períodos de tempo pertinentes. Por cada período de tempo, começa-se por situar os acontecimentos que influenciaram o desenvolvimento da geotecnia, descrevendo-se, de seguida, quando aplicável, a evolução havida por cada tipo de obras geotécnicas.

2.4.2 – Organização do texto da história

O texto com os aspetos dominantes do desenvolvimento do conhecimento científico da geotecnia portuguesa, inclui a descrição do desenvolvimento geral e da evolução da geotecnia portuguesa nas principais áreas do ensino, investigação, projeto, construção, personalidades relevantes, eventos e publicações. Em cada período de tempo são apresentados os acontecimentos que influenciaram o desenvolvimento da geotecnia e a evolução dos vários tipos de obras geotécnicas. O texto é dividido em duas partes, a saber:

Parte 1 - Início da engenharia civil em Portugal e seu desenvolvimento até à década de 1940.

- 1.1 - Primeira metade do século XIX. Criação dos cursos de engenharia civil.
- 1.2 - Segunda metade do século XIX. Desenvolvimento das redes de estradas e dos caminhos de ferro.
- 1.3 - Primeiro quartel do século XX. Monarquia Constitucional e I República. Criação do IST. Desenvolvimento das obras portuárias.
- 1.4 - 1926-1939. Da implantação do Estado Novo até ao início da II Guerra Mundial. Início do desenvolvimento das grandes barragens.
- 1.5 - Década de 1940. A viragem da guerra. Os novos rumos da eletrificação e da industrialização. A constituição do LNEC.

Parte 2 - Início da geotecnia no contexto da engenharia civil em Portugal na década de 1950 e seu desenvolvimento até à década de 2010.

- 2.1 - Década de 1950. Os caminhos da modernização. Início do período de maioridade da engenharia.
- 2.2 - Década de 1960. Surgimento de grandes empresas de projeto e de consultoria.
- 2.3 - Década de 1970. Democracia e viragem para a Europa.
- 2.4 - Década de 1980. Surgimento dos fundos comunitários.
- 2.5 - Década de 1990. Grande desenvolvimento das obras públicas.

2.6 - Década de 2000. Incremento da internacionalização da engenharia portuguesa.

2.7 - Década de 2010. Retração do investimento público.

No site da SPG já está disponível, desde 2022, uma versão reduzida da história da geotecnia.

Refere-se que a primeira contribuição para a história da geotecnia em Portugal data de 17 de novembro de 1987 numa conferência proferida por Úlpio Nascimento na Ordem dos Engenheiros (Úlpio Nascimento, 1990).

2.5 – Futura contribuição da SPG

A futura contribuição da SPG passará pelo envolvimento de um maior número de geotécnicos (académicos, consultores e empreiteiros) na elaboração de fichas de outros projetos relevantes, designadamente dos concluídos antes de 1980. Incluirá, ainda, a elaboração de documentos relativos ao ensino e à investigação, aos laboratórios de geotecnia, às personalidades em geotecnia e ao futuro da geotecnia em Portugal.

3 – ASPETOS MAIS RELEVANTES DA HISTÓRIA DA GEOTECNIA PORTUGUESA NOS ÚLTIMOS 100 ANOS

3.1 – 1926-1939. Da implantação do Estado Novo até ao início da II guerra mundial. Início do desenvolvimento das grandes barragens

O ano de 1926 ficou assinalado pela instauração da ditadura militar que substituiu o regime republicano em vigor desde a queda da monarquia. O Estado Novo instalou-se na década de 30 e ficou até à década de 70, impondo a sua política de condicionamento industrial às obras públicas, como aposta de fomento económico e combate ao desemprego. Verificou-se a ascensão e afirmação dos engenheiros e da engenharia e da política da edificação de infraestruturas.

Com a criação da Junta Autónoma das Obras de Hidráulica Agrícola (JAHOA) em 1930, a ação estatal sofreu um impulso decisivo, não só pelos projetos a partir daí elaborados, mas também pelas realizações que se sucederam.

Em 1932 foi criado o Ministério das Obras Públicas e Comunicações, sob a direção de Duarte Pacheco (1900-1943), dando início a um período de avultados investimentos em infraestruturas. É sob a sua orientação, que se constroem os edifícios do Instituto Superior Técnico, que viria a constituir o primeiro campus universitário português (concluído em 1935), considerada a primeira grande obra pública moderna. O contexto tornou-se favorável para as empresas construtoras, tendo sido constituídas as seguintes empresas: Opcá (1932), Seth (1933), Rodio (1937) e Fundações Franki (1938). No domínio das empresas de sondagens e fundações, alguns engenheiros civis já vinham a mostrar interesse, desde a década anterior, pelas novas técnicas de amostragem e de ensaios “in situ”, destacando-se Henrique Leitão e Ricardo Esquivel Teixeira Duarte.

Em 1935 foi promulgada a lei n.º 1914 da Reconstituição Económica, com o fim de serem estabelecidos os planos e projetos fundamentais de obras a executar até 1950, aparecendo o povoamento interior em ligação estreita com a hidráulica agrícola. Logo em 1938 é aprovado o Plano de Estudos e Obras de Hidráulica Agrícola e da produção de energia elétrica associada.

Assiste-se a um desenvolvimento evidente do setor mineiro, com a aprovação da legislação estruturante e a intensificação do estudo sistemático das reservas existentes. Em 1930 é promulgada a Lei Geral de Minas e em 1939 é aprovada a Lei do Fomento Mineiro, com o objetivo de proceder ao reconhecimento e pesquisa dos recursos minerais em Portugal. Tomaram um certo impulso as minas de carvão de S. Pedro da Cova. Na faixa piritosa alentejana os jazigos de cobre eram explorados por poderosas companhias estrangeiras. Nas minas da Panasqueira a interseção em profundidade de novos filões de volfrâmio, muito mais ricos que os cimeiros, vieram a proporcionar a grande expansão da mina.

As obras com intervenção mais relevante da geotecnia no período de 1926 a 1939 foram: o Caminho de Ferro de Benguela, em Angola (1931), as novas estradas nacionais, incluindo a Estrada Marginal Lisboa-Cascais (1937), as obras nos Portos de Lisboa e de Leixões e numa dezena de outros portos, o Arsenal do Alfeite (1931), o Molhe da Pontinha no Funchal (1933), a ampliação dos Portos da Beira (1932), em Moçambique, e do Lobito (1934), em Angola, o Canal do Tejo para o Abastecimento de Água a Lisboa (1933), o porto de Vila Real de Santo António (1935), as barragens de Magos (1938) e de Guilhofrei (1938) e o aeroporto de Lisboa (1940).

O Caminho de Ferro de Benguela, entre o Lobito e o Catanga, com 1 347 km de extensão, foi uma das maiores linhas férreas da época e uma das grandes artérias do comércio da África Meridional.

Em 1928 é promulgado o novo Plano Rodoviário e entre 1930 e 1939 são construídos mais de 500 km de novas estradas nacionais, merecendo referência especial a estrada marginal Lisboa-Cascais, pelos seus peculiares objetivos e dificuldades de construção. Promoveu-se a pavimentação com macadame betuminoso por semipenetração, com o qual, a partir de 1936, se harmonizou a pavimentação da maioria das estradas portuguesas, localizadas sobretudo a sul do rio Tejo.

Após o lançamento do primeiro Plano de Portos em 1929, foram construídos o molhe da Pontinha no Porto do Funchal e o cais acostável do Porto de Vila Real de Santo António. No primeiro foi utilizado um sistema de caixões em betão armado, considerado como sendo de uma notável conceção técnica, pela primeira vez realizada no país. No segundo foi utilizada a técnica de cravação por havage, que consistiu no afundamento de caixões de betão simples, abertos e biselados na sua base, por escavação no interior (Figura 1). Os caixões, com uma seção de 6,0 m por 4,0 m, atingiram a profundidade máxima de 20 m. O cais acostável, com 300 m de extensão, é constituído por abóbadas de betão simples.

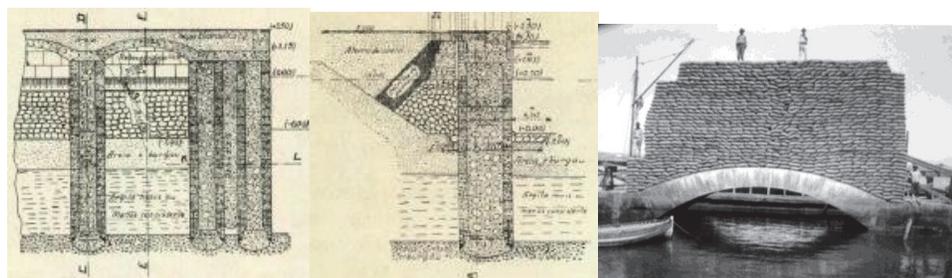


Fig. 1 - Seções transversal e longitudinal (Abecassis, 1939) e ensaio de carga com sacos de areia do porto de Vila Real de Santo António (arquivo Teixeira Duarte).

Incluído no plano de Fomento Hidroagrícola, coube à JAOHA o mérito de ter projetado a barragem de terra de Magos no Paúl de Magos, iniciada em 1935 e concluída em 1938, que se pode considerar a primeira barragem de terra homogénea em Portugal. A barragem é de terra “cilindrada” com uma altura acima da fundação de 17 m e desenvolvimento no coroamento de 695 m e um volume de terras de 300 000 m³. Tem um revestimento betuminoso no paramento de montante.

A barragem de Guilhofrei (Figura 2), do tipo gravidade em alvenaria de pedra, de planta curva, com 49 m de altura máxima, 190 m de desenvolvimento do coroamento e volume de 55 000 m³, no aproveitamento do rio Ave, foi, à data, a barragem portuguesa mais alta e a primeira a ser projetada por engenheiros estrangeiros, neste caso por Alfred Stucky (1862-1969), que também acompanhou a sua construção. Esta obra marca o início da tendência para recorrer à técnica estrangeira nas barragens destinadas a aproveitamentos hidroelétricos, sendo sintomática da importância que os engenheiros estrangeiros assumiram nos primeiros projetos desta envergadura.

Os principais agentes de mudança de 1926 a 1939 foram:

- a promulgação do novo Plano Rodoviário e a construção de novas estradas nacionais;

- o lançamento do primeiro Plano de Portos e a construção e melhoramento dos portos nacionais;
- a criação da JAOHA e o início da construção dos aproveitamentos hidroagrícolas;
- a promulgação da Lei Geral de Minas, a aprovação da Lei do Fomento Mineiro e o impulso da exploração das minas de carvão, de cobre e de volfrâmio;
- a constituição das primeiras grandes empresas de construção.

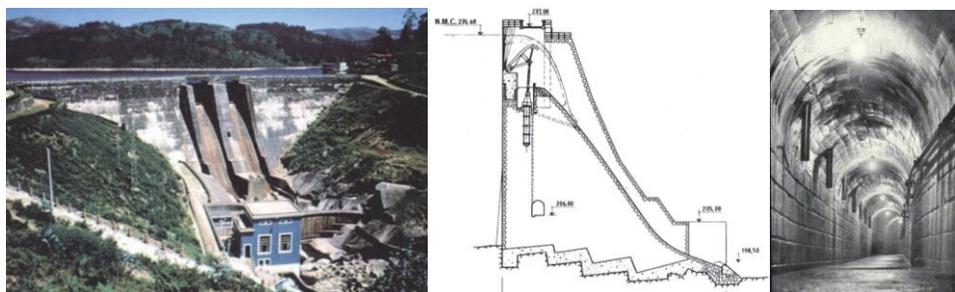


Fig. 2 - Vista de jusante e corte transversal da barragem de Guilhofrei e galeria de drenagem da barragem com seção 2,0 m x 2,5 m (capa da Revista Técnica 179, janeiro 1948).

3.2 – Década de 1940. A viragem da guerra. Os novos rumos da eletrificação e da industrialização. A constituição do LNEC

Na década de 1940 realizaram-se obras públicas muito importantes, com uma componente dominante de engenharia civil, na sequência ao período de intensa construção que já se vinha a verificar desde o início da década anterior, em especial nos domínios dos aproveitamentos hidráulicos e hidroelétricos e das infraestruturas de transportes, tanto na Metrópole, como no Ultramar. O investimento era visível, a engenharia civil afirmava-se e a construção começava a ser uma indústria com lugar destacado na economia da nação. Onde se faziam mais sentir as deficiências do país era ao nível do projeto e da investigação (Nascimento, 1990).

Com base na Lei da Eletrificação Nacional de 1944, onde se definiu com precisão a produção centralizada e a expansão da rede de transporte de energia, iniciou-se o programa hidroelétrico nacional com o aproveitamento dos grandes recursos hidrográficos do Zêzere, do Cávado e do Tejo. As Empresas Hidroelétricas do Cávado e do Zêzere criaram os seus próprios gabinetes de projeto e deram início à construção dos dois primeiros grandes aproveitamentos hidroelétricos de Castelo do Bode e de Venda Nova.

A participação de Portugal no Plano de Recuperação Europeia, conhecido como Plano Marshall (1947) e a sua adesão, em 1948, à Organização Europeia de Cooperação Económica, marcaram o princípio de uma estreita cooperação com os países da Europa Ocidental e com os EUA. Do Plano Marshall conseguiu-se um montante muito significativo que permitiu a modernização das infraestruturas, não só no continente como no Ultramar.

Começou a desenvolver-se um forte movimento de modernização tecnológica, quer em Lisboa, no Centro de Estudos de Engenharia Civil (CEEC), criado em 1942 no Instituto Superior Técnico (IST) e liderado por Manuel Rocha (1913-1981), quer nos dois laboratórios do Ultramar. Na área da investigação em engenharia civil e em particular na geotecnia, deu-se um passo decisivo com a constituição do Laboratório de Engenharia Civil (LEC), em 1946. Da colaboração frutuosa entre a Direção Geral dos Serviços Hidráulicos (DGSH) e o CEEC, surgiu o programa de estudos experimentais e analíticos para o dimensionamento de barragens arco, merecendo uma referência especial os pioneiros ensaios em modelo da barragem de Santa Luzia, com o objetivo de adquirir a técnica para a construção e ensaio de modelos daquele tipo de barragens.

Na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, o curso de engenharia civil, que se destacava pelo seu alto nível e informação atualizada, já incluía uma disciplina sobre o estudo dos maciços terrosos, como referido por Correia de Araújo no livro publicado em 1942. Este livro intitulado “Estudo dos maciços terrosos e dos seus suportes. Muros de suporte, fundações, silos” foi o primeiro livro relacionado com a Mecânica dos Solos a ser publicado em Portugal.

As preocupações com as fundações das estruturas, que exigiam um conhecimento geológico mais aprofundado dos terrenos e à caracterização do seu comportamento sob as ações a que eram submetidos, conduziu a que a atividade dos geólogos deixasse de ser de carácter essencialmente naturalista, para se transformar em aplicação da geologia à engenharia.

O grande desenvolvimento dos equipamentos de escavação, transporte, espalhamento e compactação dos solos e enrocamentos usados na construção das barragens de aterro e em estradas, conduziu a uma maior diversidade de equipamentos e ao aumento da capacidade de transporte. Nesses progressos tiveram um papel decisivo os scrapers, na escavação e transporte, e os cilindros vibradores, na compactação.

As obras com intervenção mais relevante da geotecnia na década de 1940 foram a barragem de Santa Luzia (1942), a autoestrada Lisboa-Estádio Nacional (1944), o Plano Integrado de Obras do Rio Liz (1948), a barragem de Pego do Altar e o respetivo túnel do Descarregador de Cheias (1949).

A barragem de Santa Luzia, do tipo abóbada, com 76 m de altura máxima e 115 m de desenvolvimento no coroamento, foi implantada numa garganta das cabeceiras do rio Unhais, na Serra da Estrela, inserida numa faixa quartzítica (Figura 3). A barragem foi construída segundo projeto do engenheiro André Coyne (1891-1960), que então iniciou a sua fecunda colaboração no país. Esta barragem foi a verdadeira precursora das grandes barragens que se seguiriam no pós-guerra.



Fig. 3 - Vista de montante da garganta quartzítica onde foi implantada a barragem de Santa Luzia (Xerez, 1939), vista aérea e planta da mesma barragem (Rocha e Laginha, 1950).

A Autoestrada Lisboa-Estádio Nacional foi a primeira autoestrada construída no país e uma das primeiras a nível mundial, com o maior trecho com pavimento rígido até essa data. Integra o viaduto Duarte Pacheco sobre o vale de Alcântara, primeira obra de vulto em betão armado, que se assumiu como capacidade realizadora do Estado Novo.

No âmbito das obras fluviais, merecem referência as obras do rio Liz, especialmente pelo forte incremento técnico-científico que lhe esteve associado. Com estas obras foi possível transformar zonas pantanosas em campos agrícolas de grande fertilidade, mantendo o rio em leito próprio.

A barragem de Pego do Altar, com 63 m de altura máxima, foi a primeira barragem de aterro de enrocamento construída em Portugal e, na sua época, foi a mais alta do mundo do seu tipo, apenas ultrapassada na década de setenta (Figura 4). É considerada a nível mundial um marco de inovação quanto à sua conceção estrutural. Tem uma cortina metálica de impermeabilização na face de montante apoiada sobre uma camada pouco espessa de betão simples assente sobre alvenaria hidráulica. Tem muro corta-águas com galeria visitável, a partir da qual foram efetuadas as injeções de impermeabilização do terreno de fundação. O tempo de execução desta barragem prolongou-se por 15 anos, principalmente devido às dificuldades criadas pela guerra.

Os principais agentes de mudança da década de 1940 foram:

- a criação do CEEC e a colaboração com a DGSH;
- a promulgação da lei de Eletrificação Nacional;
- a constituição das Empresas Hidroelétricas do Cávado e do Zêzere;
- a constituição do LEC;
- as verbas disponibilizadas pelo Plano Marshal;
- o grande desenvolvimento dos equipamentos de terraplenagem.

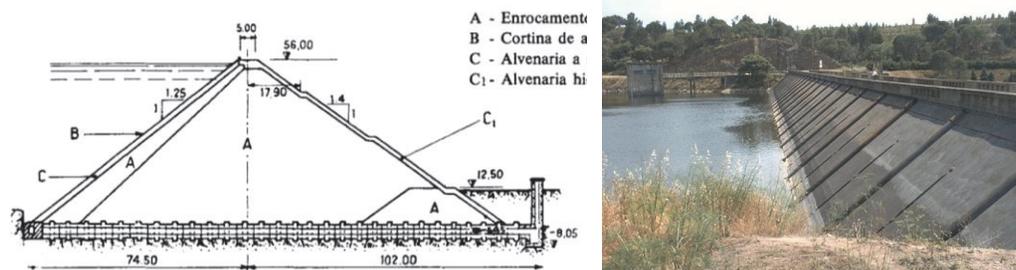


Fig. 4 - Perfil transversal e vista do paramento de montante da barragem de Pego do Altar (Maranha das Neves, 1987).

3.3 – Década de 1950. Os caminhos da modernização. Início do período de maioridade da engenharia

Nesta década continuou a execução do programa de obras públicas, nomeadamente de grandes aproveitamentos hidráulicos, quer para a produção de eletricidade, quer para rega e abastecimento de água. A elaboração e a execução dos planos destes aproveitamentos foram estendidas às províncias ultramarinas.

A execução do programa de eletrificação foi um sucesso, manifestando resultados significativos num intervalo de tempo consideravelmente curto. Tiveram um papel determinante as empresas hidroelétricas já existentes e, na década, a Hidroelétrica do rio Douro.

A engenharia portuguesa de barragens de betão entrou num período de maioridade que lhe permitiu projetar e construir grandes barragens de betão, as quais tiveram um desenvolvimento assinalável. Foram concluídas 16 barragens de betão, representando o maior número de barragens de betão construídas numa década em Portugal.

Prosseguiram as obras de rega do aproveitamento do rio Sado e estenderam-se a outros aproveitamentos das bacias dos rios Tejo, Guadiana e Mira, integradas num ambicioso Plano de Rega do Alentejo, elaborado pela DGSH e lançado em 1957.

Nesta década e nas seguintes, alguns conceituados geólogos distinguiram-se no domínio da Geologia Aplicada, quer no ensino, quer na consultoria associada a projetos de barragens e a fundações de edifícios e pontes.

Em 1951 foi constituída a Sociedade Portuguesa de Mecânica dos Solos (SPMS) que desenvolveu a sua atividade no âmbito da Comissão de Mecânica dos Solos da Seção de Engenharia Civil da Ordem dos Engenheiros (OE), liderada por Arantes e Oliveira e por Manuel Rocha e de que faziam parte, entre outros, Campos e Matos, Vasco Costa, Correia de Araújo, Henrique Leitão, José Folque, Pimentel dos Santos, Arsénio Nunes e Úlpio do Nascimento. Em dezembro de 1952 foi organizado por esta comissão, sob a orientação de Manuel Rocha, o Curso de Mecânica dos Solos, o qual viria a ser publicado em 1955. Este curso estabeleceu definitivamente a Mecânica dos Solos em Portugal.

O principal motivador do desenvolvimento da mecânica das rochas no país foi a intervenção nos projetos e na construção de novas barragens de betão. Manuel Rocha foi o impulsionador dos estudos da mecânica das rochas e um dos maiores investigadores a nível internacional neste domínio.

Dando continuidade ao gabinete de estudos de Alberto Manzanares Abecassis (1915- 2004), foi fundada, em 1957, a Hidrotécnica Portuguesa (já desaparecida), primeira grande empresa privada de consultoria de engenharia, que se dedicou inicialmente ao estudo e projeto de obras hidráulicas.

As obras com intervenção mais relevante da geotecnia na década de 1950 foram: a ponte Marechal Carmona (1951), as barragens de Pracana (1950) e de Castelo do Bode (1951), o Aproveitamento Hidroelétrico de Salamonde (1953), as barragens de Campilhas (1954), Cabril (1954), Maranhão (1957), Paradela (1958) e Picote (1958), o túnel do Caniçal, na Madeira, (1955) e o Primeiro Escalão do Metropolitano de Lisboa (1958).

Das pontes executadas nesta década destaca-se a ponte Marechal Carmona sobre o rio Tejo, em Vila Franca de Xira (Figura 5). As fundações foram materializadas por cravação de estacas pré-fabricadas de betão armado com 25 m de comprimento, deixadas cerca de 2 m fora de uma plataforma de areia previamente criada. Sobre o conjunto das estacas foi descido um caixão pré-fabricado em betão armado e pousado em cima das estacas. A parte de baixo do caixão formou uma câmara de trabalho que foi esvaziada de água por ar comprimido e preenchida com betão. A zona superior do caixão, em forma troncocónica, foi também cheia com betão.

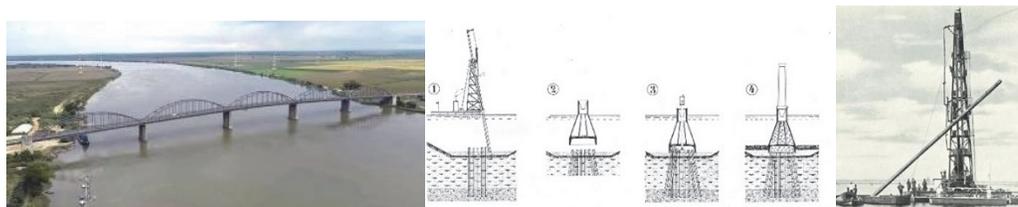


Fig. 5 - Vista de jusante da Ponte Marechal Carmona e metodologia construtiva das fundações.

Nas barragens de betão é de mencionar a de Cabril (Figura 6), que é, ainda hoje, a barragem mais alta de Portugal, com 132 m de altura máxima (108 MW). É reconhecida como tendo marcado o desenvolvimento das barragens do tipo arco de dupla curvatura do seu tempo. A fundação é formada por um maciço granítico porfiríode de boa qualidade. Trata-se de uma das maiores realizações da técnica nacional e que ficou a marcar a época como particularmente notável do nível técnico da engenharia portuguesa.

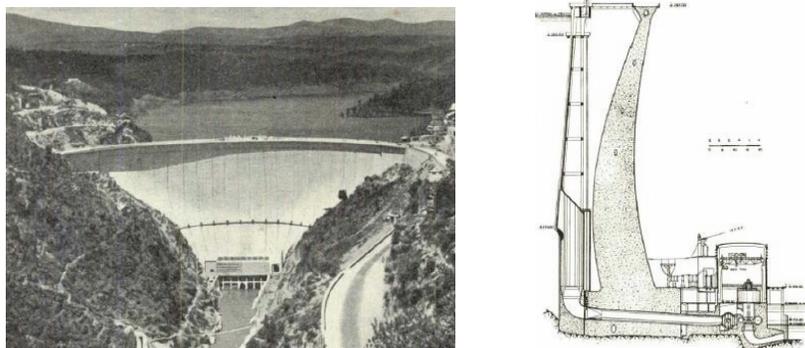


Fig. 6 - Vista de jusante e corte transversal da barragem de Cabril (Xerez, 1954).

É de referir, também, a barragem da Paradela (Figura 7), que foi, à data, a mais alta do mundo do seu tipo, com 112 m de altura máxima. Foi a primeira barragem de enrocamento lançado no país e é, ainda hoje, a barragem de aterro mais alta. Tem uma cortina de betão armado no paramento de

montante, constituída por lajes de betão armado com juntas horizontais e verticais. A barragem veio a sofrer deformações excessivas e danos diversos nas lajes, com esmagamento das juntas por compressão, e teve que ser reabilitada.

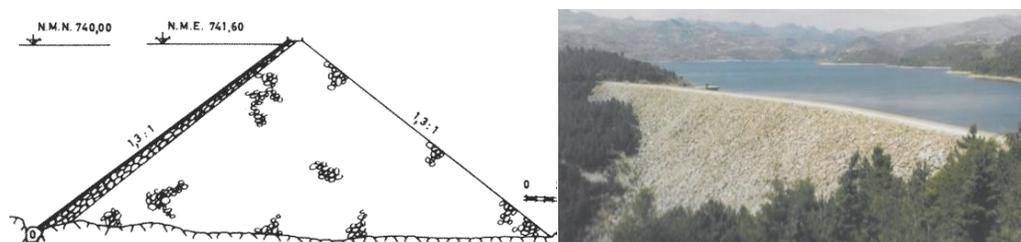


Fig. 7 - Perfil transversal e vista do paramento de jusante da barragem da Paradela.

Na cidade de Lisboa o sistema de transportes públicos foi reforçado com o lançamento do Metropolitano de Lisboa (ML), com duas linhas com uma extensão de 6,5 km e operando com 11 estações. As duas linhas, uma entre Sete Rios e a Rotunda e outra desde Entre Campos até à Rotunda, confluem num trecho comum, da Rotunda aos Restauradores. As linhas e as estações foram executadas ao longo de avenidas existentes por escavação a céu aberto, à exceção do trecho Rotunda-São Sebastião, executado em túnel.

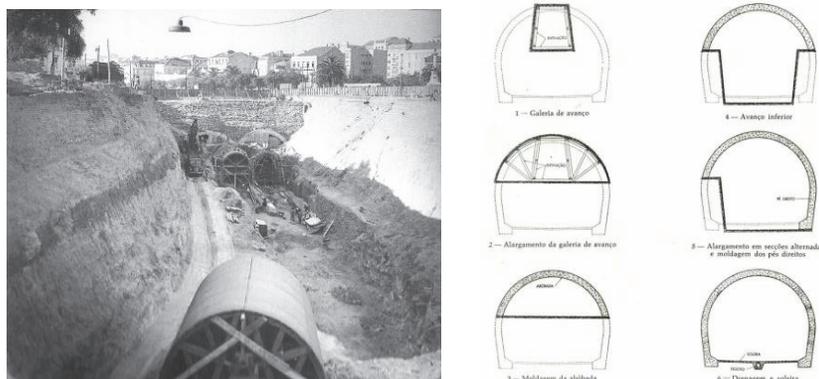


Fig. 8 - Execução, a céu aberto, na zona da rotunda do Marquês de Pombal e fases de construção do túnel no trecho Rotunda-São Sebastião do ML (Revista Técnica 265, outubro de 1956).

Os principais agentes de mudança na década de 50 foram:

- a constituição da SPMS (1951);
- a organização do Curso de Mecânica dos Solos na Ordem dos Engenheiros (1952);
- a criação dos primeiros cursos pós-laborais de Mecânica dos Solos na FEUP (1952);
- a criação da Hidroelétrica do Douro (1953);
- o aumento notável da construção de barragens para a produção de energia elétrica;
- o desenvolvimento de um ambicioso Plano de Rega do Alentejo;
- a criação de uma cadeira semestral de Mecânica dos Solos no IST e na FEUP (1955);
- a criação do primeiro grande gabinete de consultores (1957).

3.4 – Década de 1960. Surgimento de grandes empresas de projeto e de consultoria

Na década de 60 ocorreu a modernização tecnológica com a introdução da informática. O primeiro computador de primeira geração, instalado em 1959, com programação interna do LNEC,

permitia já a execução de cálculos de alguma importância, como foi o caso da realização de cálculos para a ponte sobre o rio Tejo, em Lisboa. Verificou-se uma endogeneização da tecnologia, que levou a que o setor nacional da engenharia desenvolvesse capacidades para projetar todos os tipos de grandes obras construídas por portugueses, no país ou no estrangeiro.

Iniciou-se a expansão da atividade de consultoria e projetos, verificando-se a criação, por engenheiros portugueses, de empresas de projeto e consultoria como a Coba (1962), a Profabril (1963), a Hidroprojecto (1966) e a Consulmar (1970).

Esta década foi o culminar de um período notável de execução de grandes obras de engenharia, envolvendo a construção dos primeiros lanços de autoestrada nas regiões de Lisboa e do Porto, vitais para o desenvolvimento do país, e de diversas barragens em todo o território nacional, promovendo o desenvolvimento de técnicas construtivas e o crescimento do número de engenheiros especializados, os quais deram o seu contributo à construção destas obras em Portugal e, mais tarde, no estrangeiro.

Em 1961 iniciou-se a guerra da independência de Angola, alargando-se poucos anos depois a outras províncias ultramarinas. Durante a segunda metade dos anos sessenta e do início da década seguinte foi dada prioridade à guerra colonial, o que consumiu recursos importantes, tendo surgido dificuldades financeiras, agravando-se o panorama socioeconómico e político do país.

A CPMS tornou-se independente da Ordem dos Engenheiros em 1960 e passou a assumir a designação de Agrupamento Português de Mecânica dos Solos (APMS), vindo a filiar-se na ISSMFE. Em 1966, coincidindo com a realização em Lisboa do primeiro Congresso Internacional de Mecânica das Rochas, o Agrupamento alarga o seu âmbito à Mecânica das Rochas e passa a designar-se Agrupamento Português de Mecânica dos Solos e das Rochas (APMSR), integrando-se na ISRM (SPG, 2021). Com isto, também em Portugal a mecânica das rochas se consagrou como uma disciplina independente, no âmbito da engenharia geotécnica. Naquele congresso, Manuel Rocha foi eleito presidente no período de 1966-1970 e o secretariado daquela associação ficou instalado no LNEC, onde ainda hoje permanece.

Em 1968 foi publicado o Regulamento de Pequenas Barragens de Terra. Foi a primeira peça legislativa relativa à segurança de barragens portuguesas. Foi substituído em 1993 pelo Regulamento de Pequenas Barragens (Maranha das Neves, 2011).

No final da década, iniciou-se a aplicação de duas novas tecnologias com grandes potencialidades que revolucionaram a forma como passaram a ser concebidas as obras mais complexas: as paredes de betão armado moldadas no terreno e as ancoragens pré-esforçadas em solos. A combinação destes dois importantes avanços tecnológicos contribuiu para a generalização das grandes escavações urbanas nas décadas seguintes, em consequência não só da redução do custo, como dos prazos de execução, para além da redução do risco dos danos introduzidos nas estruturas vizinhas do recinto de escavação (Matos Fernandes et al, 2021).

As obras com intervenção mais relevante da geotecnia na década de 60 foram: os primeiros lanços da Autoestrada do Norte, entre Lisboa e Vila Franca de Xira (1961) e entre Carvalhos e Santo Ovídio, com a Ponte da Arrábida sobre o rio Douro, no Porto (1963), e da Autoestrada do Sul de Almada até ao Fogueteiro, com a Ponte 25 de Abril (1966), as barragens do Alto Rabagão (1965), de Santa Clara (1968) e de Miranda do Douro (1961) e Bemposta (1964), no trecho internacional do rio Douro, e o Estaleiro Naval da Lisnave na Margueira (1967).

O lanço da Autoestrada do Norte entre Lisboa e Vila Franca de Xira suscitou inúmeros problemas de ordem geotécnica e constituiu um caso exemplar de colaboração JAE-LNEC. O acesso norte à Ponte 25 de Abril também foi complexo do ponto de vista geotécnico, tendo sido necessário realizar obras de estabilização.

Das inovações da ponte 25 de Abril é de destacar o método de execução das fundações das torres dos pilares no rio, designado por método dos caixões abertos com domos de ar, tendo sido atingida uma profundidade de 79 m na fundação da torre sul. Estas fundações são grandes blocos de betão com dimensões em planta de 40 m x 23 m. Para a sua construção foi utilizado o processo que consistiu na execução de grandes moldes metálicos, concebidos por forma a que as suas seções

fossem flutuantes. Estas seções iniciais com um peso de 700 ton (Figura 9), foram construídas em terra, lançadas à água e rebocadas para os locais dos pilares. Seguiu-se uma forte amarração a âncoras muito pesadas previamente colocadas no fundo do rio. Os moldes iniciais foram então acrescentados na parte superior com seções metálicas com altura de 6 m cada. Colocada uma seção, procedeu-se ao enchimento do molde flutuante com betão, por forma a conseguir-se uma descida gradual correspondente à seção acrescentada na parte superior, seguindo-se afundamentos sucessivos com novas seções metálicas e betonagens até que a parte inferior do caixão metálico atingisse os lodos do fundo do rio. Os caixões metálicos assim construídos tinham uma seção celular por forma a deixar 28 vazios cilíndricos de 4,20 m de diâmetro, através dos quais foi feita a escavação dos lodos e areias, por forma a permitir a descida dos caixões de fundação e o encastramento nos basaltos lávicos. Para assegurar a flutuação a partir de determinada profundidade submersa dos caixões, foram colocadas cúpulas nos topos dos poços vazios e foi introduzido no interior ar sob pressão. Sobre esta infraestrutura, após o enchimento dos poços com betão, foi realizado o maciço de fundação em betão armado com 7 m de altura, onde foram fixadas as torres metálicas (Rodrigues, 2016).

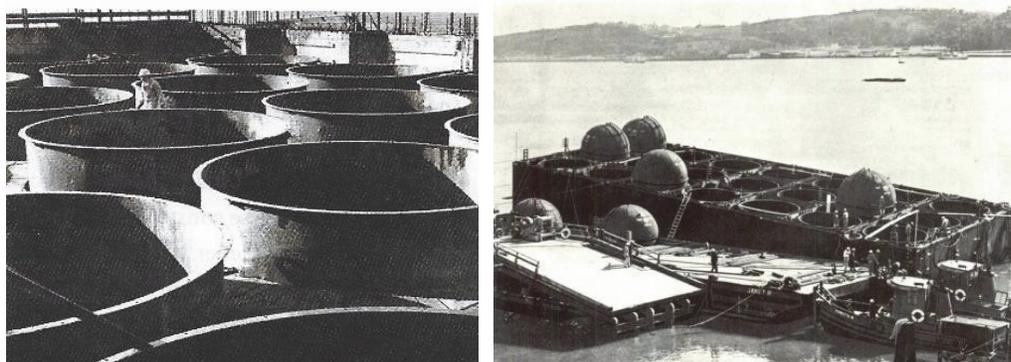


Fig. 9 - Seção flutuante de aço, fabricada em Vila Franca de Xira, destinada à construção das fundações da torre norte da ponte 25 de abril sobre o rio Tejo (capa da Revista Técnica 325, fevereiro 1963).

A barragem de Santa Clara, no rio Mira, merece referência especial, não só pela sua altura máxima de 86 m, como pelos aspetos inovadores então considerados no seu projeto (Figura 10). Foi projetada pela DGSH, com forte apoio do LNEC. Mantem-se, à data, a maior barragem de terra portuguesa, zonada sem filtro vertical. O terreno de fundação é um maciço rochoso de xistos e grauvaques com diferentes graus de alteração e o aterro da barragem é constituído por xistos. A construção da barragem traduziu-se num forte impacto em todos os sectores da região, designadamente no que se refere à agricultura e à agroindústria.

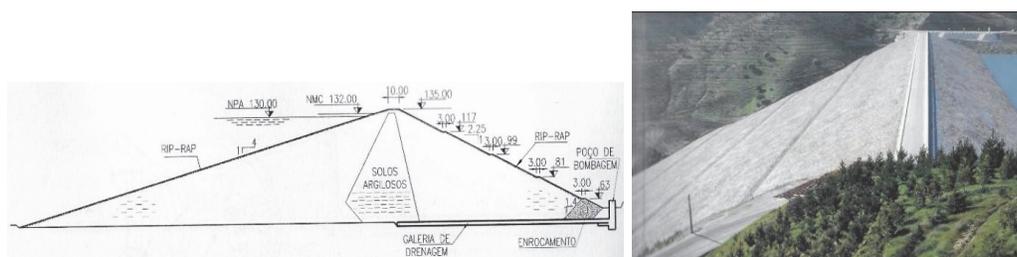


Fig. 10 - Perfil Transversal e vista da barragem de Santa Clara.

A primeira fase do Estaleiro Naval da Lisnave na Margueira (Almada) conquista rapidamente posição na área da construção e da reparação naval, atividade até então circunscrita a estaleiros de pequena dimensão. As principais infraestruturas nessa fase eram constituídas por duas docas secas convencionais, as docas 11 e 12, um cais e três pontes cais com os respetivos duques de alba. As condições geotécnicas locais são muito favoráveis, pois, ao nível da fundação das paredes e das lajes de fundo das docas, ocorrem areias argilosas do Miocénico, muito densas, cujo coeficiente de permeabilidade médio, de cerca de 10^{-7} m/s, possibilitou a adoção de soluções estruturais muito económicas, com lajes de fundo drenadas apoiadas diretamente no terreno. O êxito comercial do empreendimento excedeu as expectativas, de tal forma que foi alargada a capacidade de docagem a fim de receber petroleiros da nova geração então prevista, com navios até 1 000 000 tdw. Com a ampliação com a doca 13 (Figura 11), a maior doca seca do mundo na época, construída entre 1969 e 1971, o Estaleiro Naval da Lisnave passou a ser considerado um dos melhores estaleiros de reparação naval da Europa e uma referência internacional no setor.

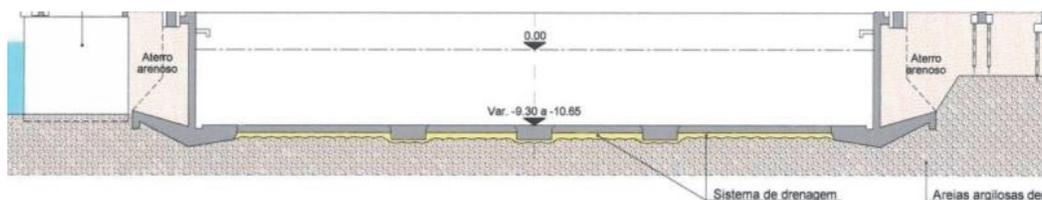


Fig. 11 - Corte-tipo da doca 13 da Lisnave (520 m x 97 m).

Os principais agentes de mudança na década de 1960 foram:

- a industrialização de setores básicos da economia portuguesa;
- a alteração da designação de CPMS para APMS e sua filiação na ISSMFE (1960);
- a criação do Departamento de Geotecnia do LNEC e do Grau de Especialista (1961);
- a realização do Primeiro Congresso da ISRM, no LNEC (1966);
- a alteração da designação do APMS para APMSR e sua filiação na ISRM (1966);
- a publicação do Regulamento de Pequenas Barragens de Terra (1968);
- o estabelecimento da Geologia da Engenharia como ciência autónoma, em substituição da Geologia Aplicada à Engenharia (meados dos anos 60);
- o surgimento de grandes empresas de projeto e de consultoria;
- o desenvolvimento das tecnologias das paredes moldadas e das ancoragens;
- a aceitação universal do conceito de Geotecnia.

3.5 – Década de 1970. Democracia e viragem para a Europa

Na sequência da revolução do 25 de abril de 1974 ocorreram mudanças de vulto no tecido empresarial português, designadamente no setor da construção, tendo algumas empresas de consultoria e de construção entrado em declínio irreversível e outras entrado em fase de reestruturação. Em 1975 deu-se a independência dos territórios africanos sob administração portuguesa (Angola, Moçambique, Guiné Bissau, Cabo Verde e S. Tomé e Príncipe), o que fez regressar a Portugal grande parte dos técnicos que aí trabalhavam.

O desenvolvimento dos computadores e o advento do método dos elementos finitos, que o próprio LNEC implantou em Portugal, veio a tornar possível a resolução das equações dos modelos matemáticos da engenharia.

Em 1975 foi nacionalizado o setor elétrico, tendo sido integradas na EDP todas as empresas que realizaram aproveitamentos hidroelétricos iniciados nos primórdios do século XX.

Em Portugal começou a verificar-se a tendência, ocorrida na década anterior nos países mais desenvolvidos, devido ao grande crescimento económico, de multiplicação das grandes escavações

urbanas, não apenas para linhas do Metro ou outras obras viárias, mas também para estacionamento automóvel em caves de novos edifícios ou sob espaços públicos (Matos Fernandes, 2010). Os processos de tratamento de terrenos tiveram um desenvolvimento significativo na década de 70, passaram a ser utilizados no país os aterros de pré-carga, os geodrenos, a vibrocompactação, a vibrosubstituição (colunas de brita) e a compactação dinâmica.

O lançamento do primeiro número da revista Geotecnia, dirigida por José Folque, ocorreu em junho de 1971, sob a presidência do APMSR de Úlpio Nascimento. O APMSR adquiriu a sua atual designação, Sociedade Portuguesa de Geotecnia, a partir de 1972. A finalidade da SPG, atuando como uma sociedade sem fins lucrativos, foi o de estabelecer a ligação dos profissionais que trabalham no campo da engenharia geotécnica, para promover e implementar a investigação e contribuir para a educação.

No ano letivo de 1975/76 foram lançados, sob a coordenação de Ricardo de Oliveira, os primeiros Cursos de Especialização na área da geotecnia, um em Geologia da Engenharia e outro em Mecânica dos Solos, na Universidade Nova de Lisboa (Oliveira, 2010).

Quando Manuel Rocha foi eleito Bastonário da Ordem dos Engenheiros, em 1978, reativou a atividade cultural da OE, tendo-se constituído o Grupo de Trabalho de Geotecnia, no âmbito da Comissão Cultural de Engenharia Civil, coordenado por Úlpio de Nascimento, com o objetivo de desenvolver ações de índole mais profissional, para as quais a OE estaria mais vocacionada.

As obras com intervenção mais relevante da geotecnia na década de 70 foram a consolidação da Encosta das Portas do Sol, em Santarém, (1970), a contenção provisória da estação Alameda do ML (1972), as barragens de Carrapatelo (1971), da Régua (1973) e da Valeira (1976), no Douro Nacional, a barragem de Cahora Bassa, em Moçambique (1974), os Estaleiros Navais da Setenave, na Mitrena (1975), o Molhe Oeste do Porto de Sines (1977) e a estação Saldanha do ML (1977).

A intervenção mais importante de consolidação da Encosta das Portas do Sol, em Santarém, foi concluída em 1970. As muralhas assentam numa camada calcária e calco-margosa, sobrejacente a terrenos brandos de natureza arenosa e silto-argilosa. As causas dos escorregamentos resultaram da erosão e meteorização dos terrenos e da acumulação de águas subterrâneas em camadas aquíferas suspensas na zona superior da encosta. Na base da encosta situa-se a Linha Férrea do Norte. As obras realizadas, ainda hoje em bom e pleno funcionamento, consistiram principalmente na execução de ancoragens em muros de suporte em socalcos estrategicamente situados, protegendo simultaneamente as Muralhas das Portas do Sol no topo e a via férrea na base. A conceção original e o projeto das obras foram da responsabilidade de Pedro Teixeira Duarte (1918-2023), tendo estas sido executadas pela empresa Teixeira Duarte. Foram regularizados 20 000 m de taludes,

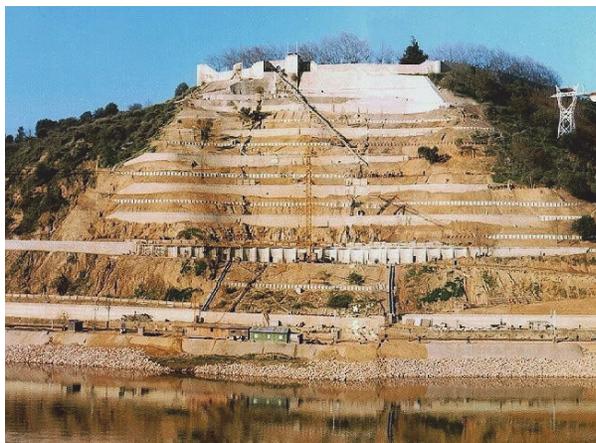


Fig. 12 - Vista das obras de estabilização da encosta das Portas do Sol (arquivo Teixeira Duarte).

construídos 3000 m² de muros de suporte de diversos tipos, desde aligeirados a mais pesados, 12000 m de ancoragens definitivas e 2000 m de drenos sub-horizontais (Figura 12). Esta é uma obra emblemática pelas soluções inovadoras implementadas para o controlo das causas dos escorregamentos.

A estação da Alameda do ML foi executada a céu aberto com uma grande escavação conseguida através da execução de amplas e altas cortinas de estacas verticais tangentes, de betão armado, com 4 níveis de ancoragens (Figura 13). Foi uma das obras pioneiras no país com esta solução de contenção.



Fig. 13 - Vista da Estação Alameda do ML, após a conclusão da escavação.

Das barragens do Douro nacional, o escalão do Carrapateiro é o que dispõe de maior queda, de 34,5 m, e potência de 201 MW. O perfil da barragem gravidade é aligeirado mediante uma grande galeria circular junto à fundação deixando aparente a rocha na soleira. Esta galeria reduz as subpressões, facilita a drenagem e proporciona o bom funcionamento estrutural, permitindo uma inspeção direta e permanente das fundações (Figura 14). A fundação da barragem é constituída por um maciço granítico, muito fraturado, com intercalações de argila, atravessado por uma grande falha, a qual, na zona da central, condicionou severamente a construção desta estrutura.

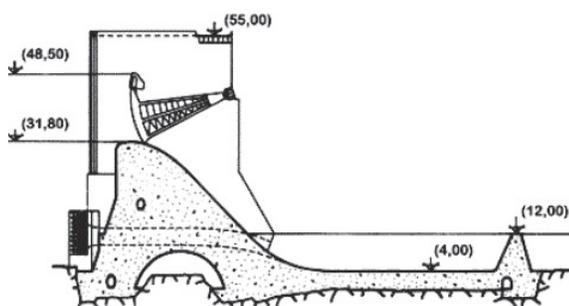


Fig. 14 - Seção transversal e vista aérea da barragem do Carrapateiro.

Cahora Bassa é um mega aproveitamento hidroelétrico, no rio Zambeze, em Moçambique, que criou o segundo maior lago artificial da África Meridional, com a capacidade útil de 52 000 Mm³, que é mais de dezasseis vezes a capacidade útil da albufeira de Alqueva, o maior lago artificial da Europa. A área da correspondente bacia hidrográfica é de 900 000 km², sensivelmente dez vezes a área de Portugal continental. A barragem abóbada de betão tem a altura de 164 m, órgãos de descarga dimensionados para o caudal de 12 600 m³/s e uma central subterrânea na margem sul do rio

Zambeze com cinco grupos de 400 MW (Figura 15). A rocha do local é constituída por um gnaisse granitóide de excelentes qualidades mecânicas, que, não obstante a existência de alguns filões lamprofíricos e gábricos, que puseram alguns problemas de projeto e de execução, permitiu a escavação de cavernas e galerias de grandes dimensões para a central sul, o circuito hidráulico e as galerias de desvio provisório. A barragem de Cahora Bassa representou um testemunho da capacidade da engenharia portuguesa para a conceção e o projeto da instalação de unidades hidroelétricas de grande potência.

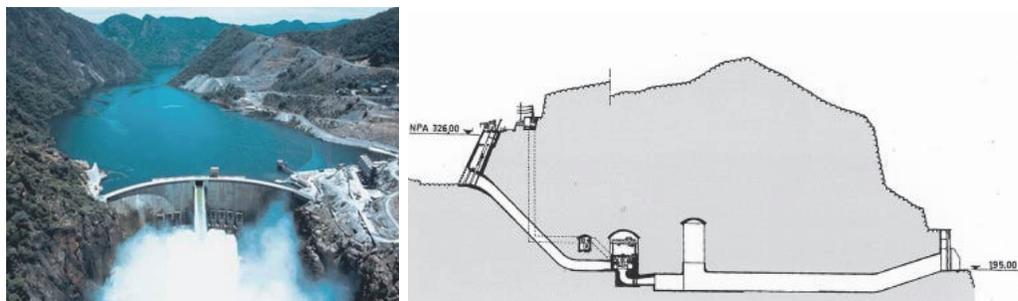


Fig. 15 - Vista de jusante da barragem de Cahora Bassa em descarga máxima de cheias e corte longitudinal da central e do circuito hidráulico (Cruz et al, 2007).

O Porto de Sines é o maior porto artificial de Portugal e das mais relevantes obras da engenharia portuguesas. Este projeto portuário assentou, inicialmente, na construção do molhe oeste a partir do cabo de Sines, com cerca de 2 000 m de extensão e fundo máximo de -50 m ZH (Figura 16). Para a sua construção foram usados 6 Mm³ de enrocamentos, constituídos por blocos de 3 a 20 ton. A seleção de uma pedreira para exploração de tal volume de enrocamentos com características adequadas constituiu um desafio da Geologia de Engenharia. Com a entrada em serviço do terminal petrolífero, foi concluída a primeira fase do porto de águas oceânicas de Sines, o maior porto artificial de Portugal e um porto oceânico de águas profundas, de fundos naturais até -28 m ZH, capaz de permitir a acostagem de navios de grande porte.



Fig. 16 - Vista aérea e perfil do molhe principal do Porto de Sines.

A aplicação das novas tecnologias das paredes moldadas e das ancoragens revolucionaram a forma como passaram a ser concebidas as obras mais complexas, permitindo que passassem a ser utilizadas diversas técnicas, como as paredes tipo Berlim, com pranchas de madeira, ancoradas, paredes moldadas, ancoradas ou escoradas, paredes moldadas suportadas pelas lajes da estrutura e paredes tipo Berlim definitivas escoradas ou ancoradas. Um exemplo é o da Estação Saldanha do ML que foi executada ao abrigo de uma cortina tipo Berlim ancorada (Figura 17).

Os principais agentes de mudança na geotecnia na década de 1970 foram:

- o desenvolvimento dos computadores e o advento do método dos elementos finitos;
- o lançamento da revista Geotecnia;
- a constituição da SPG;



Fig. 17 - Cortina tipo Berlim ancorada na Estação Saldanha do Metropolitano de Lisboa (arquivo Teixeira Duarte).

- a filiação do APMSR na IAEG (1972);
- a criação dos Cursos de Pós-graduação em Geotecnia na UNL;
- a tendência evolutiva para a construção das barragens de aterro com perfis zonados com filtro chaminé;
- o aumento significativo da utilização dos processos de tratamento de solos.

3.6 – Década de 1980. Surgimento dos fundos comunitários

Com os primeiros anos da década de 80, o ciclo económico voltou a inverter-se e o mercado da construção ressentiu-se totalmente. A deterioração da procura e o agravamento da situação económico-financeira, criaram uma situação sem paralelo desde a recessão de 1974-75. Face a este quadro de recessão, que se iniciou em 1981 e atingiu o pico em 1985, as empresas de construção procuraram no mercado internacional as encomendas que não era possível obter no país. O primeiro passo fez-se na direção dos países africanos de expressão portuguesa. A internacionalização foi, no entanto, um processo demorado e, só por si, não significou o surgir de um novo ciclo.

Em 1985 deu-se a adesão de Portugal à Comunidade Económica Europeia (CEE), a qual viria a ter um papel fundamental e decisivo para o desenvolvimento económico do país, com repercussões evidentes no desenvolvimento da geotecnia.

Mais para o final da década, começou a verificar-se a dinamização da execução de obras de construção civil, designadamente nas áreas rodoviária, aeroportuária, fluvial e marítima, que teve como consequência a importação de tecnologias já largamente aplicadas noutros países, mas que conduziu à modernização das empresas de construção e ao desenvolvimento de meios tecnológicos e à formação de técnicos especializados. Instalaram-se em Portugal grandes empresas internacionais de engenharia, o que obrigou as empresas nacionais a desenvolver a sua atividade num ambiente de mercado totalmente aberto, caracterizado por uma concorrência muito forte, onde a sua capacidade, mesmo no mercado nacional, passou a ser cotejada com a das referidas empresas internacionais.

Em 1980 foi publicada a legislação que criou os Mestrados em Portugal, tendo sido possível transformar os Cursos de Especialização em Mestrados, com a mesma designação e o mesmo currículo letivo, sendo necessária a elaboração de uma dissertação e a sua discussão pública. É de assinalar que a primeira tese de mestrado defendida em Portugal na área das ciências foi na UNL e em Mecânica dos Solos. Com o surgimento dos fundos comunitários e da lei da Autonomia das Universidades, estas começaram a desenvolver a área da investigação, com meios e com a flexibilidade que a nova lei lhes proporcionou. A investigação desenvolvida pelas Universidades teve um pendore mais teórico enquanto que a investigação no LNEC tendeu mais para a aplicação.

A década de 80 foi caracterizada pelo aparecimento de grandes preocupações ambientais em Portugal, iniciando-se um período de vultuosos investimentos no setor, em parte provenientes da

CEE, o que viria a transformar profundamente o panorama nacional neste domínio. Verificou-se, também, uma crescente preocupação com os problemas da segurança e qualidade das barragens. Desenvolveu-se, assim, no país um efetivo sistema de segurança de barragens, tendo a experiência na engenharia de barragens portuguesa sido sintetizada, a partir da década de 1980, num importante conjunto de diplomas legais, constituído pelo Regulamento de Segurança de Barragens e respetivas normas complementares de projeto, de construção, de exploração e de observação e inspeção.

As obras do âmbito hidroelétrico foram, a partir de meados da década de 80, condicionadas por vários fatores: estar concluída uma boa parte dos aproveitamentos com maior interesse económico, restrições do ponto de vista ambiental, expansão da componente hidroelétrica através do reforço de potência em aproveitamentos existentes, início da revisão da adequação, reabilitação e reforço das estruturas existentes e dos órgãos complementares de segurança e exploração e forte incremento da construção de aproveitamentos mini-hídricos (Silva Gomes et al, 2004).

Nesta década começou a aplicar-se na estabilização de taludes de escavação a técnica dos muros pregados, consistindo na execução, de cima para baixo, de faixas de pregagens e de betão projetado. O sistema de escoramento pré-esforçado teve as suas primeiras aplicações, quando foi necessário limitar as deformações associadas a escavações de grande largura em que não era possível utilizar ancoragens. A técnica das paredes moldadas no terreno desenvolveu-se ainda mais a partir da altura em que foi possível começar a fazer o desmonte do terreno por uma hidrofresa, equipamento suscetível de desmontar solos muito rijos e maciços rochosos, permitindo maior rigor na verticalidade dos painéis e obter juntas entre painéis praticamente impermeáveis.

Na década de 1980 a SPG desenvolveu significativa atividade, de que se destaca o 1.º Encontro Luso-Brasileiro de Geotecnia, realizado em Lisboa, em 1981, e o 1.º Congresso Nacional de Geotecnia, realizado em Lisboa, em 1985. Este foi designado de Encontro e só a partir do 4.º, em 1991, passou a designar-se de Congresso. Teve como tema “A Geotecnia em Obras nas Áreas Urbanas”.

As obras com intervenção mais relevante da geotecnia na década de 80 foram as barragens de aterro de Morgavel (1980), da Meimoa (1985) e de Beliche (1986), o Aproveitamento de Fins Múltiplos do Mondego (1986), incluindo a barragem da Aguieira, a ponte-açude de Coimbra (1981) e a regularização do rio Mondego a jusante de Coimbra, o Terminal Cerealífero da Trafaria (1984), as barragens de betão de Crestuma-Lever (1985) e do Torrão (1988), as barragens de Pequenos Libombos, em Angola (1985) e da Corumana, em Moçambique (1989), o início da exploração das minas de cobre da Somincor (1988) e os túneis de Calvanas, da Cidade Universitária e do Alto dos Moinhos do ML.

A barragem de Beliche é constituída por maciços estabilizadores de enrocamento de granulometria extensa e por um núcleo argiloso com filtros chaminé a montante e a jusante com camadas duplas de filtro grosso e filtro fino (Figura 18). Foi a primeira barragem com este tipo de perfil a ser construída em Portugal. A fundação é constituída por formações xistosas e grauváquicas. Os materiais a usar na barragem foram ensaiados em equipamentos projetados e construídos no LNEC. Este conjunto de estudos contribuiu para colocar o país num lugar cimeiro no domínio da utilização de enrocamento em diversos tipos de infraestruturas (Maranha das Neves, 2008).

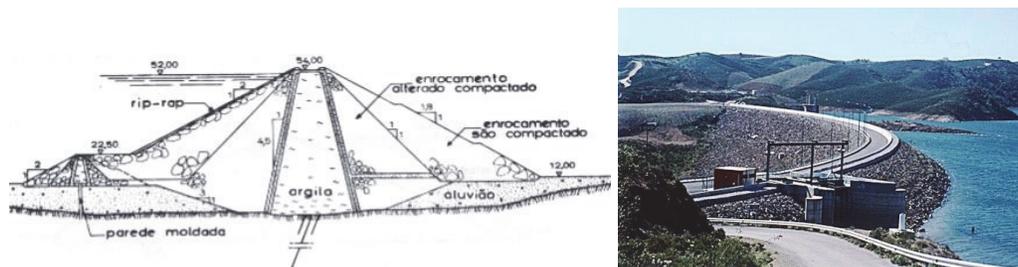


Fig. 18 - Corte transversal central e vista aérea da barragem de Beliche.

A barragem da Aguieira (270 MW), constituída por três abóbadas múltiplas de grandes vãos, constitui, sem dúvida, uma obra de referência na engenharia de barragens. Com 89 m de altura máxima e vãos de 90 m, é uma estrutura muito complexa apoiada em dois contrafortes e nos encontros (Figura 19). A melhoria das condições mecânicas e hidráulicas da fundação foi feita com recurso a tratamento com injeções de cimento e furos de drenagem, prática seguida desde a construção das primeiras barragens de betão nos anos 40. No caso da barragem da Aguieira o traçado em planta das galerias de injeção desenvolve-se ao longo de alinhamentos próximos da fundação das abóbadas, com dois ramais orientados segundo a direção dos contrafortes (Lima et al, 2021).

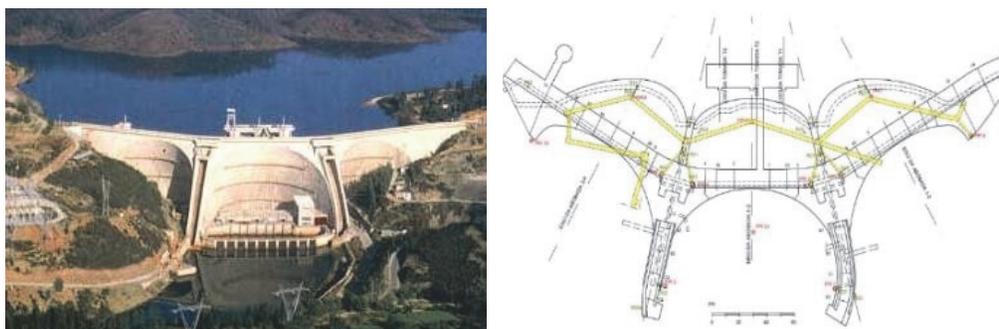


Fig. 19 - Vista aérea de jusante e planta da barragem da Aguieira com a localização das galerias de injeção (Lima et al, 2021).

O aproveitamento do Torrão (140 MW), no rio Tâmega, afluente do rio Douro da margem direita, tem perfil gravidade com vazamento, com curvatura circular em planta e altura máxima acima da fundação de 69 m, sendo a barragem do tipo gravidade mais alta do país.

As duas últimas décadas do século XX fecham um ciclo da engenharia de minas em Portugal, com o encerramento gradual da quase totalidade das minas metálicas e de carvão do país. Sobraram dois pilares: a mina de Neves-Corvo e a já centenária mina da Panasqueira.

O aproveitamento da Corumana, em Moçambique, destinou-se à regularização dos caudais do rio Sabié, à rega e à produção de energia (14,5 MW). Tem um volume de armazenamento de 1 380 hm³ (Figura 20). A barragem é de terra, com perfil zonado, com altura acima da fundação de 45 m, desenvolvimento do coroamento de 3 050 m e volume de aterro de 8,5 Mm³. O terreno de fundação é constituído por depósitos coluviais e aluviais sobre o manto basáltico. Dispõe de uma parede moldada com 0,80 m de espessura, 760 m de desenvolvimento, profundidade máxima de 28 m e área de 16 130 m². Foi constituída por uma argamassa plástica com deformabilidade semelhante à dos solos de fundação.



Fig. 20 - Vista aérea da barragem da Corumana.

Os principais agentes de mudança na geotecnia na década de 1980 foram:

- a adesão de Portugal à CEE;
- o início do desenvolvimento da área da investigação nas Universidades;
- a criação dos Mestrados em Mecânica dos Solos e em Geologia da Engenharia;
- o projeto de investigação sobre enrocamentos no LNEC;
- a publicação do Regulamento de Segurança de Barragens;
- o início da produção de cobre nas minas da Somincor;
- o aparecimento de grandes preocupações ambientais;
- o desenvolvimento da técnica dos muros pregados;
- desenvolvimento da escavação das paredes moldadas com hidrofresa.

3.7 – Década de 1990. Grande desenvolvimento das obras públicas

A década de 90 foi um período muito intenso de construção em Portugal, em grande parte resultante da disponibilização de fundos comunitários no âmbito de vários programas de apoio ao desenvolvimento decorrentes da integração de Portugal na União Europeia.

O desenvolvimento económico e social interno e a redução das assimetrias regionais dependiam em muito da estrutura rodoviária, tanto mais que 90% dos transportes de pessoas e mercadorias se fazia por estradas, pelo que foi privilegiada a melhoria das ligações entre o litoral e o interior, os acessos às grandes cidades e a integração da estrutura viária na rede transeuropeia. Assim, logo entre 1990 e 1995, foram construídos mais de 800 km de Itinerários Principais e cerca de 350 km de Itinerários Complementares. Foi também construída uma nova rede rodoviária na Ilha da Madeira que permitiu melhorar muito a rapidez de ligação do Funchal às maiores vilas da ilha. Este foi o mais importante investimento na história da Ilha.

No planeamento urbanístico há a destacar na zona norte de Lisboa o complexo da Expo'98, com execução de obras de grande relevo. É considerado um dos maiores projetos de infraestruturas a nível nacional e mesmo a nível europeu. Situadas na zona aluvial do rio Tejo, em que as aluviões lodosas atingem profundidades máximas da ordem de 20 m, estas obras constituíram uma notável realização da engenharia, com forte componente geotécnica, cuja realização representou um enorme desafio conceptual e técnico.

Ao grande desenvolvimento das obras públicas correspondeu um grande crescimento da atividade na área da geotecnia, com o alargamento dos serviços de geotecnia das grandes empresas e com o nascimento de novas empresas, algumas delas dedicadas exclusivamente ao projeto e à fiscalização de obras geotécnicas.

Em 1990 foi publicado o Regulamento de Segurança de Barragens, a que se seguiu a publicação das Normas Complementares. A publicação desta legislação veio definir um quadro legal dos mais abrangentes do mundo, o que colocou, nesta década, o país numa posição destacada a nível internacional.

Em 1994 decorreu em Lisboa o 7.º Congresso Internacional da IAEG, organizado pela SPG, culminando a presidência desta associação por Ricardo de Oliveira no período de 1990-1994. Em 1994, em resultado do crescimento dos problemas relacionados com o controlo e preservação do ambiente, foi realizado em Edmonton no Canadá o primeiro Congresso Internacional de Geotecnia Ambiental. O terceiro congresso viria a ser realizado em Lisboa em 1998.

Em 1997, a Sociedade Portuguesa de Geotecnia completou 25 anos, tendo realizado uma Sessão Comemorativa dedicada ao Eurocódigo 7 (SPG, 1997), com o objetivo de divulgar o EC7 e de apresentar casos práticos de adoção dos métodos de dimensionamento preconizados, baseados na verificação da segurança e da funcionalidade relativamente aos estados limites, o que viria a introduzir uma profunda modificação da prática geotécnica portuguesa.

No que respeita ao ensino superior, foi assinada por 29 países, em junho de 1999, a Declaração de Bolonha sobre a Educação Superior na Europa com o objetivo de tornar semelhante o sistema educativo, o que se viria a repercutir na organização dos cursos universitários.

As obras com intervenção mais relevante da geotecnia na década de 90 foram: o aproveitamento hidroelétrico do Lindoso (1992), a autoestrada A9 (CREL), com os túneis de Carenque e de Montemor (1995), o Centro Distribuidor de Santo Estevão (1996), as barragem do Funcho (1993) e de Odeleite (1997), a barragem de Al Whada, em Marrocos, as Linhas do ML da Baixa, com as estações da Baixa-Chiado e do Cais do Sodré (1998), e Vermelha, da Alameda à Expo'98 (1998) e a Segunda Travessia Rodoviária do Tejo em Lisboa, com a Ponte Vasco da Gama (1998).

Em 1992 foi concluído um importante aproveitamento hidroelétrico que substituiu o do Lindoso. Inclui as barragens do Alto Lindoso e do Touvedo, a primeira com 110 m de altura máxima. Este aproveitamento distingue-se pela sua grande central subterrânea, a mais de 300 m de profundidade, caracterizada por, na altura, ter a mais elevada potência instalada em Portugal (630 MW). A central tem as dimensões de 21 m x 42 m x 91 m, constituindo uma das maiores centrais subterrâneas na Europa. O circuito hidráulico é constituído por grandes túneis de derivação e de restituição e por cavernas para a central, chaminé de equilíbrio e câmaras de válvulas e poços de carga, de barrantos e de arejamento. Pela primeira vez na história dos projetos hidroelétricos subterrâneos em Portugal foi utilizada a técnica do raise-boring na abertura de poços (Plasencia, 2014).

A autoestrada A9 (Circular Regional Exterior de Lisboa), entre Caxias e Alverca, tem uma extensão de 34,4 km e engloba dois importantes túneis, o de Carenque, com 280 m de extensão, e o de Montemor, com 650 m de extensão, e um longo viaduto sobre a baixa aluvionar de Loures. Os túneis são constituídos por duas galerias com 19,44 m de largura cada. A construção do túnel de Carenque teve como objetivo a preservação de uma área de icnofósseis de elevado valor paleontológico com registos de pegadas de dinossauros do período Cretácico (Figura 21). Para a execução do emboquilhamento Este, fortemente condicionado pela existência das pegadas de dinossauros e de pequeno recobrimento, considerou-se a construção de túneis laterais de seção reduzida ou side-drifts, para além de um reforço estrutural do maciço com enfilagens. Nesta década há ainda a assinalar a construção de outros túneis rodoviários de grande seção nas autoestradas, para alojar duas vias de tráfego em cada sentido. Pode dizer-se que foi o arranque da moderna engenharia de túneis em Portugal.



Fig. 21 - Portal Este durante a fase de execução e portal Oeste após conclusão (Pistone e Melâneo, 1995).

O Centro Distribuidor de Santo Estevão está integrado no Sistema Hidráulico de Odeleite-Beliche e situa-se a 4 km a norte de Tavira. É constituído por um reservatório a céu aberto, de forma retangular, um dos maiores deste tipo na Península Ibérica (Figura 22). O reservatório foi integralmente impermeabilizado com uma geomembrana exposta do tipo PEAD (polietileno de alta densidade), com 2 mm de espessura nos taludes e 1,5 mm de espessura no fundo, com uma área total de 35 000 m².



Fig. 22 - Vista geral do reservatório de Santo Estevão (Mateus de Brito e Baião, 1997).

A construção da barragem de Al Whada, em Marrocos, teve como objetivos o controle de inundação, irrigação, abastecimento de água e produção de energia hidroelétrica. Esta barragem situa-se numa zona de elevado risco sísmico. É do tipo terra zonada, com 1 600 m de comprimento no coroamento e com uma altura máxima acima da fundação de 88 m (Figura 23). O volume de escavações é de 13,8 Mm³ e o de aterros é de 26,4 Mm³. O volume de armazenamento é de 3 800 Mm³. O terreno de fundação é constituído por margas intercaladas com arenitos, sendo o leito de rio preenchido com aluviões grossas e finas.

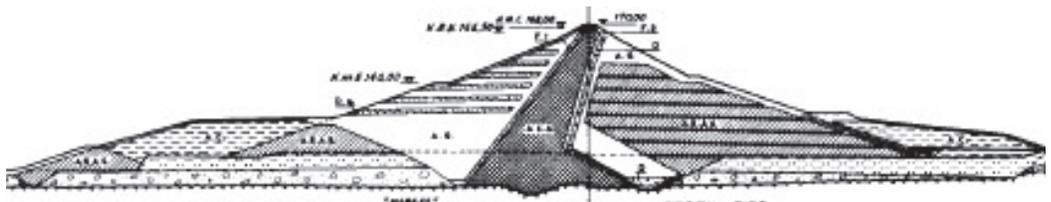


Fig. 23 - Perfil transversal da barragem de Al Whada, Marrocos (Mineiro, 1978).

A conceção da barragem, da configuração e do traçado do descarregador de cheias, do canal de restituição e da fossa de dissipação de energia, foram fortemente condicionados pelas muito adversas condições geológicas e geotécnicas da fundação, onde a existência de margas expansivas intercaladas com bancos rígidos de arenitos, ditaram o posicionamento dos principais órgãos hidráulicos da barragem. É a segunda maior barragem da África, depois da barragem de Aswan, e a maior de Marrocos.

Por parte do ML houve uma intensiva utilização dos fundos comunitários, o que permitiu a expansão da rede em cerca de 20 km. Inicialmente foi realizada a desconexão do nó da Rotunda, o que permitiu a criação de linhas independentes e a otimização da exploração. Construíram-se as linhas da Baixa, com as estações da Baixa-Chiado e do Cais do Sodrê, e a linha vermelha, da Alameda à Expo'98. A linha da Baixa constituiu uma notável realização da engenharia, com forte componente geotécnica, cuja realização representou um enorme desafio conceptual e técnico. As obras subterrâneas foram construídas com pequenas coberturas, sempre abaixo do nível freático, em terrenos constituídos por aterros, argilas moles, argilas sobreconsolidadas e areias sobreconsolidadas, com passagens de calcarenitos, numa zona da cidade onde predominam inúmeras edificações sensíveis e de elevado valor histórico e patrimonial, exigindo a minimização dos impactes ambientais. Foi necessário recorrer a soluções técnicas das mais sofisticadas até então conhecidas, nomeadamente no atravessamento de fundações muito brandas, à utilização da técnica do NATM na abertura de duas cavernas paralelas de grande seção, separadas de apenas 7 m, em

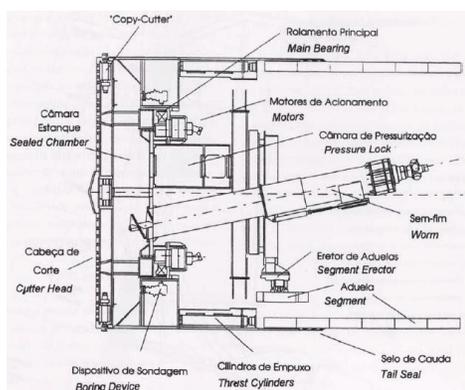


Fig. 24 - Cabeça de corte e corte do escudo da tuneladora (Bento Pedroso Construções, 2003).

solos abaixo do nível freático e com reduzido recobrimento (Maranha das Neves, 2003). Na construção das duas linhas da Baixa de Lisboa, face às condições geológicas-geotécnicas, o tipo de ocupação urbana e o comprimento dos diversos túneis a executar, optou-se pela utilização de uma tuneladora (TBM). Esta, foi utilizada em 1992, pela primeira vez em Portugal, para a construção de 803 m do túnel entre as estações Cais do Sodré e Baixa Chiado (Figura 24).

A estação Baixa-Chiado do ML é uma das mais complexas e ousadas realizadas em NATM. A estação é constituída por duas cavernas gémeas, de grandes dimensões, com comprimento de 181m (nascente) e 160 m (poente), 17,68 m de largura, 16,2 m de altura e 225,90 m² de seção (Figura 25).

Foi realizada em solos argilosos sobreconsolidados (argilas dos Prazeres) subjacentes a solos arenosos, igualmente sobreconsolidados (areolas da Estefânia), com intercalação de estratos calcareníticos.



Fig. 25 - Vista dos trabalhos de escavação das seções 1, 2 e 3 da estação Baixa-Chiado poente (Maranha das Neves, 2003).

A obra rodoviária mais relevante realizada na década foi a ponte Vasco da Gama, sobre o rio Tejo, em Lisboa. É um dos maiores projetos de infraestruturas a nível nacional e mesmo a nível europeu, contribuindo decisivamente para o desenvolvimento das acessibilidades rodoviárias nacionais. A ponte e os viadutos de acesso atravessam em todo o seu desenvolvimento o vale aluvionar do rio Tejo, que, nesta zona, atinge uma largura de mais de 12 km e uma espessura máxima de cerca de 80 m. Atravessa em toda a extensão espessos depósitos aluvionares holocénicos da baixa

aluvionar do Tejo, sobrejacentes ao substrato plio-plistocénico e miocénico, na margem direita (Figura 26).

A ponte principal, atravessando a cala norte do rio, é uma estrutura atirantada com o comprimento de 826 m e com um vão livre de 420 m entre torres. As torres do vão central, com 148 m de altura, apoiam-se em maciços de encabeçamento sobre estacas moldadas de 2,2 m de diâmetro executadas ao abrigo de grandes ensecadeiras.

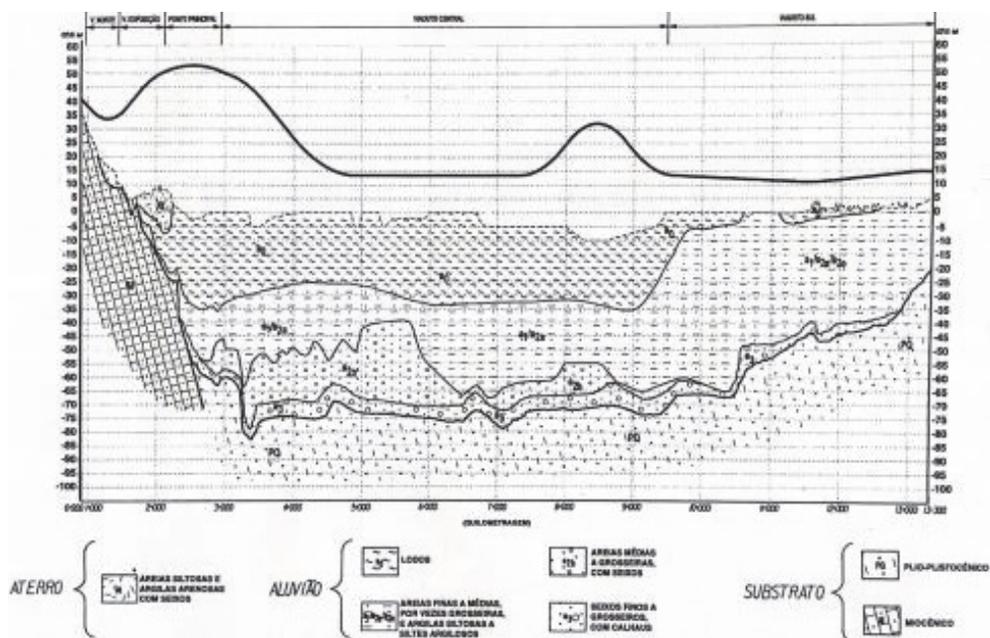


Fig. 26 - Perfil geológico da ponte Vasco da Gama (Oliveira et al, 1997).

Os principais agentes de mudança na geotecnia na década de 1990 foram:

- o desenvolvimento da construção de barragens de enrocamento;
- a explosão da construção rodoviária portuguesa;
- a construção de pontes rodoviárias de grande extensão e de grande vão;
- a construção de túneis rodoviários de grande seção;
- a construção de novas linhas do ML;
- a Declaração de Bolonha (1999).

3.8 – Década de 2000. Incremento da internacionalização da engenharia portuguesa

No início do século são de salientar os progressos significativos que continuaram a verificar-se na investigação na área da geotecnia aplicada à engenharia civil, quer no domínio da teoria com vista a repercussões na segurança e funcionalidade das estruturas geotécnicas, quer na caracterização dos materiais, quer, ainda, na inovação das tecnologias construtivas (Maranha das Neves, 2008). Por outro lado, a geotecnia continuou a assumir e a aprofundar a sua intervenção cada vez mais decisiva no desenvolvimento da sociedade na sua permanente interferência com o ambiente, quer na exploração dos recursos naturais, quer na construção das obras, quer no uso do terreno, incluindo o descarte dos resíduos resultantes destas atividades (Oliveira, 2010).

Durante a década aumentou significativamente o volume de construção de autoestradas, tendo-se concluído cerca de duas dezenas, desde o norte do país (A4 - Trás-os-Montes e Alto Douro e a AE do Grande Porto) até ao Algarve (trecho Castro Verde-Paderne da A2 e a A22 – Via Infante de

Sagres), passando pela região de Lisboa (A10 - Bucelas-Benavente e A16-Grande Lisboa). Na ilha da Madeira foi concluída a importante Via Rápida Ribeira Brava – Caniçal.

A retração do investimento nacional, a partir do ano de 2004, afetou severamente as empresas de consultoria, as quais se encontravam numa fase delicada do seu desenvolvimento. Foi, assim, que nos primeiros anos da década, as empresas de consultores nacionais estenderam a sua atividade no estrangeiro, em parte devido à sua própria iniciativa, em parte em ligação com empreiteiros nacionais que contratavam com os seus clientes, para além da construção das obras, os serviços de estudos e projetos, mais frequentemente os projetos de execução. O incremento dos trabalhos no estrangeiro esteve relacionado com a reabilitação e retoma de construção de aproveitamentos hidráulicos em Angola, com o incremento da atividade nos países do Magrebe e no Brasil e com o reinício da construção de barragens em Moçambique.

Só no final da década o Estado resolveu dar um maior impulso às obras públicas, tendo concedido à iniciativa privada uma parte significativa dos grandes empreendimentos, com forte impacto social para o país. Foram constituídos grupos concessionados, designados Parcerias Público Privadas (PPP), que desenvolveram projetos globais abrangendo as componentes de projeto, financiamento, construção e exploração, tendo sido constituídas seis subconcessões em PPP para as autoestradas.

Também, no sentido de reduzir a dependência energética de Portugal, retomou-se, em 2008, o plano de construção de grandes aproveitamentos hidroelétricos, tendo sido concessionado o importante aproveitamento hidroelétrico de Baixo Sabor.

As obras com intervenção mais relevante da geotecnia na década de 2000 foram as seguintes: as novas Autoestradas, a barragem do Sabugal (2000), os Túneis e as estações do Bolhão (2001) e de Salgueiros do Metro do Porto (MP), a barragem do Alqueva (2002), integrada no Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva (EFMA), a estação do Terreiro do Paço do ML (2003), a Via Rápida Ribeira Brava-Caniçal, na Madeira (2005), incluindo os túneis de Santa Cruz Este e Oeste (2000) e o túnel duplo do Caniçal (2004), a ponte da Lezíria e o nó do Carregado (2007) e a barragem de Odelouca (2009).

Nas autoestradas destaca-se a A10 que liga a região da Área Metropolitana de Lisboa com a sub-região Lezíria do Tejo, desde Alverca até Samora Correia, com uma extensão total de 39,8 km. Do ponto de vista geotécnico, esta via foi das mais complexas, incorporando obras de grande relevo, como o túnel duplo do Mato Forte, em formações miocénicas, as significativas escavações e aterros em solos margosos, os viadutos do nó do Carregado e a ponte e viadutos da Lezíria, totalmente fundados em estacas, no atravessamento da baixa aluvionar do Tejo, onde esta tem a sua máxima largura.

Na década de 2000 continuou o ritmo de construção de barragens de aterro, mas de pequena a média dimensão. Foram construídas 31 barragens de aterro, maioritariamente de terra zonada com filtro. A barragem do Sabugal foi a barragem de aterro mais importante construída na década. Está integrada no importante Aproveitamento Hidroagrícola da Cova da Beira. Fica localizada no rio Côa, tem uma altura máxima de 58,5 m e apresenta um desenvolvimento de 1 005 m. A barragem é de terra com perfil zonado, incorporando um núcleo central em solo residual dos xistos e maciços estabilizadores, na zona interna, em xisto ripável e, na zona externa, em enrocamento de granulometria extensa de granauque ou granito.

A barragem do Alqueva, no rio Gadiana, a mais importante construída na década de 2000, fundamental para o grande projeto nacional de rega do Alentejo, é do tipo arco com 96 m de altura máxima (Figura 27). A construção desta barragem criou o maior reservatório artificial de água da Europa Ocidental, também chamado de Grande Lago. Tem quase 100 km de extensão e uma capacidade de 4 150 Mm³. A barragem está fundada num maciço muito heterogéneo que, na margem direita e no fundo do rio, é constituído por xisto verde de boa qualidade e, na margem esquerda, por filádio de razoável qualidade, que é atravessado por numerosas falhas, de que se destaca a falha 22 que possui uma caixa de espessura variável entre 0,8 m e 4 m. A influência desta



Fig. 27 - Vista aérea da barragem do Alqueva e perfil radial do tratamento de substituição do material na fundação da margem esquerda (Lima et al, 2021).

falha sobre o comportamento estrutural da barragem justificou que ela fosse objeto de um tratamento específico que consistiu na substituição do material da caixa de falha.

Em 2003 foi concluída a abertura dos túneis da extensão da linha A (azul) e da linha D (amarela) do MP. Estes túneis ligam Campanhã à Trindade, com 2 300 m de extensão, e o Pólo Universitário à ponte Luiz I, com 4 200 m de extensão. Atravessam zonas de granitos quase são a muito alterados, ocorrendo com frequência passagens bruscas de granitos são para granitos muito alterados. Situam-se praticamente ao longo de todo o traçado abaixo do nível freático. Face às difíceis condições da envolvente e com o objetivo de ter o menor impacto possível à superfície, o método de escavação escolhido foi o da utilização de tuneladora do tipo EPB, com uma cabeça de corte com 8,7 m de diâmetro e um escudo com comprimento de 8,5 m de e peso de 670 ton. Ao longo deste traçado dos túneis foram construídas 11 estações, sendo cinco em subterrâneo (Heroísmo e Bolhão, na linha A, e Combatentes, Marquês e Faria Guimarães, na linha D), e seis a céu aberto, do tipo cut-and-cover (Campo 24 de Agosto, na linha A, e Pólo Universitário, Salgueiros, Trindade, Aliados e São Bento, na linha D).

De entre as estações subterrâneas do MP merece referência especial a estação do Bolhão. Situa-se numa zona densamente urbanizada, no centro da atividade comercial da cidade, com a Igreja das Almas (património histórico da cidade) numa das suas esquinas e o tradicional Mercado do Bolhão na outra. É constituída essencialmente por uma caverna principal onde se localiza o cais, com um comprimento de 70 m e uma secção de escavação de 186 m² e por uma galeria transversal de direção ortogonal à primeira, com um comprimento de 62 m e secção circular de 160 m². Na intersecção das



Fig. 28 - Zona de intersecção das galerias da Estação do Bolhão após conclusão da escavação (Pistone et al, 2009).

duas galerias, a altura da secção da caverna é aumentada num troço com cerca de 20 m de extensão, passando a secção de escavação a ter 244 m² (Figura 28).

De entre as estações a céu aberto do MP é de salientar a estação Salgueiros, concluída em 2005. Tem uma conceção estrutural arrojada, que viabilizou uma execução rápida e eficiente, sem escoramentos intermediários e ancoragens, com uma área transversal livre 2 700 m² ao longo de toda a altura de escavação. A conceção aproveita ao máximo as virtudes de uma geometria arredondada do revestimento, composta por um par de elipses e travada por um pórtico de grandes dimensões, constituído por uma viga única ao nível da superfície e por dois poços auxiliares construídos pelo prático método NATM. Na área de implantação da estação, ocorrem essencialmente solos residuais de granito com diversos graus de alteração. Os poços auxiliares situados nos pontos de interseção das elipses, têm um diâmetro interno de 3,3 m, com uma distância aproximada entre eixos de 30 m.

A viga de travamento tem 2 m de altura e 1,6 m de largura. Os dois poços, juntamente com viga transversal superior, formam a espinha dorsal de sustentação de toda a estrutura da estação (Figura 29). Após a construção dos poços auxiliares, da viga de travamento e da viga de bordo, os poços elípticos foram escavados pelo método NATM, atravessando em quase toda a sua altura de 24 m, solos pouco competentes, sendo a sua base apoiada em rochas brandas a duras. O revestimento primário da estação apresenta espessura crescente em função dos carregamentos que variam com a profundidade. A espessura do primário começa com 0,35 m, passa para 0,45 m e depois para 0,60 m (Andrade, 2014). Esta inovadora tecnologia de poços circulares ou elípticos profundos, de grande secção em planta, construídos pelo método sequencial, aplicada com sucesso em maciços de solos residuais, foi desenvolvida pela engenharia brasileira, no virar do século.

Na Ilha da Madeira, a Via Rápida Ribeira Brava-Caniçal, com duas vias em cada sentido e extensão de cerca de 45 km, com condições geomorfológicas muito heterogéneas, características dos ambientes vulcânicos, destaca-se pela diversidade das soluções estruturais com um significativo conjunto de obras de arte especiais, que representam cerca de 50% do mesmo. Esta via rápida constitui a obra rodoviária mais relevante realizada na ilha e uma das grandes obras geotécnicas portuguesas do final do século XX. Nesta via destacam-se os túneis de Santa Cruz Este e Oeste, com baixo recobrimento, em formações vulcânicas muito heterogéneas, onde predominam as formações brechóides desagregáveis. Os túneis têm quatro vias, duas em cada sentido, e um separador central, com uma largura útil mínima entre hasteais de 18,5 m e um vão de escavação de 20,2 m, sendo os mais largos da ilha da Madeira. A secção máxima de escavação é de 182 m². Têm o mesmo desenvolvimento de 135 m e idêntico recobrimento médio de 20 m (Figura 30).



Fig. 29 - Vista 3D e vista aérea do poço duplo elíptico contruído pelo método sequencial de escavação-betonagem da Estação Salgueiros (Andrade, 2014).

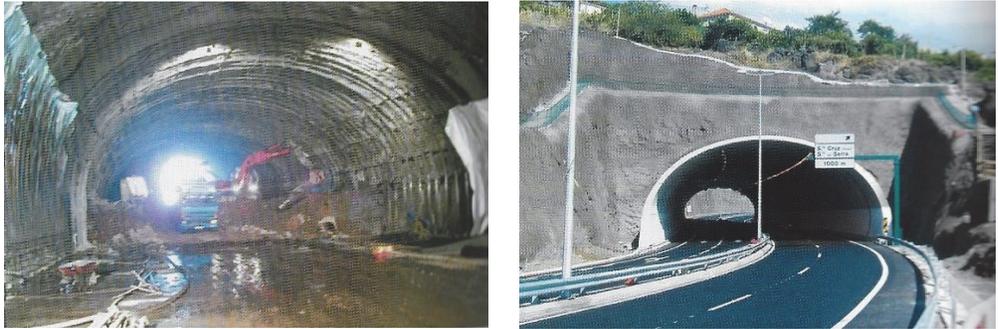


Fig. 30 - Vistas da execução do rebaixo e do portal oeste do túnel de Santa Cruz Oeste.

Das obras do ML há a salientar a conclusão, em 2007, da estação do Terreiro do Paço. Em termos simplificados, a estrutura da estação corresponde a uma grande caixa de betão armado, construída a partir da superfície do terreno, ligada ao túnel nos dois portais, distanciados de cerca de 140 m e com uma largura de 16 m na zona estreita e de 24 m na zona larga (Figura 31). O teto do substrato ocorre ligeiramente abaixo da base da laje de fundo da estação. Ocorrem, à superfície, aterros com espessura muito variável, por vezes misturados com aluviões, contendo pedras e obstáculos, por vezes de grandes dimensões. Seguem-se as aluviões predominantemente argilodosas, englobando desde lodos muito brandos a areias (algumas muito limpas). Nota-se uma predominância muito significativa das areias limpas na base das aluviões. Subjacente às aluviões, ocorrem as formações do Miocénico, constituídas por argilas do Forno do Tijolo, de consistência rija, intercaladas por camadas de areias densas com artesianismo. A cortina de contenção é constituída por estacas secantes de betão armado e de bentonite-cimento com 1,50 m de diâmetro. Previamente foram executadas as estacas de bentonite-cimento com afastamento ao eixo de 1,75 m. Em seguida foram construídas, alternadamente com as primeiras e seccionando-as parcialmente, as estacas de betão armado com afastamento ao eixo também de 1,75 m. Todas as estacas penetraram, no mínimo, 8 m no substrato miocénico. Para o sistema de escoramento provisório foram adotados cinco níveis de pares de escoras horizontais, entre as faces longitudinais (norte e sul) da cortina, constituídas por perfis tubulares de aço de grande diâmetro $\phi 711$ mm e espessura de 16 a 25 mm, com espaçamento horizontal médio de 3,5 m.



Fig. 31 - Vista da obra a partir do torreão poente da praça do Terreiro do Paço (Mateus de Brito e Matos Fernandes, 2014).

As escoras foram fortemente pré-esforçadas durante a instalação, com um pré-esforço uniforme de 3 500 kN por escora, introduzido por 4 macacos hidráulicos. Na zona nascente (larga) da estação as escoras foram dotadas de elementos de contraentamento no plano vertical em dois pontos apoiados em estacas metálicas $\phi 800$ mm preenchidas com betão, fundadas no substrato e instaladas previamente à escavação. Este sistema foi complementado, na zona larga da estação, com uma laje de jet grouting com 3 m de espessura, entre 18 e 21 m de profundidade, disposta entre o túnel existente, previamente preenchido com betão pobre, e as cortinas longitudinais. A escavação foi executada em 5 fases, até atingir a profundidade de 26,5 m (Mateus de Brito e Matos Fernandes, 2014).

A ponte da Lezíria sobre o rio Tejo é a terceira ponte mais extensa da Europa e considerada como a maior obra pública da década de 2000 (Figura 32). Estende-se por cerca de 11,6 km (ponte e viadutos norte e sul), atravessando as luxuriantes paisagens das lezírias ribatejanas. A ponte é parte integrante da circular externa da grande Lisboa, ligando, através do nó do Carregado, as autoestradas A1 e A10, na margem direita, à autoestrada A13, na margem esquerda. É constituída pelo viaduto norte com 1,5 km, a ponte com 1 km, com o tabuleiro a uma altura de 23 m sobre o rio, e o viaduto sul com 9,1 km de extensão.

No local ocorrem, em toda a extensão, as aluviões holocénicas, assentes num substrato Terciário. A espessura das aluviões varia entre os 35 e os 55 m ao longo de cerca de 9 km. Foi identificada uma espessura máxima da ordem dos 62 m. O enchimento aluvionar é constituído por lodos mais ou menos arenosos, anegrados, areias mais ou menos lodosas e areias médias por vezes silto-argilosas. Na transição da série aluvionar para o substrato Miocénico subjacente ocorre um nível de carácter areno-cascalhento, constituído por areias grossas a médias com abundantes passagens de seixos e calhaus siliciosos rolados a sub-rolados de dimensões variáveis. Como critério geral para fundar a ponta das estacas no Miocénico, definiu-se uma linha de fundação de 3ϕ a partir de camadas de solo com $N_{SPT} \geq 55$ pancadas (incluindo por vezes solos da unidade areias e seixos, quando esta ocorre com maior espessura e apresenta de forma consistente valores N_{SPT} elevados). Nos viadutos norte e sul, com vãos de cerca de 40 m, as fundações são constituídas por 4 estacas com $\phi 1,5$ m, agrupadas em alinhamentos transversais. Na ponte, com vãos da ordem de 130 m, as fundações são constituídas por grupos de estacas com $\phi 2,2$ m. Estas atingiram uma profundidade máxima de 55 m (Oliveira et al, 2005). Para a sua execução recorreu-se à cravação de entubamento metálico por meio de vibrofonceur ou por martelo hidráulico, sendo efetuada no interior do mesmo a furação através de vara telescópica Kelly. O entubamento foi perdido nas estacas de fundação dos pilares da ponte, sendo recuperado nas fundações dos restantes elementos estruturais. A limpeza do fundo do furo foi efetuada através do sistema air-lift. Os maciços foram executados ao abrigo de caixões prefabricados em betão armado, que serviram de cofragem perdida. Estes caixões foram



Fig. 32 - Vistas da ponte e da execução da furação no interior dos tubos molde metálicos das estacas da ponte.

prefabricados no local e apoiados provisoriamente nas camisas metálicas das estacas definitivas. Nas estacas foram executados 3 ensaios de carga verticais estáticos à compressão (em estacas de $\phi 0,8$ m), 1 ensaio de carga horizontal estático (numa estaca de $\phi 1,5$ m) e 9 ensaios de carga dinâmicos à compressão (em 7 estacas de $\phi 0,8$ m, onde se incluem as dos ensaios estáticos e em 2 estacas de $\phi 1,5$ m). Os ensaios foram realizados para distintas condições de encastramento das estacas: estaca com 3ϕ de encastramento no Miocénico ($L=53$ m); estaca com 3ϕ de encastramento na unidade geotécnica de areias com seixos e calhaus ($L=44$ m) e estaca com $1,0$ m de encastramento no Miocénico ($L=55$ m).

Com a conclusão da ponte do Carregado, também ficou concluído o nó de interligação da A10 com a A1, conhecido como o nó do Carregado (Figura 33), ficando a constituir uma das mais importantes obras rodoviárias da década de 2000 realizada em Portugal. Este nó fica situado na baixa aluvionar do Carregado, sendo constituído fundamentalmente por viadutos fundados em estacas, que atingiram comprimentos máximos de 35 m e por trechos em aterros, com uma altura máxima altura máxima limitada a 4 m. A obra de arte mais importante é o viaduto da A10 no atravessamento da A1, com uma extensão total de 1 238 m.



Fig. 33 - Nó de Interligação A10 com a A1 visto segundo a A1, de sul para norte.

A barragem de Odelouca, integrada no Aproveitamento Hidráulico de Odelouca, com a finalidade de abastecimento de água ao barlavento algarvio, é a segunda barragem de terra mais alta de Portugal, com 76 m de altura máxima acima da fundação. É uma barragem de enrocamento com núcleo argiloso, a mais alta deste tipo no país. Foi construída maioritariamente com materiais do local, principalmente, xistos, grauvaques e argilas (Figuras 34 e 35).

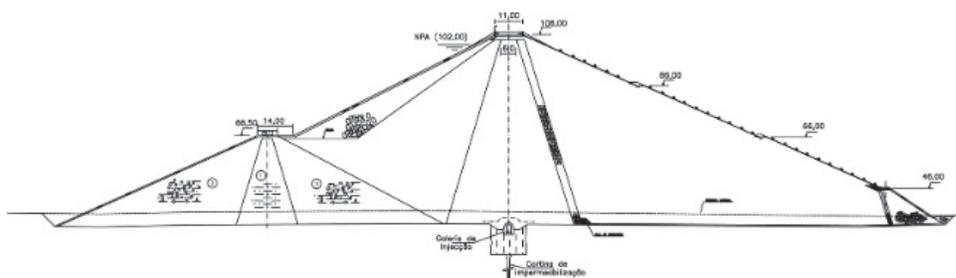


Fig. 34 - Perfil transversal da barragem de Odelouca.



Fig. 35 - Vista da escavação e do aterro da barragem a partir da margem esquerda e vista de jusante da barragem de Odelouca.

Os principais agentes de mudança na geotecnia na década de 2000 foram:

- os progressos significativos na investigação na área da geotecnia aplicada à engenharia civil no domínio da teoria, na caracterização dos materiais e na inovação das tecnologias construtivas;
- o grande volume de construção de autoestradas em todo o Continente e na ilha da Madeira, as quais incluíram a construção de inúmeras pontes e de túneis e de obras de aterro e de estabilização de taludes;
- a continuação da expansão dos metropolitanos de Lisboa e do Porto;
- o incremento dos trabalhos realizados pelas empresas portuguesas de projeto no estrangeiro na reabilitação e retoma de construção de aproveitamentos hidroelétricos em Angola, nos países do Magrebe, no Brasil e em Moçambique, por vezes em ligação com empreiteiros nacionais;
- a forte retração do investimento a partir de 2004, o que afetou severamente as empresas do sector da consultoria.

3.9 – Década de 2010. Retração do investimento público

A partir de 2010 houve uma retração significativa do investimento público, o que levou o Governo a suspender alguns projetos de infraestruturas, sendo as empresas de consultoria e as construtoras obrigadas a procurar aumentar a sua atividade nos mercados exteriores em África, Ásia e América Latina, nomeadamente em Angola, Moçambique, Argélia e Brasil.

Dos novos aproveitamentos hidroelétricos desta década, destacam-se o de Baixo Sabor, com central em poço com 189 MW, o de Ribeiradio-Ermida (2015) com central em poço com 82,3 MW e o de Foz Tua, com central em poço de 270 MW, bem como a entrada em serviço de mais nove reforço de potência de aproveitamentos da EDP, com circuitos hidráulicos subterrâneos. São de destacar Alqueva II (2012), com central de 224 MW, na margem direita, e de Venda Nova II (2017), com central de 780 MW, em caverna. Em 2017, foi concluído um novo reforço de potência em Venda Nova, passando a respetiva central (Frades II) a ser a central hidroelétrica da EDP com maior potência instalada (927 MW).

Finalmente, entraram em vigor os Eurocódigos Estruturais (despacho normativo 21/2019 de 16 de dezembro), com um período de transição de 3 anos. Assim, em 16 de dezembro de 2022 os Eurocódigos assumiram a forma de Normas Europeias (EN), elaboradas pelo Comité Europeu de Normalização (CEN). A entrada em vigor destes Eurocódigos representou um desafio importante para a evolução e atualização dos projetos de estruturas nacionais, assim como para as trocas de

serviços de engenharia entre os estados-membro, facilitando as oportunidades de internacionalização das empresas nacionais.

As obras com intervenção mais relevante da geotecnia na década de 2010 foram as seguintes: a ampliação do Terminal XXI do Porto de Sines (2012), o circuito hidráulico de interligação Odelouca-Funcho (2013), o reservatório do Cerro da Mina (2014), a autoestrada do Marão, com importantes taludes de aterro em solo-cimento e o túnel do Marão (2016), o reforço de potência de Venda Nova III com a central dos Frades II (2017), as barragens de Baixo Sabor (2016), de Ribeiradio e de Foz Tua (2018) e o Metro de Argel, com destaque para a estação Place des Martyres (2018).

Com a conclusão da 2.^a e 3.^a fases da ampliação do cais do Terminal XXI-Terminal de Contentores de Sines, a extensão total de cais acostável passou para 940 m. A solução consistiu num cais sobre estacas com tabuleiro betonado in situ sobre cimbre móvel, resultante da importação da tecnologia utilizada na construção de pontes rodoviárias. As estacas, que constituem a fundação do tabuleiro, são cravadas nos solos moles, furadas no maciço rochoso que materializa o respetivo encastramento e betonadas por meios flutuantes. Com recurso a um sistema de cofragem autolançado assente sobre as estacas, o tabuleiro foi então totalmente betonado no local (Figura 36).

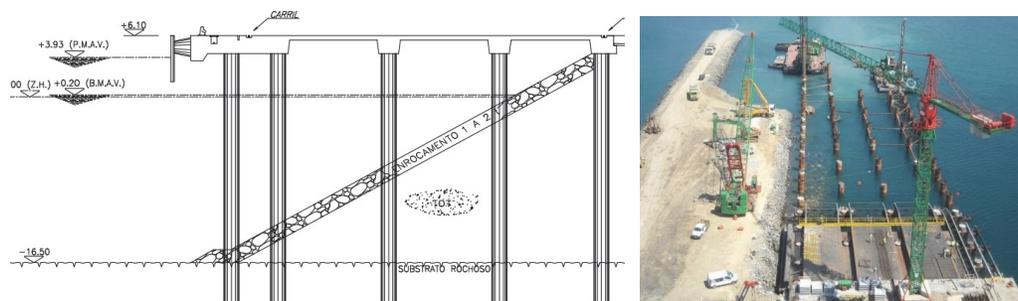


Fig. 36 - Seção transversal e vista geral dos trabalhos em 06-2010 das fases 2 e 3 do cais do Terminal XXI de Sines (Linhares, 2012).

O circuito hidráulico de interligação Odelouca-Funcho é constituído por um plano inclinado sobre a encosta da albufeira, um túnel com diâmetro interior de 2,4 m e uma extensão de 8 150 m, escavado com uma tuneladora (Figura 37), ligação ao túnel com dois poços com 40 m de altura e 3 m de diâmetro, estrutura de regulação de caudais constituída por um tanque circular com 10 m de diâmetro e 16 m de altura e câmara de válvulas.



Fig. 37 - Vista da tuneladora pronta para executar o túnel Odelouca-Funcho.

O Reservatório do Cerro da Mina (Figura 38) tem um volume de armazenamento de 1,45 Mm³. Integra uma barragem com cortina de impermeabilização em geomembrana, com 30 m de altura, a

mais alta deste tipo construída em Portugal. Tem como função o armazenamento de águas residuais resultantes do processo produtivo da Mina de Neves-Corvo. No local da obra ocorre uma sucessão de sedimentos greso-pelíticos em camadas sub-horizontais, onde se incluem grauvaques, siltitos e pelitos. Os grauvaques predominam nos taludes em escavação do reservatório. Tendo em conta a composição química das águas armazenadas e o tipo de aterro adotado, foi preconizada a impermeabilização de toda o reservatório recorrendo a um sistema duplo, constituído por uma geomembrana em PEAD com 2,5 mm de espessura, lisa em ambas as faces e superfície exposta de cor branca, e um geossintético bentonítico.



Fig. 38 - Vista do reservatório do Cerro da Mina em operação (Tavares et al, 2021).

O Túnel do Marão insere-se na denominada Estrada Europeia 82 - E82, que se inicia no Porto, prolongando a autoestrada A4 até Bragança e Espanha. É constituído por dois túneis gêmeos com comprimento de 5 667 m, sendo o túnel rodoviário mais comprido da Península Ibérica (Figura 39).

O túnel cruza o flanco sul da Serra do Marão, numa zona de relevo bastante acidentado, caracterizada por linhas de crista muito elevadas e uma rede hidrográfica muito encaixada. Os terrenos atravessados compreendem formações xistentas, afetadas por metamorfismo de contacto relacionado com a instalação do granito de Amarante. O sistema de compartimentação regional é bastante complexo, devido à ocorrência de duas importantes falhas, uma das quais foi intersectada pelo túnel ao longo de uma vasta zona.



Fig. 39 - Portal este do túnel do Marão.

A Estação Place des Martyres, a mais importante estação subterrânea do metro de Argel, é caracterizada por uma geometria bastante complexa, com um corpo principal com 144 m de comprimento dividido por uma nave central, com 26,0 m de largura e 19,2 m de altura (Figura 41) e duas naves de extremidade, com 18,4 m de largura e 16,4 m de altura, dois acessos e um poço de ventilação. Este poço acabou por ser utilizado como poço de ataque, quer ao corpo principal da estação (por intermédio de uma galeria de prospecção), quer ao próprio túnel de via. Note-se que o recobrimento médio da estação, da ordem de 18 m, é inferior ao diâmetro equivalente da sua secção

transversal e compreende sobretudo xistos alterados e fraturados, o que concorria para que qualquer instabilidade local rapidamente pudesse progredir até à superfície, com consequências potencialmente catastróficas. A escavação foi feita ao abrigo de suporte constituído por 0,4 m de betão projetado armado associado à instalação de cambotas em perfil metálico HEB240, que previa a execução de invertis provisórios em todas as fases de escavação (galeria-piloto, meia-seção superior e dois rebaixos). Refere-se ainda o facto de se haver tirado partido da referida galeria de prospeção (escavada em todo o comprimento da estação) para pré-tratar o maciço envolvente com injeções de calda de cimento, bem como a necessidade de paralelamente instalar pregagens radiais em fibra de vidro, injetadas, como forma de assegurar a estabilidade do maciço na zona dos alargamentos laterais para a meia-seção superior (cuja localização foi ajustada em fase de obra, por forma a coincidir com a zona em que o maciço apresentou melhor qualidade), a partir dos quais se executaram as enfilagens tubulares injetadas, necessárias ao pré-suporte dos subsequentes alargamentos frontais (Conceição et al, 2012).

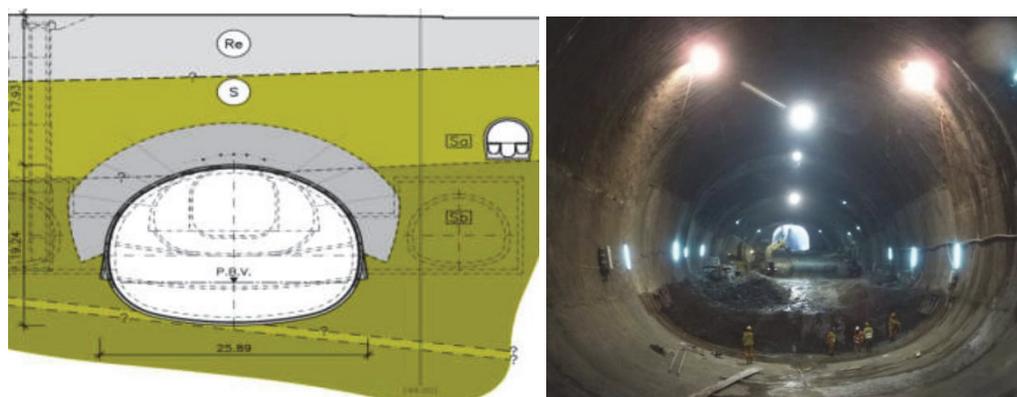


Fig. 40 - Secção transversal e vista da secção final da nave central da Estação Place des Martyres em Argel (Conceição et al, 2012).

Os principais agentes de mudança na geotecnia na década de 2010 foram:

- a retração significativa do investimento público;
- a procura das empresas de consultoria e das construtoras para aumentar a sua atividade nos mercados exteriores em África e na América Latina;
- a conclusão de importantes obras geotécnicas no estrangeiro, projetadas e construídas pela engenharia portuguesa;
- a construção da autoestrada do Marão com importantes taludes de aterro em solo-cimento e o túnel do Marão
- a entrada em vigor dos Eurocódigos Estruturais, em dezembro de 2019.

4 – CONCLUSÕES

O desafio lançado pela ISSMGE, através do projeto HTC, foi uma oportunidade única para divulgar as principais realizações e o estado atual da engenharia geotécnica portuguesa. Foi realizado um trabalho de reflexão sobre a trajetória de desenvolvimento da geotecnia nacional nos últimos 100 anos, desde os primeiros passos da geotecnia, dados até ao final da década de 1940, passando pelo período dos anos de 1950/60, em que se iniciou a constituição de uma comunidade geotécnica no país, até aos últimos anos da década de 2010.

Nos últimos 70 anos, Portugal progrediu de um país atrasado para um país que possui hoje quase todas as características dos países desenvolvidos. Assim, para fazer a história do desenvolvimento

da geotecnia, foi necessário abordar, de forma sucinta, o papel da engenharia civil, da qual a engenharia geotécnica emana, e o desenvolvimento social, económico e político do país.

As obras selecionadas são alguma das que se caracterizam por terem condições geológicas condicionantes e aspetos geotécnicos relevantes, traduzindo aspetos inovadores de conceção e dimensionamento e de execução, que marcaram o seu tempo, e que, seguramente, servem de referência para a prática da engenharia geotécnica.

5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abecassis, D. (1939). *O projeto e a execução da primeira fase das Obras do Porto de Vila Real de Santo António*. Revista Técnica 99, fevereiro.
- Andrade, J. C. (2014). *Estação Salgueiros do Metropolitano do Porto*. Livro Túneis em Portugal. CPT. SPG. LNEC (edição bilingue português e inglês).
- Bento Pedroso Construções (2003). *Desafios de engenharia em Portugal*. FEUP Edições.
- Conceição, M.; Baião, C.; Santos, A.; Oliva, R.; Cruz, F.; Prado, R. (2012). *Metro de Argel. Linha-Extensão A-Place Emir Abdelkader-Place Des Martyres. Conceção geral das estações subterrâneas*. 13º Congresso Nacional de Geotecnia. Lisboa.
- Cruz, A. A.; Mineiro, A. J. C.; Coutinho, J. A. (2007). *António de Carvalho Quintela. Professor, Engenheiro e Investigador*. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos (APRH).
- Lima, C.; Esteves, C.; Oliveira, M. A; Resende, M. E.; Plasencia, N. (2021). *Obras subterrâneas nos aproveitamentos hidroelétricos em Portugal*. Geotecnia 152, pp. 187-249.
https://doi.org/10.14195/2184-8394_152_6
- Linhares, M. P. C. (2012). *Tecnologia e gestão das construções de obras portuárias - Estudo de caso*. Tese de mestrado. ISEP.
- Maranha das Neves, E. (1987). *Barragens de aterro. Experiência portuguesa*. Conferência Ibero-Americana sobre Aproveitamentos Hidráulicos, vol. 3, pp. 63-98, Lisboa. LNEC.
- Maranha das Neves, E. (2003). *Obras do Metropolitano na Baixa de Lisboa. Desafios de engenharia em Portugal*. Bento Pedroso Construções. FEUP Edições.
- Maranha das Neves, E. (2008). *Breves reflexões sobre a engenharia*. Lição de jubilação. 16 de dezembro. IST. Lisboa.
- Maranha das Neves, E. (2011). *A regulamentação da segurança das pequenas barragens. Situação atual. a engenharia dos aproveitamentos hidroagrícolas: atualidade e desafios futuros*. LNEC, 13 a 15 de outubro.
- Mateus de Brito, J.; Baião, C. O. (1997). *Dique perimetral e sistema de revestimento de impermeabilização do reservatório de Santo Estevão*. 6º Congresso Nacional de Geotecnia. IST. 1997.
- Mateus de Brito, J.; Matos Fernandes, M. (2014). *Estação Terreiro do Paço do Metro de Lisboa*. Livro Túneis em Portugal. CPT. SPG. LNEC (edição bilingue português e inglês).
- Matos Fernandes, M. (2010). *Deep urban excavations in Portugal: practice, design, research and perspectives*. Soils and Rocks, 33 (3), pp.115–142. Lição Manuel Rocha.
<https://doi.org/10.28927/SR.333115>

- Matos Fernandes, M.; Cardoso, A.; Guerra, N. (2021). *Grandes escavações em meio urbano. Uma perspetiva sobre as soluções construtivas e os sistemas estruturais para o seu suporte*. Revista Geotecnia 152, pp. 531-554. https://doi.org/10.14195/2184-8394_152_17
- Mineiro, A. J. C. (1978). *Comportamento sísmico de barragens de terra. Previsão do deslocamento permanente*. Geotecnia 24, pp. 89-130. https://doi.org/10.14195/2184-8394_24_7
- Nascimento, U. (1990). *Contribuição para a História da Geotecnia em Portugal*. Geotecnia 58, pp. 3-16. Conferência proferida na Ordem dos Engenheiros em 17/11/1987. https://doi.org/10.14195/2184-8394_58_1
- Oliveira, R.; Seco e Pinto, P.; Rebelo, V.; Rodrigues, V. (1997). *Estudos Geológicos e Geotécnicos para o Projeto da Ponte Vasco da Gama, em Lisboa*. 6º Congresso Nacional de Geotecnia. Lisboa.
- Oliveira, R.; Rebelo, V.; Jeremias, F.T.; Coelho, G.; Sardinha, R. (2005). *Estudos Geológicos e Geotécnicos Relativos ao Projeto Base da Nova Travessia do Rio Tejo, no Carregado*. X Congresso Nacional de Geotecnia. Lisboa.
- Oliveira, R. (2010). *Geologia de engenharia. Génese, evolução e situação atual*. Geotecnia 118, pp. 3-13, março. https://doi.org/10.14195/2184-8394_118_1
- Pistone, R.; Melâneo, F. (1995). *Projeto do túnel de Carenque – A9, CREL*. 5º Congresso Nacional de Geotecnia. Universidade de Coimbra.
- Pistone, R.; Maia, C.; Bento, J. (2009). *Metropolitano do Porto. Estação do Bolhão. Projeto de escavações e suporte*. 9º Congresso Nacional de Geotecnia. Universidade de Aveiro.
- Plasencia, N. (2014). *Túneis hidroelétricos. Nota introdutória*. Túneis em Portugal. CPT. SPG. LNEC.
- Revista Técnica 265 (1956). *Metropolitano de Lisboa*. Outubro.
- Rocha, M.; Laginha, S. (1950). *Ensaio sobre modelo da Barragem de Santa Luzia*. Revista Técnica 250, dezembro.
- Rodrigues, L. F. (2016). *A ponte inevitável. A história da ponte 25 de Abril*. Guerra & Paz.
- Silva Gomes, A.; Silva, J. D.; Pinheiro, A. N. (2004). *Barragens. Obra, engenho e arte nas raízes da engenharia em Portugal. Momentos de inovação e engenharia em Portugal no século XX*. Edição de Manuel Heitor et al., vol. 2 pp 821-859. D. Quixote.
- SPG (1997). *Eurocódigo 7. Projeto Geotécnico*. 22 a 24 de outubro. LNEC.
- SPG (2021). *Sobre a Sociedade Portuguesa de Geotecnia*. Acedido em 30 de março de 2023, em: <https://www.spgeotecnia.pt/pages/1>.
- Tavares, G.; Mateus de Brito, J.; Romeiro, M.; Oliveira, M.; André, S.G. (2021). *Reservatório do Cerro da Mina, Minas de Neves Corvo*. Geossintéticos em Engenharia Civil. Dimensionamento, Instalação e Casos de Obra. Comissão Portuguesa de Geosintéticos. SPG.
- Xerez, C. (1939). *Levantamento estereofotogramétrico terrestre na escala 1:250 do local para a barragem de Santa Luzia*. Revista Técnica 100, março.
- Xerez, C. (1954). *O Aproveitamento do Cabril*. Revista Técnica 243, junho.