

Evolução da Contaminação por Rejeitados Associados à Área Mineira de Terramonte, Castelo de Paiva - Portugal

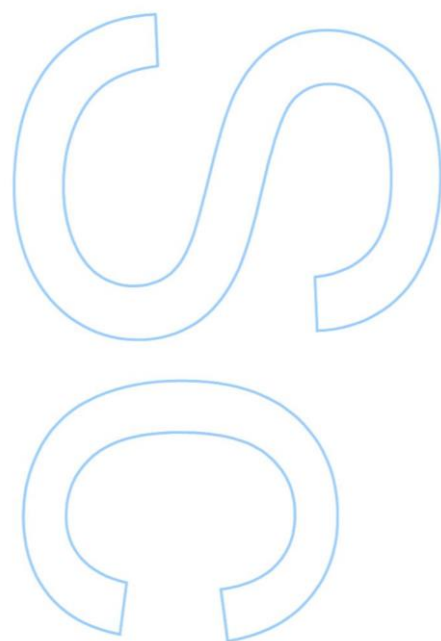
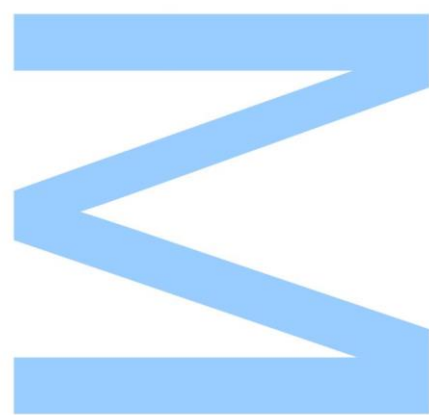
Egysella dos Anjos Firmo

Mestrado em Geologia

Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território
2017

Orientador

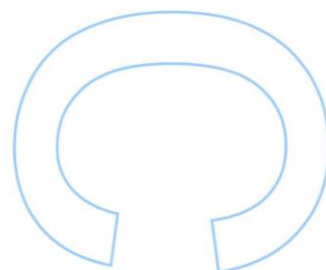
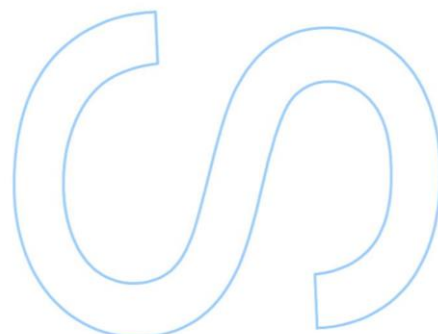
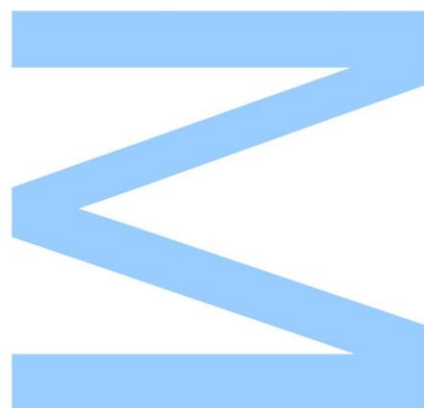
António José Guerner Dias, Professor Auxiliar, Faculdade de Ciências.





Todas as correções determinadas
pelo júri, e só essas, foram efetuadas.
O Presidente do Júri,

Porto, ____/____/____



À minha avó Durce de Almeida (in memorian) e meus pais Egydio e Regina.

“É necessário sempre acreditar que o sonho é possível que o céu é o limite e você, truta, é imbatível”

(Racionais MC's)

Resumo

O presente trabalho teve como objetivo avaliar os sedimentos e a água da Ribeira da Castanheira, para investigar a contaminação por rejeitados associados à antiga área de extração de Ag, Pb e Zn de Terramonte, localizada em Castelo de Paiva, Portugal. Cabe salientar a relevância de monitorização contínua em áreas mineiras degradadas após reabilitação com o intuito de avaliar a eficácia do procedimento e, se necessário, intervir com medidas mitigadoras.

Terramonte foi considerada abandonada desde sua última vistoria em Setembro de 1975, devido a falta de manutenção, carência da gestão dos resíduos e desativação irregular do local, implicando nos avanços da degradação. No final da década de 80, um colapso em uma de suas barragens levou ao derramamento dos rejeitados mineiros por cursos de água na Ribeira da Castanheira que alcançaram o Rio Douro, o terceiro rio mais extenso da Península Ibérica.

Com o Decreto-lei nº 198-A/2001, o governo contratou a empresa EXMIN-EDM, para recuperação ambiental de zonas mineiras degradadas, incluindo a mina de Terramonte, classificada com alto grau de perigosidade. A reabilitação foi realizada de 2005 a 2008 e monitorizações realizadas em 2009, 2010, 2013 e 2014, apontam que o local ainda apresenta alto grau de contaminação por metais pesados. Diante disso, foi realizado neste estudo novas avaliações dos parâmetros físicos e químicos das águas superficiais e nos sedimentos de corrente para verificar a situação atual da região.

Os dados obtidos nos sedimentos indicam elevados teores de As, Cd, Pb, Ni, Zn e Sb, altamente nocivos à biota. Adicionalmente, em relação aos estudos de monitorização anteriores, há um considerável aumento das concentrações desses metais nas análises de sedimentos.

Contudo, a presença desses metais nas amostras recentes de águas superficiais indicam uma redução substancial de contaminação em comparação com os estudos precedentes. Dessa forma, podemos concluir que é necessário uma nova intervenção para uma recuperação ambiental completa em Terramonte.

Palavras-chave *Mina de Terramonte, Impacte Ambiental, Área Mineira Degradada*

Abstract

The present work aims to evaluate the conditions of the sediments and water at the Ribeira da Castanheira in order to evaluate the contamination by rejects associated with the old mining area of Terramonte, located in Castelo de Paiva, Portugal. It is worth to point out the relevance on the continuous monitorization on the degraded mining area after rehabilitation to infer the efficiency on the procedure and, if necessary, interventions with mitigating actions

Terramonte was considered abandoned since its last inspection realized in September 1975, due to the lack of maintenance, scarcity on the waste management and irregular site deactivation, implying the degradation advances. At the end of the 80s, a collapse occurred in one of its dams and the mining waste spread through the water path of the Ribeira da Castanheira until reaching the Douro River, the third largest river in the Iberian Peninsula.

With the Decree-Law nº. 198-A / 2001, the government contracted the company EXMIN-EDM, for the environmental recovery of degraded areas, including the Terramonte mine, classified with a high degree of danger. The rehabilitation was accomplished from 2005 to 2008 however, further monitoring carried out in 2009, 2010, 2013 and 2014, indicates that the area still needs interventions, as it contains a high degree of contamination by heavy metals. Therefore, in this present study, new analyzes of the physical and chemical properties of surface waters and current sediments were carried to verify the current situation of the region.

The obtained results on the sediment samples indicate high levels of As, Cs, Pb, Ni, Zn and Sb, that are highly harmful to the biome. In addition, in comparison with previous monitoring studies, there is a considerable raise on the concentrations of these metals in the sediment analysis. Nevertheless, the contamination level on the recent samples of superficial water points to a substantial reduction when compared with the previous analysis. In this way, it is possible to conclude the requirement on a new intervention for an environmental recovery in Terramonte.

Keywords: *Terramonte, Environmental Impact, Degraded Mining Sites*

Agradecimentos

Aos meus pais Regina e Egydio eu agradeço pela vida, amor e todo o esforço a realização de mais um objeto na minha vida. Agradeço aos meus irmão Eggon Henrique e Egyanessa, por serem um laço de lealdade que nunca desatará. As minhas sobrinhas Helena e Valentina por serem a força de amor que me manteve firme. À minha avó Lourdes (in memorian), todos os meus familiares, Sinara, Tia Liza, Tia Mara, Tia Odete e Tia Detinha por me apoiarem e enviarem todos os dias energias positivas para a realização desse trabalho. Agradeço infinitamente a minha querida avó Durce de Almeida (in memorian), pois sempre lutou junto com meus pais para concretização dos meus momentos de felicidade, hoje assiste de camarote no céu essa minha realização.

Gratidão aos meus queridos Fábio Hanada, Fábio Gonçalves, Solange Oliveira, Letícia Jarmendia, Rafael Farias, Milton Caetano, Daiana Costa, Caio Fernandes, Erika Jarmendia, os meus professores e colegas da USP, em especial o Professor Daniel Atencio de ter dado-me dicas de DRX e todos os meus amigos do coração que estão sempre comigo.

Agradeço aos meus amigos que Portugal me proporcionou: Vivian (pela amizade e pela ajuda na DRX), João Mergulhão, Luísa, Ana, Nina, Massa, Agatha, Juliana em particularmente ao Mário que para mim é sinónimo de cumplicidade e esteve em todos os momentos amenizando a dor de estar longe dos meus entes queridos e foi também foi um alicerce para que eu conseguisse chegar na etapa final do meu mestrado.

À todos os Professores da FCUP, principalmente ao Professor António José Guerner Dias, orientador da dissertação, agradeço por todo empenho e apoio nesta jornada, ao Professor Iulius Bobus pelo auxílio na DRX. Agradeço a todos da equipe da FCUP por me tratarem tão bem sempre.

Ao DGES agradeço pelo apoio financeiro para a realização do mestrado. Tenho muito que agradecer a Portugal por ser minha segunda casa.

Índice

Resumo.....	iv
Abstract	v
Agradecimentos.....	vi
Lista de Figuras	ix
Lista de Tabelas.....	xiii
Lista de Abreviaturas.....	xiv
Simbologia.....	xvi
Lista de Elementos Químicos e Compostos	xvii
1 Introdução	1
1.1 Relevância do Estudo	3
1.2 Objeto Principal.....	3
1.2.1 Objetos secundários	3
1.3 Estrutura da Dissertação.....	3
2 Estado da Arte	5
2.1 Mineração e o meio ambiente	5
2.2 Rejeitados dos espaços mineiros.....	8
2.3 Deposição dos rejeitados da atividade mineira	9
2.3.1 Método montante	10
2.3.2 Método Jusante	11
2.3.3 Método de Construção Central.....	12
2.4 Acidentes nas Barragens dos Rejeitados.....	14
2.5 Toxicidade	15
2.5.1 Toxicidade em Sedimentos e na Água.	18

3 Caso de estudo: Mina de Terramonte	19
3.1 Enquadramento Geográfico.....	19
3.1.1 Localização	19
3.2 Geomorfologia	20
3.3 Rede Hidrográfica.....	22
3.4 Clima	23
3.5 Enquadramento Geológico.....	24
3.6 Abordagem Histórica	27
3.7 Exploração Mineira	31
3.8 Abandono da extractivação	41
3.9 Trabalhos de Reabilitação.....	45
4 Análise Ambiental da área mineira de Terramonte	54
4.1 Metodologia.....	54
4.1.1 Recolha das Amostras de Sedimentos	54
4.1.2 Recolhas das Amostras de Água.....	56
4.1.3 Georreferência dos pontos de amostras de sedimentos e de água.....	58
4.1.4 Preparação das Amostras	59
4.1.4.1 Preparação das Amostras de Sedimentos para análise química.	59
4.1.4.2 Preparação das amostras de sedimento para difração por Raio X.....	65
5. Resultados e discussão.....	69
5.1. Resultados e discussão das Análises Físicas e Químicas da Água.	69
5.1.1 Análises H ₂ O in situ.....	69
5.1.2 Análise H ₂ O enviadas ao laboratório.....	72
5.2 Resultados das Análises Físicas e Químicas dos Sedimentos	84
5.3 Resultados e discussão das Análises de Difração de Raios-X dos Sedimentos	97
6 Conclusão e Trabalhos Futuros	100
Anexos.....	108

Lista de Figuras

Fig. 1: Adaptação do modelo mineração e processamento mineral associados ao meio-físico (adaptado de Van Huystem, 1998).	7
Fig. 2: Representação do método montante de construção de barragens (IBRAM 2016).	10
Fig. 3: Representação do método jusante de construção de barragens (IBRAM 2016).	11
Fig. 4: Representação do método da linha central de construção de barragens (IBRAM 2016).	13
Fig. 5: Localização geográfica de Castelo de Paiva, onde está a área mineira de Terramonte, no mapa de Portugal (destacado em vermelho) e na Carta Militar de Portugal (fonte: folhas 134 Foz do Sousa e 135 Castelo de Paiva) na escala original de 1:25 000.	19
Fig. 6: Enquadramento geográfico da área mineira de Terramonte. Linha roxa identifica a Ribeira da Castanheira. Imagem de satélite (fonte: www.mapgoogle.com).	20
Fig. 7: Perfil topográfico ao longo da Ribeira da Castanheira, com a localização da área mineira de Terramonte (www.mapgoogle.com).	21
Fig. 8: Delimitação geográfica da bacia hidrográfica do Douro (Fonte: APA, 2012).	22
Fig. 9: Diferentes tipos de clima de Portugal Continental (fonte: http://www.meteo.pt , acedido em Janeiro de 2017).	23
Fig. 10: Unidades Paleogeográficas e Tectónicas da Península Ibérica (Dias et al., 2013).	24
Fig. 11: Esquematização do corte longitudinal da mina Terramonte, sendo possível verificar as duas falhas perpendiculares em azul tracejado, a superfície em vermelho e a falha transversal em azul claro. (Adaptado de Koehler, 1966).	26
Fig. 12: Esquematização do enquadramento geológico da área de estudo (Koehler, 1966).	27
Fig. 13: Visão geral das instalações de superfície da Mina Terramonte (fonte: Koehler, 1966).	28
Fig. 14: Localização das instalações de superfície (Adaptado de Koehler, 1966).	29
Fig. 15: Teores decrescentes do filão de Terramonte.	30
Fig. 16: Skip com parte superior adaptada para circulação do pessoal (fonte: Koehler, 1966).	31
Fig. 17: Método de desmonte shrinkage stoping (Fonte: Koehler, 1966).	32
Fig. 18: Esvaziamento do minério desmontado (Fonte: Koehler, 1966).	32
Fig. 19: Extração com a secção de trituração. (Fonte: Koehler, 1966).	33
Fig. 20: Armazenamento de minério triturado no edifício da secção de flutuação. (Fonte: Koehler, 1966).	33
Fig. 21: Sistema de filtração dos concentrados (fonte: Koehler, 1966).	35
Fig. 22: Esquematização do edifício de tratamento, onde era realizado a preparação mecânica dos minérios (Adaptado de Koehler, 1966).	36

Fig. 23: Barragens da mina, E1 do tipo jusante e E2 e E3 do tipo montante. (Fonte: Soares, 2014)	37
Fig. 24: Barragem de rejeitos do método montante (Fonte: Bendayan, 1969).	37
Fig. 25: Degraus formados pela deposição de rejeitados da barragem pelo método montante (Fonte: Bendayan, 1969).....	38
Fig. 26: Barragem de rejeitados do método jusante, marcado em vermelho o bordo da barragem. (Adaptado de Nascimento Anexo III).	39
Fig. 27: Imagem do local de decantação dos sedimentos finos, na imagem à direita é possível observar a crista do talude com os cavaletes que sustentavam os ciclones (homem fornece a escala) (Fonte: Bendayan, 1969).....	40
Fig. 28: Diferença entre as barragens no método montante e jusante (Adaptado de Bendayan, 1969).....	40
Fig. 29: Vista da área de deposição dos rejeitados, cachimbos (indicados com seta vermelha) obstruídos acumulando águas fluviais (fonte: Nascimento, 1975 Anexo III).....	42
Fig. 30: Abatimento da escombreira (fonte: Nascimento, 1975 Anexo III).	43
Fig. 31: Abatimento da barragem, nota-se que a mesma estava seca (Fonte: Bendayan, 1969).	44
Fig. 32: Aspeto ferruginoso deixado pela água (Fonte: Bendayan, 1969).	44
Fig. 33: Classificação do grau de perigosidade de áreas mineiras de Portugal em 2002 (Adaptado de LNEG).....	46
Fig. 34: Trabalho de recuperação EDM.	47
Fig. 35: Vista da barragem E1 recuperada, com a vegetação crescendo e as valetas para a drenagem das águas pluviais em torno da mesma (Fonte: www.edm.pt/html/proj_terrmonete.htm).	48
Fig. 36: Impacte negativo deixado na área: drenagem ácida.	49
Fig. 37: Impacte negativo deixado na área: lama de rejeitados pela Ribeira.	50
Fig. 38: Impacte negativo deixado na área: sedimentos secos de granulometria fina resultantes de uma atividade industrial que agora se desenvolve no local.	51
Fig. 39: Impacte negativo deixado na área: sedimentos finos resultantes de uma atividade industrial que agora se desenvolve no local.....	51
Fig. 40: Impacte negativo deixado na área usada para jogos de paintball.	52
Fig. 41: materiais finos lançados da barragem de rejeitos ao longo do curso da Ribeira de Terramonte (Fonte: www.edm.pt/html/proj_terrmonete.htm).	53
Fig. 42: Coleta de amostra de sedimento.	54
Fig. 43: Amostras de sedimento armazenadas.....	55
Fig. 44: Aparelho da HANNA instruments, modelo HI 9033.	56
Fig. 45: Coleta de amostras de água.	57
Fig. 46: Estufa Carbolite.	60

Fig. 47: Amostras secas, após 5 dias submetidas a 50°C.	60
Fig. 48: Divisão em Quartis, selecionados com quadrado vermelho as partes aproveitadas.	61
Fig. 49: Peneiro utilizado para obter a fração inferior a 2mm.	62
Fig. 50: Compressor de ar, utilizado para remover as partículas da amostra na malha do peneiro.	62
Fig. 51: Almofariz de ágata usado para obter granulometria inferior a 1mm em cada amostra.	63
Fig. 52: Amostras preparadas para serem enviadas a laboratório credenciado.	64
Fig. 53: Amostra de sedimento com fração de dimensões inferiores a 63µm e 10 g de massa.	65
Fig. 54: Etapa de preparação das amostras para análise por DRX.	67
Fig. 55: Difractómetro de Raios-X, utilizado para realizar análises qualitativas e quantitativas de materiais policristalinos, modelo Miniflex da marca Rigaku.....	68
Fig. 56: Variação da Temperatura (a) e da concentração de pH (b) nas amostras de água medidos no campo.	70
Fig. 57: Variação da Condutividade e dos Sólidos dissolvidos medidos <i>in situ</i>	71
Fig. 58: Cor das águas analisadas.....	73
Fig. 59: Concentração de Nitrato das águas analisadas.....	73
Fig. 60: Concentração de Amónio das águas analisadas.	74
Fig. 61: Concentração de Cloro Residual das águas analisadas.....	74
Fig. 62: Turvação das águas analisadas.	75
Fig. 63: Concentração de Nitrito nas águas analisadas.....	75
Fig. 64: Concentração em Antimónio nas águas analisadas.	76
Fig. 65: Concentração de Arsénio das águas analisadas.	77
Fig. 66: Concentração de Cádmio das águas analisadas.....	78
Fig. 67: Concentração em Chumbo nas águas analisadas.....	79
Fig. 68: Concentração de Crómio nas águas analisadas.....	79
Fig. 69: Concentração em Níquel nas águas analisadas.....	80
Fig. 70: Concentração em Cobre nas águas analisadas.	81
Fig. 71: Concentração em Zinco nas águas analisadas.	81
Fig. 72: Evolução do pH e condutividade elétrica nas amostras de água da área de estudo, dados de 2010, 2014 e 2017.....	82
Fig. 73: Evolução dos teores máximos dos elementos metálicos analisados nas amostras de água da área em estudo, dados de 2010, 2014 e 2017.....	83
Fig. 74: Evolução dos teores mínimos dos elementos metálicos analisados nas amostras de água da área em estudo, dados de 2010, 2014 e 2017.....	83
Fig. 75: Concentração de Arsénio nos sedimentos amostrados.....	85

Fig. 76: Concentração de Cádmio nos sedimentos amostrados.....	86
Fig. 77: Concentração de Crómio nos sedimentos amostrados.	86
Fig. 78: Concentração de Cobre nos sedimentos amostrados.	87
Fig. 79: Concentração de Mercúrio nos sedimentos amostrados.	88
Fig. 80: Concentração de Zinco nos sedimentos amostrados.	88
Fig. 81: Concentração de Chumbo nos sedimentos amostrados.	89
Fig. 82: Concentração de Níquel nos sedimentos amostrados.....	90
Fig. 83: Concentração de Antimónio nos sedimentos amostrados.	90
Fig. 84: Concentração de Alumínio nos sedimentos amostrados.	91
Fig. 85: Concentração de Ferro nos sedimentos amostrados.	92
Fig. 86: Concentração de Manganês nos sedimentos amostrados.	92
Fig. 87: Variação da concentração dos elementos metálicos na Ribeira da Castanheira em função da distância à foz da Ribeira da Castanheira.	93
Fig. 88: Evolução dos teores máximos dos elementos químicos analisados nas amostras de sedimentos da área em estudo, dados de 2010, 2014 e 2017.....	95
Fig. 89: Evolução dos teores mínimos dos elementos químicos analisados nas amostras de sedimentos da área em estudo, dados de 2010, 2014 e 2017.....	95
Fig. 90: Espectros DRX das amostras TRM1 e TRM9.....	98
Fig. 91: Espectros de DRX normalizadas para as amostras de sedimentos.	98

Lista de Tabelas

Tab. 1: Vantagens e desvantagens do método montante de construção de barragens.	10
Tab. 2: Vantagens e desvantagens do método jusante de construção de barragens.	12
Tab. 3: Vantagens e desvantagens do método da linha central de construção de barragens.	13
Tab. 4: Efeitos na saúde humana com exposição dos elementos relevantes nesse estudo.	16
Tab. 5: Setes demarcações do Couto mineiro de Terramonte (Koehler, 1966).	20
Tab. 6: características das associações litológicas de Terramonte.	25
Tab. 7: Características distintas de cada xisto da Região de Terramonte (Koehler, 1966).	26
Tab. 8: Enfraquecimento progressivo da mineração em profundidade (Adaptado de Koehler, 1966).	30
Tab. 9: Reagentes utilizados na flutuação do minério (adaptado de Bendayan, 1969).	34
Tab. 10: Georreferenciação dos pontos de amostragem dos sedimentos.	58
Tab. 11: Georreferenciação dos pontos de amostragem de água.	58
Tab. 12: Peso aproveitado de cada amostra.	61
Tab. 13: Amostras: fração <2mm.	62
Tab. 14: Peso de cada amostra moída e identificação de cada frasco enviado ao laboratório.	64
Tab. 15: Resultados dos parâmetros medidos no local de recolha.	69
Tab. 16: Parâmetros físico-químicas.	72
Tab. 17: Parâmetros medidos em laboratório dos elementos metálicos.	76
Tab. 18: Variação da evolução dos elementos analisados nas amostras de água na área de estudo, dados de 2010, 2014 e 2017.	82
Tab. 19: Resultados das análises físico-químicas dos sedimentos.	84
Tabela 20: Variação das concentrações dos elementos analisados nas amostras de sedimentos de corrente da Ribeira da Castanheira, dados de 2010, 2014 e 2017.	94
Tab. 21: Composição mineralógica das amostras.	99

Lista de Abreviaturas

AMD- Áreas Mineiras Degradadas

ASTM - American Society for Testing and Materials

CETESB - Companhia Ambiental Do Estado De São Paulo

CXG- Complexo Xisto-Grauváquico

DEGS- Direcção Regional do Ensino Superior

DNA- Ácido Desoxirribonucleico

DQA- Directiva-Quadro da Água

DGM - Direcção Geral de Minas

DGGM- Direcção Geral de Geologia e Minas

DMA- Drenagem Mineira Ácida

DRX- Difração de Raio-X

E1 – Barragem 1

E2 – Barragem 2

E3 – Barragem 3

ECG- Electro Cardiograma

EDM- Empresa de Desenvolvimento Mineiro S.A.

EIA - Estudo de Impacte Ambiental

EU- União Europeia

EXMIN - Companhia de Indústria e Serviços Mineiros e Ambientais, SA.

Fig.- Figura

FIT - Ficha de Informação Toxicológica

FCUP- Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

HSDB - Hazardous Substances Data Bank

IBRAM- Instituto Brasileiro de Mineração

IARC - Agência Internacional de Pesquisas sobre o Câncer

ICOLD- International Commission on Large Dams

INAG - Instituto da Água

INSAAR- Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento de Água e de Águas Residuais

LNEC- Laboratório Nacional de Engenharia Civil

LNEG- Laboratório Nacional de Energia e Geologia

Lda- Limitada

MITEL – Mina de Terramonte,Lda

PD- Parkinson Idiopática

RBCA - Risk Based Corrective Actions

SCE - Serviços Cartográficos do Exército

SNIRH – Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos

SZGMTM - Subzona da Galiza Média e Trás-dos-Montes

Tab.- Tabela

US EPA - Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

VMA – Valor Máximo Admissível

VMR- Valor Valor máximo recomendado

ZC - Zona Cantábrica

ZCI – Zona Centro Ibérica

ZOAL - Zona Oeste Austuriana-Lionesa

ZOM - Zona da Ossa Morena

ZSP - Zona Sul Portuguesa

Simbologias

° - graus

°C - graus Celcius

θ – Theta

€ - Euros

cv – cavalos

km - quilómetros

hm – hectómetro

Lambda

nº - número

mm - milímetro

mg/kg - miligrama por quilograma

mg/L - miligrama por litro

µg/L - micrograma por litro

pH - potencial hidrogénico

ppb - partes por bilião

ppm - partes por milhão

t t/h - tonelada por hora - tonelada

Lista de Elementos Químicos e Minerais

Ag – Prata

Al – Alumínio

As – Arsénio

Cd - Cádmio

Cr - Crómio

Cu – Cobre

Fe - Ferro

Hg – Mercúrio

Mn - Manganês

Ni- Níquel

Pb - Chumbo

P – Fósforo

Sb - Antimónio

Zn - Zinco

SiO₂ – Quartzo

PbS - Galena

CuSO₄ - Sulfato de Cobre

C₅H₁₁-O-CS –S K - Amilxantato

Ca(OH)₂ - Cal

CH₃-CH₂-O-CS-S Na - Etilxantato

NaCN - Cianeto de Sódio

ZnSO₄ - Sulfato de Zinco

1 Introdução

Portugal é um país de tradições mineiras devido à abundância de recursos minerais em seu território, contribuindo assim para o desenvolvimento económico da sociedade em diversos sectores produtivos. Porém a mineração é considerada uma atividade de alto risco ambiental por desencadear impactes adversos significativos.

Por muito tempo, órgãos e empresas responsáveis pela mineração, preocuparam-se somente no avanço económico, dessa forma era corriqueiro o melhor aproveitamento da lavra e não era de grande importância a segurança e o cuidado com o meio ambiente. Logo, quando a atividade deixava de cumprir o seu objetivo, o lucro, ela deixava de ser útil. Com um sistema de fiscalização precário, o abandono de minas tornou-se uma situação comum, o que intensifica ainda mais a degradação de estruturas previamente estabelecidas durante a exploração, colocando assim a segurança do local em risco. Segundo dados compilados pela EDM/EXMIN em 2001, 175 áreas mineiras em Portugal estavam em situação de abandono sendo caracterizadas no Estudo Base para a reabilitação de Áreas Mineiras Degradadas (AMD). Dentre os selecionados, encontra-se a mina Terramonte que teve seu encerramento oficial em 1973 devido à inviabilidade do lucro – a produção será alvo de estudo no presente trabalho.

Em Abril de 73, o engenheiro da mina, Fernando Nascimento da Fonseca, completou sua primeira vistoria e informou o Engenheiro Chefe da Circunscrição Mineira do Norte que não havia necessidade de vedação da área, pois não teria risco significativo dos rejeitos nas barragens se espalharem, uma vez que estavam consolidados. Como os sedimentos da barragem localizada sobre a Ribeira da Castanheira eram de granulometria fina, foi motivo de investigação da consolidação novamente em 1975. Verificou-se que na drenagem da barragem nascia água que saia na manilha do esgoto, em baixo do leito da Ribeira da Castanheira e, assim, foram desencadeando processos de degradação do meio físico, principalmente no solo. Outras vistorias foram feitas, sendo a última registrada em Setembro de 1975 e, após essa data, a mina Terramonte foi considerada mina abandonada.

Contudo, na década de 80, o segundo muro de suporte da barragem caiu fazendo com que os rejeitados finos fossem arrastados até a Estrada Nacional 222. O fato é exposto como acidente, mas pode-se dizer que foi previsto desde a vistoria de

75, tratando-se de uma negligência já que a fiscalização havia apontado indícios de degradação aparentes no solo, na água e na escombreira.

A Empresa de Desenvolvimento Mineiro S.A. (EDM) fez a obra de recuperação na área degradada, entre 2005 e 2008, porém sem sucesso completo, uma vez que os rejeitados arrastados após a queda do muro de sustentação ainda são visíveis ao longo da Ribeira.

Estudos anteriores foram feitos, de modo a monitorizar a área intervencionada e verificar o grau de contaminação no meio ambiente por conta da concentração de metais pesados espalhados na extensão da Ribeira da Castanheira.

Segundo (Rodrigues, 2009) no estudo da dispersão e contaminação, por Pb, Zn e As, associadas à escombreira da mina de Terramonte, concluiu-se a presença de elementos metálicos e semi-metálicos nas amostras de sedimentos e águas da Ribeira da Castanheira, proveniente dos resíduos mineiros acumulados dos quais não foram extraídos durante a operação da EDM, destacando As, Pb e Zn.

Noutro trabalho (Araújo, 2010) efetuou-se um estudo geoquímico das águas e sedimentos de corrente da Ribeira da Castanheira e dos sedimentos da barragem, constatando anormalidade nos teores de Ag, As, Au, Bi, Cd, Co, Cu, Fe, Pb, Mn, Ni, Sb, Th e Zn, entretanto neste estudo as análises apresentaram menores concentrações dos mesmos elementos, com exceção dos teores de Sb, analisados em 2009. Em 2013, Araújo constatou que a precipitação de óxidos/hidróxidos de ferro e fenómenos de adsorção e/ou co-precipitação das águas superficiais, foram os principais responsáveis pelo decaimento dos teores dos contaminantes na Ribeira da Castanheira a partir das análises efetuadas de 2009 até 2013.

Em relação ao estudo concretizado por Soares, em 2014, verificaram-se teores elevados em As, Cd, Cu, Pb, Sb e Zn nos sedimentos de corrente e embora os teores de As, Pb e Zn apresentem valores excedentes, a autora salienta ainda que ocorreu diminuição dos teores nas análises de 2014 ao comparar com os resultados de 2010. Nas análises de água os elementos em destaque de elevada concentração são As, Cd, Cu, Pb e Zn, estes também tiveram evolução positiva em comparação aos resultados obtidos por Araújo.

A partir do atual estudo pretende-se verificar o grau de evolução após os últimos estudos na antiga área mineira.

1.1 Relevância do Estudo

A mina de Terramonte destacou-se por apresentar eminente grau de perigosidade devido ao grande potencial de agressão ao meio ambiente necessitando assim de maior atenção e investigação. A contaminação na região apresenta impactes ambientais significativos por ter elevado potencial poluidor e principalmente por ser uma área com importantes redes hidrográficas locais, como o Rio Douro – terceiro rio mais extenso da Península Ibérica. Dessa forma justifica-se a necessidade de intervenção no âmbito de colaborar com a monitorização da antiga mineira. Mesmo após a reabilitação feita pela EDM, resultados de monitorização anteriores apontam que a região mineira ainda tem alta capacidade de agressão ao meio ambiente. Propõe-se assim a elaboração da dissertação de mestrado intitulada “Evolução da Contaminação por rejeitados associados à área mineira de Terramonte, Castelo de Paiva – Portugal”, sob orientação do Doutor António José Guerner Dias, do departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

1.2 Objetivo Principal

O presente estudo teve como objetivo principal, avaliar os sedimentos e a água da Ribeira da Castanheira, a fim de verificar a evolução da contaminação por rejeitados associados a antiga área mineira de Terramonte, após estudos já realizados no local em 2009, 2010, 2013 e 2014, como forma de monitorização contínua.

1.2.1 Objetivos secundários

Como objetivos secundários, consideram-se:

- Informar sobre a perigosidade ambiental que a drenagem ácida mineira representa e suas consequências;
- Consciencialização para a necessidade de intervencionar e de reabilitar outras áreas mineiras, para que o processo de deterioração não provoque piores acidentes;
- Avaliar a eficácia das medidas de mitigação aplicadas em Terramonte.

1.3 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação está organizada com 6 capítulos e um conjunto de Anexos para compor o presente trabalho.

No presente capítulo, Capítulo 1, é feito o enquadramento do estudo e sua relevância, bem como são apresentados os objetivos e a estrutura do trabalho.

No Capítulo 2, apresenta-se um breve levantamento histórico da mineração, correlacionando-a com o meio ambiente e consequentes impactes ambientais.

Já no Capítulo 3, foi feito o enquadramento geográfico, geológico e apresentados factos históricos da mina Terramonte.

No Capítulo 4, apresenta-se a metodologia utilizada para obter as amostras e sua preparação para realização das análises.

Já no Capítulo 5, avaliam-se os resultados com discussão de cada parâmetro e elemento, equiparados com os padrões de qualidade e o grau de evolução dos contaminantes com os dados obtidos nos estudos anteriores.

No Capítulo 6, foi realizada a conclusão da caracterização efectuada em todo o trabalho e apresentam-se propostas de metodologias para trabalhos futuros na antiga área mineira de Terramonte.

Finalmente apresenta-se a referenciação da bibliografia utilizada.

2 Estado da Arte

2.1 Mineração e o meio ambiente

O Homem desde que descobriu o valor do bem mineral como recurso transpôs a estudá-lo, a extraí-lo, a prospetá-lo e a transformá-lo em prol de se beneficiar.

Da arqueologia apenas é possível obter algumas informações históricas de locais que serviram como atividades mineiras para o homem durante um longo período de tempo. Isso se deve ao fato de contínuas explorações apagarem vestígios de trabalhos anteriores, dificultando assim a reconstituição histórica da mineração (Campos, 1957). Ainda assim, segundo dados de Evans (1997), esse tipo de atividade se iniciou há cerca de 500 000 anos, inicialmente utilizando os materiais para construção de armas e ferramentas e, posteriormente, para pigmentação de tecidos, entre outros utensílios para facilitar a vida humana. Hoje é um dos sectores industriais de maior importância para o desenvolvimento socio- económico mundial.

O Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) define “(i) *minério, como substância mineral cuja existência fundamenta a concessibilidade de depósito mineral, o produto da sua extração (minério bruto) ou o produto da sua valorização mineralúrgica (minério beneficiado)*; (ii) *mina o conjunto do depósito mineral objeto de concessão, dos anexos mineiros, das obras e dos bens imóveis afetos à exploração*; (iii) *Prospecção e pesquisa são as atividades que visam a descoberta de ocorrências minerais e a determinação das suas características até à revelação da existência de valor económico* (iv) *Exploração - a atividade posterior à prospecção e pesquisa, abrangendo o reconhecimento, a preparação e a extração do minério bruto, bem como o seu tratamento e transformação, quando processados em anexos mineiros*; (v) *Depósitos minerais todas as ocorrências minerais existentes em território nacional e nos fundos marinhos da zona económica exclusiva que, pela sua raridade, alto valor específico ou importância na aplicação em processos industriais das substâncias nelas contidas, se apresentam com especial interesse para a economia nacional (art. 2.º do DL 90/90).*”. Basicamente o objeto da mineração é extrair, produzir e comercializar um bem mineral de importância económica.

Porém, as indústrias de extração de minérios podem provocar impactes ambientais consequentes de ações antrópicas em um determinado espaço geográfico podendo ser positivos ou negativos. Dentre os positivos, encontram-se os aspectos económicos, como o desenvolvimento da infraestrutura, geração de empregos,

avanços tecnológicos, entre outros (Patrício et al, 2013). Já os impactes negativos geram conflitos ambientais dos tipos naturais e sociais e também económicos na área mineira e em seu entorno, comprometendo o meio físico, como a boa qualidade do ar, os recursos hídricos, a alteração da paisagem conforme os tipos de mineração e as características do depósito mineral (Dias, 2001). Quando a remoção da cobertura vegetal, do solo e rocha estéril é colocada em pilhas ou cava extinta, isso pode gerar mudanças topográficas e de solidez da paisagem. Alguns dos materiais removidos também podem gerar drenagem ácida na mineira (DAM), caso os materiais removidos contenham enxofre (Oliveira Júnior 2001), logo ocorre oxidação natural de minerais de sulfureto quando expostos à água e ao ar (Mills, 2012). Como a DAM contém ácido sulfúrico, o pH da água diminui uma vez que a oxidação do sulfureto começa, consequentemente, sob condições de pH baixas, o sulfato férrico pode ser oxidado, podendo afetar outros minerais, como sulfuretos de chumbo, cobre, zinco ou cádmio, resultando em altas concentrações de metais tóxicos dissolvidos (Huyssteen, 1998). Adicionalmente aos impactes, ocorre comprometimento da integridade física, psicológicas e económica da população vizinha, entre outros efeitos indesejáveis no ecossistema.

É possível observar no diagrama (Fig.1), adaptado de Huyssteen (1998), os principais aspetos negativos associados às diferentes etapas da atividade mineira, bem como a dimensão dos impactes negativos que a mineração gera ao meio-físico, muitas vezes irreversíveis.

Mineração e Processamento

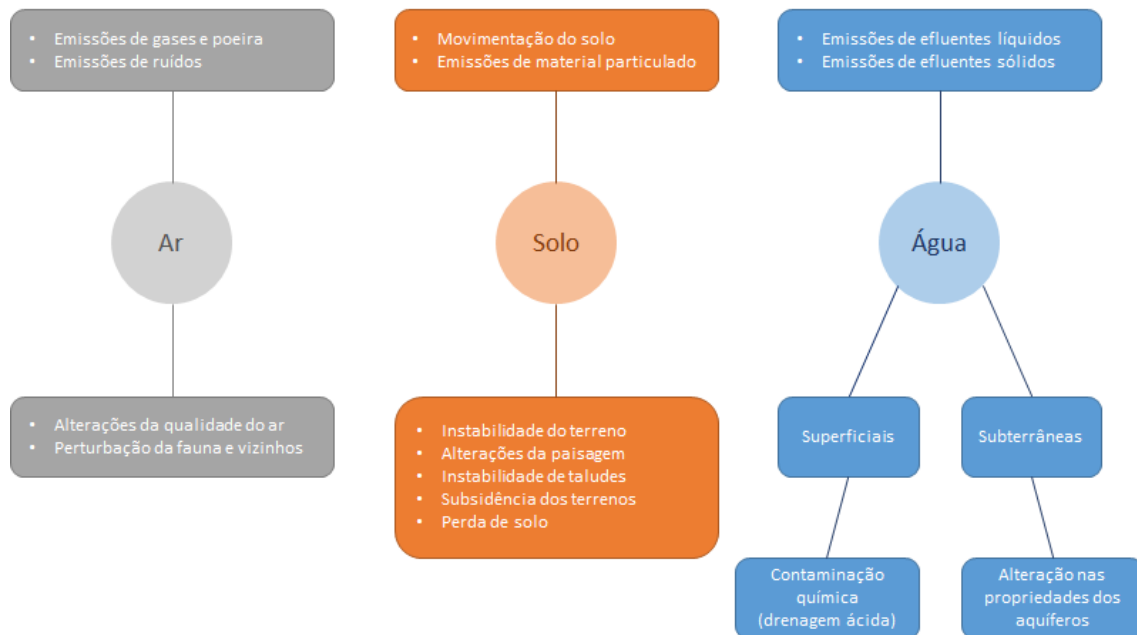


Fig. 1: Adaptação do modelo mineração e processamento mineral associados ao meio-físico (adaptado de Van Huystem, 1998).

Apesar de existir a preocupação humana com a natureza, a mineração tem aumentado por ser uma atividade económica lucrativa, com investimentos altos, e com retorno garantido e, assim, dominando a economia de muitos países.

Até meados da década de 1970, a extração mineral seguiu suas funções sem grandes objeções. Após esse período, devido à degradação ambiental que a atividade provoca, começou a receber críticas e até restrições perante a lei. No final da década de 1980, com a propagação da concepção do desenvolvimento sustentável, devido ao aumento do consumo e, consequentemente, da poluição, surgiu a preocupação sobre a escassez de recursos e mudanças sociais para espécie humana. Porém, somente na década de 1990 o conceito de desenvolvimento sustentável passou a ser debatido nas atividades de mineração, inovando mecanismos para a redução da degradação ambiental e potencializando alternativas práticas de redução dos impactes como, por exemplo, lidar com os rejeitados da mineração no ambiente de modo a não comprometer a atividade económica. Para esse resultado, é necessário o auxílio de pessoas especializadas para concretizar a reabilitação do local, durante e após a exploração, embora o ambiente nunca volte ao seu estado inicial.

A preservação e o desenvolvimento sustentável, atualmente, se destacam na política internacional, dessa forma as mediações ecológicas tornam-se importantes componentes nas grandes decisões políticas, sociais e económicas mundiais (Bursztyn, 1994).

Com isso, antes da aprovação de uma atividade mineira é necessário um Estudo de Impacte Ambiental (EIA), trata-se de um projeto formal para identificar e avaliar os efeitos esperados da atividade, feito de forma proactiva, com o controle ambiental para mitigação dos mesmos, ou seja, potencializar os impactes positivos, minimizar os impactes negativos ou compensar quando não for possível a minimização. Esse projeto dura toda a fase de laboração de forma preventiva e o ciclo deve ser encerrado com a recuperação ambiental, finalização do processo mineiro, preparando para recompor a área utilizada e degradada para ser entregue à sociedade.

2.2 Rejeitados dos espaços mineiros

Os resíduos sólidos nas atividades de mineração são os principais responsáveis pelos impactes negativos ambientais. Segundo o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM 2016) *“a exploração de recursos minerais se destaca de outros sectores industriais, por ser a fornecedora de insumos que são a base das cadeias produtivas dos mesmos, pelas particularidades no dimensionamento da geração dos resíduos para cada tipologia mineral e, principalmente, pelas conotações diferenciadas e particularidades muito específicas e distintas daquelas dos resíduos sólidos gerados nos outros segmentos.”*

Das atividades mineiras são produzidos os resíduos estéreis e os rejeitados. Os denominados estéreis são os materiais sem valor económico, produzidos no capeamento da jazida e são usualmente acumulados e algumas vezes empregados no próprio processo de extração do minério. Os rejeitados são os materiais resultantes do sistema de beneficiação do minério, contêm elevado grau de toxicidade devido a metais pesados e reagentes. Os rejeitados que possuem granulometria acima de 0.074 mm, são chamados de granulares mas, quando a granulometria for mais fina, são denominados lamas (Lozano, 2006).

Na mineração, as principais alterações físicas à paisagem, ocorrem pelas aberturas das cavas, disposição de material estéril, originário do capeamento superficial e da deposição de rejeitados decorrentes dos processos de tratamento ou beneficiamento do minério (IBRAM 2016). A quantidade gerada de rejeitados é

elevada no processo de beneficiação e a deposição dependerá dos objetos económicos da mineradora (Faria 2002)

Com a Revolução Industrial, o aumento da procura de insumos minerais elevou-se o volume de rejeitados que se acumulavam próximo das áreas de extração. Por conta disso, há o surgimento das construções de diques de contenção para a deposição e contenção destes rejeitados. Com o advento tecnológico, os rejeitados passaram a ter granulometria mais fina e mais barragens foram construídas com o intuito de reter os rejeitados produzidos pelo processo de beneficiamento. Porém, ficaram cada vez mais distantes das áreas de extração e mais próximas a cursos de águas, lagos e oceanos aumentando a probabilidade de contaminação noutras regiões (Lozano, 2006).

2.3 Deposição dos rejeitados da atividade mineira

Segundo o (IBRAM 2016), os rejeitados podem ser depostos em “i) minas subterrâneas, ii) em cavas exauridas de minas, iii) em pilhas, iv) por empilhamento a seco (método “dry stacking”), v) por disposição em pasta, e vi) em barragens de contenção de rejeitados (do tipo a montante, a jusante e “em linha de centro”).”

Normalmente os rejeitados são depositados em diques de contenção ou barragens, conforme as propriedades mecânicas, os contextos geológicos e topografia do local. As barragens podem ser construídas com solos, as chamadas barragens convencionais, ou os próprios rejeitados, denominadas barragens de contenção alteadas. Como alguns rejeitados são transportados com alto teor de água por meio de tubulações, através de bombeamento ou gravidade, à área de deposição, é feita a impermeabilização dos solos, evitando assim infiltração dos efluentes danosos para a qualidade das águas, como soluções com metais pesados, cianeto ou com pH ácido (IBRAM 2016).

As barragens de contenção dos rejeitados visam diminuir os custos do processo de extração mineral por meio de alteamentos sucessivos, assumindo assim vantagens e desvantagens, dependendo de suas características. São três os métodos de alteamento denominados conforme a direção em relação ao dique: método montante, método jusante e método linha de centro (IBRAM, 2016). É possível comparar as vantagens e desvantagens de cada método de deposição dos rejeitados nas tabelas 1, 2 e 3.

2.3.1 Método montante

No método montante a escombreira cresce em direção à nascente de um rio, sendo o método mais antigo e económico, pois apresenta redução dos custos de implantação, é uma barragem dique de partida, composto de material argiloso ou rochoso granulado e compactado a partir da jusante (Fig. 2).

Os rejeitados são deitados por canhões em direção a montante da linha simétrica do dique, formando uma praia de rejeitados, produzindo uma conjunto de lama revestindo o talude montante e dessa forma torna-se impermeável, assim forma-se o material de construção para outro alteamento de dique. É um processo contínuo e finda quando a última cota prevista em projeto seja alcançada (Coqueia, 2014).

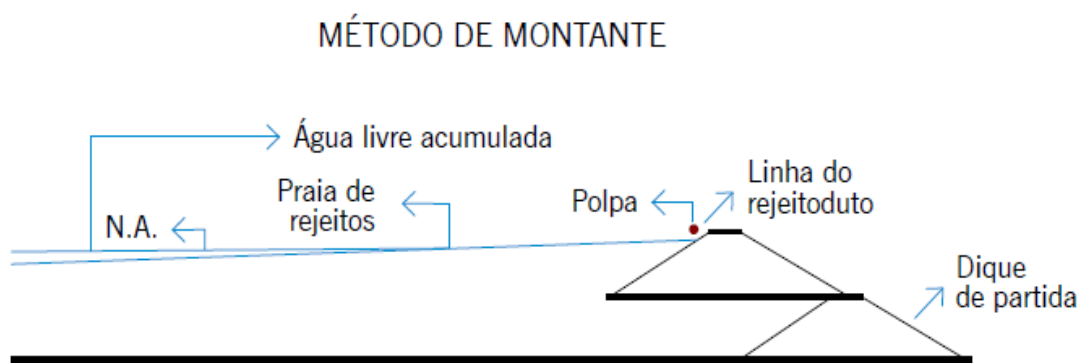


Fig. 2: Representação do método montante de construção de barragens (IBRAM 2016).

Tab. 1: Vantagens e desvantagens do método montante de construção de barragens.

Vantagens	Desvantagens
1. Menor quantidade de rejeitados dos alteamentos;	1. Menor segurança por ter a linha freática perto do talude a jusante, podem ocorrer ruturas por percolação e erosão;
2. Baixo custo de construção;	2. Sensível à liquefação se ocorrerem sismos;
3. Fácil manuseio;	3. Dificuldade de implantar um sistema de drenagem eficiente.
4. Maior velocidade de alteamento;	
5. A construção pode ser feita em topografia íngreme.	

2.3.2 Método Jusante

No método jusante a escombreira cresce em direção à foz de um rio, sendo um método mais conservador comparando ao método montante. Inicialmente é construído um dique de partida impermeável contendo um filtro inclinado e tapete para reter os líquidos, onde nos taludes internos os alteamentos apresentam o eixo da barragem deslocado para jusante (Fig. 3). O talude interno da barragem, nos alteamentos, são impermeabilizados ou os diques são compactados com materiais argilosos e seu ângulo de atrito elevado, dessa forma, impede as infiltrações e a liquefações (Coqueia, 2014).

No método jusante os rejeitados são ciclizados, geralmente a forma de deposição é por *spigotting* periférico, assim os rejeitados de maiores granulometrias, *underflow*, são espalhados em camadas finas e depois compactados.

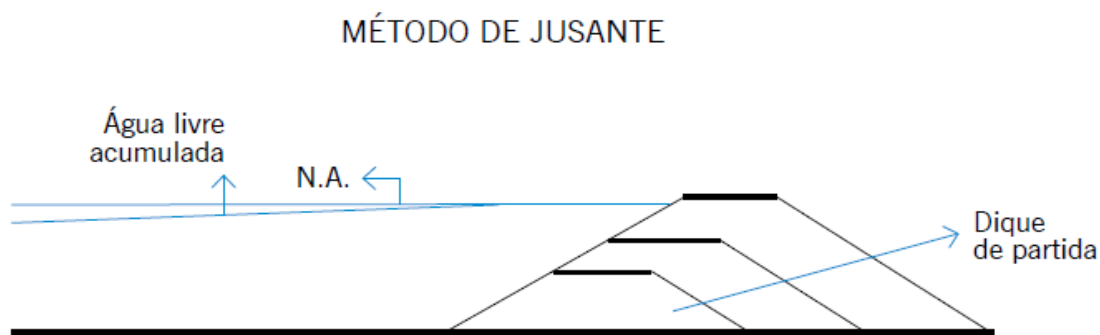


Fig. 3: Representação do método jusante de construção de barragens (IBRAM 2016).

Tab. 2: Vantagens e desvantagens do método jusante de construção de barragens.

Vantagens	Desvantagens
1. Eficiente para controle de superfícies freáticas;	1. Necessário maior volume de material para construção;
2. Alta resistência para forças sísmicas, pois são compactados e a suscetibilidade de liquefação é menor;	2. Maiores custos;
3. O estéril da lavra pode ser utilizado e misturado nos alteamentos;	3. Maior área ocupada, devido ao progresso da estrutura para a jusante, necessário crescimento da altura;
4. Maior segurança e menor chance de rutura horizontal;	4. Possibilidade de colmatação, caso o sistema de drenagem não seja eficiente;
5. Operação muito simples.	5. Em locais de alta pluviosidade dificulta que os rejeitos sejam compactados corretamente.

2.3.3 Método de Construção Central

É um método que utiliza características do método montante e do método jusante, tem uma segurança maior comparando a barragem alteada montante e não necessita de tanto volume como no método jusante.

Inicialmente é construído um dique de partida e os rejeitados são lançados a partir da crista do dique até formar uma praia, similar ao método montante. Posteriormente, o alteamento formado lança materiais de empréstimo sobre o limite da praia formada e no talude da jusante do maciço de partida, mantendo o eixo do dique com eixo coincidente (Lozano 2006) (Fig. 4).

MÉTODO DA LINHA DE CENTRO

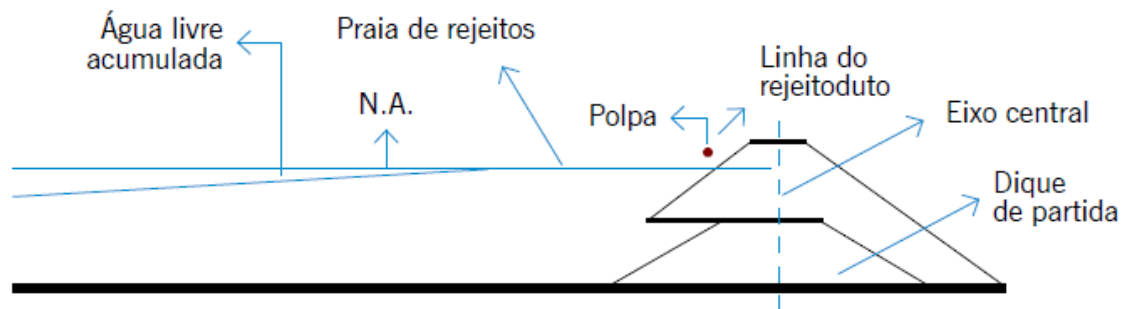


Fig. 4: Representação do método da linha central de construção de barragens (IBRAM 2016).

Tab. 3: Vantagens e desvantagens do método da linha central de construção de barragens.

Vantagens	Desvantagens
1. Facilidade de construção;	1. Podem ocorrer fissuras no corpo da barragem;
2. Redução do volume de material para construção;	2. Dificuldade de implantar um sistema de drenagem eficiente;
3. Eixos de alteamentos constantes;	3. Possibilidade de colmatção, caso o sistema de drenagem não seja eficiente;
4. Drenagem interna eficiente.	4. Operação complexa;
	5. Alto investimento.

2.4 Acidentes nas Barragens dos Rejeitados

Por serem estruturas complexas, as barragens de contenção dos rejeitados, são vulneráveis a falhas parciais ou totais mas, graças ao modernismo da tecnologia, é possível monitorizar com análises técnicas, privilegiando a segurança com vistorias constantes, para evitar riscos de incidentes e acidentes (Coqueia 2014).

Acidentes e incidentes são atribuídos a erros humanos ou da natureza. Incidentes são os episódios que ocorrem repentinamente, são indesejáveis e de pequeno porte, afetam a obra e podem reduzir significativamente a segurança caso o problema não seja corrigido a tempo.

Acidente é um acontecimento repentino e inesperado, resultante de uma rutura parcial ou total da obra, podendo acarretar graves consequências económicas, sociais e ambientais, muitas vezes irreversíveis. Quando o acidente causa danos a terceiros, devastação, colapso total da estrutura e até ocorrência de morte, é definido como acidente catastrófico.

Segundo a International Commission On Large Dams (ICOLD), as causas mais frequentes de falhas de barragens, são os projetos desordenados, imperfeições da fundação, falha estrutural dos materiais utilizados na construção da barragem e manutenção inadequada.

É notável, pelo histórico da mineração, que as defetividades no armazenamento de resíduos são um grande problema e podem provocar a ocorrência de falhas graves em número suficiente para causarem impactes significativos e com perda de vidas humanas.

Alguns autores salientam, ainda, que apesar de cada um ser responsável pelas suas ações, muitas vezes as consequências na segurança ambiental causadas por acidentes de barragens de rejeitados acabam sendo custeadas pelo governo, pois algumas indústrias declaram falência e os gastos com a remediação e recuperação passam a ser responsabilidade do governo, ou seja, trata-se de um passivo ambiental órfão.

O histórico de falhas de barragens é uma ferramenta corretiva, pois a partir dos erros ocorridos anteriormente podem-se criar propostas de prevenção e planos de ação emergencial (Aguiar 2014).

Até Junho de 2017, a ICOLD listou 185 acidentes de barragens de rejeitados no mundo desde 1960. Dentre esses números esta um dos casos mais repercutidos mundialmente, a barragem do Fundão, devido o rompimento da barragem de rejeitados mineiros da empresa SAMARCO, no dia 5 de Novembro de 2015 município de Mariana, Minas Gerais, Brasil, que matou 9 e afetou mais de 300 000 pessoas, devido aos 34 milhões de m³ de rejeitados lançados na extensão de 1 600ha nas margens da bacia hidrográfica do rio Doce (Pinto-Coelho, 2015). Baseando-se no histórico de rompimento de barragens, conclui-se que a maior parte dos danos são devastadores e prejudicam a economia, a sociedade e o meio ambiente. Devido a esse fato é necessário monitorização constante, para garantir seu íntegro funcionamento.

A falta de capacitação dos profissionais responsáveis, falhas humanas, dados incertos das estruturas, falta de interpretação das pessoas qualificadas para o trabalho e o abandono da área mineira, são ativos que ajudam a aparecer defeitos parciais ou completos nas estruturas das barragens de deposição de rejeitados mineiros, acarretando em possíveis galgamentos, falha na fundação, erosão, canalização, liquefação, colapso ocorrido por velocidade de crescimento e colapso por aumento do nível de água (Coqueia, 2014). Por conta disto, a monitorização de barragens deve começar no início da sua construção, considerando-se segura quando os critérios técnicos de segurança estrutural, conforme o projeto de execução e manutenção, levando em conta o potencial de danos que possa ocorrer caso aja uma hipotética rutura e a qualidade da equipa técnica gestora da estrutura sejam bem qualificadas, a fim de evitar negligências humanas (Aguiar 2014).

2.5 Toxicidade

Os metais pesados são definidos como elementos metálicos com uma densidade relativamente alta em comparação com a água (Fergusson JE, 2009). Com o pressuposto de que o peso e a toxicidade estão inter-relacionados, os metais pesados, alguns relativamente comuns como o Cr, Fe, Mg, Hg, Ni, Zn, também incluem metalóides, como o As, que são capazes de induzir toxicidade em baixo nível de exposição (Duffus JH, 2002). Nos últimos anos, tem havido uma crescente preocupação ecológica e global da saúde pública associada à contaminação ambiental por estes metais. Além disso, a exposição humana aumentou dramaticamente como resultado de um aumento exponencial do seu uso em várias aplicações industriais, agrícolas, domésticas e tecnológicas (Bradl H, 2002).

Devido ao seu alto grau de toxicidade, o As, Cd, Cr, Pb e Hg, classificam-se entre os elementos prioritários de grande importância para a saúde pública. Todos eles são tóxicos sistémicos, conhecidos por induzir danos em múltiplos órgãos, mesmo para níveis mais baixos de exposição. De acordo com a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) e a Agência Internacional de Pesquisas sobre o Câncer (IARC), esses metais também são classificados como carcinogêneos humanos. A toxicidade e a carcinogenicidade induzidas por metais pesados envolvem muitos aspetos mecanicistas, alguns dos quais não são claramente entendidos. No entanto, cada metal é conhecido por ter características únicas e propriedades físico-químicas que conferem aos seus mecanismos ações toxicológicas específicas.

A equipe de Divisão de Toxicologia, Genotoxicidade e Microbiologia Ambiental da CETESB - Companhia Ambiental Do Estado De São Paulo, desenvolveu uma Ficha de Informação Toxicológica (FIT), contendo informações resumidas de usos e ocorrência de substâncias químicas no ambiente, comportamento nos meios e toxicidade. Adicionalmente com as informações da FIT, foram usadas informações do banco de dados do *Hazardous Substances Data Bank* (HSDB, 1993). Baseado nessas fichas, a seguir são listadas na tabela 4 algumas informações importantes dos metais em questão e a sua relação com os efeitos na natureza e na saúde humana caso haja exposição ambiental.

Tab. 4: Efeitos na saúde humana com exposição dos elementos relevantes nesse estudo.

- **Alumínio (Al)** Fator de risco para desenvolvimento de Alzheimer; pacientes com insuficiência renal têm risco de desenvolver encefalopatia, osteomalacia resistente à vitamina D e anemia microcítica. O pó de alumínio pode causar fibrose pulmonar. Pode ocorrer mudanças na acidez ambiental que podem afetar a solubilidade, diferenciação e sensibilidade do organismo ao Al; os peixes podem sofrer asfixia em condições ácidas moderadas ou desequilíbrios eletrolíticos devido ao pH mais baixo. As aves e os mamíferos são afetados através da ingestão dietética de alimentos contaminados com concentrações > 1000 mg/kg de Al, causando raquitismo, pois precipita com o P no intestino.
- **Antimónio (Sb)** A exposição do Sb, causa alterações do ECG, especialmente anormalidades da onda T, alterações miocárdicas, pneumoconiose, pneumonite, traqueíte, laringite, bronquite, erupções da pele pustulosa, sintomas gastrointestinais, rinite, conjuntivite, bronquite, dermatite e perfuração septo nasal.
- **Cádmio (Cd)** Compostos são cancerígenos para os seres humanos. Os efeitos da exposição podem incluir dor de cabeça, náuseas, falta de ar, dor torácica, fraqueza, febre, dano

- renal, dano hepático, bronquite crónica, enfisema e edema pulmonar (possivelmente resultando em morte ou lesões tardias), osteomalacia, osteoporose e fraturas espontâneas podem aparecer após ingestão prolongada.
- **Chumbo (Pb)** Contacto com chumbo produz vários efeitos deletérios sobre o sistema nervoso, hematopoiético, central, reprodutivo e renal.
 - **Cobre (Cu)** Contacto humano causa deficiência na absorção do iodo (problemas da tiróide), dilatação do coração, relatos de anemia hemolítica aguda em pacientes submetidos à hemodiálise, os fumos e poeira causam irritação do trato respiratório superior, congestão de mucosas nasais, ulceração e perfuração do septo nasal e congestão faríngea.
 - **Crómio (Cr)** O maior risco de toxicidade de Cr é nas plantas, deixando o solo ácido com baixo conteúdo orgânico, material muito difícil de ser extraído do solo.
 - **Ferro (Fe)** Pode ocorrer irritação para as vias respiratórias, irritação na pele, efeitos corrosivos na mucosa, dano hepático, erosões estomacais e intestinais e ulceração, acidose metabólica, doenças cardiovasculares, lesão pancreática.
 - **Manganês (Mn)** Parkinson idiopática (PD), consequências duradouras nos sintomas neuropsiquiátricos. Em animais em exposição ao Mn verificou-se elevação de albumina, dano no DNA, perda de peso, alterações fibróticas, risco de desenvolvimento de câncer.
 - **Mercúrio (Hg)** A exposição aguda por inalação ao vapor de mercúrio pode ser seguida por dores no peito, dispneia, tosse, hemoptise e, por vezes, pneumonia intersticial que leva à morte, reações psicóticas caracterizadas por alucinações e tendência suicida, dermatite de contacto, aneuploidia linfocítica, gastroenterite ulcerativa e necrose tubular aguda causando morte por anúria. Em animais expostos ao Hg ocorreram danos ao cérebro, rim, coração e pulmões. A absorção de Hg pelas plantas aumentou gradualmente com o aumento de concentração de Hg no meio de cultura.
 - **Níquel (Ni)** Risco de câncer na cavidade nasal e pulmão, conjuntivite, ligeira fibrose, efeitos crónicos como rinite, sinusite, perfurações do septo nasal e asma, dermatite de contacto, alteração do DNA, perda de peso, alterações fibróticas, risco de desenvolvimento de câncer.
 - **Zinco (Zn)** O consumo excessivo através da água, alimentos ou suplementos nutricionais, pode afetar a saúde. A ingestão aguda de altas doses pode provocar ainda cólicas estomacais, náuseas e vômitos. A ingestão de altas doses por meses seguidos pode causar anemia, danos ao pâncreas e diminuição do colesterol HDL.

2.5.1 Toxicidade em Sedimentos e na Água.

A contaminação dos sistemas aquáticos por metais pesados, especialmente nos sedimentos que compõem os leitos dos rios, são resultados de processos físicos, químicos e biológicos. Por este motivo, a poluição tornou-se uma das questões mais desafiadoras devido à abundante toxicidade, persistência e subsequente bioacumulação desses materiais (Barlas *et al.*, 2005). Quando descarregados em ecossistemas aquáticos, os metais pesados podem ser absorvidos por sólidos em suspensão, então fortemente acumulados em sedimentos e biomagnificados ao longo de sistema aquáticos (Yi *et al.*, 2011), influenciando o metabolismo de toda cadeia aquática.

Os metais têm pouca solubilidade em água e, por isso, são absorvidos e acumulados em sedimentos inferiores (Jain *et al.*, 2008). Estes metais, quando instalados em sedimentos, podem ser re-suspensos causando a contaminação secundária do ambiente aquático (Malferrari *et al.*, 2009). Portanto, levantamentos espaciais das concentrações de metais nos sedimentos e, em seguida, comparações com linhas de base não poluídas são importantes para compreender os mecanismos de acumulação e distribuição geoquímica de metais pesados nos sistemas aquáticos e fornecer informações básicas para julgamento de riscos ambientais para a saúde.

3 Caso de estudo: Mina de Terramonte

3.1 Enquadramento Geográfico

3.1.1 Localização

A área de estudo abrange a antiga exploração mineira, situada a aproximadamente 50 km a SE do Porto, na freguesia de Raiva, Castelo de Paiva, Portugal (Fig. 5). Este local encontra-se cartografado entre as cartas 134 (Foz do Sousa) e 135 (Castelo de Paiva), da Carta Militar de Portugal à escala 1:25 000 dos Serviços Cartográficos do Exército (SCE) (Fig. 5). As instalações mineiras apresentam-se às coordenadas 41°01'58.8"N e 8°19'25.0"W, a 2 km do Rio Douro, junto à Ribeira da Castanheira (linha roxa Fig. 5 e Fig. 6).

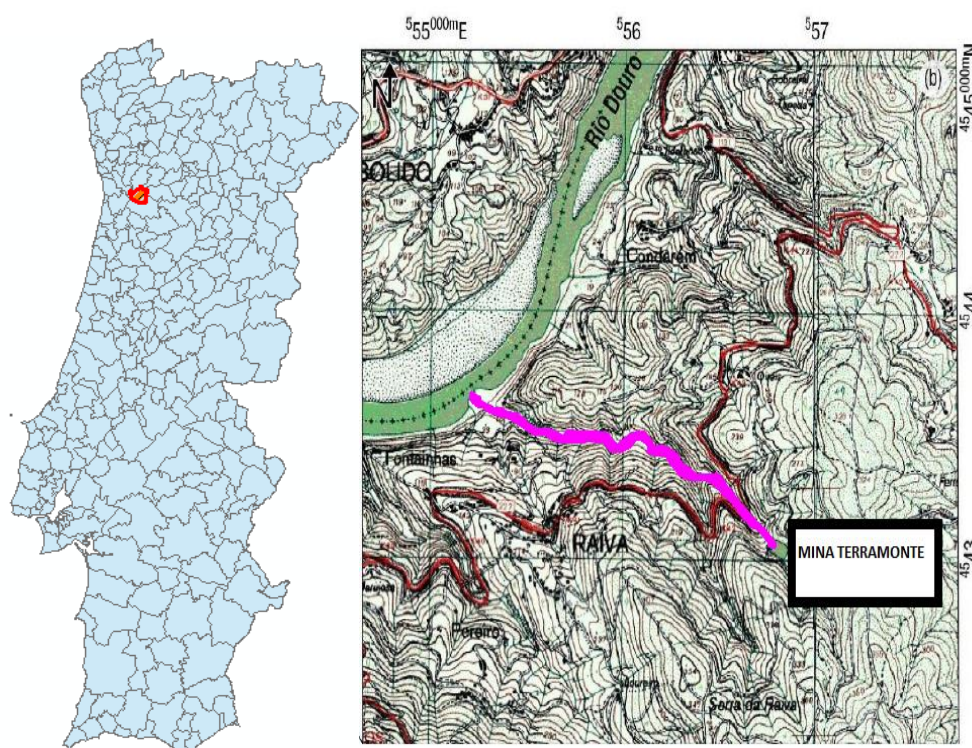


Fig. 5: Localização geográfica de Castelo de Paiva, onde está a área mineira de Terramonte, no mapa de Portugal (destacado em vermelho) e na Carta Militar de Portugal (fonte: folhas 134 Foz do Sousa e 135 Castelo de Paiva) na escala original de 1:25 000.

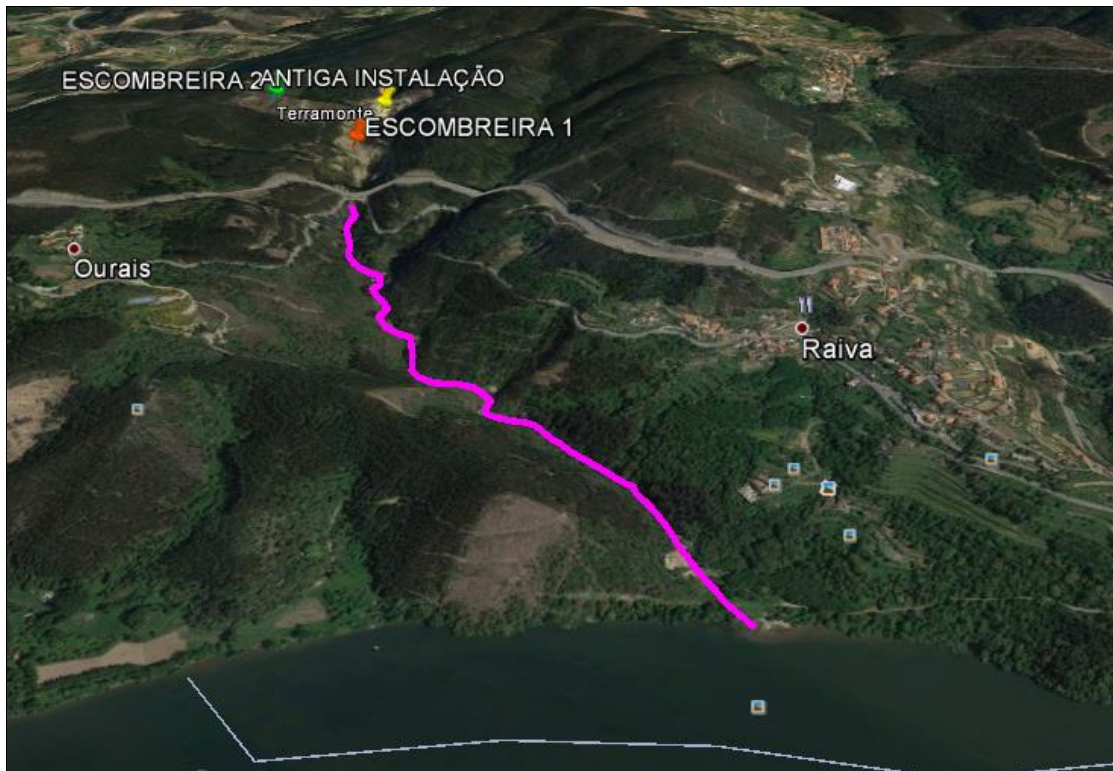


Fig. 6: Enquadramento geográfico da área mineira de Terramonte. Linha roxa identifica a Ribeira da Castanheira. Imagem de satélite (fonte: www.mapgoogle.com).

A antiga mina de Terramonte atinge uma área de aproximadamente 352 ha, no Concelho de Castelo de Paiva, com as sete concessões de demarcação do Couto Mineiro de Pb-Zn-Ag (Tab. 5)(Koehler, 1966).

Tab. 5: Setes demarcações do Couto mineiro de Terramonte (Koehler, 1966).

Serra de Montalto	49,78 ha
Terramonte	50,00 ha
Ribeiro da Lomba	50,00 ha
Ribeira da Castanheira	50,00 ha
Gardunha	21,85 ha
Serradelo	55,87 ha
Ourais	74,44 ha

3.2 Geomorfologia

O relevo dominante da região de Castelo de Paiva está relacionado com as rochas erodidas do Ordovícico, que sofreram erosão originando as cristas quartzíticas orientadas na direção NW-SE. Segundo Couto (1993) as cristas quartzíticas formam dois flancos devido à erosão referida que é o diferencial do anticlinal de Valongo. As

maiores latitudes encontram-se na região granítica da Serra de Montemuro, com mais de 258 metros de altitude.

A área mineira de Terramonte localiza-se em contexto geomorfológico relativamente acidentado com relevo com declives acentuados, favorecendo o escoamento superficial direto, exercendo influência significativa na direção da propagação da contaminação na região até contacto com o Rio Douro (Fig. 7).

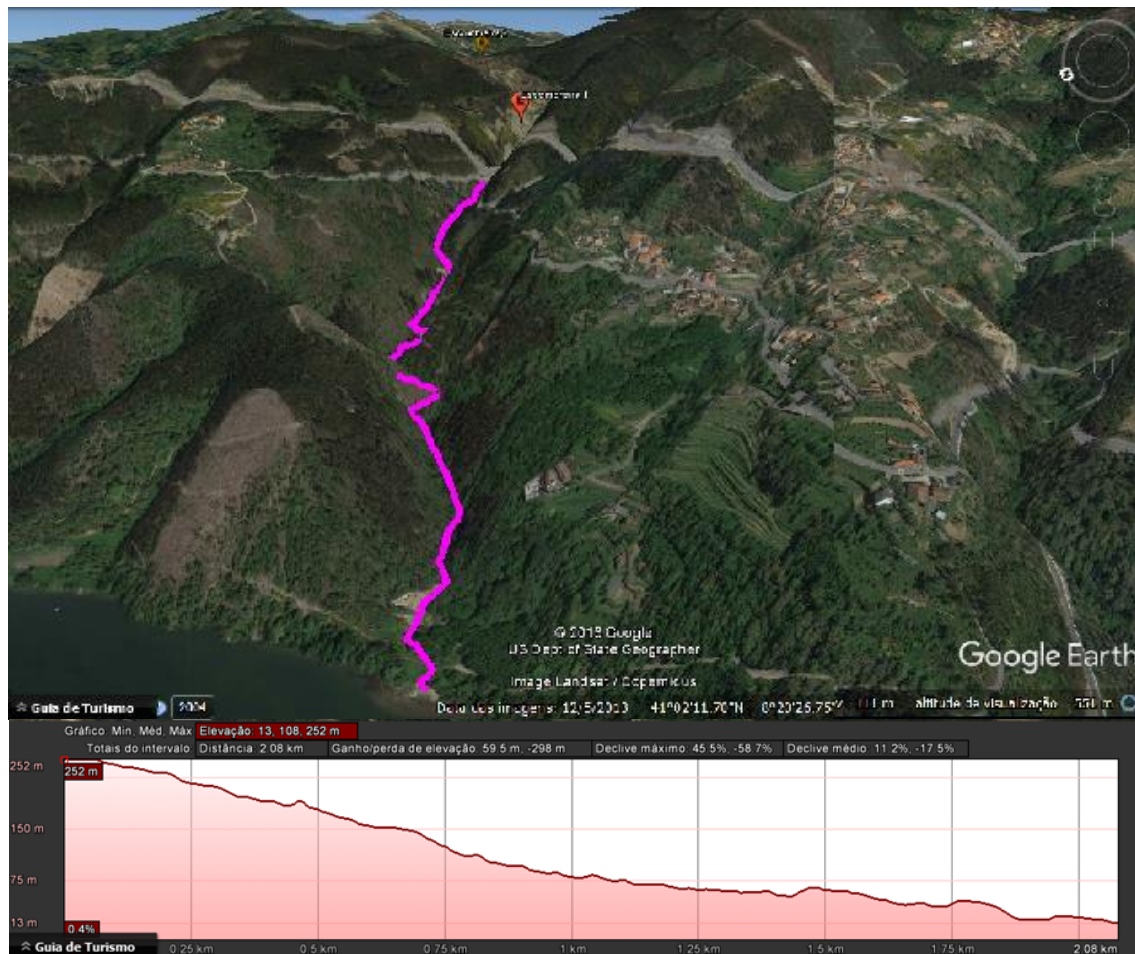


Fig. 7: Perfil topográfico ao longo da Ribeira da Castanheira, com a localização da área mineira de Terramonte (www.mapgoogle.com).

3.3 Rede Hidrográfica

A área mineira localiza-se a 2 km do Rio Douro, na sua margem Sul e é atravessada pela Ribeira da Castanheira (Ferrão, 2005), um dos seus afluentes que nasce na Serra da Raiva (Fig. 6).

O Rio Douro tem sua nascente na Espanha, na Serra de Urbión (Cordilheira Ibérica), a aproximadamente 1 700m de altitude (APA, 2012) apresenta uma bacia hidrográfica com 98 370 km², incluindo a área em território espanhol (Fig. 8 um comprimento de 927 km, sendo que 195 km situam-se em Portugal. Em 2005, dados do Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento de Água e de Águas Residuais (INSAAR) mostram que a região hidrográfica do Douro apresenta 103 captações de águas de superfície, com um volume de captação de 313 hm³, abastecendo 1.696.126 habitantes. Segundo (Tockner et al., 2009) a bacia do Douro é uma das bacias de maiores dimensões dos rios que atravessam o território português.

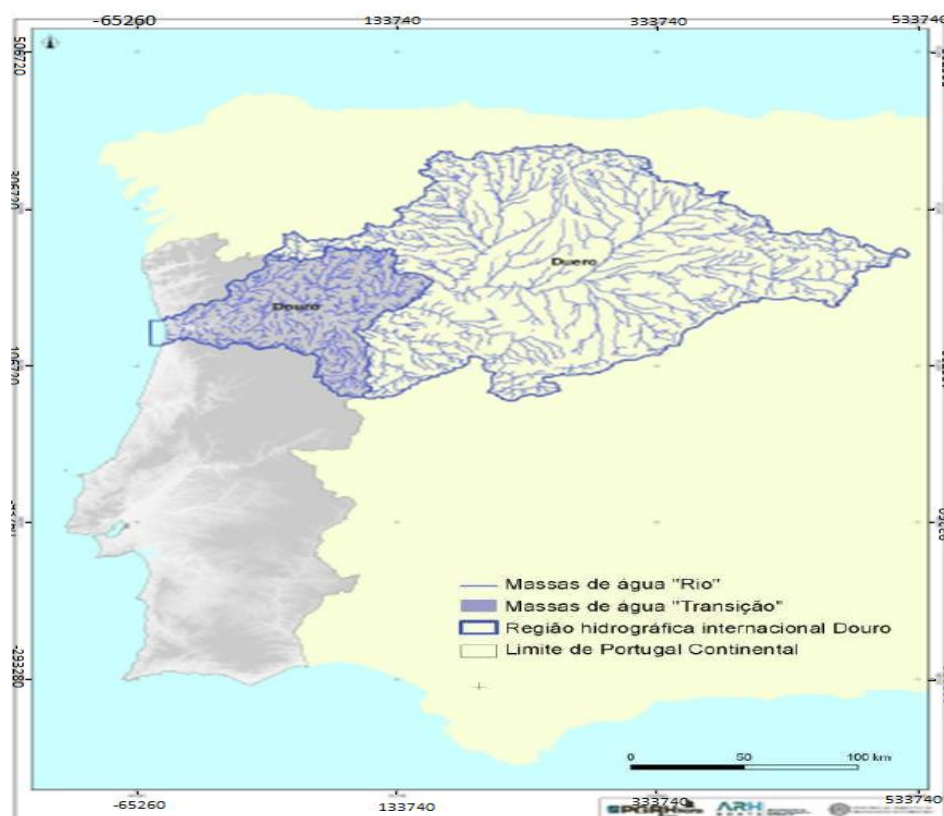


Fig. 8: Delimitação geográfica da bacia hidrográfica do Douro (Fonte: APA, 2012).

3.4 Clima

Os resultados das normais climatológicas 1971-2000, as últimas disponíveis, permitem identificar os diferentes tipos de clima, tendo-se utilizado para Portugal Continental a classificação de Köppen-Geiger, que corresponde à última revisão de Köppen em 1936 (Fig. 9). Os resultados obtidos pela cartografia, para esta classificação climática, permitem confirmar que na maior parte do território Continental o clima é Temperado, do Tipo C. A área de estudo, onde está localizada a mina de Terramonte, caracteriza-se por apresentar a Csb, clima temperado com verão seco e suave, em quase todas as regiões (IM 2010). Sendo seco entre os meses de Junho e Setembro, apresenta um período húmido entre os meses de Outubro a Maio. A época das chuvas ocorre entre Outubro e Maio e os valores médios de precipitação anual variam entre 1 148 mm e os 1 771 mm. Os valores médios de temperatura variam entre os 5 °C no inverno e os 30 °C no verão, sendo a temperatura média anual de 14,6 °C (SNIRH, 2014).

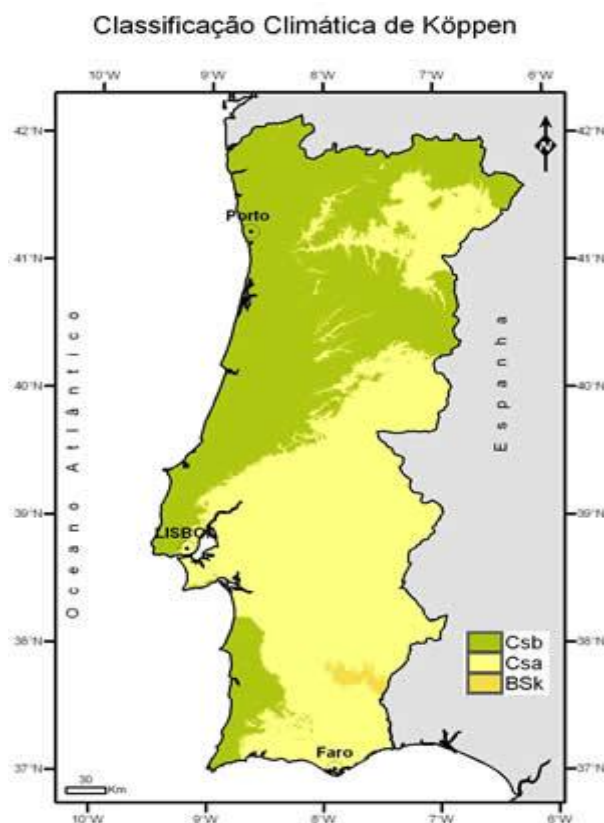


Fig. 9: Diferentes tipos de clima de Portugal Continental (fonte: <http://www.meteo.pt>, acedido em Janeiro de 2017).

3.5 Enquadramento Geológico

A área estudada integra-se na Zona Centro-Ibérica (ZCI). A cadeia hercínica, ou varisca, foi dobrada, pelo menos, por três fases de deformação: D1, D2 e D3, que registam encurtamento crustal, durante D1 e D2, em que até à colisão continental apareceram dobras deitadas e, já durante a D3 surgem dobras com plano axial vertical e zonas de cisalhamento dúctil (Noronha 2006).

Terramonte localiza-se na Zona Centro Ibérica (ZCI) (Fig. 10). Longitudinalmente à estruturação da ZCI ocorrem sinformas e antiformas amplos, com uma orientação NW-SE, cuja vergência varia de Norte para Sul, em que a Norte a vergência dá-se para Norte, a Sul, é vergente para Sul e na zona axial têm planos axiais subverticais, evidenciando uma *flower structure* (Ribeiro, 2013). Com grau metamórfico muito variável, devido a metamorfismo de baixa temperatura e pressão intermédia (do tipo Barroviano). O grau mais elevado está concentrado na zona Norte-Centro, sendo cada vez menor para Sul da ZCI (Dias et al., 2013).



Fig. 10: Unidades Paleogeográficas e Tectónicas da Península Ibérica (Dias et al., 2013).

Terramonte contém formações pouco metamorfizadas na estrutura anticlinal Dúrico-Beirã (Anticlinal de Valongo) e a SW do flanco inverso do mesmo, com uma idade que poderá ser Precâmbrica e/ou Câmblica (Couto 1993). Pelo facto das rochas componentes do CXG serem estéreis do ponto de vista paleontológico, dificulta a determinação da sua idade, porém, pode-se dizer que o terreno é mais antigo do que o Ordovícico, pois as suas rochas assentam sobre as rochas do CXG em discordância angular (Medeiros, 1964).

Em Terramonte foram consideradas duas associações: a inferior e a superior (Tab. 7), a última referida apresenta grande variedade de estruturas sedimentares, com alguns nódulos que poderão ter origem orgânica (Couto 1993).

Tab. 6: características das associações litológicas de Terramonte.

Associação litológica inferior	Associação litológica superior
Composta por xistos negros carbonosos com alternâncias arenosas no topo, passando gradualmente à associação litológica superior. Contendo rochas mais deformadas comparando com a da associação superior, com dobramento mais intenso (Couto 1993).	Formação de cor esverdeada constituída por alternâncias laminadas de sedimentos gresosos mais claros, evidenciando influência vulcânica, com sedimentos lutíticos mais escuros, de origem turbidítica, com níveis de epiclastitos. Na base ocorre fácies particular, essencialmente quartzosa, de cor cinza avermelhada (Couto 1993).

O filão quartzoso mineralizado por Pb, Ag e Zn, apresenta uma orientação NE-SW, atitude N60°E/82°N, com inclinação média de 80°NW, instalado numa falha, pode ter preenchido inicialmente fraturas relacionadas com a deformação pós-Estefaniana (Carvalho, 2010, Carvalho *et al.*, 2013).

É possível observar no corte longitudinal da mina (Fig. 11) a parte explorável do filão, delimitada pelas duas falhas quase perpendiculares que apresentam uma forma de um trapézio isósceles, com base menor na superfície (Koehler, 1966).



Fig. 11: Esquematização do corte longitudinal da mina Terramonte, sendo possível verificar as duas falhas perpendiculares em azul tracejado, a superfície em vermelho e a falha transversal em azul claro. (Adaptado de Koehler, 1966).

No mapa geológico (Fig. 12) distinguem-se os três tipos de xisto presentes na região de Terramonte, denominados Xisto de Terramonte, Xistos de Gondarém, e Xisto de Serradelo, dissertados na tabela 7

Tab. 7: Características distintas de cada xisto da Região de Terramonte (Koehler, 1966).

Xisto de Terramonte	Xisto de Gondarém	Xisto de Serradelo
Apresenta cor negra-esverdeada, dúctil, silicioso, com sinais de metamorfismo acentuado e com mecânica favorável para escavações.	Exibe uma cor avermelhada, devido à sua acentuada alteração superficial, não tão dúctil, apresenta-se distribuído em cada lado do anticlinal dos xistos de Terramonte	Apresenta uma xistosidade mal definida, diferente da do Xisto de Terramonte e da do Xisto de Gondarém, que podem ser do Precâmbrico e/ou Câmbrio; este xisto, devido à sua posição estratigráfica deverá pertencer ao Silúrio.

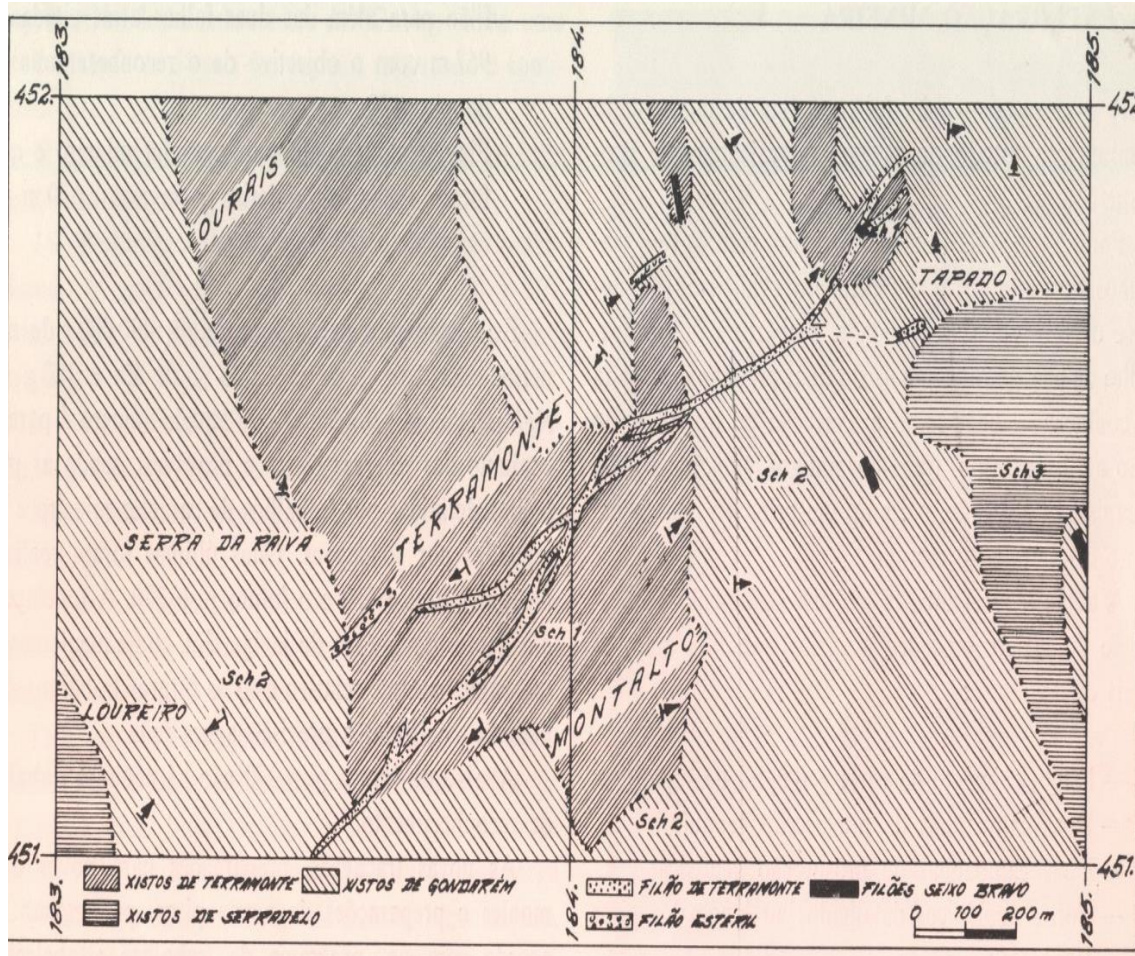


Fig. 12: Esquematização do enquadramento geológico da área de estudo (Koehler, 1966).

A mineralização em Pb, Ag e Zn, acontece junto ao muro do filão com aproximadamente 1 a 2 m a possança útil mineralizada. De acordo com (Gaspar,1967), além dos sulfuretos ricos em Pb (galena) e em zinco (blenda), também há o aparecimento jamesonite, bournite, pirargirite, tetraedrite, marcassite, argentite, pirite, polibasite, miargirite e calcopirite. Aquele autor salienta, ainda, que a quantidade de Ag no filão deve-se à presença de galena com exsoluções de sulfossais.

3.6 Abordagem Histórica

A área de estudo é caracterizada por ser uma região que apresenta filões mineralizados em galena argentífera e pela blenda, denominado como filão de Terramonte. Esses filões foram alvos de estudo e exploração mineira, entre 1860 e 1890, em que se alcançou uma profundidade de exploração da ordem dos 50 metros, sendo posteriormente abandonada a exploração (Koehler 1966).

Entre 1955 e 1960, esta área foi reavaliada pela Direção Geral de Minas (DGM) para se aferirem as potencialidades do filão anteriormente explorado despertando interesse da sociedade *The Portuguese American Tin C.º* e, em Junho de 1960, foram até o local para uma possível exploração, porém desistiram ao encontrar dificuldades na flutuação do minério, devido ao grau de finura da sua mineralização (Koehler 1966).

Em Março de 1962 o grupo internacional mineiro *Pl. A.N.T* iniciou novas sondagens e, em Outubro de 1964, ficaram responsáveis e assumiram a exploração do filão como MITEL – Minas de Terramonte, Lda. Por terem um ótimo recurso técnico e financeiro, prepararam e equiparam a mina num curto período de tempo e em 12 de Fevereiro de 1966 teve a inauguração oficial dando início às explorações de Pb, Zn e Ag. Esta acabou por ser considerada uma das mais modernas e bem equipadas minas portuguesas da época (Fig. 13) (Koehler, 1966; Rodrigues 2009).

A companhia construiu a via de acesso, com extensão de 2600 m com ligação para a Estrada Nacional 222, entre outros edifícios para o apoio à atividade que seria exercida (Fig. 14).



Fig. 13: Visão geral das instalações de superfície da Mina Terramonte (fonte: Koehler, 1966).

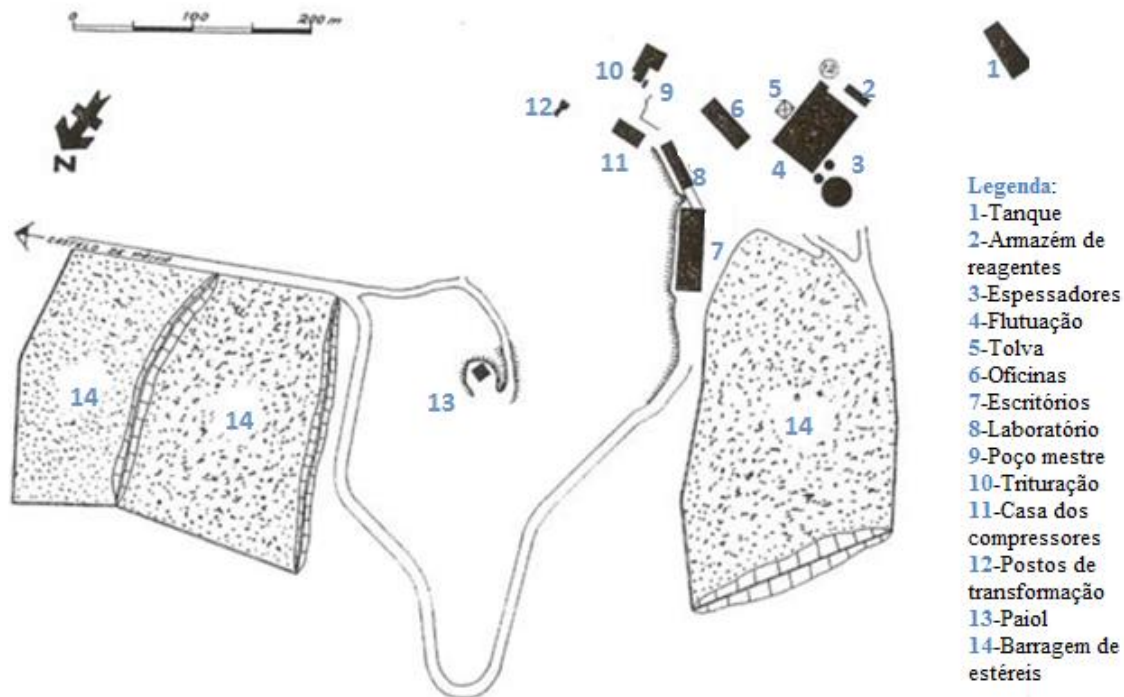


Fig. 14: Localização das instalações de superfície (Adaptado de Koehler, 1966).

A sociedade Eléctrica Duriense fornecia 15000 V de energia eléctrica às instalações, o ar comprimido era abastecido por uma central construída nas proximidades do poço de extração e era constituída por dois compressores *Atlas Copco* (com 250 cv e 125 cv de potência) e um *Ingersoll Rand* (de 75 cv) servindo como compressor de reserva. Para o funcionamento das instalações, a mina carecia de 800 m³ de água por dia, sendo 500 m³ do reaproveitamentos das águas da lavaria e 300 m³ das água proveniente do bombeamento do Rio Douro ou da Ribeira de Castanheira (Koehler, 1966).

Em 17 de Abril de 1968, a *MITEL* consegue autorização do Estado para incluir mais duas áreas na demarcação do Couto Mineiro, para aproveitar economicamente o prolongamento do jazido (Rodrigues 2009).

Exatamente no dia 3 de Março de 1973, a *MITEL* declara que, devido ao enfraquecimento progressivo da mineração em profundidade e dos decrescentes teores do filão em Pb, contendo Ag e a respetiva produção de concentrado de Pb, como mostra a tabela 8, torna-se economicamente inviável continuar com a exploração da mina Terramonte (Anexo 1). Uma melhor visualização desse decréscimo pode ser vista na figura 15. O trabalho exploratório durou mais seis meses

até o anunciado do encerramento da exploração entre Outubro e Novembro de 1973, desmembrado por despacho ministerial em 11 de Fevereiro de 1974.

Tab. 8: Enfraquecimento progressivo da mineração em profundidade (Adaptado de Koehler, 1966).

ANO	CHUMBO (kg _{Pb} /t)	PRATA (g _{Ag} /t)	PRODUÇÃO MENSAL DE CONCENTRADO DE CHUMBO TONELADA
1966	2.87	178	208
1967	3.53	209	205
1968	2.95	150	262
1969	2.63	129	277
1970	1.94	110	205
1971	1.69	98	179
1972	1.64	99	153
1972	1.80	110	162
JANEIRO/JUNHO 1972	1.48	86	143
JULHO/DEZEMBRO			

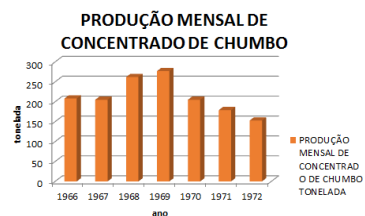
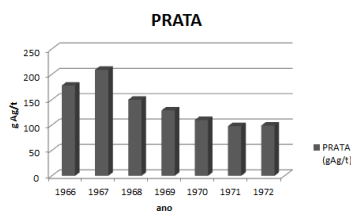
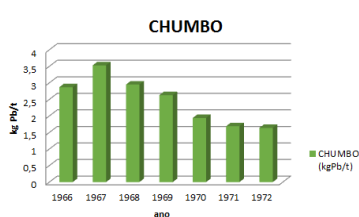


Fig. 15: Teores decrescentes do filão de Terramonte.

3.7 Exploração Mineira

O Serviço de Fomento Mineiro, por ter demonstrado interesse no jazigo, realizou estudos no local mas desistiram do investimento logo a seguir. Então a MITEL prosseguiu a avaliação com trabalhos próprios, incluindo um programa de sondagens com 1477 m de furação para procurar o filão, 967 m para reconhecer o filão abaixo do piso 150, 1435 m de galerias e travessas, 650 m de chaminés e 180 m de poços. Com esses trabalhos minuciosos definiram 400 000 t de minério, sendo 4.16% de Pb, 3.35% de Zn e 180g de Ag/t. (Koehler, 1966).

A instalação de superfície ficou localizada onde havia um antigo poço vertical com 50 m de profundidade, localizado a teto do filão. Foi feito o aproveitamento do poço estendendo-o a 210 m de profundidade para se tornar o Poço de Extração por *skip* e contra peso, onde o pessoal circula (Fig. 16). O poço permitia extrair cerca de 175 t por cada turno de 6 horas, rendendo assim 80% de extração (Koehler, 1966).

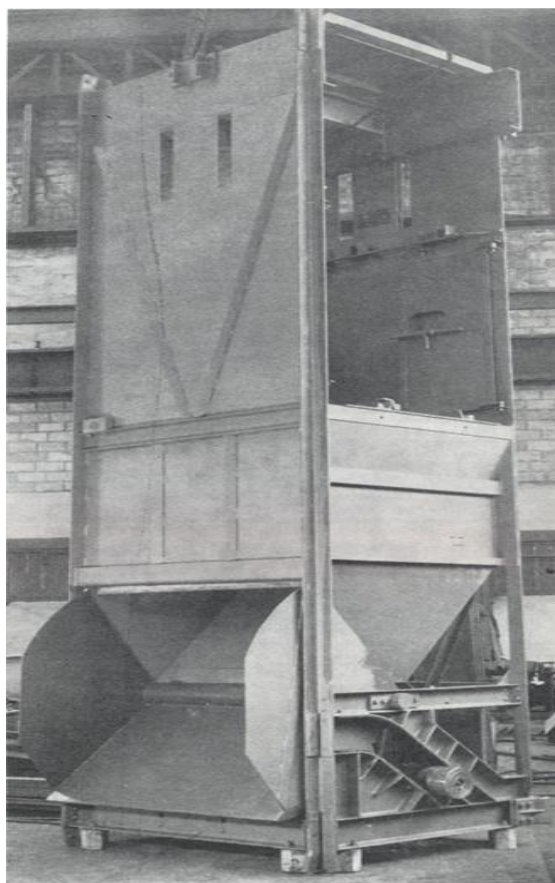


Fig. 16: Skip com parte superior adaptada para circulação do pessoal (fonte: Koehler, 1966).

O método de exploração em Terramonte era o *Shrinkage Stoping* (Fig. 17), considerado um método simples, porém de baixa produção; inicialmente, a produção diária era de 250 t. Como o esquema indicado na figura 17, as chaminés tinham um espaçamento de 60 m de distância e cada *drawpoints* (tolva) a 5 m de distância e o minério era removido em camadas horizontais, de baixo para cima (Koehler, 1966). Após a abertura de uma galeria, o desmonte iniciava-se, parte do minério desmontado ficava mantido no interior do bloco até o *stope* ser completamente minerado. Assim, o minério desmontado servia de suporte das encaixantes (paredes de suportes) e da plataforma de trabalho, já que a perfuração nesse método é manual (Fig. 18).

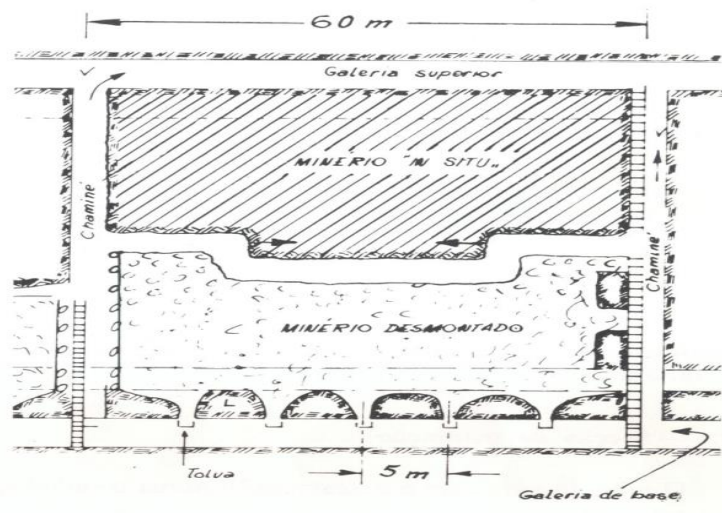


Fig. 17: Método de desmonte shrinkage stoping (Fonte: Koehler, 1966).

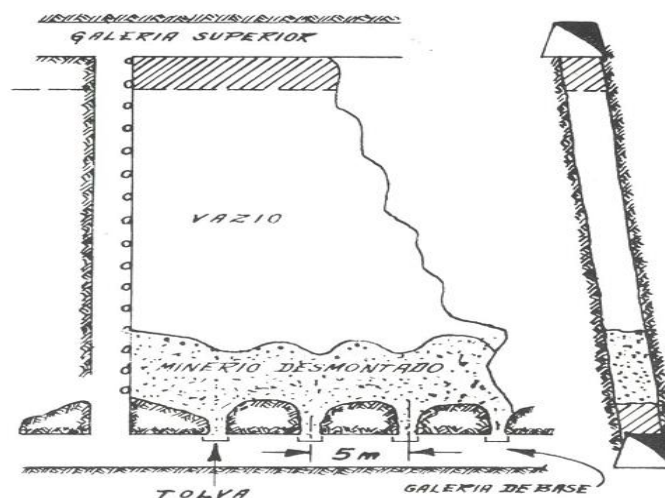


Fig. 18: Esvaziamento do minério desmontado (Fonte: Koehler, 1966).

O edifício de tratamento (Fig. 19), onde era realizada a preparação mecânica dos minérios detalhados na (Fig. 22), contavam com uma instalação de britagem, local da trituração do minério, e uma lavaria de flutuação, onde era feito a moagem e concentração (Koehler, 1966). Na secção de britagem, a trituração do minério realizava-se por fragmentação clássica em que na britagem primária, o minério bruto atravessava uma grade de 70 mm de espaçamento entre barras e os calibres superiores e entravam em um britado de maxilas *Blake* onde se separavam os materiais com granulometria $> 16\text{mm}$. Na fase seguinte, denominado estágio da trituração, o minério passava por um britador giratório e separavam os materiais com dimensão $< 16\text{mm}$ que era levado para a secção de flutuação (Fig. 20) (Koehler, 1966).

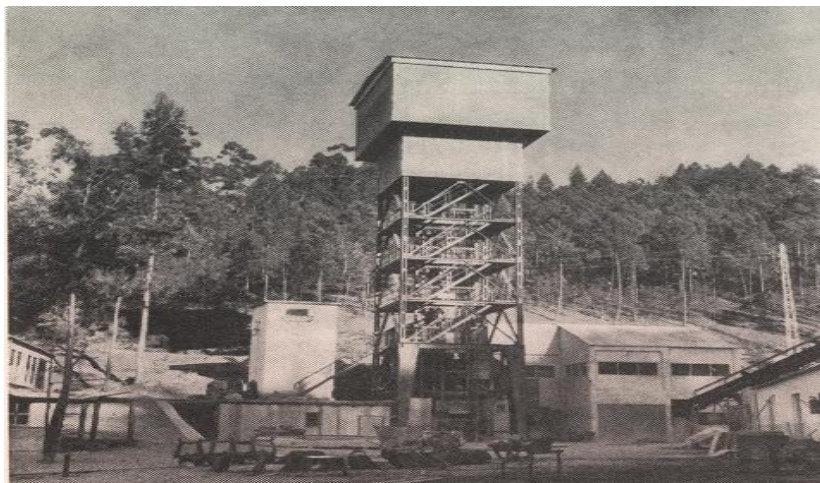


Fig. 19: Extração com a secção de trituração. (Fonte: Koehler, 1966).



Fig. 20: Armazenamento de minério triturado no edifício da secção de flutuação. (Fonte: Koehler, 1966).

O processo clássico da flutuação é aplicado apenas aos minérios sulfurados que é o caso da blenda e da galena (Araújo, 2010). A secção de flutuação de Terramonte foi dividida em duas devido à alteração, num certo momento, da composição do minério extraído (Soares 2014).

Do início da atividade, até final de 1966, havia dois circuitos, um para flutuação da galena, onde ocorria a depressão da blenda e da pirite, e outro para ativação da blenda, assim ocorria a depressão da pirite. Cabe ressaltar que para cada circuito usavam-se diferentes reagentes, indicadas na tabela 9. Os concentrados primários dos dois circuitos, para obter granulometria inferior a 40 µm, eram moídos novamente em circuitos separados e, em seguida, lavados para atingir os concentrados finais (Bendayan, 1969).

Tab. 9: Reagentes utilizados na flutuação do minério (adaptado de Bendayan, 1969).

Reagentes	Circuito da galena (g/t)	Circuito da blenda (g/t)
Etilxantato ($\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-O-CS-S Na}$)	38	-
Sulfato de Zinco (ZnSO_4)	216	-
Cianeto de Sódio (NaCN)	171	-
Óleo de Pinho	30	-
Sulfato de Cobre (CuSO_4) -	-	770
Amilxantato ($\text{C}_5\text{H}_{11}\text{-O-CS-SK}$)	-	26
Cal (Ca(OH)_2)	-	4800

Em 1967, a composição do minério extraído passou a conter uma elevada proporção de óxidos e um baixo teor de zinco, fator necessário para utilização do método que abrangia a sulfuração prévia do minério com 1 500g/t de Sulfureto de sódio (Na_2S), 1 000g/t de Silicato de sódio (Na_2SiO_3) e 40g/t de Amilxantano ($\text{C}_5\text{H}_{11}\text{-OCS-SK}$). Os equipamentos utilizados sofreram alterações para recuperarem 75% do chumbo, pois com o uso da sulfuração o processo de flutuação passou a ser menos eficiente e o grau extremamente fino da mineralização entre o chumbo/galena e entre a pirite/ganga, resultando em grandes dificuldades na recuperação do chumbo com um teor razoável no concentrado (Bendayan, 1969).

Os concentrados finais de galena e blenda eram passados nos espessadores (Fig. 21) de 12'x10', com 5 discos, sendo 2 destinados para os concentrados de Pb e 3 para os concentrados de Zn (Koehler, 1966). Por serem de granulometria muito fina, os concentrados eram secos para reduzir o grau de humidade. Devido a essa exigência,

em 1967, ergueu-se a construção da instalação de secagem dos concentrados com funcionamento a *diesel*, esse novo mecanismo reduzia de 5 a 7% a humidade em aproximadamente 3 horas (Koehler, 1966).

Após todo o processo, era feita a recuperação do excesso de água dos rejeitados, através de um passador e, em seguida, levados para serem depositados nas barragens (Bendayan, 1969).



Fig. 21: Sistema de filtração dos concentrados (fonte: Koehler, 1966).

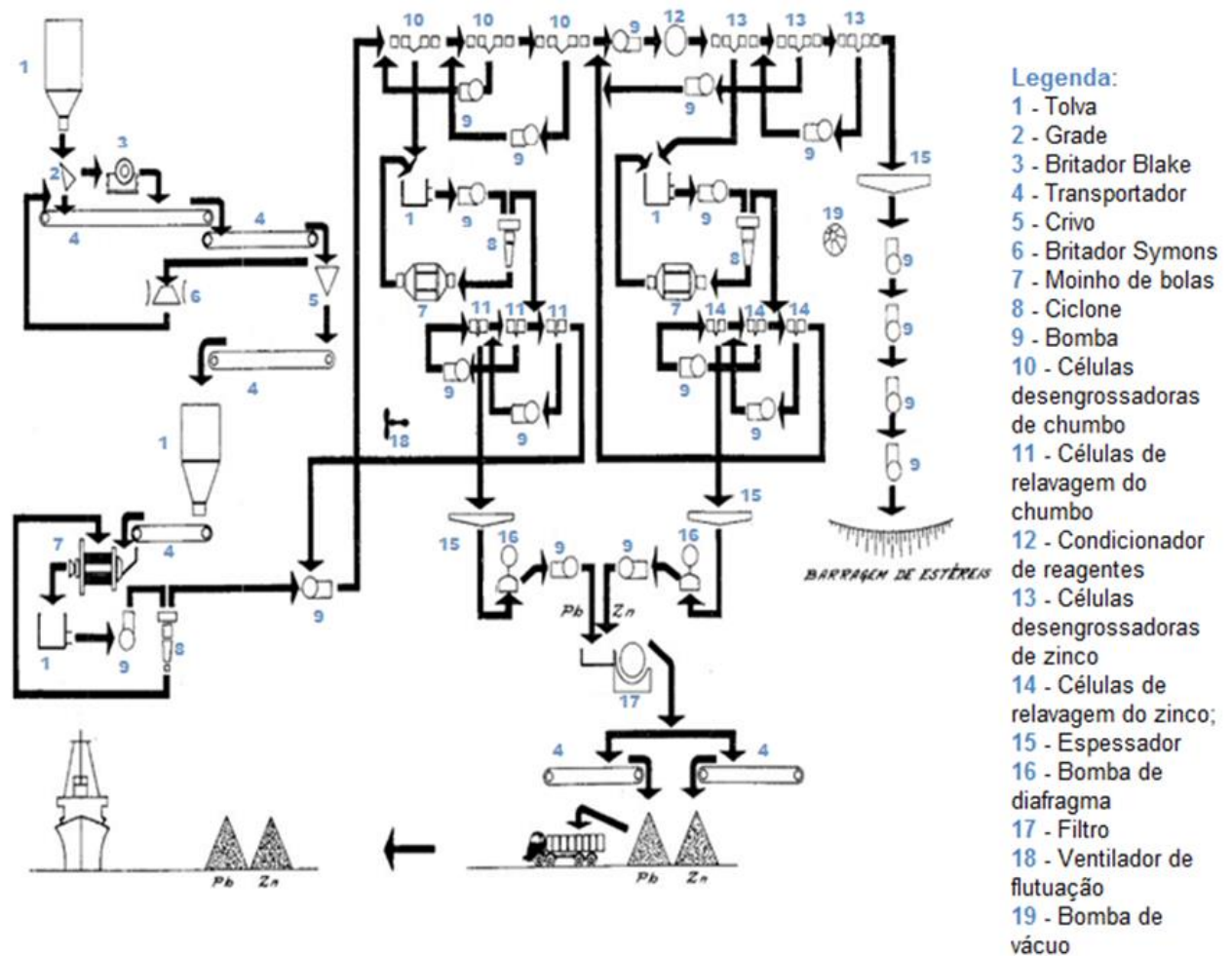


Fig. 22: Esquematização do edifício de tratamento, onde era realizado a preparação mecânica dos minérios (Adaptado de Koehler, 1966).

Terramonte contava com três barragens de deposição de rejeitados (Fig. 23): uma a jusante, na cota mais baixa e duas a montante, localizadas nas cotas mais altas do que a cota do espessador de rejeitados. A primeira, a jusante (E1 na Fig. 23), devido a inclinação do terreno, era utilizada para deposição descontínua dos rejeitados fazendo a consolidação dos mesmos por etapas. Enquanto as duas últimas, a montante (E2 e E3 na Fig. 23), eram utilizadas para o transporte por meio de bombagem (Koehler, 1966). As construções das barragens de rejeitados de Terramonte, foram trabalhos minuciosos, conquistaram extrema dedicação para evitar possíveis eventualidades. Nas barragens E2 e E3 foram usadas em suas construções o mesmo método (Fig. 24), os rejeitados eram enviados por tubos e depositados os grosseiros no bordo da barragem e os finos no centro, para decantarem, à medida que

aumentava a quantidade de sedimentos grosseiros, os tubos eram deslocados cada vez mais para o centro formando os respetivos degraus (Fig. 25). A drenagem era realizada através de um sistema de chaminés e condutas (Bendayan,1969).



Fig. 23: Barragens da mina, E1 do tipo jusante e E2 e E3 do tipo montante. (Fonte: Soares, 2014)



Fig. 24: Barragem de rejeitos do método montante (Fonte: Bendayan, 1969).



Fig. 25: Degraus formados pela deposição de rejeitados da barragem pelo método montante (Fonte: Bendayan, 1969).

A barragem do método jusante (Fig. 26) foi construída em 1976, onde se separavam os sedimentos de granulometria grosseira e os de granulometria fina em ciclones. Os sedimentos com granulometria mais grosseira formavam os chamados “talude dos grosseiros”. À medida que o talude ia aumentando, o ciclone ia subindo na vertical e o talude estendia-se para o exterior da barragem. Os sedimentos de granulometria fina eram depositados no centro da barragem para decantar (Fig. 27) e a drenagem era realizada por chaminés e condutas.

Em Terramonte o muro de suporte foi construído com sedimentos de tamanho superior a 80 μm e os sedimentos menores foram depositados no centro da barragem, juntamente com os rejeitados. Foram feitos estudo nos sedimentos e constatou-se que 60% dos rejeitados apresentavam dimensões superiores a 80 μm , ou seja, os sedimentos maiores, que deveriam compor o muro de suporte, foram depositados no centro da barragem (Bendayan, 1969).

Foi feito o trabalho de terraplanagem numa vala localizada a jusante da lavaria da mina para construir o muro de suporte, retirou-se todo o solo, possibilitando que o talude de grosseiros assentasse diretamente sobre a rocha. A seguir colocou-se uma camada de pedras secas para servir de dreno e, assim, construíram dois taludes artificiais com 2 m de altura que indicavam a posição inicial e a posição final do muro de suporte da barragem. Nas laterais das valas, construíram valetas de modo que as águas pluviais não passassem pela barragem. O método a jusante foi vantajoso (Fig. 28), pois o muro de suporte estendia-se para o exterior da barragem e, dessa forma, não assentava sobre os rejeitados depositados (Bendayan, 1969).



Fig. 26: Barragem de rejeitados do método jusante, marcado em vermelho o bordo da barragem. (Adaptado de Nascimento Anexo III).

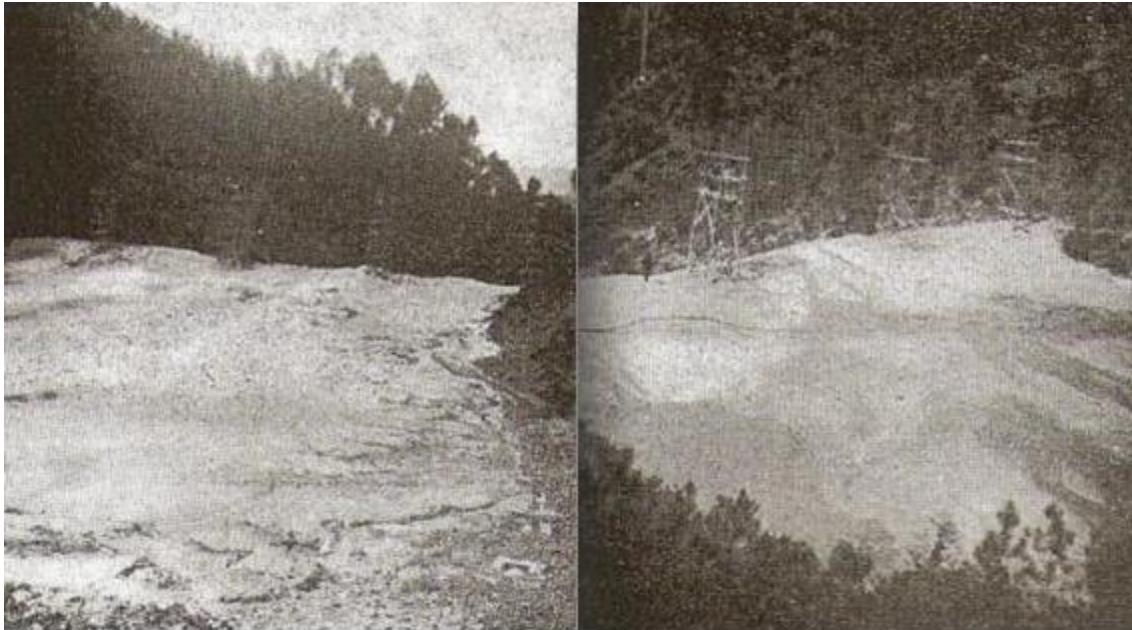


Fig. 27: Imagem do local de decantação dos sedimentos finos, na imagem à direita é possível observar a crista do talude com os cavaletes que sustentavam os ciclones (homem fornece a escala) (Fonte: Bendayan, 1969).

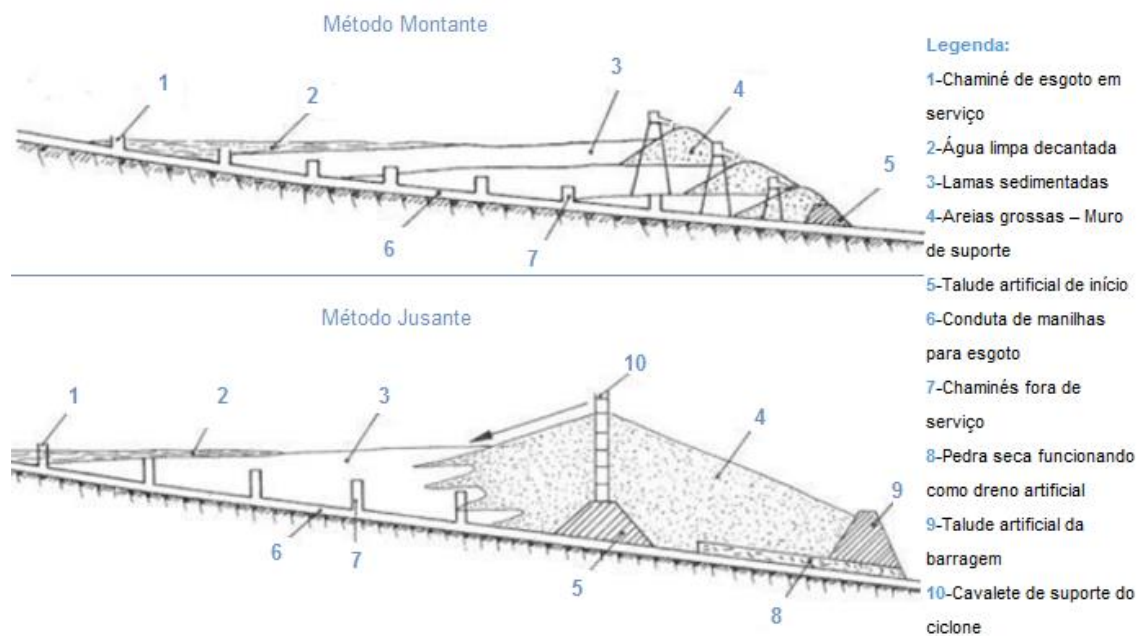


Fig. 28: Diferença entre as barragens no método montante e jusante (Adaptado de Bendayan, 1969).

3.8 Abandono da extractivação

Conforme já salientado anteriormente, em 1973, a *MITEL* anunciou por carta (Anexo I) dirigida ao Secretário de Estado da Indústria, a dificuldade de prosseguir com o trabalho de mineração em Terramonte devido ao enfraquecimento progressivo da mineralização em profundidade inviabilizando a atividade devido aos gastos financeiros associados. A concessionária informou ainda que nos anos de 1971 e 1972 obteve um prejuízo de 5 316 contos, aproximadamente 26 500€.

Para prosseguir com o encerramento da mina, a Circunscrição Mineira do Norte, enviou o Engenheiro de Minas Fernando Nascimento da Fonseca, em 13 de Abril de 1973, para realizar a vistoria da mina e verificar qual método de trabalho seria transitável após o fechamento da mesma. Como resultado, o Engenheiro que havia feito a vistoria, enviou em 16 de Abril de 1973, um relatório (Anexo II) ao Engenheiro Chefe da Circunscrição Mineira do Norte, informando que não seria necessário realizar trabalhos no local, pois não havia perigo de desabamento. Dessa maneira, não seria necessário vedar a área e informou, ainda, que as barragens estavam perfeitamente consolidadas e com bom sistema de drenagem com canais bem construídos e as águas das encostas e da Ribeira estavam bem desviadas, não havendo risco dos sedimentos serem arrastados em quantidades significativas pelas águas das chuvas. Além disso, a necessidade inicial do trabalho seria somente a vedação do Poço Mestre com a construção de uma parede, onde a base ficaria aberta para a passagem da água (Anexo II)

Em Março 1975, o Engenheiro Fernando Nascimento da Fonseca retornou à mina a fim de fazer mais uma inspeção (Anexo III) e notou defeitos nos cachimbos, ocasionando uma obstrução no canal de desvio de águas na barragem com método jusante (Fig. 29), tendo como consequência algumas degradações. O Engenheiro Fonseca propôs averiguar junto com o LNEC a consolidação da barragem e informou que os cachimbos e as obras de desvio de água deveriam ser reformados e deixados em bom estado (Anexo III).

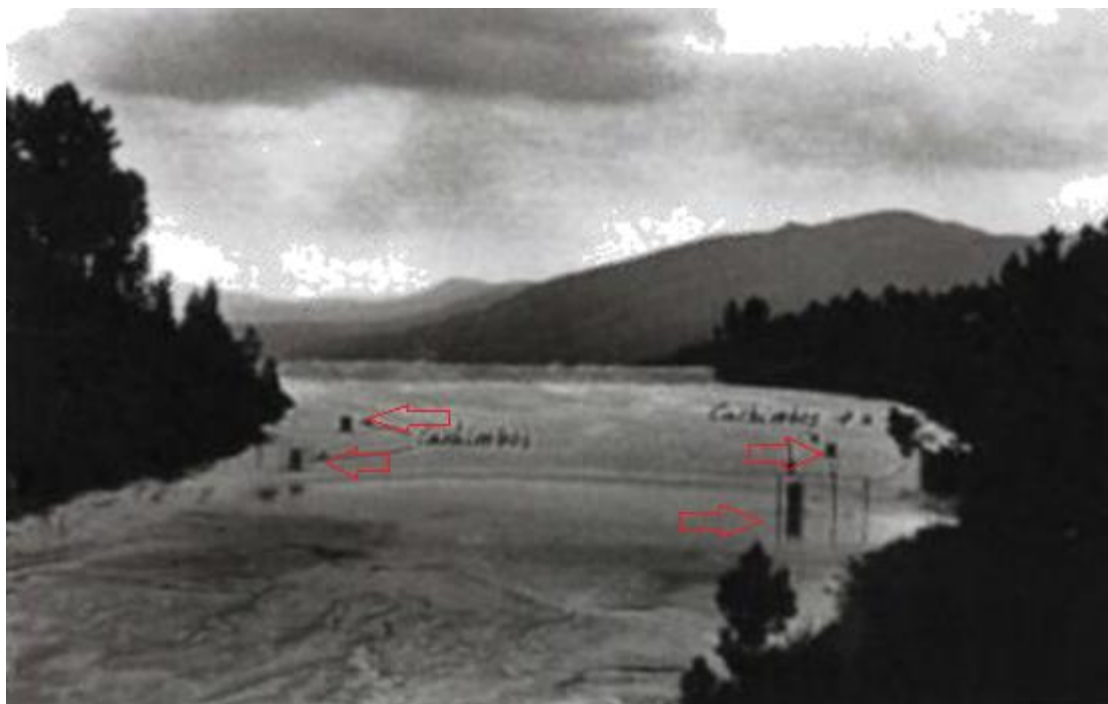


Fig. 29: Vista da área de deposição dos rejeitados, cachimbos (indicados com seta vermelha) obstruídos acumulando águas fluviais (fonte: Nascimento, 1975 Anexo III).

Porém, não houve registo de nenhuma atividade de manutenção no local até o dia 9 de Maio de 1975, data em que o Eng. Fernando Fonseca retornou para mais uma vistoria na mina. Ele constatou uma degradação mais acentuada em comparação com a vistoria anterior pois, além de alguns cachimbos danificados, as obras de desvio das águas estavam descuradas, com um índice de grau crescente da impermeabilização da barragem de rejeitados e um abatimento na mesma (Fig. 30). Visto isso, enviou uma carta, com data de 12 de Maio de 1975 ao Engenheiro Chefe da Circunscrição Mineira (Anexo IV), informando as possíveis consequências como, por exemplo, a hipótese das águas da chuva atingirem níveis preocupantes na antiga área de decantação (Anexo IV).



Fig. 30: Abatimento da escombreira (fonte: Nascimento, 1975 Anexo III).

Em 4 de Setembro de 1975 a mina de Terramonte passou por mais uma vistoria (Anexo V) e, além dos problemas detetados anteriormente, também se notou que as águas provenientes da barragem deixavam vestígios ferruginosos (Fig. 32), sinal de ter ocorrido o abatimento e secagem da barragem (Fig.31) (Anexo V). Essa inspeção foi a última a ser registada e não foi realizada mais nenhuma manutenção no local, tornando-a assim um Passivo Ambiental de primeiro nível, ou seja, uma área degradada com elevada dificuldade de recuperação, porém com grande prioridade para reabilitação.



Fig. 31: Abatimento da barragem, nota-se que a mesma estava seca (Fonte: Bendayan, 1969).



Fig. 32: Aspeto ferruginoso deixado pela água (Fonte: Bendayan, 1969).

No final da década de 80 e meados de 90 (Rodrigues, 2009), ocorreu o rompimento do segundo muro de suporte da barragem e, em consequência, os seus rejeitados foram derramados nas margens da Ribeira da Castanheira até atingir o Rio Douro. Ainda hoje é possível ver o impacte em consequência da AMD.

3.9 Trabalhos de Reabilitação

Devido a perigosidade ambiental e geotécnica passíveis à uma AMD, é necessário a intervenção dessas áreas com uma certa urgência e, assim, a reabilitação desses locais. Neste contexto, o IGM (actual LNEG) realizou um estudo de diagnóstico ambiental e hierarquia dos principais sítios mineiros nacionais a fim de classificar o grau de perigosidade e adquirir informações para verificar a urgência de reabilitação de cada área. Com o resultado do estudo, em 2002, foi constatado a existência de aproximadamente 175 áreas mineiras a necessitar de intervenção em Portugal, incluindo Terramonte, com elevado grau de perigosidade ou seja grau 4 (Roque, 2009) (Fig. 33).



Fig. 33: Classificação do grau de perigosidade de áreas mineiras de Portugal em 2002 (Adaptado de LNEG).

O Governo através do Decreto-Lei n.º 198-A/2001, de 6 de Julho, contratou a empresa EXMIN (fundida com a EDM em 2005) para a recuperação ambiental de zonas degradadas por antigas explorações mineiras abandonadas entre elas a da área mineira Terramonte (Fig. 34).



Fig. 34: Trabalho de recuperação EDM.

A área de Terramonte foi sujeita a obras de reabilitação ambiental entre 2005 e 2008 através do Programa Operacional da Região Norte e, o investimento para a sua realização foi de 1 438 102 €, financiado por fundos europeus. Foi realizado o tratamento e a drenagem das águas superficiais, com a construção de um sistema de drenagem superficial e subsuperficial e das valas perimetrais. Além disso, houve o saneamento dos rejeitados existentes ao longo da Ribeira da Castanheira. Em relação à barragem E2, foi feita a selagem, impermeabilização, confinamento e modelação da estrutura. Para a recuperação paisagística foi realizado a cobertura com terra vegetal e, após isso, foi iniciado o processo de revegetação da área. Na figura 35 é possível ver o resultado final da reabilitação.



Fig. 35: Vista da barragem E1 recuperada, com a vegetação crescendo e as valetas para a drenagem das águas pluviais em torno da mesma (Fonte: www.edm.pt/html/proj_terrmonete.htm).

O objeto da obra foi para que a mina Terramonte deixasse de ser um perigo para o meio ambiente (Soares 2014). Porém, acredita-se que o objeto não foi concluído, pois ainda hoje é possível ver o impacto negativo deixado na área mesmo após a reabilitação finalizada em 2008 pela EDM (Fig.s 36 a 46). Em toda a área observa-se que não há uma proteção a impedir o acesso à área, além da falta de indicação do perigo associado à antiga mina. Como é possível ver nas figuras 36 a 41, a mina desativada é utilizada atualmente como área de recreação desportiva para jogos de *paintball* aos fins-de-semana.



Fig. 36: Impacte negativo deixado na área: drenagem ácida.



Fig. 37: Impacte negativo deixado na área: lama de rejeitados pela Ribeira.



Fig. 38: Impacte negativo deixado na área: sedimentos secos de granulometria fina resultantes de uma atividade industrial que agora se desenvolve no local.



Fig. 39: Impacte negativo deixado na área: sedimentos finos resultantes de uma atividade industrial que agora se desenvolve no local.



Fig. 40: Impacte negativo deixado na área usada para jogos de paintball.



Fig. 41: materiais finos lançados da barragem de rejeitos ao longo do curso da Ribeira de Terranonte (Fonte: www.edm.pt/html/proj_terrmonete.htm).

4 Análise Ambiental da área mineira de Terramonte

4.1 Metodologia

4.1.1 Recolha das Amostras de Sedimentos

Para determinar a concentração em alguns elementos químicos, com origem na escombreira da antiga mina, foram recolhidas 10 amostras de sedimento e 3 amostras de água do leito da Ribeira da Castanheira, tendo como ponto inicial a Foz da Ribeira, em direção a Estrada Nacional 222. Devido à densa vegetação e ao terreno acidentado, houve dificuldade em realizar as recolhas em locais equidistantes. Cabe ressaltar que entre os 405 m e os 1590 m ao Rio Douro, não foi possível realizar coletas pois o trajeto estava obstruído. Em 27/11/2016 foram feitas as 7 primeiras recolhas de amostras de sedimento e em 08/01/2017 foram feitas mais 3 recolhas de amostras de sedimento e 3 recolhas de amostras de água.

Foram recolhidos aproximadamente 3kg em cada amostra de sedimento, com ajuda de uma pá, limpa entre cada recolha (Fig. 42). Os sedimentos foram armazenados em sacos de polietileno devidamente identificados com o número da amostra e a sua localização espacial, em seguida fechados com cordéis (Fig. 43) e enviados para o laboratório da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, para a preparação antes da realização das análises.



Fig. 42: Coleta de amostra de sedimento.



Fig. 43: Amostras de sedimento armazenadas.

4.1.2 Recolha das Amostras de Água

Anteriormente à recolha de amostras de água para análise laboratorial, foi determinado, *in situ*, os parâmetros condutividade elétrica, pH, sólidos dissolvidos totais e temperatura, com o auxílio de um medidor multiparamétrico da HANNA instruments, modelo HI 9033 (Fig. 44).



Fig. 44; Aparelho da HANNA instruments, modelo HI 9033.

As amostras de água foram coletadas (Fig. 45) e armazenadas em garrafas plásticas de 1,5 litros e bem seladas para evitar contaminação. Em seguida, os recipientes foram armazenados em caixa térmica para manter a temperatura e foram enviadas para o Laboratório MicroChem – Ensaios e Análises Técnicas, Lda., para a avaliação da concentração dos seguintes elementos metálicos: Antimónio, Arsénio, Cádmio, Chumbo, Crómio; Níquel, Cobre e Zinco, além dos parâmetros cheiro, sabor, cor, turvação, pH, condutividade elétrica, cloro residual, Amónio, Nitritos e Nitratos.



Fig. 45: Coleta de amostras de água.

4.1.3 Georreferenciação dos pontos de amostragem de sedimentos e de água

Para a georreferenciação dos pontos (Tab. 10 e 11) de coleta foi utilizado o *ORUX MAPS* o qual possibilitou o armazenamento direto da localização no *Google Earth* com a função GPS.

Tab. 10: Georreferenciação dos pontos de amostragem dos sedimentos.

Identificação da amostra	Distância tendo como ponto de partida o Rio Douro.	Latitude	Longitude
TRM-S1	10m	41° 2'22.47"N	8°20'38.22"W
TRM-S2	16.7m	41° 2'22.57"N	8°20'38.75"W
TRM-S3	20m	41° 2'23.15"N	8°20'38.34"W
TRM-S4	25m	41° 2'22.84"N	8°20'38.36"W
TRM-S5	209m	41° 2'22.57"N	8°20'30.48"W
TRM-S6	237m	41° 2'21.53"N	8°20'30.07"W
TRM-S7	405m	41° 2'20.14"N	8°20'23.87"W
TRM-S8	1590m	41° 2'12.00"N	8°19'42.47"W
TRM-S9	1620m	41° 2'11.38"N	8°19'41.80"W
TRM-S10	1690m	41° 2'09.47"N	8°19'39.44"W

Tab. 11: Georreferenciação dos pontos de amostragem de água.

Identificação da amostra	Distância tendo como ponto de partida o Rio Douro.	Latitude	Longitude
TRM1-H ₂ O	0	41° 2'22.83"N	8°20'38.82"W
TRM2-H ₂ O	46.7m	41° 2'21.95"N	8°20'31.23"W
TRM3-H ₂ O	1640m	41° 2'10.79"N	8°19'41.34"W

Observa-se, na figura 45, o perfil topográfico ilustrativo da distância em que foi efetuada a recolha de cada amostra de sedimento, identificada com a letra S, e as amostras de água, representada pela letra A. A área onde não há pontos marcados é justificada pela impossibilidade de chegar até esse local, devida à abundância de vegetação, como mencionado anteriormente.

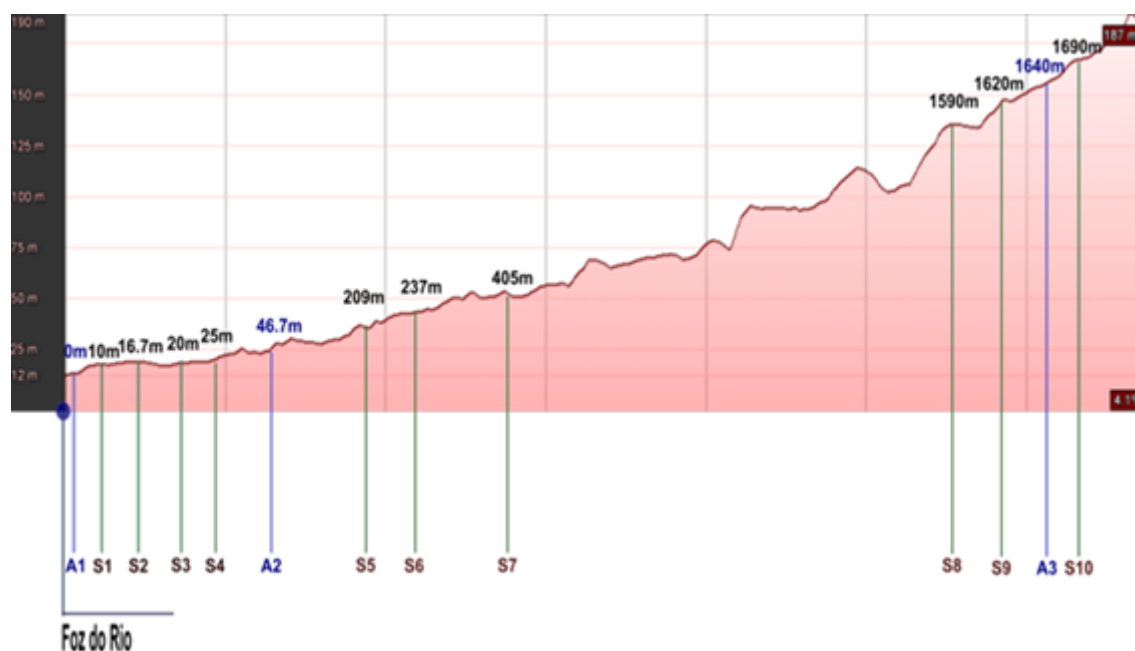


Fig. 45: Perfil topográfico ilustrativo da distância onde foi recolhida cada amostra.

4.1.4 Preparação das Amostras

4.1.4.1 Preparação das Amostras de Sedimentos para análise química

Prepararam-se 10 formas de alumínio, devidamente limpas e identificadas, conforme as identificações dos sacos onde estavam as amostras, para efetuar a secagem de cada amostra na Estufa Carbolite (Fig. 46). Todas foram mantidas a temperatura constante de 50°C durante 5 dias, tempo suficiente para que as amostras ficassem completamente secas (Fig. 47).



Fig. 46: Estufa Carbolite.



Fig. 47: Amostras secas, após 5 dias submetidas a 50°C.

Como a quantidade de cada amostra estava acima do necessário, foram separadas pelo método do quartilhamento manual de modo a reduzir o volume de cada amostra (Fig. 47). Ou seja, $\frac{1}{4}$ de cada recolha foi efetivamente aproveitado e pesado (Tab. 12) e o volume restante foi devidamente descartado.



Fig. 48: Divisão em Quartis, selecionados com quadrado vermelho as partes aproveitadas.

Tab. 12: Peso aproveitado de cada amostra.

Identificação das amostras	Peso
TRM-S1	1087,2 g
TRM-S2	1637,7 g
TRM-S3	1053,0 g
TRM-S4	1125,2 g
TRM-S5	1254,6 g
TRM-S6	1043,6 g
TRM-S7	1152,9 g
TRM-S8	1532,6 g
TRM-S9	1804,4 g
TRMS-10	1339,0 g

Com a quantidade essencial, as amostras foram peneiradas utilizando um peneiro *ASTM Sieve Chat and TYLER Equivalents* nº 10, com malha de 2 mm (Fig. 49). Entre cada peneiramento, utilizou-se o compressor de ar (Fig. 50), álcool e papel de limpeza na peneira para retirar partículas de outras amostras e assim evitar contaminação entre as mesmas.



Fig. 49: Peneiro utilizado para obter a fração inferior a 2mm.



Fig. 50: Compressor de ar, utilizado para remover as partículas da amostra na malha do peneiro.

Após o procedimento de moagem, as amostras foram inseridas em novos sacos identificados correspondentemente e, em seguida, as suas massas foram avaliadas novamente (Tab. 13).

Tab. 13: Amostras: fração <2mm.

Identificação das amostras	Peso
TRM-S1	611.2 g

TRM-S2	1492.6 g
TRM-S3	984.8 g
TRM-S4	734.0 g
TRM-S5	878.5 g
TRM-S6	578.4 g
TRM-S7	534.3 g
TRM-S8	658.4 g
TRM-S9	787.5 g
TRM-S10	529.3 g

Para as análises laboratoriais e análise por difração de Raio-X, os sedimentos precisavam ter granulometria inferior a 1mm. Dessa forma, a fim de uniformizar quaisquer irregularidades nas dimensões das partículas, cada amostra foi inserida num almofariz de ágata (Fig. 51), de rotação automática, durante 10 min. Entre cada moagem, o almofariz foi devidamente limpo e seco, seguindo-se o mesmo procedimento utilizado na peneiração, para não ocorrer contaminação entre as amostras.

Após este procedimento, cada amostra foi separada em duas partes e inseridas em frascos de vidro, como identificados na figura 52 e devidamente pesadas, estando os valores indicados na tabela 14. As análises químicas foram realizadas no laboratório credenciado Eurofins.



Fig. 51: Almofariz de ágata usado para obter granulometria inferior a 1mm em cada amostra.



Fig. 52: Amostras preparadas para serem enviadas a laboratório credenciado.

Tab. 14: Peso de cada amostra moída e identificação de cada frasco enviado ao laboratório.

Identificação das amostras		Peso
TRM-S1	0520086828	187.9 g
	0520086841	176.3 g
TRM-S2	0520086845	248.4 g
	0520086843	242.2 g
TRM-S3	0520086844	343.4 g
	0520086842	232.8 g
TRM-S4	0520086849	203.3 g
	0520086847	195.0 g
TRM-S5	0520086848	215.6 g
	0520087586	227.7 g
TRM-S6	0520087583	216.8 g
	0520087588	221.8 g
TRM-S7	0520087553	178.8 g
	0520087543	184.6 g
TRM-S8	0520080784	174.5 g
	0520080793	187.7 g
TRM-S9	0520087550	188.7 g
	0520087544	198.9 g
TRM-S10	0520087458	195.0 g
	0520087490	188.4 g

A realização das análises químicas tem como objeto identificar os principais componentes poluentes presentes nos sedimentos e, também, determinar a sua massa. Os elementos químicos analisados foram o Arsénio, Cádmio, Crómio, Cobre, Mercúrio, Níquel, Chumbo, Zinco, Alumínio, Ferro, Manganês, Antimónio. Os elementos foram designados de acordo com o tipo de minério explorado na antiga

mina Terramonte. Em particular o Arsénio, o Cádmio e o Crómio ocorrem em forma de sulfuretos polimetálicos associados ao Chumbo, Zinco e Prata que foram os principais elementos da exploração de Terramonte. Adicionalmente, a opção pela análise à presença do Antimónio deve-se ao facto de ser um elemento relativamente comum noutras explorações mineiras da região.

4.1.4.2 Preparação das amostras de sedimento para difração por Raio X

Separou-se cerca 10 g de cada uma das 10 amostras moídas (Fig. 53), da fração de dimensões inferiores a 63 μm , para serem levadas ao Laboratório de Difração de Raio-X (DRX) para realização da análise pelo método de Laue.

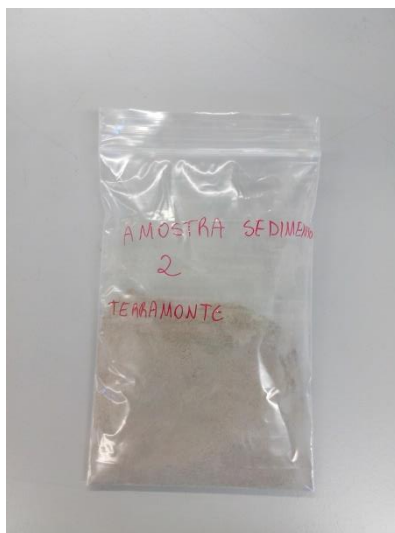


Fig. 53: Amostra de sedimento com fração de dimensões inferiores a 63 μm e 10 g de massa.

Para a preparação das amostras foram utilizados uma espátula para auxiliar na retirada do sedimento, porta amostra e socador que foram devidamente limpos no preenchimento de cada amostra no porta-amostra, com pincel, papel e álcool.

Uma pequena quantidade de cada amostra foi colocada individualmente em cada porta-amostra, em seguida foram compactadas com um socador para deixá-las imóveis e com a superfície lisa (ver figura 54), após isso foram inseridas, uma de cada vez, no difractómetro de Raio-X (Miniflex da marca *Rigaku*) (Fig. 55) com radiação $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda=0,1504$). A DRX é um método vantajoso, pois o preparo do material é fácil e simples, além de ser necessário uma quantidade pequena de amostra.

Segundo (Borges, 1996), a DRX ocorre quando um feixe de Raio-X monocromático incide sobre um material cristalino. O princípio de *Huyghens* estabelece que a incidência num único átomo isolado, provoca a excitação dos eletrões desse átomo que vibrarão com a mesma frequência do feixe incidente e, dessa forma, o átomo pode ser observado como uma fonte de emissão esférica de radiação. Se a incidência ocorrer sobre um cristal, onde os átomos estão regularmente espaçados, cada átomo desviará a radiação, sendo assim podem ocorrer interferências construtivas ou destrutivas entre as ondas eletromagnéticas em fase entre si ou desfasadas, respetivamente. Borges, 1996, salienta ainda que a lei de *Bragg* determina as condições necessárias para que as interferências construtivas ocorram numa estrutura cristalina como é expresso pela equação:

$$n\lambda = 2d\sin \theta$$

O n é um número inteiro que representa a diferença de caminho ótico entre os feixes, d representa a distância interplanar do plano cristalino e θ o ângulo de incidência. Porém, somente para certos valores de θ ocorrerão as reflexões de todos os planos paralelos do cristal que se somarão gerando os conhecidos picos característicos do material. Por outras palavras, numa faixa de comprimentos de onda e certos ângulos de incidência, os feixes refletidos produzirão difrações construtivas que permitirão a identificação estrutural e cristalográfica do material de interesse (Borges, 1996).

As condições instrumentais utilizadas foram 30kV de voltagem, corrente de 15mA, recebendo fenda de 0.3mm com dispersão de 4,2deg, na temperatura ambiente. Os difratogramas foram obtidos a partir de 2θ , num intervalo de medida de 0 a 30° com um passo de 0.05°.

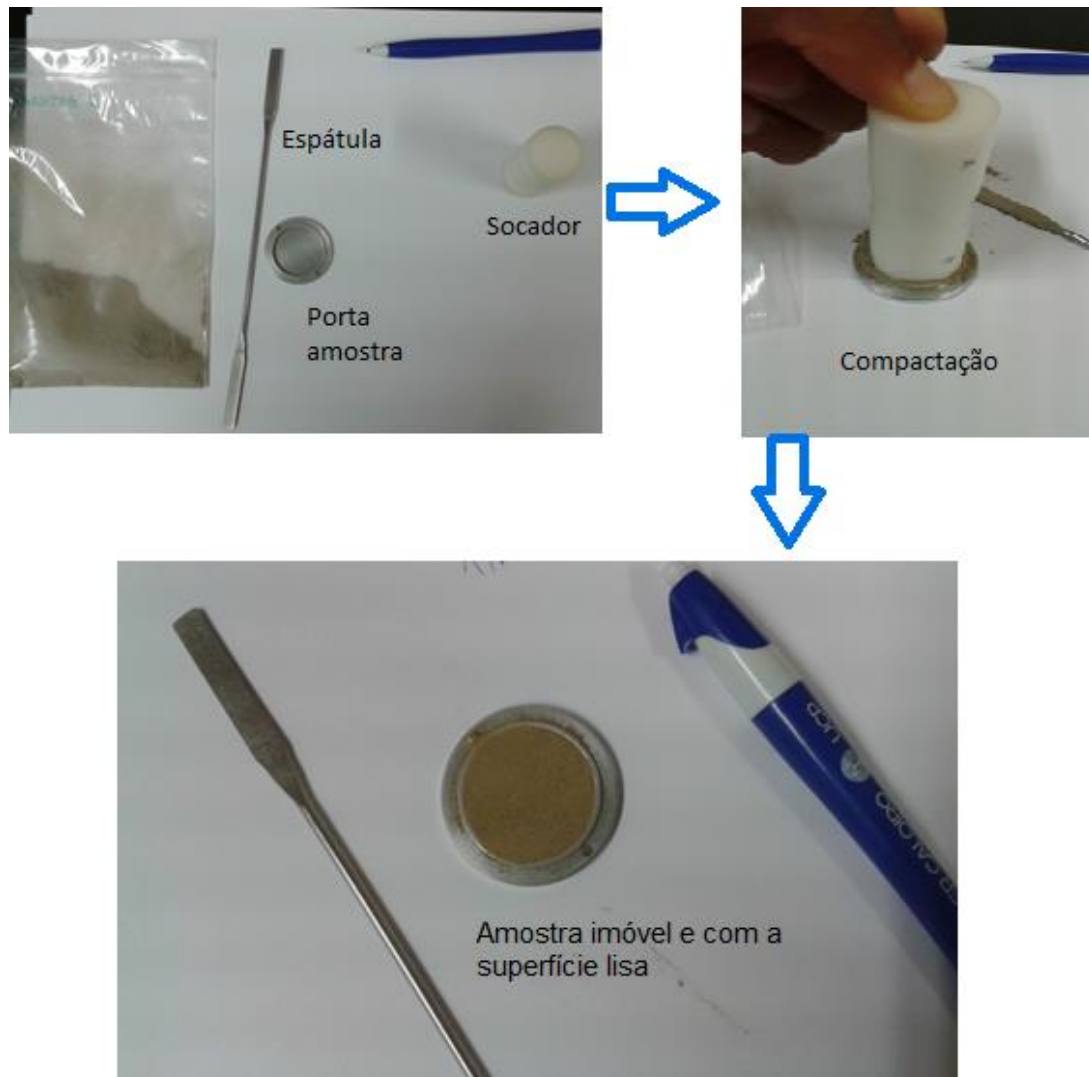


Fig. 54: Etapa de preparação das amostras para análise por DRX.



Fig. 55: Difractómetro de Raios-X, utilizado para realizar análises qualitativas e quantitativas de materiais policristalinos, modelo Miniflex da marca Rigaku.

5. Resultados e discussão

Para auxiliar na interpretação da qualidade das amostras de águas coletadas em Terramonte, os parâmetros utilizados na comparação dos resultados foram provenientes do Decreto-Lei nº 236/98, uma vez que este relaciona os diversos padrões analíticos de acordo com os fins do seu uso e, assim, é possível verificar se a água está apta para determinados fins conforme os padrões de qualidade. Neste caso, utilizou-se do referido decreto os métodos analíticos de referência para águas superficiais, para fins de consumo humano e das águas doces para fins aquícolas, de acordo com o elemento de interesse.

Para a avaliação dos sedimentos, o parâmetro indicativo utilizado está de acordo com os padrões de qualidade do *Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life* (CCME, 1997), que apresentam dois critérios: *Interim freshwater sediment quality guidelines (ISQGs)* e *o probable effect levels (PELs)*.

5.1. Resultados e discussão das Análises Físicas e Químicas da Água

Na secção 5.1.1. serão discutidos os resultados obtidos nas amostras de água coletadas no campo. A secção 5.1.2, será reservada para a apresentação e discussão dos dados obtidos pelo método *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21ªEd* (SMEWW) referentes às amostras enviadas para o laboratório credenciado. Para auxílio na interpretação dos resultados utilizou-se o *software Microsoft Office Excel 2007®* para uma melhor visualização.

5.1.1 Análises H₂O *in situ*.

Os resultados dos parâmetros medidos em campo são observados na tabela 15.

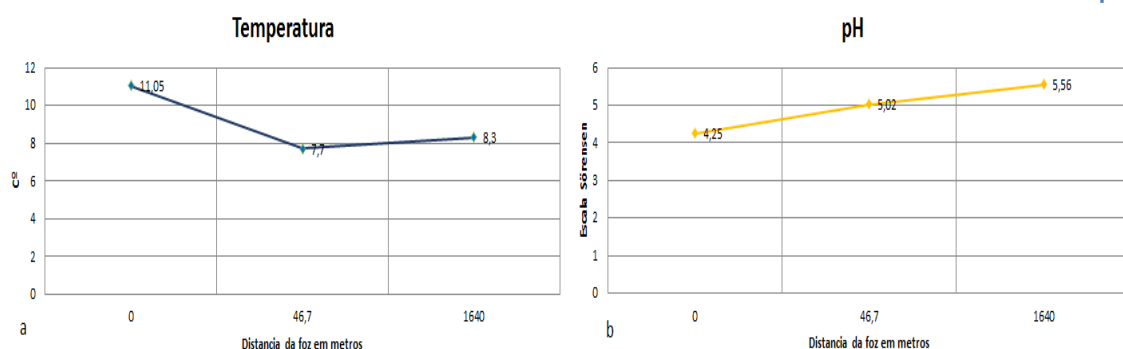
Tab. 15: Resultados dos parâmetros medidos no local de recolha.

Amostras de água Distância desde a foz da Ribeira da Castanheira em direção à EN 222.			
	TRM-A1 0m	TRM-A2 46,7	TRM-A3 1640m
Temperatura	11.05 °C	7.7 °C	8.3 °C
pH	4.25 (18) Escala Sørensen (°C)	5.02 (18) Escala Sørensen (°C)	5.56 (18) Escala Sørensen (°C)
Condutividade elétrica	894 µS/cm	556 µS/cm	1004 µS/cm
Sólidos dissolvidos totais	454 ppm	280 ppm	505 ppm

A temperatura da água depende do fator climático natural, portanto é influenciada pela latitude, altitude, estação do ano, horário e débitos de drenagem. Esta grandeza tem grande importância nos fatores químicos, físicos e biológicos (Coqueia, 2014). Em graus elevados, aumenta a agitação térmica das moléculas da água de modo a facilitar a diluição de muitos compostos químicos e, consequentemente, elevar os efeitos nocivos dos poluentes na vida aquática. Nas quedas de temperatura, contudo, há um aumento do número de pontes de hidrogénio fazendo com que eleve a sua densidade reduzindo a solubilidade da água. Podemos observar na figura 56-a que as amostras apresentam uma temperatura baixa, pois as medições foram realizadas no inverno; o valor mais baixo foi na amostra TRM-A2, obtidos à 4,6m de distância da foz.

Já no caso do pH (ver Fig. 56-b), que indica a concentração de ião de hidrogénio com valores entre 0 e 14 que classificam a água em ácida ($\text{pH} < 7$), neutra ($\text{pH} = 7$) ou alcalina ($\text{pH} > 7$), vários fatores podem influenciá-lo, tais como a concentração de sais, metais, ácidos, bases, substâncias orgânicas e, também, temperatura. Por conta disso, torna-se uma das variáveis ambientais mais importantes e complexas. Quanto ao pH medido no local de recolha das amostras, podemos ver na tabela 15 que todas as amostras estão abaixo do nível neutro, ou seja, a água considera-se ácida, podendo mesmo ser considerada como muito ácida e, consequentemente, de má qualidade. Cabe ressaltar que o nível de acidez mais alto corresponde a amostra TRM-A1 coletada na Foz da Ribeira.

Fig. 56: Variação da Temperatura (a) e da concentração de pH (b) nas amostras de água medidos no campo.



A condutividade elétrica da água evidencia as variações da sua composição, especialmente na concentração de iões. Quanto maior for a condutividade elétrica, maior a concentração de sólidos dissolvidos totais como se pode notar na Figura 57. Geralmente, nas águas superficiais, esse índice é mais baixo e, de acordo com

DL236-1998, o valor máximo recomendável (VMR) das águas doces superficiais destinadas à produção de água para consumo humano deve ser até 1 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 20°C. Na Figura 57-a, pode-se observar que a condutividade da amostra localizada à 1640m de distância do Rio Douro e, assim mais próxima da barragem que cedeu, está com níveis acima do estipulado pela norma de qualidade. Contudo, a amostra TRM-A1 coletada no Rio Douro e a amostra TRM-A2 coletada a 46,7 m de distância da foz da Ribeira da Castanheira, apresentam-se dentro dos padrões com valor de 556 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 894 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respetivamente. Uma vez que a quantidade de sólidos dissolvidos e a condutividade elétrica estão intimamente relacionados os seus valores vão seguir a mesma tendência como se pode notar nas Figuras 57-a e b.

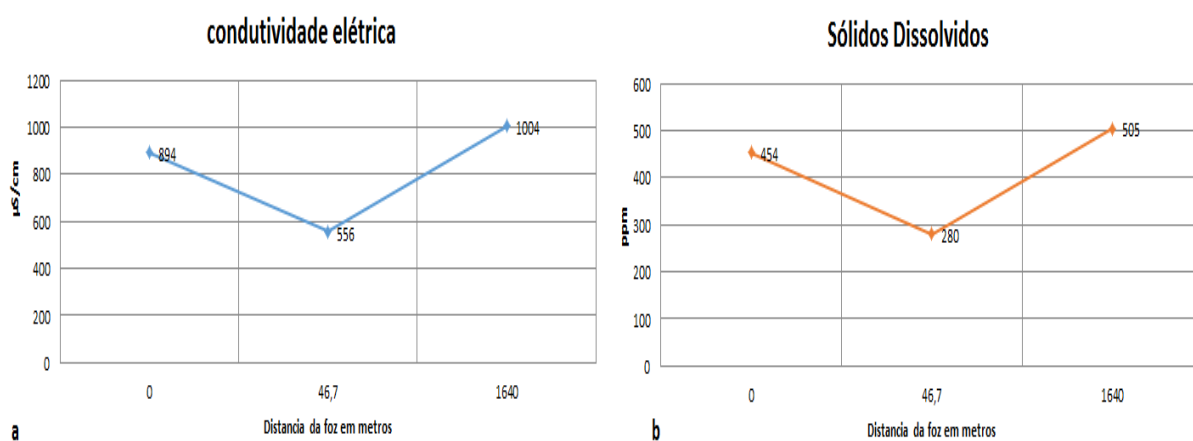


Fig. 57: Variação da Condutividade e dos Sólidos dissolvidos medidos *in situ*.

5.1.2 Análise das águas enviadas para laboratório

Em relação aos resultados, das amostras de água enviadas para laboratório, as características físico-químicas consideradas mais relevantes para este estudo, apresentam-se na Tabela 16. As amostras coletadas em Terramonte não apresentam, genericamente, odor nem sabor. Os parâmetros, correspondentes ao ião Nitrato e à Cor, foram comparados com os níveis constantes no Decreto-Lei nº 236/98, utilizando o valor máximo admissível (VMA) para a classe A1. Já para o ião Amónio, utilizou-se o VMR do mesmo método analítico para a qualidade das águas superficiais

Tab. 16: Parâmetros físico-químicas.

Parâmetros	Unidade	Amostras de Água Distância à Foz da Ribeira da Castanheira, em relação à EN 222		
		TRM1-H2O 0m	TRM2-H2O 46,7m	TRM3-H2O 1640m
Cheiro a 25C°	Fator de diluição	Ausente	Ausente	Ausente
Sabor a 25 C°	Fator de diluição	Ausente	Ausente	Ausente
Cor	µg Pt-Co/ L	< 3	< 3	9
Turvação	NTU	0.33	1.95	1.56
Cloro residual	µg g Cl/ L	< 0.02	< 0.02	< 0.02
Amónio	µg g NH ₄	< 0.20	< 0.20	< 0.20
Nitrito	µg NO ₂ ⁻ / L	< 0.02	< 0.02	< 0.03
Nitrato	µg NO ₃ ⁻ / L	< 5	< 5	< 5

- Cor**

A cor é um dos parâmetros físicos mais visíveis, sendo geralmente um indicativo da presença de metais como o Fe e o Mn, entre outras substâncias orgânicas ou inorgânicas dissolvidas na água. Referente à cor das águas recolhidas na Ribeira da Castanheira e no Rio Douro, podemos observar na Figura 58 abaixo que, com exceção da amostra TRM-A3 próximo da barragem, as demais amostras estão abaixo dos níveis estabelecidos, ou seja, está com bom aspeto.

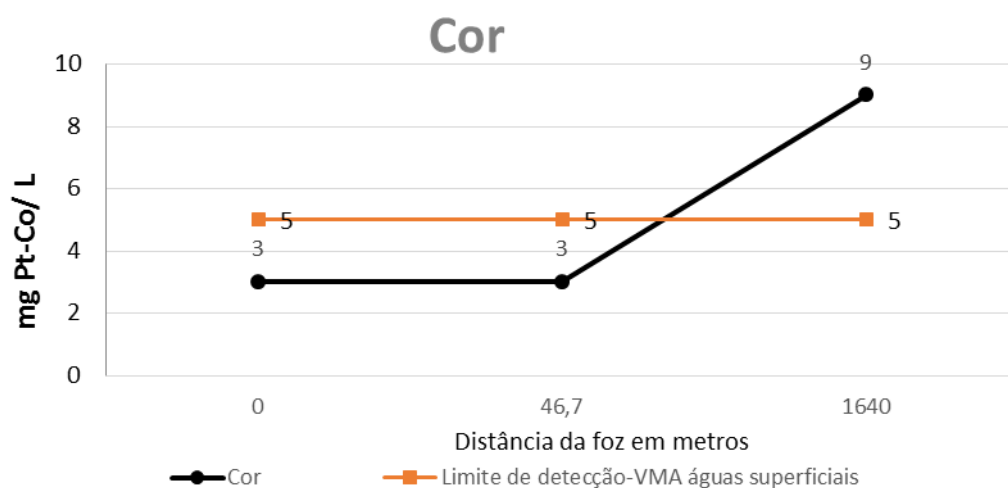


Fig. 58: Cor das águas analisadas.

- Nitrato**

No que se refere o nitrato podemos verificar, na Figura 59, que em todas as amostras se obtiveram valores inferiores a $5 \mu\text{g NO}_3^-/\text{L}$, no que se considera acima do limite de detecção do método analítico utilizado para esse parâmetro que é de $2 \mu\text{g/L}$ NO_3^- , em águas superficiais, de acordo como decreto DL236-1998.

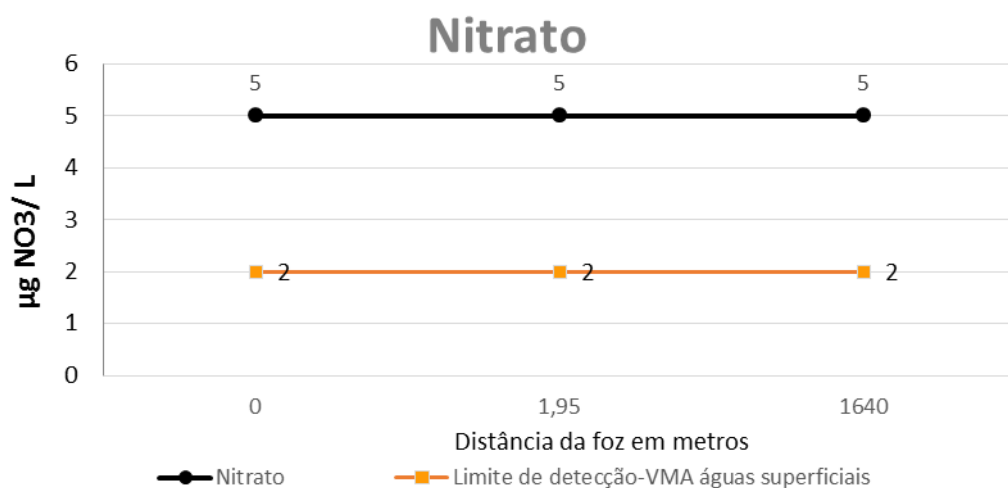


Fig. 59: Concentração de Nitrato das águas analisadas.

- **Amónio**

Quanto ao ião Amónio, podemos verificar na Figura 60 abaixo, que em todas as amostras foram obtidos valores inferiores a $0.20 \mu\text{gNH}_4/\text{L}$, acima do parâmetro de comparação que, neste caso, foi o VMR, com valor $0.10 \mu\text{g NH}_4/\text{L}$.

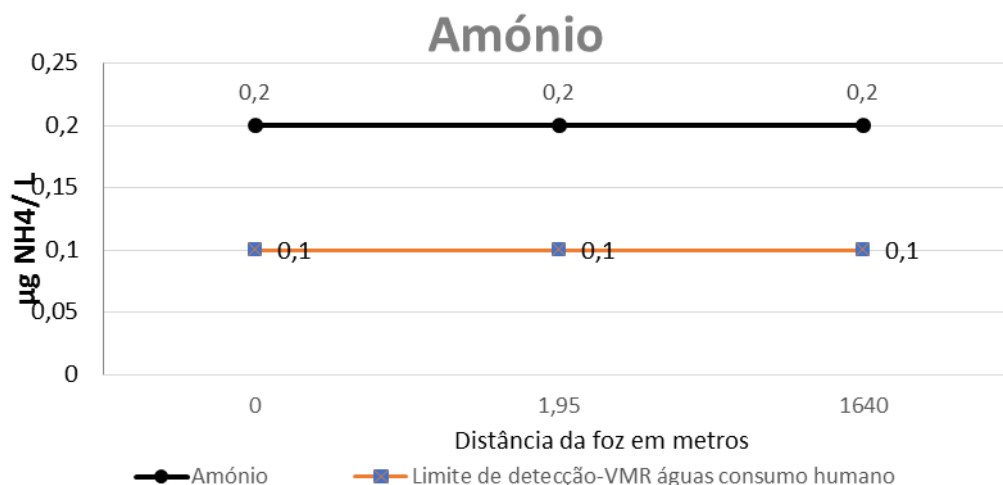


Fig. 60: Concentração de Amónio das águas analisadas.

- **Cloro Residual**

Em relação ao Cloro Residual, as amostras apresentam valores inferiores a $0.02 \mu\text{g Cl}/\text{L}$ como se pode ver na Figura 61. Sabe-se que os valores de referência das águas para aquicultura é de $0.005 \mu\text{g Cl}/\text{L}$ e não há limites estabelecido para águas superficiais e de consumo humano no decreto-lei utilizado nesse trabalho.

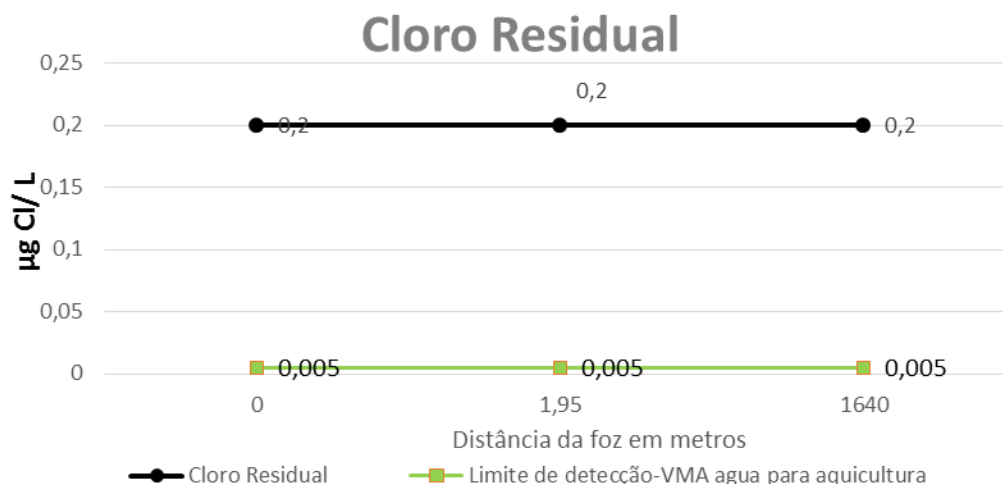


Fig. 61: Concentração de Cloro Residual das águas analisadas.

Os parâmetros Turvação e Nitrito foram comparados com os parâmetros do Decreto-Lei nº 236/98 do método analítico para água de consumo humano.

- **Turvação e Nitrito**

A turvação da água é um parâmetro usado para determinar a sua transparência, devida à presença de partículas sólidas em suspensão. Quanto maior for a turvação, maior será a dificuldade para a luz atravessar a água. Os fatores que influenciam os resultados da turvação são os materiais de origem orgânica ou inorgânica. Quanto aos seus valores, nota-se, na Figura 62, que todas as amostras estão abaixo dos limites de VMA estabelecido. O mesmo se passa com o ião Nitrito, cujos resultados podem ser observados na Figura 63.

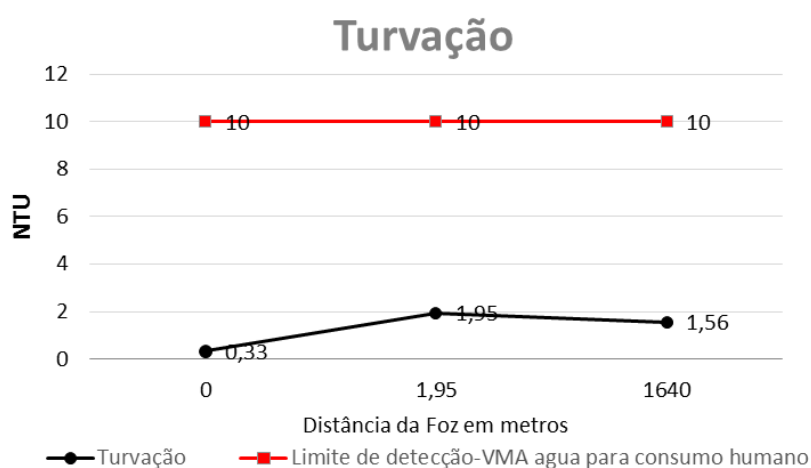


Fig. 62: Turvação das águas analisadas.

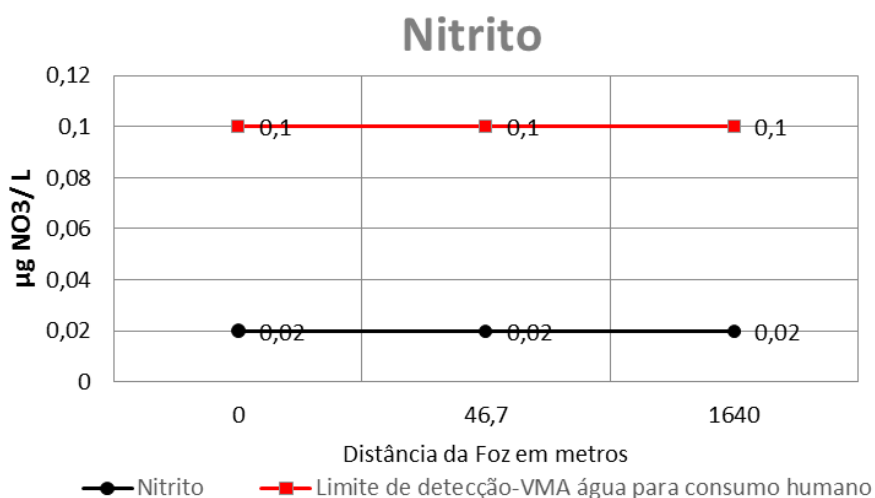


Fig. 63: Concentração de Nitrito nas águas analisadas.

Os resultados dos elementos químicos analisados na água, encontram-se na Tabela 17, sendo os mesmos também apresentados em forma de gráficos para melhor visualização e discussão dos resultados.

Tab. 17: Parâmetros medidos em laboratório dos elementos metálicos.

Amostras de água Distância à Foz da Ribeira da Castanheira em direção à EN 222				
Elementos	Unidade	TRM-A1 0m	TRM-A2 46,7m	TRM-A3 1640m
Antimónio	µg Sb/ L	< 4	< 4	< 4
Arsénio	µg As/ L	< 3,0	18	< 3,0
Cádmio	µg Cd/ L	7 x 10	< 1,0	38
Chumbo	µg Pb/ L	84	4	5
Crómio	µg Cr/ L	< 5	< 5	< 5
Níquel	µg Ni/ L	1,2 x 102	< 6	72
Cobre	µg Cu/ L	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Zinco	µg Zn/ L	2,0	1,4	0,15

- **Antimónio**

Dos valores obtidos para o Antimónio, todas as amostras de água apresentam valores inferiores a 4 µg Sb/L, como se pode observar na Figura 64. O VMA para o Antimónio é de até 10 µg Sb/L para a qualidade da água para consumo humano e, dessa forma, pode-se afirmar que para esse metalóide tóxico as amostras estão dentro da norma de qualidade.

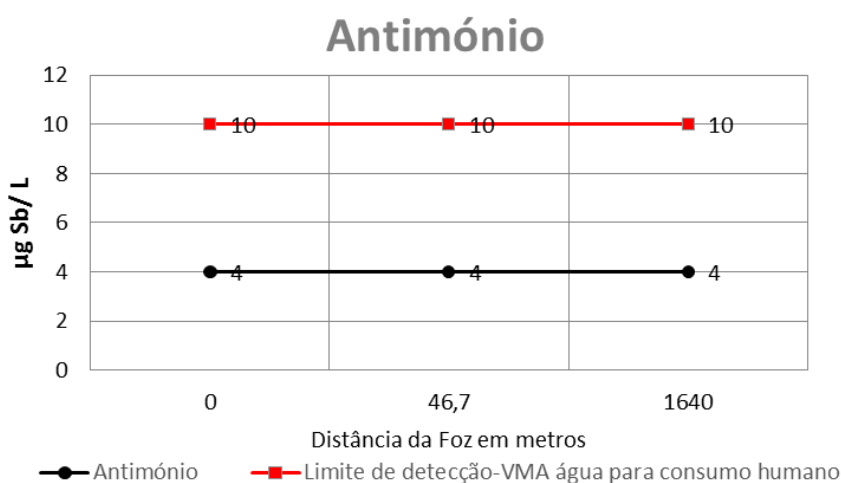


Fig. 64: Concentração em Antimónio nas águas analisadas.

- **Arsénio**

Referente às concentrações encontradas na amostra TRM-A1 retirada na Foz da Ribeira da Castanheira, observa-se na Figura 65 que os valores são inferiores a 3 $\mu\text{g As/L}$, porém na amostra TRM-A2 a 46,7 m da foz da Ribeira da Castanheira, o valor aumenta para 18 $\mu\text{g As/L}$, sendo que o valor limite deste metal em águas superficiais, VMA, é de 0.01 $\mu\text{g As/L}$, de acordo com o decreto utilizado para comparação dessas amostras. Esta acima até mesmo do resultado obtido desse elemento decorrente da maior tragédia ambiental do Brasil, cujo maior valor de concentração desse metal foi de 0,01433 $\mu\text{g As/L}$ (Pinto-Coelho, 2015).



Fig. 65: Concentração de Arsénio das águas analisadas.

- **Cádmio**

Em relação ao Cádmio podemos notar nas amostras TRM-A1 e TRM-A3 concentrações elevadas (ver Fig. 66), sendo a da amostra TRM-A1, obtida na foz da ribeira, a que apresenta maior concentração deste metal. Somente a amostra TRM-A2, a 46,7m da foz da ribeira, apresenta um nível inferior a 1 $\mu\text{g Cd/L}$, sendo o valor limite de Cd da ordem de 0.0002 $\mu\text{g Cd/L}$ para águas superficiais. Também se pode observar que os níveis de Cádmio não mostram um padrão de mudança com a proximidade à barragem que cedeu. Na catástrofe ambiental de Mariana o índice mais alto desse elemento foi de 0,0158 $\mu\text{g Cd/L}$ (Pinto-Coelho, 2015), valor muito inferior ao obtido nesse estudo na Ribeira da Castanheira.

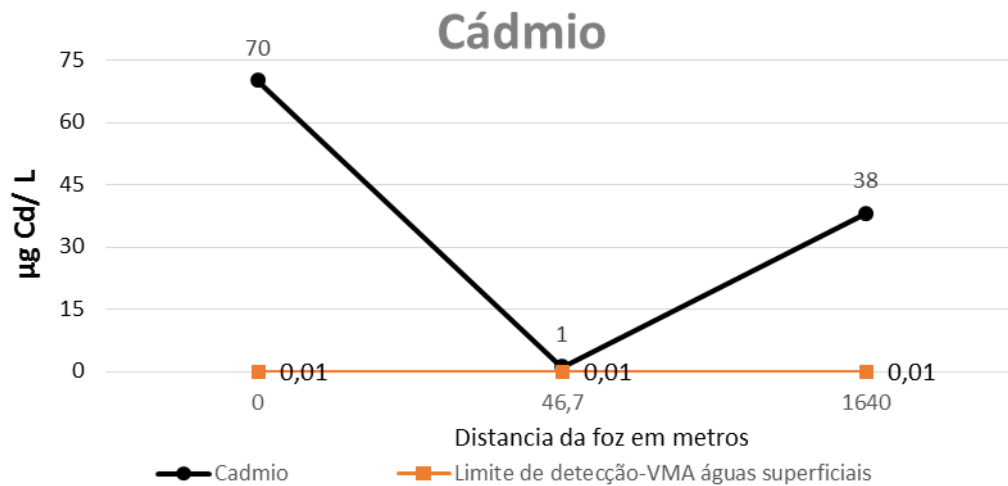


Fig. 66: Concentração de Cádmio das águas analisadas.

- **Chumbo**

Quanto aos valores de concentração em Pb, nas amostras analisadas, podemos verificar, na Figura 67, uma elevação de concentração desse metal na amostra TRM-A1, obtida na foz da ribeira, com um valor de 84 µg Pb/L, ressaltando que o limite de deteção deste metal, em águas superficiais, é de VMA 0.01 µg Pb/ L. Nas outras amostras, apesar de não estarem dentro do limite estabelecido para o decreto, os valores são bastante menores em comparação com a amostra TRM-A1. Até mesmo da tragédia ambiental de Mariana, de maior dimensão, teve o maior teor encontrado de chumbo 0,05 µg Pb/L (Pinto-Coelho), valor inferior de Terramonte.

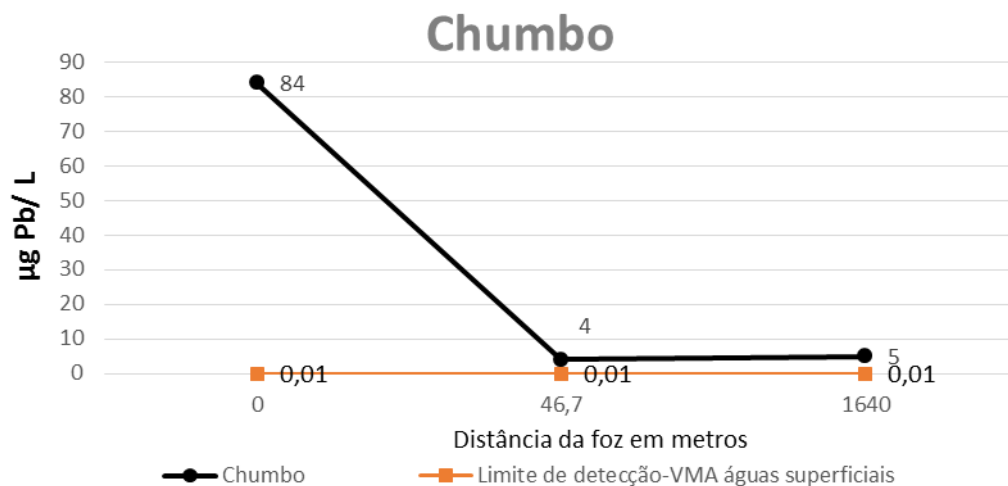


Fig. 67: Concentração em Chumbo nas águas analisadas.

- Crómio**

Em relação aos valores de concentração em Crómio pode-se verificar, na Figura 68, que todas as amostras apresentam concentrações com valores inferiores a 5 µg Cr/ L, sendo que o limite de deteção é de 0,01 µg Cr/ L, para valores considerados para águas superficiais de boa qualidade. Na catástrofe de maior dimensão, comparada a esta, o maior valor de Crómio foi de 00,5 µg Cr/ L (Pinto-Coelho, 2015).

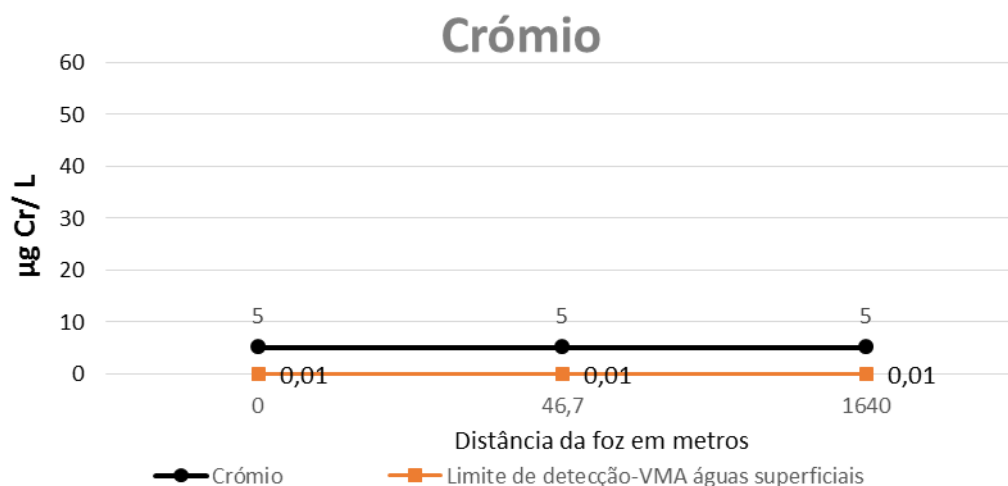


Fig. 68: Concentração de Crómio nas águas analisadas.

- **Níquel**

Pode-se verificar, na Figura 69, que os níveis de Níquel não aumentam conforme a distância diminui em relação à barragem que cedeu, porém tem um valor muito elevado de concentração na amostra TRM-A1 obtida na foz da Ribeira da Castanheira, com uma concentração de 122,4 $\mu\text{g Ni/L}$. Na amostra TRM-A2, coletada a 46,7 m de distância da foz, o valor decai, bruscamente, atingindo 6 $\mu\text{g Ni/L}$, sendo o mais baixo comparado com as restantes. Os valores limites deste metal não estão descritos no decreto usado nesse trabalho, no que se refere águas de superfície, porém no trabalho realizado por Pinto-Coelho em 2015, os valores mais altos de níquel nas amostras coletadas da maior catástrofe ambiental brasileira, decorrente do desastre da barragem da SAMARCO, foi de 0,02 $\mu\text{g Ni/L}$, valor muito inferior das amostras coletadas em Terramonte. Diante disso nota-se a magnitude da contaminação.

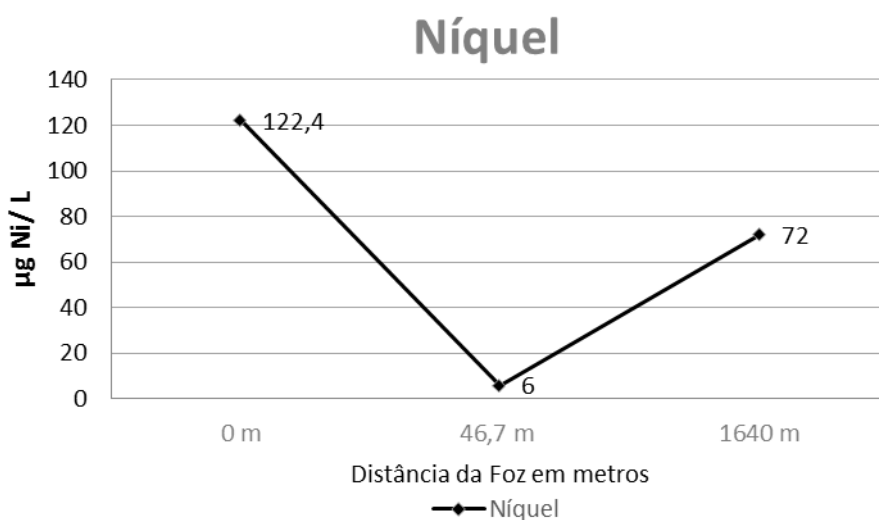


Fig. 69: Concentração em Níquel nas águas analisadas.

- **Cobre**

No que se refere às concentrações em Cobre, todas as amostras apresentam valores inferiores a 0,2 $\mu\text{g Cu/L}$, como se observa na Figura 70. O valor está elevado, pois o limite considerado para este metal, em águas superficiais, é de 0,005 $\mu\text{g Cu/L}$.

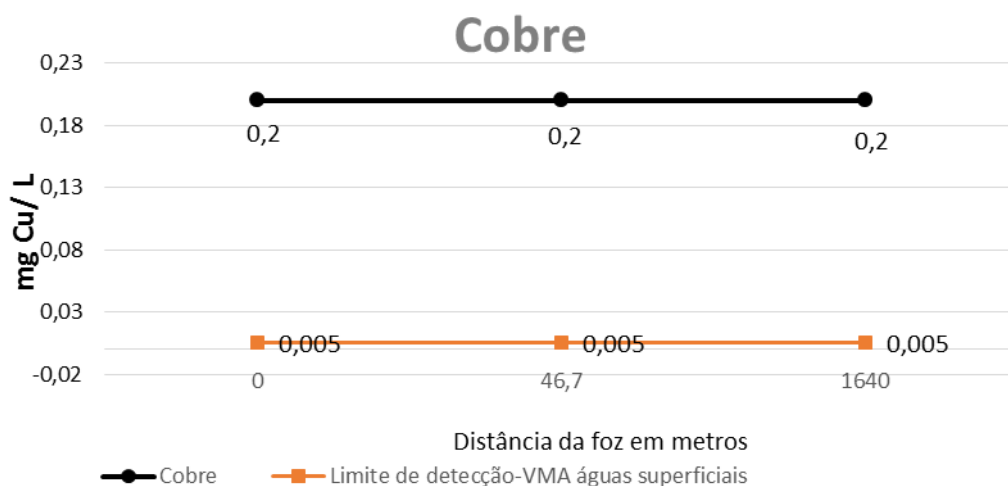


Fig. 70: Concentração em Cobre nas águas analisadas.

- **Zinco**

Quanto ao Zinco, podemos verificar na Figura 71, que a amostra TRM-A1 retirada na foz da Ribeira da Castanheira, é a que apresenta um valor de concentração mais elevado com 2 $\mu\text{g Zn/L}$. Ocorre um decréscimo conforme a amostragem se aproxima na barragem de rejeitados que rompeu. Todas as amostras analisadas estão acima dos limites considerados para este metal, que é de 0.02 $\mu\text{g Zn/L}$ para águas superficiais, sendo que o valor de norma de qualidade que, de preferência, deve ser respeitado ou não excedido é de 0.01 $\mu\text{g Zn/L}$.

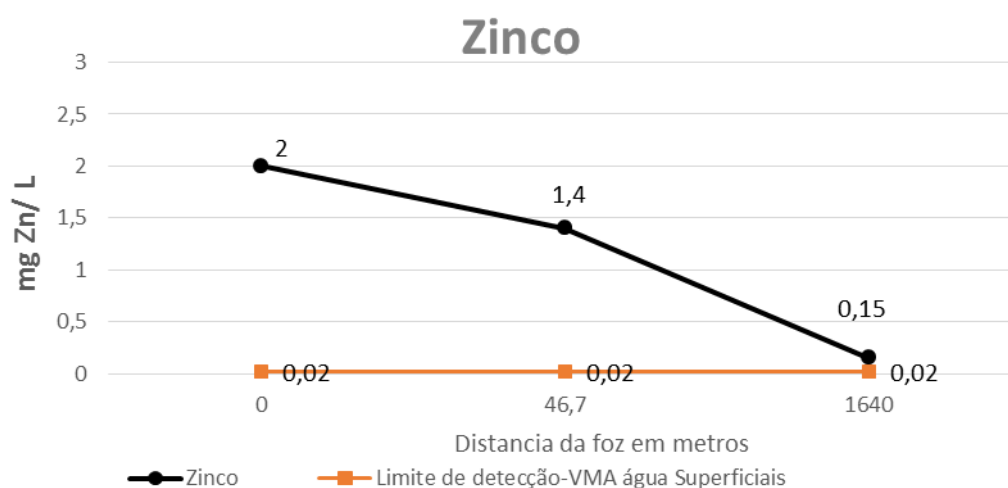


Fig. 71: Concentração em Zinco nas águas analisadas.

Na Tabela 18 apresentam-se os teores máximos e mínimos da condutividade, pH (ver Fig. 72), As, Cd, Cu, Pb, Sb e Zn (Fig.s 73 e 74) obtidos neste trabalho e em dois outros anteriores (Araújo 2010) e (Soares, 2014), que foram realizados na área agora em estudo. Adicionalmente, para comparação, consta o VMR e o VMA de águas para consumo humano do Decreto-Lei n. 236/1998. Verifica-se que o pH esta mais ácido atualmente e os valores de Cd, Cu, Pb, Sb, Zn ocorreu uma diminuição de concentração, comparando com os valores dos estudos realizados anteriormente. Os níveis de As, teve um pequeno aumento em 2017, equiparando com os outros anos. Os valores de Cd e Pb, mesmo com evolução positiva, apresentam-se acima dos padrões do Decreto regulamentar utilizado.

Tab. 18: Variação da evolução dos elementos analisados nas amostras de água na área de estudo, dados de 2010, 2014 e 2017.

Parâmetros	Unidade	(Araújo) 2010		(Soares) 2014		2017		Consumo Humano	
		Teor Min	Teor Max	Teor Min	Teor Max	Teor Min	Teor Max	VMR	VMA
Condutividade	µS/ cm	56	1500	135	632	556	1004	400	
pH	Sörensen(°C)	3,5	5,6	4,8	6,6	4,25	5,56	6,5-8,5	9,5
As	µg / L	0,25	4	0,25	16	<3,0	18	-	50
Cd	µg / L	0,4	381	0,11	68	<1,0	70	-	5
Cu	µg / L	0,4	759	4,4	96	<0,2	<0,2	3000	-
Pb	µg / L	0,3	1302	2,2	454	4,0	84	-	50
Sb	µg / L	0,17	4	0,26	1,35	<4,0	<4,0	-	10
Zn	µg / L	63	320	56	17938	0,15	2,0	5	-

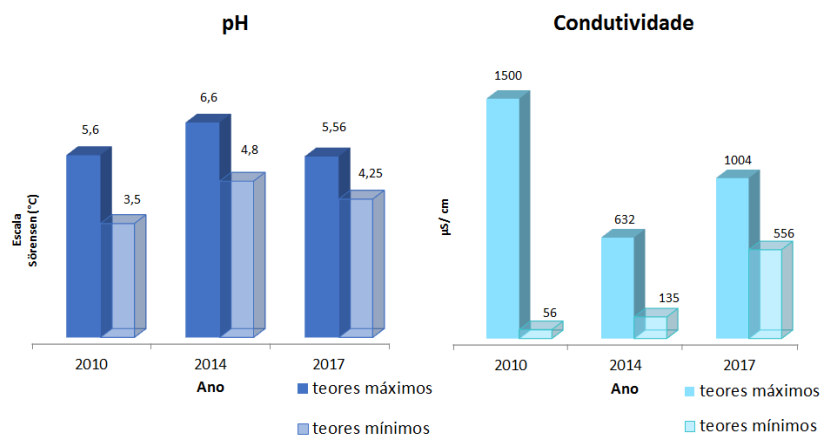


Fig. 72: Evolução do pH e condutividade elétrica nas amostras de água da área de estudo, dados de 2010, 2014 e 2017

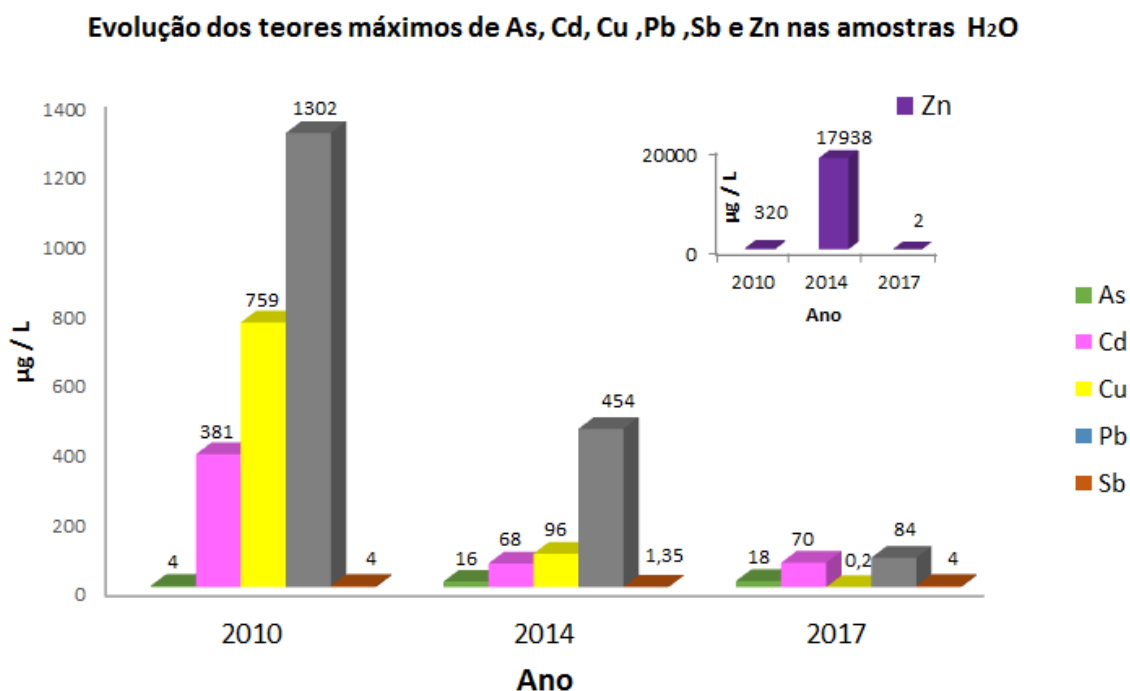


Fig. 73: Evolução dos teores máximos dos elementos metálicos analisados nas amostras de água da área em estudo, dados de 2010, 2014 e 2017.

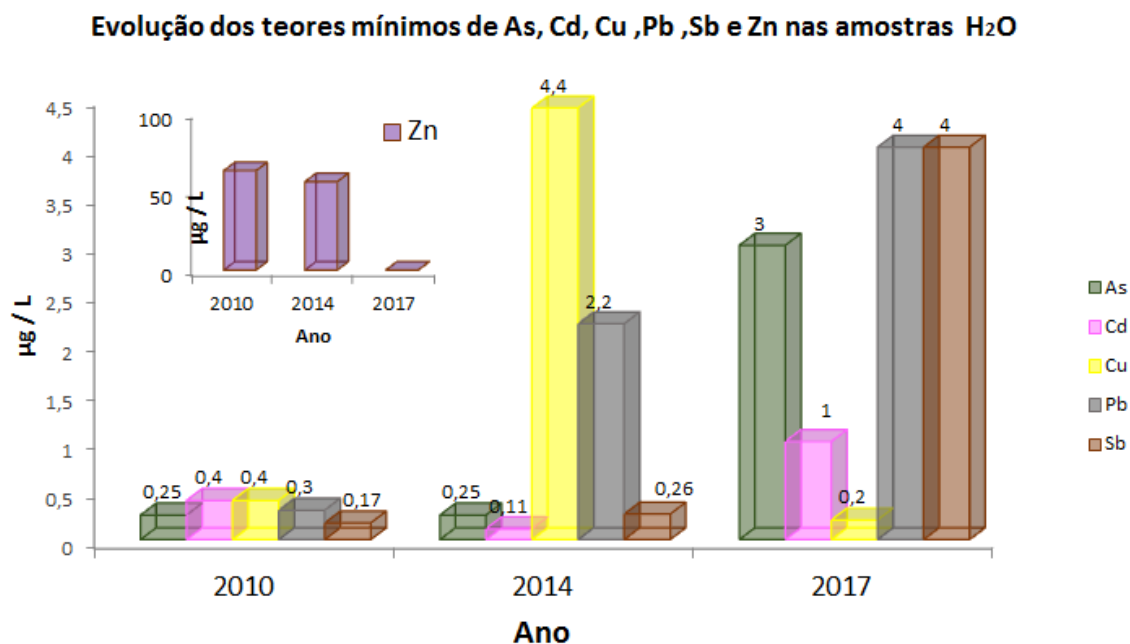


Fig. 74: Evolução dos teores mínimos dos elementos metálicos analisados nas amostras de água da área em estudo, dados de 2010, 2014 e 2017.

5.2 Resultados das Análises Físicas e Químicas dos Sedimentos

A avaliação dos sedimentos é necessária para diagnosticar a porção biodisponível de um elemento contaminante (Messias, 2008). Os resultados das amostras de sedimento constam da Tabela 19, com a respetiva distância à origem da amostragem.

Os metais As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb e Zn, foram comparados com os padrões de qualidade da legislação do Canadá (CCME, 1997), Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life, que apresentam dois parâmetros: Interim freshwater sediment quality guidelines (ISQGs), que corresponde ao limiar abaixo do qual não são esperados efeitos biológicos adversos e, ainda, o Probable Effect Levels (PELs), que define o nível acima do qual é esperado que os efeitos adversos ocorram frequentemente.

Para os elementos Al, Fe, Mg, Ni e Sb usou-se como valor de referência os teores médios de cada elemento em sedimentos de corrente em Portugal, retirado de Ferreira (2000).

Tab. 19: Resultados das análises físico-químicas dos sedimentos.

AMOSTRA DE SEDIMENTO											
Distância à foz da Ribeira da Castanheira em direção à EN222.											
Metais	Unidade	TRMS1 10m	TRMS2 16,7m	TRMS3 20m	TRMS4 25m	TRMS5 209m	TRMS6 237m	TRMS7 405m	TRMS8 1590m	TRMS9 1620m	TRMS10 1690m
As	mg/kg	480	380	250	690	720	770	1200	970	880	1100
Cd	mg/kg	8.1	20	6.1	8.9	0.84	0.46	0.80	48	2.7	1.6
Cr	mg/kg	8.9	6.4	<5.0	8.4	6.0	6.3	7.0	8.8	6.6	7.7
Cu	mg/kg	100	74	39	290	110	130	150	330	150	230
Hg	mg/kg	0.12	0.12	0.26	0.14	0.14	0.16	0.19	0.17	0.14	0.20
Ni	mg/kg	9.2	17	8.5	8.9	5.1	5.2	<5.0	36	5.3	6.9
Pb	mg/kg	2200	1500	680	2700	3200	5000	5400	4400	4400	5600
Zn	mg/kg	690	2600	1000	1200	330	340	350	7500	470	1000
Al	mg/kg	4100	2400	2600	4100	3700	3200	3700	5200	4200	4300
Fe	mg/kg	15000	17000	11000	18000	19000	22000	24000	24000	21000	21000
Mn	mg/kg	96	320	150	77	93	79	73	460	93	88
Sb	mg/kg	110	88	47	140	150	190	190	180	170	210

- **Arsénio**

Os resultados obtidos para os teores em Arsénio nas amostras de sedimento, pode-se ver na Figura 75, apresentam concentração acima do permitido, com até 70

vezes acima se comparado com o nível que causa prováveis efeitos na biota; também é observável que os níveis apresentam um crescimento com a proximidade à barragem de estêreis que cedeu, sendo esta a que apresenta níveis de maior concentração, com valores da ordem de 1200 mg/kg.

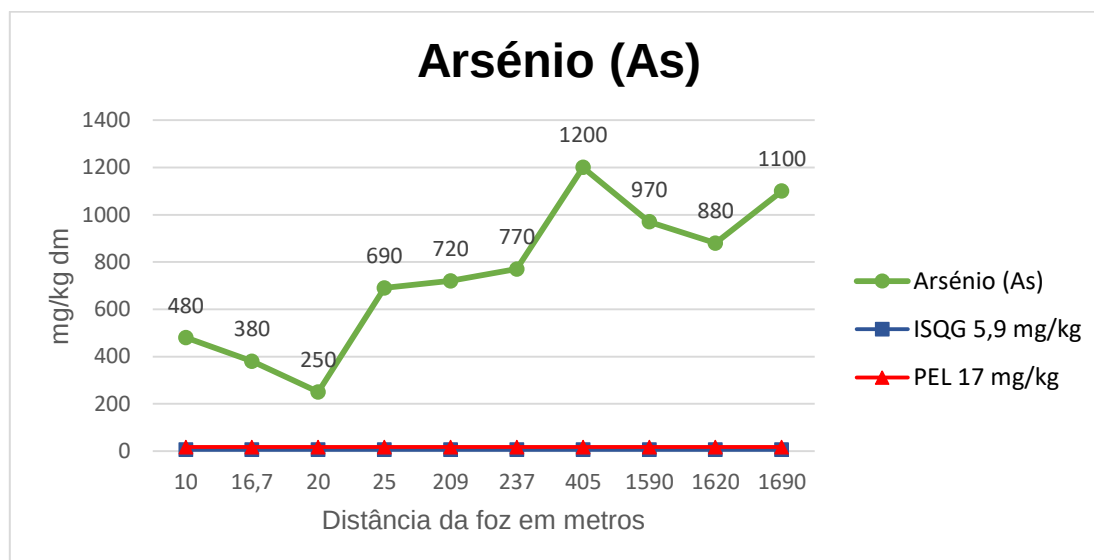


Fig. 75: Concentração de Arsénio nos sedimentos amostrados.

- **Cádmio**

Analisando a Figura 76 podemos verificar que 50% das amostras de sedimentos estão acima dos níveis estabelecidos para a concentração em Cádmio, chegando até 13 vezes mais do que nível que causa provável efeitos na biota. Nos demais pontos pode-se verificar que estão entre níveis de ISQG e o PEL e, somente uma amostra, está abaixo do ISQG, também podemos analisar que os níveis de cádmio não apresentam um padrão de crescimento ou decrescimento conforme a proximidade com a barragem de rejeitados que cedeu. No ponto TRM-S8, a 1590m de distância do Rio Douro, é a zona com maior concentração de cádmio com 48 mg/kg, um nível muito alto comparado com o permitido e até mesmo o valor máximo encontrado de 0,1 mg/kg (Santos, 2016) em sedimentos de superfícies na coleta ao longo do bacia do rio Doce, após a maior tragédia ambiental ocorrida no Brasil.

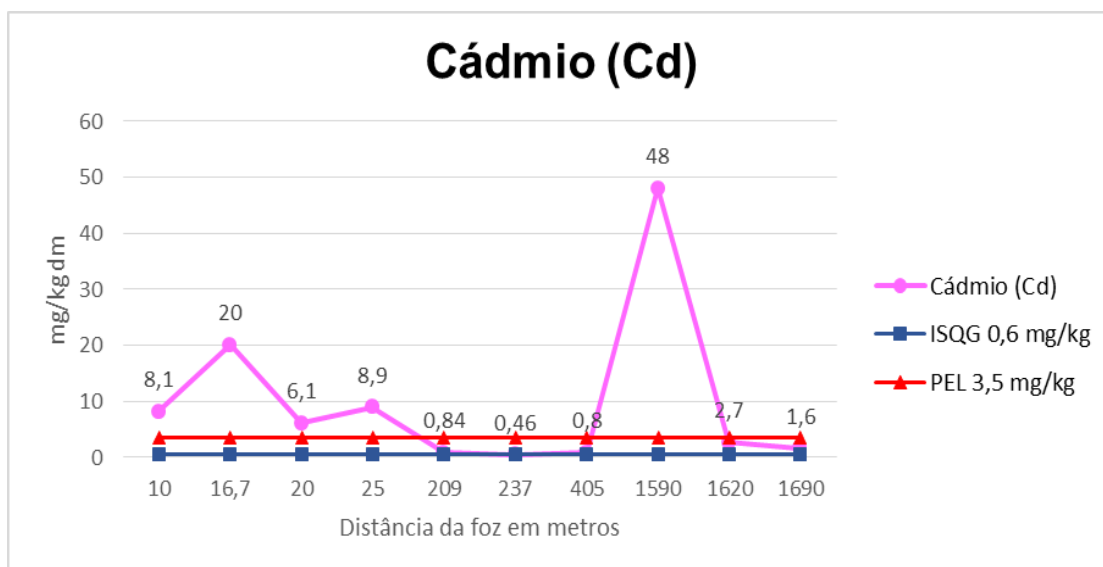


Fig. 76: Concentração de Cádmio nos sedimentos amostrados.

- **Crómio**

Quanto ao Crómio, podemos verificar pela Figura 77, que todas as amostras apresentam concentrações inferiores a 10mg/kg, estando abaixo dos níveis estabelecidos pelas normas utilizada, também podendo ser observado, que os níveis de crómio não apresentam um padrão de crescimento ou decrescimento conforme a proximidade com a barreira que cedeu, apresentando uma concentração regular em todos os pontos amostrados na Ribeira da Castanheira.

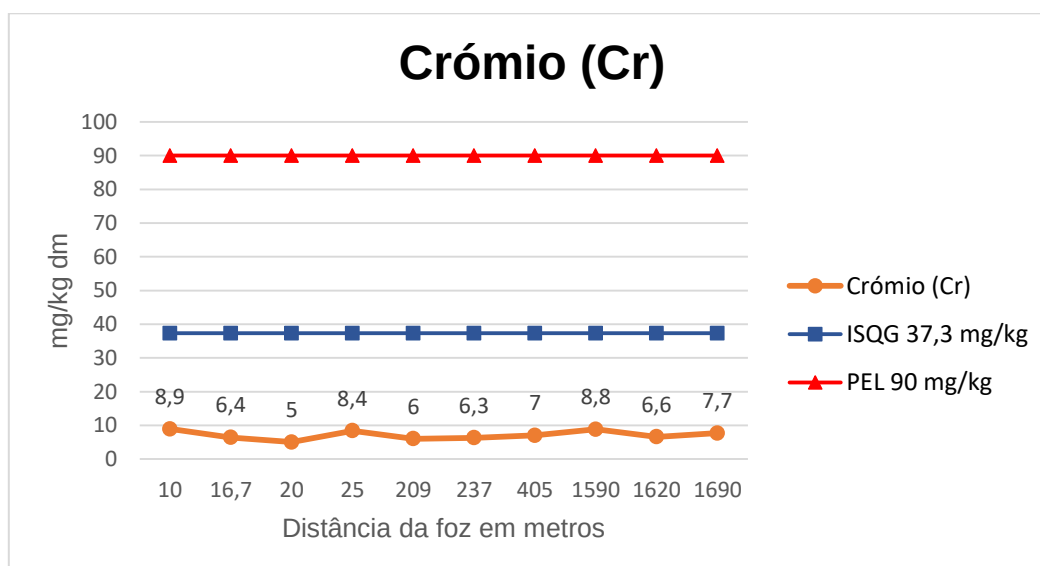


Fig. 77; Concentração de Crómio nos sedimentos amostrados.

- **Cobre**

Ao analisar a Figura 78, notamos que nas concentrações de Cobre, ocorrem três níveis de concentração elevada que estão acima dos níveis estabelecidos: no ponto 230m, 290m e 330m, em relação à foz da Ribeira da Castanheira, apresentando valores de até 1,5 vezes a mais do que o nível que causa prováveis efeitos na biota; nas outras amostras podemos notar que estão entre níveis de ISQG e PEL, sendo ainda observável que os níveis de cobre apresentam um ligeiro padrão de crescimento conforme a proximidade à barragem que cedeu. Os teores Cobre em da Ribeira da Castanheira esta acima até mesmo do resultado obtido desse elemento decorrente da maior tragédia ambiental do Brasil, cujo maior valor de concentração desse metal foi de 16,1 mg/kg⁻¹ (Santos, 2016).

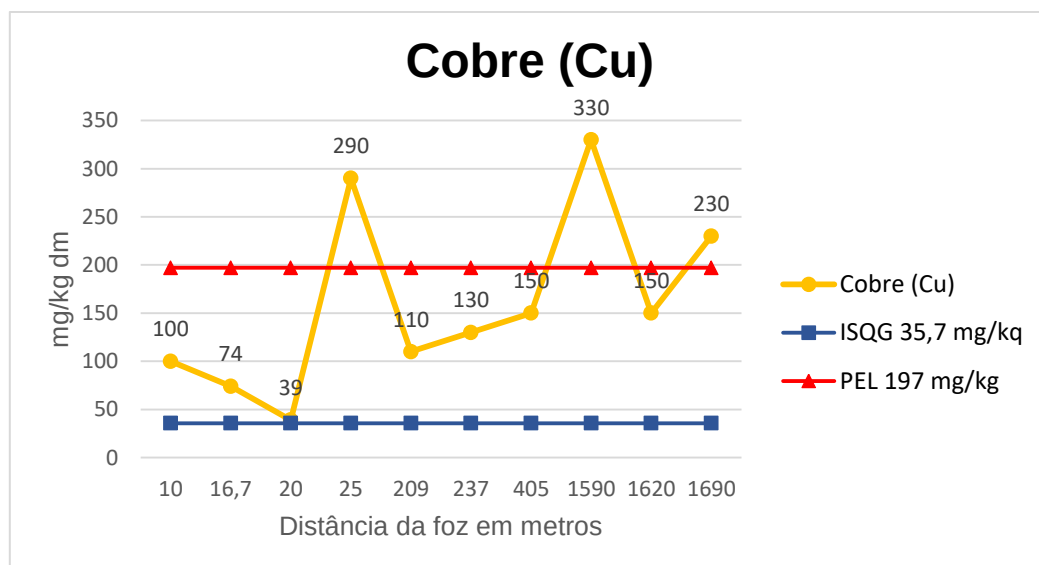


Fig. 78: Concentração de Cobre nos sedimentos amostrados.

- **Mercúrio**

Já no mercúrio, podemos ver na Figura 79, que todas as amostras estão abaixo dos níveis estabelecidos que causam prováveis efeitos na biota. Em metade das amostras podemos ver que a concentração obtida está entre os níveis de ISQG e o PEL e, outra metade, está abaixo do ISQG. O ponto com concentração mais elevada é a amostra TRM-S3, com 0.26mg/kg de mercúrio. Pode-se ainda observar que os níveis de Mercúrio não apresentam uma taxa de concentração regular ao longo da amostragem efetuada na Ribeira da Castanheira.

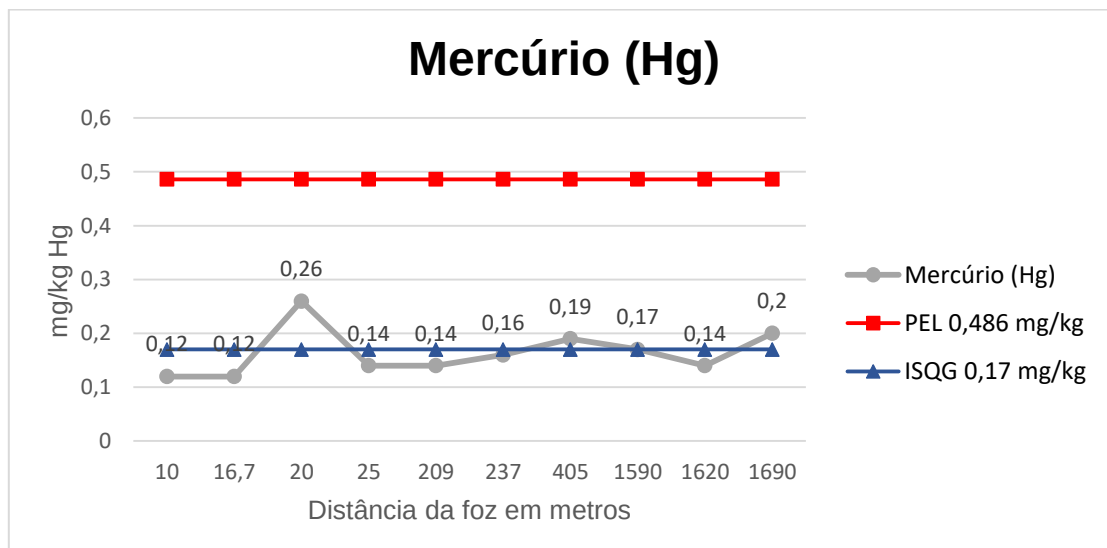


Fig. 79: Concentração de Mercúrio nos sedimentos amostrados.

- Zinco**

Quanto ao Zinco podemos observar, na Figura 80, que todas as amostras estão acima dos níveis estabelecidos pela Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life, chegando a estar 23 vezes acima do nível recomendado; também é observável que os níveis de zinco não apresentam um padrão regular de variação ao longo da ribeira, estando a maior concentração de Zinco no ponto TRM-S8, a 1590m de distância da foz da Ribeira da Castanheira e relativamente próxima da barragem que cedeu. Na maior catástrofe ambiental já registrada do Brasil o índice mais alto desse elemento foi de 57 mg/kg (Santos, 2016), valor inferior ao obtido nesse estudo na Ribeira da Castanheira.

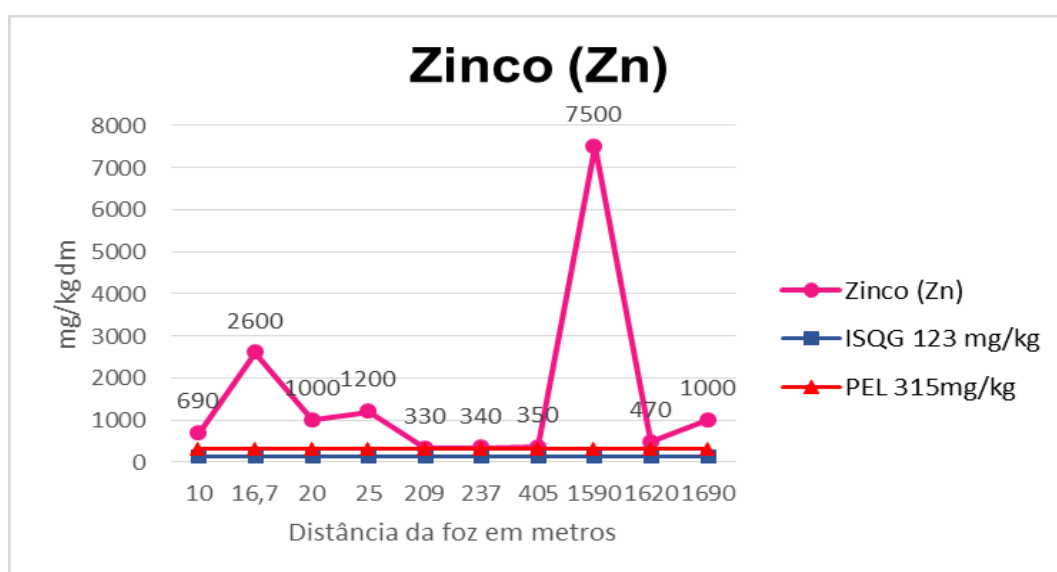


Fig. 80: Concentração de Zinco nos sedimentos amostrados.

- **Chumbo**

Relativamente às concentrações em Chumbo, podemos examinar na Figura 81 que todas amostras estão acima dos níveis estabelecidos, chegando a estar 61 vezes acima dos índices estabelecidos pela norma PEL e IAQG; também é observável que os níveis de Chumbo apresentam um padrão de crescimento bastante regular, conforme a proximidade à barragem que cedeu. No ponto TRM-S1 a apenas 10 metros de distância ao Rio Douro, a concentração de Chumbo é muito alta, 2200mg/kg, fator muito preocupante para o meio ambiente. Na catástrofe ambiental de Mariana o índice mais alto desse elemento nos sedimentos foi de 28,4 mg/kg⁻¹ (Santos, 2016), valor muito inferior ao obtido nesse estudo na Ribeira da Castanheira.

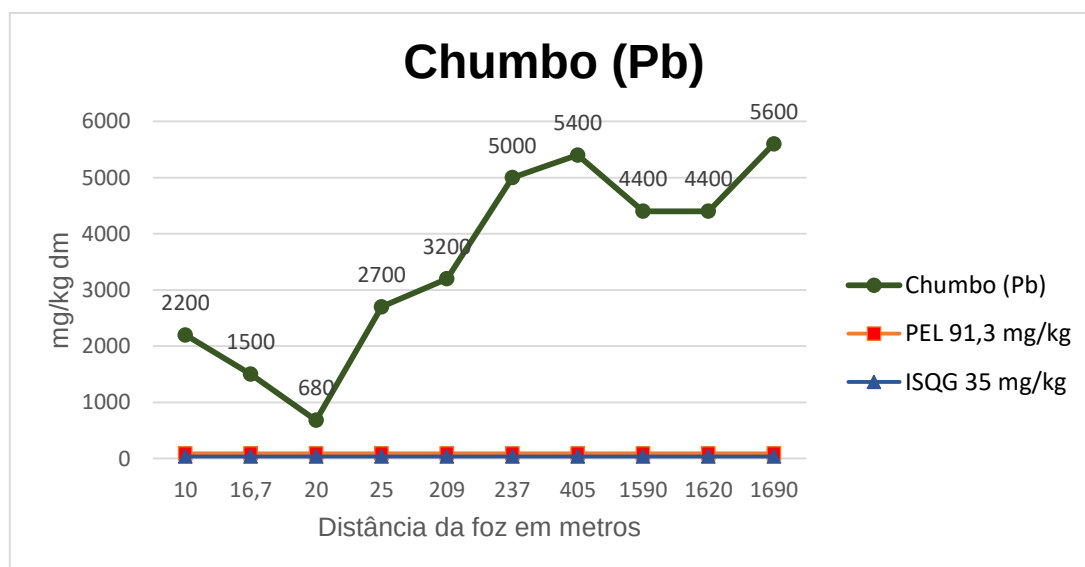


Fig. 81:Concentração de Chumbo nos sedimentos amostrados.

- **Níquel**

No Níquel, apenas uma amostra foi considerada acima dos teores de referência, em Níquel, para sedimentos de corrente de Portugal. Verifica-se na Figura 82 a distribuição irregular da concentração de Ni em toda a Ribeira da Castanheira, sendo o ponto de concentração mais elevado deste metal o ponto TRM-S8 a 1590m de distância da foz da Ribeira da Castanheira.

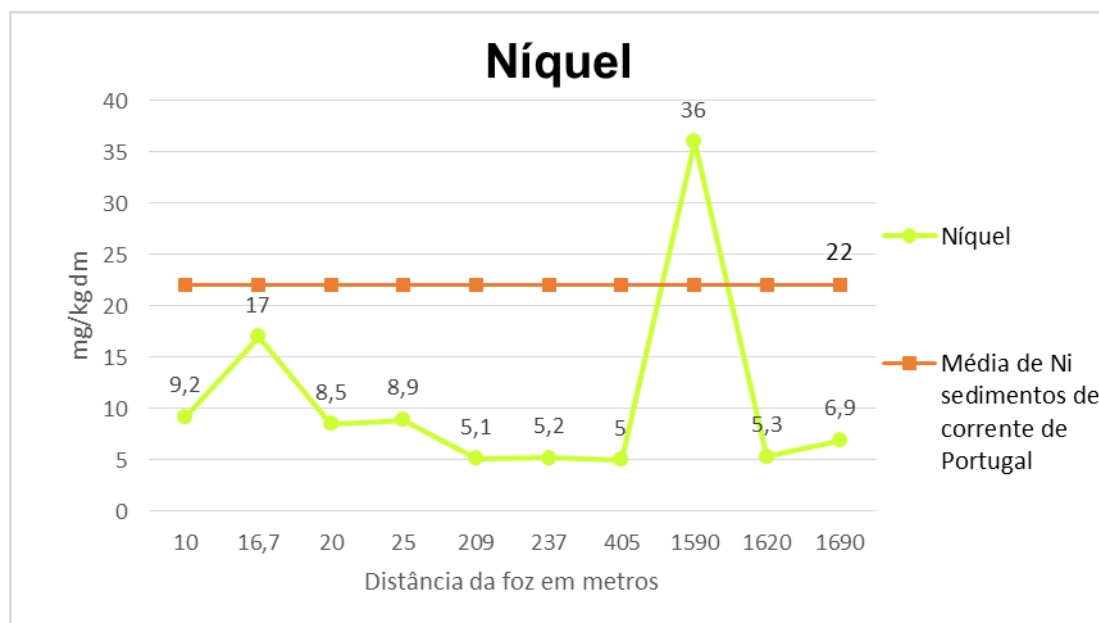


Fig. 82: Concentração de Níquel nos sedimentos amostrados.

- **Antimónio**

Todas as amostras recolhidas na ribeira da Castanheira contêm altos níveis de Antimónio (Fig. 83). O índice mais alto deste elemento está na amostra TRM-S10, ou seja, a mais próxima da barragem que cedeu, com teor de 210 mg/kg sendo que o teor de referência, para sedimentos de corrente em Portugal, é 2 mg/kg (Ferreira, 2000).

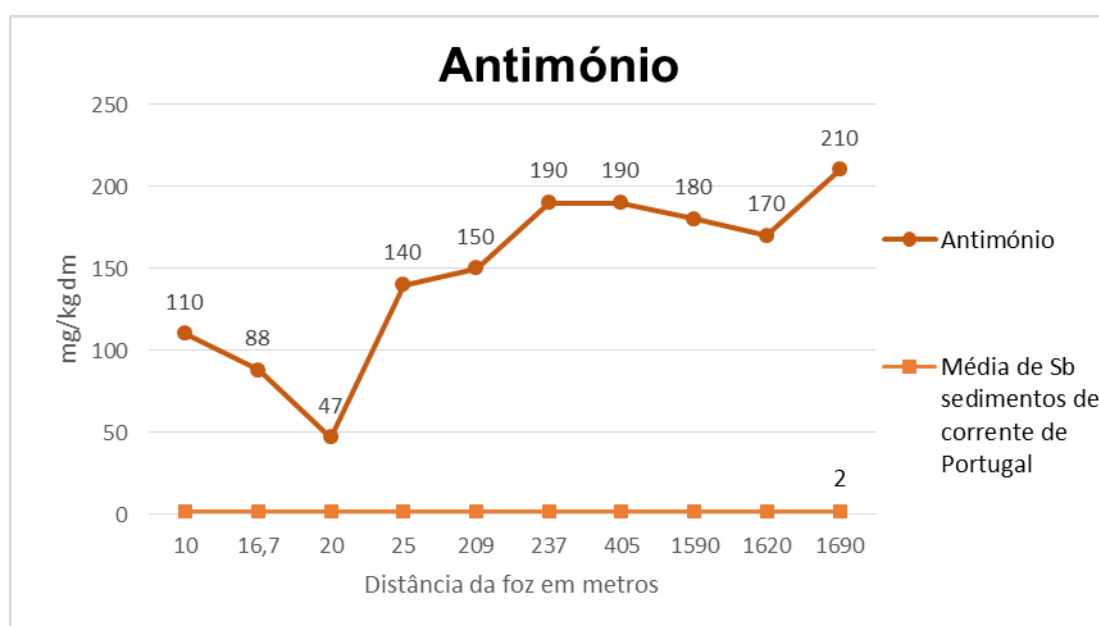


Fig. 83: Concentração de Antimónio nos sedimentos amostrados.

- **Alumínio**

Verifica-se, pela Figura 84, que em todas as amostras a concentração em alumínio está abaixo dos teores de referência deste elemento para sedimentos de corrente em Portugal, no caso inferior a 15800 mg/kg (Ferreira, 2000). Em Mariana, a tragédia ambiental do Brasil em 2015, onde a dimensão foi muito maior que em Terramonte, o índice mais alto desse elemento foi de 184mg/kg (Santos, 2016), valor muito inferior ao obtido nesse estudo na Ribeira da Castanheira.

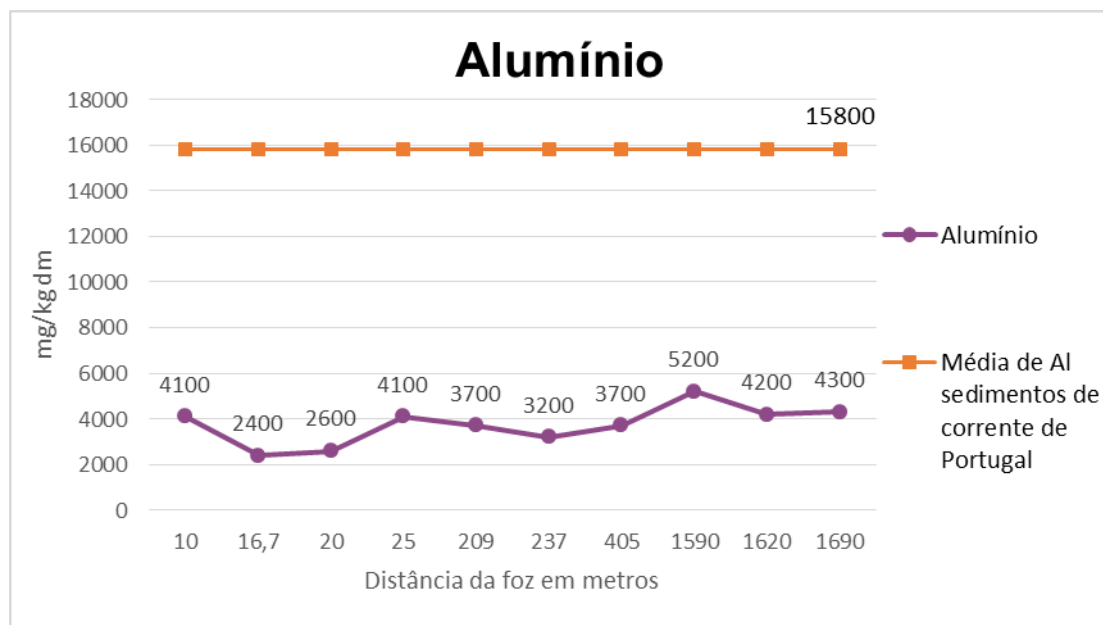


Fig. 84: Concentração de Alumínio nos sedimentos amostrados.

- **Ferro**

Quanto ao ferro, nota-se pela Figura 85, que todas as amostras de sedimentos estão abaixo dos teores de referência deste elemento para sedimentos de corrente em Portugal (Ferreira, 2000).

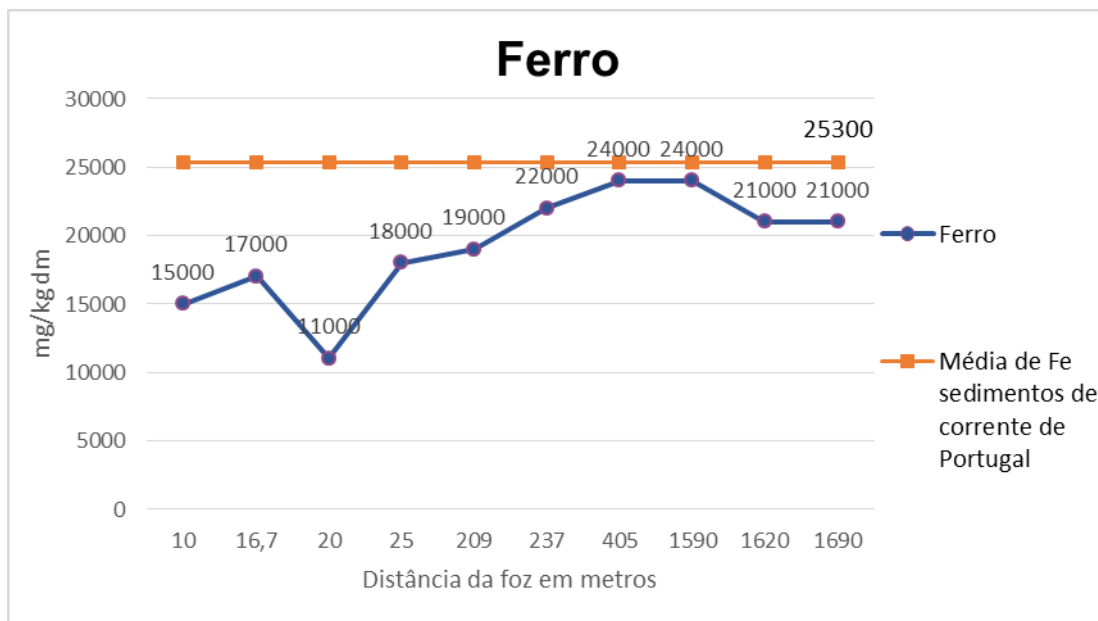


Fig. 85: Concentração de Ferro nos sedimentos amostrados.

- Manganês**

Observa-se na Figura 86 que as amostras coletadas no curso de água da área mineira de Terramonte, apresentam valores abaixo dos teores de referência deste elemento para sedimentos de corrente em Portugal (Ferreira, 2000). A concentração mais elevada foi na amostra TRM-S8 com 460 mg/kg.

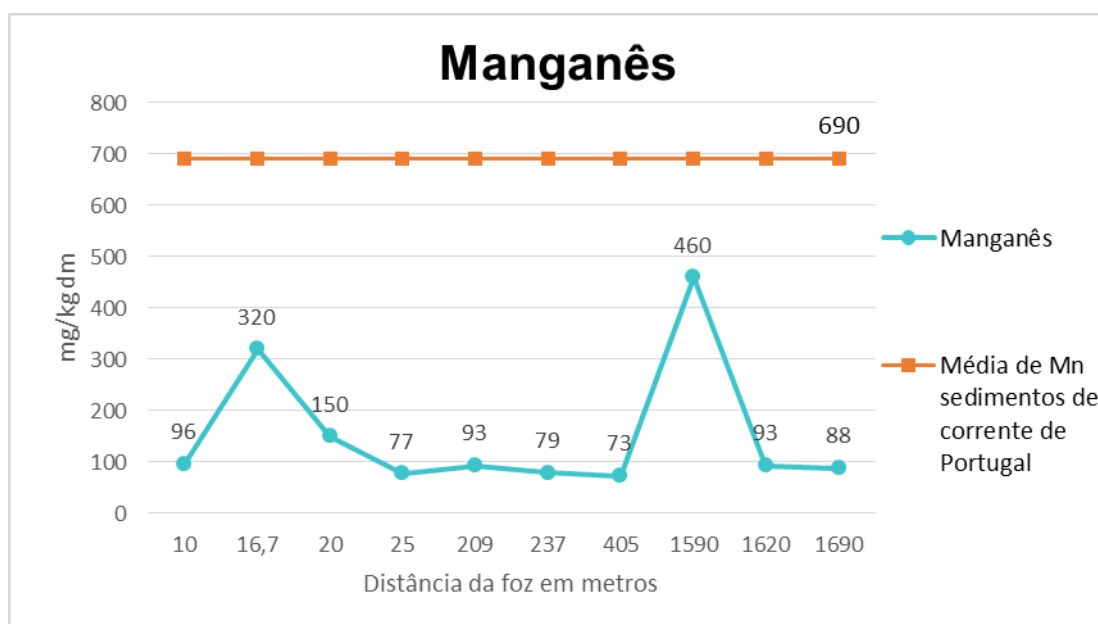


Fig. 86: Concentração de Manganês nos sedimentos amostrados.

Foi feita uma representação gráfica da variação de todos os elementos químicos analisados (Fig. 87), para verificar a variação da sua concentração ao longo da Ribeira da Castanheira. Verifica-se que alguns desses elementos apresentam um regular da sua concentração à medida que nos aproximamos da barragem que cedeu mas, porem, este comportamento não é um padrão comum a todos os elementos.

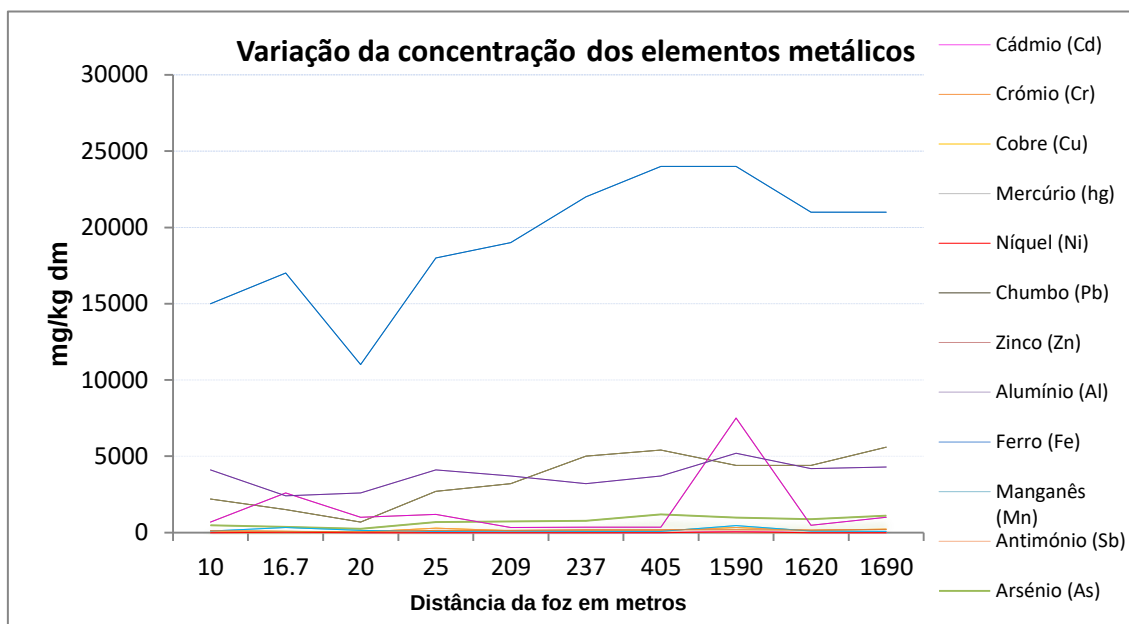


Fig. 87: Variação da concentração dos elementos metálicos na Ribeira da Castanheira em função da distância à foz da Ribeira da Castanheira.

Na Tabela 20 encontram-se os resultados dos elementos As, Cd, Cu, Hg, Pb, Sb e Zn, deste trabalho e de outros dois, efetuados anteriormente em 2010 por Araújo e 2014 por Soares, com o objetivo de verificar a evolução da contaminação nos sedimentos coletados na Ribeira da Castanheira (ver Fig.s 88 e 89). Para facilitar a interpretação usou-se como valor de referência os teores médios de cada elemento em sedimentos de corrente de Portugal, retirado de Ferreira, 2000.

Tabela 20: Variação das concentrações dos elementos analisados nas amostras de sedimentos de corrente da Ribeira da Castanheira, dados de 2010, 2014 e 2017.

Elemento Químico	Unidade	(Araújo) 2010		(Soares) 2014		2017		Valor de referência*
		Teor Min	Teor Max	Teor Min	Teor Max	Teor Min	Teor Max	
As	mg/kg	7,8	797	59	387	250	1200	22
Cd	mg/kg	0,3	16	0,8	8,6	0,46	48	0,2
Cu	mg/kg	7,2	155	49	142	39	330	30
Hg	mg/kg	0,01	0,08	0,005	0,08	0,12	0,26	
Pb	mg/kg	52	3 715	509	3 764	680	5600	28
Sb	mg/kg	1,1	134	21	127	47	210	2
Zn	mg/kg	426	2 251	234	25 391	330	7 500	92

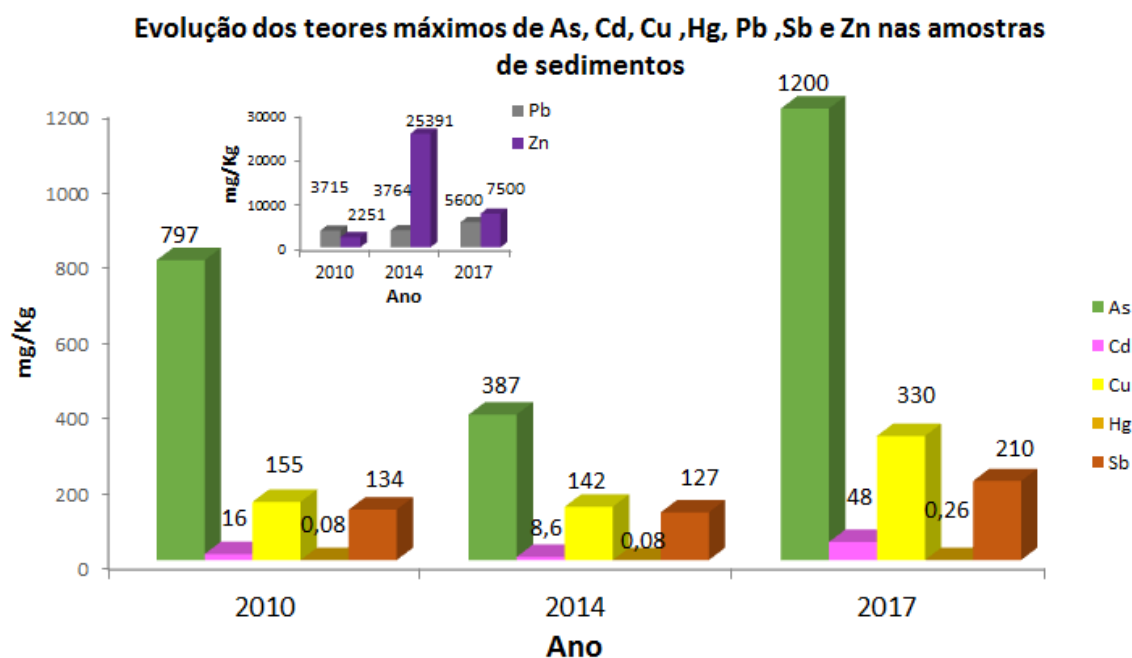


Fig. 88: Evolução dos teores máximos dos elementos químicos analisados nas amostras de sedimentos da área em estudo, dados de 2010, 2014 e 2017.

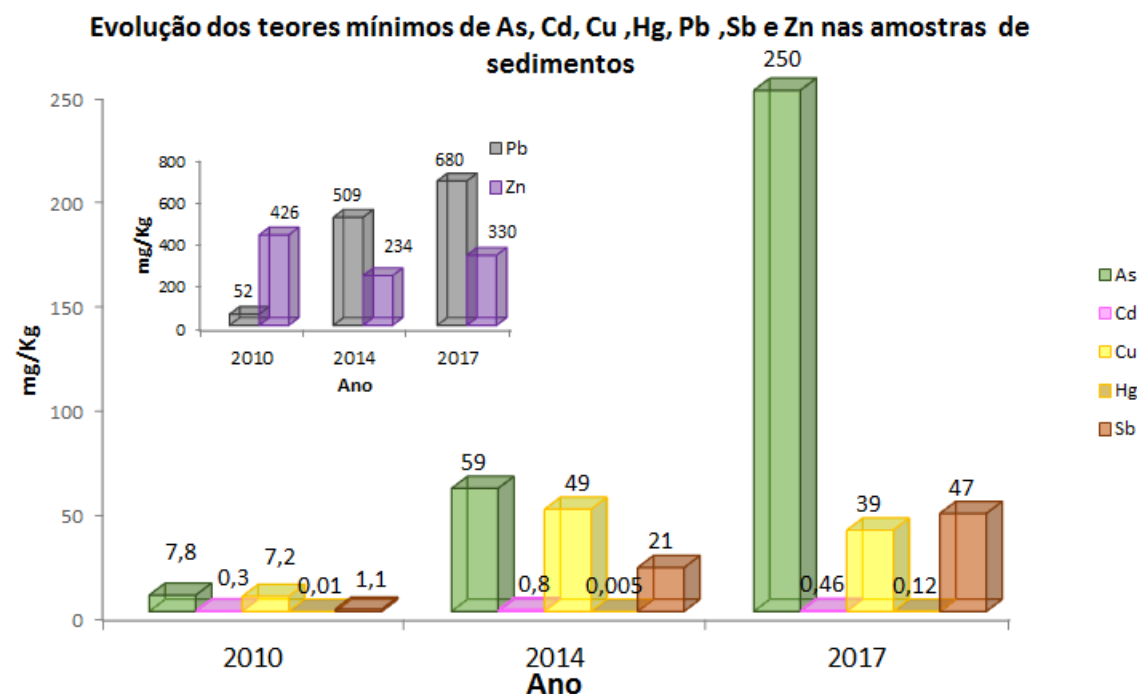


Fig. 89: Evolução dos teores mínimos dos elementos químicos analisados nas amostras de sedimentos da área em estudo, dados de 2010, 2014 e 2017.

Em relação aos valores apresentados na Tabela 20, verifica-se um aumento da concentração em todos os elementos que foram analisados em 2017, em relação aos anos de 2010 e 2014.

No As o aumento foi muito elevado, com um aumento de aproximadamente 4 vezes para o teor mínimo e de 3 vezes para o teor máximo, comparando os resultados com 2014. Em todos os anos os valores deste elemento estiveram acima dos teores de referência para de sedimentos de corrente em Portugal que, no caso, é de 22 mg/kg.

No Cd, em 2017, o teor máximo da sua concentração foi maior quando em comparação com os outros anos. Os resultados foram 3 vezes mais elevados que em 2010 e 5 vezes do que em 2014. Além disto, todas as amostras apresentam valores acima do valor 0,2 mg/kg, usado como referência (Ferreira, 2000).

No que se diz respeito ao Cu, o acréscimo foi duas vezes superior aos resultados dos trabalhos anteriores. Apresenta-se algumas amostras com teores acima do valor de referência utilizado.

Em relação ao contaminante Hg, este apresenta um aumento da sua concentração que, no caso, é cerca de 3 vezes superior aos últimos resultados.

O Pb apresenta um aumento de 1,48 vezes mais elevado do que os resultados obtidos por Soares (2014) e, além disso, os valores obtidos em 2017 estão cerca de 200 vezes acima dos valores de referência (Ferreira, 2000).

Já o aumento do Sb foi de aproximadamente duas vezes em relação aos resultados obtidos nos trabalhos anteriores e, todas as amostras apresentam valores acima dos valores de referência (Ferreira, 2000).

O Zn teve decréscimo ao valor de 2014, porém apresenta um aumento de 3,3 vezes a mais comparado com valores de (Araújo 2010).

5.3 Resultados e discussão das Análises de Difração de Raios-X dos Sedimentos

Os espectros de DRX, foram ilustrados utilizando o *software OriginLab Origin 9.0*. Para fins de comparação, todas as curvas foram normalizados com o valor máximo igual a 100 e assim facilitar a interpretação.

Relativamente à composição mineralógica das amostras recolhidas na Ribeira da Castanheira, após a representação temática de todos os espectros obtidos, pode-se concluir que apresentam como base o Quartzo. Este silicato apresenta estrutura cristalina do tipo tetragonal (Klein, 2002) com os picos característicos principais em torno de $2\theta = 21^\circ$ e 27° , como pode ser visto na figura 90. Além disso, é possível concluir que os sedimentos também contêm alguma mica ($2\theta \sim 9^\circ$), Clorite ($2\theta \sim 12^\circ$), Feldspato ($2\theta \sim 27-29^\circ$) e Caulinite ($2\theta \sim 8-17^\circ$). Em particular, o Feldspato pode ser do tipo potássico ou cálcico, porém, para verificar com precisão é necessário fazer uma análise química ou obter outros dados óticos. Diferentemente, podemos dizer que o pico mais amplo que se encontra entre 9° e 15° indica a presença de Caulinite. Adicionalmente somente a amostras TRMS9 apresenta Clorite.

Todas as amostras de sedimentos recolhidas na Castanheira da Ribeira foram analisadas por DRX e os seus espectros estão na Figura 91. Pode-se observar na ampliação da figura (figura 91(a)) os diferentes picos entre os comprimentos de onda para a Mica, a Caulinite e a Clorite, entre 2θ de aproximadamente 9° até 15° como referido anteriormente. Observa-se, com mais precisão o pico da amostra TRMS9 em comparação com as demais. Na outra ampliação (figura 91(b)), como os dados estão normalizados, o pico maior tem a mesma intensidade para todas as amostras, logo o que indicará qualitativamente a quantidade de quartzo relativa para cada amostra é o pico menor posicionado em torno de 2θ de aproximadamente 21° . Admite-se que, entre todas as amostras, apenas a TRMS1 e a TRMS9, apresentarão um pico correspondente ao feldspato, com um 2θ de aproximadamente entre 27° e 29° , apresentadas separadamente na Figura 90 para visualização dos picos característicos dessa fase e dessa composição mineralógica (ver Tab. 21).

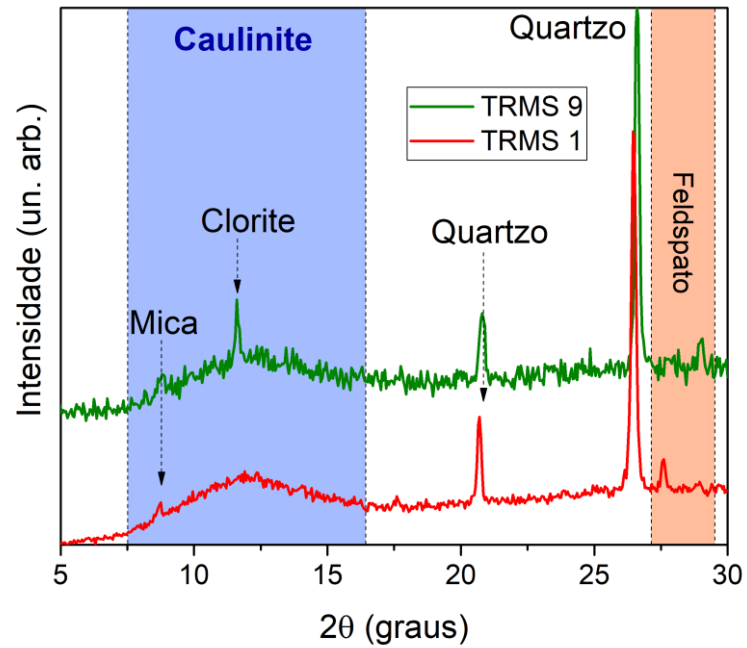


Fig. 90: Espectros DRX das amostras TRM1 e TRM9.

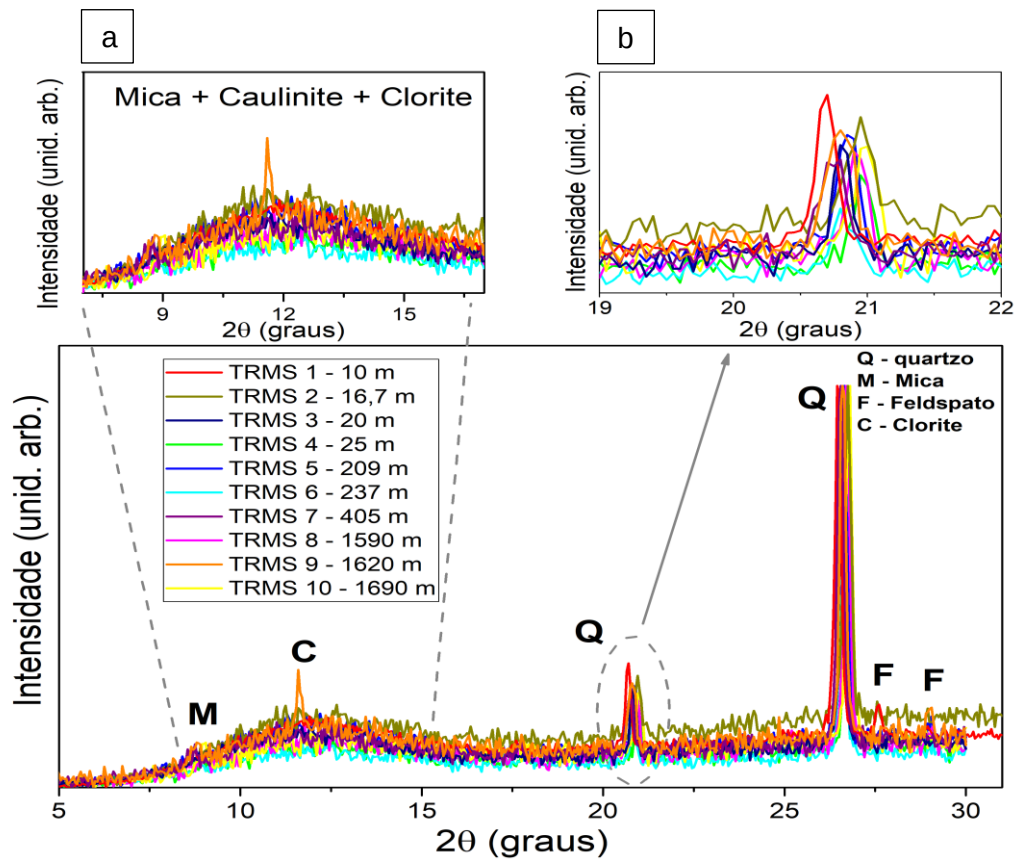


Fig. 91: Espectros de DRX normalizadas para as amostras de sedimentos.

Tab. 21: Composição mineralógica das amostras.

	Composição Mineralógica				
Amostras	Caulinite	Clorite	Mica	Quartzo	Feldspato
TRM-S1	✓		✓	✓	✓
TRM-S2	✓		✓	✓	
TRM-S3	✓		✓	✓	
TRM-S4	✓		✓	✓	
TRM-S5	✓		✓	✓	
TRM-S6	✓		✓	✓	
TRM-S7	✓		✓	✓	
TRM-S8	✓		✓	✓	
TRM-S9	✓	✓	✓	✓	✓
TRMS-10	✓		✓	✓	

6 Conclusão e Trabalhos Futuros

A presente dissertação permitiu avaliar o estado de degradação e impacte ambiental associado ao atual panorama da mina Terramonte. Mesmo após a selagem, impermeabilização e confinamento da barragem E2 e com o confinamento dos resíduos da barragem E1 às margens do leito de água, finalizada pela EDM em 2008, Terramonte encontra-se em situação ambiental delicada. Este quadro está expresso nas concentrações de elementos químicos nocivos, das águas e dos sedimentos analisados, que excedem os valores limite de referência, afetando consequentemente a saúde pública e a sustentabilidade dos ecossistemas na envolvente da mina.

Vale ressaltar a mobilidade ambiental, segundo Ferreira (2000), dos elementos destacados em níveis mais elevados de concentração, quer em sedimentos quer nas águas, conforme os resultados analíticos obtidos na presente dissertação:

- O As é um elemento menor da crosta terrestre e, a sua mobilidade ambiental, é baixa num ambiente redutor e média em condições de oxidação, com acidez neutra a alcalina. Torna-se essencial para alguns organismos, porém é altamente tóxico conforme a valência em que se encontra;
- O Cd é um elemento traço da crosta terrestre e, a sua mobilidade ambiental, é média em condições de oxidação, com acidez neutra a alcalina; já em ambiente redutor é baixa e torna-se solúvel em níveis de pH baixo. Geralmente a concentração deste metal pesado ocorre nas raízes das plantas;
- O Pb é um elemento traço da crosta terrestre, altamente tóxico e com baixa mobilidade ambiental em ambiente com condição de oxidação. As plantas toleram elevados teores deste metal;
- O Ni é um elemento traço que apresenta alta mobilidade em ambiente ácido. Em níveis de concentração alto é tóxico e cancerígeno. Em níveis elevados no solo pode provocar clorose o que acarreta a morte das plantas;
- O Zn é um elemento traço, que apresenta mobilidade ambiental elevada em condições de oxidação. Este elemento afeta o crescimento das plantas quando em concentração maior que 300 ppm;
- Finalmente, o Sb é um elemento traço menor, de baixa mobilidade ambiental mas mais tóxico que o As e o Pb.

No contexto das análises da água que drena a área mineira, concluiu-se que ocorrem baixos níveis de pH e alta concentração de As, Cd, Pb, Ni e Zn, tendo como parâmetro de referência os valores do Decreto-Lei nº 236/98. A amostra TRM-A2 apresenta a maior concentração em As, com 18 µg/L, sendo que o VMA para este metal em águas superficiais é de 0.01 µg/L. A amostra TRM-A1 contém maior índice de concentração de Ni, Cd, Pb e Zn, ou seja, é a amostra mais contaminada, facto que serve como fator de alerta, pois esta foi retirada na foz da Ribeira da Castanheira. Porém as concentrações de Cd, Cu, Pb, Sb e Zn, apresentaram uma ligeira descida em comparação com os valores dos estudos realizados anteriormente em 2010 e 2014. Observa-se, nos níveis de As, um ligeiro aumento em 2017, equiparando com os outros anos. Nos valores de Cd e Pb, mesmo com uma evolução positiva, estes apresentam-se acima dos padrões do decreto-lei usado como referência.

Pode-se dizer, referente aos valores obtidos nas análises de sedimentos, que foram comparadas com os valores da legislação do Canadá (CCME, 1997), que as concentrações em As, Cd, Cu, Ni, Pb e Zn, estão acima dos valores estipulados pelo PEL e ISQG. Nestas amostras, comparadas com os teores de referência para sedimentos de correntes em Portugal (Ferreira, 2000), o Sb encontra-se em proporções muito elevadas em todas as amostras analisadas, aumentado com a proximidade à barragem da mina, destacando-se a amostra TRM-S10 com 210 mg/kg, sendo que os teores de referência em Sb para sedimentos de corrente em Portugal é de 2mg/kg (Ferreira, 2000).

Os resultados obtidos com os elementos As, Cd, Cu, Hg, Pb, Sb e Zn, foram comparados com os trabalhos de monitorização anteriores (Araújo, 2010; Soares, 2014). Conclui-se que ocorreu um aumento da concentração destes elementos em 2017, em relação aos anos anteriores. Estes resultados podem ser consequência de duas situações:

- i) A recuperação da escombreira não estará a surtir os efeitos desejados;
- ii) A existência de pequenas bolsas de rejeitados, ao longo da Ribeira da Castanheira (e em particular próximo da sua foz), estarão a contribuir para as concentrações agora obtidas.

Pode-se dizer que a mina de Terramonte necessita de uma recuperação ambiental mais eficaz, considerando-se que a realizada pela EDM, embora tenha resolvido os problemas de maior gravidade e dimensão, não foi suficiente para que a mina deixe de ser um perigo para o meio ambiente. Assim, os trabalhos de

monitorizações da área mineira devem continuar para controlar a evolução dos contaminantes, sendo interessante incluir nesta monitorização um estudo de contaminação da vegetação local.

A área deveria ter uma sinalização adequada e que alertasse para riscos na saúde, pois, durante os trabalhos de campo, verificou-se que vários grupos usavam o local para a práticas mais diversas, nomeadamente fazendo churrasco e praticando desportos recreativos entre os destroços das antigas instalações mineiras desativadas.

Seria de grande importância, para verificar um dos impactes negativos provocados na população vizinha da área mineira, um estudo epidemiológico humano, para avaliação dos riscos para a saúde associados a exposição prolongada a elementos tóxicos, no caso com prioridade para o Arsénio, o Antimónio, o Cadmio, o Chumbo e o Zinco, sendo esses os elementos com maiores concentrações no estudo agora realizado.

Espera-se, a partir da realização deste trabalho, alertar a população para os riscos agregados a uma área mineira abandonada e, ao mesmo tempo, alertar os órgãos competentes para a emergência de recuperação eficaz da área.

Bibliografia

Aguiar, D. P. D. O. 2014. Contribuição ao estudo do índice de segurança de barragens-ISB. Dissertação de Mestrado apresentada a Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP.

Aires, S., Carvalho, C., Noronha, F., Ramos, J. F., Moura, A. C., Sant'Ovaia, H., & Sousa, M. 2011. Os xistos do" Complexo Xisto-Grauváquico-Grupo do Douro": potencial como recurso geológico. VI Seminário Recursos Geológicos, Ambiente e Ordenamento do Território: RGAOT'11. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 159-165.

APA, 2012. Plano de gestão da região hidrográfica do douro. Relatório de base. Parte 2 - caracterização e diagnóstico da região hidrográfica.

Araújo, A.P.S., 2010. Estudo Geoquímico das águas e sedimentos de corrente da ribeira da Castanheira no troço a jusante da Mina de Terramonte após processo de reabilitação. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto e Universidade de Aveiro.

Barlas, N., Akbulut, N., & Aydoğan, M. 2005. Assessment of heavy metal residues in the sediment and water samples of Uluabat Lake, Turkey. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 74(2), 286-293.

Bendayan, E., 1969. A oficina de tratamento do minério de Terramonte. Boletim de Minas, 6, pp.11–21.

Borges, F.S., 1996. Elementos de Cristalografia, 2ª Edição ed. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.

Bosso, S.T. & Enzweiler, J., 2008. Ensaios para determinar a (Bio) disponibilidade de chumbo em solos contaminados: revisão. Quim. Nova, 31:394-400.

Bradl H., 2002. Heavy Metals in the Environment: Origin, Interaction and Remediation Volume 6. London: Academic Press; Bursztyn, M.A.A., 1994. Gestão ambiental: Instrumentos e Práticas. Brasília: Edgard Blücher,. 172p.

Campos, J., 1957 - Elementos para a História da Administração Mineira nos século XII e XVI. Estudos, Notas e Trabalhos, Vol. XII, Fasc. 3/4: 272 - 345 p.

Carvalho, P.C.S., 2010. As Antigas Explorações Minerais de Sb-Au, As-Au e Ag-Pb-Zn da Região de Valongo (Norte de Portugal): Seu Impacte Ambiental. Faculdade de Ciências, Universidade de Coimbra.

Carvalho, P.C.S. et al., 2013. Metal and Metalloid Leaching From Tailings Into Streamwater and Sediments in the Old Ag–Pb–Zn Terramonte Mine, Northern Portugal. Environmental Earth Sciences. In <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12665-013-2605-7> , acedido em Maio de 2017.

CCME, Canada Council of Ministers of the Environment, 1997. Canadian Environmental Quality Guidelines for the protection of environmental and human health. Winnipeg.

CETESB-Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

Coqueia, S., 2014. Metodologia para o controlo geoambiental da bacia de contenção de rejeitados da sociedade mineira de Catoca em Angola. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Couto, M.H.M., 1993. As mineralizações de Sb-Au da Região Dúrico-Beirã, Departamento de Geologia. Universidade do Porto, Porto, p. 463.

Decreto-Lei n.º 236/98. Diário da República, I Série-A n.º 176 de 1 de Agosto de 1998: 3676-3722.

Dias, E.G.C.S.; Sánchez, L.E., 2001. Deficiências na implementação de projetos submetidos à avaliação de impacto ambiental no Estado de São Paulo. Revista de Direito Ambiental, n.23, p.163-204.

Dias, R., Basile, C., 2013. Estrutura dos sectores externos da Zona Sul Portuguesa; implicações geodinâmicas. In: R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha, J.C. Kullberg (Eds), Geologia de Portugal, Vol. 1 Escolar Editora, 787-807.

Duffus, J. H., 2002. "Heavy metals" a meaningless term?(IUPAC Technical Report). Pure and applied chemistry, 74(5), 793-807.

Evans, A. M., 2009. An introduction to economic geology and its environmental impact. John Wiley & Sons.

Fergusson, J. E., 1990. Heavy elements: chemistry, environmental impact and health effects. Pergamon.

Ferrão, C. A. 2005. Minas e Pantominas: aspectos positivos e negativos da mineração. Novo Imbondeiro.

Ferreira, A. M. P. J., 2000. Dados geoquímicos de base de sedimentos fluviais de amostragem de baixa densidade de Portugal Continental: Estudo de fatores de variação regional. Dados Geoquímicos de Base de Sedimentos Fluviais de Amostragem de Baixa Densidade de Portugal Continental: Estudo de Fatores de Variação Regional.

Gaspar, O.C., 1967. Os Minérios do Jazigo de Pb-Zn-Ag de Terramonte (O Problema da Ocorrência da Prata). Estudos, Notas e Trabalhos do serviço de Fomento Mineiro Vol. XVI - Fascs. 3-4, 175-187.

Huyssteen, V.E., 1998. Overview of Environmental Baselineing in Baselineing-Reference Manual-CD rom, CANMET/INTEMIN, Ottawa, Canada, first ed., 1998.

IBRAM, 2016. Gestão e Manejo de Rejeitos da Mineração. In <http://www.ibram.org.br/>, acessado em Junho de 2017.

ICOLD. International Commission on Large Dams. In: <http://www.icold-cigb.org/>, acessado em Junho 2016.

I.M., 2010 – Perfil Climático: Portugal Continental. In <http://www.meteo.pt/> ,

INSAAR - Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento de Água e de Águas Residuais acessado em Janeiro de 2017.

Jain C.K., Gupta H., Chakrapani G.J., 2008 Enrichment and fractionation of heavy metals in bed sediments of river Narmada. India Environ Monit Assess.

Julivert, M., Fontboté, J.M., Ribeiro, A. & Conde, L.E., 1974. Memória Explicativa del Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares.

Klein, C., C. S. Hurlbut, and J. D. Dana., 2002, The 22nd Edition of the Manual of Mineral Science (After James D. Dana), John Wiley, New York.

Koehler, G.A., 1966. Minas de Terramonte. Boletim de Minas. Volume 3, nº1.

LNEG. Laboratório Nacional de Energia e Geologia. In <http://www.lneg.pt/lneg/> ,
acedido em Junho 2017.

Lozano, F. A. E., 2006. Seleção de locais para barragens de rejeitos usando o método de análise hierárquica (Dissertação de doutorado, Universidade de São Paulo).

Malferrari, D., Brigatti, M. F., Laurora, A., & Pini, S., 2009. Heavy metals in sediments from canals for water supplying and drainage: mobilization and control strategies. Journal of hazardous materials, 161(2), 723-729.

Matos, J.X.; Oliveira, J.M.S.; Farinha, J.; Ávila, P.; Rosa, C.; Leite, M.R.M.; Daniel, F.S. & Martins, L., 2002. Património Mineiro Português: Estado Actual da Herança Cultural de um País Mineiro. Congresso Internacional sobre Património Geológico e Mineiro, Beja, Portugal, 4 a 7 de Outubro: 539 – 554 p.

Medeiros, A.C., Pilar, L., Fernandes, A.P., 1964. Carta Geológica de Portugal (na escala 1/50 000) – Notícia explicativa da folha 13-B Castelo de Paiva. Direcção-Geral de Minas e Serviços Geológicos, Lisboa.

Messias, T. G., 2008. Influência da toxicidade da água e do sedimento dos rios São Joaquim e Ribeirão Claro na bacia do Corumbataí (Dissertação de doutorado, Universidade de São Paulo).

Noronha, F., 2006. Especialização Metalogenética das Rochas Graníticas da ZCI; VII Congresso Nacional De Geologia, Portugal.

Oliveira Júnior, J. B. D., 2002. Desativação de empreendimentos mineiros: estratégias para diminuir o passivo ambiental (Dissertação de doutorado, Universidade de São Paulo).

Patrício, M. D. C. M., Silva, V. M. D. A., & Ribeiro, V. H. D. A. (2013). Conflitos socioambientais: Estudo de Caso em uma Pedreira na Paraíba. POLÊMICA, 12(3), 528-544.

Pinto-Coelho, R. M. 2015. Existe governança das águas no Brasil? Estudo de caso: O rompimento da Barragem de Fundão, Mariana (MG). Belo Horizonte: Arquivos do Museu de História Natural-UFMG, 24 (1), 2015-16.

Ribeiro, A., 2013. A Evolução Geodinâmica de Portugal; Os Ciclos Ante-Mesozóicos. In Dias, R.; Araújo, A.; Terrinha, P.; Kullberg, J. C. (Eds.). Geologia de Portugal no contexto da Ibéria. Universidade de Évora. Évora, 15-57.

Rodrigues, P.A., 2009. Dispersão e Contaminação por Pb, Zn e As, associada à escombreira mineira de Terramonte (Castelo de Paiva – Portugal). Dissertação de mestrado. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

Roque, M. C. R., 2009. Estudos de caracterização de áreas mineiras degradadas: proposta de metodologia com aplicação à área mineira de Santo António, Penedono.

SNIRH, 2014. Sistema Nacional de Informação dos Recursos Hídricos. In <http://www.snirh.pt/>.

Santos, M. A. ; Amorim, M. A. ; Oliveira, R ; Silva, R ; Negrão, T ; Portilho Júnior, A. 2016. Avaliação da Conformidade de Amostras de Sedimentos na Calha dos Rios Impactados e na Foz do Rio Doce pelo Acidente com Rompimento da Barragem de Fundão em Mariana-MG.

Santos Oliveira, J.; Farinha, J.; Matos, J.; Ávila, P.; Rosa, C.; Canto Machado, M.; Daniel, F.; Martins & Machado Leite, M., 2002. Diagnóstico Ambiental das Principais Áreas Mineiras Degradadas do País. Boletim de Minas, Vol. 39, nº2: 67 - 85 p.

Soares, A. S. P. D. A. (2014). Recuperação ambiental da área mineira de Terramonte: monitorização de controlo (Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro).

Sun, B., Zhao, F. J., Lombi, E., & McGrath, S. P., 2001. Leaching of heavy metals from contaminated soils using EDTA. Environmental pollution, 113(2), 111-120.

Tockner, K., Uehlinger, U., & Robinson, C. T. (2009). Rivers of Europe. Academic Press.

US Department of Health and Human Services. 1993. Hazardous substances data bank (HSDB, online database). National Toxicology Information Program, National Library of Medicine, Bethesda, MD.

Yi Y., Yang Z. & Zhang S., 2011 Ecological risk assessment of heavy metals in sediment and human health risk assessment of heavy metals in fishes in the middle and lower reaches of the Yangtze River basin. Environ. Pollut. 159, 2575–2585.

Anexos

Anexo 1

Anexo 1/4



Nos termos da Lei não
 é permitida a alteração o
 número de folhas desta
 parte de 100 folhas
 Pagou 2000
 nos termos do art.º 2.º do decreto
 de 2 de Maio de 1984 - Nota n.º 33
 da 2.ª Divisão de Minas
 Exmo. Senhor 25.02.73

Secretário de Estado da Indústria

Excelências:

MINEL - MINAS DE TERRAMONTE, LDA., com sede na Avenida Ro-
 driguez de Freitas, 6-2º no Porto, vem muito respeitosamente expor o
 seguinte:

Conforme explicado à Circunscrição Mineira do Porto e con-
 firmado pela mesma carta nº 45.304/DP datada de 3 de Março de 1973
 dirigida à mesma Circunscrição, lamentamos não ser possível conti-
 nuar a exploração da mina de Terramonte, exploração que se tem tor-
 nado nitidamente anti-económica em virtude do enfraquecimento pro-
 gressivo da mineralização em profundidade.

Efectivamente:

1º. Os teores de filão em chumbo, contendo prata, e a respectiva
 produção de concentrado de chumbo, que constitui o essencial das re-
 ceitas, sofreram a seguinte diminuição desde o início da exploração:

	Chumbo	Prata	Concentrado de Chumbo
	G. Pb.	kg m/ton.	Toneladas
1966	3,87	178	208
1967	3,53	209	205
1968	2,95	150	252
1969	2,63	129	221
1970	1,94	110	205

Anexo 2/4

(continuação) Teor de minério de tungsténio		Produção mensal de	
	Chumbo	Prata	Concentrado de Chumbo
	% Pb	kg m/ton.	Toneladas
1971	1,69	98	179
1972	1,64	99	193
1972 Jan/Jun	1,80	110	162
1972 Jul/Dez	1,48	85	143
Em 1973, até agora, os teores e a produção têm baixado ainda mais.			
2º. As despesas de lavra, especialmente no que diz respeito a salários e a custo de materiais, tem vindo a aumentar continuamente em elevadas proporções.			
3º. Os factores indicados acima não permitem uma exploração económica.			
4º. Efectivamente, o resultado dos exercícios de 1971 e 1972 correspondeu a uma perda de 1.803 e 2.511 contos respectivamente.			
5º. Presentemente, as receitas provenientes das vendas de concentrados são inferiores às despesas correntes de lavra, e assim, uma vez considerados outros encargos, de entre os quais os provenientes de amortizações, gastos gerais, etc., os resultados traduzir-se-ão em prejuízo ainda superior.			
6º. Além disso, não só os teores de minério continuam a diminuir, mas o comprimento da filão mineralizada tem diminuído em profundidade, estando reduzido de 500 metros no nível 270 a 300 metros no nível 100.			
7º. Um poço de prospecção sobre a filão desde o nível 300 ao nível			

Anexo 3/4

Nos termos da Lei não
se permitem surtos de
aumento de lotes desta
para os interesses das
suas margens.



450 de profundidade mostra teores de mineralização ainda mais baixos (1,03% de chumbo e 70 gramas de prata por tonelada de tout-vanant), valores que tornam impossível exploração em profundidade.

6º. Neste momento a mina tem apenas reservas de minério de 41.000 toneladas, suficiente para mais seis meses de exploração. Não há mais reservas provadas e os trabalhos efectuados (vide nº 7) demonstram não haver probabilidades de reservas económicas em profundidade.

Nestas circunstâncias é evidente que se torna impossível manter uma lavra económica, e a MTEL vê-se obrigada a acabar a exploração da mina em Outubro ou Novembro próximos e liquidar a Companhia e abandonar as concessões mineiras.

Por esse motivo a requerente roga a V. Excelência se digna autorizá-la, nos termos do Artigo 1º do Decreto-Lei nº 48 935 de 27 de Março de 1969, a desmontar e retirar todo o equipamento fixo que instalou na mina de Terramonte.

Efectivamente:

- a) Caso o equipamento não seja desmontado e recuperado num curto prazo, sofrerá uma rápida deterioração que resultará numa perda quase total do seu valor. Pelo contrário a sua desmontagem permitirá que o mesmo equipamento seja cedido a outras empresas e aproveitado em novas explorações.
- b) A empresa requerente vai precisar de realizar fundos com a venda dos referidos equipamentos para poder fazer face ao pagamento ao pessoal que vai ter que despedir, às indemnizações diversas, às des-

Anexo 4/4

pesas de liquidação, etc..

Pelos motivos acima expostos, a requerente roga a V. Excelência se digne conceder a autorização pedida com a maior urgência a fim de evitar o agravamento dos prejuizos que está a sofrer.

Deza deferimento

Porto, 25 de Abril de 1973

[Signature]

[Signature] *[Signature]* *[Signature]*

PORTO - 1.ª DIVISÃO - 1.ª SEÇÃO - 1.ª SUBSEÇÃO

[Signature]

DIREÇÃO-GERAL DE MINAS
REPARTIÇÃO DE MINAS

ENTRADA
30 ABR 1973

DIREÇÃO-GERAL DE MINAS
SUB-DIREÇÃO MINERAGIÃO NORTE

ENTRADA
2 MAIO 1973

INFORMAÇÃO

[Signature]

Atenciosamente e muito atentamente a V. Excelência, a requerente roga a V. Excelência se digne conceder a autorização pedida com a maior urgência a fim de evitar o agravamento dos prejuizos que está a sofrer.

O ENGENHEIRO CHEFE DA DIVISÃO MINERAGIÃO NORTE

[Signature]

Anexo II

Anexo 1/3

MINISTÉRIO DA ECONOMIA
SECRETARIA DE ESTADO DA INDÚSTRIA
DIRECÇÃO-GERAL DE MINAS E SERVIÇOS GEOLÓGICOS
CIRCUNSCRIÇÃO MINEIRA DO NORTE

Nascimento
X

Exmo. Senhor

Engenheiro Chefe da Circunscrição Mineira do Norte

Em 13 do corrente visitei o Conto Mineiro de Terramonte em ordem a: (a) ver quais os trabalhos de segurança a impor quando a mina fosse abandonada, o que deve suceder ainda este ano; (b) conhecer a posição da administração da mina perante os problemas que se levantam com o seu encerramento.

No que se refere ao primeiro ponto os trabalhos a impor são insignificantes. Não vi que houvesse perigo de desabamentos generalizados na mina que pudessem provocar aberturas perigosas na superfície e, portanto, a necessidade de vedar essas áreas no exterior ou encher as zonas de possível abatimento. A escombreira pareceu-me vir a ficar perfeitamente consolidada e dado que possui 4 chaminés de drenagem e as águas das encostas e do Ribeiro de Terramonte estarem desviadas por canais bem construídos não vejo que corra o risco do seu material ser arrastado em quantidades significativas com as chuvas. Não sou de opinião em meter as águas do Ribeiro da Castanheira no actual Poço Mestre, para depois irem sair na Travessa da Castanheira. Os canais já existentes são, conforme já dissemos, bem construídos e suficientemente dimensionados para darem esgoto às águas e, por isso, em nossa opinião não devem ser desviados do fim para que foram construídos. Além disso, qualquer obstrução nos mesmos (como, por exemplo, queda de árvores) será facilmente removida. Já o Poço Mestre poderá vir a apresentar obstruções com a queda de madeiramentos, ou até com qualquer cataclismo, de remoção cara e difícil. Também nos parece que mesmo que se dessem essas obstruções no Poço Mestre ou na Travessa da Castanheira as águas seriam capazes de se escoar e, por isso, aconselhamos a que o Poço Mestre e a Travessa da Castanheira se mantivessem de modo a poderem constituir mais uma via de esgoto. Mas repetimos, damos preferência a que toda a drenagem se faça pelos canais exteriores já existentes e as águas que caem

Anexo 2/3

MINISTÉRIO DA ECONOMIA
SECRETARIA DE ESTADO DA INDÚSTRIA
DIRECÇÃO-GERAL DE MINAS E SERVIÇOS GEOLÓGICOS
CIRCUNSCRIÇÃO MINEIRA DO NORTE

Nascimento
- 2 -

na escombreira pelas chaminés (cachimbos) destinadas a esse fim.

De acordo com o exposto dissemos para vedarem o Poço Mestre com uma parede deixando na base desta aberturas para a passagem de água, e dotarem a Travessa da Castanheira duma porta que não impedisse a passagem da água. No exterior, fomos informados, que todas as aberturas da mina estão aludidas e não constituem motivo de perigo, deixando, contudo, para nova visita o seu exame.

No que se refere ao segundo ponto o eng. Bendayan afirmou-me não haver modificação da atitude da administração em relação à última visita feita a esta Circunscrição. As empresas americanas sócias da concessionária eram de opinião que se tivesse iniciado a preparação do abandono da mina em fins de 1971, mas o aspecto do filão no piso 390, levou a que prevalecesse a opinião de que se devia trabalhar mais um ano. Infelizmente as boas características do filão desapareceram rapidamente e o ano de 1972 foi de prejuízo, indo agora o fecho da mina ser feito em condições nitidamente mais desfavoráveis do que o teria sido há um ano. A actual exploração é francamente deficitária. A adicionar a estas dificuldades há a decisão judicial de pagar cerca de 1.080 contos como indemnização a dois grandes proprietários da região, valor este que excede todas as previsões. A concessionária, consciente destas dificuldades, parece querer evitar a falência e fez uma contra-proposta aos dois proprietários referidos que no seu entender é ainda favorável para os mesmos e que seria a entrega das suas (concessionária) propriedades na região (terrenos e casas) e alguns centos de contos.

À vontade que a concessionária mostra em liquidar imediatamente esta indemnização, aliada ao prejuízo diário da exploração e à existência de empréstimos bancários leva o pessoal a sentir-se inquieto sobre a viabilidade de vir a receber as suas indemnizações. O activo existente chegará, é o que entre si perguntam? O eng. Bendayan com o intuito de diminuir ao prejuízo diário da exploração procurou estimular a produção dizendo ao pessoal que se a mesma não aumentasse teria dificuldades em pagar as indemnizações. É nossa convicção pelo que conhecemos do eng. Bendayan que não é esta a sua intenção, mas não podemos deixar de reconhecer a justiça dos receios dos operários ao ouvirem aque-

Anexo 3/3

MINISTÉRIO DA ECONOMIA
SECRETARIA DE ESTADO DA INDÚSTRIA
DIRECÇÃO-GERAL DE MINAS E SERVIÇOS GEOLÓGICOS
CIRCUNSCRIÇÃO MINEIRA DO NORTE

- 3 -

la afirmação e ao verem a impossibilidade de conhecerem totalmente a situação financeira da concessionária, as intenções dos seus sócios, e, possivelmente, ao verem o que sucedeu nas minas de S. Pedro da Cova que embora tivessem um activo que lhes permitia pagar sem discussão as indemnizações previstas na lei preferiu que as mesmas fossem decididas judicialmente o que levou muitos operários, que não puderam esperar essa decisão, a aceitarem um acordo com quantias inferiores ao que a lei prevê. Digamos desde já que o eng. Bendayan desconhece este caso.

Não sabemos como é que esta Circunscrição poderá actuar em ordem a sanar o aparente conflito. Como atrás dissemos o eng. Bendayan não mostrou disposição diferente daquela que tinha mostrado nesta Circunscrição e as actuais dificuldades (que devem ter significado maior prejuizo para os sócios) resultam da louvável decisão de querer prolongar a vida da mina e duma exorbitante, no dizer das gentes da região, indemnização a pagar a dois ricos proprietários.

A falência da empresa seria uma garantia para o pagamento das indemnizações ao pessoal, mas parece-nos que a concessionária só em último limite recorrerá a esta medida que sem dúvida prejudicará o bom nome dum dos sócios que tem actividades em Portugal.

O Engenheiro de Minas,

Fernando V. Nascimento da Fonseca
16/IV/73

Anexos III

Anexo 1/8

X
Narciso
5 Abr 1975

Exmo. Senhor
Engenheiro-Chefe da Circunscrição Mineira do Norte

1 - Na mina de TERRAMONTE e sobre a linha de água denominada Ribeira da Castanheira foi estabelecida uma escombreira que a partir de Julho de 1973 deixou de receber estereis por esta mina ter parado.

2 - O sistema adoptado no estabelecimento desta escombreira vem minuciosamente descrito no trabalho "A oficina de tratamento do minério de Terramonte", pelo engenheiro Elias Bendayan, e publicado no Vol. 6, nº 1 do "Boletim de Minas". Junta-se a esta informação um exemplar desse trabalho.

3 - Os responsáveis pela exploração desta mina sentiam grandes dificuldades no estabelecimento da sua barragem de estereis dado o grau de finura da moagem e que acarretava o risco da ruptura da mesma, ou, o que seria mais grave, o colapso da escombreira.

O método utilizado permitiu um funcionamento eficaz da escombreira, nunca se tendo verificado as possibilidades dos riscos atrás citados.

4 - Em 25 e 26 do passado mês de Março foi esta escombreira por mim visitada tendo na ultima das datas indicadas sido acompanhado por V. Ex^{sa}. Em 3 do corrente voltei de novo ao local desta vez acompanhado pelo engenheiro Elias Bendayan que por um feliz acaso se encontrava de passagem por Portugal.

5 - Uma série de fotografias tiradas em 26 de Março mostram o aspecto da escombreira sobre a qual se pode dizer que passou um verão e dois invernos após ter terminado o seu funcionamento.

5.1 - A parte a montante do bordo da escombreira, ou seja, a zona dos finos sofreu um importante assentamento desde Agosto de 1973, sendo-se levado a admitir, pelas aparências exteriores, que se apresenta consolidada desde a superfície até pelo menos um certo número de metros. Isto devido a uma aparente impermeabilização e ao facto de mesmo nos locais lamacentos (onde a água não foi engolida pelos cachimbos) se poder caminhar.

5.2 - O talude da frente da escombreira, no entender do engenheiro Elias Bendayan não apresenta alterações visíveis no seu perfil, embora se notes regos provocados pela erosão e que quando do funcionamento da

Anexo 2/8

escombreira tinham, pelo menos, passado despercebidos.

5.3 - O cachimbo que a fotografia mostra em detalhe está em perfeito estado de funcionamento.

5.4 - Cachimbos há que estão a ser destruídos e a deitarem-lhes dentro madeiras e bocados de tijolo.

5.5 - Na data das duas primeiras visitas via-se que houve o propósito de manter alto o nível de sagoto dos cachimbos (ver fot. 8) o que levou a neste último inverno, em algumas ocasiões, fosse elevado o volume de água represado em cima da escombreira.

5.6 - A zona de finos e também a dos grossos deve conter sais em quantidades que não sabemos quantificar e que serão etilxantato, amilxantato, sulfato de zinco, sulfato de cobre, sulfato de sódio, cianeto de sódio. Estes sais são solúveis e percentagem elevada das quantidades empregadas deve ter desaparecido com as águas que nascem na base da escombreira, com o processo de assentamento das lammas e consequente expulsão de água, e, possivelmente, com alguma água que durante este período de tempo se infiltrou e atravessou a escombreira.

5.7 - Em alguns pontos da escombreira tanto na zona dos finos como no talude da frente estão nascendo pinheiros.

5.8 - O Ribeiro da Castanheira foi desviado do seu percurso correndo num canal que se pode considerar bem conservado.

5.9 - Nem sempre estão bem conservadas as obras de desvio das águas que correm pelas encostas ou por outros pontos e que não deveriam ir para cima da escombreira.

5.10 - O talude da frente da escombreira, na sua base, apresenta uma erosão cuja evolução não sei prever.

6 - Julgo importante que seja feita uma peritagem a esta escombreira e averiguada até que profundidade a zona dos finos está consolidada e seu teor em sais.

7 - O proprietário do terreno deveria ser avisado da necessidade da conservação em bom estado dos cachimbos (o engenheiro Bendayan disse que muito lhes tinha recomendado a esse respeito) e das obras de desvio das águas

Anexo 3/8

de cima das escombrelas.

O Engenheiro de minas

Fernando Vaz Monteiro Nascimento da Fonseca
5/IX/1975

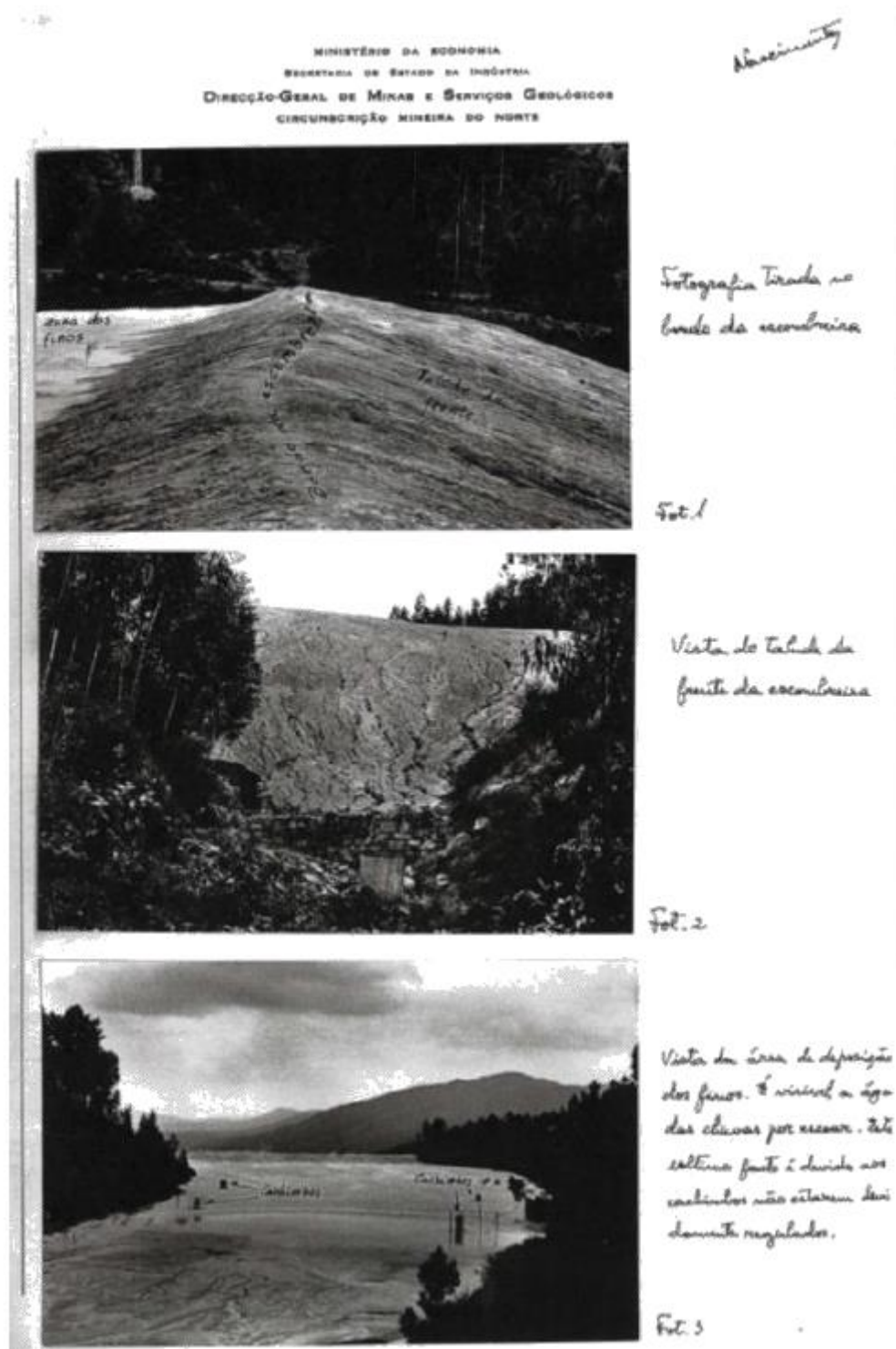
Visto.

- 1 - Oficiali ao representante dos proprietários que, além dos terrenos onde a escombrela e edificios das antigas instalações da então concessionária, receberam desta, por prejuizos agrícolas, cerca de um milhão de contos, fazendo-lhes sentir as responsabilidades e obrigações que tem (ofício 688);
- 2 - Concorde plenamente com a necessidade de se efectuar uma peritagem, provavelmente com a colaboração de LNEP, para diagnostico da situação da escombrela;
- 3- Desde que o assunto transcende a minha competência, tenho a honra de por o assunto à consideração de Exmo. Senhor Engenheiro Director-Geral

O Engenheiro Chefe,


D 16/10/75

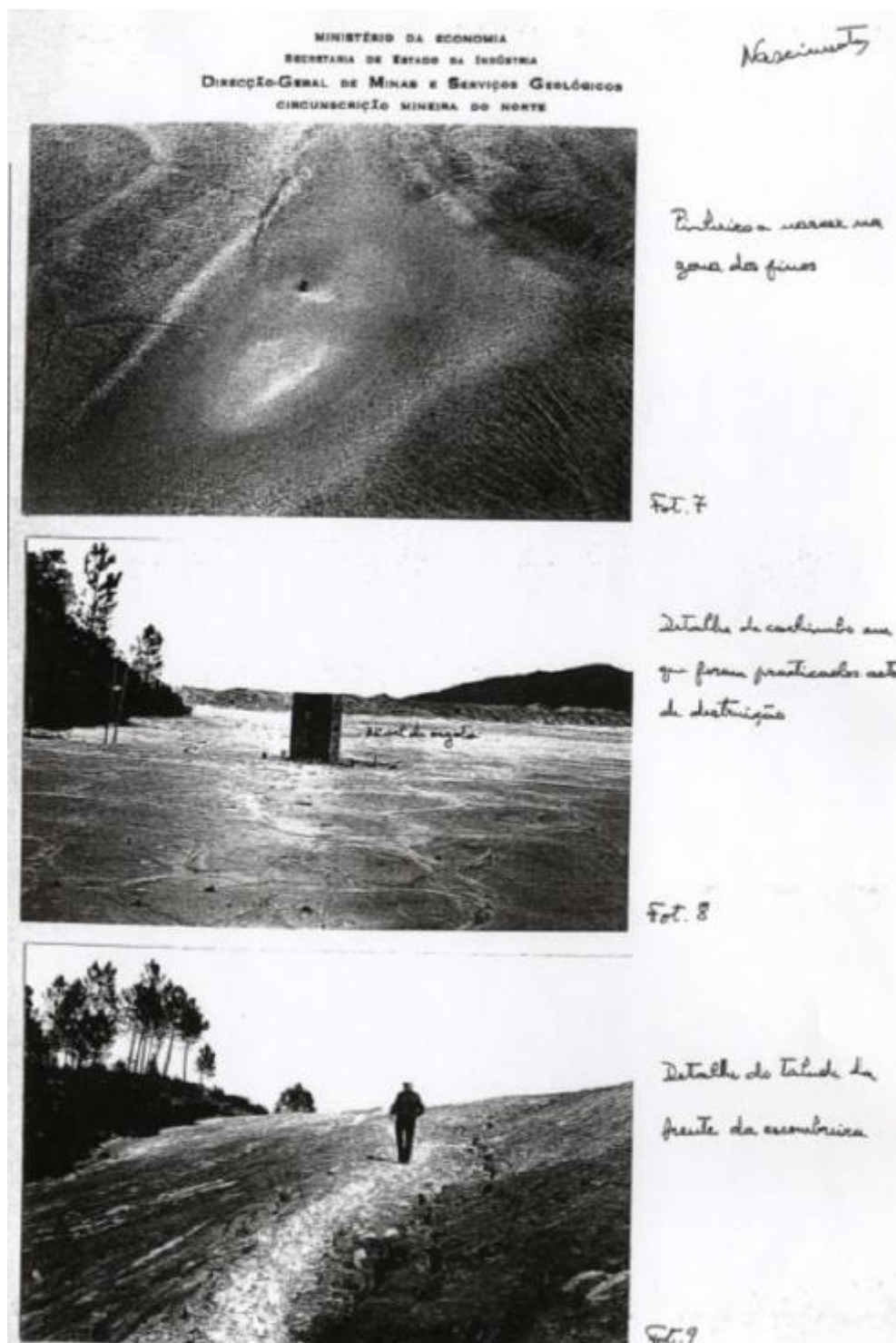
Anexo 4/8



Anexo 5/8



Anexo 6/8



Anexo 7/8



Anexo 8/8

MINISTÉRIO DA ECONOMIA
REACTARIA DE ESTADO DA INDÚSTRIA
DIRECÇÃO-GERAL DE MINAS E SERVIÇOS GEOLÓGICOS
CIRCUNSCRIÇÃO MINEIRA DO NORTE

Nascimento



*Detalhe do talude da
frente da escanadura
quasi na base da
mesma*

Fot. 12

Anexo IV

Anexo 1/5

Exmo. Senhor Engenheiro-Chefe da Circunscrição Mineira do Norte

Em 9 do corrente visitei de novo a escombreira da mina TERRAMONTE situada na linha de água da Ribeira da Castanheira.

1 - Um perito em escombreiras dizia que "uma escombreira são alguns estereis com água e principalmente água". É este facto que torna difficil o estabelecimento duma escombreira dados os perigos de ruptura ou colapso por lixiviação) que a mesma apresenta durante o seu funcionamento.

Após a sua paragem, e na quasi generalidade dos casos, dá-se a consolidação da escombreira desde que haja um conveniente controle das águas.

2 - Esta escombreira está situada nos terrenos de tecto do explorado filão da Terramonte e como há uma drenagem dos desmontes através da travessa da Castanheira, quaisquer nascentes que existissem devem ter desaparecido.

3 - Na própria escombreira foi estabelecido um leito de drenagem e vê-se que o mesmo funciona.

4 - Os cachimbos que deveriam fazer o esgoço da água das chuvas que cai na anterior zona de decantação, estão dispostos em séries ao longo de cada uma das encostas. Os cachimbos nunca ultrapassam a altura de 10 m e quando os estereis estavam para os cobrir eram vedados, e construía-se uma nova série de cachimbos em cada uma das encostas sobre uma manilha de 30 cm de diametro bem assente no terreno. As manilhas de ambas as encostas vinham ligar a uma manilha central.

Embora a zona de decantação esteja seca sai pela referida manilha central um razoável caudal de água.

Em quasi todos os cachimbos actualmente visiveis foi deitado entulho e praticados actos de destruição.

5 - O ribeiro da Castanheira foi desviado do seu leito e corre num canal ao lado da escombreira. Prevendo a hipótese de no ponto de desvio, a água ser em excesso, e galgar, foi estabelecida uma conduta com, talvez, 60 cm de diametro que corre igualmente ao lado da escombreira. Esta conduta tem camaras de visita e uma delas está destapada e com entulhos.

Anexo 2/5

6 - Foram estabelecidos canais nas encostas para desviar as águas das chuvas de irem tanto para o paramento da frente da escombreira como para a antiga zona de decantação.

7 - Se todas as obras que referimos estiverem funcionando devidamente dá-se a compactação dos estereis tornando-os tanto mais impermeáveis quanto mais finos forem. Com o verão e a seca as zonas de material muito fino (antiga área de decantação), à superfície, abrem fendas devido à secagem, em profundidade, deve manter uma certa plasticidade devido a não perderem toda a humidade. Com o decorrer dos anos seria de esperar que a plasticidade das zonas mais profundas desse lugar a uma compactação semelhante à que se observa na natureza nas camadas de barro. Parece-nos evidente que esta compactação - se ainda não se deu - levará tanto mais tempo a observar-se quanto mais tempo, durante o inverno, estiver sobre a antiga área de decantação um verdadeiro lago, isto é, se os cachimbos referidos no nº 4 não estiverem regulados para escoarem rapidamente todas as águas ou não funcionarem devidamente.

8 - O paramento da frente da escombreira é constituído por material bem consolidado. Durante o funcionamento da escombreira este material não apresentava a compactação actual a que o tornava mais permeável e, portanto, menos sujeito à erosão.

9 - Dado o facto de durante estes dois ultimos invernos se terem formado verdadeiros lagos sobre a antiga área de decantação é-nos difícil fazer prognósticos sobre o grau de compactação dos finos aqui existentes.

10 - Dado os cachimbos se encontrarem mal conservados, as obras de desvio das águas estavam descuradas, e o crescente grau de impermeabilização de toda a escombreira, julgamos não ser de excluir a hipótese das águas das chuvas alcançarem níveis perigosos na antiga área de decantação.

11 - Continuamos, assim, a ser de opinião que deve ser feita uma peritagem a esta escombreira.

12 de Maio de 1975

O Engenheiro de Minas

Nascimento

Anexo 3/5

MINISTÉRIO DA ECONOMIA
SECRETARIA DE ESTADO DA INDÚSTRIA
DIRECÇÃO-GERAL DE MINAS E SERVIÇOS GEOLÓGICOS
CIRCUNSCRIÇÃO MINEIRA DO NORTE



Aspecto da superfície
da escombreira estabele-
cida segundo o método
"surtrease". Notar que
não se vêem fendas de
resaca. Esta escombreira
tem mais de 8 anos de
existência, muito exten-
siva e abandonada há mais
de 8 anos.

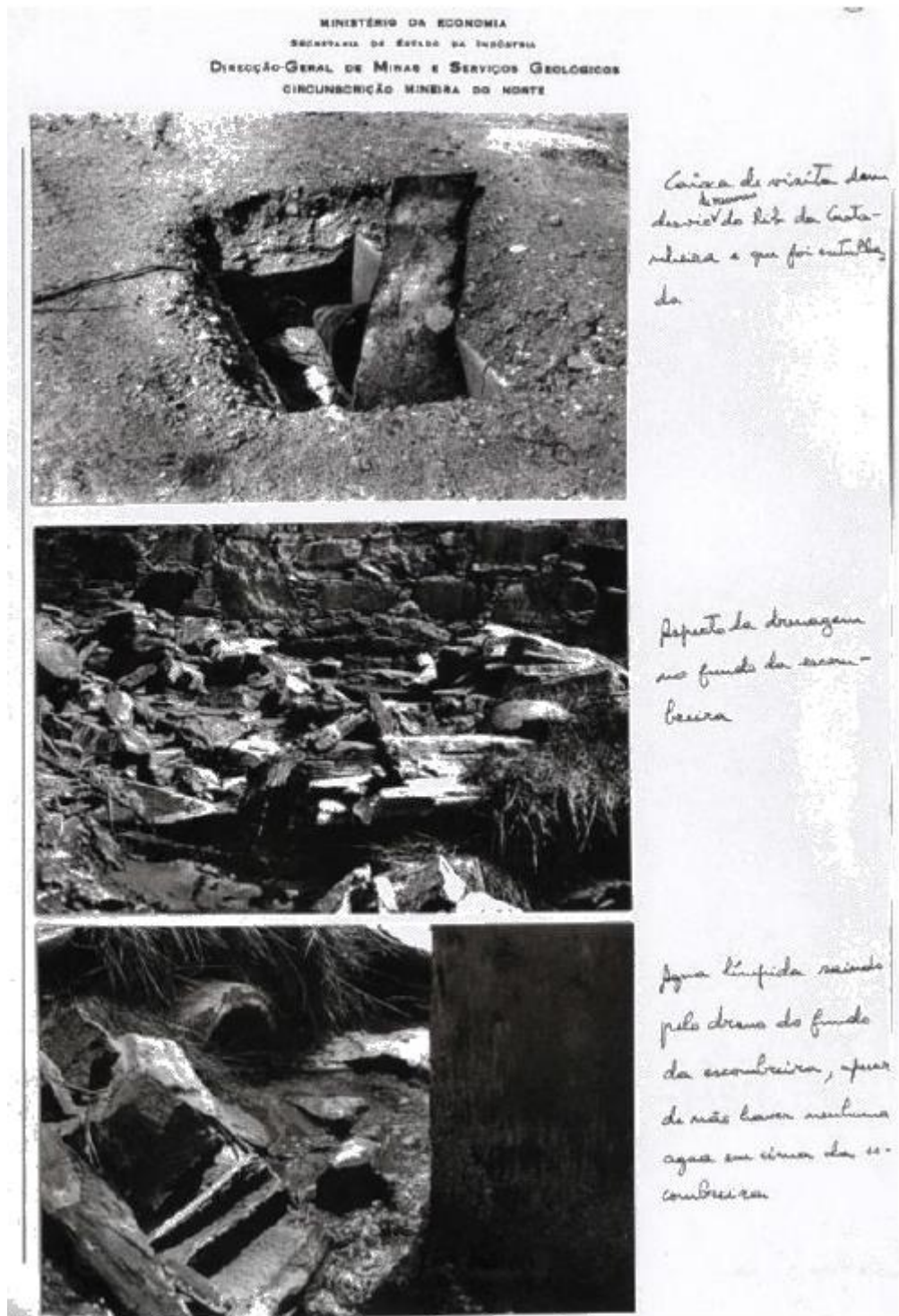


Aspecto da faceante da
crista da escombreira.



O bloco de escombri-
mento com uma cunha
sofrendo uma xaricagem
de tal forma que aban-
dou no mesmo local.

Anexo 4/5



Anexo 5/5

MINISTÉRIO DA ECONOMIA
SECRETARIA DE ESTADO DA INDÚSTRIA
DIRECÇÃO-GERAL DE MINAS E SERVIÇOS GEOLÓGICOS
CIRCUNSCRIÇÃO MINEIRA DO NORTE



Platimanto da casca-
reira situada em-
sobremente a meio da
cascareira e a p. um po-
co para montante dos
carbúnculos mais distan-
tes do bordo da cascarei-
ra



Fendas de dissociação
na área dos "maio finos",



Outro aspecto das fendas
de dissociação na área
dos "maio finos",

Anexos V

Anexo 1/6

Assunto - Escombreira da mina TERRAMONTE

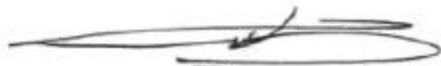
Informação do engenheiro Nascimento da Fonseca datada de 12 do ct.
mês de Maio.

Na sequência de outras visitas a que se referem as informações do
engenheiro Nascimento da Fonseca de 5 e minha de 12, ambas do passado mês de
Abril, foi feita outra a que se refere a informação em rubrica.

Tendo já avisado o representante dos proprietários, engenheiro Lou-
zada Soares, da necessidade urgente de limpeza da camera de visita da conduta
de água e seu tapamento com tampa, para ^{remediar} a situação citada em 5 da informação,
e dado que seria de toda a vantagem proceder à vistoria,

tenho a honra de pôr o assunto à Consideração do Exmo Senhor Enge-
nheiro Director-Coral

O engenheiro-chefe da Circunscrição



52 12/4 de 1885

Anexo 2/6

MINISTÉRIO DA ECONOMIA
SECRETARIA DE ESTADO DA INDÚSTRIA
DIRECÇÃO-GERAL DE MINAS E SERVIÇOS GEOLÓGICOS
CIRCUNSCRIÇÃO MINEIRA DO NORTE

Exmo. Senhor

Engenheiro-Chefe da Circunscrição Mineira do Norte

Em 4 de Setembro de 1975 inspecionamos a escombreira da mina TERRAMONTE para avaliar dos efeitos que a prolongada estiagem na mesma provocou.

- 1 - A escombreira apresenta um aspecto de bem consolidada, com penderes aceitáveis no paramento da frente, e sem quaisquer indícios de que no seu interior possam existir massas que venham a ser liquefeitas.
- 2 - A drenagem da escombreira também parece ser aceitável. É um grande volume de estereis muito finos - várias centenas de milhares de toneladas - e, por isso, é de admitir que no seu fundo nasçam águas após a estiagem que se atravessam. Estas águas saem em dois pontos: pela manilha de esgoto do fundo da escombreira, e no sopé do muro de suporte construído sob o leito do Ribeiro da Castanheira. Nesta altura do ano esta ultima água é muito pouca. São grandes os depósitos ferrugineos que estas águas deixam o que nos leva a admitir que a maior parte delas atravessam as areias da escombreira, não sendo de excluir a hipótese duma parte poder vir de nascentes no ex-leito do Ribeiro da Castanheira.
- 3 - O nível hidrostático deve ser muito baixo visto só no cachimbo mais a montante ser visível água no fundo.
- 4 - Tanto no paramento da frente da escombreira (onde a exposição ao sol é relativamente diminuta) como na própria área de deposição da escombreira o terreno parece guardar uma certa humidade o que lhe confere não só uma certa plasticidade, evitando acentuadas fendas de dissecação, como permite o nascimento de pinheiros. No canto nascente da escombreira junto ao bordo havia até erva que se conservava verde apesar da estiagem que tem feito.
- 5 - A escombreira apresenta-se à superfície com muito poucos sinais de desagregação e, por isso, com poucos sinais de erosãoólica.
- 6 - Num ponto do bordo da escombreira, e num só, viam-se nítidos sinais de erosãoólica.

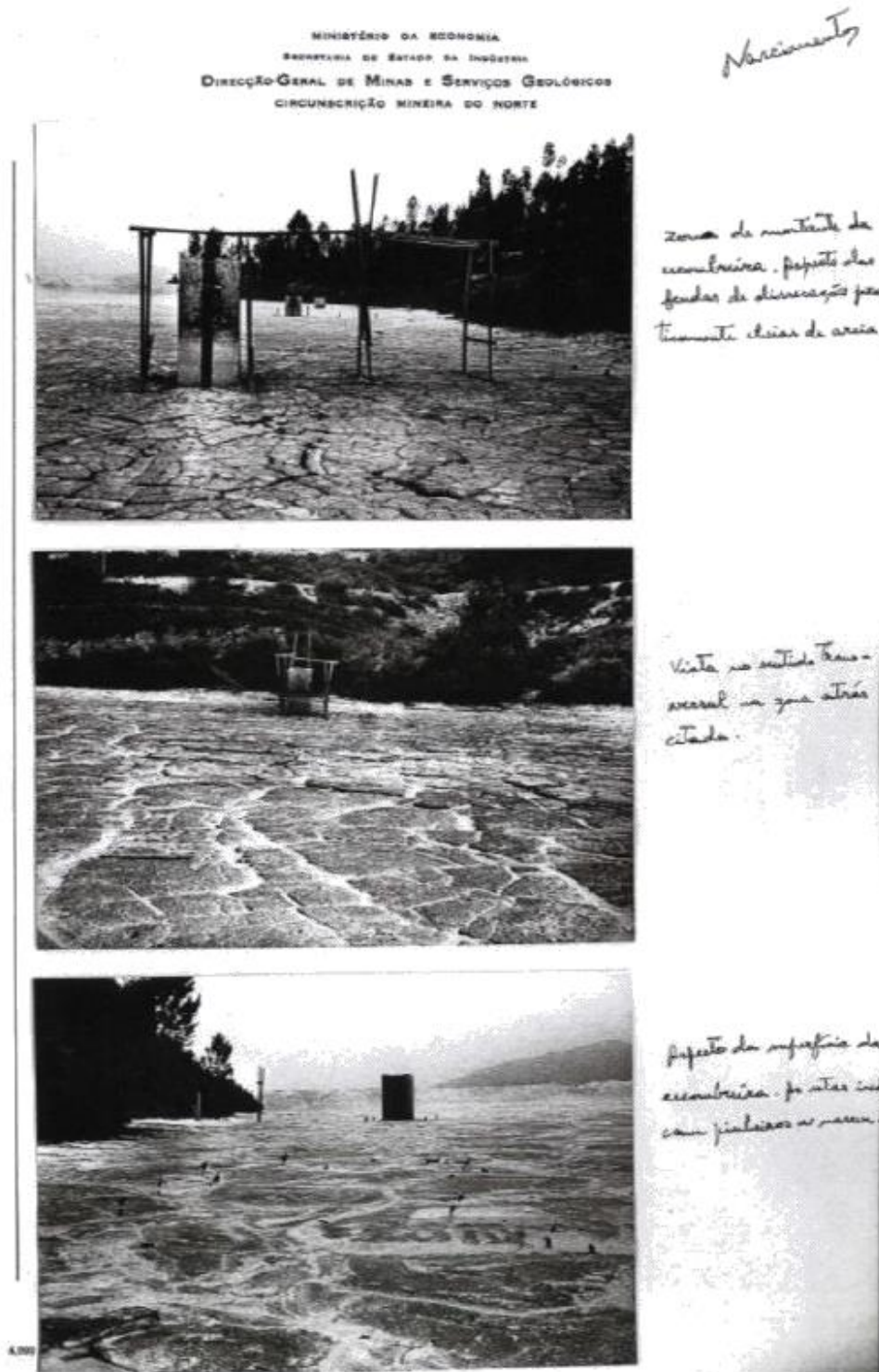
Anexo 3/6

- 7 - Na parte mais a montante da área de deposição havia um local em que a superfície estava desagregada tal como se fosse areia fina.
- 8 - Todos os cachimbos estão vazios de água com excepção do que fica mais a montante em que no fundo esta é visível.

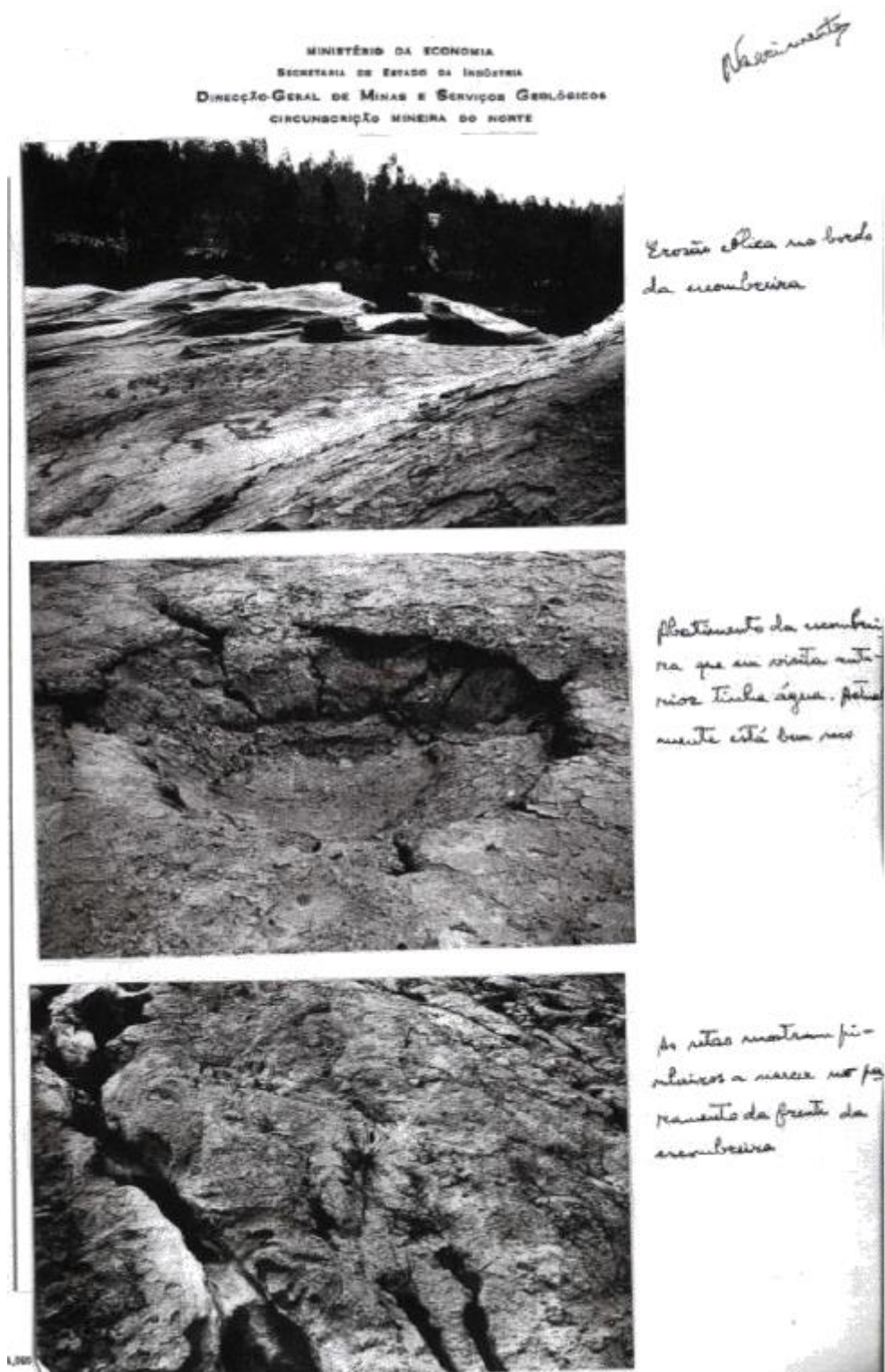
O engenheiro de minas

Fernando V. Nascimento Sousa
23/8/1975

Anexo 4/6



Anexo 5/6



Anexo 6/6

MINISTÉRIO DA ECONOMIA
SECRETARIA DE ESTADO DA INDÚSTRIA
DIRECÇÃO-GERAL DE MINAS E SERVIÇOS GEOLÓGICOS
CIRCUNSCRIÇÃO MINEIRA DO NORTE

Nascimento



*Aspecto do sopé do muro
de barragem no fundo
da escombreira. Nota-se
que as águas que ali mar-
cam não passam*



*Aspecto dos depósitos ferre-
ginosos deixados pelas águas
que saem pela manilha
de esgoto e pelas que mar-
cam no sopé do muro da
barragem no fundo da
escombreira.*



*A seta indica a mani-
lla de esgoto e as 2 águas
a água que marca no so-
pé do muro da barragem
no fundo da escombreira*