



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA



Avaliação do estado ambiental dos solos na envolvente de uma unidade industrial abandonada

Rui Paulo Casais de Almeida



isep Instituto Superior de Engenharia do Porto

P. PORTO

2021



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

**Avaliação do estado ambiental dos solos na envolvente de uma
unidade industrial abandonada**

*Assessment of the environmental state of soils in the surroundings of an
abandoned industrial plant*

Rui Paulo Casais de Almeida

1190085

*Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto
para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Geotécnica e Geoambiente, realizada sob a
orientação do Doutor António Agostinho Martins Mendonça Professor
Adjunto convidado do Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP.*

(página propositadamente em branco)

Júri

Presidente

Doutor João Paulo Meixedo dos Santos Silva

Professor Coordenador, Departamento de Engenharia Geotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Doutor Jorge Manuel Espinha Marques

Professor Auxiliar, Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Doutor António Agostinho Martins Mendonça

Professor Adjunto Convidado, Departamento de Engenharia Geotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

*A dissertação de **mestrado em engenharia geotécnica e geoambiente (MEGG)** foi apresentada e defendida em prova pública, por **Rui Paulo Casais de Almeida**, em 17 de Novembro de 2021 mediante o júri nomeado, em que foi atribuída, por unanimidade, a classificação final de **12 (doze) valores**, cuja fundamentação se encontra em acta. Todas as correções pontuais determinadas pelo júri, e só essas, foram efectuadas.*

Palavras-chave

Remediação; metais pesados; contaminação, adsorção; biodisponibilidade

Resumo

Na nossa geração, a atualidade é marcada por diversos fatores, principalmente a um nível consciencial. Pode-se dizer que, nos dias de hoje há uma mudança na mentalidade de uma grande parte da população, no que toca a causas individuais, sociais e até mesmo ambientais. A nível ambiental, devido ao crescimento desenfreado de uma sociedade industrializada, a qual se observou num curto espaço de tempo, este crescimento não vem sem as suas contrapartidas. Uma dessas contrapartidas, a um nível mais generalizado, é a degradação do nosso planeta, derivado pela crescente necessidade de bens, devido ao crescimento populacional, o que implica uma maior necessidade de produção de bens essenciais, tal como não essenciais. Deste aumento de produção, são gerados resíduos os quais deviam ser tratados e mantidos em locais, onde não causem efeitos nefastos à saúde e ao ambiente. Contudo tal não se verifica à escala global, sendo que problemas de contaminação/poluição de águas e solos são uma preocupação crescente. O objetivo deste trabalho é o de avaliar o estado ambiental dos solos, na envolvente de uma indústria, a qual se encontra abandonada, ou seja verificar se existem elementos com um teor superior ao recomendado e, se tal se relevar, fornecer um possível tratamento do terreno. Esta avaliação foi efetuada em três fases, tendo cada uma destas fases um componente “*in-situ*” e outro laboratorial. Durante estas fases foram recolhidas amostras de terreno, através de sondagens, as quais foram analisadas em laboratório, revelando uma contaminação do solo local por 3 metais pesados, Cádmio, Chumbo e Zinco. Com a recolha de sondagens e a sua posterior análise foi possível delimitar a área contaminada e efetuar uma proposta de tratamento da mesma.

Keywords

Remediation; heavy metals; contamination; adsorption; bioavailability

Abstract

In our generation, the current times are marked by several factors, mainly at the conscientious level. It can be said that today, there is a change in the mentality of a big part of the population regarding causes such as individual, social, or even environmental ones. Regarding the environment, due to the rampant growth of an industrialized society, which is observed in a small-time window (centuries), this growth takes a toll. At a most generalized level, one of these tolls is the degradation of our planet due to the crescent necessity of supplies due to the population growth, which implies a greater need in the production of goods both essential as non-essential. Of this production increase, residues are generated; this residue should be treated and kept in places that cannot harm both life and the environment. However, such is not observed globally; for reasons like this, contamination and pollution of soils and waters are a growing concern. The objective of this work is that of evaluating the current environmental state of the ground surrounding an abandoned industrial compound, more precisely, verifying if there are elements with a content in the terrain higher than the recommended values, and if such is observed, provide a possible way to fix the area. This evaluation was executed in three phases; each one of these phases had an "in situ" component and a laboratory. During these phases, terrain samples were collected, with the help of probes/surveys, the ones analyzed in the laboratory, revealing contamination by three heavy metals, Cadmium, Lead and Zinc. With the collection of probes and its posterior analysis, it was possible to infer boundaries in the contaminated area and propose a potential treatment for the stated site.

Índice

1 Introdução	3
1.1 Objetivos	3
1.1.1 Gerais	3
1.1.2 Específicos	4
1.2 Organização do Relatório	4
2 Contaminação de solos	7
2.1 Solos	7
2.1.1 Introdução	7
2.1.2 Textura do solo	10
2.1.3 Estrutura do solo	13
2.1.4 Porosidade do solo	14
2.1.5 Grupos de solos de referência	16
2.2 Passivo ambiental	18
2.3 Contaminação dos solos	19
2.3.1 Contaminação de solos por resíduos sólidos	24
2.3.2 Contaminação de solos por BTEX	25
2.3.3 Contaminação do solo por efluentes industriais	29
2.3.4 Contaminação do solo por metais pesados.....	31
2.3.5 Outros tipos de contaminação de solos	46
2.3.6 Síntese de contaminantes dos solos.....	48
2.4 Remediação de solos contaminados	48
2.4.1 Introdução	48
2.4.2 Tipos de remediação	49
2.4.3 Síntese de processos de remediação	57
2.5 Monitorização	59
3 Caso de estudo	63
3.1 Enquadramento	63
3.1.1 -Geográfico.....	63
3.1.2 -Geológico	64
3.1.3-Ambiental.....	64
3.2 Metodologia	65
3.2.1 Introdução	65
3.2.2 Trabalhos de campo (função e metodologia)	67
3.2.3 Ensaio laboratoriais	70
3.3 Resultados das fases	71
4 Interpretação de resultados	77
4.1 Introdução	77
4.2 Análise dos resultados	77
4.3 Proposta de remediação	79
5 Conclusões	85
Bibliografia	89
Anexos	97

Índice de figuras

Figura 1-Exemplo da estratificação dos Horizontes no solo (Fonte: Nature Education, www.nature.com, 2013).....	9
Figura 2-Triângulo de classificação textural do solo (Lemos & Santos, 1984).....	10
Figura 3-Principais atividades geradoras de contaminações de solo na Europa (Fonte: EEA, 2009)	22
Figura 4-Contaminantes de solo e água subterrânea na Europa (Fonte: EEA,2014)	26
Figura 5-Exemplo da estrutura de anel de benzeno. (Manual da Química https://www.manualdaquimica.com/ Acesso em: 13/10/2021)	27
Figura 6-Fórmulas moleculares de elementos BTEX (adaptado Sheridan, 2016).....	28
Figura 7-Chumbo (Fonte: DakotaMatrix, Acesso 13/10/2021)	37
Figura 8-Zinco (Fonte: Mineraleducation, Acesso 13/10/2021).....	38
Figura 9-Mercúrio (Fonte: DakotaMatrix, Acesso 13/10/2021).	39
Figura 10-Cádmio (Fonte: Bjoern Wylezich/Shutterstock.com-acesso 22/09/21).....	40
Figura 11-Arsênio (Wikipédia, 2009).	41
Figura 12-Crômio (Fonte: magazineluiza, acesso 13 outubro 2021).	42
Figura 13-Cobre (Fonte: MineralEducation, Acesso em 13/10/2021).....	43
Figura 14-Níquel (Wikipédia, Acesso em 13/10/2021).....	44
Figura 15-Manganês (Wikipédia, Acesso 13 outubro 2021).....	46
Figura 16-Exemplos de processos de remediação (fonte: Santos, 2015).....	49
Figura 17-Exemplo da técnica de Landfarming (Adaptado de: EPA, 1994)	52
Figura 18-Fluxograma de seleção de tratamento.....	58
Figura 19-Foto de satélite das zonas na proximidade da margem norte do rio Tejo (Fonte: Google earth 2021).....	63
Figura 20-Segmento Carta Geológica de Portugal, Folha nº30-D à escala 1/50 000. (LNEG, 2021).....	64
Figura 21-Área em estudo ao longo das três fases.....	66
Figura 22-Martelo de percussão "Atlas Copco Cobra TTe"	67
Figura 23-Material necessário para descravar o amostrador do solo	68
Figura 24-Amostrador a ser "extraído" do solo e descrição dos componentes	68
Figura 25-Amostrador com amostra de solo e frasco com amostra de solo da sondagem S24	69
Figura 26-Mapa de risco da contaminação - Pluma de dispersão superficial (0m-1m) com referência às concentrações registadas em cada ponto amostrado: a) de cádmio (valor de referência = 1,9mg/kg); b) de zinco (valor de referência = 340mg/kg); c) de chumbo (valor de referência = 120mg/kg).	73
Figura 27-Mapa de risco da contaminação - Pluma de dispersão à profundidade (1m-2m) com referência às concentrações registadas em cada ponto amostrado: esquerda) de chumbo (valor de referência = 120mg/kg); direita) de zinco (valor de referência = 340mg/kg).....	74
Figura 28-Área a escavar para remoção de terreno poluído (superficial)	80
Figura 29-Área a escavar para remoção de terreno poluído (profundidade)	81
Figura 30-Aterros na proximidade do Rio Tejo.....	82

Índice de tabelas

Tabela 1-Correlação textura/ classe textural (adaptada de prodvegetal.files.wordpress.com)	12
Tabela 2-Correlação tipo de solo/porosidade (%) (adaptado de professormarciosantos3.blogspot.com)	14
Tabela 3-32 grupos de solos de referência (FAO,2014)	16
Tabela 4-Grupo de contaminantes (Fonte: EP Solos e Sedimentos, 2012).....	21
Tabela 5-Solubilidade de elementos BTEX (Adaptado de Tiburtius et al., 2000).....	29
Tabela 6-Tabela de resumo de contaminantes do solo	48
Tabela 7-Tabela de resumo de processos de remediação	57
Tabela 8-Valores de referência para solos pouco profundos (Adaptado de APA, 2019).....	71
Tabela 9-Resultados dos ensaios aos elementos durante as fases.....	72
Tabela 10-Possíveis métodos de remediação	78

Índice de anexos

Anexos

Anexo 1-Mapa de risco; Cádmio (0-1m)	97
Anexo 2-Mapa de risco; Chumbo (0-1m)	99
Anexo 3-Mapa de risco; Chumbo (1-2m)	101
Anexo 4-Mapa de risco; Zinco (0-1m)	103
Anexo 5-Mapa de risco; Zinco (1-2m)	105
Anexo 6-Guia técnico APA, 2019b (solos pouco profundos; chumbo e cádmio)	107
Anexo 7-Guia técnico APA, 2019b (solos pouco profundos; zinco)	109
Anexo 8-Decreto-Lei 183/2009, anexo IV, parte B- Resumo	111
Anexo 9-Decreto-Lei 82-D/2014, artigo 16- Resumo.....	113

Índice de acrónimos ou abreviaturas

AEA/EEA - Associação Europeia do Ambiente
Al - Alumínio
As - Arsénio
APA - Associação Portuguesa do Ambiente
Ba - Bário
Bg - Becquerel
BTEX - Benzeno, Tolueno, Etil-benzeno e Xileno
CBO - Carência Bioquímica de Oxigénio
Cd - Cádmio
Co - Cobalto
CQO - Carência Química de Oxigénio
COT - Carbono Orgânico Total
Cr - Crómio
Cu - Cobre
DGAE - Direção Geral das Atividades Económicas
EPA - Environmental Protection Agency
ETAR - Estação de Tratamento para Águas Residuais
Fe - Ferro
GCC - General Carbon Corporation
GCES - Gulf Coast Environmental Systems
HCC - Hidrocarboneto Clorado
Hg - Mercúrio
HgS - Sulfeto de Mercúrio
LMA - Leucemia Mielóide Aguda
LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia
HPA/PAH - Hidrocarbonetos Poliaromáticos
Mo - Molibdénio
Mn - Manganês
Ni - Níquel
Ni(OH)₂ - Hidróxido de Níquel
ONU/UN - Organização das Nações Unidas
Pb - Chumbo
PbOH⁺ - Hidróxido de Chumbo
PCB - Compostos Bifenilos Policlorados
pH - Escala para especificar a acidez ou basicidade de uma solução aquosa
PO SEUR - Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos
ppm - Parte por milhão
PNAAS - Plano Nacional de Ação Ambiente e Saúde
PVC - Policloreto de Vinilo
Sb - Antimónio
Se - Selénio
SI - Sistema Internacional
SMD - Síndrome Mielodisplásica
SVE - Soil Vapor Extraction
SVOC - Compostos Semi-voláteis
TPH - Total Petroleum Hydrocarbon
VLE - Valores Limite de Emissão
VOC - Compostos Voláteis
YUNGA - Youth and United Nations Global Alliance
Zn - Zinco

Capítulo I

Introdução

1 Introdução

No âmbito da realização da unidade curricular de dissertação do mestrado em engenharia geotécnica e geoambiente do ISEP, apresenta-se um programa de trabalhos referente ao estudo de uma zona onde se localiza uma unidade industrial abandonada e dos seus subsequentes impactos ambientais.

A área em estudo localiza-se na zona de Lisboa e Vale do Tejo, correspondendo a um terreno que se pretende reutilizar.

Atendendo a que o local corresponde a um empreendimento privado, com reserva de divulgação por razões de concorrência, no presente documento foram propositadamente omitidas as referências que permitiam a sua identificação objetiva. Adicionalmente, foi solicitada a confidencialidade dos dados apresentados.

O estudo pode ser decomposto em três fases que foram desenvolvidas na sequência de uma campanha de prospeção geológico-geotécnica que deu o alerta inicial de possível contaminação. As três fases tiveram como objetivo confirmar e localizar a massa contaminada e delimitá-la o melhor possível.

Este estudo foi realizado em terreno, recorrendo à utilização de sondagens e recolha de amostras de solo, as quais foram enviadas para laboratório, para serem objeto de ensaios específicos. Os ensaios realizados foram, numa primeira abordagem, de lixiviação e após confirmação da presença de contaminantes, ensaios a 3 metais pesados com o propósito de estimar a sua concentração e localização na área do terreno.

Para o estudo das contaminações nos solos foram usados os guias técnicos da APA (Agência Portuguesa do Ambiente), uma vez que a legislação sobre prevenção da contaminação e remediação dos solos, que já foi objeto de consulta pública em 2015 ainda não se encontra publicada.

1.1 Objetivos

1.1.1 Gerais

Este trabalho tem como objetivos o estudo de avaliação do estado de contaminação de um terreno, objeto de uma operação urbanística, e de definição das bases de suporte a um eventual tratamento da mesma.

1.1.2 Específicos

Este estudo foi realizado com as seguintes fases.

Um trabalho de índole geológico-geotécnica, realizado por uma entidade externa, que tinha como objetivo o estudo dos solos para verificar a possibilidade de futuros assentamentos na implantação de estruturas. Nessa altura revelaram-se indícios de uma possível contaminação do terreno.

As fases de estudos específicos seguintes (três) serviram para delimitar ao máximo a fonte e área de influência dessa mesma poluição, para que fosse possível definir a solução de remediação do terreno em causa.

Os elementos que se relevaram mais problemáticos na área terão sido, principalmente, metais como o cádmio, o chumbo e o zinco.

Foram também realizadas tabelas analíticas e mapas da zona, legendados com o grau de presença de um dado elemento no terreno, com o objetivo de estudar e compreender a zona mais facilmente.

1.2 Organização do Relatório

Este relatório encontra-se dividido em 5 capítulos, os quais serão, em seguida, brevemente resumidos.

O primeiro capítulo, trata-se da introdução, é onde se apresenta genericamente o problema em estudo, os trabalhos desenvolvidos e o seu objetivo.

O segundo capítulo corresponde ao “estado da arte” do tema, no qual são apresentados um conjunto de conceitos úteis à temática.

No terceiro capítulo é exposto o caso em estudo propriamente dito, efetuando-se o enquadramento geológico, geográfico e ambiental da zona em estudo. Descreve-se a metodologia implementada, a qual tenta explicar resumidamente os materiais usados e os procedimentos aplicados no terreno e em laboratório para obter informação aprofundada acerca do terreno. São ainda apresentados os resultados das três fases.

O quarto capítulo aborda a análise dos resultados do programa implementado. Procurar estabelecer uma possível causa para a origem da contaminação e discernir uma possível remediação para implementação no terreno.

O último capítulo, o quinto, enuncia as principais conclusões dos estudos desenvolvidos. Como capítulo final serão resumidas as derradeiras considerações que se podem retirar deste trabalho e será relatado o ponto de situação atual do terreno e da massa contaminada.

Capítulo II

Contaminação de solos

2 Contaminação de solos

2.1 Solos

2.1.1 Introdução

Os solos, para todos os efeitos são um recurso fundamental e são classificados como um recurso não renovável, pois estes não se “auto-regeneram” de perdas e degradações que sofrem numa janela temporalmente pequena, para serem classificados como tal.

O solo, é a camada da Terra mais superficial, como tal este encontra-se localizado na crosta, o mesmo é composto por organismos e rochas em decomposição e pelos sais minerais dissolvidos nos fluidos entre os elementos em decomposição. Como referido anteriormente, o solo, é um bem fundamental para diversos ecossistemas e de um ponto de vista mais autocentrado, e talvez egoísta à vida humana. Uma vez que a partir do mesmo é que há possibilidade de produzir bens e serviços para os diversos ecossistemas que usufruem deste, bens como a produção alimentar, tanto humana como animal, e serviços como por exemplo a capacidade deste agir como um filtro para a água, um recurso imprescindível à vida, sendo que estes possuem uma capacidade de filtrar dezenas de milhares de quilómetros cúbicos de água por ano. Como exemplo de outra função dos solos temos o facto de como estes servem como um repositório para componentes orgânicos e contribuem para regular as emissões de dióxido de carbono e outros gases com efeito de estufa, os quais, em quantidades moderadas, são fundamentais para a regulação do clima. No que toca à produção alimentar derivada dos solos, cerca de 95% da produção alimentar é sustentada pelos mesmos.

Como se sabe o planeta Terra é composto por diversas camadas, as quais podem ser identificadas sucintamente como núcleo, manto e crosta. Na crosta, a camada mais externa e também mais fina, é onde se encontram os solos, os quais se encontram entre a superfície e os restantes substratos rochosos.

Os solos são compostos principalmente por fluídos como água e ar, matéria orgânica, organismos vivos e partículas minerais. Estes componentes possuem diferentes percentagens conforme a localização e profundidade do solo, sendo possível assim efetuar-se uma divisão por características dentro do mesmo. É possível categorizar o solo em seis (6) camadas distintas. Estas camadas podem ser denominadas como horizontes e, como referido anteriormente, a profundidade é um fator importante para a sua caracterização, pois dependendo da profundidade ocorrem alterações na textura, densidade, cor, atividade biológica e estrutura.

Dentro destes seis horizontes são identificados (ver Figura 1):

1-Horizonte O: Esta camada é geralmente a que se encontra mais à superfície do solo e é formada principalmente por matéria Orgânica, como restos vegetais em vários estados de decomposição. É também um horizonte que apresenta um baixo teor em matéria mineral.

2-Horizonte A: A segunda camada do solo, também é uma camada bastante superficial, geralmente conhecido como horizonte da superfície. É composto por uma grande quantidade de partículas minerais, como areias e argilas, e é composto também por uma grande quantidade de matéria orgânica. É mais espesso que o Horizonte O e é frequentemente a camada mais fértil do solo. Isto deve-se ao facto de ser uma camada muito rica em húmus, que não é mais do que matéria orgânica em decomposição sendo portanto um fertilizante natural.

3-Horizonte E: Apresenta normalmente uma cor mais clara que os anteriores e é mais suscetível à lixiviação, que ocorre quando os nutrientes que estão dissolvidos no solo, devido à permeação de água da chuva ou pelo fluxo de águas de irrigação, são perdidos. O “E” na origem do nome deste horizonte é baseada da “Eluviação” que este sofre.

4-Horizonte B: É também conhecido como o horizonte sub-superficial. Este possui uma cor mais clara, devido a um teor mais reduzido de matéria orgânica, possuindo um teor de matéria mineral mais elevado, pois acumula uma grande parte da matéria mineral percolada, oriunda das camadas “A” e “E”.

5-Horizonte C: A quinta camada do solo, corresponde à transição entre solo e rocha original. É composta por pequenas rochas, que têm origem na camada inferior, podendo ser consideradas a transição de rocha para solo.

6- Horizonte R: Esta camada é formada principalmente por Rochas sólidas (“*bed-rock*”). É o último horizonte e onde a matéria mineral é elevada mas o teor de matéria orgânica é muito reduzido. Pode haver, esporadicamente, raízes a penetrar entre as eventuais fraturas destas rochas.

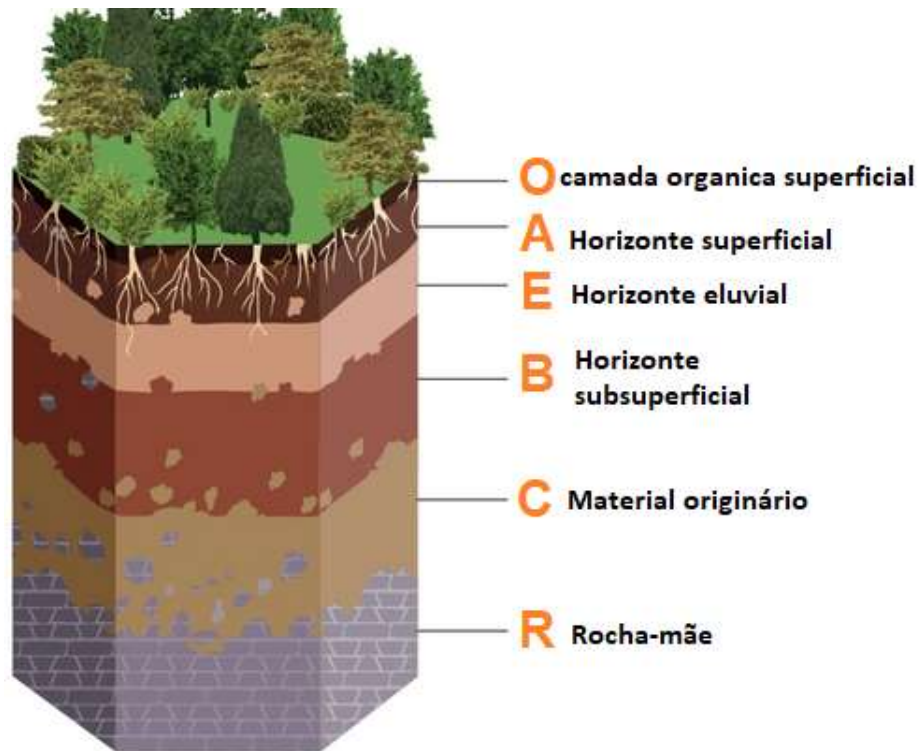


Figura 1-Exemplo da estratificação dos Horizontes no solo (Fonte: Nature Education, www.nature.com, 2013)

Os diferentes horizontes, possuem estruturas diferentes. Como exemplo; o Horizonte A geralmente possui uma estrutura fina com pequenos aglomerados, enquanto no Horizonte B se tem uma maior probabilidade de encontrar uma estrutura com detritos de tamanho maior.

A estrutura do solo é formada por pequenos aglomerados, chamados de agregados e poros, nos quais os agregados são as partículas que se encontram unidas por ação da matéria orgânica, a qual funciona como um agente de ligação. O tamanho e forma destes agregados varia, conforme a natureza do solo. Os poros, que são os espaços “vazios” entre as partículas do solo, podem também encontrar-se aglomerados, denominando-se assim como “macroporos”. Elementos como água, ar e até mesmo raízes e animais, podem passar através destes mesmos poros. Nos poros de dimensão mais reduzida, são encontrados depósitos de água e minerais, os quais são retidos por partículas argilosas (partículas de dimensão muito reduzida).

Um bom solo possui macro e micróporos, os quais promovem a entrada de e o acesso de animais como minhocas, animais simbióticos aos solos, a necessidades como água e nutrientes (FAO,2015).

Os dois atributos físicos mais importantes nos solos são: a sua textura, a qual é definida pela distribuição do tamanho das partículas; e a sua estrutura, a qual se define pela organização

da partículas no agregado. A porosidade do solo é por sua vez responsável por uma série de fenômenos e mecanismos importantes na física do solo, como por exemplo a retenção e o fluxo de fluidos como água e ar, ou ainda como no caso em estudo de contaminantes. Seguidamente detalha-se um pouco mais cada um destes atributos.

2.1.2 Textura do solo

A textura do solo, como foi referida anteriormente, é definida pela distribuição do tamanho das partículas que o formam, sendo divididas em três famílias de acordo com o seu diâmetro:

- A argila, para as partículas com diâmetros inferiores a 0,005mm/5 μ m;
- O silte, para partículas com diâmetros entre os 0,005mm e os 0,05mm;
- A areia, a qual é a classe mais abrangente e que pode ser dividida em 3 classes:
 - areia fina com diâmetros entre os 0,05mm e os 0,15mm;
 - areia média com diâmetros entre os 0,15mm e os 0,84mm;
 - areia grossa com diâmetros entre os 0,84mm e os 4,8mm.

Dependendo da profundidade, a textura do solo sofre mudanças na sua granulometria, sendo possível classificá-la recorrendo a um triângulo de classificação textural do solo, o qual correlaciona as percentagens de argila, silte e areias presentes no solo.

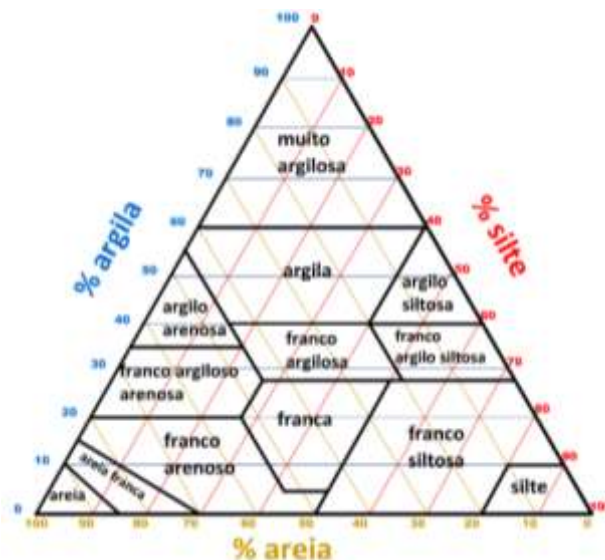


Figura 2-Triângulo de classificação textural do solo (Lemos & Santos, 1984)

Analisando a Figura 2 podemos observar que as linhas mais escuras dentro do triângulo criam os limites de classificação para um dado solo. Para a sua classificação são necessárias as

percentagens de, no máximo, dois componentes. Havendo informação de dois dos componentes o terceiro pode ser inferido. Se um dos componentes formar 100% do solo, só será necessária a informação desse componente.

A nomenclatura, presente no interior do triângulo, é maioritariamente auto explicativa, como a maioria das designações é formada pela junção dos nomes dos seus componentes (argila, silte e areia).

Os termos utilizados na classificação textural de um solo são:

- **Franco** - pode ser definido como uma mistura das três partículas (argila, silte, areia) num certo equilíbrio, podendo ser classificado como um solo intermédio.
- **Argila** - um solo formado maioritariamente pelas partículas de dimensão mais fina, sendo que solos deste tipo possuem uma porosidade mínima e possuem uma enorme capacidade de adsorção de água e outras substâncias (nutrientes ou elementos com potencial nefasto).
- **Areia** - um solo formado principalmente pelas partículas mais grosseiras. São normalmente visíveis a olho nu e é possível sentir-se ao toque uma textura mais áspera. Podem ser mais arredondadas ou angulares, isto vai depender do seu grau de desgaste e transporte que já terão sofrido ao longo da sua génese. Os grãos de areia de maior dimensão, podem ser fragmentos de rochas que contêm diversos minerais, mas a maioria são compostas por silicatos, principalmente dióxido de silício também conhecida como sílica ou quartzo. Estes solos devido à quantidade de sílica na sua composição, geralmente contêm poucos nutrientes para as plantas. Normalmente possuem um Ph mais baixo, tornando por isso os solos mais ácidos. Devido ao incremento das dimensões das partículas, é dificultado o processo de adsorção de água e outros elementos. São solos mais permeáveis e porosos, facilitando infiltrações, mas não retenções.
- **Silte** - Partículas com diâmetro intermédio, relativamente às argilas e areias. Embora similares às partículas de areia, na sua forma e composição, devido à sua granulometria mais fina, estas partículas individualmente já não serão visíveis a olho nu. Por sua vez ao contrário das areias, não possuem uma sensação áspera ao toque, sendo que esta é suave e sedosa podendo ser comparada à farinha. Solos formados por estas partículas, possuem uma maior taxa de nutrientes disponibilizados às plantas (comparativamente aos arenosos).

De maneira muito geral, é possível descrever a classe textural de um solo conforme consta na Tabela 1.

Tabela 1-Correlação textura/ classe textural (adaptada de prodvegetal.files.wordpress.com)

Termos gerais		Classe textural
Nomes comuns	Textura	
Solos Arenosos	Grosseira	Arenoso
		Areia franca
Solos Francos	Moderadamente grosseiro	Franco arenosa
	Média	Franco
		Franco siltosa
		Siltosa
	Moderadamente fina	Franco argiloso arenosa
		Franco argiloso siltosa
		Franco argilosa
Solos Argilosos	Fina	Argiloso arenosa
		Argiloso siltosa
		Argilosa

A textura é definida pelo tamanho médio das partículas e pela sua proporção (argila, silte e areias). Os solos argilosos possuem uma elevada área superficial, taxa de adsorção e retenção de nutrientes. Comparativamente, nos solos arenosos encontra-se uma menor área superficial, baixa taxa de adsorção e fraca retenção de nutrientes.

2.1.3 Estrutura do solo

A estrutura do solo baseia-se na organização, distribuição e agrupamento das partículas do solo em agregados. Uma das características mais importantes na estrutura do solo, serão os sólidos e os espaços vazios, a estrutura do solo também pode ser definida pelo arranjo de poros (espaços vazios) pequenos, médios e grandes, os quais criam a organização de partículas e agregados no solo.

Conceitualmente, a estrutura do solo não é um indicador direto dos fatores de crescimento das plantas ou da qualidade ambiental. No entanto está indiretamente relacionada com todos os fatores que afetam o crescimento de plantas ou a qualidade ambiental. O fluxo e retenção de água, a aeração, a disponibilidade de nutrientes, a atividade microbiana e a penetração e fixação das raízes de plantas, são todos fatores ligados à estrutura do solo (Reinert & Reichert, 2006).

Dentro da estrutura do solo, é possível identificar três estados da matéria: sólido, líquido e gasoso, sendo que a estrutura principal do solo é representada pelo estado sólido-líquido. Os estados gasosos e líquidos, ocupam os espaços intergranulares entre as partículas ou agregados do solo (poros), a parte líquida é responsável por apoiar a estrutura do solo na denominada zona de saturação. Abaixo do nível freático, todos os poros são preenchidos por água.

Os estados, presentes no solo, podem ser descritos da seguinte forma:

- **Sólido:** É formado principalmente pelos minerais que compõem o solo, acompanhado de uma quantidade mais baixa de matéria orgânica. Os minerais têm diferentes composições e estruturas químicas, o que influenciará diretamente a interação entre o solo e possíveis poluentes ou contaminantes existentes.
- **Líquido:** Preenche os espaços intergranulares vazios, adere à superfície dos grãos e existe na composição dos minerais que executam a adsorção. A força e resistência da ligação sólido-líquido dependem de vários fatores, como a natureza da superfície de contacto, a área superficial específica das partículas e a carga do fluido. A fase líquida é o principal meio de transporte e acumulador de elementos contaminantes/poluentes nos solos.
- **Gasoso:** Tal como no líquido, este estado preenche os espaços intergranulares vazios ou parcialmente vazios dos solos. Esta componente gasosa, pode encontrar-se dissolvida em água ou adsorvida nas estruturas cristalinas dos minerais presentes na composição da fase sólida.

2.1.4 Porosidade do solo

Os espaços no solo que não se encontram preenchidos por sólidos ou fluidos como água e ar ou contaminantes líquidos, constituem um espaço poroso. A porosidade de um dado solo é definida pelo rácio entre o volume de poros e o volume total do solo. A porosidade é inversamente proporcional à densidade do solo e é um fator muito importante para o crescimento das raízes e do fluxo do ar, água e solutos no solo.

Os diferentes tipos de poros são classificados atendendo à sua forma que, por sua vez, possui uma relação direta com a sua origem textural e estrutural.

Tabela 2-Correlação tipo de solo/porosidade (%) (adaptado de professormarciosantos3.blogspot.com)

Material	Porosidade (%)
Argila	45-55
Silte	40-50
Mistura de areia média e grossa	35-40
Areia uniforme (média)	30-40
Mistura de areia fina a média	30-35
Arenito	10-20

O tipo de poros mais característicos são os de origem biológica, arredondados e formados devido à morte e decomposição de raízes ou à atividade de animais do solo. Outro tipo de poro existente, possui uma forma mais irregular e “fraturada”. Essas “fraturas” foram formadas por vários ciclos de humedecimento e secagem, complementadas com alteração da pressão. Os poros arredondados tendem a ser mais contínuos e predominam em zonas mais superficiais.

A maneira mais comum de classificar a porosidade, baseia-se na distribuição de tamanho. É efetuada uma divisão da porosidade em duas categorias; microporosidade e macroporosidade. Os micróporos têm tamanho capaz de resistir à gravidade após serem saturados em água. Por outro lado, os macroporos após terem sido saturados em água não retêm a forma ou sofrem colapso pela ação da gravidade. Outra clara distinção entre estes dois tipos de poros, deriva das suas funções, os micróporos são responsáveis pela retenção e armazenamento de água (e nutrientes dissolvidos) no solo, enquanto os macroporos são responsáveis pela aeração e contribuem para uma maior permeação de água nos solos (Reinert; Reichert, 2006).

A porosidade depende de vários fatores, como o tamanho e a forma das partículas do solo. Um solo composto por partículas arredondadas, regulares e com tamanhos

homogeneizado, possuirá uma porosidade maior comparativamente a um solo constituído por partículas com formas irregulares e com tamanhos variáveis. (Soares, 2008).

A porosidade total, como foi referido anteriormente, pode ser definida como a relação entre o volume de vazios a dividir pelo volume total do solo e que pode ser traduzida pela seguinte expressão:

$$\eta = \frac{V_v}{V_t} (x100) \quad (1)$$

Onde:

η = Porosidade total;

V_v =Volume de vazios;

V_t =Volume total;

(x100) = Caso se pretenda que o resultado obtido seja expresso numa forma percentual, multiplicar-se-á o resultado obtido por 100.

Embora a argila e certos solos orgânicos possuam normalmente uma porosidade total elevada, geralmente, têm vazios intergranulares menores (devido ao menor tamanho das partículas) e uma porosidade efetiva também menor comparativamente a solos formados por partículas de maior dimensão.

Em solos predominantemente argilosos, podem ocorrer fraturas à medida que o solo seca. Devido à perda de volume o solo sofre uma compressão e, conseqüentemente, ocorrem “rasgões” no mesmo. Este fenómeno é denominado de porosidade secundária, a qual também pode ocorrer devido a outras causas, como galerias efetuadas por fauna subterrânea e pela propagação de raízes.

Embora a porosidade efetiva da camada rochosa seja geralmente mais baixa, comparativamente às camadas mais superficiais, quando esta se localiza próxima da superfície, geralmente ocorrem fraturas devido a um ou mais processos geológicos. Esses processos permitem a formação de poros secundários para onde os fluídos podem migrar. A porosidade secundária também pode ser causada pela dissolução de materiais rochosos devido à percolação de águas subterrâneas. Este fenómeno pode ser observado em rochas mais brandas, como nos calcários. Num dado solo, a porosidade e a condutividade hidráulica serão diferentes. A diferença em larga escala destas duas propriedades pode afetar a transmissão de hidrocarbonetos monoaromáticos (Soares,2008).

2.1.5 Grupos de solos de referência

A classificação do solo baseia-se em horizontes, propriedade e materiais diagnósticos, os quais devem ser observados "in-situ". De acordo com a organização de alimentação e agricultura (FAO) da UNESCO, pode ser considerada a existência de 32 grupos de solos, sendo os mesmos:

Tabela 3-32 grupos de solos de referência (FAO,2014)

Grupo de solos de referência	Características principais	Sigla
1-Solos com camadas orgânicas espessas.		
Histosols	Camada orgânica espessa	HS
2-Solos com uma influência antrópica elevada		
Anthrosols	Demarcado pelo uso agrícola intensivo e extensivo	AT
Technosols (Caso em estudo)	Presença elevada de artefactos no solo	TC
3-Solos com limitações a crescimento de raízes		
Cryosols	"Permafrost" nas camadas iniciais.	CR
Lepthosols	Situados em posições muito sujeitas à erosão, muito delgados, abundância de elementos grossos ou contato lítico a menos de 25 cm.	LP
Solonetz	Conteúdo em sódio muito elevado	SN
Vertisols	Solos com conteúdo elevado de argilas expansivas, alternância de condições secas e húmidas.	VR
Solonchaks	Concentração de sais solúveis elevada.	SC
4- Solos marcados por presença de Fe/Al na sua composição		
Gleysols	Em áreas planas ou levemente onduladas; lençol freático suspenso.	GL
Andosols	Complexos de Al-húmus	NA
Podzols	Horizonte sub-superficial de acúmulo de compostos humoaluminoférricos	PZ
Plinthsols	Pronunciado acúmulo de ferro em condições hidromórficas	PT
Nitisols	Com argila de baixa atividade, muitos óxidos de ferro, estruturamento forte.	NT
Ferralsols	Dominância de caulinite e óxidos.	FR
Planosols	Com mudança textural abrupta, condições redutoras, propriedades estagnadas.	PL
Stagnosols	Com mudança textural moderada, propriedades estagnadas.	ST
5-Acumulação acentuada de matéria orgânica nos horizontes minerais mais superiores (topsoil)		
Chernozems	Horizonte A espesso e muito escuro rico em matéria orgânica e com presença de carbonatos	CH
Kastanozems	Horizonte A espesso, escuro e rico em matéria orgânica e com a presença de carbonatos	KS

Phaeozems	Horizonte A escuro, rico em matéria orgânica, com evidências de remoção de carbonatos, solo básico	PH
Umbrisols	Solos ácidos com horizonte superficial espesso e escuro	UM
6-Solo com acumulações de substâncias moderadamente solúveis		
Durisols	Acumulação e cimentação de sílica (SiO ₂)	DU
Gypsisols	Acumulação de gesso	GY
Calcisols	Acumulação de carbonatos de cálcio	CL
7-Solos com um subsolo rico em argilas		
Retisols	Alternância de camadas com texturas mais grosseiras e de material mais claro com camadas de textura mais fina com uma cor mais escura	RT
Acrisols	Com horizontes de acúmulo de argila de baixa atividade e baixa saturação por bases.	AC
Lixisols	Com horizontes de acúmulo de argila de baixa atividade e alta saturação por bases.	LX
Alisols	Com horizontes de acúmulo de argila de alta atividade e baixa saturação por bases	AL
Luisols	Com horizontes de acúmulo de argila de alta atividade e alta saturação por bases.	LV
8-Solos com pouca ou nenhuma diferenciação nos perfis		
Cambisols	Solos moderadamente desenvolvidos	CM
Arenosols	Solos arenosos	AR
Fluvisols	Solos com estratos marinhos lacustres e fluviais	FL
Regosols	Solos com desenvolvimento de perfis não significativo	RG

Tendo em conta esta tabela dos diferentes grupos de solos, pode se inferir que o solo encontrado na zona em estudo, se tratava de um “technosols”, devido à elevada presença de pedaços de cerâmica (artefactos) no mesmo.

2.2 Passivo ambiental

Em Portugal existem várias situações de contaminações de solo, as quais se encontram geograficamente delimitadas e são frequentemente resultantes de fontes associadas a atividades industriais. Uma das causas deriva destas empresas terem entrado em declínio e terão sido extintas, deixando assim as suas respetivas instalações desativadas ou até mesmo abandonadas. Devido a este abandono das instalações, caso este possuísse uma contaminação proveniente da mesma na área, não seria possível aplicar o princípio do poluidor pagador, vistos que do ponto de vista legal, o poluidor já não existe, surgindo deste modo uma lacuna na lei que muitas empresas tendem a explorar.

Em Portugal, tratam-se de passivos ambientais todos os danos causados ao ambiente, nos quais não é possível aplicar o princípio do poluidor-pagador. Nestes casos deixa de ser possível a responsabilização da entidade causadora dos danos a suportar os custos da recuperação e restantes obrigações que as empresas têm com a natureza e com a sociedade. Para exemplificar, se uma dada empresa, a qual causa uma contaminação, declarar falência, não será obrigada a reparar os danos, devido a não ter capacidade financeira para tal. Outra possibilidade para estas lacunas é a criação de uma empresa, só para eventualmente a fechar, ou seja, se a empresa causa danos ambientais e depois encerrar portas, não será também possível aplicar o princípio do poluidor pagador. Finalmente, outra lacuna neste princípio é simplesmente, se uma dada contaminação for encontrada e não for possível estabelecer uma ligação a um poluidor, isto será considerado também um passivo ambiental, pois não é possível estabelecer um responsável pela contaminação.

Os locais contaminados e que sejam classificados como passivos ambientais, por se tratarem de riscos para a saúde pública, para o ambiente e/ou para a segurança de pessoas e bens, exigem uma resolução urgente, sendo passíveis de ter elegibilidade no Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos (PO SEUR) e nos Programas Operacionais Regionais criados para a operacionalização de Estratégia Portugal 2020.

Como exemplos de passivos ambientais em Portugal refere-se os casos:

- **Siderurgia nacional** - A qual entre 1961 e 2001, produziu um volume de 1400mil toneladas de resíduos, encontrando-se ainda cerca de 21mil toneladas nos solos. Estes resíduos são constituídos por poeiras e lamas metálicas de ferro, zinco e manganês na sua forma elementar e oxidada, sílica e alumina, carbono orgânico, amianto, borras de nafta, enxofre e óxidos de cálcio. Estes resíduos são classificados como inertes (84%), não perigosos (11%) e perigosos (5%). Estes resíduos estão depositados em terrenos da

Siderurgia Nacional Empresa de Serviços e Urbindústria, em armazéns, e na Lagoa de Palmeira, numa área total de 696.025m². (Diário da República, 2015)

- **Escombreiras das antigas minas de carvão de São Pedro da Cova-** Em 2001 foi autorizada a deposição de resíduos da indústria metalúrgica, classificados como “pós de despoeiramento”, para recuperação ambiental e paisagística das antigas escombreiras destas minas de carvão, os quais vieram posteriormente a ser classificados como perigosos, face aos teores de chumbo que apresentavam. A área encontra-se atualmente a ser recuperada estimando-se que serão retiradas cerca de 270 mil toneladas de resíduos perigosos do local (Fonte: www.publico.pt – edição de 21-05-13).

2.3 Contaminação dos solos

Na atualidade os problemas ligados ao ambiente possuem um grande peso no dia-a-dia. São frequentes os destaques nos meios de comunicação social a poluições e contaminações. Adicionalmente, comparativamente ao passado recente, verifica-se que uma evolução da consciência ambiental da sociedade. Contudo apesar de ter acontecido esta mudança das mentalidades, na questão de poluições/contaminações em solos, ainda existem certos atrasos. Um dos mais notáveis é a lacuna legislativa já abordada para esta temática.

As contaminações do solo, segundo a definição portuguesa, consistem na presença de uma dada substância, em concentrações superiores às naturais, que causam desvios na sua composição, o que não significa imediatamente danos ao meio ambiente. Enquanto nas poluições, também são encontradas substâncias em concentração superior à natural, contudo, estas são resultantes diretamente da atividade humana (na contaminação a discrepância pode ser criada por um depósito mineral) e possuem um efeito nefasto para a saúde. É então assim estabelecida uma notável diferença entre contaminação e poluição, sendo que contaminação não acarreta sempre conotação negativa, ou seja de forma simples todas as poluições são contaminações, mas nem todas as contaminações são poluições. As contaminações podem ser originadas por uma fonte bem localizada ou por uma fonte difusa (Silva, 2008).

Embora as fontes de poluição do solo sejam diversas, podem ser dividida em duas categorias: pontual ou difusa.

A **poluição pontual** implica níveis de poluição mais altos e esses encontram-se concentrados numa pequena área. É geralmente associada ao despejo de resíduos industriais que não terão recebido um tratamento adequado para serem colocados na zona em causa,

como lixiviação de substâncias químicas contidas em resíduos urbanos ou o armazenamento de substâncias químicas. Neste tipo de poluição é mais fácil delimitar a área afetada, uma vez que a origem e a localização da área poluída encontram-se muito próximas.

A **poluição difusa** é mais problemática, porque apesar de apresentar, normalmente, concentrações de poluentes mais baixas, a área afetada é em regra muito maior. Este tipo de poluição normalmente ocorre da lixiviação de substâncias usadas na agricultura ou do escoamento de resíduos industriais por um sistema de esgoto. Para ser detetada a localização original da poluição terá que se seguir um “conjunto de indícios até à deteção da fonte da mesma. Nestes casos o fator tempo é importante, uma vez que se esta poluição não for notada prontamente, irá alastrar-se para uma área cada vez maior e agravando mais o problema.

Quando ocorre a contaminação de um solo, o contaminante tende a infiltrar-se e a percolar através do solo. Se o solo for mais impermeável, os contaminantes permanecerão nas camadas mais superiores, mais próximos dos animais que ingerem plantas e com uma maior probabilidade de sofrerem evaporação. Isto por sua vez aumenta a propagação (ou num olhar mais positivo a diluição por redução da concentração) do poluente.

Na maioria dos casos, os contaminantes são distribuídos pelos diferentes horizontes do solo. A maneira como esta distribuição ocorre vai depender das propriedades físico-químicas do solo e do/s poluente/s em questão.

A matéria orgânica é um dos parâmetros que tem maior impacto nas propriedades do solo e na distribuição de contaminantes no mesmo. A componente orgânica representa a energia e o alimento para o cultivo microbiano do solo. Podendo reter muita água, funciona como uma “esponja armazém”, aumentando a capacidade de troca iónica e de fixação de poluentes, de maneira a abrandar ou até mesmo impedir a sua difusão. A capacidade da matéria orgânica de adsorver poluentes é muito importante na avaliação da capacidade de descontaminação do solo e na imobilização/estabilização de contaminantes. (Albergaria, 2010)

O solo e os sedimentos possuem uma capacidade de autodepuração, já que possuem capacidades de adsorção e forte atividade biológica, podendo reduzir o impacto da poluição. Têm portanto um efeito protetor em outras áreas do ambiente daí os solos serem considerados “filtros” naturais. No entanto, o acúmulo excessivo de contaminantes sobrecarrega o limite de autodepuração do solo, causando danos irreversíveis (Costa et al., 2015).

No âmbito das ações do Plano Nacional de Ação Ambiente e Saúde (PNAAS,2008), este terá considerado como relevante estabelecer quatro grandes grupos de contaminantes, que podem originar com a sua presença efeitos negativos à saúde humana (e animal): substâncias

químicas inorgânicas, Compostos orgânicos, elementos radioativos e microrganismos (Ver Tabela 3).

Tabela 4-Grupo de contaminantes (Fonte: EP Solos e Sedimentos, 2012)

Substâncias Químicas Inorgânicas	Compostos Orgânicos	Elementos Radioativos	Microrganismos
<ul style="list-style-type: none"> • Arsênio • Azoto - Nitratos • Cádmio • Chumbo • Cobre • Crômio • Flúor • Fósforo / Fosfatos • Manganês • Mercúrio • Níquel • Zinco 	<ul style="list-style-type: none"> • Antimicrobianos • Compostos Bifenilos Policlorados (PCBs) • Compostos de Estanho (TBTs e TPTs) • Compostos Orgânicos Voláteis (BTEX) • Dioxinas e Furanos • Éteres Difenil Polibromados (PBDEs) • Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (PAHs) • Hidrocarbonetos derivados do Petróleo • Compostos orgânicos Halogenados 	<ul style="list-style-type: none"> • Urânio e radionuclídeos derivados 	<ul style="list-style-type: none"> • Coccidioides spp • Coliformes fecais • Clostridium tetani • Esherichia coli • Histoplasma spp • Leptospira • Paracoccidioides brasiliensis • Salmonella spp • Toxoplasma ganddi • Vibrium spp • Aspergillus spp resistentes a azóis

Um dos problemas mais comuns resultantes da industrialização, no que toca ao ambiente, é a contaminação dos solos, da atmosfera e dos corpos hídricos, com elementos e compostos perigosos. Estas contaminações podem ser causadas pela descarga e derramamento intencional ou acidental, de resíduos na agricultura, industriais ou atividade doméstica, que alteram as características naturais do solo, limitando o seu uso devido aos efeitos nefastos provocados pela contaminação (Marques et al., 2011).

Indústrias, aterros e lixeiras, resíduos eletrônicos e elementos radioativos, são algumas das principais fontes de poluição. Nas áreas próximas destas fontes, os solos contaminados precisam de monitorização, de maneira a ser possível minimizar os riscos ao meio ambiente e à saúde humana. Os meios de contaminação no solo ocorrem através da lixiviação, adsorção, absorção e escoamento superficial (Ambiental, www.elluambiental.com.br, acesso em 18/03/2021).

Terá sido na década de 1960 que surgiram os primeiros relatos em publicações técnicas dos primeiros casos (reportados) de contaminação em aquíferos. No entanto, a escassez de água potável na época e a sua relação com a poluição no solo não foram amplamente discutidas. Em

1987, quando as Nações Unidas (ONU/UN) divulgaram o relatório Brundtland, também intitulado como “Nosso Futuro Comum” ou “*Our Common Future*”, um relatório que tinha como tópicos as disparidades de pobreza e consumismo entre países do terceiro e do primeiro mundo, os quais resultavam num desenvolvimento não equalitário, e, conseqüentemente, originavam graves crises ambientais. Neste relatório também se encontravam dados acerca de outros tópicos relacionados com o ambiente como: o aquecimento global, as chuvas ácidas e a destruição da camada de ozono. Na altura da publicação deste relatório ainda consistiam em assuntos bastante recentes e subvalorizado. Volvidos quase 40 anos ainda são motivo de notícias e discussão, tomando-se, só agora, a real consciência da dimensão dos problemas. A publicação deste relatório terá sido um passo importante para a temática ambiental, sendo uma das primeiras tentativas de unir todos os países com objetivos ou metas a alcançar num dado período de tempo, de maneira a evitar o avanço dos danos ambientais globais e as mudanças climáticas. Apesar de ser globalmente aceite como um ótimo objetivo, até hoje as Nações Unidas ainda não terão conseguido criar um consenso na unificação do grupo em prol do desenvolvimento sustentável. Com o crescimento da consciência ambiental, são criadas agências dedicadas, sendo por exemplo fundada em 1990 a Agência Europeia do Ambiente (AEA, ou EEA) a qual gerencia, monitoriza, e processa informação ambiental a nível do espaço europeu. Um dos estudos realizados pela mesma agência prevê que até 2050, o número de locais contaminados identificados aumentará em 50%. Na figura 3, são observáveis as atividades responsáveis pela contaminação de solos na Europa. Na imagem são facilmente identificáveis os principais “causadores” destas contaminações, cabendo às atividades de produção industrial e serviços comerciais 36%, à indústria petrolífera 17% e ao tratamento e deposição de resíduos sólidos 15% os três primeiros lugares da tabela (Silva, 2008).



Figura 3 Principais atividades geradoras de contaminações de solo na Europa (Fonte: EEA, 2009)

Com a chegada da década de 90, a temática ambiental avança mais um passo, tendo sido reconhecida mundialmente a poluição nos solos por metais pesados, como uma fonte de risco para a saúde humana e para a qualidade do meio ambiente. Estudos realizados pela comunidade científica internacional, relacionados com a ciência do solo e a poluição ambiental, comprovaram a importância do solo no ambiente derivada do seu papel de filtro ou agente de dispersão de contaminantes para os corpos hídricos (Oliveira,2012).

A função de filtragem do solo é um importante serviço ecossistêmico para a proteção das águas subterrâneas. O solo atua como um “filtro” natural de poluentes e serve como meio para os processos de adsorção, absorção e degradação desses poluentes. Novamente as características do solo têm um impacto significativo no grau de contaminação das massas de água subterrâneas (Mingoti et al., 2016). No entanto, devido ao aumento significativo na concentração de poluentes, o solo fica “saturado” e começa a perder a capacidade de degradar ou fixar poluentes pelos processos de adsorção ou absorção. A sua capacidade de permitir que qualquer fluido flua através dos seus poros, conforme já abordados, está relacionada com a sua porosidade. Ou seja, solos com baixa permeabilidade tendem a reter mais as impurezas (Soares, 2008)

No solo, quando são encontradas substâncias, cuja quantidade ou concentração terá, de forma direta ou indireta, um efeito prejudicial ao homem ou ao meio ambiente, considera-se que o solo se encontra contaminado. Os contaminantes mais comuns encontrados no solo são os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH), bifenilos policlorados (PCB) (ambos derivados de petróleo), pesticidas, herbicidas e metais pesados. Nos contaminantes derivados das atividades agrícolas, denominados como agrotóxicos, temos como exemplo de agrotóxicos inseticidas e pesticidas, os quais são amplamente utilizados no combate de certos microrganismos e macrorganismos (como pragas). Devido à sua lenta degradação, e fácil armazenamento/acumulação nos organismos, estas substâncias, são especialmente problemáticas em termos de poluição (Grande et al., 2005).

Na investigação de áreas contaminadas, e na monitorização de solos contaminados, a amostragem do solo em causa é uma das etapas mais importantes, pois a partir desta amostragem é possível determinar a progressão da poluição através das diversas camadas do solo. Permite avaliar se é retida em alguma dessas camadas, o que normalmente representa um mal menor, ou se terá atingido um possível lençol freático, o que normalmente significa o pior caso possível. Neste último caso ter-se-á que identificar o fluxo preferencial do contaminante,

para poder reduzir os impactos ambientais o mais rapidamente possível (Ambiental, www.elluambiental.com.br, acesso em 18/03/2021).

No caso de contaminação do solo, é necessário conhecer o material de origem, os processos pedogenéticos dominantes, a disposição de horizontes e as relações entre a matéria orgânica e pH para além dos metais pesados pré-existentes no sistema. As principais fontes de contaminação do solo por metais pesados podem ser naturais, como a presença de um depósito desse dado metal pesado no sistema, ou podem ser de origem antropogénica, quando estes são adicionados ao sistema por parte da atividade humana, como resultantes de prospeção, atividade agrícola, indústria ou por despejo em aterro (Oliveira, 2012).

2.3.1 Contaminação de solos por resíduos sólidos

Portugal deixou um legado pesado em áreas contaminadas devido a atividades industriais antigas, atividades mineiras e depósitos não controlados de resíduos sólidos (Jorge, 2008).

Devido à quantidade e diversidade de resíduos, ao crescimento e consumo da população, à expansão da área urbana e à cultura histórica de utilização de resíduos, a gestão de resíduos sólidos trouxe maiores desafios à sociedade moderna, principalmente à administração pública em razão de recursos insuficientes para a gestão adequada de resíduos (APA,2019).

De acordo com os regulamentos atuais, a gestão de resíduos e solo contaminado inclui o destino e o tratamento de resíduos perigosos. Em geral, o solo contaminado é considerado como resíduo e deve ser classificado, armazenado, transportado e depositado de acordo com os regulamentos atuais de gestão de solos e resíduos contaminados (Ambiental, www.elluambientaç.com.br, acesso em 18/03/2021).

A produção de resíduos sólidos tem causado sérios problemas ambientais em grandes centros urbanos. Esses resíduos são misturas complexas de materiais orgânicos e inorgânicos com propriedades físicas e químicas variáveis, cujas características mudam com as mudanças tecnológicas e marcam o estado do desenvolvimento social.

As preocupações das pessoas sobre questões ambientais e a necessidade de rejeição adequada de resíduos sólidos são frequentemente discutidas. Um exemplo dos grandes poluidores do solo, da água e do ar, são as pilhas e baterias, tanto de aparelhos eletrónicos, como de carros. As baterias apresentam elementos químicos altamente poluentes, tanto ao

homem quanto à natureza, dentre os quais destacam-se elementos como o chumbo (Pb), o mercúrio (Hg), o Cádmiio (Cd), o cobre (Cu), o Níquel (Ni), a prata (Ag), o Lítio (Li), o Manganês (Mn) e o Zinco (Zn) (Oliveira et al., 2013).

Dentro dos elementos mais comuns nos lixiviados das áreas municipais de disposição de resíduos sólidos, destacam-se o cádmio, o cobre, o lítio e o zinco. Concentrações anormais de lítio podem ocorrer diretamente do depósito em aterro de pilhas e baterias juntamente com o lixo comum, ou indiretamente pela incorporação nos aquíferos de espécies químicas que promovam a solubilização de fases minerais que contenham este metal, tais como a matéria orgânica e a diminuição do pH do meio (Oliveira et al., 2013).

O lixiviados também causam degradação ambiental, cuja extensão pode ser atribuída a toda e qualquer mudança resultante do efeito imposto pela sociedade sobre os ecossistemas naturais, que variam e se degradam com as características físicas, químicas e biológicas da área, afetando principalmente a qualidade de vida dos componentes ambientais e humanos (Oliveira,2012).

Vários autores estudaram os fenômenos de transporte e a retenção de metais no solo para suporte ao estudo das técnicas de tratamento de resíduos sólidos urbanos. Destacam-se análises dos poluentes presentes no lixiviado que ao dissolverem-se na água, que constitui o principal meio de distribuição de materiais no perfil do solo, facilmente passam pelo mecanismo de transporte do solo. Ou estudos relativos ao efeito atenuante de contaminantes do perfil de solo que, por meio de processos físicos, químicos e biológicos de interação solo-poluente, altera a concentração da solução (Oliveira et al., 2013).

2.3.2 Contaminação de solos por BTEX

Os tipos de poluentes encontrados nos solos europeus variam de país para país. No entanto, estimativas globais identificaram metais pesados e óleos minerais como sendo os principais poluentes nos solos europeus. Essas estimativas são baseadas na frequência com que um determinado contaminante é registado como o mais importante do local investigado. Outros contaminantes presentes incluem os PAH, benzeno, tolueno, etilbenzeno e os orto para e beta xilenos (BTEX), fenóis e hidrocarbonetos clorados (Silva, 2008).

Na seguinte figura, é observável que no continente europeu, os dois primeiros grupos de poluentes representam cerca de 60% dos poluentes presentes em locais contaminados, com

predominância de metais pesados. Devido à contaminação proveniente dos outros grupos, esta poderá ser mais problemática devido ao seu carácter persistente.

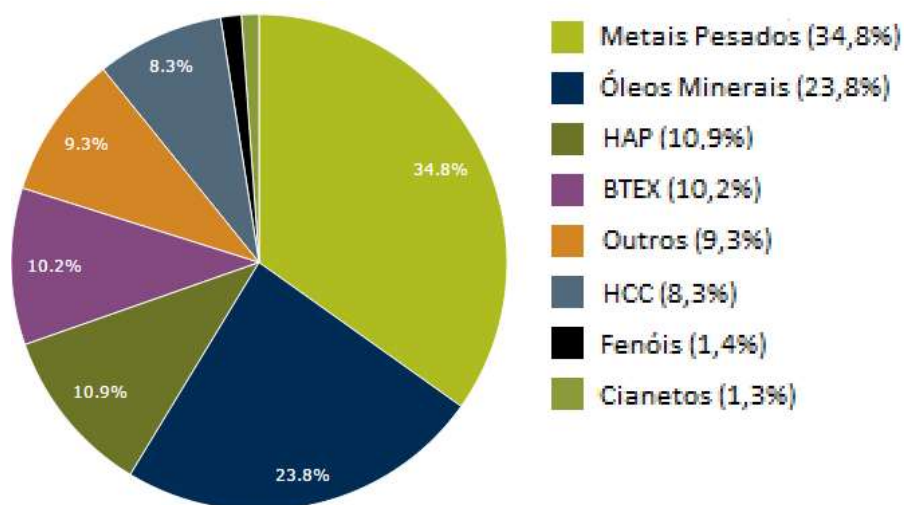


Figura 4-Contaminantes de solo e água subterrânea na Europa (Fonte: EEA,2014)

O crescimento da preocupação com este tipo de contaminação está relacionado com o aumento do risco, principalmente, para a saúde humana, visto que o benzeno por exemplo, é reconhecido como um causador de cancro e vários tipos de leucemia (Soares,2008).

Quando ocorre um derrame de hidrocarbonetos (ou produtos similares) no solo, uma das principais preocupações é a contaminação das águas subterrâneas, especialmente o aquífero, usado como fonte de água potável humana, que também pode estar contaminada (Morais, 2014).

Os BTEX, também conhecidos como hidrocarbonetos monoaromáticos, são caracterizados principalmente, a nível de estrutura molecular, pela presença de um anel de benzeno. Estes são usados, principalmente, em solventes e combustíveis e são os componentes mais solúveis nas frações da gasolina (Andrade; Jardim, 2010).

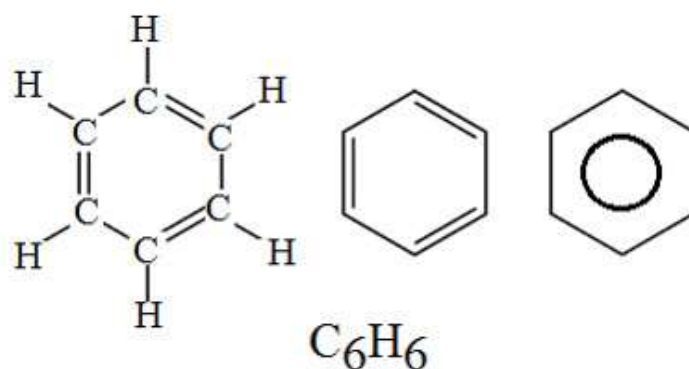


Figura 5-Exemplo da estrutura de anel de benzeno. (Manual da Química <https://www.manualdaquimica.com/> Acesso em: 13/10/2021)

A gasolina é uma mistura complexa de frações líquidas leves do petróleo, que contém vários hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos, como Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno (BTEX) (ver figura 6), compostos solúveis em gordura e tóxicos que podem atuar como inibidores do sistema nervoso central que, mesmo em baixas concentrações, são tóxicos. Além disso, no BTEX, o benzeno tornou-se um importante composto relacionado com a toxicologia devido ao seu impacto na saúde humana. Esses impactos, podem ser traduzidos em doenças como, síndrome mielodisplásica (SMD), mas principalmente, pelo seu efeito carcinogénico, que é catalisador, para o surgimento de doenças como leucemia mielóide aguda (LMA), e diversos outros tipos de cancro. Devido a estes impactos na saúde, as concentrações de benzeno especificadas na Europa não devem ultrapassar o valor de 1% na gasolina. O estímulo ao consumo de combustíveis fósseis oriundos da cadeia produtiva do petróleo, como política de desenvolvimento económico, faz com que a exposição ao benzeno a partir da gasolina tenha grande influência no âmbito da saúde ambiental e ocupacional (RBSO, 2016). Assim, em relação aos BTEX pode-se dizer:

- O **benzeno** existe na gasolina, mas também em borracha sintética, plásticos, nylon, inseticidas, tintas, corantes, cola de resina, cera para móveis, detergentes e cosméticos. Os escapes dos veículos automóveis e as emissões industriais representam cerca de 20% da exposição total ao benzeno no país. O benzeno também pode ser encontrado no fumo do cigarro ao qual corresponde cerca de 50% de todo o benzeno presente na atmosfera.
- O **tolueno** é um componente natural de muitos produtos petrolíferos. O tolueno é usado como solvente para tintas, revestimentos, gomas, óleos e resinas.
- O **etilbenzeno** é usado principalmente como aditivo para gasolina e combustível de aviação. Também pode estar presente em produtos de consumo, como tintas, plásticos e pesticidas.

- O **xileno** é um membro do grupo de poluentes BTEX. O orto-xileno é a única forma de xileno que ocorre naturalmente. As outras duas formas são artificiais. Os xilenos são líquidos incolores, usados na gasolina e como solvente nas indústrias de impressão, borracha e couro. (Mitra; Roy,2011)

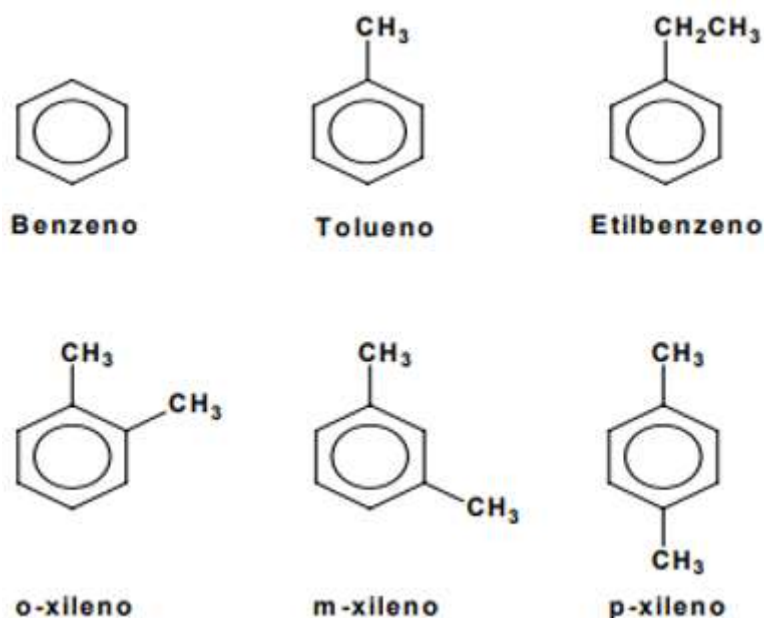


Figura 6-Fórmulas moleculares de elementos BTEX (adaptado Sheridan, 2016)

Mais especificamente, o exame detalhado dos componentes da gasolina, em relação aos riscos ocasionados à saúde humana, revela a existência de dois grupos distintos de hidrocarbonetos: os monoaromáticos (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos) que correspondem entre 10 e 59 % (m/m) da composição e os alifáticos (C5 – C12) que correspondem entre 41 e 62 % da composição da gasolina (Soares,2008).

Os compostos monoaromáticos são geralmente mais tóxicos que os compostos alifáticos com o mesmo número de átomos de carbono e, por serem cerca de 3 a 5 vezes mais solúveis em água, também são mais móveis. A mobilidade de compostos monoaromáticos no sistema solo-água também é maior. O coeficiente de partição octanol-água é de duas a quatro vezes menor que nos alifáticos, sendo que quanto menor é o valor do coeficiente octanol-água menos provável é que ele sofra absorção pela matéria orgânica presente no solo.

Para um melhor entendimento, o coeficiente de partição octanol-água torna-se um parâmetro importante, pois um menor coeficiente de partição implica uma lenta absorção no solo e, conseqüentemente, um transporte preferencial pela água. Além de migrarem mais

rapidamente através das águas atingindo aquíferos de abastecimento, os compostos aromáticos apresentam uma maior toxicidade crônica do que os hidrocarbonetos alifáticos (Soares,2008).

Tabela 5-Solubilidade de elementos BTEX (Adaptado de Tiburtius et al., 2000)

Composto	Solubilidade em água (mg/L)	Log Kow
Benzeno	1760	2,12
Tolueno	532	2,73
Xileno	163-185	2,95-3,26
Nonano	0,122	4,67
Decano	0,021	6,69
Dodecano	0,005	7,24

2.3.3 Contaminação do solo por efluentes industriais

As águas residuais industriais, corresponde a um termo geral, o qual é usado para se referir aos vários tipos de águas residuais com origem derivadas de várias indústrias. Este termo pode ser dividido em diversos tipos de águas residuais industriais, com composição complexa, porque a água cumpre vários papéis e funções em todos os tipos de indústrias. Medições de parâmetros como carência bioquímica oxigênio (CBO), carência química de oxigênio (CQO), pH e alcalinidade podem permitir classificar a poluição industrial.

Os efluentes industriais podem ser classificados de acordo com a natureza dominante da poluição e podem ser caracterizados por uma alta concentração de compostos orgânicos e inorgânicos. Entre as indústrias que geram águas residuais mais perigosas, destacam-se as refinarias, a mineração, os curtumes, as farmacêuticas, as fábricas de celulose e produção/destilaria de açúcar (Breida et al, 2019). Estudos e pesquisas em biotecnologia na Universidade de Dhaka, Bangladesh, identificaram neste país, cerca de 900 grandes indústrias poluidoras que não possuem instalações de tratamento de efluentes e resíduos. Esses efluentes, altamente tóxicos, eram diretamente descarregados para os solos e rios adjacentes. No processo de produção nestas indústrias muitos dos resíduos sólidos semi-sólidos e líquidos gerados podem conter uma quantidade substancial material tóxico, poluentes orgânicos e inorgânicos. Assim, se estes forem despejados em ambientes sem tratamento, as consequências ambientais poderão ser sérias. Uma destas consequências ambientais pode ser a inevitável deterioração da produtividade do solo e afetar de forma direta a produção agrícola (Khan et al., 2006).

A crescente industrialização levou ao aumento da poluição do solo através da descarga de efluentes pelas unidades industriais. Cada tipo de solo possui “individualidade”, a característica que define essa “individualidade” é o perfil do solo, o qual consiste em séries de camadas diferentes de percolação das águas residuais lançadas nos solos e subsequentes lixiviações dos poluentes para os sucessivos horizontes (Punjab, 2013).

Os efluentes descarregados pelas unidades industriais nos solos contêm diversos produtos químicos nocivos, ácidos e bases minerais, etc, os quais são depositados no solo por um período de tempo, devido à sua retenção e adsorção nas partículas do solo. Os constituintes minerais presentes em pequenas quantidades no efluente descarregado favorecem o crescimento de algumas colónias de algas, fungos e bactérias que, por sua vez, alteram a textura do solo (Punjab, 2013).

Os micronutrientes descarregados no solo, por meio de efluentes, reduzem a porosidade do solo, o que resulta num empobrecimento do solo, devido ao decréscimo do seu rendimento. Também alguns dos produtos químicos depositados podem ser absorvidos pelas plantas e culturas que crescem nesses solos contaminados. Os efluentes orgânicos, com alto teor de matéria orgânica biodegradável, que são lançados nos solos atraem a microflora saprófita do solo e do ar, e proliferam, resultando em baixos rendimentos ou originando doenças fúngicas em muitos casos (Punjab, 2013).

As indústrias são responsáveis pela produção de efluentes com características obviamente distintas dos efluentes domésticos. Estes últimos são originados pela população comum. Uma dada empresa produtora de efluentes, é responsável pela correta gestão dos mesmos. Estes podem ser tratados nas instalações da própria empresa, se esta possuir capacidade para tal, caso contrário terão que ser enviados para uma Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR), mediante a existência de uma licença de descarga, desde que se cumpram os Valores Limite de Emissão (VLE) (Mira, 2016).

Por exemplo, as indústrias de celulose e papel representam uma importância a nível económico e ambiental extremamente alta, principalmente devido ao seu reflexo nos recursos hídricos. Utilizando grandes quantidades de água, essas indústrias também produzem grandes quantidades de águas residuais contendo substâncias tóxicas. Um dos exemplos mais recentes da má gestão destes resíduos pode ser atribuída à empresa de celulose do Tejo, conhecida como Celtejo, a qual, em 2018 foi acusada de cobrir o rio Tejo num “manto” de espuma (resíduos), o qual possuía uma elevada concentração de fósforo e matéria orgânica. Essa espuma formava um ambiente propício ao crescimento de bactérias que consomem o oxigénio dissolvido na

água, deixando uma quantidade do mesmo muito reduzida para os restantes seres vivos do rio, os quais acabavam por morrer (fonte: observador.pt edição de 31 janeiro 2018). A empresa Celtejo tentou descartar-se ao máximo do seu envolvimento no caso, acabando por ser aplicada à entidade uma coima de 12.500€, posteriormente reduzida para 6.000€ e culminando numa mera repreensão escrita (Fonte: publico.pt edição de 29 de março de 2018). As indústrias de papel e celulose, a nível mundial, descarregam diariamente mais de 62 milhões de metros cúbicos de águas residuais, o que corresponde ao consumo doméstico (de água) de cerca de 200 milhões de pessoas (Zamora et al., 1996).

Em termos de características, no que conta a águas residuais, as áreas mais críticas da indústria de papel são o cozimento e o branqueamento. As águas residuais geradas durante o processo do cozimento apresentam alta carência bioquímica de oxigénio (CBO), turbidez, sólidos em suspensão e baixa concentração de oxigénio dissolvido. As águas residuais produzidas pelo processo de branqueamento, possuem uma cor forte e contêm mais de 300 componentes orgânicos, como fenol clorado, o qual é um dos componentes principais na composição deste material, e o qual também é tóxico para diversos organismos aquáticos e é altamente resistente à degradação. Neste caso, o tratamento de águas residuais deve ser mais exigente, de modo a garantir a qualidade das águas residuais após tratamento (Silveira, 2010).

2.3.4 Contaminação do solo por metais pesados

Os metais pesados são as substâncias tóxicas mais conhecidas nos seres humanos. Em 2000AC, uma grande quantidade de chumbo foi obtida de um dado minério como subproduto da extração da prata. Este pode ter sido o começo do uso humano deste metal. Alguns dos efeitos tóxicos destes metais, só foram identificados há relativamente pouco tempo, como por exemplo o cádmio, o qual como referido anteriormente a nível de efeitos tóxicos só foi identificado recentemente e a sua cinética toxicológica ainda não é muito precisa.

A cinética toxicológica pode ser descrita como o estudo da relação estabelecida entre o material tóxico e o organismo, durante a movimentação do agente através dos fluidos biológicos, ou seja, quando este é absorvido, distribuído pelo organismo e eventualmente se este agente tóxico sofre excreção ou acumulação.

Mas apesar das conotações negativas associadas aos metais presentes em organismos, nem todos os metais conhecidos causam toxicidade ou são nocivos. De um total de 80 metais conhecidos, apenas cerca de 30 são tóxicos (em doses relativamente reduzidas) para os seres humanos (Rocha, 2009).

Os metais pesados são formados naturalmente no ambiente do solo através do processo de meteorização do material original. Os seus níveis de concentração no solo são considerados vestigiais se estes possuírem teores inferiores a 1000 mg/kg e devido a estes teores reduzidos, raramente possuem características tóxicas. Em resultado da alteração e aceleração do ciclo geoquímico de metais devido à atividade antrópica, a maioria dos solos, em ambiente rural e urbano, podem acumular um ou mais metais pesados em teores, superiores aos definidos nos guias técnicos, podendo dar origem a riscos à saúde humana, plantas animais e de forma geral ao ecossistema (Wuana; Okiemen, 2011).

No ambiente terrestre, o solo é o último e o mais importante reservatório de metais pesados, mas a capacidade do solo de absorver esses elementos é limitada, quando essa capacidade é atingida, ou até mesmo superada, as consequências ambientais tendem a ser negativas. Este acontecimento é especialmente preocupante devido ao aumento da mobilidade do metal, por transporte efetuado por parte de seres vivos os quais acumulam o metal ao longo da cadeia alimentar, ou por meio de transporte como a água que pode espalhar o metal pela rede hidrográfica da zona. No solo, a forma química do metal é afetada principalmente pela composição da matéria orgânica e pela superfície mineral, sendo a sua mobilidade e biodisponibilidade cruciais neste processo. Do ponto de vista geoquímico um dado elemento quando é introduzido no solo, pode adotar diversas formas, como por exemplo dissolver-se no solo, fixar-se em locais de troca de constituintes orgânicos e inorgânicos, sofrer oclusão nos minerais do solo, agregar-se com outros compostos presentes no solo, ou até mesmo incorporar-se nos materiais biológicos (Amaral, 2012).

Os solos estão sujeitos a um processo de contaminação por metais pesados, os quais são um subconjunto do maior grupo de elementos que ocorre em baixa concentração na crosta terrestre e, em muitos casos, as emissões destes metais a partir de fontes antropogénicas superam as que são derivadas de fontes naturais, fontes naturais como a meteorização do material original, erupções vulcânicas ou até mesmo incêndios florestais. Os metais traço estão entre os contaminantes ambientais mais comuns e o seu comportamento em diversos setores ambientais, como por exemplo nos solos, estes elementos merecem destaque, principalmente por não serem biodegradáveis, sofrendo acumulação por longos períodos de tempo, representando assim uma ameaça potencial à biodiversidade bem como para os diversos ecossistemas presentes (Amaral, 2012).

A atividade antropogénica é uma importante fonte de emissões poluentes geradas por atividades industriais, como por exemplo, a prospeção mineira, descarga de esgotos domésticos

e águas superficiais em áreas agrícolas onde são utilizados fertilizantes. Apesar da taxa de emissão de metais pesados na atmosfera ter sido reduzida no passado, esta taxa de emissão, terá aumentado drasticamente como consequência da atividade de processamento de minerais e queima de combustíveis fósseis. Por outro lado, a descoberta da espectrometria de massa / plasma indutivamente acoplado, no final de 1990, permitiu a melhoria nos processos da química analítica dos materiais geológicos, e como tal, possibilitou a quantificação dos níveis de metais pesados presentes nos solos (Amaral, 2012).

Devido à capacidade de mobilidade ou adsorção de metais pesados, as concentrações no solo são diferentes. O transporte de poluentes para o solo é guiado por fatores que controlam a sua mobilidade, em que se destacam o pH, potencial redox, textura, estrutura, teor de argila, concentração de matéria orgânica e de óxidos de ferro, manganês e alumínio, bem como a concentração de diferentes poluentes. A atividade dos metais nas soluções do solo provém do equilíbrio entre metais e minerais argiloso, matéria orgânica, óxidos de Fe, Mn e Al e quelatos solúveis. O pH do solo é também um componente fundamental deste equilíbrio (Amaral, 2012).

Os metais pesados são considerados poluentes graves do solo devido à sua toxicidade, persistência e características não degradáveis no ambiente, ou seja caracterizam-se por uma contínua acumulação o que irá resultar num problema crescente se não houver tratamento. Além disso, o processo de autodepuração dos metais pesados no solo, é mais lento que a mesma situação em ar ou na água contaminada. Desta forma o tratamento inadequado de solos contaminados pode representar um grande risco à saúde humana (Chu; Ko, 2018).

2.3.4.1 Fontes de contaminação por metais pesados

Os metais pesados são inseridos no meio ambiente através de várias fontes, naturais, agrícolas, industriais, de efluentes domésticos, atmosféricas e outras. As fontes naturais são as fontes mais importantes, caracterizadas por causas geológicas ou afloramentos rochosos. A composição e concentração de metais pesados depende do tipo de rocha e das condições ambientais, que podem ativar o processo de desgaste. Os materiais naturais geológicos, geralmente, possuem elevadas concentrações de crómio (Cr), manganês (Mn), cobalto (Co), níquel (Ni), cobre (Cu), zinco (Zn), cádmio (Cd), chumbo (Pb) e mercúrio (Hg). Rochas ígneas ricas em minerais como a olivina, a hornblenda ou a augite contribuem com quantidades consideráveis de magnésio, cobalto, níquel, cobre e zinco para os solos. No entanto, como a formação do solo provém principalmente de rochas sedimentares, esta é apenas uma pequena fonte de metais pesados, uma vez que, em geral, não é persistente (Souza et al., 2018).

As fontes de metais pesados nos solos agrícolas incluem fertilizantes inorgânicos e orgânicos, lodo de esgoto, água de irrigação e pesticida. Os fertilizantes fosfatados têm níveis diferentes de cádmio, crômio, níquel, chumbo e zinco, dependendo da fonte. Embora o teor de metais pesados em solos agrícolas seja muito baixo, o uso de fertilizantes fosfatados a longo prazo e as características do solo ao qual são aplicados, podem acumular quantidades perigosas desses metais em alguns casos. O lodo de esgoto, fontes de água de irrigação, tais como poços profundos, rios, lagos ou canais de irrigação também são importantes fontes de contaminação por metais pesados no solo agrícola (Souza et al., 2018).

Nas grandes sociedades industrializadas que recorrem à queima de carvão mineral e petróleo como fontes energéticas, estes recursos correspondem à principal causa de poluição, promovendo a libertação de vários metais, como o chumbo, o crômio o níquel e o zinco. Estes metais são libertados, sobre a forma de vapor, ou são adsorvidos ao material particulado e gasoso, efluente líquido e resíduos sólidos. Os metais pesados, como o Cu e o Zn são também geralmente encontrados em solos de áreas onde a extração de minério e a sua fusão terá ocorrido. Muitos estudos efetuados, demonstram que há enriquecimento de metais pesados em solos localizados nas proximidades de instalações industriais.

Um dos principais exemplos de fonte de metais pesados de crômio e níquel corresponde ao caso das indústrias siderúrgicas. O fabrico de baterias é uma importante fonte de chumbo e as instalações de galvanização e zincagem de zinco. O chumbo é um dos metais pesados com utilização industrial mais variada, mas está presente principalmente no fabrico de baterias. Estes metais, sendo expostos aos ecossistemas, entram na cadeia alimentar através da ingestão, a qual pode ocorrer por acumulação, sendo passada de presa para predador, ou simplesmente por ingestão de uma fonte de água contaminada (Amaral, 2012).

A prospeção de minerais metálicos, em conjunto com as indústrias, terão deixado diversos países, com um historial de ampla distribuição de contaminantes metálicos no solo. Durante a prospeção, um dos métodos utilizados para a obtenção de minério, é o processo de flotação, no qual o material “rejeitado” pode ser descarregado diretamente em zonas de depressões naturais, resultando em concentrações elevadas do material despejado. A prospeção e fundição de minério de zinco e chumbo resultam na contaminação do solo, o que apresenta riscos para a saúde humana e para os diversos ecossistemas. Muitos dos métodos de recuperação/remediação, empregues nesses locais, são dispendiosos e lentos, e na maioria dos casos não retornam o solo ao seu estado inicial. O risco ambiental dos metais pesados para os seres humanos está relacionado com a sua biodisponibilidade, que se refere à velocidade de

uma dada substância ser absorvida pelo organismo e de seguidamente ser acumulada nos pontos de ação (órgãos). Este termo é comumente usado na área de farmacologia (Fraternidade, 2018).

Outros materiais são gerados por uma variedade de indústrias, como a indústria têxtil, a de curtumes e a petroquímica. Derramamentos acidentais de petróleo ou utilização de produtos derivados de petróleo, pesticidas e instalações farmacêuticas correspondem a outras fontes que possuem uma composição altamente variável. Embora alguns materiais sejam despejados nos solos, poucos deles têm benefícios para a agricultura ou silvicultura. Antes pelo contrário, muitos destes materiais são potencialmente perigosos devido à presença de compostos orgânicos tóxicos e de metais pesados na sua composição, como o crómio, o chumbo e o zinco (Wuana; Okiemen, 2011).

As fontes de metais transportados por meio aéreo têm como origem emissões provenientes de chaminés, tubagens com fluxos de vapor com fugas ou emissões fugitivas, como poeiras de áreas de armazenamento ou aterros. Metais de fontes que sofrem transporte aéreo são geralmente libertados como partículas contidas no fluxo de gás. Alguns metais como arsénio, cádmio e chumbo também podem volatilizar durante o seu processamento a alta temperatura. A menos que uma atmosfera redutora seja mantida esses metais irão converter-se em óxidos e condensar-se-ão como partículas finas. As emissões de aterros podem ser distribuídas por uma ampla área através de correntes de ar naturais até que os mecanismos de precipitação as removam do seu fluxo. As emissões fugitivas são frequentemente distribuídas numa área muito menor, porque as emissões são efetuadas próximas do solo. Geralmente as concentrações de contaminantes são mais baixas nas emissões fugitivas, comparativamente com as emissões provenientes de chaminé.

O tipo e a concentração de metais emitidos pelos diferentes tipos de fontes dependerão das condições específicas do local. Todas as partículas sólidas presentes nos fumos dos incêndios ou provenientes de outras emissões, como das chaminés das fábricas são, eventualmente, depositadas em terra ou no mar. A maioria das formas de combustíveis fosseis contém alguns metais pesados e, portanto, são uma forma de contaminação que continua numa larga escala desde o início da revolução industrial. A concentração muito elevada de metais como cádmio, chumbo e zinco foi encontrada em plantas e solos adjacentes a fundições. Outra importante fonte de contaminações do solo teve origem na emissão aérea de chumbo derivada da combustão de gasolina, a qual contém chumbo tetra-etil, o que contribuía para que os teores de chumbo aumentassem significativamente em terrenos adjacentes a estradas com elevado

movimento (Wuana; Okiemen, 2011). A partir de 2021, as gasolinas que contêm chumbo encontram-se globalmente em “extinção” uma vez que já não se encontram em produção, sendo que estas, já não eram produzidas em Portugal desde o início do milénio (1999).

2.3.4.2 Tipos de Metais pesados

Os metais pesados mais comumente encontrados em locais contaminados são chumbo, crómio, arsénio, zinco, cádmio, cobre e mercúrio em ordem de conteúdo. Destes elementos labelados como metais pesados, alguns destes não são propriamente metais, sendo que o arsénio, é um metaloide, mas é classificado como um metal pesado. Estes metais possuem efeitos nocivos, pois são capazes de diminuir a produção agrícola devido ao risco de bioacumulação e biomagnificação na cadeia alimentar. Também existe o risco de contaminação das águas superficiais e subterrâneas. O conhecimento dos efeitos químicos básicos, ambientais e na saúde associados a esses metais pesados são necessários para compreender a sua subclasse, biodisponibilidade e opções de reparação.

O destino e o transporte de um metal pesado no solo depende, significativamente, da forma química e do estado isotópico do mesmo. Uma vez no solo, os metais pesados são adsorvidos por reações rápidas iniciais (minutos, horas), seguidos por reações de adsorção lenta (dias, anos) e, desta forma, são redistribuídos em diferentes formas químicas com biodisponibilidade, mobilidade e toxicidade variadas (Wuana; Okiemen, 2011).

Chumbo – Pb

O chumbo, com o número atómico 82 e peso atómico de 207,2, é um membro do grupo 14 da Tabela Periódica de Elementos. É um metal denso (11,34 g/cm³), apresenta normalmente uma cor cinzenta, podendo tornar-se azulado na presença de ar. Tem um ponto de fusão de 327°C e ponto de ebulição de 1744°C, é um condutor de eletricidade fraco e é muito resistente à corrosão. O seu baixo ponto de fusão e o facto de ser muito maleável e flexível permitiram, mesmo em sociedades primitivas, que este metal tenha sido fundido e trabalhado (Rocha, 2009).



Figura 7-Chumbo (Fonte: DakotaMatrix, Acesso 13/10/2021)

Vários fatores influenciam o movimento descendente do chumbo no perfil do solo. Entre eles, a lixiviação de quelatos complexos com matéria orgânica, transferência de partículas por seres vivos como as minhocas presentes no solo, movimentação pelas raízes das plantas ou uma combinação de todos estes fatores. Adicionalmente, além dos movimentos verticais também poderão ocorrer movimentos horizontais, devido às operações da lavoura, ao vento e às plantas. O pH e a capacidade de troca catiónica são os principais fatores envolvidos na imobilização do Pb, sendo que o teor em matéria orgânica e argila são os constituintes determinantes na adsorção do Pb, assim como o papel dos óxidos de Mn, Fe e, possivelmente, o Al. Há também uma tendência para o aumento de concentração deste metal com a diminuição da dimensão das partículas, sendo que o chumbo libertado pela meteorização das rochas parece que é, em grande parte, adsorvido pela silte e/ou pela argila que possa constituir o solo. O chumbo pode ser hidrolisado a baixo pH e desenvolve hidrólises múltiplas para valores de pH habituais nos sistemas ambientais. O $PbOH^+$ é predominante em solos com pH entre 6 a 10 (Rocha, 2009).

O chumbo ocupa o quinto lugar, atrás do Fe, Cu, Al e Zn na produção industrial de metais. Cerca de metade do Pb usado nos EUA é destinado à fabricação de baterias de carro. Outros usos incluem soldas, rolamentos, coberturas de cabos, munições, canalizações, pigmentos e calafetagem (selantes). Os metais comumente ligados ao Pb são o antimônio (em baterias), cálcio (Ca) e estanho (Sn) (em baterias sem manutenção), prata (Ag) (para solda e ânodos), estrôncio (Sr) e Sn (como ânodos em processos de eletropolimento), telúrio (Te) (tubos e chapas em instalações químicas e blindagem nuclear), Sn (soldas) e antimônio (Sb) e Sn (mancais, impressão e peças fundidas de alto detalhe) (Wuana; Okiemen, 2011).

A fonte mais comum de exposição ao chumbo no solo é pela sua ingestão direta através de solo ou poeira contaminados. Em geral, as plantas não absorvem ou acumulam chumbo. No entanto, em solos com alto teor de chumbo, é possível que algum chumbo seja absorvido. Estudos demonstraram que o chumbo não se acumula rapidamente nas partes frutíferas das hortaliças e frutas (por exemplo, milho, feijão, abóbora, tomate, morango e

maçã). É provável que concentrações mais altas sejam encontradas em vegetais folhosos (por exemplo, alface) e na superfície das raízes (por exemplo, cenoura). Como as plantas não absorvem grandes quantidades de chumbo do solo, os níveis de chumbo no solo considerados seguros para as plantas serão muito maiores do que os níveis de chumbo no solo, onde a ingestão de solo constitui uma preocupação. Geralmente, é considerado seguro o uso de produtos agrícolas cultivados em solos com níveis totais de chumbo inferiores a 300 ppm. O risco de envenenamento por chumbo na cadeia alimentar aumenta à medida que o nível de chumbo no solo aumenta acima dessa concentração. Mesmo para níveis no solo acima de 300 ppm, a maior parte do risco vem do solo contaminado com chumbo, ou de depósitos de poeira nas plantas, e não da absorção de chumbo pela planta (Wuana; Okiemen, 2011).

Zinco - Zn

O zinco é um metal de transição com as seguintes características: período 4, grupo 12, número atômico 30, massa atômica 65,4, densidade 7,14 g cm⁻³, ponto de fusão 419,5°C e ponto de ebulição 906°C.

O zinco ocorre naturalmente no solo (cerca de 70 mg kg⁻¹ em rochas da crosta), mas as concentrações de Zn estão a subir artificialmente, devido as adições provenientes de origem antropogénica. A maior parte do Zn é adicionada durante atividades industriais, como prospeção, exploração e utilização de carvão e da combustão de resíduos e processamento de aço. Muitos alimentos contêm concentrações de Zn. A água potável também contém quantidades variáveis de Zn, que, por exemplo, podem ser maiores quando armazenadas em tanques metálicos. Fontes industriais ou locais de resíduos tóxicos podem fazer com que as concentrações de Zn na água potável atinjam níveis que possam ser prejudiciais à saúde. Apesar desses efeitos o zinco é um oligoelemento essencial à saúde humana cuja escassez pode causar defeitos congénitos.



Figura 8-Zinco (Fonte: Mineraleducation, Acesso 13/10/2021)

A produção mundial de Zn ainda está em ascensão, o que significa que cada vez mais Zn acaba no meio ambiente. A água é poluída com Zn, devido à presença de grandes quantidades presentes nas águas residuais de instalações industriais. Uma consequência é que o lodo poluído por Zn é continuamente depositado pelos rios nas suas margens. O zinco também pode aumentar a acidez das águas. Alguns peixes podem acumular Zn nos seus corpos quando vivem em cursos de água contaminados por Zn.

O zinco dissolvido na água localizada nos solos pode, eventualmente, contaminar os lençóis freáticos. As plantas geralmente têm uma capacidade de absorção de Zn superior à que os seus sistemas conseguem suportar, devido ao acúmulo de Zn nos solos. Finalmente, o Zn pode interromper a atividade nos solos, pois influencia negativamente o ecossistema de microrganismos e minhocas, retardando assim a decomposição da matéria orgânica sendo capaz de biomagnificar a cadeia alimentar (CPEO, acesso 22 maio 2021).

Mercúrio – Hg

O mercúrio pertence ao mesmo grupo da tabela periódica que o Zn e o Cd. É o único metal pesado que se encontra no estado líquido à temperatura ambiente (ponto de fusão extremamente baixo). Possui número atômico 80, peso atômico 200,6, densidade 13,6 g cm⁻³, ponto de fusão 13,6°C e ponto de ebulição 357°C e, geralmente, é recuperado como subproduto do processamento de outros minérios.



Figura 9-Mercúrio (Fonte: DakotaMatrix, Acesso 13/10/2021).

A libertação de Hg derivada da combustão de carvão é uma das principais fontes de contaminação por Hg. As libertações a partir de manómetros em estações de medição de pressão ao longo de gasodutos e oleodutos também contribuem para a contaminação por

Hg. Após a libertação no ambiente, o Hg geralmente ocorre na forma de mercúrio (Hg^{2+}), mercurioso (Hg_2^{2+}), elementar (Hg) ou na forma alquilada (metil / etil-mercúrio).

O potencial redox e o pH do sistema determinam as formas estáveis de Hg que estarão presentes. O Hg_2^{2+} e Hg^{2+} são mais estáveis sob condições oxidantes. Quando existem condições de redução moderada, o Hg orgânico ou inorgânico pode ser reduzido a Hg elementar, que pode ser convertido em formas alquiladas por processos bióticos ou abióticos. O mercúrio é mais tóxico nas suas formas alquiladas, que são solúveis em água e voláteis no ar. O mercúrio ($^{2+}$) forma complexos fortes com uma variedade de ligantes orgânicos e inorgânicos, tornando-o muito solúvel em sistemas aquáticos oxidados.

A adsorção ou absorção para solos, sedimentos e materiais húmicos é um mecanismo importante para a remoção de Hg da solução. A “sorção” depende do pH e aumenta à medida que o pH aumenta. O mercúrio também pode ser removido da solução por co precipitação com sulfuretos. Sob condições anaeróbicas, as formas orgânicas e inorgânicas de Hg podem ser convertidas em formas alquiladas por atividade microbiana, como por bactérias redutoras de enxofre. O mercúrio elementar também pode ser formado sob condições anaeróbicas por desmetilação do metil-mercúrio ou pela redução de Hg^{2+} . Condições ácidas ($\text{pH} < 4$) também favorecem a formação de metil-mercúrio, enquanto valores mais altos de pH favorecem a precipitação de $\text{HgS} (s)$ (Wuana; Okiemen, 2011).

Cádmio – Cd

O cádmio está localizado no final da segunda linha de elementos de transição com número atômico 48, peso atômico 112,4, densidade 8,65 g cm^{-3} , ponto de fusão 320,9°C e ponto de ebulição 765°C. Juntamente com o Hg e o Pb, o Cd é um dos três grandes metais pesados e não é conhecido por nenhuma função biológica essencial (Wuana; Okiemen, 2011).



Figura 10-Cádmio (Fonte: Bjoern Wylezich/Shutterstock.com-acesso 22/09/21).

O uso mais significativo de Cd é em baterias de Ni / Cd, como fontes de energia recarregáveis que exibem alto rendimento, longa vida útil, baixa manutenção e alta tolerância ao stresse físico e elétrico. Os revestimentos de cádmio fornecem uma boa resistência à corrosão para embarcações e outros veículos, particularmente em ambientes exigentes, como marítimos e aeroespaciais. Outros usos do cádmio são pigmentos, estabilizadores de policloreto de vinilo (PVC), em ligas e compostos eletrônicos. O cádmio também está presente, como impureza, em vários produtos, incluindo fertilizantes fosfatados, detergentes e produtos refinados derivados de petróleo. Além disso, as chuvas ácidas, e a resultante acidificação de solos e águas superficiais aumentaram a mobilidade geoquímica do Cd e, como resultado, as suas concentrações nas águas superficiais, tendem a aumentar à medida que o pH das águas diminui. O cádmio é produzido como subproduto do Zn e, ocasionalmente, do chumbo (Wuana; Okiemen, 2011).

Arsénio – As

O arsénio tem as seguintes propriedades: número atómico 33, massa atómica 75, densidade 5,72 g cm⁻³, ponto de fusão 817°C e ponto de ebulição 613°C, exibe uma química bastante complexa e pode estar presente em vários estados de oxidação (-3, 0, +3, +5) (Wuana; Okiemen, 2011).



Figura 11-Arsénio (Wikipédia, 2009).

O arsénio é um semi metal ou metalóide, bom condutor de calor mas um péssimo condutor elétrico. É insolúvel em água, porém muitos dos seus compostos são solúveis. É um elemento químico essencial para a vida, ainda que tanto o arsénio como os seus compostos sejam extremamente venenosos. É encontrado principalmente sob a forma de sulfureto numa grande variedade de minerais que contém ouro, cobre, chumbo, ferro, níquel, cobalto e outros metais.

Como conservante de couro e madeira, o seu uso representa, segundo algumas estimativas, cerca de 70% do seu consumo mundial. O arsenieto de gálio é um importante

semicondutor empregue em circuitos integrados, mais rápidos e caros comparativamente aos que utilizam silício na sua constituição. É também um componente usado como aditivo em ligas metálicas de chumbo e latão. Também é utilizado em inseticidas, herbicidas, como pigmento, em pirotecnia bem como descolorante no fabrico de vidro. Recentemente renovou-se o seu interesse, principalmente, pelo uso do trióxido de arsénio para o tratamento de pacientes com leucemia (Ruppenthal, 2013).

Crómio – Cr

O crómio, com o número atómico 24 e massa atómica 51,996 pertence ao grupo 6 da Tabela Periódica de Elementos. É um metal maleável acinzentado com uma densidade de 7,2 g/cm³, ponto de fusão igual a 1860 °C e ponto de ebulição de 2670 °C.

O crómio é um metal de transição, duro, frágil, de coloração cinza semelhante ao aço, com forma cúbica cristalina, sem odor e muito resistente à corrosão. O crómio metálico não existe livre na natureza, mas somente na forma de compostos. Obtém-se o crómio a partir da cromite (FeCr₂O₄), o principal minério de crómio (Ruppenthal, 2013).



Figura 12-Crómio (Fonte: magazineluiza, acesso 13 outubro 2021).

Um dos usos mais importante do crómio é em metalurgia para aumentar a resistência à corrosão e dar um acabamento brilhante (cromagem). Dessa forma, é amplamente utilizado para a produção de aços especiais e em processos de cromagem, a qual consiste na eletrodeposição de uma camada protetora de crómio sobre uma peça. Para a produção de aços especiais, o crómio é adicionado sob a forma de liga com o ferro, conhecido como ferrocromo (Ruppenthal, 2013).

O crómio, quando é adicionado ao solo, poderá ter vários destinos possíveis. Pode ser oxidado ou reduzido, permanecer em solução, ser adsorvido em minerais e complexos orgânicos de troca ou em óxidos hidratados de Fe e Mn que cobrem partículas do solo, formar quelatos com um ligante orgânico ou precipitar como compostos pouco solúveis ou muito insolúveis.

Assim, enquanto a redução do Cr (+4) nos solos pode ser realçada pela presença de matéria orgânica, a oxidação do Cr (+3) é considerada provável em solos com $\text{pH} > 5$ e em presença de Mn oxidado, servindo este como recetor de eletrões nestas reações de oxidação (Amaral, 2012).

Cobre - Cu

O cobre, com o número atómico 29 e massa atómica 63 pertence, ao grupo 11 da Tabela Periódica dos Elementos. Este metal avermelhado tem uma densidade de 8.93 g/cm^3 e pontos de fusão e de ebulição de cerca de 1083°C e 2590°C , respetivamente. Na natureza ocorre nos estados de oxidação +1 e +2 (Amaral, 2012).



Figura 13-Cobre (Fonte: MineralEducation, Acesso em 13/10/2021).

O cobre é o terceiro metal mais utilizado no mundo. Esta posição deve-se ao facto de ser um micronutriente essencial necessário para o crescimento de plantas e animais. Nos seres humanos, ajuda na produção de hemoglobina no sangue. Certos seres vivos utilizam hemocianina ao invés de hemoglobina, na qual o componente principal que está ligado ao transporte de oxigénio no sangue está associado ao cobre ao invés do que é observado na hemoglobina a qual está associada ao ferro. Nas plantas, o Cu é especialmente importante na produção de sementes, resistência a doenças e regulação da água. O cobre é essencial, mas em altas doses pode causar anemia, danos no fígado e nos rins e irritação no estômago e no intestino. O cobre normalmente ocorre na água potável dos tubos de Cu, bem como nos aditivos projetados para controlar o crescimento de algas. Embora a interação do Cu com o meio ambiente seja complexa, a pesquisa mostra que a maioria do Cu introduzido no ambiente é, ou rapidamente se torna, estável e resulta numa forma que não representa um risco para o meio ambiente. De facto, ao contrário de alguns materiais artificiais, o Cu não é ampliado no corpo ou bioacumulado na cadeia alimentar. No solo o Cu forma compostos com ligações fortes a componentes orgânicos, implicando que apenas uma pequena fração de cobre seja encontrada em solução como cobre iónico, $\text{Cu} (+2)$. A solubilidade do Cu aumenta drasticamente a $\text{pH} 5,5$, valor que está bastante próximo do pH ideal das terras agrícolas de $6,0-6,5$ (Wuana; Okiemen, 2011).

O Cu e o Zn são dois elementos essenciais, uma vez que são importantes para plantas, microrganismos, animais e seres humanos. A conexão entre a contaminação do solo e da água e a absorção de metais pelas plantas, é determinada por muitos fatores químicos e físicos do solo, bem como pelas propriedades fisiológicas das culturas.

Os solos contaminados com metais vestigiais podem representar ameaças diretas e indiretas: diretamente, através dos efeitos negativos dos metais no crescimento e no rendimento das culturas, e de forma indireta, entrando na cadeia alimentar humana com um impacto potencialmente negativo na saúde humana. Mesmo uma redução no rendimento das culturas em alguns pontos percentuais pode levar a uma perda significativa de longo prazo na produção e no rendimento. Alguns importadores de alimentos estão agora a limitar um teor máximo aceitável de metais nos alimentos, o que pode limitar a possibilidade de os agricultores exportarem as suas colheitas que não respeitam esses limites (Wuana; Okiemen, 2011).

Níquel – Ni

O níquel é um elemento de transição com número atômico 28 e peso atômico 58,69. Em regiões de baixo pH, o metal existe na forma do íão níquel, Ni (+2). Em soluções neutras a ligeiramente alcalinas, precipita como hidróxido de níquel, Ni(OH)₂, que é um composto estável (Wuana; Okiemen, 2011).



Figura 14-Níquel (Wikipédia, Acesso em 13/10/2021).

O níquel é usado sob a sua forma pura para a produção de protetores de peças metálicas, devido à sua alta resistência à oxidação. É aplicado principalmente em ligas ferrosas e não ferrosas para consumo no setor industrial, em materiais bélicos, em moedas, na área de transporte, nas aeronaves, no setor da construção civil em aços inoxidáveis, ou ainda na produção de ímanes. O sulfato de níquel é adequado para galvanoplastia, banhos de sais de

níquel nos quais se obtém a niquelagem, processo o qual permite um acabamento refinado e protetor de diversas peças de metal (Ruppenthal, 2013).

As principais fontes de contaminação por níquel no solo são as indústrias de revestimento de metais, combustão de combustíveis fósseis e mineração e galvanização de níquel. O níquel é libertado no ar por instalações de produção de energia e incineradores de resíduos urbanos e deposita-se no solo após sofrer reações de precipitação. Geralmente, leva muito tempo para que o níquel seja removido do ar. O níquel também pode acabar nas águas superficiais quando faz parte dos fluxos de águas residuais. A maior parte de todos os compostos de Ni que são libertados para o meio ambiente serão absorvidos por sedimentos ou partículas do solo e, como resultado, ficarão imóveis. No entanto, em solos com pH ácidos, o Ni torna-se mais móvel e frequentemente espalha-se para as águas subterrâneas adjacentes. Os microrganismos também podem sofrer um declínio no crescimento devido à presença de Ni mas, geralmente, desenvolvem resistência ao Ni após um período de tempo. Não se sabe se o níquel se acumula em plantas ou animais e, como resultado, não se constata que o Ni biomagnifique a cadeia alimentar. Para os animais, o Ni é um elemento essencial em pequenas quantidades (Wuana; Okiemen, 2011).

Manganês – Mn

O manganês é um elemento químico, símbolo Mn, número atômico 25 (25 prótons e 25 elétrons) e massa atômica 55, sólido em temperatura ambiente. Situa-se no grupo 7 (7B) da classificação periódica dos elementos, sendo um metal de transição externa, de coloração cinza clara, quebradiço, com alto grau de dureza. À temperatura ambiente o elemento puro encontra-se no estado sólido. Quimicamente ativo, é corrosível pelo ar húmido e por várias soluções. Apresenta boa solubilidade em ácidos inorgânicos diluídos. Como metal, o manganês é similar ao ferro nas suas propriedades físico-químicas. Porém, no ambiente, o manganês aparece não como um metal, mas como um componente de uma grande variedade de minerais, incluindo óxidos, carbonatos, fosfatos e silicatos (Ruppenthal, 2013).



Figura 15-Manganês (Wikipédia, Acesso 13 outubro 2021).

O manganês é um dos elementos mais abundantes na crosta terrestre e encontra-se largamente distribuído em solos, sedimentos, rochas, água e materiais biológicos. É importante para o crescimento das plantas e em funções vitais dos animais superiores. O manganês também apresenta aplicações industriais relevantes.

Dentro do grande número de compostos de manganês, destacam-se os sais manganatos e permanganatos. O permanganato de potássio é muito usado pelas suas propriedades oxidantes e desinfetantes. Mais de 95% do manganês utilizado industrialmente é consumido na indústria metalúrgica, sobretudo na redução do aço. Outros usos desse metal incluem mineração, produção e uso de fertilizantes (sulfato), fungicidas, secantes em tintas e vernizes (naftenato e resinato), fabrico de pilhas secas (dióxido de manganês), na produção de vidros, de cerâmica e de produtos farmacêuticos (Ruppenthal, 2013).

2.3.5 Outros tipos de contaminação de solos

Outro tipo de contaminantes, que podem ser encontrados nos solos, são os poluentes radioativos ou nucleares, classificados como os poluentes imediatamente mais perigosos. O nome destes contaminantes, deriva do facto de emitirem energia ou radiação em seu redor. A radiação existe naturalmente no ambiente. O exemplo mais comum é o caso do granito, o qual liberta radão, que é um gás radioativo, que resulta do decaimento do urânio (e tório) presente na rocha (claro que em doses muito pequenas urânio~5ppm;tório12ppm). A radiação, apesar de existir naturalmente no ambiente, quando excessivamente liberada, devido as ações antrópicas, resulta que estes contaminantes sejam mais comuns no ambiente podendo originar mutações em vários organismos, como por exemplo tumores malignos (Ecycle, www.ecycle.com.br, acesso 25 Maio 2021).

A radioatividade é um fenômeno relacionado com o decaimento de núcleos atômicos instáveis, com excesso de energia e/ou massa. Estes núcleos, que se decompõem espontaneamente, emitem radiação ionizante na forma de ondas eletromagnéticas (raios gama) ou sob forma de fluxos de partículas subatômicas (alfa, beta ou neutrão):

- **Partículas alfa** são emitidas pelo núcleo do hélio por vários radionuclídeos com altos números atômicos (p. ex., plutônio, rádio, urânio) que não podem penetrar na pele além de uma profundidade rasa (< 0,1 mm).
- **Partículas beta** são elétrons de alta energia emitidas pelo núcleo de átomos instáveis (por exemplo césio 137, iodo131). Tais partículas podem penetrar mais profundamente na pele (1 a 2 cm) e causar dano epitelial e subepitelial.
- **Neutrões** são partículas eletricamente neutras, projetadas pelo núcleo de alguns radionuclídeos (por exemplo califórnio 252) e produzidas em reações nucleares (em reatores nucleares); a sua profundidade de penetração no tecido varia de poucos milímetros a dezenas de centímetros, dependendo da sua energia. Colidem com os núcleos dos átomos estáveis, resultando em emissão de prótons energéticos, partículas alfa e beta e radiação gama.
- **Radiação gama e raios X** são radiações eletromagnéticas de alta energia (fotões) e frequência que podem penetrar na pele vários centímetros. Enquanto alguns fotões depositam toda sua energia no corpo, outros podem somente depositar uma fração de sua energia e outros podem, ainda, passar completamente pelo corpo sem nenhuma interação (Jerold, 2017).

Nos ecossistemas terrestres, o solo corresponde à maior biblioteca de receptores de radionuclídeos emitidos. Como os ciclos de nutrientes e de energia têm uma conexão entre componentes abióticos e biológicos, os solos contaminados com radionuclídeos perdem a sua capacidade de produzir culturas agrícolas de boa qualidade, logo os mesmos podem ser classificados como degradados. Estes solos degradados, devido à ação de contaminantes radioativos, são considerados um tipo especial de poluição química (Smičiklas & Šlivić-Ivanović, 2016)

Eventos nucleares levam a consequências significativas para o ser humano, o meio ambiente e estruturas antrópicas. Como exemplos da nossa História, referem-se os casos de Chernobyl (Ucrânia, 1986) e Fukushima (Japão, 2011). Estes dois eventos causaram

contaminações a uma larga escala. No caso de Chernobyl cerca de 40% da Europa foi exposta ao elemento Césio 137, em cerca de 4-40 kBq/m² (Bq-Becquerel, unidade no S.I; corresponde à desintegração nuclear por segundo). As proporções destes eventos podem ser ilustrados por exemplo, comparando as contaminações radioativas presentes no solo no antes e pós acidente. Novamente no caso de Chernobyl em 1993 eram cerca de 3500 vezes superiores, comparativamente às leituras efetuadas antes do acidente nuclear (Smičiklas; Šlivić-Ivanović, 2016).

2.3.6 Síntese de contaminantes dos solos

Na seguinte tabela (5) sintetizam-se as diferentes formas de contaminantes dos solos descritas nos pontos anteriores.

Tabela 6-Tabela de resumo de contaminantes do solo

Resíduos sólidos	BTEX		Efluentes industriais	Metais Pesados	Outros tipos
Urbanos	Benzeno		Produção de papel	Chumbo (Pb)	Partículas alfa
Estabelecimentos comerciais				Zinco (Zn)	
Industriais	Tolueno		Refinarias	Mercúrio (Hg)	Partículas beta
Hospitalares			Mineração	Cádmio (Cd)	
Construção civil	Etil Benzeno		Curtumes	Arsénio (As)	Neutrões
Nucleares			Farmacêuticas	Crómio (Cr)	
Agrosilvopastoris	Xileno	o	Produção de açúcar	Cobre (Cu)	Radiação gama
Portuários, aeroportuários e de outras áreas alfandegárias		m		Níquel (Ni)	
		p		Manganês (Mg)	

2.4 Remediação de solos contaminados

2.4.1 Introdução

A remediação de áreas contaminadas, consiste na aplicação de uma ou mais técnica/s numa determinada área, a qual se encontra contaminada, e esta remediação, como o nome indica, tem como objetivo, eliminar ou neutralizar, ou pelo menos atenuar os danos causados pelos poluentes existentes na área, para que estes solos possam ser reutilizados tanto pelos seres humanos, como pelos restantes seres vivos.

Nas últimas décadas, várias tecnologias de remediação do solo terão sido desenvolvidas. Estas tecnologias têm por base princípios físicos, químicos e biológicos para a remoção ou eliminação dos contaminantes presentes no solo. Temos como um exemplo de uma tecnologia a lavagem do solo, a qual usa uma solução aquosa para dissolver os contaminantes no solo e posteriormente estabilizá-los.

No que toca a métodos de remediação, estes podem ser separados em dois grandes tipos que são os métodos “ex-situ” e os “in-situ”. Nos métodos “ex-situ”, a contaminação, não é tratada no local, existindo a remoção do solo, transporte do mesmo e eventual tratamento do mesmo. Ou seja o tratamento não é efetuado no local original da contaminação. Estes métodos, apesar de serem geralmente mais dispendiosos, permitem um controlo mais eficaz dos processos de tratamento e, normalmente, são mais céleres relativamente aos métodos “in-situ”. Nos métodos “in-situ”, não ocorre extração do solo contaminado, sendo a contaminação tratada no local original, levando a impactos ambientais menores. Adicionalmente a estas técnicas, geralmente, estão associados custos inferiores, comparativamente aos métodos “ex-situ” (Lima, 2017).

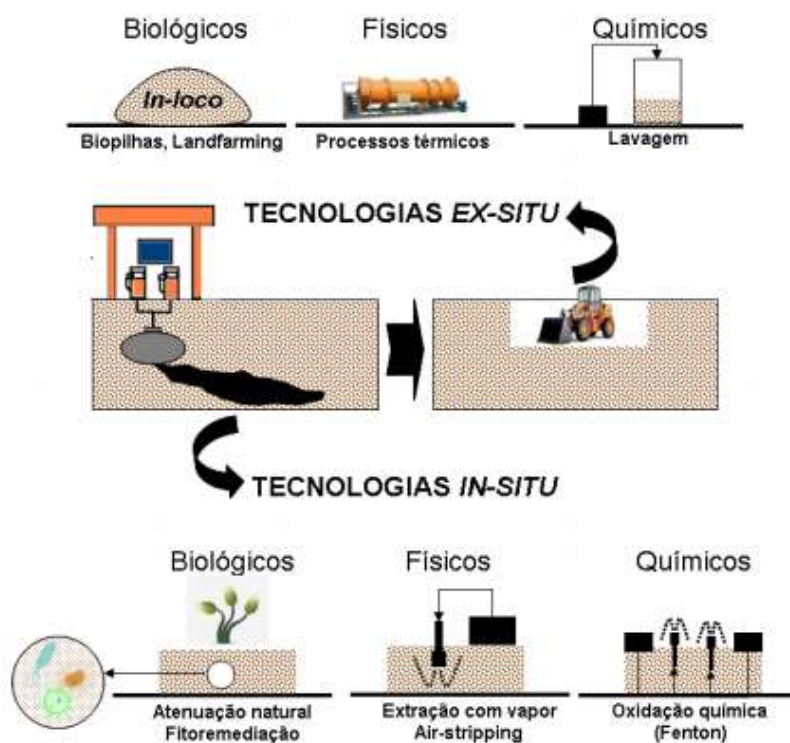


Figura 16-Exemplos de processos de remediação (fonte: Santos, 2015)

2.4.2 Tipos de remediação

Hoje em dia existem disponíveis, diversas tecnologias de remediação, as quais podem ser aplicadas de diversas formas. Estas podem ser aplicadas separadamente, em conjunto, ou sequencialmente. Existem várias maneiras de agrupar estas tecnologias, sendo uma delas a segregação nos grupos de tecnologias:

-
- **Biológicas** que usam processos biológicos para degradar ou remover os contaminantes do solo;
 - **Processos térmicos** que recorrem ao empenho de altas temperaturas para dissolver ou destruir contaminantes;
 - **Físico-químicas** que utilizam diversas propriedades físicas e químicas dos contaminantes, ou do solo para tratar os contaminantes presentes nos solos.

2.4.2.1 Processos biológicos

O objetivo principal das técnicas biológicas é utilizar os poluentes como uma fonte de energia para estimular o crescimento de microrganismos criando um ambiente propício para tal. Geralmente, para que este ambiente seja criado, é necessário proporcionar uma combinação de oxigénio, nutriente e humidade. Também será necessário controlar a temperatura e o pH do solo. Por vezes, os microrganismos adaptados para a degradação de contaminantes específicos são aplicados de forma a melhorar o processo de remediação.

A taxa à qual os microrganismos degradam os contaminantes, é influenciada pelo tipo e concentração do contaminante, da presença de oxigénio, da humidade, temperatura, pH do solo, presença de nutrientes e dos processos de bioacumulação e co-metabolismo. As técnicas biológicas são igualmente sensíveis a certos parâmetros do solo. Por exemplo, a presença de argilas ou de matéria orgânica no solo pode causar variações no desempenho do processo de tratamento biológico (Ribeiro, 2013).

As principais técnicas biológicas são descritas seguidamente.

- a) **Biorremediação:** pode ser considerada como uma tecnologia para tratar locais contaminados mediante o uso de agentes biológicos capazes de modificar ou decompor os poluentes alvos. Estratégias de biorremediação incluem: a utilização de microrganismos autóctones, ou seja, do próprio local, sem qualquer interferência de tecnologias ativas de remediação (biorremediação intrínseca ou natural); a adição de agentes estimulantes como nutrientes, oxigénio e biossurfactantes (bioestimulação); e a inoculação de consórcios microbianos enriquecidos (bioaumento). O benefício desses processos é a mineralização do poluente, isto é, a transformação em gás carbónico, água e biomassa (Mariano, 2006).
- a1) **Bioaumento:** é um processo de biorremediação que utiliza microrganismos autóctones muitas vezes encontrados em produtos biotecnológicos comercializados. Esse

processo é necessário quando um local contaminado não possui ou possui em quantidades insuficientes, os requisitos necessários para que o processo de degradação ocorra. Assim, esta técnica tem como objetivo acelerar ou estimular a biodegradação através da intensificação do crescimento microbiano tanto quanto também pela otimização do ambiente em questão.

a2) Bioestímulo: a bioestimulação de populações de microrganismos autóctones com o objetivo de aumentar as taxas de biodegradação é frequentemente empregada em projetos de biorremediação. Para se utilizar o processo de bioestimulação, deve-se demonstrar que existe no local contaminado uma população natural de microrganismos capazes de biodegradar os contaminantes presentes e que as condições ambientais são insuficientes para se obter altas taxas de atividade microbológica dessa população. Medidas das propriedades físicas e químicas de amostras do local podem revelar as limitações físico-químicas para a atividade microbológica, a qual pode então ser modelada para indicar os fatores críticos limitantes (Mariano, 2006).

b) Atenuação natural: pode ser definida como os processos naturais de diluição, dispersão, precipitação, absorção, biodegradação, bioacumulação, volatilização e ou estabilização química e bioquímica de contaminantes para que eles apresentem uma menor ameaça ao meio ambiente. Ocorrendo, geralmente em ambientes terrestres ou aquáticos, o que reduz efetivamente a mobilidade dos contaminantes, biodisponibilidade, toxicidade ou concentração a níveis que não sejam excessivamente prejudiciais à saúde e aos ecossistemas humanos. A atenuação natural é uma das várias opções de economia de custos para o tratamento de ambientes poluídos, nos quais microrganismos contribuem para a degradação de poluentes (Sciencedirect, www.sciencedirect.com, acesso 22 maio 2021).

c) Biorreatores: o solo contaminado é misturado com água em proporções pré-determinadas (10 a 30 % de sólidos em peso) e com microrganismos, que podem ser adicionados se uma população adequada não estiver presente. É uma técnica simples e versátil, podendo ser empregada para degradar a maioria dos compostos derivados do petróleo. Por ser um sistema fechado, pode-se controlar a temperatura, humidade, pH, oxigénio, nutrientes e a emissão de compostos voláteis. Entretanto, o fracionamento do solo antes de colocá-lo no reator e à desidratação do mesmo após o tratamento pode traduzir-se num processo difícil e caro (Santos, 2015).

d) Biopilhas: envolve o empilhamento do solo contaminado e a estimulação da atividade microbiana (aeróbia) por meio de uma aeração eficiente. A humidade, calor, nutrientes,

oxigênio e pH são controlados para favorecer a proliferação de bactérias com capacidade para degradar os hidrocarbonetos adsorvidos nas partículas de solo. Nesse sistema, os gases gerados e o lixiviado são recolhidos e precisam ser tratados antes de encaminhados para o sistema das águas residuais. Para situações de altas concentrações de contaminante o processo poderá não ser eficaz (Santos, 2015).

- e) **Landfarming:** consiste na redução da concentração de hidrocarbonetos, através de processos associados à biorremediação, de uma fração superficial de solo contaminado, geralmente, de uma camada que pode chegar até um metro e meio de profundidade. É importante que o solo seja colocado sobre uma tela impermeabilizada, com sistema de drenagem e de recolha de lixiviados para tratamento adequado, de modo a prevenir a transferência de contaminação para outros compartimentos do ecossistema. Neste processo é estimulada a atividade microbiana aeróbia do solo, através de arejamento e/ou adição de nutrientes, enzimas e controlo do teor em água. Esta técnica é utilizada com sucesso na indústria petrolífera há mais de 25 anos. Ao contrário dos hidrocarbonetos mais leves, encontrados predominantemente em gasolinas e gasóleos, os hidrocarbonetos mais pesados não sofrem evaporação durante o arejamento, mas são degradados pelos microrganismos presentes no solo. Estes hidrocarbonetos, com peso molecular elevado, como os encontrados em lubrificantes, exigem períodos de tempo de remediação mais longos, que podem variar entre seis meses e dois anos (Silva, 2008).

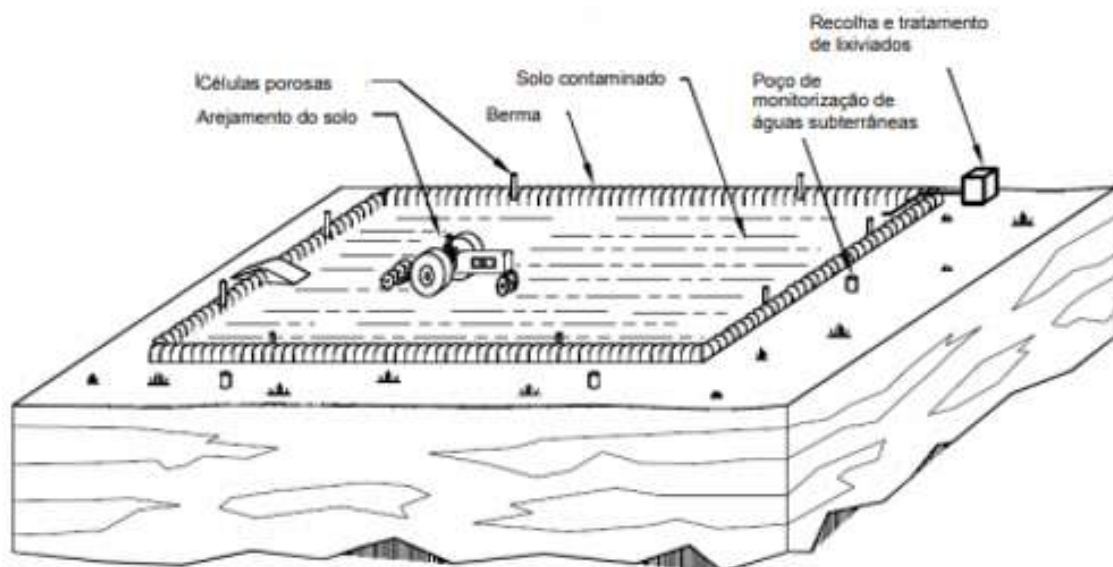


Figura 17-Exemplo da técnica de Landfarming (Adaptado de: EPA, 1994)

f) Fitorremediação: corresponde a uma tecnologia de remediação emergente que utiliza plantas para degradar, extrair, conter ou imobilizar contaminantes do solo ou da água. Os mecanismos que ocorrem durante o processo de fitorremediação incluem a extração do contaminante do solo, a concentração desse contaminante no tecido da planta, a degradação do contaminante por processos bióticos ou abióticos, a volatilização ou a transpiração de contaminantes voláteis da planta para o ar e a imobilização do contaminante na zona das raízes (Albergaria, 2010). A fitorremediação é uma abordagem ecologicamente correta que pode ser uma medida de mitigação bem-sucedida para re-vegetar solo poluído por metais pesados de uma forma econômica. É uma abordagem que envolve o uso de plantas para extrair e remover poluentes elementares ou diminuir sua biodisponibilidade no solo. As plantas têm a capacidade de absorver compostos iônicos no solo, mesmo em baixas concentrações, no seu sistema radicular. As plantas estendem seu sistema radicular na matriz do solo e estabelecem o ecossistema da rizosfera para acumular metais pesados e modular sua biodisponibilidade, recuperando assim o solo poluído e estabilizando a fertilidade do solo (Yan et al., 2020).

2.4.2.2 Processos físico químicos

As tecnologias de tratamento físico, removem os contaminantes da zona influenciada (solo ou água subterrânea), ficando estes concentrados, para tratamento posterior (por exemplo: químico ou térmico) ou deposição em aterro adequado. Os processos físicos podem ser utilizados para tratar uma vasta gama de contaminantes orgânicos em diferentes ecossistemas, podendo ser utilizados *"in-situ"* ou *"ex-situ"*.

Os processos químicos utilizam um conjunto de reações químicas para destruir, mobilizar, fixar ou neutralizar os contaminantes, podendo ser utilizados *"in-situ"* ou *"ex-situ"*. A mobilização pode ser realizada através da aplicação de uma solução aquosa ou de um solvente orgânico, de modo a concentrar o contaminante para posterior tratamento ou deposição em aterro adequado. Os tratamentos químicos, que usam uma solução aquosa para mobilizar os contaminantes do solo, são geralmente combinados com os sistemas de tratamento físicos, tal como a Lavagem de Solo. (Silva, 2008). Os principais processos químicos são descritos seguidamente:

-
- a) **Air Sparging:** é uma tecnologia de remediação “*in-situ*” que reduz as concentrações de hidrocarbonetos voláteis que se encontram adsorvidos no solo e dissolvidos na água subterrânea. Consiste na injeção de ar na zona saturada do solo, permitindo a transferência da fase dissolvida dos hidrocarbonetos voláteis para a fase de vapor. Por outro lado, a injeção de ar também promove a biodegradação dos contaminantes durante a migração dos voláteis da zona saturada para a zona não saturada do solo. Esta tecnologia é geralmente combinada com a de Extração de Vapor para extrair a fase de vapor que se encontra na zona não saturada do solo e não foi biodegradada. De um modo geral, o Air Sparging é mais eficaz para contaminantes de elevada volatilidade e reduzida solubilidade e para solos com grande permeabilidade (Silva, 2008).
- b) **Soil Vapor Extraction:** a extração de vapor do solo (SVE) usa pressão de vácuo para remover contaminantes voláteis e alguns semi-voláteis (VOCs e SVOCs) do solo. O gás que sai do solo pode ser tratado ou destruído, dependendo dos regulamentos locais e estaduais de descarga de ar. As bombas de água subterrânea podem ser usadas em conjunto com o SVE para impedir que as águas subterrâneas subam para a zona não saturada como resultado da pressão do vácuo ou para aumentar a profundidade da zona não saturada. Esta área, chamada de franja capilar, é, frequentemente, altamente contaminada, pois contém produtos químicos não dissolvidos, produtos químicos mais leves que a água e vapores, que escaparam das águas subterrâneas, dissolvidos abaixo. Em solos onde a contaminação é profunda, ou quando a permeabilidade é baixa, a injeção de ar no solo ajuda na extração. Durante a operação em grande escala, o SVE pode ser executado intermitentemente (operação pulsada) quando a taxa de remoção de massa extraída atingir um nível de estado estacionário. Como o processo envolve o fluxo contínuo de ar através do solo, muitas vezes promove a biodegradação de compostos orgânicos de baixa volatilidade que podem estar presentes (CPEO, acesso 22 maio 2021).
- c) **Activated carbon adsorption:** adsorção é o processo de ligação e remoção de certas substâncias de uma solução através do uso de um adsorvente. O carvão ativado é o adsorvente mais usado no tratamento de solos, água, águas residuais municipais e águas residuais industriais orgânicas, devido à sua capacidade de adsorver uma grande variedade de compostos orgânicos, bem como à viabilidade económica do seu uso. A capacidade do carvão ativado para remover contaminantes não se baseia na quantidade de carbono utilizada, mas na capacidade do carbono de adsorver o contaminante. Quanto maior a capacidade, maior a quantidade de contaminantes que

o carbono absorve por unidade de volume. Como o carbono natural não é capaz de tratar todos os contaminantes, existem diferentes produtos de carbono que removem contaminantes específicos (GCC, acesso 22 maio 2021).

- d) **Solidificação/estabilização:** podem ser utilizadas para tratamento in-situ de solos contaminados, utilizando-se agentes químicos que encapsulam ou estabilizam os contaminantes evitando a sua migração. Este processo tem eficácia limitada para pesticidas e contaminantes orgânicos. A técnica necessita uma monitorização a longo prazo, para certificar que os contaminantes estão efetivamente imobilizados (Santos, 2015).
- e) **Lavagem de solo:** o solo é lavado com solvente adequado para remover cada tipo de contaminante. Alguns equipamentos para lavagem de solo encontram-se patenteados e estão em uso nos EUA e permitem tratamento no local da contaminação. As desvantagens deste processo é que os equipamentos são muito grandes, necessitam de muitos profissionais qualificados e, no final do processo, há uma enorme quantidade de líquido contaminado, que deverá ser transportado para local de tratamento, tornando, por essa razão, o custo total do processo muito elevado (Almeida, 2004).

2.4.2.3 Processos térmicos

A descontaminação dos solos, através do tratamento térmico, envolve a evaporação dos contaminantes através da utilização de temperaturas que variam entre os 200°C e os 700°C. Ao mesmo tempo, ocorrem, também, transformações químicas no solo.

As técnicas térmicas podem basear-se na injeção de vapor e ar quente, ou no aquecimento através de resistências elétricas, eletromagnéticas, fibras óticas ou radiofrequência, utilizadas para aumentar a taxa de volatilização de compostos semi-voláteis facilitando a extração dos contaminantes. São técnicas utilizadas essencialmente na remediação de solos contaminados por compostos orgânicos voláteis.

Os solos são aquecidos a uma temperatura suficiente para originar a desadsorção dos compostos orgânicos do solo e a sua volatilização, transferindo-se para a fase gasosa de arrastamento e transporte. Nesta primeira fase impede-se a combustão dos contaminantes que, posteriormente, serão destruídos numa câmara de combustão autónoma para a fase gasosa (Ribeiro, 2013).

As técnicas térmicas mais frequentes são descritas seguidamente.

-
- a) **Desadsorção térmica:** o solo contaminado é aquecido para volatilizar a água e os contaminantes orgânicos que são transportados para um sistema de tratamento de gás. O tempo de tratamento é curto e tem mostrado eficiências superiores a 99 %, independente da concentração de contaminantes. Porém, a eficiência do processo pode ser comprometida pela presença de água e alto teor de argila e lodo (Santos, 2015).
- b) **Incineração:** baseia-se na utilização de elevadas temperaturas (870-1200°C) para induzir à combustão, na presença de oxigênio, dos contaminantes presentes no solo. Esta técnica apresenta numerosas desvantagens na remediação de solos contaminados por metais pesados, das quais se destacam (Ribeiro, 2013):
- os metais pesados podem produzir cinzas que requerem estabilização;
 - os metais pesados voláteis, incluindo o Pb, Cd, Hg e As, necessitam de ser recolhidos no processo de combustão, sendo necessária a instalação de sistemas de limpeza de gases;
 - os metais podem reagir com outros elementos, como o cloro e o enxofre, levando à formação de produtos mais voláteis e mais tóxicos do que os originais.

2.4.2.4 Processos de Contenção e Confinamento

Como o nome indica, estes processos, impedem ou pelo menos reduzem a propagação de um dado contaminante num meio. Isto é possível a partir da inserção de uma barreira externa (contenção), ou a partir da alteração das propriedades físicas do solo (confinamento). As técnicas de ambos são as seguintes:

- Contenção
 - a) Barreiras verticais
 - b) Barreiras horizontais
 - c) Barreiras Hidráulicas
 - d) Barreiras de solo seco
 - e) Selagem profunda (bottom kill)
- Confinamento
 - a) Estabilização físico-química
 - b) Injeção de solidificante
 - c) Vitrificação

2.4.3 Síntese de processos de remediação

Na Tabela 6, e na figura 18, que se seguem, sintetizam-se as características das diferentes tecnologias de remediação dos solos contaminados descritas nos pontos anteriores, sendo a tabela 6, uma tabela resumo e a figura 18 um fluxograma para obter uma possível solução para um dado contaminante.

Tabela 7-Tabela de resumo de processos de remediação

Tipo de técnica de reparação	Técnica de reparação	Aplicação	Recurso Natural	Tipo de poluente a tratar
Contenção	Barreiras verticais	In situ	Solo Água Subterrânea	Poluentes orgânicos e inorgânicos
	Barreiras Horizontais	In situ	Solo Água Subterrânea	Poluentes orgânicos e inorgânicos
	Barreiras Hidráulicas	In situ	Solo	Poluentes orgânicos e inorgânicos
	Barreiras de solo seco	In situ	Solo	Poluentes orgânicos e inorgânicos
	Selagem profunda (bottom kill)	In situ	Solo	Poluentes orgânicos e inorgânicos
Confinamento	Estabilização Físico-química	Ex situ	Solo Água Subterrânea	Principalmente Compostos inorgânicos como metais pesados. Limitado para Poluentes orgânicos e agrotóxicos
	Injeção de solidificantes	In situ	Solo	Principalmente Compostos inorgânicos como metais pesados. Eficácia muito menor para Compostos orgânicos, semivoláteis e pesticidas
	Vitrificação	Ex situ/ In situ	Solo	Compostos inorgânicos (principalmente de Hg, Pb, Cd, As, Ba, Cr e cianeto) e alguns orgânicos
Biológicos	Biorremediação (natural)	In situ	Solo Água Subterrânea	Hidrocarbonetos de petróleo, compostos orgânicos clorados
	Bioaumentação	In situ	Solo Água Subterrânea	Hidrocarbonetos de petróleo, compostos orgânicos clorados
	Bioestímulo	In situ	Solo Água Subterrânea	Hidrocarbonetos de petróleo, compostos orgânicos clorados
	Atenuação natural	In situ	Solo Água Subterrânea	BTEX, HCC e compostos inorgânicos
	Biorreatores	Ex situ	Solo	Compostos orgânicos
	Biopilhas	Ex situ	Solo	Derivados de petróleo, compostos orgânicos voláteis halogenados e não-halogenados, semi compostos orgânicos voláteis e pesticidas
	Landfarming	Ex situ	Solo	Hidrocarbonetos de petróleo
	Fitorremediação	In situ	Solo	Metais, pesticidas, solventes, explosivos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos
Físico-Químicos	Air Sparging	In situ	Água Subterrânea	Compostos orgânicos, principalmente os mais voláteis
	Soil Vapor Extraction	In Situ	Solo	Compostos orgânicos
	Activated Carbon Adsorption	Ex situ	Águas	Compostos orgânicos
	Solidificação/ Estabilização	In Situ	Solo	Contaminantes inorgânicos
	Lavagem de solo	Ex situ	Solo	Compostos orgânicos semivoláteis, Hidrocarbonetos de petróleo, cianeto e metais
Térmicos	Desadsorção térmica	Ex situ	Solo	Compostos orgânicos voláteis não halogenados, combustíveis, alguns compostos orgânicos semi-voláteis, HAP, PCV, pesticidas e metais voláteis
	Incineração	Ex situ	Solo	Explosivos, HCC, OCB e dioxinas

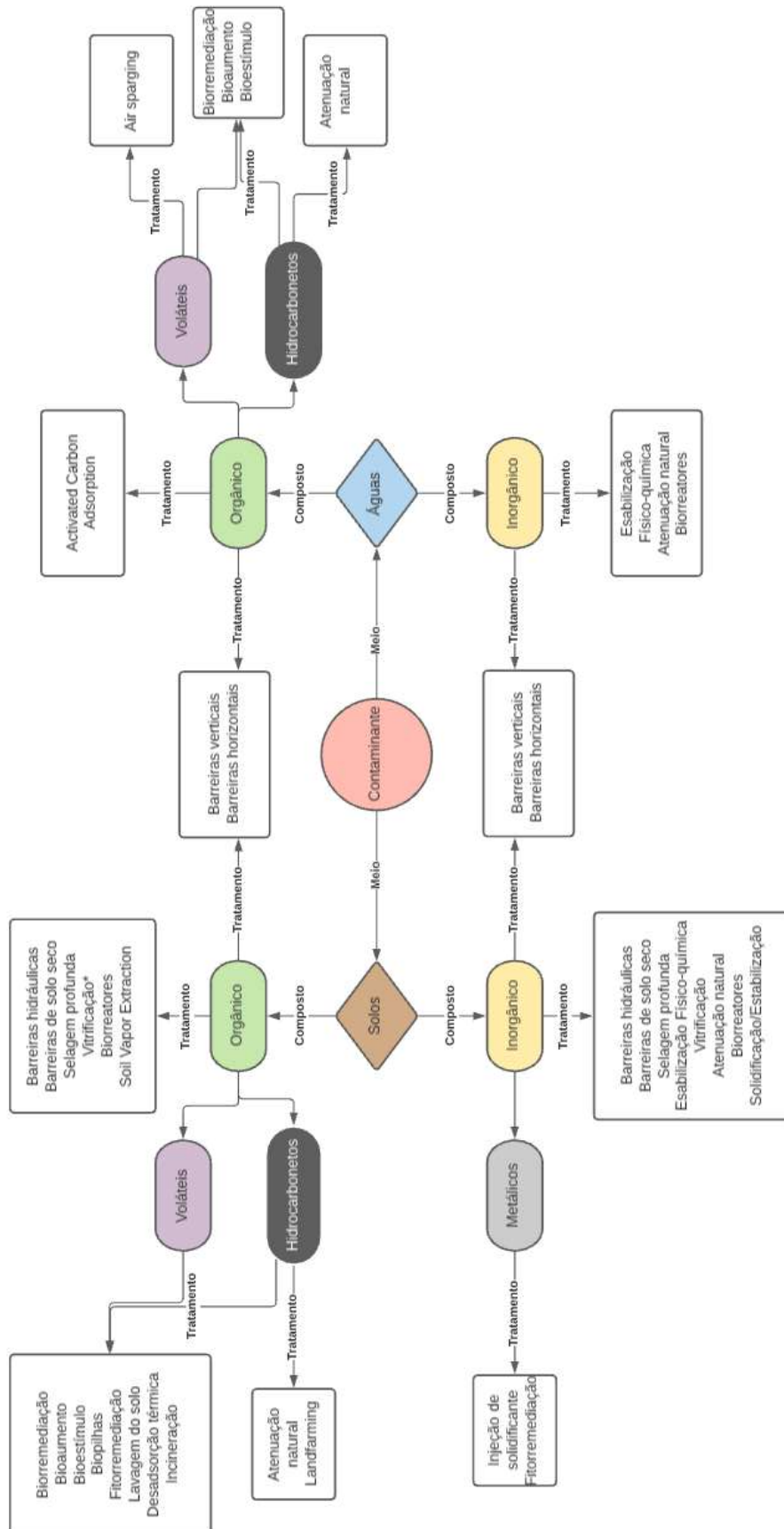


Figura 18-Fluxograma de seleção de tratamento

2.5 Monitorização

Nos casos de contaminação, após um processo de remediação ter tido início, é necessário que a zona desta contaminação seja monitorizada.

A monitorização tem como objetivo principal conhecer a evolução temporal e espacial dos contaminantes no meio afetado, de forma a verificar a eficácia do método de remediação utilizado. No entanto, este não é o único objetivo da monitorização, sendo que esta também serve um propósito de:

- evolução das condições locais, as quais podem influenciar a avaliação de riscos, nomeadamente se há alterações no terreno monitorizado, como introdução de incógnitas como novos contaminantes no sistema, se surgem “vias de migração” ou novos “recetores” desta contaminação.
- migração dos contaminantes, através de medições (nível freático, gradiente hidráulico, direção de fluxo, condições geoquímicas, direção e intensidade dos ventos, etc), com vista a verificar, se este contaminante se mantém imobilizado/contido ao máximo no sistema.
- progresso dos trabalhos de remediação, ou seja, se o método empregue está ou não a ser efetivo.

Para o processo de monitorização ser efetuado, é necessário haver um plano para o mesmo, no qual deve constar:

- definição da rede de monitorização
- perímetros e proteção
- programa analítico e valores objetivo
- periodicidade de recolha de amostras no terreno
- relatórios periódicos de monitorização

Caso durante o processo de monitorização sejam detetadas falhas ou erros não espectáveis, estas devem ser corrigidas o mais rapidamente possível de forma a mitigar mais danos ao ambiente e não haver um gasto maior de recursos.

Capítulo III

Caso de Estudio

3 Caso de estudo

A área objeto de estudo corresponde a um terreno baldio, inserido num meio bastante industrializada, com tráfego rodoviário circundante. O terreno em questão terá tido uso agrícola como campo de cultivo. Posteriormente terá sido deixado ao abandono e, dos indícios recolhidos, infere-se que foi destino de depósito de aterro, pretendendo-se avaliar a sua adequabilidade para reutilização.

Atendendo a que o local corresponde a um empreendimento privado, com reserva de divulgação, neste descritivo foram propositadamente omitidas as referências que permitam a sua identificação objetiva. Assim sendo este texto descritivo apresenta unicamente dados genéricos do mesmo. Contudo, tem-se o cuidado que as mesmas, apesar de gerais, permitem caracterizar adequadamente o local.

3.1 Enquadramento

3.1.1 -Geográfico

A zona em causa é localizada na área metropolitana da grande Lisboa, a Norte do rio Tejo, representada ao nível regional na imagem de satélite da figura 19.

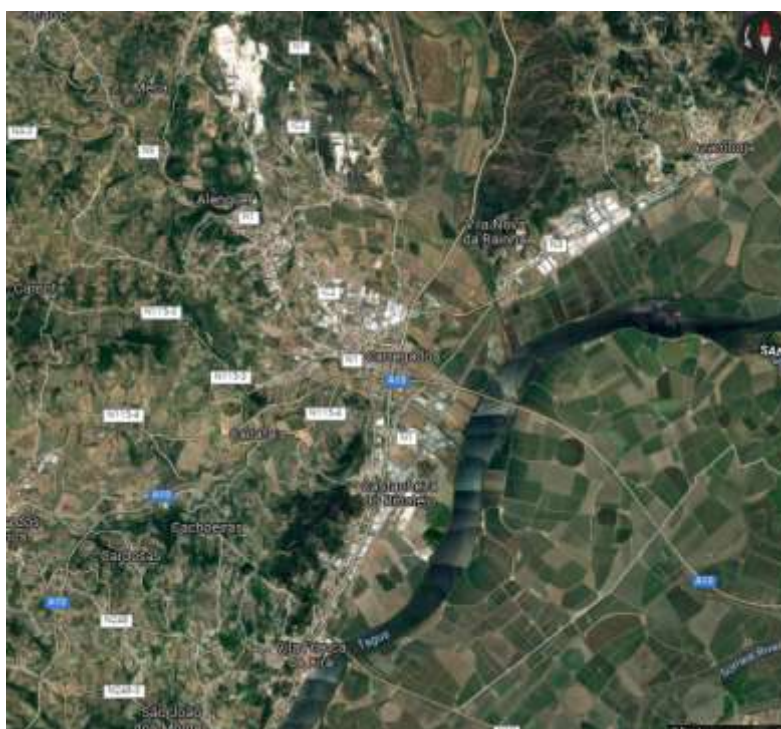


Figura 19-Foto de satélite das zonas na proximidade da margem norte do rio Tejo (Fonte: Google earth 2021)

A nível topográfico, o terreno em estudo, localiza-se numa zona bastante plana, com pouca variação de cotas, entre os 5 e os 7m.

3.1.2 -Geológico

A nível da geologia regional, na área predominam rochas calcárias. Localmente na zona, devido à proximidade do rio Tejo, as formações prevalentes são aluviões e depósitos de antigos terraços fluviais Plio-Plistocénicos, o que pode ser observado na imagem extraída a partir de um extrato pertencente à folha nº30-D à escala 1/50 000 da Carta Geológica de Portugal.

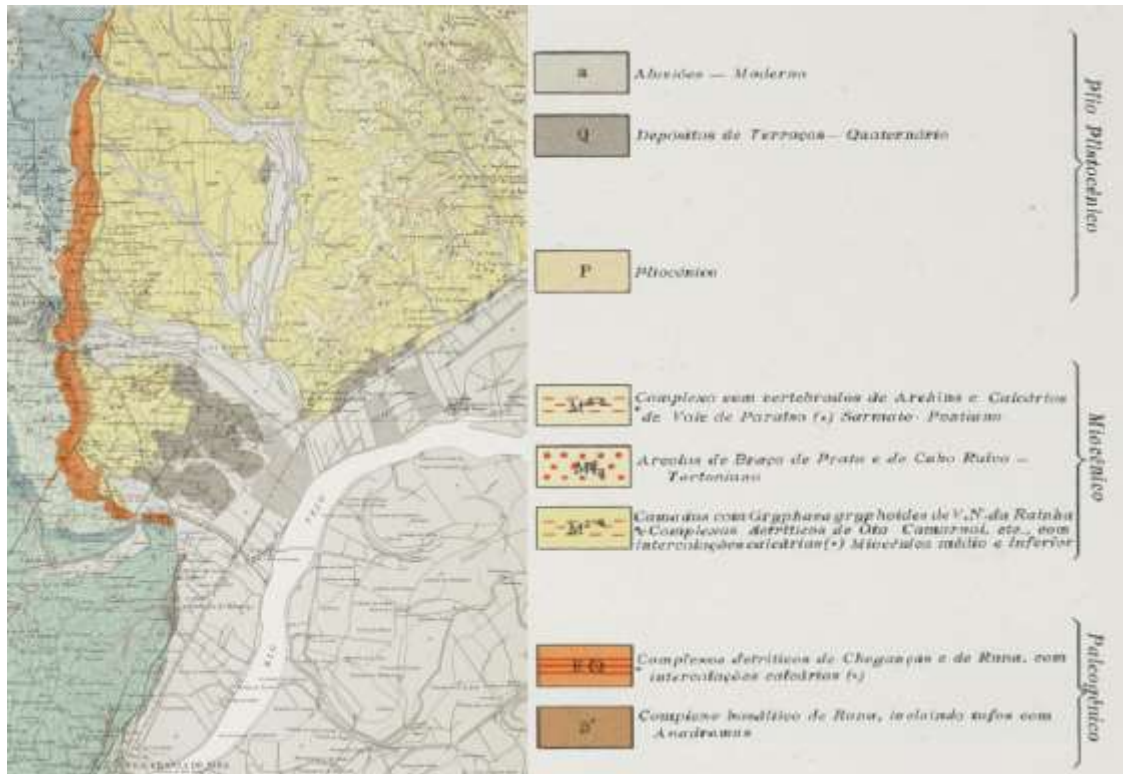


Figura 20-Segmento Carta Geológica de Portugal, Folha nº30-D à escala 1/50 000. (LNEG, 2021)

3.1.3-Ambiental

A nível ambiental a área, corresponde a uma zona muito ligada à indústria e logística e distribuição, com tráfego de veículos pesados. Sendo uma zona fortemente industrial possui também uma componente mais rústica, em que são visíveis áreas agrícolas que pode resultar noutras fontes de contaminação, associada a práticas agrícolas, como seja o caso da agricultura intensiva ou o uso de fertilizantes e pesticidas nefastos para os seres vivos e obviamente o ambiente.

3.2 Metodologia

3.2.1 Introdução

Para a realização deste trabalho, foi desenvolvido um programa de trabalhos, constituídos por componentes “in-situ” e laboratoriais ao longo de três fases.

No campo foram realizadas 27 sondagens, ao longo das três fases, sendo que de dezassete (17) destas foram obtidas duas amostras, por sondagem e das restantes dez (10), foi apenas obtida uma amostra por sondagem.

As sondagens foram executadas à percussão, utilizando um martelo pneumático “*Atlas Copco Cobra TTe*”, o qual era colocado alinhado com os amostradores num eixo vertical. Estes amostradores, com 1 metro de comprimento, de janela aberta, a qual se encontrava segmentada em duas secções cada uma com 50cm. Foram usados amostradores com diferentes diâmetros, sendo que o mais utilizado possuía 60mm de diâmetro.

Nas fases iniciais foram sondados os dois (2) metros iniciais do terreno e nas fases finais, foram apenas realizadas sondagens no 1º metro do terreno.

Destas sondagens foram obtidas 44 amostras, sobre as quais foram realizados ensaios laboratoriais de lixiviação e ensaios de determinação da presença de três metais pesados: chumbo, zinco e cádmio (Pb,Zn,Cd). Os ensaios de lixiviação terão sido principalmente usados no estudo inicial da área, o qual foi realizado por uma entidade externa e na fase final dos estudos. Nas restantes fases (1ª e 2ª) ter-se-á recorrido principalmente ensaios à avaliação da presença dos metais.

Conforme já descrito o programa de trabalhos desenvolvido, e genericamente acima descrito, foi precedido por uma campanha independente de estudos geológico-geotécnicos, para a avaliação dos assentamentos expectáveis no terreno. Destes ensaios revelaram-se alguns indícios de contaminação dos solos que se procurou confirmar com as fases subsequentes analisadas nos pontos seguintes.

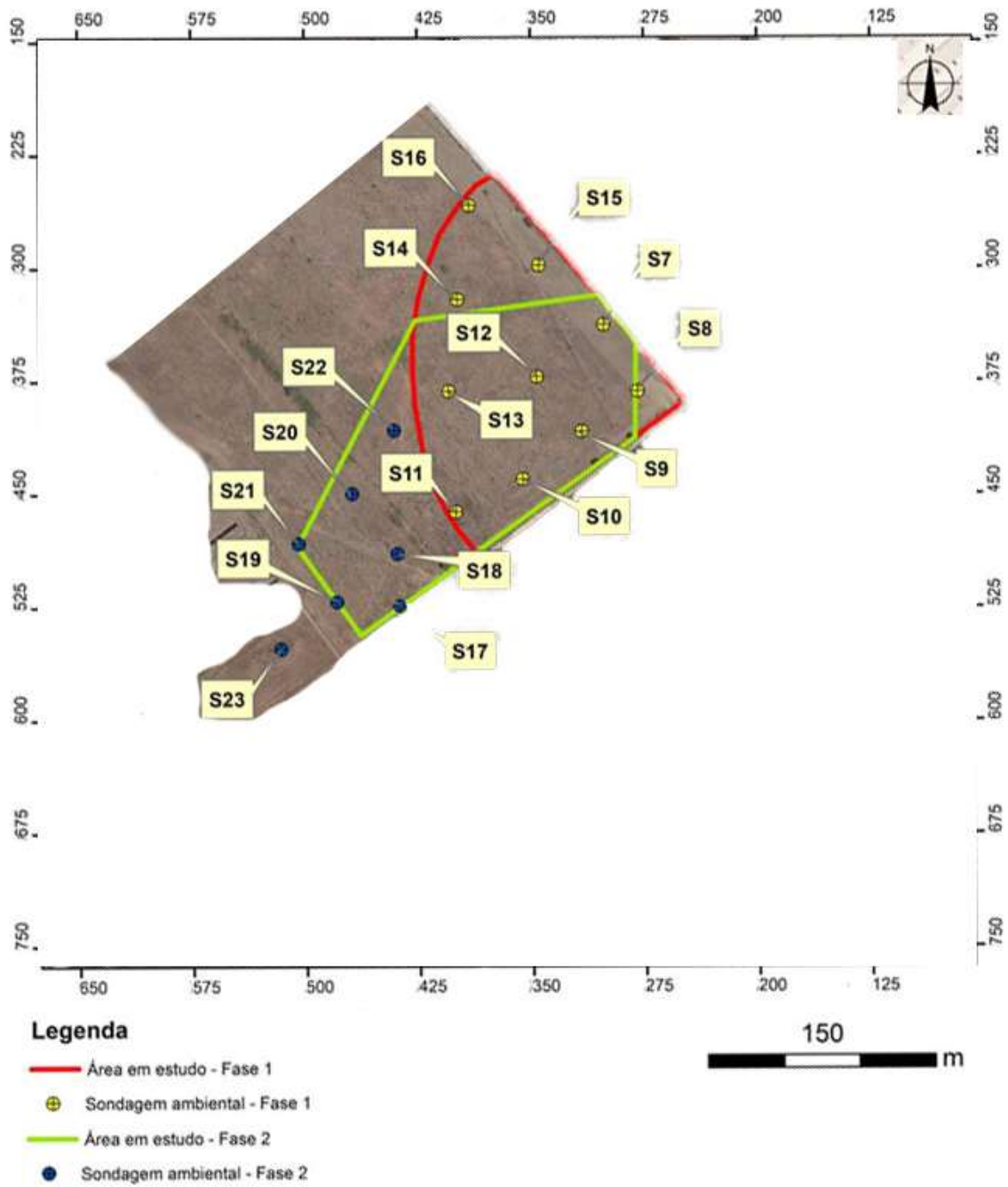


Figura 21-Área em estudo ao longo das três fases

3.2.2 Trabalhos de campo (função e metodologia)

A recolha dos solos, como referido anteriormente, foi efetuada à base de métodos percussivos. Para tal, foi necessário recorrer a equipamento de percussão, que neste caso, foi o equipamento ligeiro “Atlas Copco Cobra TTe”, ao qual foram acoplados amostradores de janela aberta de vários diâmetros e segmentados em duas secções de 50cm cada.

O equipamento é leve o suficiente para poder ser manuseado por apenas uma pessoa com alguma experiência, contudo a situação ideal é ser operado por duas. Uma das limitações deste equipamento é que pode operar em solos “duros” mas não em ambientes rochosos

Para a execução do furo de sondagem é importante haver uma remoção preliminar de restos de matéria orgânica e eventuais detritos rochosos da camada superficial do solo no local onde se pretende executar a sondagem. Após tal operação o amostrador é inserido manualmente no solo de maneira a que este fique fixo no mesmo, numa posição verticalizada. Seguidamente é inserido o martelo de percussão no topo do amostrador e, cuidadosamente, através da percussão é efetuada a sondagem o mais verticalmente possível para obter amostras representativas do terreno em estudo.



Figura 22-Martelo de percussão "Atlas Copco Cobra TTe"

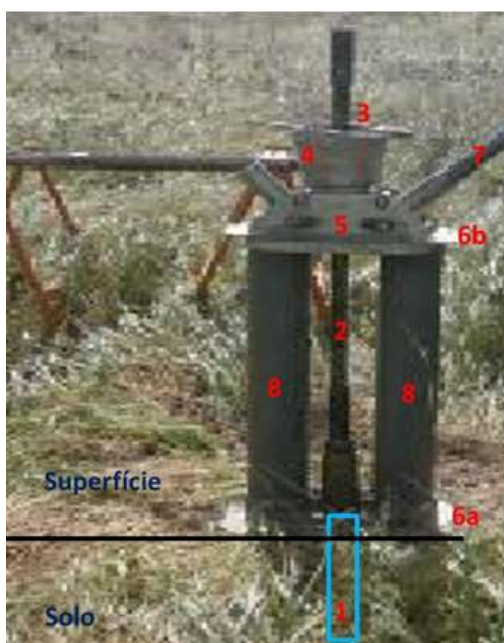
Para a remoção do amostrador, agora embutido no terreno, será necessário o recurso a equipamento específico para descravar o mesmo. Este é denominado de extrator. Neste caso recorreu-se a uma ferramenta manual deste tipo, o qual é operado por duas pessoas.



- 1-Amostrador
- 2-Tubos metálicos
- 3-Tubos de PVC
- 4-Base e topo do arrancador manual
- 5-Arrancador manual e mordente cônico

Figura 23-Material necessário para descravar o amostrador do solo

Na figura anterior, está presente a maioria do material utilizado para a realização do processo de amostragem. Por se tratar de um processo simples, o amostrador será a peça em que o controlo dimensional será mais importante, sendo que o mesmo possuía cerca de 1,20m. Deste comprimento 1,00m seria para recolha de amostra e os restantes 20cm para encaixe do mesmo em peças para cravar e extrair o mesmo. Ao nível de diâmetros, o amostrador que foi mais usado teria cerca de 8cm de diâmetro na sua zona mais larga e nas peças de encaixe teria cerca de 3cm. Os restantes tubos tratavam-se de peças menos importantes e, em que as respetivas geometrias tinham alguma flexibilidade. Os tubos de PVC possuíam ambos cerca de 0,80m e os metálicos possuíam aproximadamente 1,80m.



- 1 - Amostrador;
- 2 - Tubo extrator;
- 3 - Mordente cônico (parte estática);
- 4 - Mordente cônico (parte dinâmica);
- 5 - Extrator manual;
- 6a - Base para o extrator;
- 6b - Topo para o extrator;
- 7 - Tubos metálicos (alavancas);
- 8 - Tubos de PVC.

Figura 24-Amostrador a ser “extraído” do solo e descrição dos componentes

Após o amostrador ser retirado do solo, são recolhidas as amostras para envio para laboratório selecionando para tal as zonas mais próximas do núcleo da sondagem. Estas são colocadas em frascos de vidro, identificadas com informação do número da sondagem e a profundidade da recolha.



Figura 25-Amostrador com amostra de solo e frasco com amostra de solo da sondagem S24

Tendo sido a amostra colhida, o amostrador é limpo o melhor possível, procurando-se não usar produtos que possam causar eventuais discrepâncias nos resultados de trabalhos futuros. Para tal tenta-se usar apenas uma ferramenta ligeira, como uma pá de jardinagem, para a massa maior e um pano com água para finalizar a tarefa de limpeza.

Para além destes equipamentos, foram usados materiais como a vaselina para lubrificação entre equipamentos de encaixe. Foi utilizada vaselina e não óleos, devido a fatores de poluição da amostra. Adicionalmente recorreu-se a cavaletes de apoio, para colocar os equipamentos cilíndricos durante a execução da sondagem, para facilitar o acesso aos mesmos. Para o uso do martelo de percussão foi usado mistura de gasolina com 2% óleo.

3.2.3 Ensaios laboratoriais

Para a execução do programa analítico sobre as amostras de solo o laboratório selecionado, foi o “Eurofins Scientific Group” (www.eurofins.com), o qual possui uma enorme panóplia de programas analíticos, para análises ambientais em solos.

De acordo com os trabalhos adjudicados adotou-se nas amostras enviadas para análise laboratorial o programa analítico com base nos valores de referência constantes do Guia Técnico – Valores de referência para o Solo (APA 2019b, Anexos 6 e 7, tabela 7).

Usando como referência este guia técnico, é possível aferir a natureza e grau de contaminação das amostras de solo recolhidas, de acordo com as boas práticas e normativos nacionais. Estas incluem a análise para determinação das concentrações dos seguintes parâmetros:

- Metais Pesados (Cd-Cádmio , Pb- Chumbo ,Zn- Zinco).

Ensaios de lixiviação

O programa analítico adotado teve como principal objetivo a comparação dos resultados obtidos com a legislação aplicável de acordo com o estabelecido na parte B do Anexo IV do Decreto-Lei 183/2009, de 10 de Agosto, de forma a determinar qual a tipologia de aterro para onde os solos ou resíduos resultantes da escavação da área em estudo poderão ou deverão ser encaminhados. Assim os parâmetros a analisados foram:

- Hidrocarbonetos de Petróleo (TPH C10-C40);
- Bifenilpoliclorados (PCBs);
- Hidrocarbonetos aromáticos (PAHs);
- Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos (BTEX);
- Carbono Orgânico Total (COT);
- Metais Pesados (Sb, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Mo, Pb, Se e Zn).

3.3 Resultados das fases

Com base nos guias técnicos, sintetiza-se na Tabela 7, a gama de admissibilidade dos diferentes parâmetros para a utilização dos solos para os fins agrícolas, urbanos ou industriais.

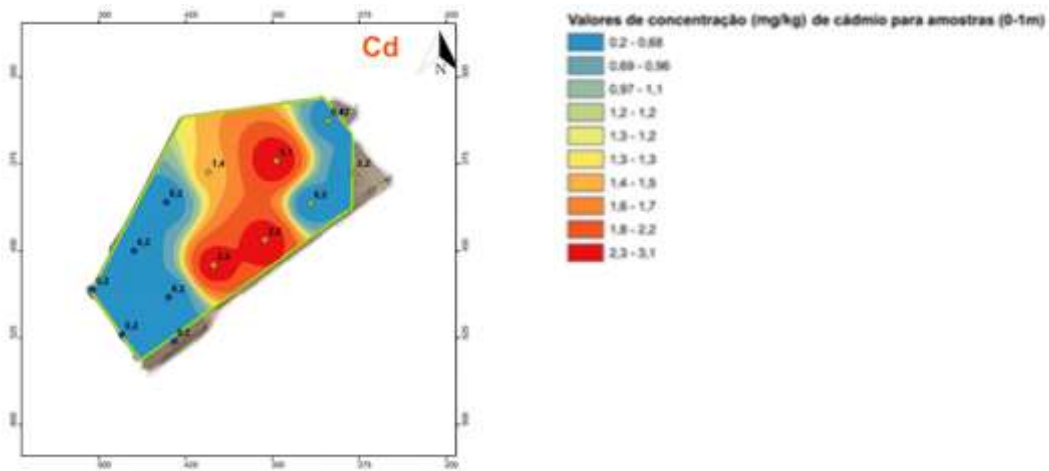
Tabela 8-Valores de referência para solos pouco profundos (Adaptado de APA, 2019)

Número CE	Número CAS	Contaminante	Valores de referência (mg/kg peso seco)				
			Com utilização de água subterrânea			Sem utilização de água subterrânea	
			Uso agrícola	Uso urbano	Uso industrial/comercial	Uso urbano	Uso industrial/comercial
231-152-8	7440-43-9	cádmio	1	1,2	1,9	1,2	1,9
231-100-4	7439-92-1	chumbo	45	120	120	120	120
231-175-3	7440-66-6	zinco	340	340	340	340	340

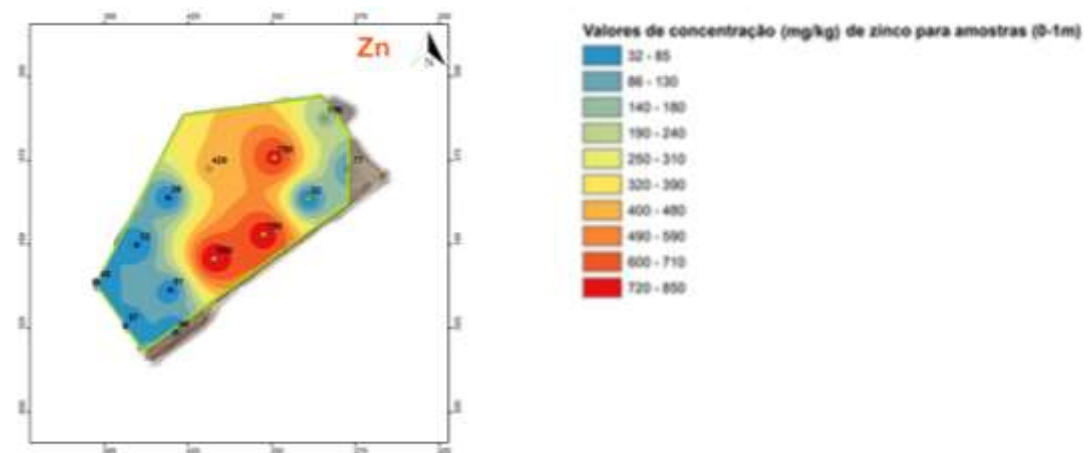
Neste enquadramento a Tabela 8 apresenta a globalidade dos resultados obtidos destacando-se aqueles que não são considerados admissíveis. Esses resultados são representados graficamente nas Figuras 26 e 27 e nos Anexos numerados de 1 a 5.

Tabela 9-Resultados dos ensaios aos elementos durante as fases

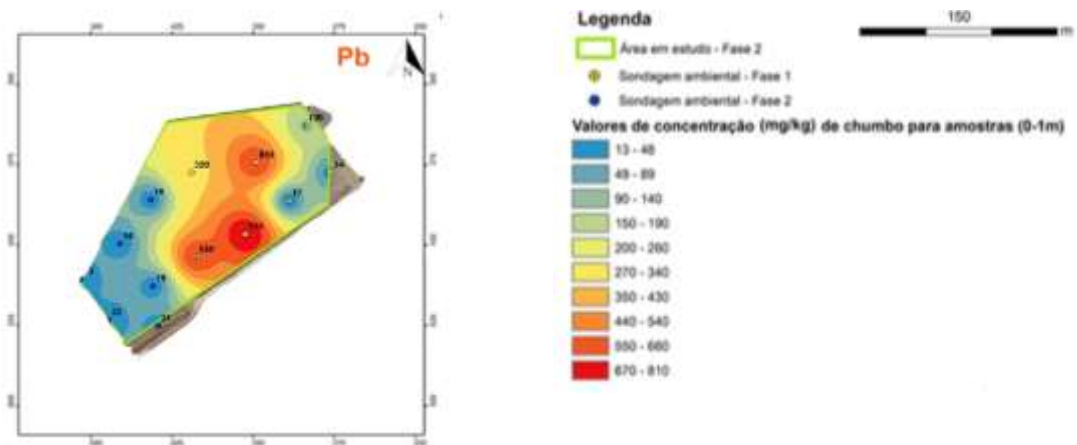
Nº sondagem	Segmento	Tipo de amostra	Cota inicial	Cádmio (mg/kg Peso Seco)	Chumbo(mg/kg P.S.)	Zinco(mg/kg P.S.)	
S7	S7 (0-1)	0.00m – 1.00m	Amostra compósita	5	0,42	130	170
S8	S8 (0-1)	0.00m – 1.00m	Amostra compósita	5	<0,4	34	77
	S8 (1-2)	1.00m – 2.00m	Amostra compósita		<0,4	10	22
S9	S9 (0-1)	0.00m – 1.00m	Amostra compósita	6	<0,4	17	32
	S9 (1-2)	1.00m – 2.00m	Amostra compósita		1,6	310	740
S10	S10 (0-1)	0.00m – 1.00m	Amostra compósita	7	2,8	810	790
	S10 (1-2)	1.00m – 2.00m	Amostra compósita		<0,4	21	41
S11	S11 (0-1)	0.00m – 1.00m	Amostra compósita	7	2,8	650	850
	S11 (1-2)	1.00m – 2.00m	Amostra compósita		<0,4	17	81
S12	S12 (0-1)	0.00m – 1.00m	Amostra compósita	6	3,1	650	750
	S12 (1-2)	1.00m – 2.00m	Amostra compósita		<0,4	19	42
S13	S13 (0-1)	0.00m – 1.00m	Amostra compósita	6	1,4	320	420
	S13 (1-2)	1.00m – 2.00m	Amostra compósita		<0,4	48	45
S14	S14 (0-1)	0.00m – 1.00m	Amostra compósita	6	<0,4	41	65
	S14 (1-2)	1.00m – 2.00m	Amostra compósita		<0,4	<10	23
S15	S15 (0-1)	0.00m – 1.00m	Amostra compósita	5	<0,4	25	40
	S15 (1-2)	1.00m – 2.00m	Amostra compósita		<0,4	<10	18
S16	S16 (0-1)	0.00m – 1.00m	Amostra compósita				
	S16 (1-2)	1.00m – 2.00m	Amostra compósita				
S17	S17 (0-1)	0,00 m – 1,00 m	Amostra compósita		<0,40	31	48
	S17 (1-1.5)	1,00 m – 1,50 m	Amostra compósita		<0,40	18	37
S18	S18 (0-1)	0,00 m – 1,00 m	Amostra compósita		<0,40	19	51
	S18 (1-1.5)	1,00 m – 1,50 m	Amostra compósita		<0,40	18	84
S19	S19 (0-1)	0,00 m – 1,00 m	Amostra compósita		<0,40	22	57
	S19 (1-1.5)	1,00 m – 1,50 m	Amostra compósita		<0,40	20	77
S20	S20 (0-1)	0,00 m – 1,00 m	Amostra compósita		<0,40	16	33
	S20 (1-1.5)	1,00 m – 1,50 m	Amostra compósita		<0,40	15	40
S21	S21 (0-1)	0,00 m – 1,00 m	Amostra compósita		<0,40	13	40
	S21 (1-1.5)	1,00 m – 1,50 m	Amostra compósita		<0,40	17	49
S22	S22 (0-1)	0,00 m – 1,00 m	Amostra compósita		<0,40	19	39
	S22 (1-1.5)	1,00 m – 1,50 m	Amostra compósita		<0,40	16	37
S23	S23 (0-1)	0,00 m – 1,00 m	Amostra compósita		<0,40	16	41
	S23 (1-1.5)	1,00 m – 1,50 m	Amostra compósita		<0,40	22	53



a)



b)



c)

Figura 26-Mapa de risco da contaminação - Pluma de dispersão superficial (0m-1m) com referência às concentrações registadas em cada ponto amostrado: a) de cádmio (valor de referência = 1,9mg/kg); b) de zinco (valor de referência = 340mg/kg); c) de chumbo (valor de referência = 120mg/kg).

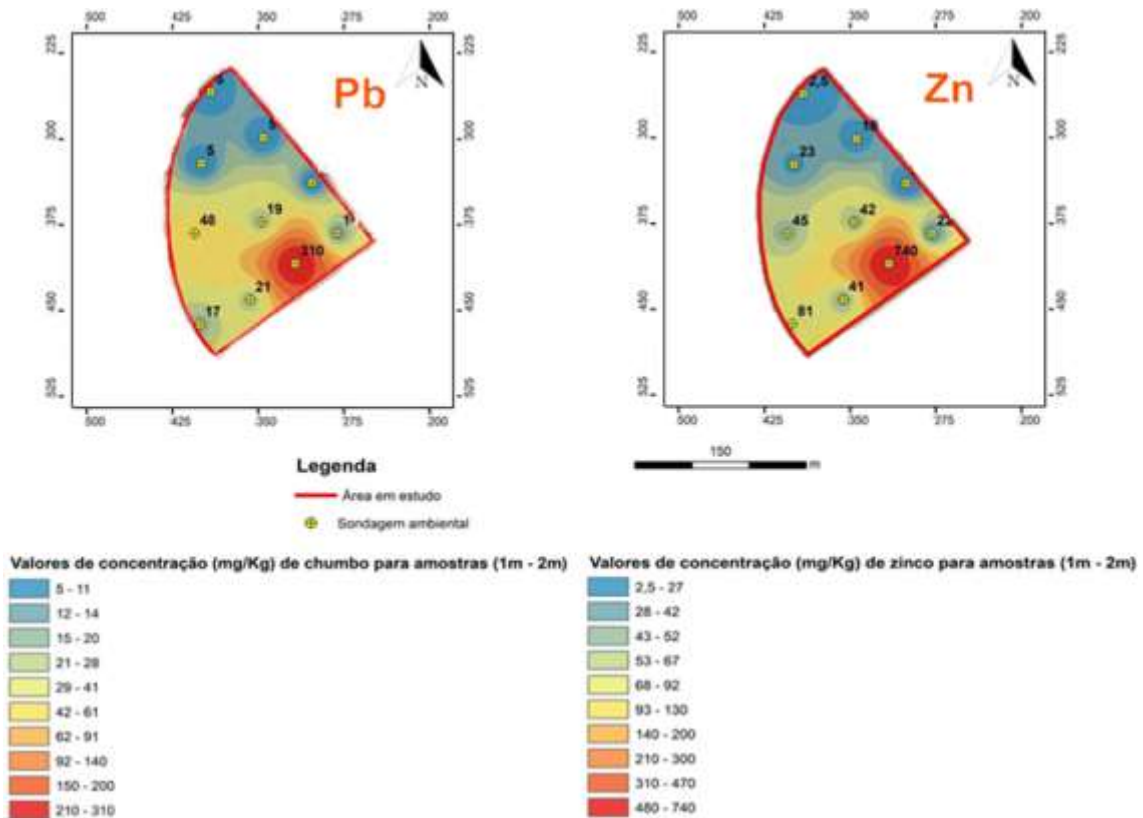


Figura 27-Mapa de risco da contaminação - Pluma de dispersão à profundidade (1m-2m) com referência às concentrações registadas em cada ponto amostrado: esquerda) de chumbo (valor de referência = 120mg/kg); direita) de zinco (valor de referência = 340mg/kg).

Da análise dos resultados apresentados pode-se constatar que:

- o Cádmiu foi detetado apenas superficialmente;
- as sondagens S9-S13 correspondem aos principais picos de contaminação;
- a contaminação ocorre superficialmente.

Capítulo IV

Interpretação dos resultados

4 Interpretação de resultados

4.1 Introdução

Neste capítulo são discutidos os resultados obtidos nos ensaios laboratoriais realizados sobre as amostras recolhidas

4.2 Análise dos resultados

Observando a Tabela 8 usando a Tabela 7 como comparação, é possível observar que as sondagens entre S9 a S13 apresentam valores fora dos limites recomendados pelos guias técnicos. É também possível observar que esta contaminação é maioritariamente superficial sendo a S9 a exceção. Neste enquadramento, pode-se delimitar a área na qual é necessário haver tratamento do solo para a sua reutilização.

Esta poluição pode ser assumida como proveniente de uma unidade industrial cuja atividade estivesse ligada a metais, devido à presença na área de três metais pesados com teores em excesso. Assim uma possibilidade, seria a localização na área duma fundição ou serralharia, associadas a processos de fundição e melhoramento de metais, tais como zincagem e galvanização, que utilizam os metais pesados encontrados no terreno. Como referido anteriormente, na zona em estudo, regista-se um tráfego elevado de veículos pesados elevado, pelo que se pode deduzir que a contaminação do terreno em causa, possivelmente, terá origem nos dois fenómenos.

Salienta-se que a contaminação encontrada em terreno não apresentava um risco ambiental significativo, uma vez que estava cativa num estrato argiloso superficial. Considerando que atualmente o terreno deixou de estar abandonado após ter sido adquirido, por uma empresa que pretende a sua utilização em condições ambientalmente aceitáveis. Para tal, ter-se-á que implementar um processo de remediação no terreno. Para suporte a esse processo apresenta-se na Tabela 9 uma síntese de alguns dos processos de remediação existentes e dentro desses, quais os que serão aplicados ao caso estudo.

Tabela 10-Possíveis métodos de remediação

Método	Aplicavel?	Dispendioso?	Moroso?	Notas
Remoção para aterro	sim	intermédio	não	
Metodos Biológicos				
Método	Aplicavel?	Dispendioso?	Morosidade	Notas
Biorremediação	possível	não	sim	Não absorve nem captura metais pesados no entanto torna os em compostos menos perigosos Usado principalmente em hidrocarbonetos Pode ser realizado ex-situ
Bioaumentamento	não			
Bioestímulo	possível	não	muito moroso	
Atenuação Natural	sim	não	muito moroso	
Biorreatores	não			
Landfarming	não			
Biopilhas	não			
Fitorremediação	possível	não	sim	
Processos físico-químicos				
Método	Aplicavel?	Dispendioso?	Morosidade	Notas
Air Sparging	não			Aplicada abaixo do nível freático
Soil Vapor Extraction	não			Necessário o contaminante encontrar-se em fase gasosa
Activated Carbon Adsorption	não			Aplicavel a contaminantes solúveis ou gasosos/ eficaz em compostos orgânicos solúveis
Solidificação/estabilização	não			Os elementos encontrados em terreno aparentam estar estabilizados, devido à camada argilosa
Lavagem do solo	não			Aplicada abaixo do nível freático
Processos térmicos				
Método	Aplicavel?	Dispendioso?	Morosidade	Notas
Desadsorção Térmica	não			Usada em compostos orgânicos
Inceneração/ pirólise	não			Usada em compostos orgânicos

Ao analisar a tabela 9, pode-se observar imediatamente que os processos físico-químicos não são aplicáveis a esta situação pois a maioria destes métodos são utilizados em águas subterrâneas ou compostos orgânicos, o que não se verifica neste caso em particular. O mesmo ocorre com os métodos térmicos uma vez que, novamente, não se tratam de compostos orgânicos. A principal razão porque os métodos biológicos não são aplicáveis, consiste no facto de estes corresponderem a processos morosos. Caso o tempo não fosse um problema, os métodos de biorremediação natural, bioestímulo e fitorremediação seriam perfeitamente aplicáveis. Os métodos de confinamento e contenção não foram incluídos porque, esta massa poluente não se encontra móvel devido à composição natural do terreno.

Pode-se então dizer que, alguns dos possíveis métodos de remediação aplicáveis às condicionantes locais são:

- remoção para aterro, que é o mais simples dos processos, no qual o terreno contaminado é escavado e redireccionado para deposição em aterro, neste caso para um aterro de materiais inertes não perigosos;
- processos biológicos, que possuem princípios similares entre si, são uma alternativa mais ambientalmente positiva ao basearem-se na introdução de organismos vivos, como plantas fungos, microrganismos ou até algas, para acelerar os processos de regeneração do solo, convertendo os contaminantes em compostos menos prejudiciais (biorremediação) ou removê-los do terreno (fitorremediação).

4.3 Proposta de remediação

Dos resultados obtidos, é possível concluir que a massa poluente a receber tratamento, é localizada nas proximidades das sondagens S9-S13, ocorrendo superficialmente. Na generalidade da área ocorre no primeiro metro, e nas imediações da sondagem S9 ocorre ligeiramente a maior profundidade. Estas condições devem-se ao facto do terreno ser essencialmente constituído por argilas, o que cria uma “armadilha” natural onde a percolação dos contaminantes para camadas inferiores é dificultada. Neste enquadramento para o tratamento desta massa, a remoção para aterro da mesma, sendo que este poderá ser um aterro para materiais não perigosos.

Nas figuras 28 e 29 apresenta-se a proposta de remediação onde é possível observar uma área roxa, na qual se pretende escavar até ao primeiro metro e meio (1,5m) de profundidade e uma área azul, na qual se pretende escavar até aos dois metros e meio (2,5m) de profundidade.

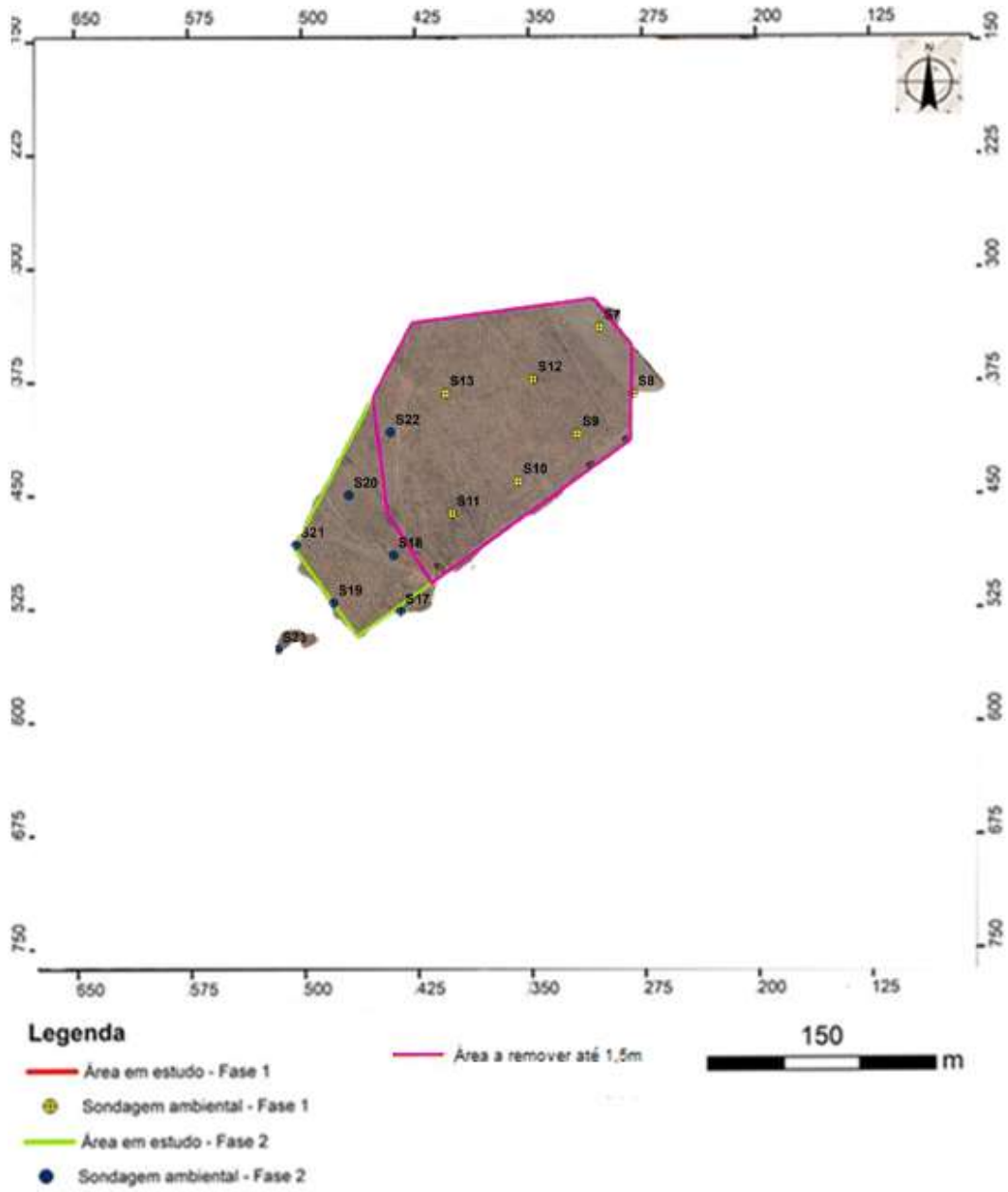


Figura 28-Área a escavar para remoção de terreno poluído (superficial)

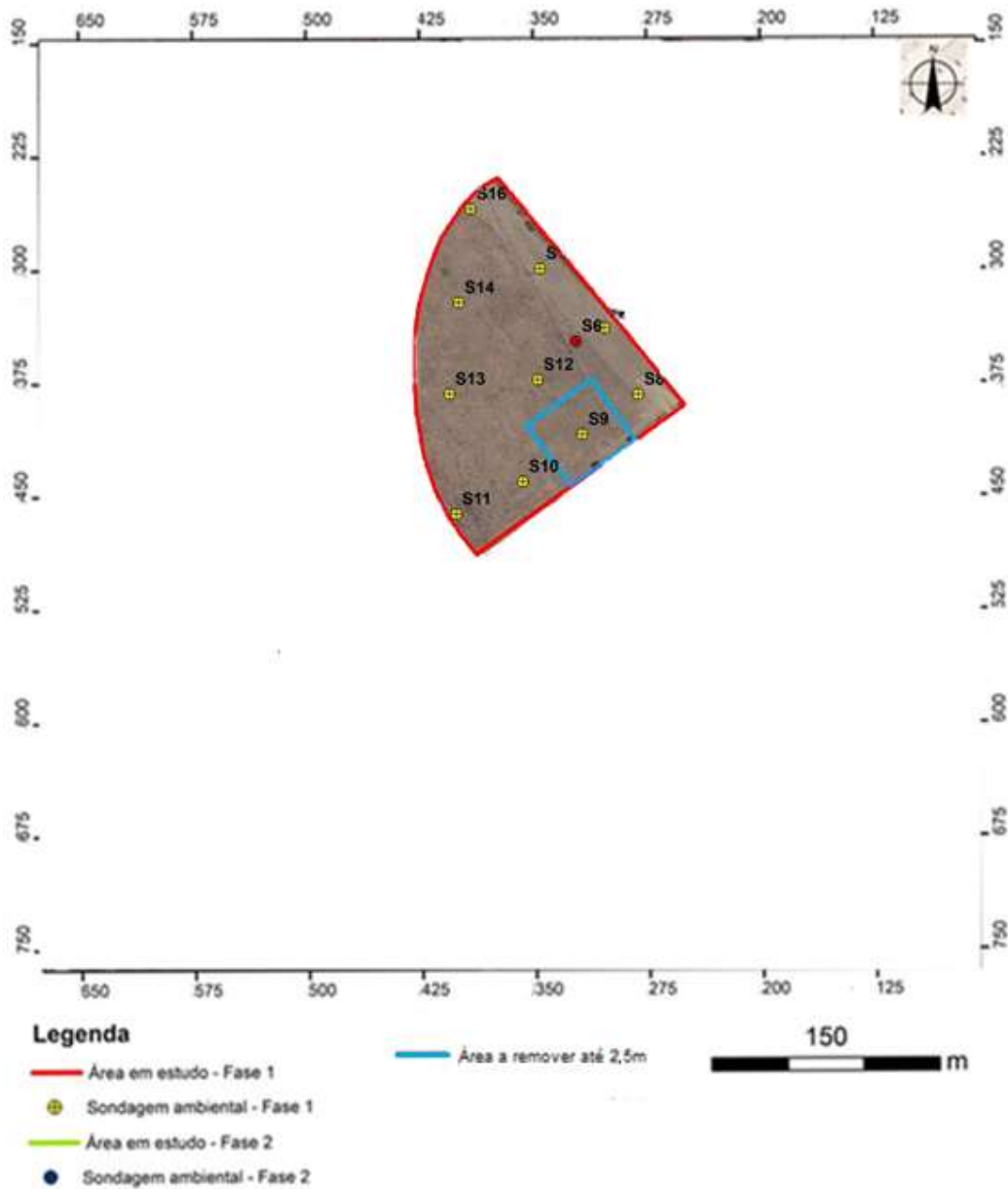


Figura 29-Área a escavar para remoção de terreno poluído (profundidade)

Com base nesta interpretação, estima-se que o tratamento de remediação proposto abranja uma área com aproximadamente $27\,728\text{m}^2$ e um volume de cerca de $44\,092\text{m}^3$.

Assumindo uma densidade de $1,75\text{ ton/m}^3$, a massa total que será objeto de transporte para aterro pesará cerca de 77 161 toneladas.

Para definição do aterro final deste material, recorreu-se aos resultados dos ensaios de lixiviação realizados na última fase dos estudos, os quais de acordo com o Decreto-Lei 183/2009, anexo IV, parte B, indicavam que o material se tratava de um inerte não perigoso.

Assim sendo, este material pode ser depositado num aterro para inertes não perigosos, para as 77 161 toneladas estimadas de material a remover. Este depósito em aterro, tem um custo total previsível de cerca de 849 mil euros. Este valor foi obtido considerando o previsto no Decreto-Lei 82-D/2014, nomeadamente no artigo 16º que altera o artigo 58º do Decreto-Lei 178/2006, que define que para além do custo unitário por tonelada, poderá acrescer a taxa de gestão de resíduos (TGR) para resíduos depositados em aterro – operação de eliminação D1, que de acordo com os princípios gerais previstos no presente Decreto-Lei e nos instrumentos de planeamento em vigor, para o ano 2020 o valor é de 11,0 € por tonelada de resíduo.

Faz-se notar que na estimativa anterior não estão incluídos os custos de escavação e transporte para o possível aterro de deposição que, na zona se identificam, 4 possibilidades sensivelmente equidistantes, pelo que o custo de transporte para cada uma delas será aproximadamente igual.

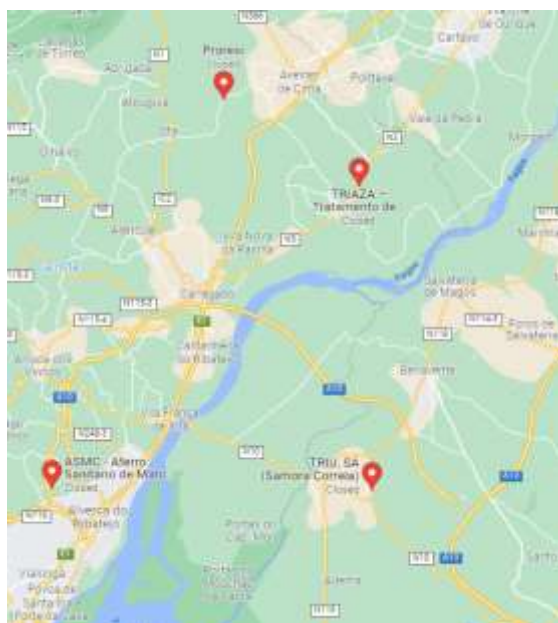


Figura 30-Aterros na proximidade do Rio Tejo

Capítulo V

Conclusões

5 Conclusões

Em Portugal, bem como a nível global, têm sido identificadas inúmeras situações de contaminações e de poluição do solo, em consequência da crescente atividade antrópica, que terá ganho um impulso significativo com a revolução industrial e amplificada por um desleixo ambiental, o qual foi mais manifestado no passado, o que com a evolução da Humanidade, a mesma apercebe-se da necessidade de implementar mudança para obter melhorias na qualidade de vida.

Muitas destas contaminações infelizmente são classificadas como passivos ambientais, o que resulta em que o princípio do poluidor-pagador, não seja aplicado, criando uma lacuna que é explorada por alguns, nomeadamente empresas fantasmas, as quais “deixam de existir” quando terminam a sua laboração.

Uma das falhas no que toca à contaminação de solos, é o facto de não existir uma legislação publicada, fixa, mas sim orientações gerais fornecidas em guias técnicos que na hierarquia das leis têm um peso bastante mais reduzido, sendo muitas vezes comparadas a: “como as leis estão para ordens estes guias estão para sugestões”.

Quanto às formas de resolução ou mitigação de contaminações, verifica-se que é uma área que está em constante desenvolvimento e evolução. Constatase que muito do material contaminado acaba em aterro, pelo facto de permitir resolver os problemas da forma mais célere, contudo, geralmente, a maior custo. A alternativa recomendável, consistirá no complemento pela adoção de métodos biológicos, para “reciclar” os terrenos de aterro. Como desenvolvimento futuro deste trabalho refere-se o seu desenvolvimento para atender a esta recomendação e como tal permitir uma análise técnica, económica e temporal comparativa dos dois processos.

Por último, salienta-se a importância e a necessidade de publicação da legislação definitiva e o desenvolvimento dos guias técnicos para atenderem a tal evolução. Mas acima de tudo, estes problemas de contaminação de solos, deveriam ser evitados e prevenidos, e não serem objeto de mitigação após a ocorrência de ações nefastas para o meio. Felizmente hoje as pessoas possuem uma consciência ambiental maior tanto a nível singular como a nível global. A nível singular nota-se cada vez mais pessoas a efetuar a reciclagem de resíduos a nível domiciliar e, a nível global, com os estados a criar incentivos para as energias verdes e a transição de uma economia linear para uma circular, a qual segue o princípio de criar um ciclo com desperdícios mínimos de matérias-primas, aumentando a sustentabilidade através da reintrodução das mesmas no ciclo produtivo, diminuindo dessa forma diretamente a criação de resíduos tanto diretamente como indiretamente, minimizando as possíveis fontes de contaminação.

Bibliografia

Bibliografia

APA – Associação Portuguesa do Ambiente, 2019 - Plano de Amostragem e Plano de Monitorização do Solo: Solos Contaminados – Guia Técnico. Amadora: Agência Portuguesa do Ambiente, (6 p.). Portugal.

Albergaria, J. T. V. S., 2010- Previsão do tempo de remediação de solos contaminados usando a Extração de Vapor. 2010. 248 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia do Ambiente, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

Almeida, E. I. N., 2004. Remediação de Solos Contaminados com Hexaclorociclohexano através da utilização do Dióxido de Titânio – Estudo na Cidade dos Meninos. 2004. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências na área de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz Escola Nacional de Saúde Pública, Rio de Janeiro.

Amaral, M. A. B., 2012. Poluição dos solos por metais pesados na zona urbana de Ponta Delgada: Implicações na saúde pública. P, 113. Dissertação de Mestrado. Curso de Ciências Biomédicas. Departamento de Biologia. Universidade dos açores. Ponta Delgada.

Ambiental, Éllu. Gerenciamento de solos contaminados: solo contaminado. SOLO CONTAMINADO. Éllu Ambiental. Disponível em: <https://www.elluambiental.com.br/gerenciamento-solos-contaminados>. Acesso em: 02 junho. 2021.

Andrade, J.A, Augusto. F & Jardim, I.C.S.F., 2010. Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados. 2010. 35 f. Artigo - Curso de Química, Unicamp, São Paulo.

Arquitetura e propriedades físicas do solo., 2012. P, 109. Disponível em: https://prodvegetal.files.wordpress.com/2012/03/fisicasosolo_esalq.pdf. Acesso em: 14 maio 2021.

Breida, M, YOUNSSI, S. A., Ouammou, M., Bouhria, M. & Hafsi, M., 2019. Pollution of Water Sources from Agricultural and Industrial Effluents: Special Attention to NO₃⁻, Cr(VI), and Cu(II). Disponível em: <https://www.intechopen.com/books/water-chemistry/pollution-of-water-sources-from-agricultural-and-industrial-effluents-special-attention-to-no-sub-3->. Acesso em: 22 Junho 2021.

CPEO – Center for public Environment Oversight. Extração de Vapor do Solo (SVE). Disponível em: <http://www.cpeo.org/techtree/ttdescript/soilve.htm>. Acesso em: 22 maio 2021.

Chu, C. Y. & Ko, T. H., 2018. Evaluation of Acid Leaching on the Removal of Heavy Metals and Soil Fertility in Contaminated Soil. Academic Editor: Amit Bhatnagar . 8, p. Journal of Chemistry.

Costa, C., Brito, M. G., Vendas, D. F. & Lopes, M., 2015. Solos Contaminados - O Problema e as Soluções de Remediação. Portugal: Apemeta, 86 p. Brochura Técnica.

DakotaMatrix. Cinnabar with Mercury. Disponível em: <https://www.dakotamatrix.com/mineral-galleries/search?name=Cinnabar> Acesso em 13 outubro 2021.

DakotaMatrix. Galena with sphalerite & quartz. Disponível em: <https://www.dakotamatrix.com/products/890/galena> Acesso em: 13 outubro 2021

DGAE – Direção Geral das Atividades Económicas. Economia Circular Disponível em: <https://www.dgae.gov.pt/servicos/sustentabilidade-empresarial/economia-circular.aspx>. Acesso em 30/09/2021.

Diário da República, 2015. Resolução de conselho de ministros nº 11-C/2015. Disponível em: <https://dre.pt/dre/detalhe/resolucao-conselho-ministros/11-c-2015-66762671>. Anexo IV Acesso em 30/09/2021.

ECYCLE. O que é poluição radioativa? Equipe ecycle, Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/2766-poluicao-radioativa>. Acesso em: 25 maio 2021.

EEA – Associação Europeia do Ambiente, 2009. Overview of economic activities causing soil contamination in some WCE and SEE countries. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/overview-of-economic-activities-causing-soil-contamination-in-some-wce-and-see-countries-pct-of-investigated-sites>. Acesso em : 14 setembro 2021.

EEA - Associação Europeia do Ambiente, 2014. Contaminants affecting soil and groundwater in Europe. Disponível em: https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/overview-of-contaminants-affecting-soil#tab-chart_3. Acesso em 14 de setembro 2021.

EPA – Environmental Protection Agency, 1994/2017. How to evaluate alternative cleanup technologies for underground storage tank sites. Disponível em: https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-03/documents/tum_ch5.pdf. Acesso em: 13 outubro 2021.

EP Solos e Sedimentos. Relatório de Atividades da EP Solos e Sedimentos 2009/2011. 120p. Plano Nacional de Acção Ambiente e Saúde – PNAAS. 2012.

FAO, 2014. “World reference base for soil resources 2014 Disponível em: <https://www.fao.org/3/i3794en/i3794en.pdf>.

FAO - Solos à conquista do crachá: YUNGA coleção atividades para aprender e agir. Portugal: Organização das Nações Unidas Para a Alimentação e a Agricultura, 2015. 124 p. Sociedade portuguesa de ciências do solos. Disponível em: <http://www.fao.org/3/i3855pt/i3855PT.pdf>. Acesso em: 20 junho 2021.

Fogaça, J. R. V. F., 2018. Manual da Química – Aromáticos. Disponível em: <https://www.manualdaquimica.com/quimica-organica/aromaticos.htm> Acesso em 12/10/2021.

Fraternidade., (2018) - Federação Humanitária Internacional. Água 3 – Ciclo de renovação da água – Tema: Sagrado Reino da Água. Minas Gerais.

GCC - General carbon Corporation. Activated Carbon Adsorption. Disponível em: <https://generalcarbon.com/facts-about-activated-carbon/carbon-adsorption-2/>. Acesso em: 22 maio 2021.

Grande, T. C., Augusto, P.A. & Barbosa, D., 2005. Técnicas de Descontaminação de Solos: uma revisão: dossier comunicações. 6 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Departamento de Engenharia Química, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Jorge, C., 2008. Requalificação de Áreas Degradadas em Portugal – Contaminação de Solos: requalificação e descontaminação dos solos Indústria e Ambiente. Portugal, p. 10-13.

Lima, J. R. C., 2017. Aplicação de eletro-reabilitação a solos contaminados com tricloroetileno. 2017. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia do Ambiente, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

Khan, H. R., Akhtar, M. S., Islam, M.O., Das, A.K., Oki, Y. & Adachi, T., 2006. Impacts of industrial effluents on plant growth and soil properties. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Md_Khan41/publication/237533698_Impacts_of_industrial_effluents_on_plant_growth_and_soil_properties/links/5a1a59f84585155c26ac6fbe/Impacts-of-industrial-effluents-on-plant-growth-and-soil-properties.pdf. Acesso em: 23 Junho 2021.

Magazineluiza – Cromo metálico puro 99,9% (1kg) Certificado de análise. Disponível em : <https://www.magazineluiza.com.br/cromo-metalico-puro-999-1kg-certificado-de-analise-glt/p/jbche6fchb/pi/lpin/>. Acesso em: 13 outubro 2021.

Mariano, A. P., 2006. Avaliação do potencial de biorremediação de solos e de águas subterrâneas contaminados com óleo diesel. 2006. 162. P. Rio Claro. Tese (Doutorado) - Geociências e Meio Ambiente. Universidade Estadual, Paulista Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro.

Marques, M., Aguiar, C. R. C., Silva, J. J. L. S., 2011. Desafios técnicos e barreiras sociais, económicas e regulatórias na fitorremediação de solos contaminados: revista brasileira de ciência do solo. 2 f. Tese (Doutorado) - Curso de Scielo, Vol. 35, Viçosa, 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010006832011000100001&script=sci_arttext. Acesso em: 26 julho 2021.

Mineral Education. Copper. Disponível em: <https://mineralseducationcoalition.org/minerals-database/copper/>. Acesso em 13 outubro 2021.

Mineral Education. Zinc. Disponível em: <https://mineralseducationcoalition.org/minerals-database/zinc/>. Acesso em 13 outubro 2021.

Mingoti, R., Spadotto, C. A. & Moraes, D. A. de C., 2015. Suscetibilidade à contaminação da água subterrânea em função de propriedades dos solos no Cerrado brasileiro. 9 f. Monografia (Especialização) - Curso de Embrapa Gestão Territorial, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, Sp. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/151286/1/22472-114228-1-PB.pdf>. Acesso em: 14 junho 2021.

Mira, A. C. N. F., 2016. Identificação e caracterização de efluentes industriais/pluviais na empresa Iberol. Dissertação Mestrado de em Engenharia Biológica. ift técnico Lisboa. Lisboa.

Mitra, S. & Roy, P., 2011. BTEX: A Serious Ground-water Contaminant. Research Journal of Environmental Sciences, 5. Disponível em: <https://scialert.net/fulltext/?doi=rjes.2011.394.398>. Acesso em: 24 Junho 2021.

Morais, R. C. N. C. V., 2014. Análise de contaminação de água subterrânea por um posto de gasolina – estudo de caso. 2014. 59 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Católica de Pernambuco, Recife.

Needleman, B. A. What are Soils? Nature Education knowledge Disponível em: <https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/what-are-soils-67647639/>. Acesso em 18 setembro 2021.

Observador; Novais, V., 2018 – APA confirma: indústrias de pasta de papel responsáveis pela poluição no rio Tejo junto a Abrantes. Disponível em: <https://observador.pt/2018/01/31/apa-confirma-industrias-de-pasta-de-papel-responsaveis-pela-poluicao-no-rio-tejo-junto-a-abrantes/>. Acesso 18 outubro 2021.

Oliveira, L. F. C., Nogueira, J. G., Frizzarim, S. S., Fia, R., Freitas, J. S. & Fia, F. R. L., 2013 - Sorção e mobilidade do lítio em solos de áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos. 2013. Artigo Técnico, Scielo, Rio de Janeiro.

Oliveira, M. D. R., 2012. Avaliação da contaminação do solo pela disposição inadequada de resíduos sólidos em Roraima-MG. 2012. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Pós-graduação Engenharia Civil, Universidade Federal do Uberlândia, Uberlândia.

ONU-Organização Das Nações Unidas, 2019. Para Agricultura E Alimentação: Diretrizes Voluntárias para a Gestão Sustentável dos Solos. Roma: Parceria Portuguesa Para O Solo, 2019. 28 p.

Publico, 2018. Tribunal substituiu multa aplicada à Celtejo por repreensão escrita. Disponível em <https://www.publico.pt/2018/03/29/sociedade/noticia/tribunal-substituiu-multa-aplicada-a-celtejo-por-admoestacao-1808434> Acesso em: 18 outubro 2021.

Publico, 2021. Governo disponibiliza mais de 2,2 milhões para retirar resíduos de S. Pedro da Cova em Gondomar Disponível em: <https://www.publico.pt/2021/05/13/local/noticia/governo-disponibiliza-22-milhoes-retirar-residuos-s-pedro-cova-gondomar-1962406> Acesso em: 18 outubro 2021.

Punjab - Punjab Pollution Control Board, 2013. Assessment of Soil Pollution by Industrial Effluents. Disponível em: <http://www.ppcb.gov.in/assessment.aspx>. Acesso em: 23 Junho 2021.

Reinert, D. J.& Reichert, J. M. (2006) Propriedades físicas do solo. Universidade Federal de Santa Maria. Centro de ciências Rurais, Santa Maria, p.18.

Ribeiro, M. A. do C., 2013 - Contaminação do solo por metais pesados. Dissertação de Mestrado. Curso Engenharia do Ambiente, Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias. P, 249. Lisboa.

Rocha, A. F., 2009. Cádmiio, Chumbo, Mercúrio – A problemática destes metais pesados na Saúde Pública? P, 63. Monografia, Curso de Ciências da Nutrição. Faculdade de Ciências da Nutrição e Alimentação da Universidade do Porto. Porto.

Ruppenthal, J. E., 2013 - Toxicologia. Santa Maria, RS, Rede e-Tec Brasil. Colégio técnico industrial. 128, p. Disponível em: http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos_seguranca/sexta_etapa/toxicologia.pdf. Acesso em: 15 Junho 2021.

Santos, A., 2015. Tratamento de solos com diferentes características físico-químicas por processos fenton. 123, p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Universidade Federal do Paraná. Curitiba.

Santos, M. J. Propriedades Físicas dos solos-parte 2 Disponível em : <http://professormarciosantos3.blogspot.com/2018/03/propriedades-fisicas-do-solo-parte-2.html>. Acesso em 18 setembro 2021.

“Natural Attenuation”. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/natural-attenuation>. Acesso em: 22 maio 2021.

Silva, M. S. C. R. P., 2008. - Avaliação e Remediação de Zona Contaminada por Hidrocarbonetos.: caso de estudo: contaminação num armazém de lubrificantes. 152 f. Tese (Doutoramento) - Curso de Mestre Integrado em Engenharia do Ambiente do Perfil de Gestão e Sistemas Ambientais., Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

Silveira, G. E., 2010. Sistemas de tratamento de efluentes industriais. Trabalho de conclusão em engenharia química. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul.

Sheridan, C., 2016. Gulf Coast Environmental Systems-GCES. What is BTEX Disponível em: <http://www.gcesystems.com/what-is-btex/btex/> Acesso em 12/10/2021.

Smičiklas, I. & Šlivić-Ivanović, M., 2016. Radioactive Contamination of the Soil: Assessments of Pollutants Mobility with Implication to Remediation Strategies. Disponível em: <https://www.intechopen.com/books/soil-contamination-current-consequences-and-further-solutions/radioactive-contamination-of-the-soil-assessments-of-pollutants-mobility-with-implication-to-remedia>. Acesso em: 25 maio 2021.

Soares, A., 2008. Bases Técnicas para Remediação de Solos e Águas Subterrâneas Utilizando Processos Oxidativos Avançados. 150 f. Tese (Doutoramento) - Curso de Química, Departamento de Química Analítica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

Souza, A. K. R., Morassuti, C. Y. & DEUS, W. B., 2018. Poluição do ambiente por metais pesados e utilização de vegetais como bioindicadores. *Acta Biomedica Brasiliensia*. Volume 9/ nº 3/ Dezembro de 2018. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6789234.pdf>. Acesso em: 17 Junho 2021.

Tiburtius, R. L., Peralta-Zamora, P. & Leal, E. S., 2004. Contaminação de águas por BTEXs e processos utilizados na remediação de sítios contaminados. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jqn/a/h7HvjWYzJWXH4BhGkxDw8cf/?lang=pt>. Acesso em 13 outubro 2021.

Wikipédia, 2010. – Pure (99.99%) manganese chips, electrolytically refined, typical view of on air oxidized surface, as well as a high purity (99.99 % = 4N) 1 cm³ manganese cube for comparison. Disponível em : https://pt.wikipedia.org/wiki/Mangan%C3%AAs#/media/Ficheiro:Manganese_electrolytic_and_1cm3_cube.jpg. Acesso em: 13 outubro 2021.

Wikipédia, Tomihahndorf, 2009. Elemental arsenic – mineral specimen. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Ars%C3%AAnio#/media/Ficheiro:Arsen_1a.jpg. Acesso em : 13 outubro 2021.

Wikipédia, 2010. Electrolytically refined pure (99.9%) nickel nodules, and high purity (99.99% = 4N) 1cm³ nickel cube for comparison. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/N%C3%ADquel#/media/Ficheiro:Nickel_electrolytic_and_1cm3_cube.jpg. Acesso em 13 outubro 2021.

Wuana, R. A. & Okieimen, F. E., 2011. Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation. Editor AD Steinman. *International Scholarly Research Notices / 2011 / Article 20*,p. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/isrn/2011/402647/>. Acesso em: 15 Junho 2021.

Wylezich, B. 99.995% fine cadmium isolated on white background. Disponível em: <https://www.shutterstock.com/pt/image-photo/99-fine-cadmium-isolated-on-white-1426005542>. Acesso em 18 setembro 2021.

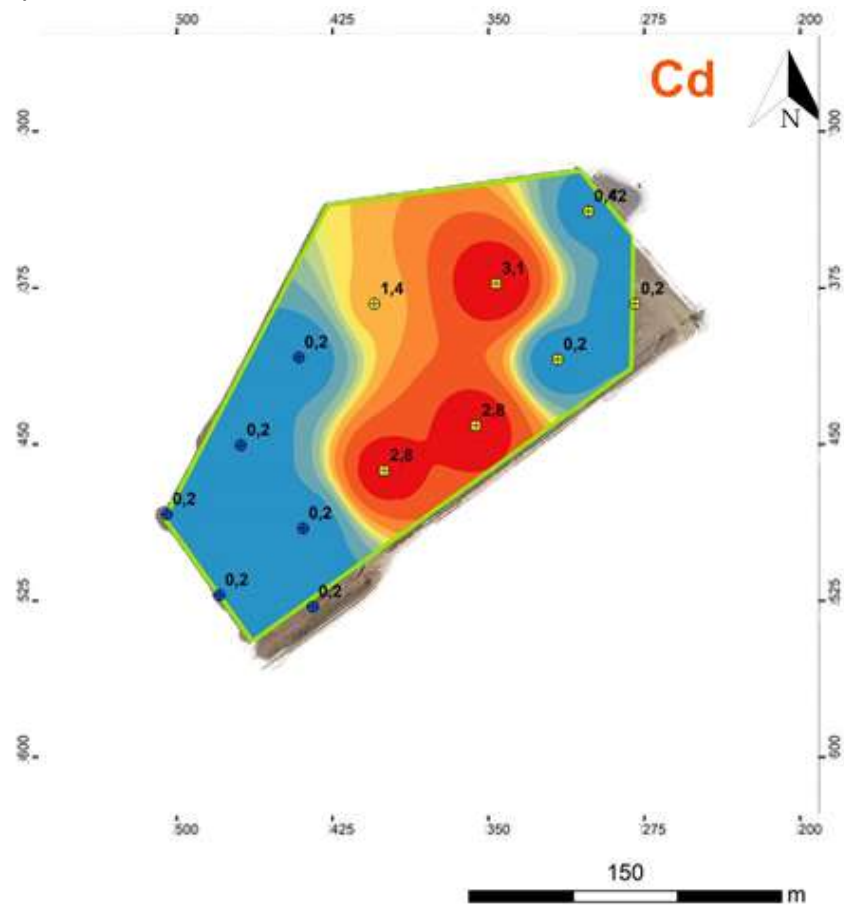
Yan, A., Wang, Y, Tan, S. N., Yusof, M. L. M., Ghosh, S. & Chen, Z., 2020. Phytoremediation: A Promising Approach for Revegetation of Heavy Metal-Polluted Land. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2020.00359/full> Acesso em: 14 agosto 2021.

Zamora, P., Esposito, E., Reyes, J. & Durán, N., 1996. Remediação de efluentes derivados da indústria de papel e celulose. Tratamento biológico e fotocatalítico. *Revista Química Nova*. Volume 20. Nº2. UNICAMP. Campinas. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jqn/a/ks6PJckh4Ndp6zbxszXMWkf/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 18 outubro 2021.

Anexos

Anexos

Anexo 1-Mapa de risco; Cádmiio (0-1m)



Legenda

- Área em estudo - Fase 2
- Sondagem ambiental - Fase 1
- Sondagem ambiental - Fase 2

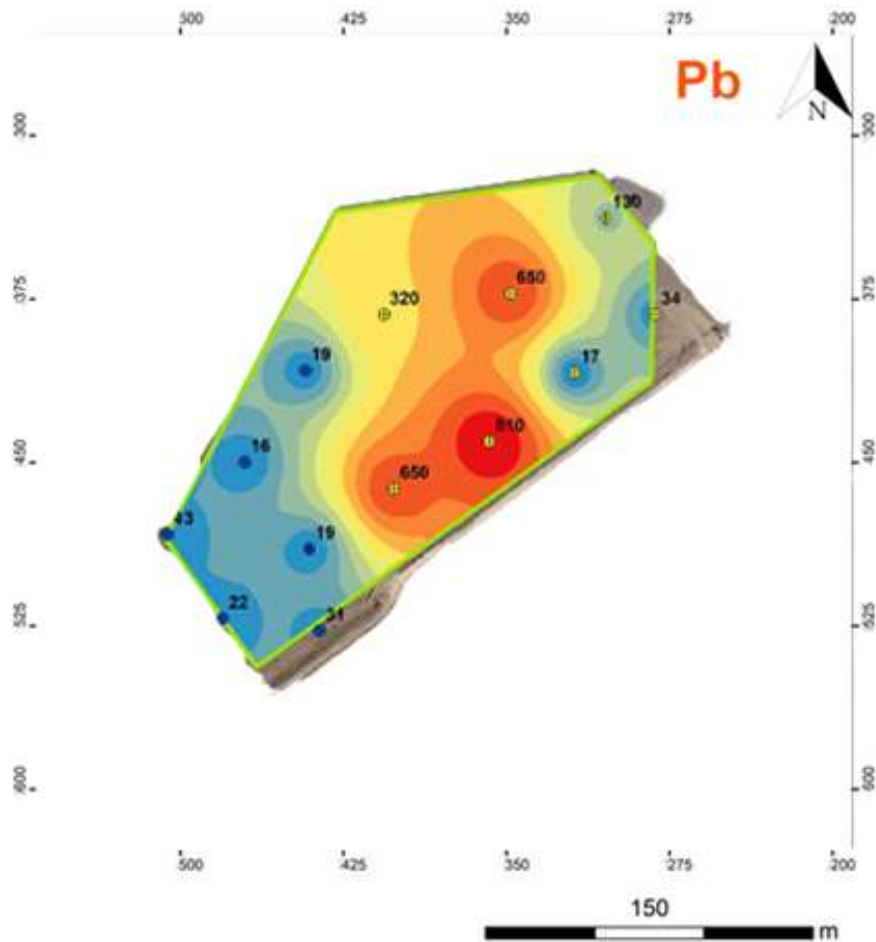
Valores de concentração (mg/kg) de cádmio para amostras (0-1m)

0,2 - 0,68
0,69 - 0,96
0,97 - 1,1
1,2 - 1,2
1,3 - 1,2
1,3 - 1,3
1,4 - 1,5
1,6 - 1,7
1,8 - 2,2
2,3 - 3,1

Pluma de dispersão superficial (0m-1m) de cádmio, com referência às concentrações registadas em cada ponto amostrado (valor de referência = 1,9 mg/kg).

NOTA: Cádmiio era detetado apenas superficialmente

Anexo 2-Mapa de risco; Chumbo (0-1m)



Legenda

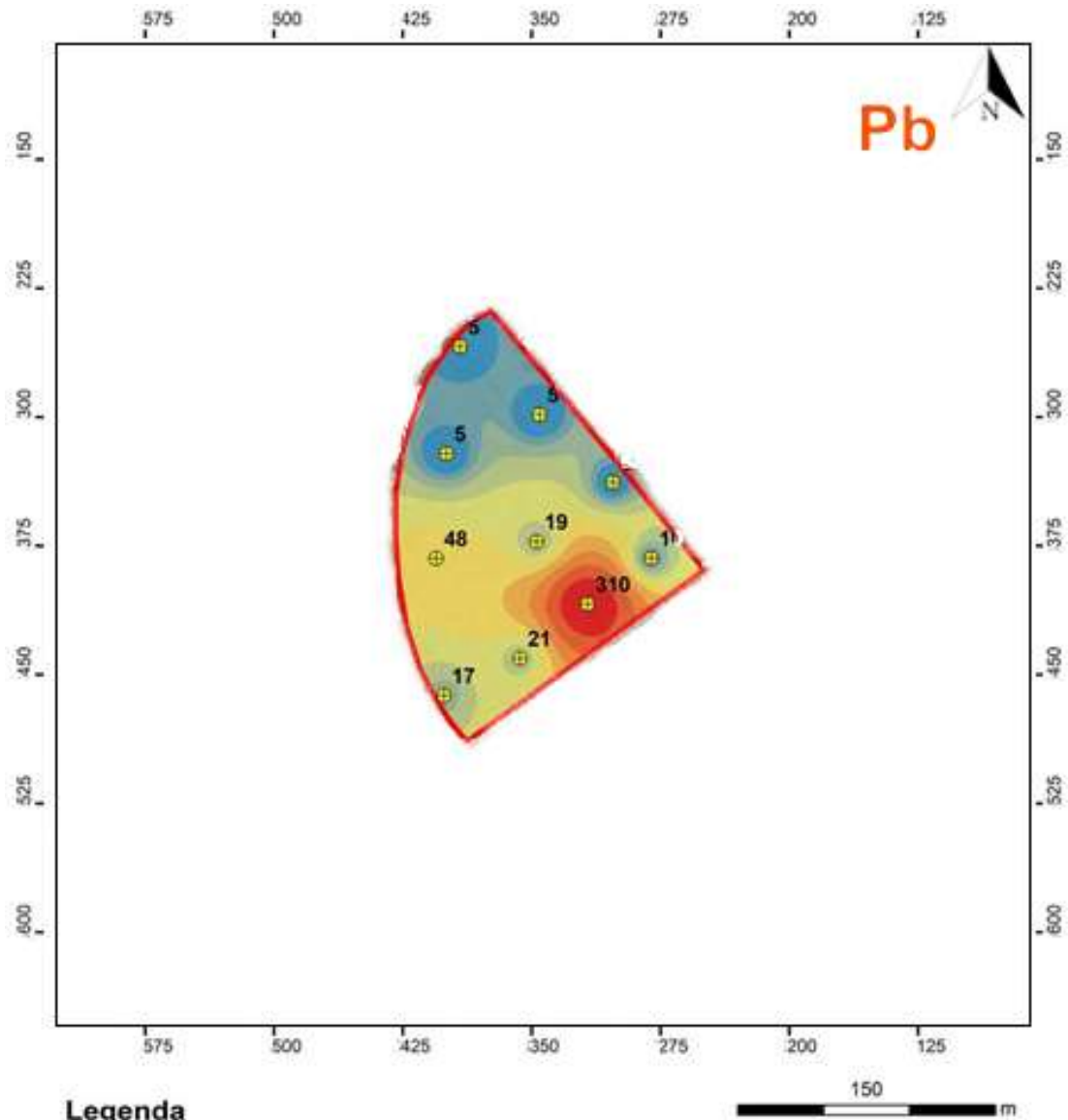
- Área em estudo - Fase 2
- Sondagem ambiental - Fase 1
- Sondagem ambiental - Fase 2

Valores de concentração (mg/kg) de chumbo para amostras (0-1m)

13 - 48
49 - 89
90 - 140
150 - 190
200 - 260
270 - 340
350 - 430
440 - 540
550 - 660
670 - 810

Pluma de dispersão superficial (0m-1m) de chumbo, com referência às concentrações registadas em cada ponto amostrado (valor de referência = 120 mg/kg).

Anexo 3-Mapa de risco; Chumbo (1-2m)



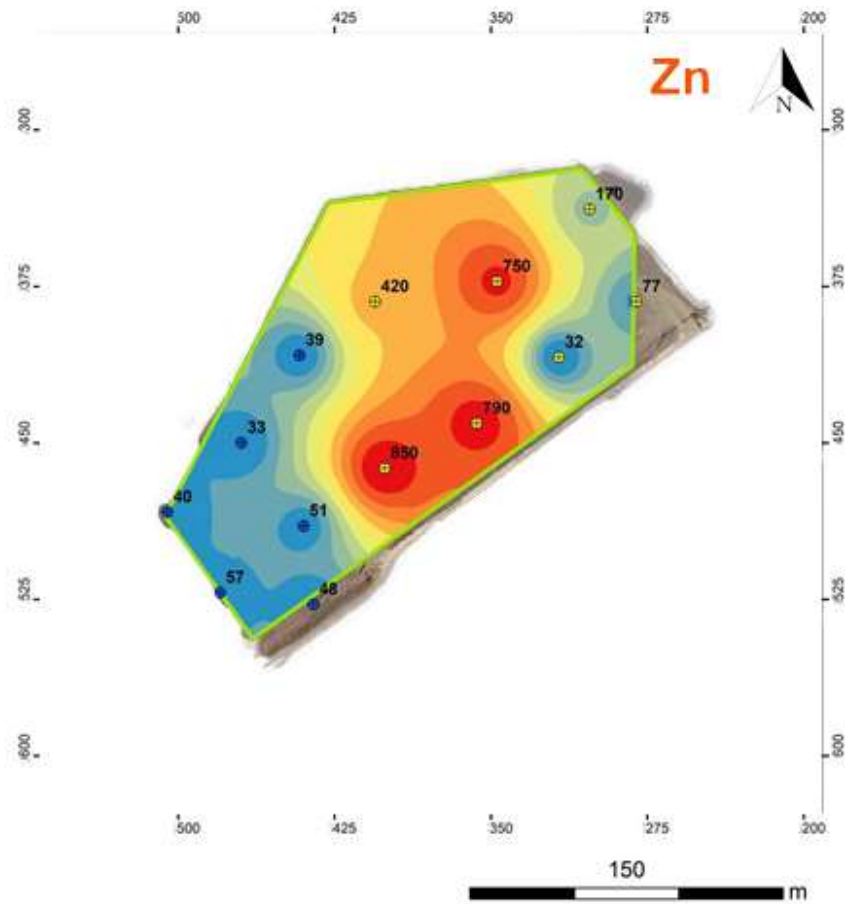
Legenda

- Área em estudo
- ⊕ Sondagem ambiental

Valores de concentração (mg/Kg) de chumbo para amostras (1m - 2m)

5 - 11
12 - 14
15 - 20
21 - 28
29 - 41
42 - 61
62 - 91
92 - 140
150 - 200
210 - 310

Anexo 4-Mapa de risco; Zinco (0-1m)



Legenda

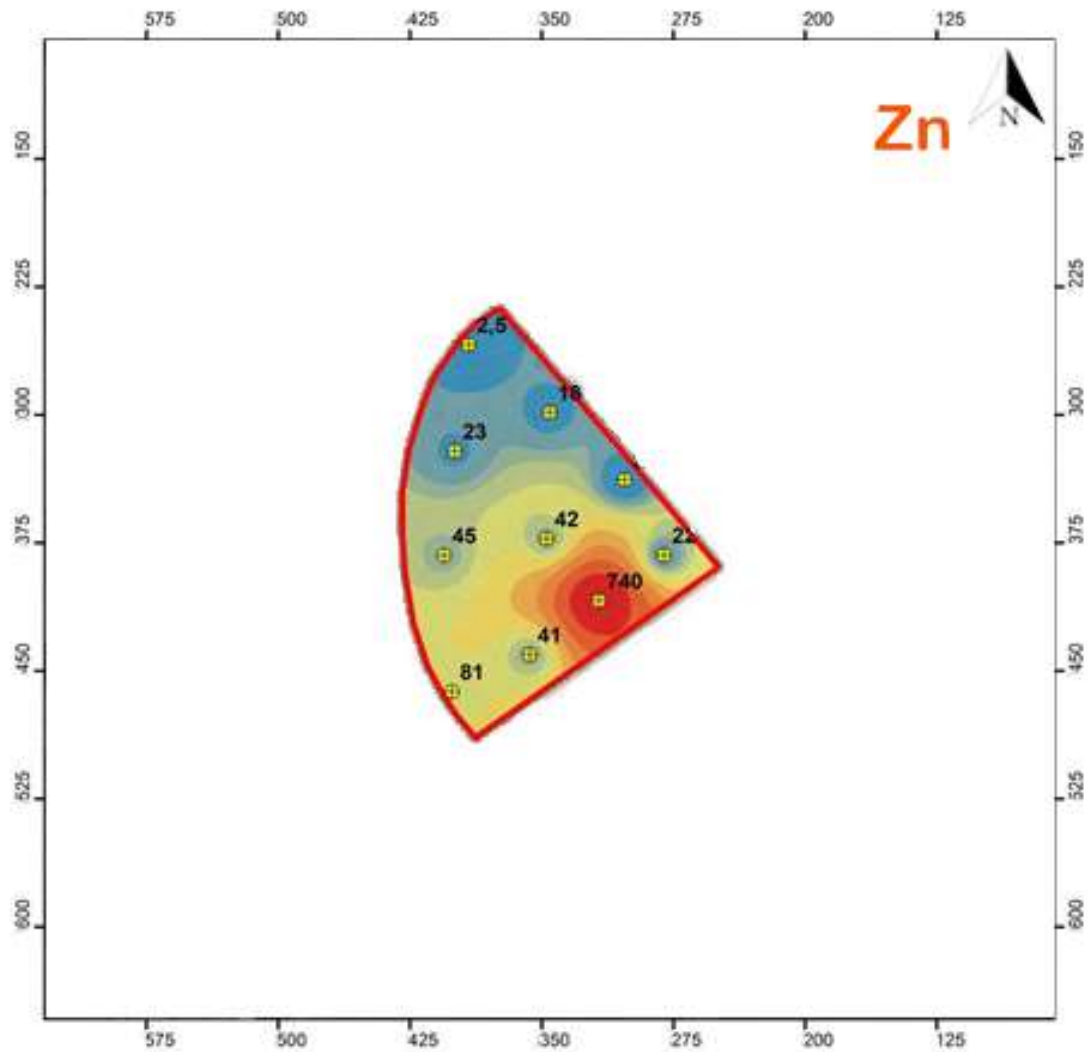
- Área em estudo - Fase 2
- Sondagem ambiental - Fase 1
- Sondagem ambiental - Fase 2

Valores de concentração (mg/kg) de zinco para amostras (0-1m)

32 - 85
86 - 130
140 - 180
190 - 240
250 - 310
320 - 390
400 - 480
490 - 590
600 - 710
720 - 850

Pluma de dispersão superficial (0m-1m) de zinco, com referência às concentrações registadas em cada ponto amostrado (valor de referência = 340 mg/kg).

Anexo 5-Mapa de risco; Zinco (1-2m)



Legenda

- Área em estudo
- ⊕ Sondagem ambiental

Valores de concentração (mg/Kg) de zinco para amostras (1m - 2m)

2,5 - 27
28 - 42
43 - 52
53 - 67
68 - 92
93 - 130
140 - 200
210 - 300
310 - 470
480 - 740

Anexo 6-Guia técnico APA, 2019b (solos pouco profundos; chumbo e cádmio)

Número CE	Número CAS	Contaminante	Valores de referência (mg/kg peso seco)				
			Com utilização de água subterrânea			Sem utilização de água subterrânea	
			Uso agrícola	Uso urbano	Uso industrial / comercial	Uso urbano	Uso industrial / comercial
201-469-6	83-32-9	acenafteno	(29) 7,9	(29) 7,9	(29) 21	(58) 7,9	96
205-917-1	208-96-8	acenaftileno	(0,17) 0,15	(0,17) 0,15	(0,17) 0,15	(0,17) 0,15	(0,17) 0,15
200-662-2	67-64-1	acetona	(28) 16	(28) 16	(28) 16	(28) 16	(28) 16
206-215-8	309-00-2	aldrina	0,05	0,05	(0,11) 0,088	0,05	(0,11) 0,088
231-146-5	7440-36-0	antimônio	7,5	7,5	(50) 40	7,5	(50) 40
204-371-1	120-12-7	antraceno	(0,74) 0,67	(0,74) 0,67	(0,74) 0,67	(0,74) 0,67	(0,74) 0,67
231-148-6	7440-38-2	arsênio	11	18	18	18	18
231-149-1	7440-39-3	bário	390	390	670	390	670
200-280-6	56-55-3	benzo[a]antraceno	(0,63) 0,5	(0,63) 0,5	0,96	(0,63) 0,5	0,96
200-753-7	71-43-2	benzeno	(0,17) 0,21	(0,17) 0,21	(0,4) 0,32	(0,17) 0,21	(0,4) 0,32
200-028-5	50-32-8	benzo[d,e,f]criseno (benzo[a]pireno)	0,078	0,3	0,3	0,3	0,3
205-911-9	205-99-2	benzo[e]acefenantrileno (benzo[b]fluoranteno)	0,78	0,78	0,96	0,78	0,96
205-883-8	191-24-2	benzo[g,h,i]perileno	(7,8) 6,6	(7,8) 6,6	9,6	(7,8) 6,6	9,6
205-916-6	207-08-9	benzo[k]fluoranteno	0,78	0,78	0,96	0,78	0,96
231-150-7	7440-41-7	berílio	(5) 4	(5) 4	(10) 8	(5) 4	(10) 8
202-163-5	92-52-4	bifenilo	(1,1) 0,31	(1,1) 0,31	(210) 52	(1,1) 0,31	(210) 52
215-648-1	1336-36-3 e outros	bifenilos policlorados (PCB)	0,35	0,35	1,1	0,35	1,1
200-784-6	72-55-9	2,2-bis(p-clorofenil)-1,1-dicloroetileno	(0,33) 0,26	(0,33) 0,26	(0,65) 0,52	(0,33) 0,26	(0,65) 0,52
231-151-2	7440-42-8	boro (solúvel em água quente) ⁽⁴⁾	1,5	1,5	2	1,5	2
231-151-2	7440-42-8	boro (total)	120	120	120	120	120
200-856-7	75-27-4	bromodiorometano	(1,9) 1,5	(1,9) 1,5	(1,9) 1,5	13	18
200-854-6	75-25-2	bromofórmio (tribromometano)	(0,26) 0,27	(0,26) 0,27	(1,7) 0,61	(0,26) 0,27	(1,7) 0,61
200-813-2	74-83-9	bromometano	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
201-159-0	78-93-3	butanona	(44) 16	(44) 16	(88) 70	(44) 16	(88) 70
231-152-8	7440-43-9	cádmio	1	1,2	1,9	1,2	1,9
231-100-4	7439-92-1	chumbo	45	120	120	120	120
	57-12-5	cianeto (CN-)	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051
200-024-3	50-29-3	clofenotano (4,4-DDT)	0,078	1,4	1,4	1,4	1,4

Anexo 7-Guia técnico APA, 2019b (solos pouco profundos; zinco)

Número CE	Número CAS	Contaminante	Valores de referência (mg/kg peso seco)				
			Com utilização de água subterrânea			Sem utilização de água subterrânea	
			Uso agrícola	Uso urbano	Uso industrial / comercial	Uso urbano	Uso industrial / comercial
201-166-9	79-00-5	1,1,2-tricloroetano	0,05	0,05	(0,11) 0,05	0,05	(0,11) 0,05
201-167-4	79-01-6	tricloroetileno	(0,52) 0,061	(0,52) 0,061	(0,61) 0,55	(0,52) 0,061	(0,61) 0,91
202-467-8	95-95-4	2,4,5-triclorofenol	(5,5) 4,4	(5,5) 4,4	(10) 9,1	(5,5) 4,4	10
201-795-9	88-06-2	2,4,6-triclorofenol	(2,9) 2,1	(2,9) 2,1	(2,9) 2,1	(4,2) 3,8	(4,2) 3,8
200-892-3	75-69-4	triclorofluorometano	(5,8) 4	(5,8) 4	(5,8) 4	(5,8) 4	(5,8) 4
231-170-6	7440-61-1	urânio	23	23	33	23	33
231-171-1	7440-62-2	vanádio	86	86	86	86	86
215-535-7	1330-20-7	xileno (total)	(25) 3,1	(25) 3,1	(30) 26	(25) 3,1	(30) 26
203-321-6	105-67-9	2,4-xilenol	(53) 38	(53) 38	(53) 38	(420) 390	(440) 390
231-175-3	7440-66-6	zinco	340	340	340	340	340
		condutividade elétrica (mS/cm)	0,7	0,7	1,4	0,7	1,4
		razão de adsorção de sódio	5	5	12	5	12

Anexo 8-Decreto-Lei 183/2009, anexo IV, parte B- Resumo

Esta secção do Decreto-Lei trata de estabelecer os critérios de admissão de resíduos em aterro, mais especificamente, este estabelece o regime jurídico da deposição de resíduos em aterro, as características técnicas e os requisitos a observar na conceção, licenciamento, construção, exploração, encerramento e pós encerramento de aterros, ou seja este decreto dita a “vida” de um dado aterro e dos resíduos presentes no mesmo.

A parte B deste Decreto-Lei trata apenas de processos de determinação da admissibilidade e critérios de admissão de resíduos em aterro.

A partir deste decreto, é possível determinar qual o tipo de aterro em que um determinado resíduo pode ser depositado e se existem exceções em casos específicos. Por exemplo, se for pretendido colocar em aterro uma massa contendo chumbo, devem ser executados testes de lixiviação para determinar o tipo de aterro no qual esta massa deve ser depositada, pois dependendo da concentração do chumbo esta massa pode ser considerada um inerte não perigoso, se apresentar valores inferiores aos tabelados (<0,5 mg/kg seca), sendo que pode ser considerada uma massa perigosa se apresentar valores superiores a 10 mas inferiores a 50 mg/kg em amostra seca.

Anexo 9-Decreto-Lei 82-D/2014, artigo 16- Resumo

Este Decreto-Lei executa uma alteração ao Decreto-Lei nº178/2006 de maneira a atualizar critérios que envolvem a taxa de gestão de resíduos, a qual corresponde a uma taxa que as entidades responsáveis por sistemas de gestão de resíduos, são obrigados a pagar, de modo a compensar os custos administrativos de acompanhamento das respetivas atividades, incentivando à redução de produção de resíduos.

Ano	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Valor da TGR (€/t resíduos)	5,5	6,6	7,7	8,8	9,9	11,0