

1 2 9 0



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Andreia Filipa Simões Pinguero

**GEOLOGIA DE ENGENHARIA PARA EDIFÍCIO NA
AVENIDA EMÍDIO NAVARRO EM COIMBRA E
ABORDAGEM DA REGULAMENTAÇÃO SOBRE
TERRENOS CONTAMINADOS**

Dissertação no âmbito do Mestrado em Engenharia Geológica e de Minas orientada pelo Professor Doutor Mário Quinta Ferreira e pelo Professor Doutor Pedro Santarém Andrade apresentada ao Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Julho de 2022

Faculdade de Ciências e Tecnologia
da Universidade de Coimbra

Andreia Filipa Simões Pingueiro

**Geologia de Engenharia para Edifício na Avenida Emídio Navarro
em Coimbra e Abordagem da Regulamentação sobre Terrenos
Contaminados**

Dissertação no âmbito do Mestrado de Engenharia Geológica e de Minas orientada
pelo Professor Doutor Mário Quinta Ferreira e pelo Professor Doutor Pedro Santarém
Andrade apresentada ao Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de
Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Julho de 2022

Agradecimentos

A presente dissertação de mestrado não chegaria a bom porto sem o precioso apoio e contributo das várias pessoas envolvidas. Como tal, não poderia deixar de agradecer a disponibilidade e acompanhamento de todos os que colaboraram para que se tornasse possível.

Em primeiro lugar, não posso deixar de agradecer ao meu orientador, Professor Doutor Mário Quinta Ferreira e coorientador Professor Doutor Pedro Santarém Andrade pelo empenho e disponibilidade com que me orientaram durante todo o processo para que o resultado fosse o melhor possível.

Aos funcionários do Laboratório de Geotecnia do IPN, nomeadamente à Engenheira Maria Alexandre Oliveira, ao Engenheiro João Pedro Henriques, ao Engenheiro Rafael Faim e ao Geólogo Pedro Alves, um agradecimento especial por todos os saberes, todas as partilhas e toda a ajuda que me disponibilizaram ao longo destes meses de estágio curricular.

Por último, quero agradecer aos meus pais, irmãos e amigos pelo apoio incondicional, não só nesta fase tão importante, mas em todas as fases da minha vida que sempre acompanharam de perto, sem vocês nada disto seria possível.

Resumo

A presente dissertação de mestrado desenvolve-se em duas partes que abordam temas distintos.

A primeira parte tem como objetivo a caracterização geológica e geotécnica de um terreno na Avenida Emídio Navarro, em Coimbra, onde se pretende construir um edifício e reabilitar outro existente no local. Para se atingir estes objetivos realizaram-se trabalhos de prospeção geotécnica *in situ* e uma posterior análise dos resultados obtidos, de modo a determinar as características do terreno e ainda verificar a influência da proximidade com o Rio Mondego. Tendo em conta os resultados obtidos *in situ*, com recurso a nove sondagens à rotação com recuperação de testemunho, acompanhadas por ensaios *Standard Penetration Test* (SPT) e ainda determinações relativas à medição do nível freático através de um piezómetro, obtiveram-se os valores dos parâmetros geotécnicos e estabeleceram-se perfis com o zonamento geotécnico da área de estudo. Analisados os perfis e todas as informações relevantes obtidas com o estudo geológico-geotécnico definiram-se as medidas mais adequadas a adotar neste projeto, passando estas, essencialmente, pelo rebaixamento do nível freático, uma vez que este foi identificado como próximo da superfície, realização de fundações por estacas indiretas implementadas no maciço rochoso, constituído por calcário dolomítico, e ainda a estabilização do talude ocorrente no local de estudo.

A segunda parte tem como objetivo reunir a informação existente sobre a temática de solos contaminados em Portugal, isto apesar da legislação portuguesa ser ainda deficitária e algo complexa no que diz respeito a este tema. Da informação já existente ressalta a necessidade de análises químicas quando se pretende movimentar terrenos para um local diferente do de origem, de modo a classificar o terreno como subproduto invés de resíduo, que assim teria que ser tratado com a legislação aplicada a estes. A identificação de contaminação, isto é, a presença de contaminantes que excedam os valores de referência definidos pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA) levam à necessidade de remediação de modo a mitigar os danos que possam advir para a saúde pública e ambiental.

Palavras-chave: (Caracterização Geológica-Geotécnica; Zonamento Geotécnico; Solos Contaminados; Subproduto; Remediação).

Abstract

This master's thesis is developed in two parts that address different themes.

The first part aims at the geological and geotechnical characterization of an area on Avenida Emídio Navarro, in Coimbra, where it is intended to construct a building and rehabilitate another existing on the site. In order to achieve these objectives, it is necessary to verify a geotechnical influence on the subsequent location of the results obtained, in order to determine the characteristics of the terrain and also the influence of the proximity to the Mondego River. Considering the results obtained in situ, using nine rotational drills with core recovery, accompanied by Standard Penetration Test (SPT) tests and also determinations regarding the measurement of the water table using a piezometer, it was possible to obtain the values of the geotechnical parameters and establish profiles with the geotechnical zoning of the study area. After analyzing the profiles and all the relevant information obtained from the geological-geotechnical study, it was possible to define the most appropriate measures to be adopted in this project, essentially involving the lowering of the water table, since it was identified as being close to the surface, carrying out of foundations by indirect piles implemented in the rock massif constituted by dolomitic limestone, and also the stabilization of the slope occurring in the study site.

The second part aims to gather existing information on the subject of contaminated soils in Portugal, despite the fact that portuguese legislation is still lacking and somewhat complex with regard to this topic. The existing information highlights the need for chemical analysis when moving land to a location other than the place of origin, in order to classify the land as a by-product rather than waste, which would therefore have to be treated with the legislation applied to it. The identification of contamination, that is, the presence of contaminants that exceed the reference values defined by the Portuguese Environment Agency (APA) lead to the need for remediation in order to mitigate the damages that may arise to public and environmental health.

Keywords: (Geological-Geotechnical Characterization; Geotechnical Zoning; Contaminated Soils; By-product; Remediation)

Índice

AGRADECIMENTOS.....	I
RESUMO	II
ABSTRACT.....	III
INTRODUÇÃO.....	1
PARTE I.....	3
1. Estudo Geológico e Geotécnico para a reabilitação e construção de um edifício na Av. Emídio Navarro.....	4
1.1. Enquadramento Geográfico.....	4
1.2. Enquadramento Geológico.....	5
1.3. Enquadramento Hidrogeológico.....	8
1.4. Estudo do Local.....	10
1.4.1. Antecedentes do Local.....	10
1.4.2. Trabalhos de Prospeção.....	11
1.5. Análise de Resultados.....	18
1.5.1. Sondagens mecânicas com ensaios SPT.....	18
1.5.2. Influência da proximidade ao Rio Mondego e da permeabilidade dos terrenos.....	20
1.5.3. Zonamento Geotécnico.....	22
1.5.4. Recomendações Geotécnicas.....	26
1.6. Considerações Finais do Estudo Geológico-Geotécnico.....	28
PARTE II.....	30
2. Contaminação de solos em contexto geotécnico.....	31
2.1. Conceitos e Princípios.....	32
2.1.1. Solos.....	32
2.1.2. Contaminação de Solos.....	33
2.2. Síntese da legislação aplicada.....	34
2.3. Classificação de Solos e Rochas como Subproduto ou Resíduo.....	38
2.3.1. Classificação como subproduto de solos e rochas.....	38
2.3.2. Classificação como resíduo ou não resíduo.....	41
2.4. Ensaio e classificações relativas à contaminação de solos.....	43
2.5. Remediação de solos contaminados.....	45
2.5.1. Técnicas de Remediação.....	46
2.5.2. Ações de Remediação em Portugal.....	49
2.6. Considerações Finais da abordagem à legislação aplicada a terrenos contaminados.....	53
CONCLUSÕES.....	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
ANEXOS.....	59

Índice de Ilustrações

Figura 1. A) Mapa de Portugal, com referência ao distrito de Coimbra. B) Localização da área de estudo, onde esta se encontra delimitada a amarelo (<i>Google Earth</i> , 2022).	4
Figura 2. Localização da área de estudo delimitada a amarelo (<i>Google Earth</i> , 2022).	5
Figura 3. Extrato da Carta Geológica de Portugal, folha 19-D à de escala 1:50000. Legenda simplificada da litologia (Laboratório Nacional de Energia e Geologia – LNEG, 2007).	6
Figura 4. Talude que aflora à superfície do local de estudo.	7
Figura 5. Bacias Hidrográficas de Portugal Continental, com delimitação da Bacia do Mondego (SNIRH, 2009).	8
Figura 6. Enquadramento geográfico do sistema aquífero Aluviões do Mondego (Almeida, <i>et al.</i> , 2000).	9
Figura 7. Local de intervenção limitado a amarelo, ao lado de um charco onde se tentou implementar um edifício com caves. Imagem de junho de 2007. (<i>Google Earth</i> , 2022).	10
Figura 8. Localização dos trabalhos de prospeção realizados numa imagem do <i>Google Earth</i> (2022).	11
Figura 9. Equipamento utilizados na realização das sondagens.	12
Figura 10. Equipamento utilizados na realização dos ensaios SPT.	12
Figura 11. Sondagens S8 com cerca de 7° de inclinação.	13
Figura 12. Piezómetro instalado na sondagem S6.	13
Figura 13. a) Polímero; b) Aditivo adicionado à água para facilitar a saída de material no decorrer da furação.	13
Figura 14. Equipamento de sondagens à rotação.	14
Figura 15. Imagem ilustrativa do ensaio <i>Standard Penetration Test</i> (SPT) retirado de Oliveira, (2021).	16
Figura 16. Caixa de Sondagem referente a S3.	18
Figura 17. Caixa de Sondagem referente a S8, dos 4,5m aos 6m.	18
Figura 18. Vulnerabilidade à ocorrência de inundações. A azul encontra-se delimitada a área suscetível de sofrer inundação, e a amarelo a área de estudo. (SNIAmb, 2022)	20
Figura 19. Intervalos de variação de k para os diferentes tipos de solo. (Caputo, 1981).	21
Figura 20. Perfil AB, com o zonamento geotécnico definido a partir das sondagens S3 e S4.	22
Figura 21. Perfil CD, com o zonamento geotécnico definido a partir das sondagens S2, S4 e S6.	23
Figura 22. Perfil EF, com o zonamento geotécnico definido a partir das sondagens S1, S3, S5 e S7.	23
Figura 23. Processo de formação do solo a partir da rocha mãe, retirado de <i>Castellar & Zamboni</i> (2011).	33
Figura 24. Processo de Avaliação da Qualidade do Solo - Projeto Prosolos (Vitorino, 2021). (CCDR, corresponde às Comissões de Coordenação e Desenvolvimento Regional).	36
Figura 25. Diagrama síntese da classificação de solos e rochas como subproduto ou resíduo, sendo e-GAR a declaração eletrónica do guia de acompanhamento de resíduos (Adaptado de APA, 2022).	40

Figura 26. Técnicas de tratamento <i>in situ</i> e <i>ex situ</i> para solos contaminados, retirado de Ferreira (2020).....	46
Figura 27. Técnicas de remediação mais aplicadas em solos contaminados, em alguns países do mundo, retirado de EEA (2021).	47
Figura 28. Vala hidráulica de S. Filipe em Estarreja, após todas as soluções de remediação implementadas na segunda fase do Projeto ERASE (Diário de Aveiro, 2021).	51

Índice de Tabelas

Tabela 1. Descrição da qualidade do maciço rochoso consoante o RQD (Adaptado de Deere & Miller (1966)).....	15
Tabela 2. Correlação empírica entre a resistência à penetração (N_{SPT}) com a compacidade de solos granulares, ângulo de atrito, peso específico e tensão admissível, adaptado de <i>Terzaghi et al.</i> , (1996).	17
Tabela 3. Correlação entre a resistência à penetração (N_{SPT}) com a consistência de solos argilosos, peso específico e as tensões admissíveis, adaptado de <i>Terzaghi et al.</i> , (1996).	17
Tabela 4. Síntese das principais características das sondagens realizadas.	19
Tabela 5. Parâmetros geotécnicos das quatro zonas definidas.	26
Tabela 6. Lista Europeia de Resíduos (LER) (Decisão 2014/955/UE, de 18 de dezembro).	42
Tabela 7. Capítulo 17 e subcapítulo 05 do LER.....	43

Introdução

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito da unidade curricular de Dissertação de Mestrado em Engenharia Geológica e de Minas do Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Esta dissertação traduz o estágio curricular promovido pela colaboração entre o Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra e o Laboratório de Geotecnia do Instituto Pedro Nunes, o qual permitiu adquirir o conhecimento e as ferramentas necessárias para o desenvolvimento das temáticas que serão abordadas. Para além dos temas que serão aqui desenvolvidos, durante o estágio curricular, foi ainda possível acompanhar ensaios laboratoriais e de campo, bem como perceber a dinâmica de trabalho do Laboratório de Geotecnia do IPN.

Este estudo irá dividir-se em duas partes, a primeira ligada à área da Geologia da Engenharia e a segunda mais associada à Geologia Ambiental. A Geologia da Engenharia é a ciência aplicada ao estudo e à solução de problemas da engenharia e do meio ambiente provocados como consequência da interação das atividades humanas e o meio geológico e, tem como objetivo, que os fatores geológicos que condicionam as obras de engenharia sejam tidos em conta e interpretados adequadamente, de modo a evitar e minimizar os riscos geológicos (Vallejo, 2002). Por sua vez, a Geologia Ambiental possibilita a associação entre a geologia e o meio ambiente, tendo como preocupação o desenvolvimento ambiental sustentável. O principal objetivo da Geologia Ambiental é que através do conhecimento geológico, seja possível resolver problemas ambientais, minimizando os impactos negativos no mesmo.

A primeira parte do trabalho tem como principal objetivo a caracterização geológica e geotécnica de um terreno para a construção de um edifício e reabilitação de outro. O terreno vai ser alvo de um Estudo Geológico e Geotécnico, de modo a conhecer e quantificar as características que podem afetar a viabilidade do projeto e construção da obra. O Estudo Geológico e Geotécnico divide-se em fases: Estudo prévio ou Estudo de viabilidade; Anteprojeto ou Projeto base; Projeto ou Projeto de execução; Construção e Pós-construção. Neste caso em concreto, o estudo já se encontra em fase de Anteprojeto, com a execução de métodos de prospeção mecânica e ensaios in situ, zonamento geotécnico preliminar, bem como a escolha de soluções a adotar. O Eurocódigo 7 (NP EN 1997-1:2010 Eurocódigo 7. Projeto geotécnico. Parte 1: Regras gerais), estabelece os requisitos mínimos no que respeita à quantidade e à qualidade da prospeção geotécnica, dos cálculos e das operações de controlo da construção,

dividindo-se em três categorias geotécnicas. O projeto em estudo insere-se na categoria 2 que «deverá abranger os tipos correntes de estruturas e de fundações que não envolvam nem risco fora de comum nem condições difíceis no que diz respeito ao terreno ou ao carregamento» (IPQ, 2010)

A segunda parte do trabalho assenta na temática dos terrenos contaminados, tendo como principal objetivo sintetizar a regulamentação associada a este tema, unificando as informações existentes relativas a movimentação de terrenos para locais diferentes dos de origem, aclarando as lacunas que persistem sobre este tema. A problemática dos solos contaminados é uma preocupação mundial, pois o desenvolvimento industrial e as atitudes irresponsáveis do Ser Humano levam à contaminação dos solos e as suas consequências podem apenas ser notadas a médio e longo prazo, afetando seriamente a saúde Humana e o ambiente.

Os dois temas apresentados, mesmo parecendo longínquos acabam por, em certa parte, se complementarem. Com a construção do edifício projetado, os terrenos do local terão que ser escavados e movimentados para outro ponto, para tal terá que se seguir o procedimento legal para movimentação de terrenos para um local diferente do de fora origem, sendo que esta será a segunda temática aprofundada.

PARTE I

1. Estudo Geológico e Geotécnico para construção de edifício e reabilitação de outro

Neste capítulo será desenvolvido o estudo geológico e geotécnico para a reabilitação de um edifício e construção de outro. O objetivo do estudo passa por localizar, através da realização de sondagens mecânicas, o substrato rochoso de modo a definir até que profundidade se devem construir as fundações do edifício, bem como a que profundidade se localizam as fundações do edifício que se pretende reabilitar e ainda perceber de que forma a proximidade com o Rio Mondego pode influenciar ou limitar o projeto em questão.

1.1. Enquadramento Geográfico

A área de estudo insere-se na região centro de Portugal, na área urbana do município de Coimbra, na margem direita do Rio Mondego (que nasce na Serra da Estrela, a 1525 m de altitude, e acaba por desaguar no Oceano Atlântico, junto à Figueira da Foz).

A cidade de Coimbra detém uma posição privilegiada no centro de Portugal (Figura 1), localizando-se entre as duas principais áreas metropolitanas nacionais, Lisboa e Porto, numa posição de charneira entre ambas.

O município de Coimbra detém uma área de 319,4 km², onde residem 140 838 habitantes (Censos provisórios- Instituto Nacional de Estatísticas, 2021) e apresenta uma densidade populacional de 441 hab/ km².



Figura 1. A) Mapa de Portugal, com referência ao distrito de Coimbra. B) Localização da área de estudo, onde esta se encontra delimitada a amarelo (*Google Earth*, 2022).

De forma mais concreta, a área de estudo localiza-se entre a Avenida Emídio Navarro e a Rua da Alegria (Figura 2) e as suas coordenadas geográficas são em termos de latitude $40^{\circ}12'22.44''\text{N}$ e longitude $8^{\circ}25'40.22''\text{W}$.

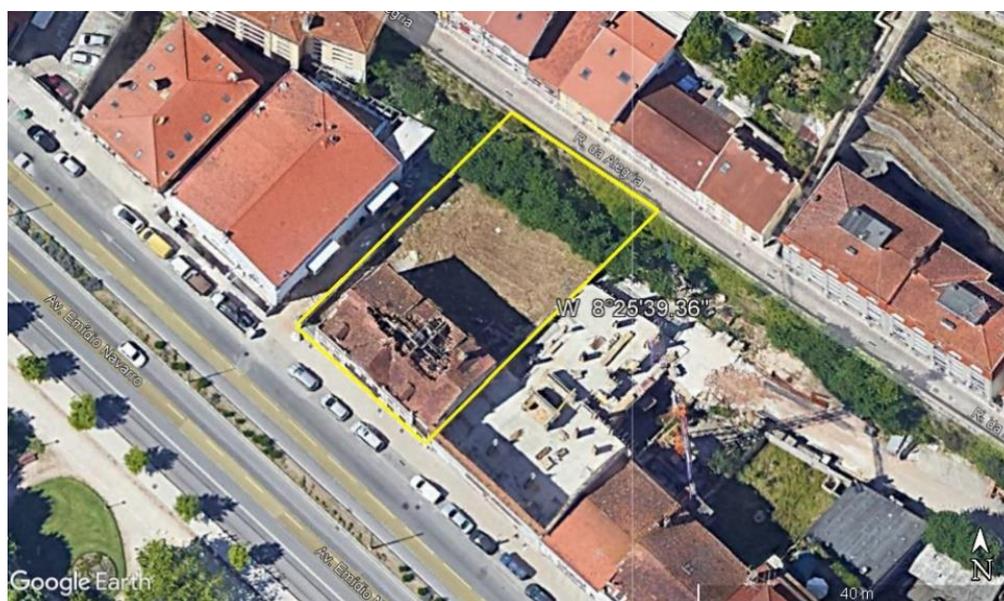


Figura 2. Localização da área de estudo delimitada a amarelo (Google Earth, 2022).

1.2. Enquadramento Geológico

De forma geral, Coimbra insere-se numa área de topografia acidentada devido a ações geodinâmicas e tectónicas que ocorreram sobre os materiais geológicos existentes. Coimbra apresenta uma localização geográfica particular, na interseção de duas das maiores unidades estruturais da região, o Maciço Hespérico e a Orla Mesocenoica ocidental, que apresentam morfologias próprias e são atravessadas pelo Rio Mondego e seus afluentes.

A área envolvente do local de estudo insere-se na Carta Geológica de Portugal, folha 19-D Coimbra-Lousã, à escala de 1/50000 (Laboratório Nacional de Energia e Geologia – LNEG, 2007) e encontra-se constituída pelas seguintes unidades morfoestruturais: a ocidente pela Orla Ocidental e a leste pela cordilheira ou o soco Varisco e Ante-Varisco (Cordilheira Central).

A área do local de estudo integra o Grupo de Coimbra que corresponde a unidades essencialmente dolomíticas e calcárias, com espessuras na ordem dos $100 \pm 30\text{m}$ (Soares et al.1985). As camadas de Coimbra caracterizam-se por fácies e rampas monoclinais que resultam em condensação em offshore na parte superior e inferior das camadas, e remontam ao período entre Sinemuriano e Carixiano Inferior (Jurássico

Inferior). Soares et al. (1985) dividiu esta unidade em dois membros, da base para o topo:

- Camadas de Coimbra s.s (J^1_{Co}) - Compostas essencialmente por dolomitos e calcários dolomíticos;
- Camadas de S. Miguel (J^1_{Co}) - Compostos essencialmente por calcários ou calcários dolomíticos intercalados com margas.

A base é composta por um membro dolomítico, constituído por dolomias e calcários pouco fossilíferos (“Camadas de Coimbra s.s.” Soares et al., 1985). O topo é constituído por um membro calcário, caracterizado por calcários interestratificados com níveis centimétricos de margas (“Calcários de S. Miguel”, Soares et al., 1985; Rocha et al., 1990).

O local de estudo encontra-se junto ao limite geológico com os depósitos aluvionares (a) do Quaternário (Figura 3). No que diz respeito às aluviões, estas traduzem a evolução do Rio Mondego, resultando da acumulação de materiais devido à dinâmica fluvial. Correspondem a depósitos terrígenos fundamentalmente de dois tipos, areno-conglomeráticos, submaturos a imaturos e com naturezas variadas e a corpos imaturos, por vezes pelíticos ou areno-pelíticos e com calhaus dispersos (Soares et al. 2007). De forma simplificada, no topo as aluviões são compostas por areias com seixos e calhaus e na base por intercalações lenticulares de lodos e argilas, menos significativas.

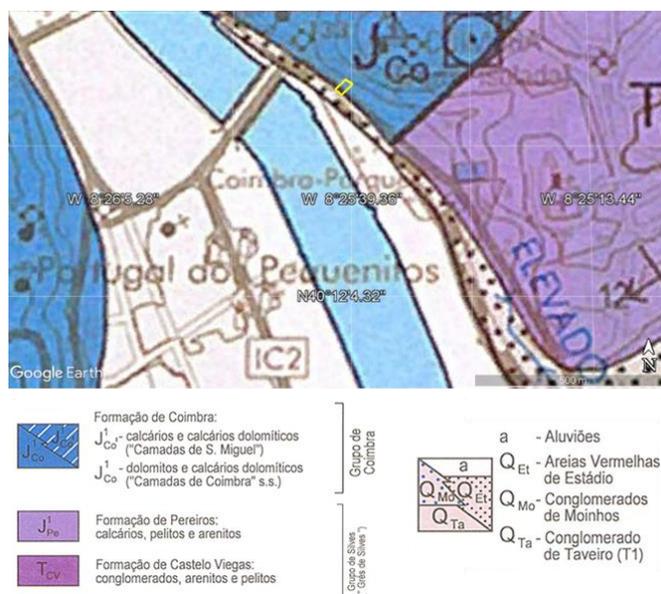


Figura 3. Extrato da Carta Geológica de Portugal, folha 19-D à de escala 1:50000. Legenda simplificada da litologia (Laboratório Nacional de Energia e Geologia – LNEG, 2007).

Como é possível observar na Figura 3, a área de estudo encontra-se inserida nas Camadas de Coimbra s.s (J¹_{co}) que é essencialmente composta por dolomíticas, com estratos decrescentes e com limite superior na descontinuidade (*hardground*) do teto de um corpo métrico de calcários dolo-margosos e/ou margosos, esbranquiçados a acinzentados e com estratificação fina. Na base, aos corpos espessos de dolomitos amarelo-acastanhados, com estruturação convoluta e pseuso-brechas locais, associam-se lentículas negras gipsíferas, com clastos dolomicríticos cinzentos (Soares et al.1985).

No local de estudo, verifica-se a presença de uma escarpa em que afloram as Camadas de Coimbra s.s., e que se encontra em grande parte coberta de vegetação (Figura 4), podendo constatar-se a presença dos calcários dolomíticos, que se apresentam carsificados. A carsificação resulta de processos de dissolução nas rochas calcárias, pela circulação de águas superficiais ou subterrâneas.



Figura 4. Talude que aflora à superfície do local de estudo.

1.3. Enquadramento Hidrogeológico

No contexto hidrogeológico, o local situado na Orla Ocidental, insere-se na Bacia Hidrográfica do Rio Mondego (Figura 5).

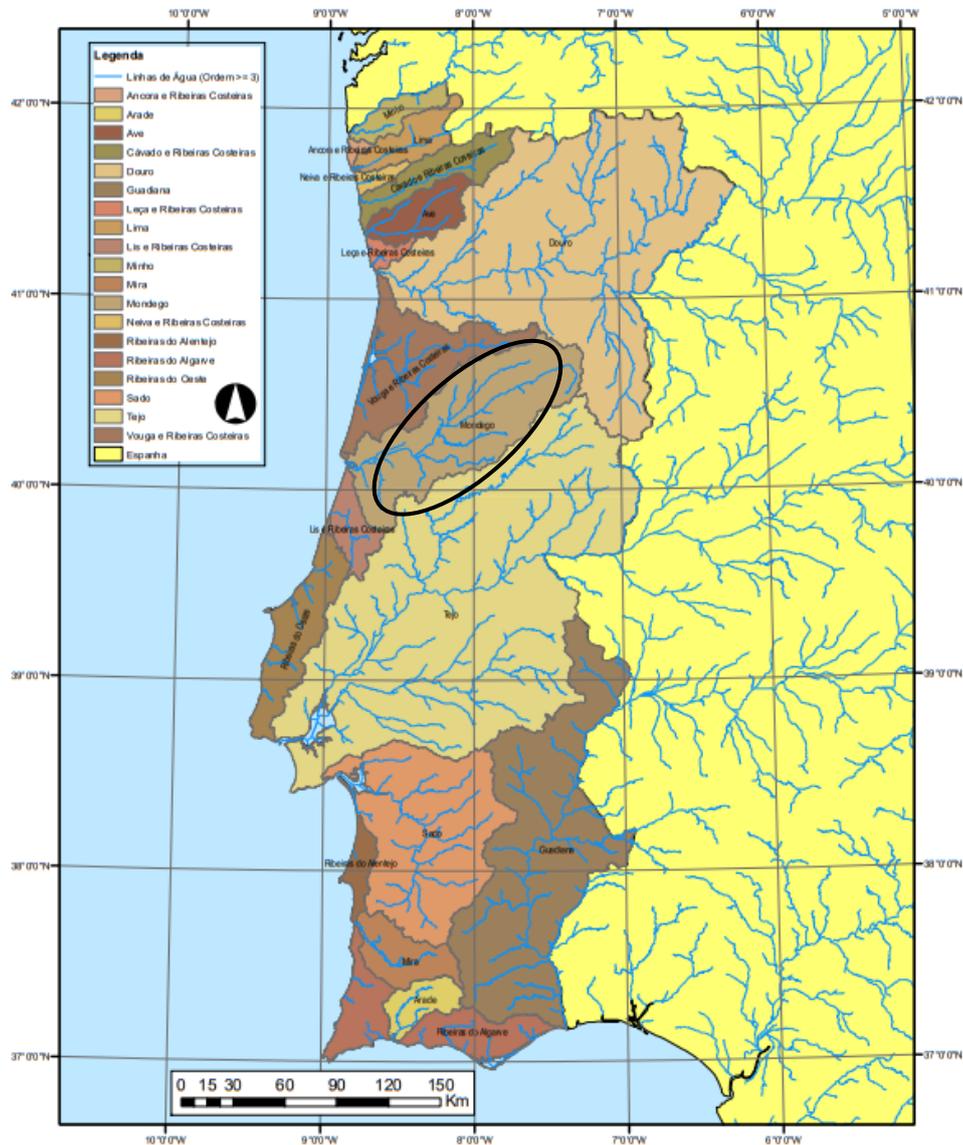


Figura 5. Bacias Hidrográficas de Portugal Continental, com delimitação da Bacia do Mondego (SNIRH, 2009).

O clima Mediterrâneo da região Centro de Portugal, confere à Bacia do Mondego um caudal que alterna de cheias, com valores na ordem do 3000 m³/s a períodos de secas, com valores de caudal de 1 m³/s ao longo do ano. O enorme caudal que a bacia atingia era responsável por frequentes inundações e cheias na região Baixo Mondego até à década de oitenta do século XX, altura em que se tomou a decisão de executar

um conjunto de intervenções, conhecidas por Aproveitamento Hidráulico do Mondego, que teve como principais objetivos a regularização fluvial e a proteção contra cheias (Sanches, 1996). Com as medidas e infraestruturas criadas, foi possível controlar melhor a subida do nível das águas e promover o aproveitamento dos recursos provenientes do Mondego, apesar da ocorrência de alguns eventos de inundação que ainda se têm verificado, em particular, na área do Baixo Mondego.

O local está ainda geograficamente enquadrado no sistema aquífero conhecido como Aluviões do Mondego, um sistema livre a confinado/semiconfinado (Figura 6). As aluviões recentes que o constituem são muito produtivas, porosas e com o nível freático próximo da superfície, tendo alterações sazonais relacionadas com o nível de água da rede de drenagem superficial, e o escoamento subterrâneo ocorre em direção aos cursos de água que atravessam o sistema aquífero. O sistema é recargado diretamente através da precipitação e por influência de cursos de água superficiais (SNIRH, 2022). A litologia que o caracteriza apresenta níveis de composição silto-argilosa com uma permeabilidade muito reduzida, verificando-se a existência de níveis de natureza arenosa e de permeabilidade mais elevada, que podem, sobretudo os de maior continuidade, possuir capacidade drenante e ter uma espessura máxima de 50 m (INAG,1997).

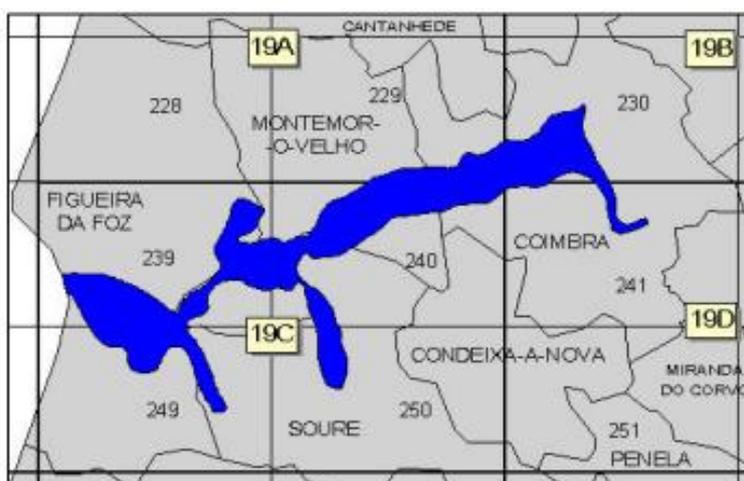


Figura 6. Enquadramento geográfico do sistema aquífero Aluviões do Mondego (Almeida, *et al.*, 2000).

1.4. Estudo do Local

1.4.1. Antecedentes do Local

No local da área de estudo são conhecidos antecedentes históricos que podem ser relevantes para o atual projeto.

Como é possível observar na Figura 7, de junho de 2007, a área de intervenção do projeto teve outrora edifícios implementados que, posteriormente, foram demolidos. Na área anexa aos edifícios observa-se um charco que resultou, provavelmente, da tentativa de construção de um edifício com três caves. Devido às características geológicas do local, no qual ocorrem lodos e cascalheira, e também devido à proximidade do Rio Mondego, o nível freático é bastante próximo da superfície sendo influenciado pela dinâmica do Rio, por esse motivo para a construção das três caves foi necessário rebaixar o nível da água, com recurso a mais que uma bomba de sucção, a trabalhar 24 horas por dia e ainda assim não foi possível a construção das caves previstas, conseguindo-se a execução de apenas uma delas, registando-se a extrema dificuldade das condições de construção. Mesmo com todos os esforços para a construção do edifício, o mesmo nunca se chegou a concretizar, pois exigia grandes investimentos levando a empresa responsável pela construção a não ter condições para prosseguir com os trabalhos, pelo que a construção foi abandonada e deu origem a um charco no local. Na Figura 8, de maio de 2020, é possível observar que passados alguns anos a área voltou a ser alvo de intervenções.



Figura 7. Local de intervenção limitado a amarelo, ao lado de um charco onde se tentou implementar um edifício com caves. Imagem de junho de 2007. (*Google Earth*, 2022).

Na área de estudo também se pretende construir um edifício com caves, pelo que se deve ter em conta o historial e as características geológicas do local, de modo a adotar as medidas mais adequadas para a correta execução da obra.

1.4.2. Trabalhos de Prospeção

Os trabalhos de prospeção realizaram-se em novembro de 2021, e foram executados para a identificação e caracterização geológica e geotécnica da área em estudo para o projeto de construção de um edifício com caves e reabilitação de outro existente no local. Os trabalhos de prospeção incluíram 9 sondagens mecânicas à rotação com a execução de ensaios SPT e a medição do nível freático através da instalação de um piezómetro.

O planeamento do local onde se executaram os trabalhos de prospeção (Figura 8), foi previamente definido de forma que fosse possível reconhecer os terrenos, os parâmetros geotécnicos, nomeadamente o valor de N_{SPT} , o RQD, a taxa de recuperação simples e ainda o estado de alteração e fracturação, e ainda as condicionantes do local em que se perspectiva a implementação das fundações do edifício.



Figura 8. Localização dos trabalhos de prospeção realizados numa imagem do *Google Earth* (2022).

As nove sondagens (S1 a S9) foram realizadas com recurso ao equipamento *Elletari EK 200* com o caroteiro T2-86 mm e com tubo de revestimento 89/98 mm (Figura 9).



Figura 10. Equipamento utilizados na realização das sondagens.



Figura 9. Equipamento utilizados na realização dos ensaios SPT.

Na maior parte das sondagens (S1 a S7) foram realizados ensaios *in situ*, como o SPT (Figura 10), executados sistematicamente de 1,5 m em 1,5 m procurando obter a nega, isto é, até se obter um valor de N superior a 60 pancadas durante a 2^a e/ou 3^a fase do ensaio, o que indica a transição entre o solo e a rocha (sendo este o critério de paragem) e permite identificar onde se localiza o material com capacidade para suportar as fundações da obra. Na sondagem S6 foi instalado um piezómetro de modo a monitorizar o nível da água (Figura 11).

É de salientar que as sondagens S8 e S9 foram distintas das restantes, uma vez que, para além de terem sido realizadas com uma inclinação de aproximadamente 7°, o critério de paragem foi diferente, pois o objetivo destas era conhecer as fundações do edifício existente no local, sendo dadas por terminadas após intersetarem o terreno que se localiza inferiormente às paredes do edifício existente (Figura 12).



Figura 12. Piezómetro instalado na sondagem S6.



Figura 11. Sondagens S8 com cerca de 7° de inclinação.

Devido à natureza dos terrenos intersetados, os furos de sondagem tiveram que ser revestidos para que durante os ensaios não ocorressem desmoronamentos das paredes. Ainda devido à natureza aluvionar do material foi necessário adicionar um aditivo, o polímero “As 950” (de acordo com a equipa de sondagens), à água usada durante a furação para a tornar mais densa e assim facilitar a saída do material (Figura 13).



Figura 13. a) Polímero; b) Aditivo adicionado à água para facilitar a saída de material no decorrer da furação.

1.4.2.1. Sondagens à Rotação

As sondagens geotécnicas caracterizam-se pela sua versatilidade, agilidade e mobilidade, correspondendo a técnicas de engenharia que permitem atravessar qualquer tipo de material, desde solo a rocha de alta resistência e ainda recolher amostras do material perfurado, a profundidade, geralmente, não excede os 100 m, ainda que seja possível alcançar até 1000 m (Vallejo, 2002).

Existem vários tipos de sondagens, sendo que as mais utilizadas são as sondagens à rotação, as sondagens por trado e as sondagens à percussão (Vallejo, 2002).

Como já foi referido as sondagens e nomeadamente as sondagens à rotação têm capacidade de perfurar tanto solo como rocha até profundidades bastante elevadas e com diferentes inclinações, sendo a perfuração obtida através de forças de penetração e rotação. A extração do testemunho é contínua e a recuperação que se obtém, consoante o sistema de extração adotado pode ser bastante elevada, sendo que a recuperação também vai depender do tipo de material perfurado. Este sistema de perfuração conta com uma torre de manobra, um conjunto de varas, coroas (diamantadas, carboneto tungsténio, denteadas), amostradores (simples, duplo, triplo), motor, guincho e bomba de injeção de fluído, de modo a refrigerar o material, diminuir o atrito entre as paredes do furo e o tubo, bem como auxiliar a saída do material perfurado (Figura 14).



Figura 14. Equipamento de sondagens à rotação.

As sondagens à rotação funcionam por manobras, isto é, ciclos sucessivos de perfuração, com avanços de 1,5 m em 1,5 m, e no final de cada manobra é retirado o amostrador. A sondagem dá-se por terminada quando se atinge a profundidade previamente definida, quando se intersesta o que se pretende atingir com a furação ou ainda quando se obtém a condição de impenetrabilidade e se torna impossível continuar com a sondagem. Por fim, os testemunhos resultantes da perfuração são dispostos em caixas de sondagem, devidamente organizados e posteriormente descritos e medidos de modo a definir os valores percentuais relativos à taxa de recuperação simples e o índice de qualidade da rocha (RQD), este último índice representa a relação do somatório dos testemunhos de comprimento superior a 10 cm e o comprimento total da manobra (Equação 1). Os valores do RQD permitem definir a qualidade dos maciços rochosos (Tabela 1).

Equação 1. Cálculo do RQD. (Adaptado de *Deere & Miller (1966)*)

$$RQD = \frac{\Sigma \text{Testemunhos com comprimento} > 10\text{cm}}{\text{Comprimento total da manobra}} \times 100$$

Tabela 1. Descrição da qualidade do maciço rochoso consoante o RQD (Adaptado de *Deere & Miller (1966)*).

RQD %	Qualidade Do Maciço Rochoso
< 25	Muito fraco
25 – 50	Fraco
50 – 75	Razoável
75 – 90	Bom
90 - 100	Excelente

Os resultados obtidos através das sondagens, são apresentados em relatórios, onde consta a planta da área de estudo selecionada e as marcações dos locais de prospeção, bem como os perfis geotécnicos representativos da área e toda a informação necessária e relevante para que o projeto decorra da melhor forma possível.

1.4.2.2. Standard Penetration (SPT)

O *Standard Penetration Test* (SPT), foi inicialmente desenvolvido por *Terzaghi* nos anos 40 do século XX, e corresponde a um ensaio *in situ* de penetração dinâmica standard realizado no decorrer de sondagens mecânicas, com o objetivo de obter o índice de resistência do terreno. Consiste em cravar no terreno um amostrador normalizado recorrendo a um pilão com 63,5 kg de massa que cai sucessivamente de uma altura de 76 cm, através da queda sucessiva (Figura 15). Este ensaio realiza-se em todo o tipo de solos e rochas muito alterados, permitindo a recolha de amostras.

O ensaio SPT realiza-se em três fases, em cada uma das quais se contabiliza o número de pancadas necessárias para cravar 15 cm de amostrador no terreno, sendo que a primeira fase é desprezada devido às perturbações decorrentes da furação. O ensaio dá-se por terminado quando se atinge a nega, que ocorre quando se atingem as 60 pancadas, mesmo quando o amostrador não penetrou a totalidade dos últimos 30 cm do amostrador.

Quando o ensaio se realiza abaixo do nível freático, emprega-se uma correção (*Terzaghi et al.*, 1996) tendo em atenção a Equação 2:

Equação 2. Correção do valor de N para ensaios abaixo do nível freático. (*Terzaghi et al.*, 1996):

$$N = 15 + [(N' - 15) \div 2];$$

Sendo N' (>15) o valor obtido no ensaio e N o valor corrigido.

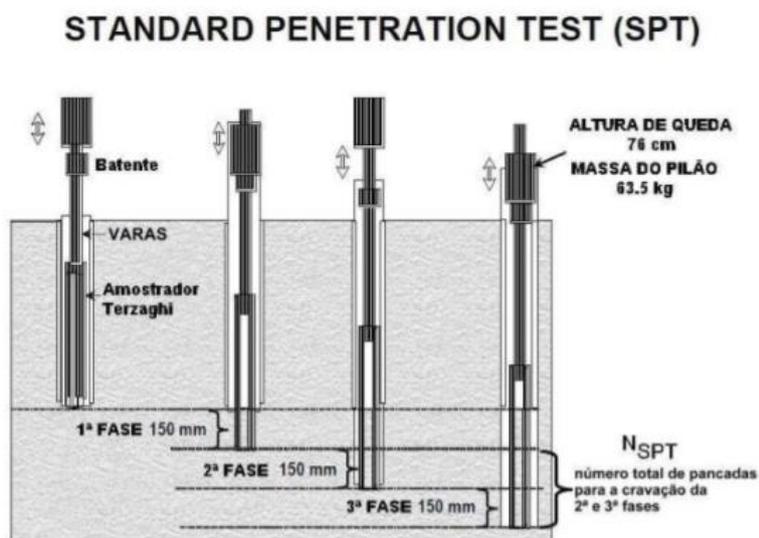


Figura 15. Imagem ilustrativa do ensaio *Standard Penetration Test* (SPT) retirado de Oliveira, (2021).

Estes ensaios permitem classificar os terrenos arenosos de acordo com a sua compactidade (Tabela 2) e os argilosos tendo em conta a sua consistência (Tabela 3).

Tabela 2. Correlação empírica entre a resistência à penetração (N_{SPT}) com a compactidade de solos granulares, ângulo de atrito, peso específico e tensão admissível, adaptado de *Terzaghi et al.*, (1996).

N_{SPT}	Compactidade	Ângulo de Atrito (°)	Peso específico (kN/m^3)	Tensão admissível (kPa)
0 - 4	Muito solto	28	16	<60
4 - 10	Solto	28 – 30	18	60 – 100
10 - 30	Médio	30 – 36	19	100 – 330
30 - 50	Compacto	36 – 41	20	330 – 520
>50	Muito compacto	> 41	>20	>520

Tabela 3. Correlação entre a resistência à penetração (N_{SPT}) com a consistência de solos argilosos, peso específico e as tensões admissíveis, adaptado de *Terzaghi et al.*, (1996).

N_{SPT}	Consistência	Peso específico (kN/m^3)	Tensão admissível (kPa)
<2	Muito mole	13	<30
2 - 4	Mole	15	25 – 50
4 – 8	Média	17	50 – 100
8 – 15	Dura	19	100- 200
15 – 30	Muito dura	20	200 – 400
>30	Rija	>20	>400

1.5. Análise de Resultados

1.5.1. Sondagens mecânicas com ensaios SPT

O cenário, de modo geral, encontrado nas sondagens foi bastante homogêneo, identificando-se na parte próxima da superfície material de aterro e restos de construção, com transição para os depósitos aluvionares, a uma maior profundidade encontraram-se materiais calco-argilosos que evoluíram para o maciço rochoso constituído por calcário dolomítico (Figura 16).

No que diz respeito às sondagens S8 e S9, foi possível verificar que as fundações do edifício que se pretende reabilitar eram compostas por madeira (Figura 17). O uso de estacas de madeira é apenas recomendado para locais que estejam completamente abaixo do nível freático ou pelo contrário completamente secos, isto porque a madeira não suporta variações de humidade e pode ficar sujeita a decomposições e ao ataque por microrganismos.



Figura 17. Caixa de Sondagem referente a S3.



Figura 16. Caixa de Sondagem referente a S8, dos 4,5m aos 6m.

Na Tabela 4 são apresentadas as principais características das sondagens realizadas. O nível freático foi medido duas vezes, na altura da execução das sondagens, em novembro de 2021 e voltou a ser medido em maio de 2022, passados, aproximadamente, seis meses. A profundidade desde a primeira medição, para a mais recente, diminuiu cerca de 40 cm, ou seja, o nível freático passou a estar ainda mais próximo da superfície, este aumento não é muito significativo podendo ser justificado pela estabilização da água após a furação ou então pela gestão da albufeira da Ponte-Açude.

Tabela 4. Síntese das principais características das sondagens realizadas.

Sondagem	Coordenadas (M/P)	Profundidade (m)	Nº Ensaios SPT	Cota da Boca (m)	Prof. do Nível Freático (m) (novembro, 2021)	Prof. do Nível Freático (m) (maio, 2022)
S1	40°12'22.74"N 8°25'40.12"W	15,0	10	20	2,6	2,2
S2	40°12'22.60"N 8°25'39.70"W	13,5	5	20	2,6	2,2
S3	40°12'22.62"N 8°25'40.37"W	19,5	12	20	2,6	2,2
S4	40°12'22.42"N 8°25'39.91"W	15,0	8	20	2,6	2,2
S5	40°12'22.49"N 8°25'40.61"W	18,0	12	20	2,6	2,2
S6 (*)	40°12'22.21"N 8°25'40.19"W	22,5	12	20	2,6	2,2
S7	40°12'22.32"N 8°25'40.98"W	<22,5	15	22	4,2	3,8
S8	40°12'22.40"N 8°25'40.54"W	6,0	-	20,26	-	-
S9	40°12'22.25"N 8°25'40.33"W	6,0	-	20,26	-	-

(*Em S6 foi instalado um piezómetro)

1.5.2. Influência da proximidade ao Rio Mondego e da permeabilidade dos terrenos

Localizada na Região Centro de Portugal, a bacia hidrográfica do Rio Mondego, onde se insere o local de estudo caracteriza-se por um clima mediterrânico, com fortes alterações sazonais e intra-anuais de caudal associado a episódios de cheias e secas.

A proximidade do local de estudo com o Rio Mondego pode trazer dificuldades acrescidas ao projeto, construção e operação, dado que podem ocorrer riscos associados à ocorrência de cheias e inundações (Figura 18).

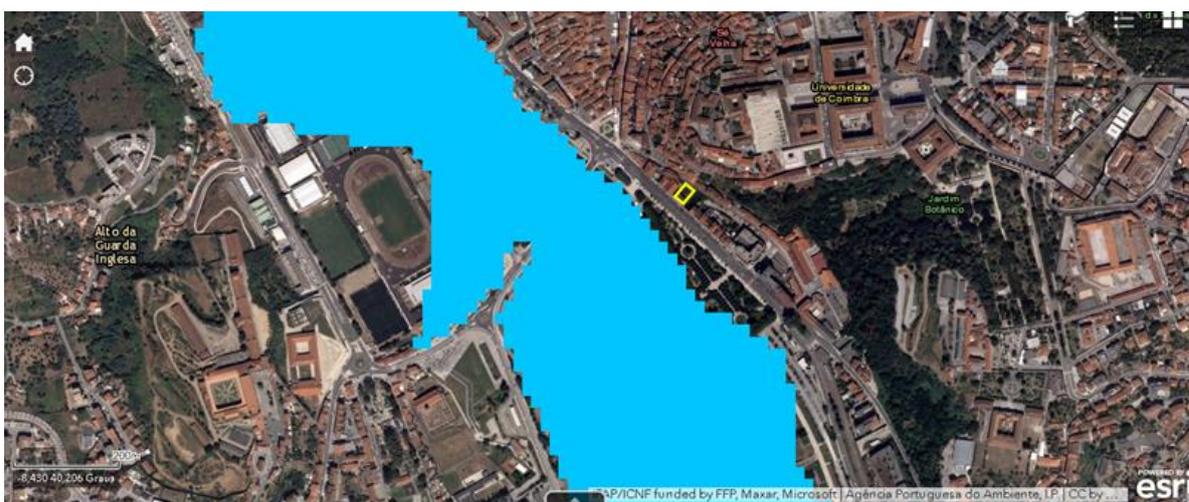


Figura 18. Vulnerabilidade à ocorrência de inundações. A azul encontra-se delimitada a área suscetível de sofrer inundações, e a amarelo a área de estudo. (SNIAmb, 2022)

Apesar de à priori se admitir que o perigo natural mais significativo na área de intervenção está relacionado com inundações e cheias que por sua vez estão associadas a precipitações elevadas e ao assoreamento do rio Mondego, como é possível observar na Figura 15, o local de estudo não se insere numa zona suscetível de ser atingida por este fenómeno.

Para além dos perigos associados a processos naturais já referidos devido à proximidade com o Rio Mondego, outro aspeto a ter em conta e que pode condicionar a viabilidade do projeto é a permeabilidade do solo.

Designado como coeficiente de permeabilidade (k), é caracterizado através da facilidade que a água tem de circular no solo e está diretamente associada às características do mesmo (Vallejo, 2002). São conhecidos valores de referência para o coeficiente k que variam consoante o tipo de solo (Figura 19).

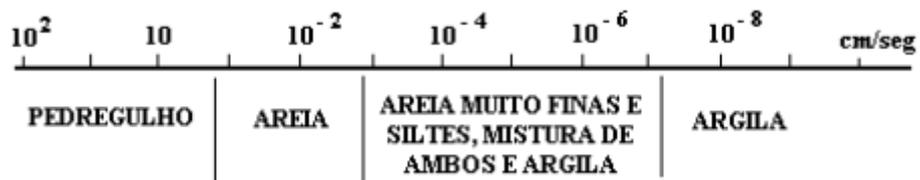


Figura 19. Intervalos de variação de k para os diferentes tipos de solo. (Caputo, 1981).

É de realçar que, apesar dos solos finos apresentarem, geralmente, índices de vazios “*in situ*” superior aos dos solos grossos, evidenciam valores de coeficientes de permeabilidade bastante inferiores a estes, por não haver interligação dos seus vazios (Marangon, 2018).

A permeabilidade é uma das propriedades do solo com maior taxa de variação e as principais características que a influenciam são:

- Granulometria, isto é, o tamanho das partículas influenciam o valor de “k” sendo que os solos com partículas de dimensão mais elevada, possuem uma maior permeabilidade uma vez que os vazios são, tendencialmente, maiores.
- Quanto mais poroso for um solo granular, maior será o índice de vazios, por conseguinte mais permeável, o que ocorre apenas para materiais granulares, dado que para materiais argilosos isto não se verifica;
- Temperatura, quanto maior for a temperatura, menor a viscosidade da água e, mais facilmente ela escoar pelos vazios do solo, portanto maior a permeabilidade. Logo, k é inversamente proporcional à viscosidade da água.
- Forma e orientação das partículas, uma vez que a permeabilidade vai variar consoante a direção do fluxo.

O nível freático e a espessura das camadas condicionam igualmente a permeabilidade do solo.

Como já foi referido, a área de intervenção é composta por aterros sobrepostos a solos aluvionares, estes últimos correspondem a materiais transportados e depositados pela água e apresentam uma composição heterogénea. Dadas as suas características, os solos aluvionares, devido à grande variação de permeabilidade e também à presença do nível freático muito próximo da superfície, apresentam condições geotécnicas de fraca qualidade, baixa resistência e elevada deformabilidade, que com a consolidação dos solos finos intercalados nas aluviões, podem originar assentamentos que se agravam com o tempo e acrescentando riscos para o edifício que se pretende construir

devendo, portanto, ter-se em conta este fator na escolha das soluções a serem adotadas no projeto (Lopes, 2014).

1.5.3. Zonamento Geotécnico

Através da realização de três perfis geotécnicos (Figura 17, 18 e 19) com recurso ao programa de desenho vetorial *AutoCAD* 2019, foram definidas quatro zonas geotécnicas (ZG1, ZG2, ZG3, ZG4), tendo por base as características geológicas e geotécnicas dos materiais intersectados pelas sondagens realizadas, fundamentadas pelos valores de N_{SPT} , RQD, taxa de recuperação simples e ainda pelo estado de alteração e fracturação. Para cada uma das zonas geotécnicas pressupõem-se comportamentos geotécnicos diferentes, sendo que da ZG4 para a ZG1 as condições geotécnicas melhoram progressivamente. Na Tabela 5 apresenta-se uma síntese dos parâmetros geotécnicos das diferentes zonas.

Os perfis realizados intersectam as sondagens realizadas *in situ*, o perfil AB (Figura 20) é paralelo ao talude que aflora na área de estudo e o perfil CD (Figura 21) e EF (Figura 22) são perpendiculares ao perfil AB. Em anexo encontra-se a planta em *AutoCad* com os perfis marcados.

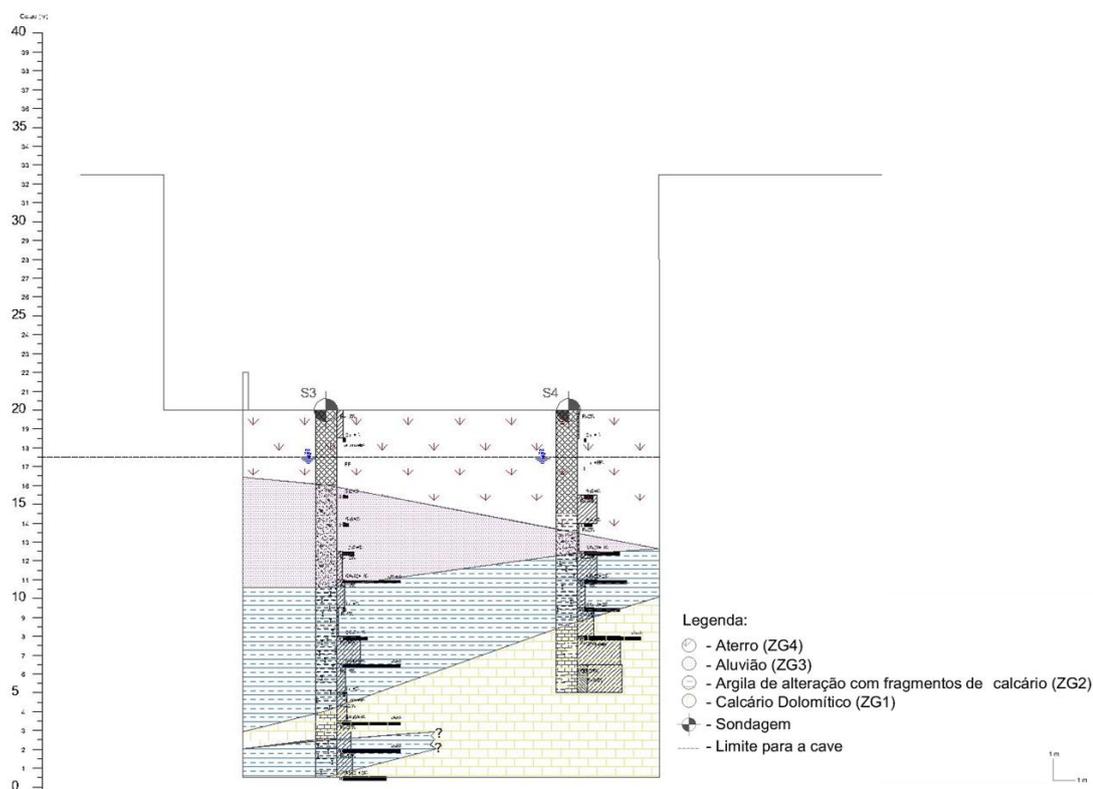


Figura 20. Perfil AB, com o zonamento geotécnico definido a partir das sondagens S3 e S4.

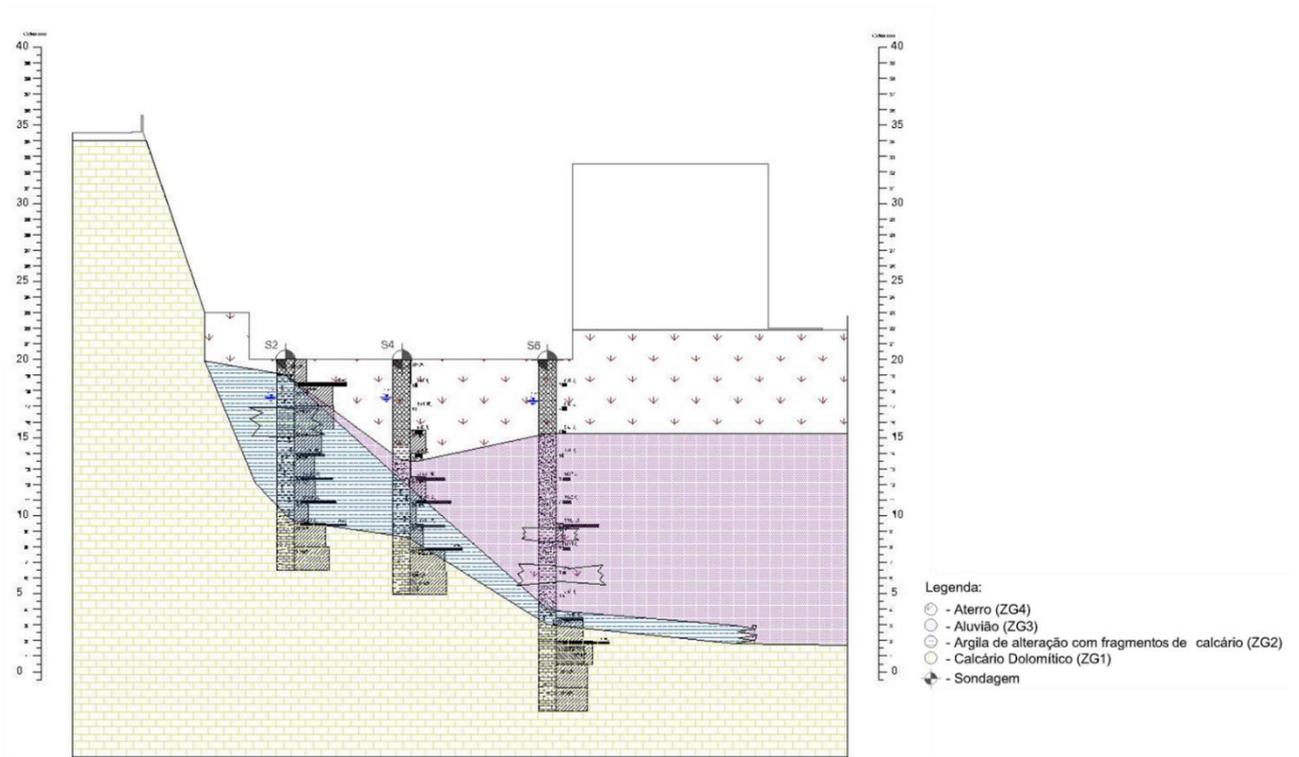


Figura 21. Perfil CD, com o zonamento geotécnico definido a partir das sondagens S2, S4 e S6.

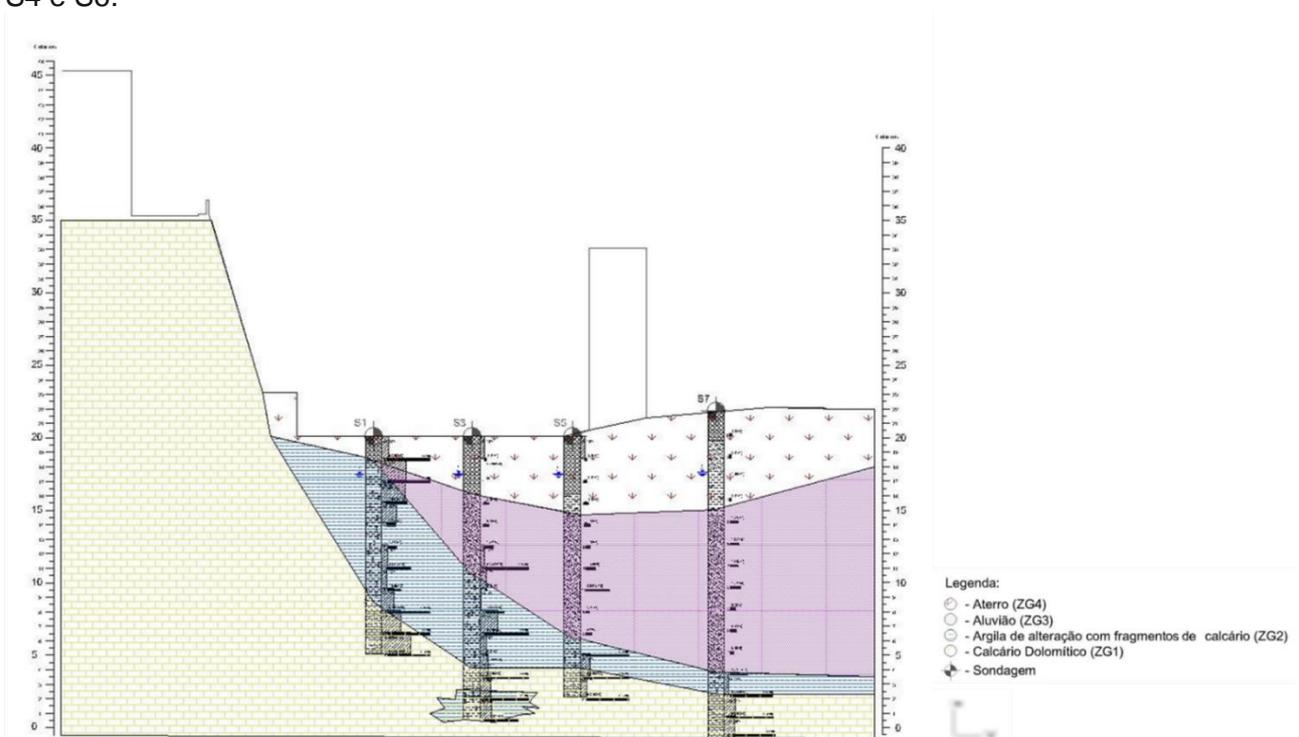


Figura 22. Perfil EF, com o zonamento geotécnico definido a partir das sondagens S1, S3, S5 e S7.

- **Zona Geotécnica 4- Aterro**

Esta zona é caracterizada como zona de aterro, que se insere nos níveis mais superficiais da área de estudo, desde os 0.0 m até cerca dos 5.5 m de profundidade. É composta por material de aterro, material de cobertura e restos de obras.

No contexto geotécnico é uma zona bastante heterogénea e pouco competente, apresentado valores médios de N_{SPT} de 12 e, portanto, não apresenta aptidão geotécnica para suportar as fundações do edifício que se pretende construir. Por outro lado, como se trata de uma zona pouco competente, e como tal tem que ser removida para implementação das fundações no local, é de fácil escavação podendo-se recorrer a métodos mecânicos ligeiros.

Como é possível observar no perfil AB, CD e EF representado pelas Figuras 17, 18 e 19, o aterro apresenta a espessuras variáveis, atingindo a espessura mínima de 1 m na sondagem S2, e máxima de 5,5 m na sondagem S4.

- **Zona Geotécnica 3- Aluvião**

Esta zona geotécnica é caracterizada pela presença de depósitos aluvionares e é constituída por areias no topo e areias com seixos e calhaus na base, sendo as intercalações lenticulares de lodos e argilas pouco significativas em termos de espessura e extensão (Mendonça & Dias, 1999).

No contexto geotécnico, a Zona Geotécnica 3 apresenta grande heterogeneidade, com valores de N_{SPT} que variam desde muito baixos a elevados (2 a 47), estes últimos podem justificar-se pela interseção de seixos e fragmentos de calcários. A Zona Geotécnica 3 possui, em termos médios, valores de N_{SPT} de 14. A tensão admissível nesta zona varia entre os 100 e os 330 kPa, e assumiu-se um peso específico de 19 kN/m³. É considerada também uma zona suscetível à liquefação, pois trata-se de material granular solto que quando saturado e sujeito a tensões pode sofrer deformações importantes. Posto isto, e dadas as características desta zona, conclui-se que não é o local indicado para a instalação das fundações do edifício, e tal como a anterior pode ser facilmente escavada recorrendo a métodos mecânicos ligeiros.

- **Zona Geotécnica 2- Argila de alteração com fragmentos de calcário**

A zona geotécnica 2 é caracterizada pela intercalação de material pouco resistente, argilas, com material mais resistente, que corresponde a elementos rochosos de calcário. Esta zona resulta da acumulação de calcário dolomítico caído do talude que

aflora na parte limite da área de estudo, anteriormente à formação dos depósitos aluvionares.

Do ponto de vista geotécnico, esta zona apresenta valores de N_{SPT} , ainda que algo variados, superiores aos que ocorrem na Zona Geotécnica 2, chegando a atingir as 60 pancadas, mas com valor médio de 33 pancadas. O grau de alteração varia entre W3 e W4 e o grau de fracturação entre F4 e F5. A tensão admissível nesta zona varia entre 400 e 600 kPa.

Uma vez que esta zona ainda se apresenta heterogénea, não é igualmente recomendada para a implementação das fundações, pois ainda não se alcançam valores de N_{SPT} considerados elevados de uma forma contínua. A escavabilidade desta zona, em parte, pode ser feita com meios mecânicos ligeiros e quando surjam blocos de calcário o desmonte terá que ser realizado com recurso a meios mecânicos mais pesados.

- **Zona Geotécnica 1- Calcário dolomítico**

Esta zona caracteriza-se por um horizonte de maciço rochoso, composto por calcário dolomítico medianamente alterado e carsificado, com valores de N_{SPT} na ordem das 60 pancadas e com taxas de recuperações simples que atingem os 93%. Este horizonte foi intersetado a partir dos 10 m, na sondagem S2, na qual surge “mais próximo da superfície”. O grau de alteração varia entre W3 e W5 e o grau de fracturação entre F3 e F5. A tensão admissível nesta Zona é de 700 kPa.

Como é possível verificar essencialmente no perfil EF (Figura 19), quanto mais próximo do Rio Mondego, isto é, de S1 para S7, o topo do calcário encontra-se a maiores profundidades.

Considera-se que esta zona possui boa aptidão geotécnica para receber as fundações indiretas que se pretendem implementar. Tendo em conta o referido, no que diz respeito à escavabilidade, nesta zona será necessário recorrer a meios mecânicos pesados.

Tabela 5. Parâmetros geotécnicos das quatro zonas definidas.

Zona Geotécnica	ZG4	ZG3	ZG2	ZG1
Litologia	Aterro / Material de Cobertura	Aluvião (areias e argilas)	Argila de alteração com fragmentos de calcário	Calcário dolomítico
N_{SPT} (min a máx)	2 a 60	2 a 60	3 a 60	45 a 60
N_{SPT} (Médio)	12	14	33	58
Grau de Alteração (W)	n.a	n.a	W3 – W4	W3 - W5
Estado de Fracturação (F)	n.a	n.a	F4 – F5	F3 – F5
Peso específico (kN/m³) (Terzaghi et al., 1996; Vallejo, 2002)	n.a	Argilas: 19 Areias: 19	Argilas: >20 Calcário: 22,6 – 25,5	22,6 – 25,5
Tensão admissível (kPa) (Terzaghi et al., 1996; Vallejo, 2002)	n.a	Argilas: 100-200 Areias: 100-330	Argilas: >400 Calcário: 600	700
Aptidão geotécnica para fundação	Zona sem aptidão geotécnica	Zona com baixa aptidão geotécnica	Zona com baixa aptidão geotécnica	Zona com boa aptidão geotécnica
Método de desmonte (Escavabilidade)	Métodos mecânicos ligeiros	Métodos mecânicos ligeiros	Métodos mecânicos ligeiros e pesados	Métodos mecânicos pesados

(n.a- não aplicável)

1.5.4.Recomendações Geotécnicas

O cenário geotécnico encontrado no terreno apresenta-se bastante heterogéneo, neste sentido recomenda-se que seja adotado um sistema de fundações que permita salvaguardar a segurança das estruturas, procurando homogeneidade no comportamento estrutural do edifício.

De modo geral, a zona ZG1, que corresponde ao maciço rochoso, apresenta as características geotécnicas mais adequadas para receber as fundações, apesar da zona ZG2 também apresentar bons resultados, revela-se demasiada heterogénea para se efetuar a implementação das fundações. As tensões máximas admissíveis na ZG1 (maciço de fundação) estimam-se que sejam iguais ou superiores a 700 kPa.

É necessário ter em conta que as fundações serão implementadas abaixo do nível freático, uma vez que este foi identificado próximo da superfície, a cerca de 2,6 m em todas as sondagens, exceto na S7 que se localiza a uma cota superior e verificou-se que o nível freático surge a uma profundidade de 4,2 m. Posto isto, dadas as características referidas será necessário rebaixar o nível da freático por meio de bombagem, de modo a retirar água durante 24/24h. É recomendado o recurso a fundações indiretas, utilizadas para situações em que a capacidade portante se localiza a profundidades consideráveis e nas quais as cargas provenientes do edifício são transferidas (ZG1). O tipo de fundações indiretas mais adequadas para o caso serão as estacas moldadas, apoiadas no maciço rochoso (calcário dolomítico), dado que atingem elevadas profundidades e se adaptam à configuração do próprio maciço e ainda porque a sua execução não gera ruído nem vibrações no solo o que é bastante favorável, uma vez que se trata de uma área urbana.

No que respeita à escavabilidade dos terrenos, para as ZG4, ZG3 e ZG2 poderão ser usados essencialmente meios mecânicos ligeiros, enquanto para ZG1 a escavação precisará de meios mecânicos pesados. Dada a possibilidade de ocorrerem fragmentos de calcário na ZG2, devido à sua elevada profundidade, e ainda o facto de se localizar abaixo do nível freático poderá exigir a utilização de meios mecânicos pesados. Pode recorrer-se a meios mecânicos ligeiros tais como, pás mecânicas ou baldes e para a escavação com meio mecânicos pesados pode-se recorrer a martelos e brocas.

Outro aspeto a ter em conta é o talude rochoso aflorante no local, pois apesar de estar coberto com vegetação foi possível observar que é composto por calcário dolomítico bastante carsificado e fraturado. Apesar da vegetação impedir parcialmente a infiltração da água no talude e podendo contribuir, deste modo, para a sua estabilidade, deve assinalar-se que em períodos de precipitação mais elevada, e tendo em conta as cavidades geradas pela dissolução do calcário, podem ocorrer colapsos no talude levando a que o edifício seja potencialmente afetado e até pode representar riscos à vida humana. Procurando atuar preventivamente, antes de se iniciar a escavação do terreno deveriam ser tomadas medidas de estabilização do talude.

O projeto contempla a construção de mais que uma cave, e dado que o nível da água se localiza próximo da superfície, a cerca de 2,6 m, apenas se recomenda a execução de uma das caves previstas, com cerca de 2,5 m de pé-direito, pois ainda seria possível concretizá-la acima do nível freático (Figura 20) e também a impermeabilização da mesma, bem como soluções de drenagem, para estar protegida contra eventuais subidas do nível freático. A construção de mais que uma cave, não é

aconselhada, pois implicaria a sua execução a cotas abaixo do nível freático e tendo em conta os antecedentes do local anteriormente abordados, ainda que existam soluções para construção abaixo do nível da água, estas iriam exigir um grande investimento.

É ainda de notar que dada a época do ano e as taxas de precipitação o nível freático pode sofrer variações, sugerindo assim que os trabalhos sejam realizados nos meses com pluviosidades mais reduzidas de modo a facilitar o processo de rebaixamento.

1.6. Considerações Finais do Estudo Geológico-Geotécnico

A problemática da construção em solos aluvionares, constituídos essencialmente por areias, lodos e cascalheira é de extrema importância para este projeto, uma vez que estes solos têm capacidade reduzida de suporte para a instalação de fundações, sendo propícios à ocorrência de assentamentos. Tendo isto em conta o estudo geológico e geotécnico torna-se imprescindível, pois permite a identificação de níveis com competência para receber as fundações, para além de todas as informações relevantes para o projeto.

Após a conclusão do estudo geológico-geotécnico conclui-se que o terreno interessado pelo projeto possui um horizonte de aterro, sobre depósito aluvionares, seguidos em profundidade por depósitos de vertente (argilas de alteração com fragmentos de calcário), e por fim, unidades de calcários dolomíticos. Tanto o estado de compactação como a resistência das unidades à penetração aumentam com a profundidade. Com a proximidade do Rio Mondego o calcário competente surge a maiores profundidades.

Através do reconhecimento geológico, dos trabalhos de prospeção efetuados e com perfis geológicos e geotécnicos interpretativos obtidos da área de estudo, foi possível definir quatro zonas geotécnicas. De forma resumida, a ZG4 corresponde ao aterro e não possui aptidão geotécnica para receber as fundações, a ZG3 e ZG2 correspondem aos depósitos aluvionares e à argila de alteração com fragmentos de calcário, respetivamente, e são zonas de baixa aptidão geotécnica e ZG1, que corresponde ao maciço rochoso, composto por calcário dolomítico e é a zona que apresenta boa aptidão geotécnica e por isso é a zona recomendada para receber as fundações.

Para o projeto em questão são recomendadas fundações indiretas, por estacas moldadas. É também sugerido, que se realize um estudo de estabilidade do talude que aflora no local, uma vez que se encontra carsificado e fraturado e caso se verifique necessário, se proceda à sua estabilização. Seria ainda vantajoso para um projeto que

os trabalhos se realizem em épocas de menor precipitação quando o nível da água é mais reduzido, pois isto facilitaria o processo de construção da ou das caves.

PARTE II

2. Contaminação de solos em contexto geotécnico

A abordagem deste tema prende-se com a sua atualidade, dado ser obrigatório a avaliação ambiental dos solos movimentados em obras de engenharia civil, desde 01 de julho de 2021, após a entrada em vigor do Decreto de Lei nº. 102-D/2020 (nRGGR).

Pretende-se apresentar uma síntese do quadro legislativo existente e discutir os procedimentos requeridos para o bom desempenho dos trabalhos de escavação, mobilização e aplicação de solos e rochas em geotecnia, no que se refere aos constrangimentos relacionados com a contaminação dos terrenos.

Na atualidade, o desenvolvimento sustentável com vista à proteção da saúde pública e do ambiente tem sido um tema a ter em conta em todos os ramos de atividade e a Geologia e Geotecnia não constituem exceção.

Assim como a contaminação da água e do ar que levou à criação de numerosa legislação, apesar de menos compreendida a contaminação do solo pode ocorrer ao longo de vários anos e os seus efeitos só tendem a tornarem-se visíveis tardiamente ou verificarem-se em locais mais afastado pela migração de poluentes. A contaminação de solos é uma ameaça às suas funções naturais, um risco para o ambiente e para a saúde humana, sendo um problema generalizado no mundo (FAO & ITPS, 2015). Duzentos anos de industrialização provocaram a contaminação de solos na totalidade do continente europeu, levando ao aparecimento de cerca de 2,8 milhões de locais contaminados, segundo a EC - *European Commission*, 2013.

Atualmente, faz-se um esforço acrescido no sentido de avaliar o estado do solo, tendo em conta as atividades que nele decorreram de modo a perceber-se se estes se encontram contaminados e, caso estejam, proceder à sua remediação. Esta nova dinâmica irá envolver a cooperação de várias áreas científicas. Os geotécnicos desempenham um papel fundamental no desenvolvimento e na implementação dos métodos e das tecnologias de remediação dos solos *in situ*, em resultado dos seus conhecimentos acerca do comportamento dos solos e também da heterogeneidade e anisotropia do subsolo (*Shackelford*, 2005).

2.1. Conceitos e Princípios

2.1.1. Solos

O solo define-se, como um corpo natural, não consolidado, formado na superfície terrestre, composto por substâncias orgânicas e inorgânicas existentes na superfície e provenientes da decomposição da rocha-mãe. O processo que está na origem da formação do solo designa-se por **pedogénese**, que ocorre devido aos processos de meteorização que causam modificações químicas e mineralógicas nas rochas (Figura 23). Os solos apresentam diferentes características físicas e químicas, podendo ser argilosos, arenosos, ricos ou pobres em matéria orgânicas, apresentar espessuras de algumas dezenas de metros ou apenas alguns centímetros, sendo que estas diferenças podem ser facilmente observadas horizontalmente.

Segundo a FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura), é considerado solo qualquer material sólido que esteja em contacto com a atmosfera, até 2 m de profundidade, à exceção de organismos vivos e áreas de gelo.

O solo é, essencialmente, um recurso não renovável à escala humana e um sistema muito dinâmico que desempenha inúmeras funções e presta serviços vitais para as atividades humanas e a sobrevivência dos ecossistemas (Comissão da Comunidades Europeias, 2006). O solo, para além do que já foi referido, devido à sua elevada importância socioeconómica e ambiental, é considerado um pilar em termos económicos (APA, 2021), constituindo a base da maioria da produção de alimentos e combustíveis servindo também como matéria-prima para outras tantas atividades, nomeadamente no setor da construção.

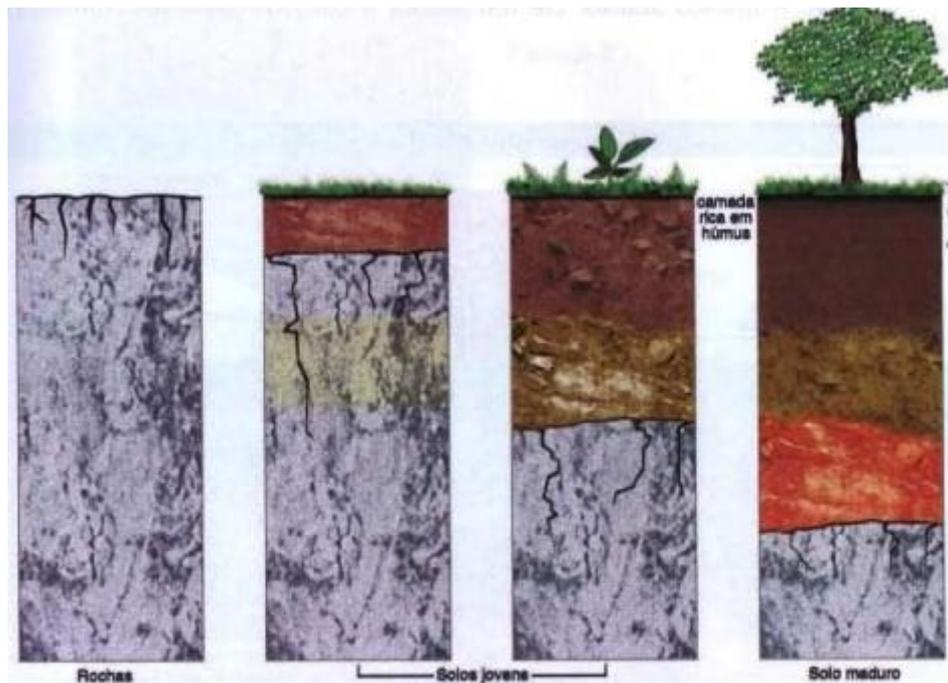


Figura 23. Processo de formação do solo a partir da rocha mãe, retirado de *Castellar & Zamboni (2011)*.

2.1.2. Contaminação de Solos

A designação de “Contaminante”, corresponde a uma substância presente no solo em resultado de ação antropogénica, que conste ou não em anexo no Guia Técnico - Valores de Referência para o Solo disponibilizado pela APA, que preenche os critérios relativos aos perigos para a saúde humana ou para o ambiente fixados no Regulamento (CE) n.º 1272/2008 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de dezembro, na sua redação atual, relativo à classificação, rotulagem e embalagem de substâncias e misturas (Guia Técnico - Valores de Referência para o Solo, 2021).

Define-se por contaminação de solo a adição de compostos químicos que provocam a modificação das características naturais do solo, limitando o seu uso, degradando a qualidade das águas (superficiais e subterrâneas), constituindo um risco para a saúde pública (Costa, et al., 2015). Os contaminantes podem apresentar concentrações de substâncias químicas que excedem os valores de referência definidos para cada país. No caso de Portugal, os valores de referência são disponibilizados pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA, 2021), através do “Guia Técnico – Solos Contaminados | Valores de Referência para o Solo”.

Segundo a APA a sequência pela qual podem ser assumidos os valores de referência para o solo é dada por:

- O estado inicial ou valores de fundo naturais, se disponíveis, devidamente fundamentados e aceites pela APA;
- Os valores de referência, apresentados em anexo no Guia Técnico - Valores de Referência para o Solo, adaptados das Normas de Ontário (publicados no documento “*Soil, Ground Water and Sediment Standards for Use Under Part XV.1 of the Environmental Protection Act*”, Ministry of the Environment, April 15, 2011), apenas quando não se disponha do estado inicial ou de valores de fundo naturais;
- Valores nacionais ou internacionalmente reconhecidos, desde que devidamente fundamentados e aceites pela APA, quando não se disponha do estado inicial ou de valores de fundo naturais e não estejam definidos valores de referência no “Guia Técnico – Solos Contaminados | Valores de Referência para o Solo”.

2.2. Síntese da legislação aplicada

Os solos contaminados são um problema conhecido em Portugal, uma vez que, durante a execução de obras, e mais especificamente em áreas anteriormente industriais é recorrentemente detetada contaminação do solo e, portanto, surge a necessidade de se suprimir a lacuna de legislação relativa a este tema.

A Diretiva 2004/35/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 21 de outubro, que aprovou, com base no princípio do poluidor-pagador, o regime relativo à responsabilidade ambiental aplicável à prevenção e reparação dos danos ambientais, com a alteração que lhe foi introduzida pela Diretiva 2006/21/CE, relativa à gestão de resíduos da indústria extrativa é então transposta para Portugal pelo Decreto-Lei 147/2008, de 29 de julho, o qual aprovou o regime jurídico da responsabilidade por danos ambientais (RJRDA).

De modo geral, o Decreto-Lei 147/2008 (RJRDA), aplica-se a danos ambientais causados por qualquer atividade desenvolvida no âmbito de uma atividade económica, a qualquer ameaça iminente desse dano num futuro próximo, estabelece o princípio do poluidor-pagador, estabelece também dois tipos de responsabilidade, a de quem causa os danos ambientais e pela prevenção e reparação dos mesmos, diz ainda que em qualquer atividade o operador é responsável pelo dano ambiental quando age de forma negligente. É ainda importante referir que o Regime Jurídico da Responsabilidade por Danos Ambientais, excluiu a responsabilidade administrativa pela prevenção e reparação de danos ambientais causados anteriormente a 1 de agosto de 2008 e

ocorridas após a referida data se resultarem de uma atividade realizada e concluída anteriormente à data indicada.

Em 2015 a APA leva a consulta pública um projeto de Decreto-Lei, designado como Prosolos, que visa a criação regras sobre a prevenção da contaminação e remediação dos solos, assente em três pontos-chave (APA, 2015) (Figura 24):

- Avaliação da qualidade do solo;
- Remediação de solos contaminados;
- Responsabilização pela contaminação.

Os quais permitiriam responder a compromissos assumidos nacional e internacionalmente suprimir uma importante lacuna no ordenamento jurídico nacional, constituindo-se, desta forma, como um marco da política de ambiente (APA, 2015). Esta legislação esteve em consulta pública entre 4 de setembro e 14 de outubro de 2015. No entanto nunca foi publicada, estando o país há 7 anos à espera da publicação de uma lei essencial para o ambiente, para o ordenamento do território e igualmente para a saúde pública.

Na legislação Prosolos destacam-se algumas normas, nomeadamente:

- Apresentação de um relatório com o estado de contaminação de um solo, que se pretenda vender, onde estiveram instaladas atividades potencialmente contaminadoras. O responsável seria o proprietário que acarretaria também com eventuais custos de descontaminação.
- Os proprietários de atividades de risco ambiental teriam a obrigação de avaliar o estado de contaminação do solo, evitando que mais tarde, por falta de informação de quem contaminou o solo, o Estado tivesse que acarretar com os custos de remediação;
- Criação de um Atlas da Qualidade do solo com referência de locais contaminados, remediados e ainda com informação de atividades potencialmente contaminantes, tipos de contaminação e técnicas de remediação.

Caso a legislação Prosolos venha a ser aprovada, os casos em que novos proprietários adquiram terrenos, que só posteriormente vêm a descobrir que se encontram contaminados, e não podem responsabilizar os antigos proprietários iriam ser substancialmente reduzidos e ainda com esta legislação os proprietários dos

terrenos onde funcionam atividades de risco ambiental seriam obrigados a efetuar a avaliação do estado de contaminação do solo (Figura 23).

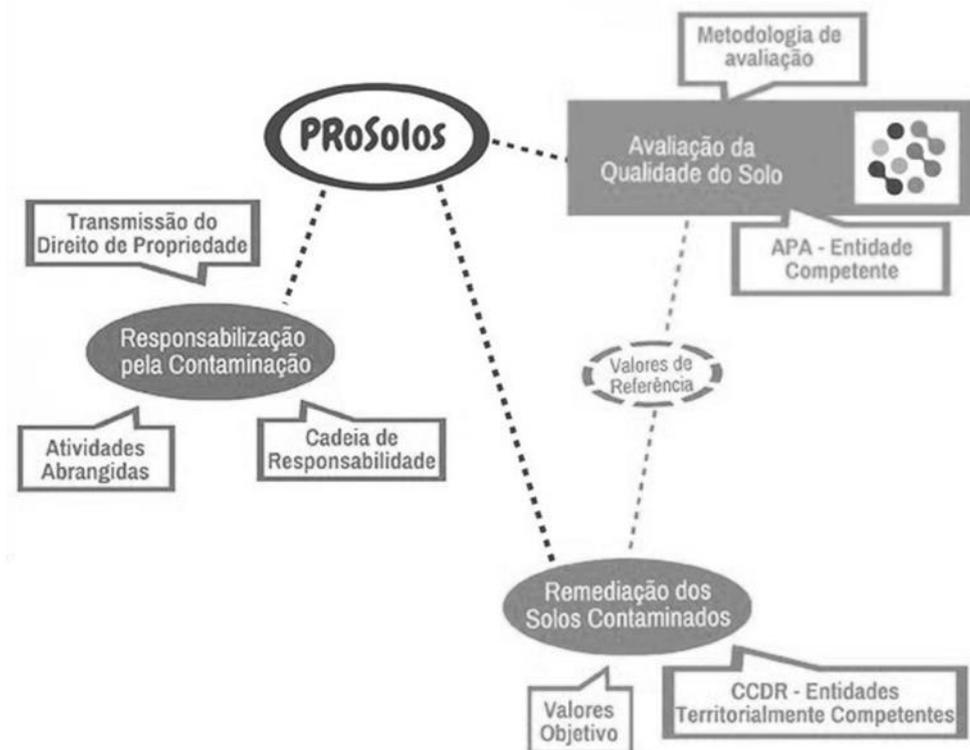


Figura 24. Pontos chave do Projeto Decreto-Lei ProSolo (APA, 2015).

A 10 de dezembro de 2020, é emitido pela Presidência do Conselho de Ministros e publicado no Diário da República n.º 239/2020 o Decreto de Lei nº. 102-D/2020, novo Regime Geral das Gestão de Resíduos (nRGGR), que entrou em vigor no dia 01 de julho de 2021 e que aprova o regime geral da gestão de resíduos, o regime jurídico da deposição de resíduos em aterro e altera o regime da gestão de fluxos específicos de resíduos, transpondo as Diretivas de União Europeia 2018/849, 2018/850, 2018/851 e 2018/852. O nRGGR estabelece medidas que visam a proteção ambiental e da saúde humana, das quais se destacam:

- Prevenção ou redução da produção e perigosidade dos resíduos;
- Redução dos impactes negativos da produção de resíduos perigosos;
- Diminuição dos impactes globais do uso dos recursos;
- Uma melhor eficiência da utilização dos resíduos produzidos, com objetivo à evolução para uma economia circular, garantindo a competitividade a longo prazo.

- Aumento significativo das contraordenações ambientais leves, graves e muito graves.
- Adoção de novas metas ambientais mais exigentes, para os horizontes temporais de 2025 e de 2030.

Estabelece ainda uma definição importante para a transação de solos e rochas escavados, definindo **subproduto** e estipulando quatro condições para que estes se possam classificar como tal, o que será desenvolvido no ponto seguinte.

A 10 de agosto surge a Lei nº52/2021 que faz alterações por apreciação parlamentar ao Decreto de Lei nº. 102-D/2020 (nRGGR), publicado no Diário da República n.º 154/2021. Segundo a APA, *“este diploma unifica o regime da gestão de fluxos específicos de resíduos sujeitos ao princípio da responsabilidade alargada do produtor, aprova o regime jurídico da gestão de resíduos de equipamentos elétricos e eletrónicos (REEE), estabelecendo medidas de proteção do ambiente e da saúde humana, com os objetivos de prevenir ou reduzir os impactes adversos decorrentes da produção e gestão desses resíduos, diminuir os impactes globais da utilização dos recursos, melhorar a eficiência dessa utilização, e contribuir para o desenvolvimento sustentável. O diploma transpõe para o direito nacional a Diretiva n.º 2012/19/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 4 de julho de 2012, relativa ao REEE, revogando o anterior Decreto-Lei n.º 67/2014, de 7 de maio.”* Dentro das alterações destaca-se ainda o ponto k) do artigo 3º que define enchimento como *«qualquer operação de valorização em que, para efeitos de recuperação em zonas escavadas ou para fins de engenharia paisagística, são empregues exclusivamente materiais provenientes da atividade extrativa mineral ou da sua transformação, incluindo Resíduos de Construção e Demolição (RCD), que não apresentem características de perigosidade, testados segundo os valores de referência estabelecidos no Guia Técnico da APA, I. P., para Solos Contaminados (2019), limitando-se às quantidades estritamente necessárias para esses efeitos»*.

Devido à importância deste tema, a APA disponibilizou guias técnicos e recomendações para a prevenção e remediação de solos contaminados que visam essencialmente apoiar nos casos de transferência de solos e rochas escavados para locais diferentes dos de origem.

2.3. Classificação de Solos e Rochas como Subproduto ou Resíduo

2.3.1. Classificação como subproduto de solos e rochas

O artigo 91º do Decreto de Lei nº. 102-D/2020 (nRGGR) emitido pela Presidência do Conselho de Ministros e publicado no Diário da República n.º 239/2020, a 10 de dezembro de 2020, que entrou em vigor no dia 01 de julho de 2021 e que aprova o regime geral da gestão de resíduos, o regime jurídico da deposição de resíduos em aterro e altera o regime da gestão de fluxos específicos de resíduos, transpondo as Diretivas de União Europeia 2018/849, 2018/850, 2018/851 e 2018/852, define **subproduto** como uma substância ou objeto resultante de um processo de produção cujo principal objetivo não seja a produção desse artigo, sendo que só pode, efetivamente, ser considerado subproduto e não resíduo se não se inserir no ponto 1 do 3º artigo da referida diretiva, que diz que um resíduo corresponde a todas as substâncias ou objetos que o detentor se desfaz, tem intenção ou obrigação de se desfazer. Dito isto, e para se considerar um subproduto têm que estar reunidas as seguintes condições (Figura 24):

- Existir a certeza de posterior utilização da substância ou objeto;
- A substância ou objeto poder ser utilizado diretamente, sem qualquer outro processamento que não seja o da prática industrial normal;
- A substância ou objeto ser produzido como parte integrante de um processo de produção;
- A posterior utilização ser legítima, isto é, a substância ou objeto satisfazer todos os requisitos relevantes do produto em matéria ambiental e de proteção da saúde para a utilização específica e não acarretar impactos globalmente adversos do ponto de vista ambiental ou da saúde humana.

Uma vez verificados todos os pontos pré-estabelecidos, é possível diferenciar um subproduto de um resíduo, não havendo necessidade de aplicar as regras relativas à gestão de resíduos. A verificação do cumprimento de todos os critérios é efetivada por laboratórios colaborativos, reconhecidos pela Fundação para a Ciência e Tecnologia, I. P. (FCT, I. P.), ou centros tecnológicos que atuem no âmbito do processo produtivo da substância ou objeto em causa. Sempre que estejam reunidas as condições delineadas o produtor deve juntar ao processo documentos comprovativos do subproduto, nomeadamente:

- Formulário **Declaração de subproduto – a preencher pelo produtor** da substância ou associação do setor;
- **Declaração de validação** – a preencher pelo laboratório colaborativo acreditado pela FCT, I.P. ou centro tecnológico;
- **Declaração de subproduto – a preencher pela ANR** (Autoridade Nacional de Resíduos).

No caso específico da classificação como subproduto de solo e rochas (Figura 25), segundo o «Guia para a classificação e registo de dados de subproduto disponibilizado pela APA (julho de 2021, versão 1) **não podem ser classificados como subprodutos** e estão sujeitos à legislação aplicada aos resíduos:

- Resíduos excluídos do âmbito do nRGGR nos termos do n.º 2 e do n.º 3 do artigo 2º, nomeadamente resíduos de extração que resultem diretamente de atividades da Indústria Extrativa, mais concretamente refere-se a resíduos que resultam da prospeção e exploração de recursos minerais, da extração, incluindo a fase de desenvolvimento pré-produção, do tratamento e da armazenagem de recursos minerais, dos resíduos gerados em unidades de transformação e definidas como anexos de exploração (as instalações para serviços integrantes ou complementares da exploração).
- Resíduos de consumo gerados na atividade produtiva (ex. embalagens vazias), uma vez que não são o resultado de um processo produtivo;
- Resíduos resultantes de operações de tratamento de resíduos, atividades enquadradas na CAE 38;
- Resíduos provenientes de atividades de demolição, uma vez que não são o resultado de um processo produtivo (compreende as atividades de demolição de edifícios e de outras construções);
- Substâncias ou objetos cujo destino seja a valorização energética, utilização para enchimento de vazios de escavação (“enchimento de locais resultantes da exploração de depósitos minerais e de massas minerais, com resíduos inertes que não sejam resíduos de extração, no âmbito de um plano ambiental e de recuperação paisagística.” (DR, Decreto-Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro) ou fabrico de materiais fertilizantes.

Parte-se ainda do princípio que **para a classificação de solos e rochas como subproduto é apenas aplicada a solos e rochas não utilizados nos locais de**

origem e que se pretendem endereçar para outro local e ainda que o produtor da obra de origem é diferente do responsável do destino final.

Após se verificarem as condições acima referidas (art.º 91.º nRGGR) que alegam que solo e rocha podem ser considerados como um subproduto, isto no início da escavação, é emitida uma **declaração de subproduto** (onde é obrigatório a utilização do modelo disponibilizado pela APA, I.P. respeitando na íntegra o layout apresentado) e **enviada à APA, antes de se proceder ao transporte dos solos e rochas**, a declaração é apenas válida para a obra de origem e apenas enquanto esta estiver a decorrer.

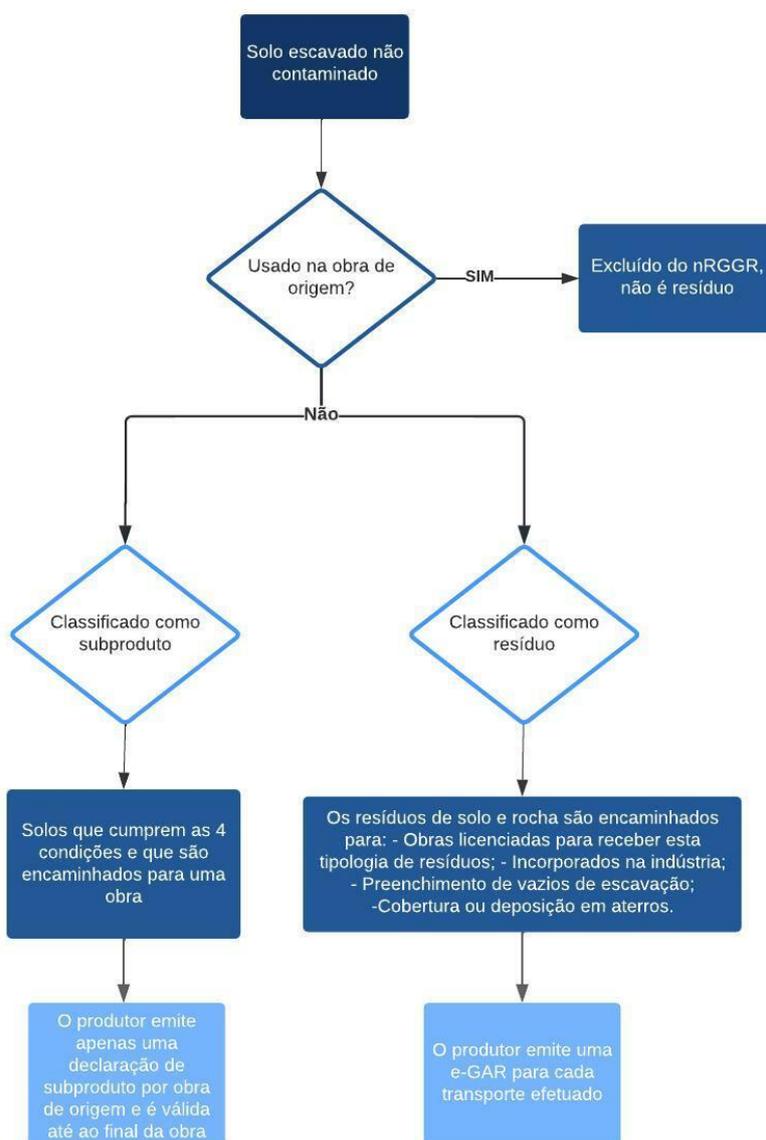


Figura 25. Diagrama síntese da classificação de solos e rochas como subproduto ou resíduo, sendo e-GAR a declaração eletrónica do guia de acompanhamento de resíduos (Adaptado de APA, 2022).

2.3.2. Classificação como resíduo ou não resíduo

Os produtos que não têm a qualidade exigida para serem considerados subprodutos passam a ser considerados resíduos devendo ser organizados segundo um código presente na Lista Europeia de Resíduos (LER) (Tabela 6) e geridos em conformidade com as regras aplicadas em matéria de resíduos.

A LER publicada pela Decisão 2014/955/UE, da Comissão, de 18 de dezembro, que altera a decisão 2000/532/CE, da Comissão, de 3 de maio, referida no artigo 7.º da Diretiva 2008/98/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de novembro, consiste numa lista harmonizada de resíduos que tem em conta a origem e composição dos resíduos, identificando se o resíduo é ou não perigoso. Esta legislação tem como objetivo minimizar a produção de resíduos e ainda fazer uma gestão sustentável dos mesmos de modo a evitar e minimizar os impactes negativos na saúde humana e no ambiente, isto é, os resíduos são controlados desde a sua origem até ao seu destino final tendo em conta a sua recolha, transporte ou tratamento. A classificação dos resíduos é feita pelos produtores ou detentores de resíduos nos termos da Lista Europeia de Resíduos (LER), de forma a permitir uma melhor gestão e acompanhamento dos fluxos de resíduos gerados (APA, 2021).

Os resíduos incluídos na lista LER são totalmente definidos pelo Código LER, que corresponde a um código de seis dígitos para os resíduos e, respetivamente, de dois e quatro dígitos para os números dos capítulos e subcapítulos.

Tabela 6. Lista Europeia de Resíduos (LER) (Decisão 2014/955/UE, de 18 de dezembro).

Código LER	Designação
01	Resíduos da prospecção e exploração de minas e pedreiras, bem como de tratamentos físicos e químicos das matérias extraídas.
02	Resíduos da agricultura, horticultura, aquacultura, silvicultura, caça e pesca, bem como da preparação e do processamento de produtos alimentares.
03	Resíduos da transformação de madeira e do fabrico de painéis, mobiliário, pasta para papel, papel e cartão.
04	Resíduos da indústria do couro e produtos de couro e da indústria têxtil.
05	Resíduos da refinação de petróleo, da purificação de gás natural e do tratamento pirolítico de carvão.
06	Resíduos de processos químicos inorgânicos.
07	Resíduos de processos químicos orgânicos.
08	Resíduos do fabrico, formulação, distribuição e utilização (FFDU) de revestimentos (tintas, vernizes e esmaltes vítreos), colas, vedantes e tintas de impressão.
09	Resíduos da indústria fotográfica.
10	Resíduos de processos térmicos.
11	Resíduos de tratamentos químicos de superfície e revestimentos de metais e outros materiais; resíduos da hidrometalurgia de metais não ferrosos.
12	Resíduos da moldagem e do tratamento físico e mecânico de superfície de metais e plásticos.
13	Óleos usados e resíduos de combustíveis líquidos (excepto óleos alimentares, 05, 12 e 19).
14	Resíduos de solventes, fluidos de refrigeração e gases propulsores orgânicos (excepto 07 e 08).
15	Resíduos de embalagens; absorventes, panos de limpeza, materiais filtrantes e vestuário de protecção não anteriormente especificados.
16	Resíduos não especificados em outros capítulos desta lista.
17	Resíduos de construção e demolição (incluindo solos escavados de locais contaminados).
18	Resíduos da prestação de cuidados de saúde a seres humanos ou animais e ou investigação relacionada (excepto resíduos de cozinha e restauração não provenientes directamente da prestação de cuidados de saúde).
19	Resíduos de instalações de gestão de resíduos, de estações de tratamento de águas residuais e da preparação de água para consumo humano e água para consumo industrial.
20	Resíduos urbanos e equiparados (resíduos domésticos, do comércio, indústria e serviços), incluindo as fracções recolhidas selectivamente.

Quando os solos e as rochas são assumidos como resíduo devem ser classificados com o código LER 17 05 03* para solos e rochas, contendo substâncias perigosas, ou LER 17 05 04 para solos e rochas não abrangidos em 17 05 03*, e devem ser encaminhados para um operador de tratamento de resíduos devidamente licenciado (APA, 2021). O código 17 corresponde ao capítulo onde estão inseridos os resíduos de construção e de demolição, incluindo solos escavados de locais contaminados, o subcapítulo 05 diz respeito a solos, incluindo solos escavados de locais contaminados, rochas e lamas de dragagem (Tabela 7).

Tabela 7. Capítulo 17 e subcapítulo 05 do LER.

17 05 Solos (incluindo solos escavados de locais contaminados), rochas e lamas de dragagem:

17 05 03 (*) Solos e rochas contendo substâncias perigosas.

17 05 04 Solos e rochas não abrangidos em 17 05 03.

17 05 05 (*) Lamas de dragagem contendo substâncias perigosas.

17 05 06 Lamas de dragagem não abrangidas em 17 05 05.

17 05 07 (*) Balastros de linhas de caminho de ferro contendo substâncias perigosas.

17 05 08 Balastros de linhas de caminho de ferro não abrangidos em 17 05 07.

2.4. Ensaio e classificações relativas à contaminação de solos

Segundo a Agência Portuguesa do Ambiente, sempre que se pretenda movimentar solos e rochas escavados para um local diferente da obra de origem, deve classificar-se esse material como subproduto e terá que se comprovar que este não se encontra contaminado. Para tal, devem ser recolhidas amostras, se possível antes da escavação, e analisá-las de modo a perceber se cumprem as condições e critérios definidos na “Nota Técnica - Classificação de solos e rochas como subproduto” (APA, 2021), nomeadamente o critério definido na alínea d) do n.º 9 da secção D. Sendo que a condição permite constatar que a substância não provoca impactes negativos para o ambiente ou para a saúde humana, devendo esta condição ser confirmada pelos seguintes critérios:

- Solos e rochas devem ser considerados solo virgem ou equivalente, não podendo estar contaminados;
- Se o uso do solo da obra de destino for mais restritivo do que o da obra de origem, deverá ser comprovado que a qualidade do solo é adequada à obra de destino, utilizando os valores de referência para o solo da obra de destino, tendo em consideração o uso atual ou o previsto para o mesmo, em função do que for mais restritivo;
- Em caso de suspeita de contaminação, deverá ser comprovado que as concentrações dos contaminantes não excedem os valores de referência para o solo da obra de destino, tendo em consideração o uso atual ou o previsto para o mesmo, em função do que for mais restritivo.

De modo a comprovar se o solo se apresenta contaminado ou se possui parâmetros com concentrações acima dos valores de referência (concentração de um contaminante no solo acima da qual pode haver risco para a saúde Humana ou para o ambiente) indicados no “Guia Técnico – Valores de Referência para o Solo” (APA, 2019, rev. 1 - jul. 2021), devem ser analisados, no mínimo (APA, 2021):

- Metais pesados (Crômio VI);
- TPH (hidrocarbonetos de petróleo: C6-C10, C>10-C16, C>16-C34 e C>34-C50);
- PAH (hidrocarbonetos aromáticos policíclicos);
- BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno, exileno);
- Hidrocarbonetos halogenados voláteis, Cloorobenzenos, Clorofenóis, Bifenilos Policlorados (PCB).

E, caso no local de onde se recolhe a amostra tiverem sido desenvolvidas, no passado, atividades potencialmente contaminantes **pode surgir necessidade de analisar outros contaminantes** associados a essas atividades.

Como já foi referido, os valores que resultam das análises realizadas são comparados com os indicados no “Guia Técnico – Valores de Referência para o Solo” (APA, 2021), que vai definir se o solo apresenta “concentração de um contaminante no solo acima da qual pode haver risco inaceitável para a saúde humana e/ou para o ambiente”. No referido Guia Técnico, os valores de referência são organizados em cinco tabelas, de A a E, consoante aquilo a que se destinam:

- Tabela A: Valores de referência para solos em locais ambientalmente sensíveis;
- Tabela B: Valores de referência para solos a menos de 30 m de uma massa de água superficial;
- Tabela C: Valores de referência para solos pouco profundos;
- Tabela D: Valores de referência para uma remediação estratificada do solo;
- Tabela E: Valores de referência para uma remediação não estratificada do solo.

2.5. Remediação de solos contaminados

Com a crescente preocupação ambiental e de acordo com a Resolução do Parlamento Europeu, de 28 de abril de 2021, sobre a proteção dos solos, com o Plano de Ação da UE: «Rumo à poluição zero no ar, na água e no solo» e o novo Regime jurídico da deposição de resíduos em aterro fixa, no n.º 1 do artigo 14.º, que interdita a deposição de solos provenientes de locais contaminados nos aterros para resíduos inertes, a prevenção da contaminação e remediação do solo são ações imprescindíveis para garantir que o solo tem qualidade adequada aos seus usos, permitindo a salvaguarda da a saúde humana e do meio ambiente (com efeitos de aplicação do Decreto-Lei n.º 102-D/2020).

A remediação consiste numa técnica ou num conjunto de técnicas de tratamento biológico, físico-químico ou térmico, confinamento e gestão, entre outras, realizadas para controlar, confinar, reduzir ou eliminar os contaminantes ou as vias de exposição, de modo que um solo contaminado deixe de constituir um risco para a saúde humana e para o ambiente, tendo em conta o seu uso atual ou previsto. (APA, 2019).

As técnicas de remediação classificam-se, dependendo do local em que decorre (Figura 26):

- *In situ*, quando o solo não é removido, efetuando-se a remediação no próprio local, não havendo risco de contaminações secundárias;
- *Ex situ*, quando o solo é removido, efetuando-se a remediação no próprio local (*on site*) ou o seu tratamento já enquanto resíduo noutra local adequado (*off site*). Neste caso pode haver risco de contaminações secundárias devido ao transporte de material contaminado.

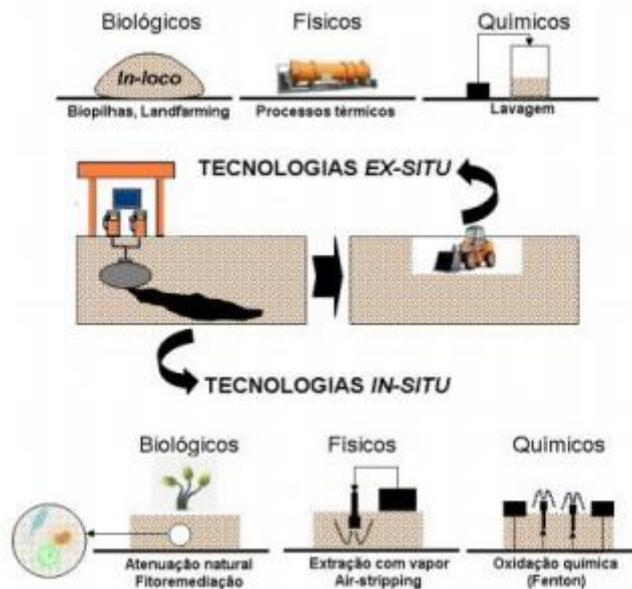


Figura 26. Técnicas de tratamento *in situ* e *ex situ* para solos contaminados, retirado de Ferreira (2020).

A remediação do solo é necessária quando, em análises, se identificarem concentrações de uma ou mais substâncias perigosas que ultrapassem os valores de referência presentes no “Guia Técnico – Valores de Referência para o Solo” (APA, 2021) devendo iniciar-se o processo de remediação de modo a atingir os valores tipo necessários para garantir a segurança humana e ambiental.

Para tornar os objetivos mais tangíveis a Agência Portuguesa do Ambiente disponibilizou um “Guia técnico – Análise de risco e critérios de aceitabilidade do risco” (APA, 2019), que informa os elementos a ter em conta numa análise de risco para a saúde humana e para o ambiente, os valores que se pretendem com a remediação do solo, bem como os critérios de aceitabilidade do risco a utilizar para o efeito.

2.5.1. Técnicas de Remediação

As técnicas que se podem aplicar quando se verificam valores de contaminantes superiores aos de referência podem ser *in situ*, efetuadas no local, caso exista disponibilidade temporal do terreno e a solução adequada em termos tecnológicos, económicos e de risco e ainda técnicas *ex situ* onde o solo é retirado e tratado noutra local (Pinheiro & Cardoso, 2019).

As técnicas *in situ* e *ex situ* podem ser realizadas segundo processos físicos, químicos, biológicos, térmicos ou até mesmo um conjunto de vários (Figura 27). Para a escolha

do método a usar tem que se ter em conta o tipo de contaminante e do nível de descontaminação que se pretende atingir.

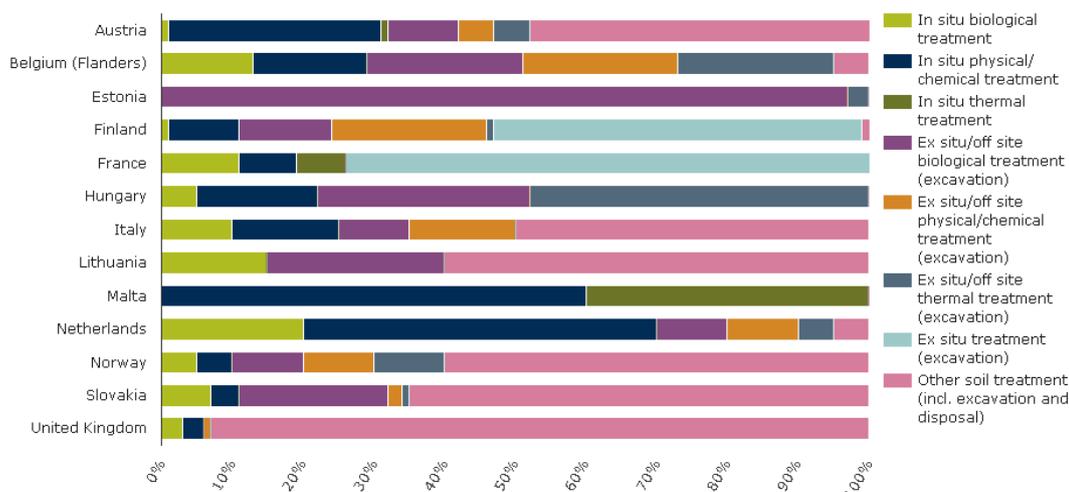


Figura 27. Técnicas de remediação mais aplicadas em solos contaminados, em alguns países do mundo, retirado de EEA (2021).

Algumas das técnicas de remediação de solos contaminados que se aplicam com recurso a métodos físicos e químicos são:

- **Extração de vapor do solo**, é o processo mais usado na remediação de solos contaminados com compostos orgânicos voláteis, que pode ser realizado *in situ* ou *ex situ*. Consiste em aplicar uma corrente de ar limpo no local contaminado, arrastando consigo os compostos orgânicos voláteis na forma de vapor;
- **Solidificação/estabilização**, neste processo os contaminantes são quimicamente estabilizados ou mobilizados, através da adição de reagentes inorgânicos ao solo contaminado, é utilizado tanto *in situ* como *ex situ*;
- **Oxidação química**, esta técnica que pode ser aplicada *in situ* ou *ex situ*, consiste na utilização de agentes químicos (oxidantes ou redutores) que reagem com os contaminantes permitindo que estes desenvolvam configurações não perigosas ou menos tóxicas;
- **Lavagem do solo**, neste processo, usado tanto *in situ* como *ex situ*, os contaminantes presentes nas partículas de solo são removidos pelo arrastamento promovido pelo contacto com a solução de lavagem (solução aquosa, que pode ser apenas água ou uma mistura desta com aditivos);

- **Separação elétrica**, neste caso forma-se um campo elétrico entre dois elétrodos inseridos no solo, que vão promover a mobilização dos contaminantes iónicos por eletromigração até aos pontos de recolha, localizados junto ao ânodo e ao cátodo inseridos no solo. O processo termina com os elementos poluentes acumulados num pequeno volume de solo ou de solução, que podem então ser removidos. É uma técnica aplicada *in situ*.

No que diz respeito a técnicas recorrendo a métodos biológicos que podem ser usados na remediação de solos contaminados podemos referir:

- **Biorremediação**, este processo ocorre sob condições aeróbias (na presença de ar), é um processo de degradação biológica em que microrganismos naturais são usados para destruir, remover ou transformar os contaminantes em formas com menos perigosas;
- **Fito remediação**, nesta técnica de remediação são usadas plantas, para remover, imobilizar ou degradar contaminantes do solo, isto porque estas plantas, classificadas como acumuladoras ou hiper acumuladoras têm capacidade de armazenar elevadas quantidades de certos metais nos seus tecidos;
- **Landfarming**, trata-se de um processo *ex situ* em que se recorre a técnicas agrícolas para a remediação de solos contaminados. De forma sucinta os solos escavados são colocados sobre uma estrutura impermeável e são regularmente remexidos para favorecer o contacto entre os solos, os contaminantes, as condições climáticas e a atividade biológica, harmonizando a degradação e transformação dos contaminantes.

Por fim das técnicas *in situ* recorrendo a métodos térmicos destaca-se a:

- **Vitrificação**, neste caso o solo é submetido a temperaturas elevadas de modo a atingir a fusão dos materiais (<1700°C), e que após o seu arrefecimento transformam num material inerte vitrificado, no qual os contaminantes inorgânicos ficam retidos. Os contaminantes orgânicos são geralmente destruídos como resultado das elevadas temperaturas atingidas;
- **Incineração**, esta técnica é aplicada segundo duas fases, sendo que na primeira a contaminação é transferida para uma fase gasosa devido ao aquecimento do solo, os vapores aqui libertados e separados do solo, ficando este livre da contaminação. Na segunda fase do processo a contaminação que passou a

gasosa é eliminado com recurso a um queimador (temperaturas entre 900 e 1100°C).

2.5.2. Ações de Remediação em Portugal

Atualmente são numerosos os locais que se encontram contaminados e degradados em Portugal, devido às atividades antropogénicas, como a indústria, a atividade mineira e as práticas agrícolas incorretas, sendo de extrema importância a criação de planos e medidas de remediação de modo a mitigar os impactos na saúde pública e ambiental.

Neste subcapítulo são apresentados alguns exemplos de locais em Portugal que foram sujeitos a processos de remediação, uma vez que após avaliação, se constatou que estavam contaminados com metais pesados.

- **EXPO 98 em Lisboa**

O primeiro caso a ser abordado, corresponde também à primeira grande ação de remediação de solos contaminados em Portugal, em 1994, e refere-se à EXPO 98 em Lisboa. A contaminação deste local resultou da sua ocupação por uma refinaria de petróleo, a Refinaria de Cabo Ruivo, parques de armazenamento de combustível, uma fábrica de ácido sulfúrico, uma unidade de cracking, um aterro e um matadouro (DR, DL 89/2002). Durante décadas, devido às atividades antropogénicas que funcionavam no local, produtos derivados do petróleo, ricos em hidrocarbonetos como o benzeno, um composto químico irritante, tóxico e cancerígeno, eram vertidos no terreno originando um elevado grau de contaminação.

Dada a ausência de critérios para definir o grau de contaminação de solos, uma vez que não existiam normas nacionais aplicadas a este tema, para a escolha das soluções foram adotadas, como linha de orientação, os critérios e normas genéricas publicadas na província canadiana de Ontário (Normas de Ontário, *Canadian Environmental Quality Criteria for Contaminated Sites in Ontario* de 1997), que têm em consideração o uso futuro do solo e conseqüentemente diferentes tipos de exposição humana e riscos para a saúde (Ribeiro, 2013).

Segundo os estudos ambientais realizados foram detetados valores de hidrocarbonetos superiores aos recomendados, até 2 m de profundidade e, portanto, teve que se proceder à descontaminação desse solo, que, segundo o que se sabia na época, por ser argiloso e de reduzida permeabilidade, serviu de barreira à migração dos contaminantes para horizontes mais profundos do solo. Posto isto, a ação de remediação aplicada foi a remoção dos solos contaminados e a sua deposição num

aterro controlado (Aterro Sanitário de Beirolas) (Nunes & Lourenço, 2019). A solução adotada foi escolhida consoante os *timings* para a descontaminação do terreno e não tendo em conta a solução mais adequada para o caso.

Passados alguns anos, em 2016, quando surge a necessidade de expandir o hospital CUF Descobertas, após o início das escavações são detetados terrenos ainda contaminados. Foram, então, realizados estudos para avaliar o grau de contaminação e para além de contaminação nos primeiros dois metros profundidade, foi detetada a presença de hidrocarbonetos até cerca de 16 metros de profundidade. Efetuou-se, portanto, a classificação de perigosidade dos terrenos que resulta em apenas 25% dos terrenos classificados como perigosos e que foram removidos para aterros controlados, e a restante percentagem dos terrenos foi classificada como não perigosa e a obra prosseguiu, apesar de especialistas do ramo ambiental acreditarem que os resíduos tenham sido mal classificados (Reportagem TVI, 2017).

- **Projeto ERASE em Estarreja**

O projeto ERASE, iniciado em 1994, e implementado pela Empresa para a Regeneração das Águas Subterrâneas e Solos de Estarreja – ACE (ERASE), corresponde a um estudo de impacte ambiental para remediação de solos e águas contaminados associados a locais industriais.

Este projeto foi realizado em duas fases, a primeira com início em 2003 e término em 2005, com a remoção de terrenos contaminados e criação de uma Estrutura de Confinamento para armazenamento de resíduos e sedimentos contaminados (resíduos de pirites com As e Pb e lamas contendo Hg) (Branco, 2007) e uma segunda fase, em 2015, para complementar a anterior, e também realizada mais recentemente em 2021.

Na primeira fase, os principais objetivos do projeto consistiram em minimizar os impactes ambientais associados aos resíduos industriais históricos acumulados no Complexo Químico de Estarreja (CQE), de forma a evitar a contaminação do solo e das águas subterrâneas, resultante do processo de lixiviação e recuperar as áreas envolventes utilizadas para acumulação de resíduos (Branco, 2007).

Após avaliação da Valas Hidráulicas (Vala de S. Filipe; Vala da Breja e Vala do Canedo de Veiros) inseridas na envolvente do CQE e das zonas adjacentes a este, verificou-se, apenas a necessidade de intervenção apenas na Vala de S. Filipe e zonas adjacentes, que durante décadas receberam descargas de efluentes líquidos industriais ricos em metais pesados do CQE que, acrescem riscos para a saúde da população da zona e ainda a poluição de águas subterrâneas (resultado da lixiviação).

A primeira fase envolveu, essencialmente, duas intervenções, a escavação e remoção de materiais contaminados da Vala de S. Filipe, e a execução de um aterro impermeabilizado para depositar a totalidade de solos contaminados removidos, com o objetivo de reduzir significativamente a contaminação dos solos proveniente de 50 anos de atividade da indústria química pesada. O confinamento em aterro impermeabilizado impediu e reduziu significativamente, a contaminação e drenagem das cargas poluentes para as águas subterrâneas por lixiviação dos resíduos acumulados, o que aconteceu ao longo de cerca de 50 anos de atividade industrial. Com esta solução, o grau de minimização da infiltração de lixiviados é superior a 99.9 % (Branco, 2007).

A segunda fase do projeto ERASE, realizada em 2021, vem complementar a anterior e implicou a remoção de solos contaminados numa grande extensão da vala hidráulica de S. Filipe e o seu total empedramento, com barreiras de contenção em troncos de madeira e, ainda, a remoção e reposição de novas terras nas faixas laterais dos prédios rústicos que a marginam, desde a zona do CQE até à zona da Póvoa (Figura 28).

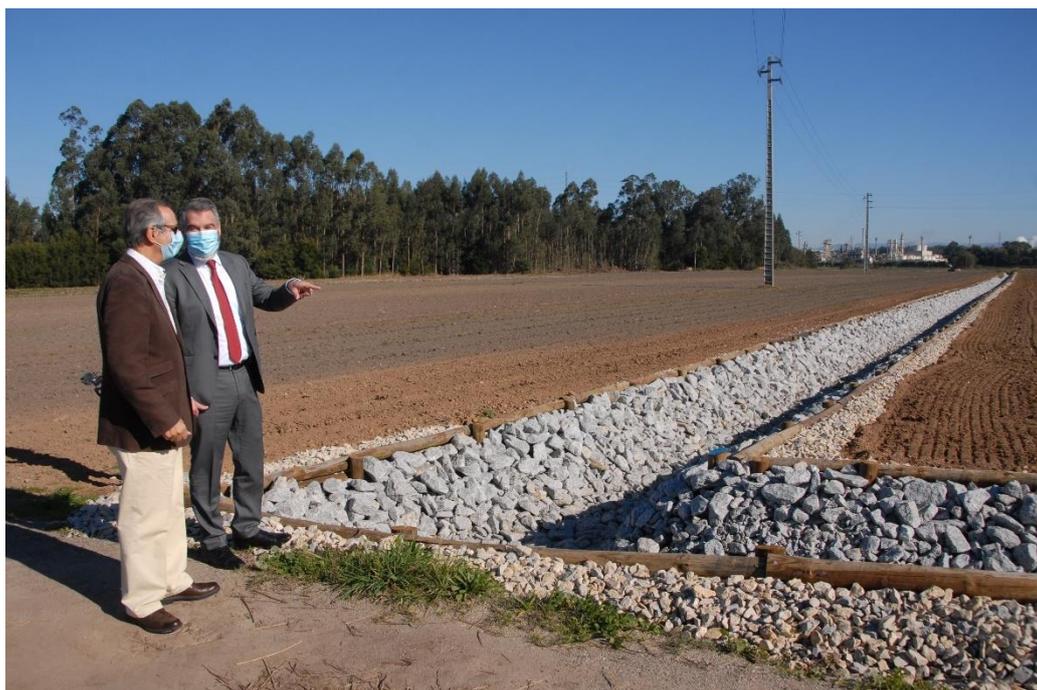


Figura 28. Vala hidráulica de S. Filipe em Estarreja, após todas as soluções de remediação implementadas na segunda fase do Projeto ERASE (Diário de Aveiro, 2021).

- **Projeto METALIMEX em Setúbal**

O projeto METALIMEX em Setúbal, incluiu a avaliação da contaminação de um local industrial onde, durante aproximadamente 10 anos, foram depositadas 43000 toneladas de escórias de alumínio (aparas altamente tóxicas que foram depositadas a céu aberto), foi também alvo de intervenção.

Entre 1987 e 1988, a Indústria de comércio de metais e minerais (METALIMEX) importou da Suíça escórias de alumínio, que correspondem a aparas altamente tóxicas que foram depositadas a céu aberto, no terreno da própria empresa, em Vale da Rosa, no distrito de Setúbal. A METALIMEX, financiada pelo IAPMEI (Instituto de Apoio às Pequenas e Médias Empresas), devido ao facto de não ter obtido licença de funcionamento, decidiu parar o projeto e a fábrica acabou por ficar ao abandono. Em 1991, após investigação, a Organização Greenpeace descobriu que os resíduos foram depositados num terreno industrial na cidade de Setúbal, propriedade da empresa METALIMEX. Durante dez anos, as escórias estiveram, sem quaisquer condições de segurança e proteção, nos solos do Vale da Rosa. Posto isto, surge um acordo, para se iniciar a operação de remoção, com despesas divididas entre os governos de Portugal e da Suíça, com a previsão da retirada total dos resíduos até ao final do ano de 1997. Contudo, só no ano de 1998 foram concluídos os trabalhos de remoção das toneladas de escórias de alumínio que existiam no local (Ribeiro, 2013).

Em 2020, a Zero - Associação Sistema Terrestre Sustentável, identificou junto ao Complexo Municipal de Atletismo de Setúbal, a 600 metros das antigas instalações da empresa METALIMEX, a existência de um depósito ilegal com cerca de 30 mil toneladas de resíduos que, pelas suas características, e após análise se veio a confirmar que se trata de resíduos do mesmo tipo das escórias de alumínio da empresa METALIMEX que teriam sido importados, no final dos anos 80, e que por não terem condições para os tratar, foram obrigados a serem devolvidos aos países de origem. Como já se esperava as análises, realizadas pela ZERO concluíram que os resíduos, como já se esperava, são altamente perigosos, sendo carcinógenos, corrosivos, ecotóxicos, tóxicos para os órgãos. Tudo indicava que este tinha sido um processo de referência, em termos nacionais e internacionais e uma boa solução para o problema ambiental.

2.6. Considerações Finais da abordagem à legislação aplicada a terrenos contaminados

O solo é um recurso essencial e limitado e a sua contaminação constitui um risco para a saúde ambiental e humana. O desconhecimento do estado dos solos pode levar à construção de habitações, escolas, hospitais, em locais contaminados pondo em risco os trabalhadores que realizam as obras, bem como a população que se irá servir das mesmas.

Como foi anteriormente abordado, em Portugal, alguns locais foram sujeitos a “técnicas de remediação”, pois todos eles tinham em comum outrora serem sítios onde ocorreram atividades antropogénicas que causaram contaminação dos solos. Dos casos abordados as técnicas de remediação que foram aplicadas basearam-se apenas na remoção dos terrenos contaminados para locais de confinamento já existentes ou criados para os receber.

Este é um problema cuja dimensão não é conhecida, pois para além da lacuna que existe relativamente à legislação, também não há nenhum documento que indique a quantidade de solos contaminados no país. Dito isto, a legislação Prosolos traria ganhos ambientais e na saúde pública para além de suprimir a relevante ausência de legislação relativa a este tema.

Das medidas que a aprovação deste decreto de lei traria é de destacar:

- Regime jurídico da prevenção da contaminação e remediação dos solos, com vista à salvaguarda do ambiente e da saúde humana;
- Processo de avaliação da qualidade e de remediação do solo, bem como a responsabilização pela sua contaminação, assente nos princípios do poluidor-pagador e da responsabilidade;
- Mapeamento das zonas de solos contaminados em Portugal;

Estas medidas, uma vez implementadas, trariam inúmeras vantagens para o país, dado que seria possível identificar os locais contaminados e agir sobre ele, impedindo que mais tarde trouxessem problemas e ainda proporcionavam uma legislação completa e esclarecedora com recomendações e obrigações a aplicar na prevenção e remediação de solos contaminados.

Conclusões

No presente trabalho foram desenvolvidas duas temáticas de áreas distintas da geotecnia. A primeira temática é relativa à caracterização geológica e geotécnica para a construção e reabilitação de um edifício na Avenida Emídio Navarro em Coimbra, enquanto a segunda corresponde a uma abordagem à regulamentação de terrenos contaminados.

Tendo em conta os resultados obtidos no Estudo Geológico-Geotécnico na presente dissertação, é possível concluir que:

- Os terrenos interessados pelo projeto compreendem um horizonte de aterro, seguido, em profundidade, de depósitos aluvionares, depósitos de vertente e por fim o maciço rochoso, constituído por calcário dolomítico.
- Foram definidas quatro zonas geotécnicas, sendo ZG4 a Zona com piores características geotécnicas (aterro) e ZG1 a Zona com as melhores características (maciço rochoso) e onde irão ser implementadas as fundações.
- Sugere-se que as fundações sejam indiretas e por estacas.
- Não se recomenda a construção de mais que uma cave devido às dificuldades que isso traria para o projeto, bem como o elevado investimento que seria acrescido a este. Sendo a época mais seca a mais favorável para execução do projeto, pois facilita o processo de rebaixamento, uma vez que a nível da água estará mais profundo.

No que diz respeito à segunda parte do trabalho, é de salientar as dificuldades que surgiram no seu desenvolvimento, uma vez que a legislação relativa aos solos contaminados em Portugal é ainda negligente e a informação que existe encontra-se altamente dispersa e apresenta-se de forma algo confusa. Em Portugal são regularmente reconhecidas situações de degradação, contaminação e poluição dos solos, essencialmente associadas a atividades industriais antigas que geram riscos para a saúde pública e ambiental. Sugere-se, portanto, a necessidade de suprimir esta lacuna no quadro legislativo nacional, bem como a consciencialização pública e governamental relativa a este tema, de modo que o desenvolvimento sustentável seja promovido.

Apesar de à primeira vista os dois temas desta dissertação não se intersetarem, numa abordagem mais detalhada é possível relacioná-los. Para a construção do edifício que se pretende erguer na Avenida Emídio Navarro em Coimbra, será necessária a

escavação de material que, posteriormente, terá de ser transportado para outro local e, é neste ponto que entra a segunda temática abordada. Na legislação atualmente ativa em Portugal, a movimentação de terrenos para um local diferente do de origem exige o cumprimento de algumas condições de modo a garantir que o material não se encontra contaminado. O artigo 91º do nRGGR indica que, caso se pretender utilizar ou simplesmente movimentar solos ou rochas escavadas para um local diferente do de origem, estes têm que ser classificados como subproduto ou resíduo. Para a classificação como subproduto o material tem que respeitar quatro condições, enunciadas no ponto 2.3.1 da presente dissertação, sendo que para verificar se estas condições são respeitadas o material tem que ser sujeito a análises químicas, referidas no ponto 2.4. Caso se verifique que o material em análise respeite as quatro condições, este é considerado como subproduto e é emitida a declaração comprovativa, que deve ser preenchida tendo em conta a obra de origem, sendo da responsabilidade do “produtor do subproduto”. A declaração deve ser mantida na obra de origem e também o utilizador final deve manter uma cópia da declaração em arquivo, por um período de 5 anos. Por outro lado, se o material não garantir as quatro condições definidas, é considerado como resíduo devendo ser organizado segundo o código LER, e sendo-lhe aplicadas as regras existentes nesta matéria e o local previsto para a obra deve ser sujeito a técnicas de remediação.

Concluindo, com o desenvolvimento da presente dissertação foi possível, solidificar e aprofundar conhecimentos nas áreas da Engenharia Geológica e da Geologia Ambiental num contexto geotécnico, e ainda desenvolver conhecimentos na utilização do programa informático *AutoCAD*.

Referências Bibliográficas

- Almeida, *et al.* (2000). Sistemas Aquíferos de Portugal Continental- Sistema Aquífero: Aluviões do Mondego (O6). SNIRH.
- APA (2015). Projeto legislativo relativo à prevenção da contaminação e remediação dos solos (Prosolos). Agência Portuguesa do Ambiente, Alfragide.
- APA (2019). Solos Contaminados - Guia Técnico. Análise de risco e critérios de aceitabilidade do risco. Agência Portuguesa do Ambiente, Amadora.
- APA (2019). Solos Contaminados - Guia Técnico. Plano de amostragem e plano de monitorização do solo. (Revisão 2 em 2022). Agência Portuguesa do Ambiente, Amadora.
- APA (2019). Solos Contaminados - Guia Técnico. Valores de referência para o solo. (Revisão 2 em 2022). Agência Portuguesa do Ambiente, Amadora.
- APA (2020). Solos Contaminados - Guia Técnico. Matrizes de Referência para apresentação dos resultados analíticos. (Revisão 1 em 2021). Agência Portuguesa do Ambiente, Amadora.
- APA (2021). FAQ- Solos e Rochas com a classificação de subproduto. Agência Portuguesa do Ambiente.
- APA (2021). Guia para classificação e registo de dados de subproduto (versão 1). Agência Portuguesa do Ambiente.
- APA (2021). Nota técnica- Classificação de solos e rochas como subproduto (versão 1.0). Agência Portuguesa do Ambiente.
- APA (2022). Novo regime geral de gestão de resíduos, subproduto – Solos e rochas (Sessão de divulgação). Departamento de Resíduos. Agência Portuguesa do Ambiente.
- Branco, C. (2007). Estudo de contaminação do aquífero superior na região de Estarreja. Dissertação para obtenção do grau de mestre, apresentada ao Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Caputo, H P. (1981) Mecânica dos solos e suas aplicações. 5º edição. Ver. E ampliada. Rio de Janeiro. Livros técnicos e científicos.
- Castellar, S. M. V. & Zamboni, E. (2011). Fazendo e compreendendo. Ed. São Paulo. Saraiva.
- Censo (2021). Plataforma de divulgação dos Censos 2021 – Resultados provisórios. Instituto Nacional de Estatística. [Censos 2021 \(ine.pt\)](https://inecensos2021.inecensos.pt), acedido em janeiro de 2022.
- Costa, C.; Vendas, D. & Brito, M. (2015). Solos Contaminados- O problema e as soluções de remediação. Brochura técnica. Associação Portuguesa de Empresas de Tecnologias Ambientais (Apemeta).
- Deer, D. U. and Miller, R. P. (1966). Engineering classification and index properties of rock. Technical Report No. AFNL-TR-65.116. Albuquerque, NM: Air Force Weapons Laboratory.
- Diário da República. (2002). Decreto-Lei n.º 89/2002 de 9 de abril de 2002. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. Procede à revisão do Plano Estratégico de Gestão de Resíduos Industriais (PESGRI 99), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 516/99, de 2 de dezembro, que passa a designar-se PESGRI 2001.
- Diário da República. (2004). Portaria n.º. 209/2004, de 2 de dezembro. Aprova a LER – Lista Europeia de Resíduos (Anexo I), a lista de Características de Perigo

- Atribuíveis aos Resíduos (Anexo II), e enumera as Operações de Eliminação de Valorização de Resíduos (Anexo III).
- Diário da República. (2008). Decreto-Lei n.º 147/2008 de 29 de julho de 2008. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Estabelece o regime jurídico da responsabilidade por danos ambientais e transpõe para a ordem jurídica nacional a Diretiva n.º 2004/35/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 21 de abril de 2004.
- Diário da República. (2008). Diretiva 2008/98/CE de 19 de novembro de 2008. Parlamento Europeu e Conselho. Relativa aos resíduos e que revoga certas diretivas.
- Diário da República. (2010). Decreto-Lei n.º 10/2010 de 4 de fevereiro de 2010. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. Estabelece o regime jurídico a que está sujeita a gestão de resíduos das explorações de depósitos minerais e de massas minerais, transpondo para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 2006/21/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 15 de Março, relativa à gestão dos resíduos das indústrias extrativas.
- Diário da República. (2014). Decreto-Lei n.º 67/2014 de 7 de maio de 2014. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. Aprova o regime jurídico da gestão de resíduos de equipamentos elétricos e eletrónicos, transpondo a Diretiva n.º 2012/19/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 4 de julho de 2012.
- Diário da República. (2020). Decreto-Lei n.º 102-D/2020 de 10 de dezembro de 2020. Ministério do Ambiente e Ação Climática. Aprova o regime geral da gestão de resíduos, o regime jurídico da deposição de resíduos em aterro e altera o regime da gestão de fluxos específicos de resíduos, transpondo as Diretivas (UE) 2018/849, 2018/850, 2018/851 e 2018/852.
- Diário da República. (2021). Decreto-Lei n.º 52/2021 de 10 de agosto de 2021. Assembleia da República. Alteração, por apreciação parlamentar, ao Decreto-Lei n.º 102-D/2020, de 10 de dezembro, que aprova o regime geral da gestão de resíduos, o regime jurídico da deposição de resíduos em aterro e altera o regime da gestão de fluxos específicos de resíduos, transpondo as Diretivas (UE) 2018/849, 2018/850, 2018/851 e 2018/852.
- Diário de Aveiro. (2021). Doze anos depois, Estarreja recuperou a Vala de São Filipe. Aveiro.
- EC - European Commission. (2013). Soil Contamination: Impacts on Human Health. Science for Environment Policy. In-Depth Report. Issue 5- September 2013. Retrieved from http://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/IR5_en.pdf
- EEA. (2021). Progress in management of contaminated sites - European Environment Agency. Retirado a maio de 2022, de [Progress in management of contaminated sites — European Environment Agency \(europa.eu\)](https://www.eea.europa.eu/en/press-releases/2022/05/progress-in-management-of-contaminated-sites).
- FAO, & ITPS. (2015). Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i5199e.pdf>
- Ferreira, N. (2020). Avaliação do Estado Ambiental dos Solos na Envolvente de uma Unidade Industrial. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Ciências e Tecnologia do Ambiente, apresentada à Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.
- IPQ. (2010). - NP EN 1998-1: Eurocódigo 7 – Projectos geotécnico. Parte 1: Regras

Gerais.

- Lopes, I. (2014). Caracterização Geológica-Geotécnica dos solos aluvionares do Mondego em Coimbra. Dissertação para obtenção do grau de mestre, apresentada ao Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Marangon, M. (2018). Mecânica dos Solos. Departamento de Transportes e Geotecnia, Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora.
- Nunes, A & Lourenço, L. (2019). Catástrofes Mistas- Uma perspetiva ambiental. Imprensa da Universidade de Coimbra.
- Oliveira, J. (2021). SPT – Standard Penetration Test. Soluções Aplicadas em Hidrologia e Ambiente, LDA. Braga, Portugal.
- Pinheiro, M. D., & Cardoso, R. (2019). Curso de formação de curta duração de como definir um programa adequado para a descontaminação de Solos 20 e 21 de fevereiro de 2019. Fundec, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- ProSolos. (2015). Projeto de Decreto-Lei relativo à prevenção da contaminação e remediação dos solos. ProSolos, p. <http://participa.pt/consulta.jsp?loadP=820>, acessado em fevereiro de 2022.
- Ribeiro, M. (2013). Contaminação do solo por metais pesados. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente. Faculdade de Engenharia da Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologia, Lisboa.
- Sanches, R. (1996). O problema secular do Mondego e a sua resolução. LNEC, Lisboa.
- Shackelford, C. D. (2005). *Environmental issues in geotechnical engineering*. Proc. 16th Int. Conf. On Soil Mechanics and Foundation Engrg.: “Geotechnology in Harmony with the Global Environment”, Osaka, Japan, pp. 95-122.
- SinAMB. (2022). Visualizador SNIAmb – Inundações (Diretiva 2007/60CE). APA, I.P. | INE, Instituto Geográfico Nacional, Esri.
- SNIRH. (2009). Bacias Hidrográficas de Portugal Continental. Agência Portuguesa do Ambiente, I.P. Departamento de Monitorização de Recursos Hídricos, Amadora.
- SNIRH. (2022). Ficha do Sistema Aquífero: Aluviões do Mondego (O6). Agência Portuguesa do Ambiente, I.P. Departamento de Monitorização de Recursos Hídricos, Amadora.
- Soares, A. F. & Marques, J. F. & Rocha, R. B. (1985) – Contribuição para o conhecimento geológico de Coimbra, Memórias e notícias, nº 100, Publicação do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Univ. de Coimbra.
- Soares, A. F. & Marques, J. F. & Sequeira, A. J. D. (2007) – Carta Geológica de Portugal, escala 1/50.000. Notícia explicativa da folha 19-D (Coimbra-Lousã), INETI, Departamento de geologia, Lisboa.
- Terzaghi, et al., (1996) Soil Mechanics in Engineering Practice. 3rd Edition, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Vallejo, L.; Ferre, M.; Ortuño, L. e Oteo, C. (2002) - Ingeniería Geológica. Madrid: Pearson.

ANEXOS

