

DE RESÍDUO A RECURSO: REUTILIZAÇÃO DE ESCOMBRO COMO PRÁTICA NA GESTÃO DE RESÍDUOS MINEIROS EM NEVES-CORVO

ANA LÚCIA MENDES RODRIGUES

Julho de 2023





Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

De Resíduo a Recurso: Reutilização de Escombros como Prática na Gestão de Resíduos Mineiros em Neves-Corvo

Ana Lúcia Mendes Rodrigues



isep Instituto Superior de Engenharia do Porto

P. PORTO

2023

(página propositadamente em branco)



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

De Resíduo a Recurso: Reutilização de Escombros como Prática na Gestão de Resíduos Mineiros em Neves-Corvo

From Waste to Resource: Reuse of Mine Waste Rock as a Waste Management Practice in Neves-Corvo

Ana Lúcia Mendes Rodrigues

N.º 1220217

*Projeto apresentado ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Geotécnica e Geoambiente**, realizada sob a orientação do Doutor Helder I. Chaminé, Professor Coordenador com Agregação do Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP.*

(página propositadamente em branco)

Júri

Presidente

Doutor João Paulo Meixedo dos Santos Silva

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

Doutor José Augusto de Abreu Peixoto Fernandes

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

Doutor Helder Gil Iglésias de Oliveira Chaminé

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

A dissertação de mestrado em engenharia geotécnica e geoambiente (MEGG) foi apresentada e defendida em prova pública, por Ana Lúcia Mendes Rodrigues, em 24 de Julho de 2023 mediante o júri nomeado, em que foi atribuída, por unanimidade, a classificação final de 17 (dezassete) valores, cuja fundamentação se encontra em acta. Todas as correções pontuais determinadas pelo júri, e só essas, foram efectuadas.

Agradecimentos

Agradeço à SOMINCOR, a confiança e apoio prestados nesta etapa académica, assim como as oportunidades de desenvolvimento profissional que me têm sido proporcionadas nestes quase 10 anos de vínculo.

A minha supervisora Dra. Mafalda Oliveira (SOMINCOR) e ao meu orientador Professor Helder I. Chaminé (ISEP) tenho que agradecer toda a ajuda, pronta disponibilidade e contributos que enriqueceram esta dissertação.

À Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG), nomeadamente à Eng.^a Patrícia Falé, agradeço a compilação e disponibilização dos dados estatísticos atualizados relativos à produção e reutilização de resíduos mineiros em Portugal.

À Dra. Mafalda Oliveira multiplico os agradecimentos enumeras vezes, por todos este anos de trabalho conjunto, pela mentoria profissional e também muitas vezes mais do que profissional, o conhecimento partilhado, a motivação para fazer sempre melhor, a sua confiança. Por tudo isto e mais, muito obrigada.

Mas nem o percurso profissional, nem esta etapa académica seriam possíveis sem o apoio da minha família especialmente o meu marido, que me em encoraja sempre a progredir e me apoia em tudo a que me proponho realizar.

Tantas outras pessoas contribuíram de uma forma ou de outra para a conclusão com sucesso deste etapa, direta ou indiretamente, como os colegas do Departamento de Barragens e Resíduos Mineiros (SOMINCOR) aos quais também o meu obrigada é devido.

E por fim aos colegas que fazem a diferença e que se tornam verdadeiros amigos, que nos desafiam, nos motivam, e nos ajudam crescer e a ir mais longe, juntos. Obrigada José Bento e Maria Inês.

(página propositadamente em branco)

Palavras-chave

Indústria extrativa, Resíduo mineiro, Desenvolvimento sustentável, Geotecnia ambiental

Resumo

A exploração de recursos minerais nos processos de extração e transformação gera grandes quantidades de resíduos de variadas naturezas, inertes ou não inertes, e que podem ser ou não perigosos. Esses resíduos geridos de forma inadequada poderão constituir um risco elevado para o ambiente, segurança e saúde das populações, pelo que carecem de soluções de armazenamento temporário e definitivo, adequadas à tipologia dos mesmos e às condições ambientais, geológicas, hidrogeológicas, sísmicas e geotécnicas locais, visando a prevenção dos impactes ambientais e garantindo a sua estabilidade e a segurança de pessoas e bens, durante o período de operação e também após encerramento da atividade. À luz das boas práticas de desenvolvimento sustentável e considerando a escassez de matérias-primas, tanto organizações como as Nações Unidas como a Comissão Europeia incutem cada vez mais a redução, reutilização e reciclagem de materiais e promoção de economia circular. Com a crescente dependência de recursos minerais da sociedade, o valor comercial dessas mesmas matérias-primas aumenta. Essa valorização, aliada ao desenvolvimento tecnológico na área da mineração, viabiliza a exploração de massas minerais com menor teor de corte, cuja exploração gera proporcionalmente mais resíduos mineiros, tornando a sua gestão e a sua valorização de importância capital, numa perspetiva de desenvolvimento sustentável. Nesta dissertação faz-se o enquadramento desta problemática à luz do regime jurídico a que está sujeita a gestão de resíduos das explorações de depósitos minerais e de massas minerais em Portugal, utilizando como caso de estudo as políticas de reutilização na gestão de resíduos mineiros nas Minas Neves-Corvo, tendo em foco a aplicação do escombro como substituto à importação de material de pedreira ou mancha de empréstimo.

(página propositadamente em branco)

Keywords

Extractive industry, Extractive Waste, Sustainable Development, Environmental Geotechnics

Abstract

The exploitation of mineral resources in the extraction and processing processes generates large quantities of waste of various natures, inert or non-inert, and which may or may not be hazardous. These inadequately managed wastes may pose a high risk to the environment and to the health and safety of the population, which is why they require temporary and permanent storage solutions that are appropriate to their type and to the local environmental, geological, hydrogeological, seismic and geotechnical conditions, with a view to preventing environmental impacts and ensuring their stability and the safety of people and property, during the period of operation and also after closure of the activity. In the light of good sustainable development practices and considering the scarcity of raw materials, both organizations such as the United Nations and the European Commission are increasingly urging the reduction, reuse and recycling of materials and the promotion of circular economy. With society's increasing dependence on mineral resources, the commercial value of these same raw materials increases. This valorization together with the technological development in the mining area enable the exploitation of mineral masses with lower cut-off grade, whose exploitation generates proportionally more mining waste, making the management of mining waste and its valorization of capital importance in a sustainable development perspective. In this dissertation this problem is framed in the light of the legal regime to which the management of waste from the exploitation of mineral deposits and mineral masses in Portugal is subject, using as a case study the policies of reuse in the management of mining waste at Neves-Corvo Mine, focusing on the application of waste rock as a substitute for the import of quarry or borrowed material.

(página propositadamente em branco)

Índice

1.	Introdução	3
1.1.	Âmbito	3
1.2.	Enquadramento.....	3
1.3.	Objetivo	6
2.	Estado de Arte: Breve Síntese	9
2.1.	Desenvolvimento sustentável e economia circular na Indústria Mineira.....	9
2.2.	Regime jurídico e normativo a que está sujeita a gestão de resíduos das explorações de depósitos minerais e de massas minerais	15
2.2.1.	Definição de Instalações de Resíduos e conceitos associados.....	19
2.3.	Gestão de Resíduos Mineiros, conceitos e técnicas de deposição	20
2.3.1.	Gestão de Resíduos Dentro do Ciclo Mineiro	20
2.3.2.	Técnicas de deposição de rejeitados e tipologia de instalações.....	23
2.3.3.	Gestão de águas	29
3.	Gestão de Resíduos Mineiros em Neves-Corvo	37
3.1.	Mina de Neves-Corvo: apresentação da Empresa	37
3.1.	Mina de Neves-Corvo: Enquadramento geológico e hidrogeológico	39
3.2.	Mina de Neves-Corvo: Exploração de minério e processo de concentração.....	41
3.1.	Resíduos Mineiros da Extração de Minérios Metálicos Produzidos em Neves-Corvo.....	45
3.1.1.	Escombro.....	45
3.1.2.	Rejeitado	49
3.1.3.	Águas Industriais e Lamas Resultantes dos Processos de Tratamento.....	51
3.2.	Reutilização dos resíduos dentro da cadeia de geração: Evolução Histórica e aplicação de Melhores Técnicas Disponíveis	53
4.	Reutilização de escombro como recurso mineral: caso de estudo em Neves-Corvo	61
4.1.	Deposição emersa de rejeitados em co-deposição com escombro.....	61
4.2.	Metodologias construtivas.....	66
4.2.1.	Aplicação em camada.....	66
4.2.2.	Aplicação em Berma.....	69
4.3.	Monitorização geoquímica e geotécnica do depósito de rejeitados e cobertura de escombro.....	71
4.3.1.	Assentamento e deslocamento das coberturas.....	72
4.3.1.	Nível de Água nas Coberturas	73
4.3.1.	Monitorização geoquímica de escombro.....	75
4.3.2.	Piezómetros para monitorização das pressões intersticiais	76
4.3.1.	Controlo Afundamentos e espessura das coberturas	77
4.3.2.	Monitorização das propriedades físicas.....	79
5.	Conclusões	83
6.	Referências Bibliográficas	87

(página propositadamente em branco)

Índice de figuras

Figura 1. Localização da Mina de Neves-Corvo na Faixa Piritosa Ibérica- mapa geológico simplificado com localização de alguns dos principais depósitos de sulfuretos maciços (Oliveira et al., 2006).....	4
Figura 2. Operações Mineiras do grupo Lundin Mining (fonte: https://lundinmining.com/ consultada em 27 de Abril 2023)	5
Figura 3. Esquema Representativo dos Jazigos da Mina de Neves-Corvo (fonte: arquivos SOMINCOR).....	5
Figura 4. Objetivos de desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (Fonte: https://unric.org/pt/objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel/)	9
Figura 5. Pacto Ecológico Europeu (fonte: Comissão Europeia, 2019 - COM(2019) 640 final).....	10
Figura 6. Contributo da reciclagem para satisfazer a procura de materiais (taxa de reciclagem de produtos) (Comissão Europeia 2020, COM(2020) 474 final)	12
Figura 7. Produção comercial de Minérios metálicos em Portugal (2013-2021) (Fonte: DGEG – estatística-minas-produção anual-sub-setores).....	13
Figura 8. Quantidade de minério, concentrado e resíduos mineiros produzidos nas minas metálicas em Portugal 2020-2022 (dados facultados pela DGEG)	14
Figura 9. Quantidade de resíduos produzidos e utilizados nas minas metálicas em Portugal 2020-2022 (dados facultados pela DGEG).....	14
Figura 10. Vale Jusante da Barragem de Rejeitados em Brumadinho pós rotura (Fonte: https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2022-06/identificado-o-2660-corpo-da-tragedia-em-brumadinho)	17
Figura 11. Tópicos do GISTM.....	18
Figura 12. Legislação e enquadramento normativo nacional no âmbito da segurança de barragens (fonte: https://apambiente.pt/prevencao-e-gestao-de-riscos/legislacao-e-guias).....	19
Figura 13. Fases da Vida de um Projeto Mineiro (Fonte imagens: https://olgakrelin.com/news/2017/11/16/lifecycle-of-a-mine-recovery-of-investment-profitability-and-taxes-taxes).	21
Figura 14. Ciclo de Produção Mineiro e Geração de resíduos (adaptado de Taha, 2019).....	21
Figura 15. Ciclo para a melhoria contínua dos quadros de gestão de rejeitados (adaptados de MAC, 2019).....	22
Figura 16. Elementos do quadro de gestão de rejeitados de acordo com a MAC (Fonte: MAC, 2019)	23
Figura 17. Tipologia de Instalação de deposição de resíduos de acordo com o grau de espessamento dos rejeitados (adaptada de MEND, 2017 e Burden et. al., 2019)	25
Figura 18. Perfil esquemático de Instalação de Rejeitados Filtrados (ICOLD, 2021)	26
Figura 19. Barragem de retenção para a deposição de rejeitado (adaptado de EPA, 1994).....	26
Figura 20. Métodos construtivos de alteamento de barragens de rejeitados.....	27
Figura 21. Disposição típica de hidrociclonagem de rejeitados na crista de aterro em barragens de rejeitados (adaptado de Thomé, 2018).....	27
Figura 22. Tipologia de formatos de barragens rejeitados: a)ring dike, b)cross valey, c) hillside (adaptado de Vicky, 1990)	28
Figura 23. Exemplo de diagrama de fluxo de águas simplificado (Neves-Corvo)	31
Figura 24. Representação esquemática níveis de operação e de cheia (adaptado de ICOLD,2022).....	32
Figura 25. Exemplo de modelação de deposição de rejeitados e lagonagem (Neves-Corvo)	33
Figura 26. Vista da área industrial de Neves-Corvo: parque de minério e Poço de extração de Santa Bárbara ao fundo.....	38
Figura 27. Instalações Somincor no Porto de Setúbal.....	38

Figura 28. Aquíferos de Neves-Corvo com a correspondente coluna litostratigráfica (adaptada de Carvalho et al., 1993: <i>in</i> Batista, 2003 e LNEC, 2019).	41
Figura 29. Esquema representativo do processo industrial de superfície de Neves-Corvo.....	45
Figura 30. Pilha de Escombro Extraído	46
Figura 31. Curvas granulométricas típicas do escombro	46
Figura 32. Exemplos de amostras de escombro a) e b) amostras colhidas na escombreira; c) amostra escombro “fresco” extraído do jazigo de Corvo (mais escuro) e Zambujal (mais claro) ...	47
Figura 33. Câmara Húmida escombro (utilizando o procedimento ASTM D5744 2007)	49
Figura 34. Ponto de descarga de Rejeitados após espessamento	49
Figura 35. Superfície de Rejeitado espessado depositado em secagem.....	50
Figura 36. Escombreira com barragem de águas contaminadas a Jusante	51
Figura 37. Água fresca (origem barragem de Santa Clara) consumida pela Somincor anualmente	52
Figura 38. Localização das Instalações de Resíduos de Neves-Corvo (Escombreira, IRCL e RCM)..	53
Figura 39. Vista talude norte da Escombreira 1 – pilha A	54
Figura 40. Rejeitados produzidos e seus destinos 2020-2022	56
Figura 41. Escombro extraído e utilizado para enchimento 2010-2022	56
Figura 42. Vista Escombreira com área industrial Neves-Corvo em plano de fundo.....	57
Figura 43. Deposição de rejeitado espessado	61
Figura 44. Projeto original de divisão da IRCL em células para deposição de rejeitados espessados	62
Figura 45. Construção de Diques.....	63
Figura 46. Vista Aérea IRCL (2014) com Divisão em Células	63
Figura 47. Corte Esquemático do Empilhamento Vertical na IRCL	64
Figura 47. Vista do empilhamento vertical a montante da portela da margem esquerda da Barragem de rejeitados.....	64
Figura 49. Esquema evolutivo da IRCL com empilhamento vertical e expansão horizontal (Golder, 2021).....	65
Figura 50. Esquema de cobertura de encerramento sobre os rejeitados e escombro na IRCL (Golder, 2021)	66
Figura 51. Construção camada de escombro sobre rejeitados espessados.....	67
Figura 52. Esquema construtivo cobertura de escombro	68
Figura 53. Aplicação de escombro na construção de cobertura e berma perimetral de confinamento.	69
Figura 54. Esquema construtivo berma perimetral de escombro	70
Figura 55. Tubagens de deposição de rejeitados espessados a partir de berma perimetral.....	71
Figura 56. Alvos topográficos de monitorização de assentamento das coberturas a)preparação ligeira do terreno; b) marca instalada	72
Figura 57. Distribuição espacial em planta dos INA construídos até setembro 2022.....	74
Figura 58. Distribuição espacial em corte transversal tipo dos INA.....	74
Figura 59. Indicadores de Nível de Água em construção	75
Figura 60. Distribuição em planta dos piezómetros de corda vibrante constantes do programa de monitorização da IRCL.....	76
Figura 61. Exemplo de gráfico de monitorização das pressões intersticiais dos rejeitados na construção de cobertura e bermas de escombro	77
Figura 62. Trincheira de prospeção na cobertura de escombro	78
Figura 63. Perfil interpretativo de uma trincheira de prospeção na cobertura.....	79
Figura 64. Execução ensaio MACRO nas coberturas de escombro	80

Índice de quadros

Quadro 1. Plano de Ação da UE para as Matérias-Primas (adaptado de Comissão Europeia (2020) - COM(2020) 474 final)	11
Quadro 2. Técnicas de Espessamento de Rejeitados (adaptado MEND,2017).....	24
Quadro 3.Composição Química do Escombro	47
Quadro 4.Composição Mineralógica do Escombro.....	47
Quadro 5.Composição Química dos Rejeitados (Relatório Anual de Exploração Somincor de 2022)	50
Quadro 6.Composição Mineralógica dos Rejeitados (Relatório Anual de Exploração Somincor de 2022)	50
Quadro 7.Resultado Ensaio MACRO	80

(página propositadamente em branco)

Índice de Acrónimos ou Abreviaturas

APA – Agência Portuguesa do Ambiente
BAT – Best Available Technologies
BREF – Best Available Technologies (BAT) Reference Document
CE – Comissão Europeia
CMt – Formação de Mértola
CSV – Complexo Vulcano-Sedimentar
DAM – Drenagem Ácida de Mina
DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia
GISTM – Global Industry Standard on Tailings Management (Padrão Global da Indústria para a Gestão de Rejeitos)
GPQ - Grupo Filito-Quartzítico
ICP-MS - Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry
ICP-OES - Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy
ICMM – International Council on Mining and Metals (Conselho Internacional de Mineração e Metais)
INA – Indicador nível água
IRCL – Instalação de Resíduos do Cerro do Lobo
MAC – Mining Association of Canada
MC – Minério Cobre
MZ – Minério Zinco
ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
PA- Potencial de geração ácida
PN – Potencial de neutralização
PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
RCM – Reservatório do Cerro da Mina
PRI – Principles for Responsible Investment (Princípios para o Investimento Responsável)
RGR -Revisão Global de Rejeitos
RSB – Regulamento de Segurança de Barragens
RPB – Regulamento de Pequenas Barragens
SAG – Semi-autogenous Grinder
SOMINCOR – Sociedade Mineira de Neves-Corvo, SA.
UE – União Europeia

(página propositadamente em branco)

Capítulo I

Introdução

(página propositadamente em branco)

1. Introdução

1.1. Âmbito

A presente dissertação enquadra-se na unidade curricular 'Dissertação/Projeto/Estágio', do 2º ano, do curso de mestrado em engenharia geotécnica e geoambiente, do Departamento de Engenharia Geotécnica (DEG), do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), do Politécnico do Porto (P.Porto), visando a obtenção do grau de mestre em engenharia geotécnica e geoambiente. Foi desenvolvida em formato Projeto, abordando a temática da gestão de resíduos mineiros e apresentando o caso de estudo da operação mineira da Mina de Neves-Corvo.

1.2. Enquadramento

A exploração de recursos minerais nos processos de extração e transformação gera grandes quantidades de resíduos de variadas naturezas, inertes ou não inertes, e que podem ser ou não perigosos.

Os resíduos de exploração de recursos minerais são matérias com potencial para a reintrodução nos circuitos de cadeia de valor como Matérias-primas Secundárias, estando esta sua utilização dependente das suas características geológicas e geoquímicas.

Esses resíduos geridos de forma inadequada poderão constituir um risco elevado para o ambiente, segurança e saúde das populações, pelo que carecem de soluções de armazenamento temporário e definitivo, adequadas à tipologia dos mesmos e às condições ambientais, geológicas, hidrogeológicas, sísmicas e geotécnicas locais, visando a prevenção dos impactes ambientais e garantindo a sua estabilidade e a segurança de pessoas e bens, durante o período de operação e também após encerramento da atividade.

À luz das boas práticas de desenvolvimento sustentável e considerando a escassez de matérias-primas, tanto organizações como as Nações Unidas como a Comissão Europeia incutem cada vez mais a redução, reutilização e reciclagem de materiais e promoção de economia circular.

Com a crescente dependência de recursos minerais da sociedade, o valor comercial dessas mesmas matérias-primas aumenta. Essa valorização, aliada ao desenvolvimento tecnológico na área da mineração, viabiliza a exploração de massas minerais com menor teor de corte, cuja exploração gera proporcionalmente mais resíduos mineiros, tornando a sua gestão e a sua valorização de importância capital numa perspetiva de desenvolvimento sustentável.

Esta dissertação aborda as políticas de gestão de resíduos mineiros gerados na Mina de Neves-Corvo, tendo em foco a aplicação do escombro como substituto à importação de material de pedreira ou mancha de empréstimo, nas construções para confinamento dos rejeitados espessados depositados na Instalação de Resíduos do Cerro do Lobo, em sistema de co-deposição com escombro.

A mina de Neves-Corvo é uma mina subterrânea de sulfuretos maciços vulcanogénicos polimetálicos da Faixa Piritosa Ibérica (Figura 1), que produz atualmente concentrados de Cobre, Zinco e Chumbo. O jazigo foi descoberto em 1977, estando a mina em exploração desde 1988, pela SOMINCOR – Sociedade Mineira de Neves-Corvo SA.

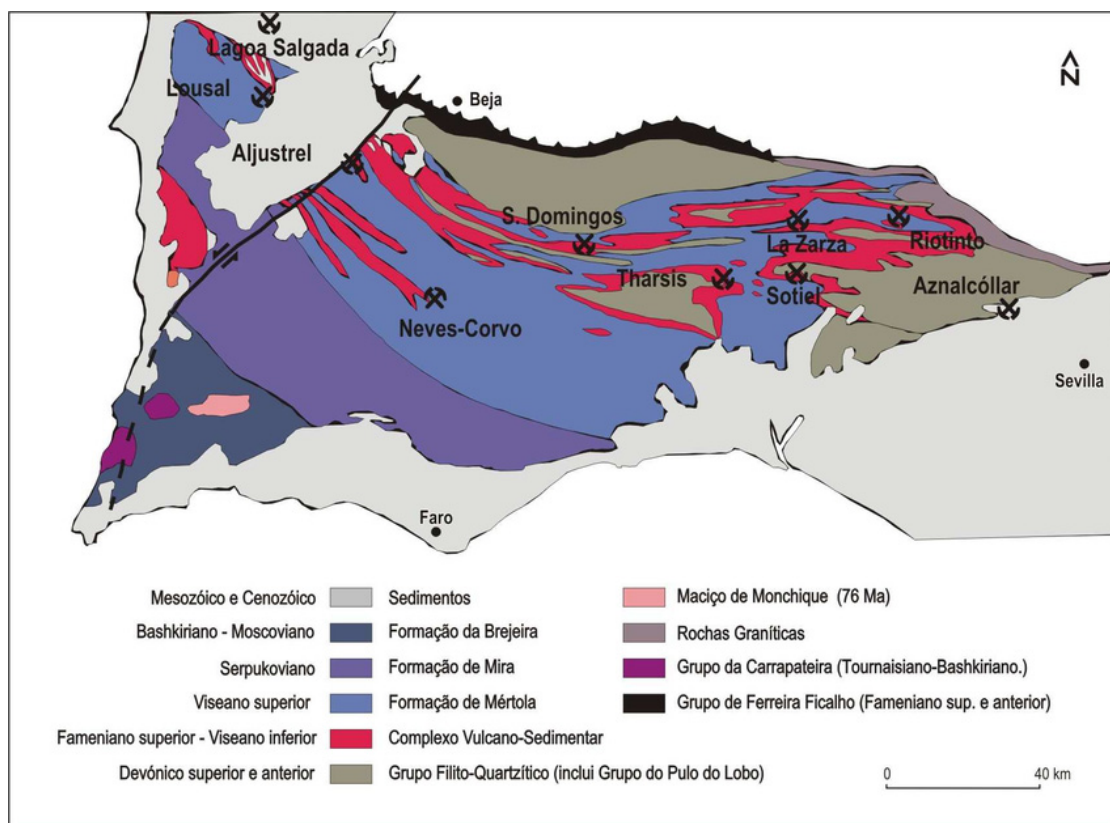


Figura 1. Localização da Mina de Neves-Corvo na Faixa Piritosa Ibérica- mapa geológico simplificado com localização de alguns dos principais depósitos de sulfuretos maciços (Oliveira et al., 2006)

Desde 2006 a SOMINCOR é uma subsidiária do grupo Lundin Mining Corporation, grupo mineiro dedicado à exploração de metais básicos com sede no Canadá, que para além de Portugal tem operações na Suécia, Chile, Estados Unidos da América, Brasil e ainda em fase de implementação uma operação na Argentina (Figura 2).



Figura 2. Operações Mineiras do grupo Lundin Mining (fonte: <https://lundinmining.com/> consultada em 27 de Abril 2023)

A SOMINCOR tem atualmente cinco jazigos em exploração, Neves, Corvo, Graça, Zambujal e Lombador, (que se estendem a cerca de 1100 m em profundidade (Figura 3), estando também identificadas mais duas zonas de sulfureto maciços, Semblana e Monte Branco.

O acesso ao fundo da mina é efetuado por uma rampa a partir da superfície (rampa do Castro) e a extração de minério e escombro é efetuada por um poço (Poço de Santa Bárbara).

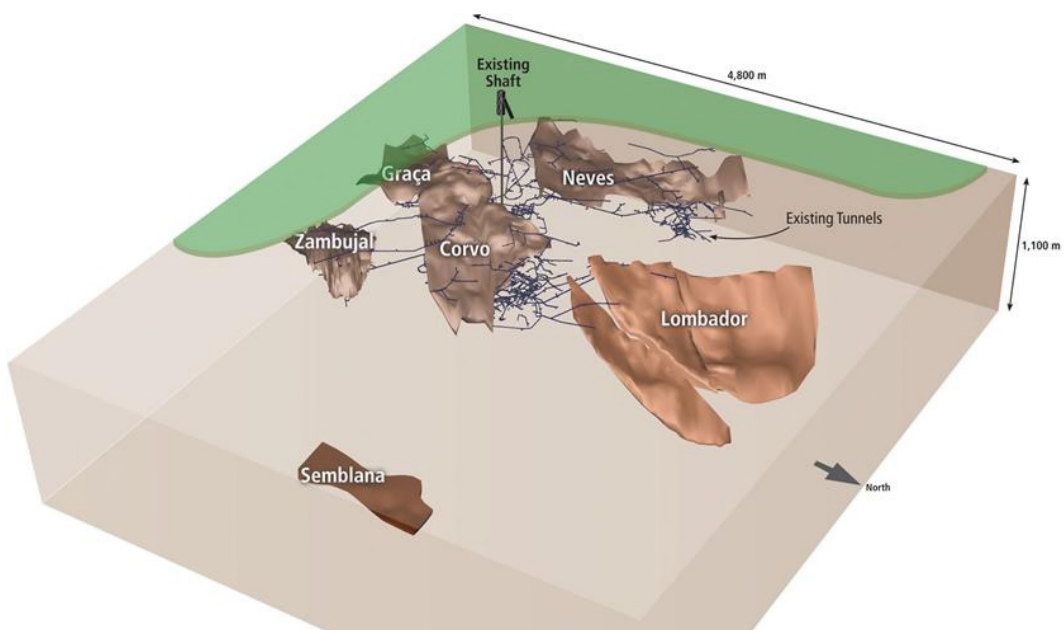


Figura 3. Esquema Representativo dos Jazigos da Mina de Neves-Corvo (fonte: arquivos SOMINCOR)

O processamento do minério é feito através de duas lavarias, a Lavaria do Cobre e a Lavaria do Zinco, cujas capacidades de processamento são, por ano, aproximadamente 2.6 milhões de toneladas de minério de cobre e 2.5 milhões de toneladas de minério de zinco, produzindo concentrado de Cobre, Zinco e Chumbo que são expedidos para porto de Setúbal por via ferroviária (cobre e zinco) e para o porto de Sines por via rodoviária (chumbo), para exportação via marítima.

Da atividade mineira-industrial de Neves-Corvo resultam dois tipos de resíduos mineiros: Escombro e Rejeitados, ambos geridos internamente na empresa e armazenados no seu destino final nas instalações de resíduos de Neves-Corvo.

Do processo de desenvolvimento que possibilita a extração do minério resulta como resíduo, rocha encaixante com sulfuretos disseminados, sem valor comercial, o Escombro, constituindo um resíduo mineral não inerte e não perigoso. O processamento do minério para produção de concentrados, por flutuação, gera Rejeitados, que são um resíduos mineral não inerte e perigoso.

Os resíduos mineiros gerados em Neves-Corvo têm uma componente sulfurosa que os torna materiais potencialmente geradores de drenagem ácida, pelo que a sua utilização em cadeias de valor externas acarreta ainda bastantes desafios tecnológicos, no entanto internamente a sua reutilização está presente nas práticas de gestão de resíduos de Neves-Corvo.

1.3. Objetivo

Para além de fazer um enquadramento geral das boas práticas aplicáveis na gestão dos resíduos mineiros, numa perspetiva de desenvolvimentos sustentável, esta dissertação pretende descrever o enquadramento legal e normativos aplicáveis nacionais, europeus e internacionais seguidos na Somincor, para uma correta e segura gestão dos resíduos mineiros em Neves-Corvo — como caso de estudo — tendo em foco a aplicação do escombro como substituto à importação de material de pedreira ou mancha de empréstimo.

Capítulo II

Estado de Arte: Breve Síntese

(página propositadamente em branco)

2. Estado de Arte: Breve Síntese

2.1. Desenvolvimento sustentável e economia circular na Indústria Mineira

“O desenvolvimento sustentável é aquele que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades.”

Esta é a definição de desenvolvimento sustentável, tal como é entendida atualmente, mas tendo sido definida num passado recente. Em 1987, a Comissão Mundial para o Ambiente e o Desenvolvimento, das Nações Unidas, publicou um relatório intitulado “O Nosso Futuro Comum” que ficou conhecido como o "Relatório Brundtland", em homenagem à presidente da Comissão, Gro Harlem Brundtland.

Desde essa data o conceito de desenvolvimento sustentável tem vindo a fazer parte de diversos programas organizacionais e políticos.

Já em 2015 as Nações Unidas implementaram a agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, que consiste em 17 Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável (ODS), ilustrados na Figura 4, tendo esta sido adotada por todos os seus Estados-Membros. Os ODS baseiam-se não só nas 3 dimensões da sustentabilidade, ambiental, social e económica, mas também na promoção da paz, justiça e instituições eficazes.



Figura 4. Objetivos de desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (Fonte: <https://unric.org/pt/objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel/>)

Na Europa, a adoção dos ODS está presente nas políticas estratégicas adotadas pela Comissão Europeia, sendo um exemplo o Pacto Ecológico Europeu (Figura 5), cujo um dos principais alicerces assenta na construção de uma economia mais circular como novo roteiro da Europa para o crescimento sustentável.

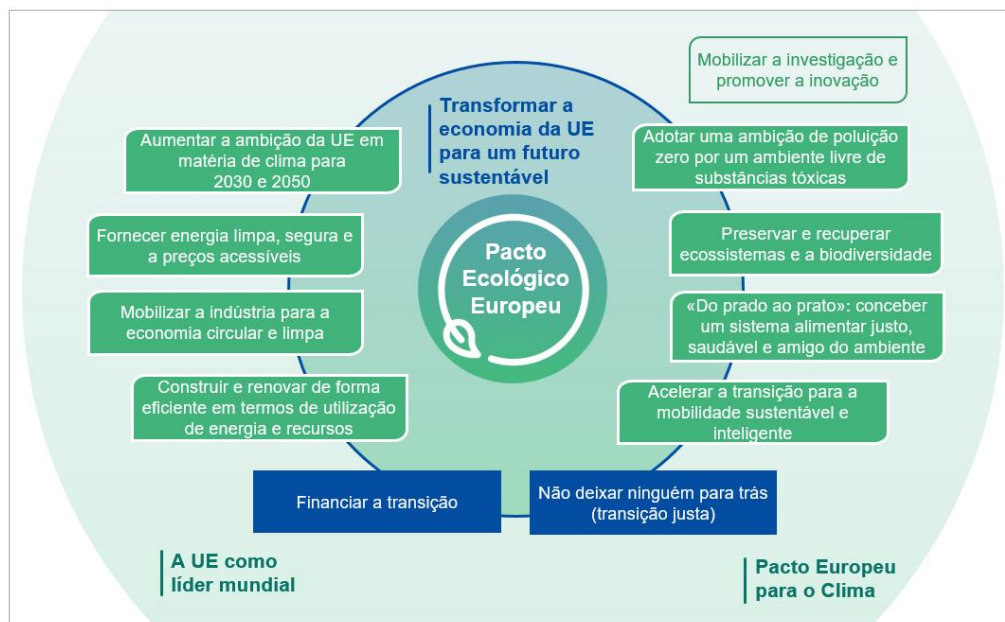


Figura 5. Pacto Ecológico Europeu (fonte: Comissão Europeia, 2019 – COM (2019) 640 final)

A economia circular e apelo à reutilização de matérias-primas está presente nas diferentes estratégias que a comissão europeia tem ditado para a indústria, incluindo a indústria mineira. “Em conformidade com a nova estratégia de crescimento da Europa, que restitui mais do que aquilo que extrai, a indústria europeia deve assumir um papel de liderança na transição ecológica. Significa isto reduzir a pegada carbónica e a pegada nos materiais e incorporar a circularidade em toda a economia. Para tal, temos de abandonar o velho modelo de ir buscar ao solo o necessário para fabricar produtos que depois utilizamos e deitamos fora. Precisamos de revolucionar a forma de concebermos, fabricarmos, utilizarmos e eliminarmos as coisas, para o que devemos incentivar a nossa indústria. Esta abordagem mais circular garantirá uma indústria mais limpa e mais competitiva, reduzindo os impactos ambientais, a concorrência por recursos escassos e os custos de produção. O interesse económico é tão forte como o imperativo moral e ambiental.” (Comissão Europeia, 2020 – COM (2020) 102 final)

“A circularidade constitui um aspeto essencial da transformação da indústria em direção à neutralidade climática e à competitividade a longo prazo, podendo gerar reduções substanciais de custos ao longo das cadeias de valor e dos processos produtivos, criar valor acrescentado e abrir oportunidades económicas.” (Comissão Europeia, 2020 – COM (2020) 98 final)

A indústria mineira tem um papel fundamental no desenvolvimento da nossa sociedade moderna fornecendo matérias-primas essenciais à tecnologia, infraestrutura, energia e agricultura, essenciais para possibilitar que as metas de descarbonização e digitalização sejam atingidas. Embora historicamente associadas a impactos negativos, as empresas mineiras têm o potencial para contribuir positivamente para todos os 17 ODS, sendo para isso chamadas a extrair com responsabilidade, a produzir com menos resíduos, a utilizar processos mais seguros, a incorporar novas tecnologias sustentáveis, a promover o bem-estar das comunidades locais, a reduzir as emissões e a melhorar a gestão ambiental.

No caminho do desenvolvimento sustentável está a obtenção de matérias-primas. A União Europeia desenvolveu um Plano de Ação da EU para as Matérias-Primas, para garantir um aprovisionamento seguro e sustentável das matérias-primas (Quadro 1), que vai juntar os esforços do setor público e privado, autoridades nacionais e instituições europeias.

Quadro 1. Plano de Ação da UE para as Matérias-Primas (adaptado de Comissão Europeia (2020) – COM (2020) 474 final)

1	Desenvolver cadeias de valor resilientes para os ecossistemas industriais da UE
2	Reduzir a dependência de matérias-primas essenciais primárias através da utilização circular de recursos, de produtos sustentáveis e da inovação,
3	Reforçar o aprovisionamento e a transformação a nível interno de matérias-primas por meios sustentáveis e responsáveis na União Europeia, e
4	Diversificar a oferta com aprovisionamento sustentável e responsável de países terceiros, reforçando o comércio aberto de matérias-primas com base em regras, e eliminando as distorções ao comércio internacional.

A estratégia deste plano assenta também na economia circular e reutilização de matérias-primas secundárias, estando atualmente estas a suprir parte da procura de materiais (Figura 6), mas não sendo de todo este processo suficiente para as quantidades de recursos minerais utilizadas atualmente e que se estimam ser necessárias futuramente.

De acordo com o relatório preparado pelo Painel Internacional sobre Recursos das NU intitulado *Panorama Global sobre Recursos* de 2019, a extração de recursos mais do que triplicou desde 1970, incluindo um aumento de cinco vezes no uso de minerais não metálicos. Estima-se que até 2060, o uso global de materiais possa dobrar e chegar a 190 bilhões de toneladas (na comparação com os atuais 92 bilhões de toneladas).

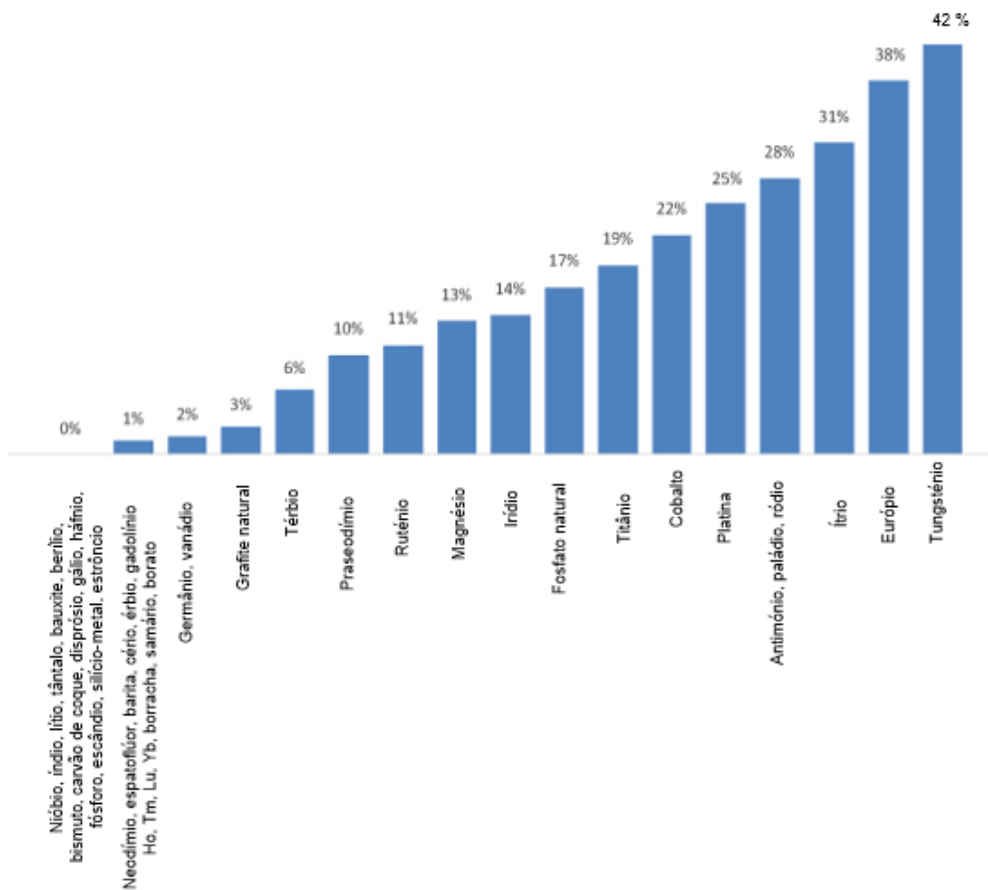


Figura 6. Contributo da reciclagem para satisfazer a procura de materiais (taxa de reciclagem de produtos)
(Comissão Europeia 2020, COM (2020) 474 final)

A exploração mineira gera quantidades importantes de resíduos mineiros, que resultam da extração e processamento de recursos minerais e que tendencialmente irão aumentar pela crescente procura pelas matérias-primas, associada ao desenvolvimento das tecnologias mineiras. Estes dois fatores permitem a viabilidade da exploração de minérios com teor de corte mais baixo, gerando proporcionalmente maiores quantidades de resíduos.

Os resíduos das indústrias extrativas representam um grande fluxo de resíduos na EU e podem conter grandes quantidades de substâncias perigosas. Em 2003 “calcula-se que esses resíduos correspondam a cerca de 29% do total de resíduos gerados anualmente na UE e que o seu volume anual seja superior a 400 milhões de toneladas” (Comissão europeia 2003, COM (2003) 319 final)

Os resíduos mineiros incluem materiais do solo superficial, terreno detrítico e resíduos rocha (que são removidos para se ter acesso aos recursos minerais), os rejeitados que restam do processo de concentração (após a extração do mineral valioso) e também lamas geradas nos processos de

tratamento de águas industriais associadas aos processos de extração e tratamento do minério e ainda escórias de fundição.

No panorama nacional, e apenas ao que aos minerais metálicos diz respeito, a produção dos mesmos tem também vindo a aumentar (Figura 7), existindo um potencial para o aumento nos próximos anos, quer pelo aumento de produção das minas em atividade quer pelo início de operação de novas minas, decorrente de contratos de prospeção e exploração assinados nos últimos anos.

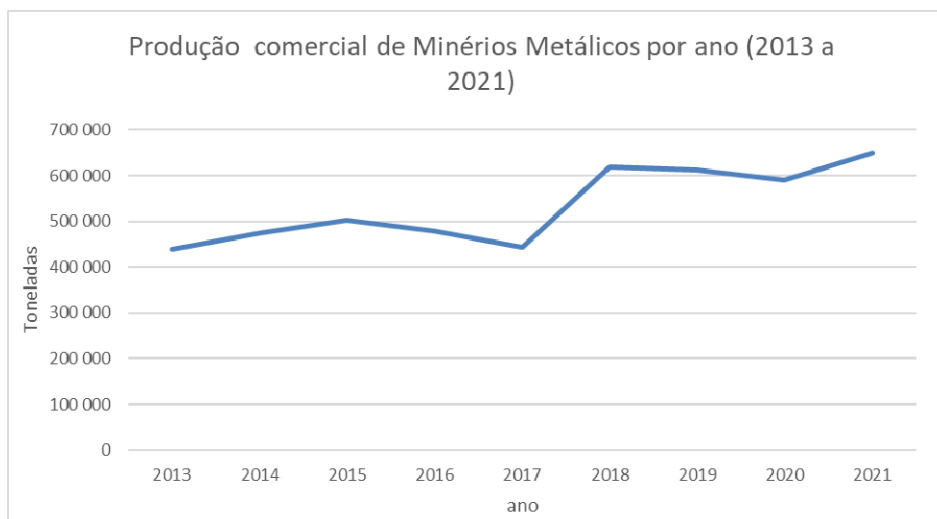


Figura 7. Produção comercial de Minérios metálicos em Portugal (2013-2021) (Fonte: DGEG – estatística-minas-produção anual-sub-setores)

Em Portugal, para o ano de referência de 2013, a geração de resíduos mineiros representava mais de 90% da quantidade de minérios metálicos extraído, sendo que a percentagem de reutilização desses resíduos produzidos rondava os 37% (fonte DGEG – Falé, 2015).

Apesar do aumento de quantidades de minerais metálicos produzidos desde 2013 até 2021, essas proporções mantêm a mesma ordem de grandeza atualmente no que respeita à percentagem de concentrado que se obtém a partir das quantidades de minério tal qual, quando comparada com a quantidade de resíduos gerados.

Como se pode ver no gráfico representado na Figura 8 a quantidade de concentrados produzida a partir das quantidades de minério tal e qual é muito diminuta (média de 7% no período de 2020 a 2022) quando comparada com a quantidade de resíduos mineiros gerados.

Já em relação à percentagem de resíduos utilizados dentro da indústria extrativa de minerais metálicos, a média nos anos de 2020 a 2022 foi de 50% (Figura 9), representando um aumento significativo nestes últimos 9 anos.

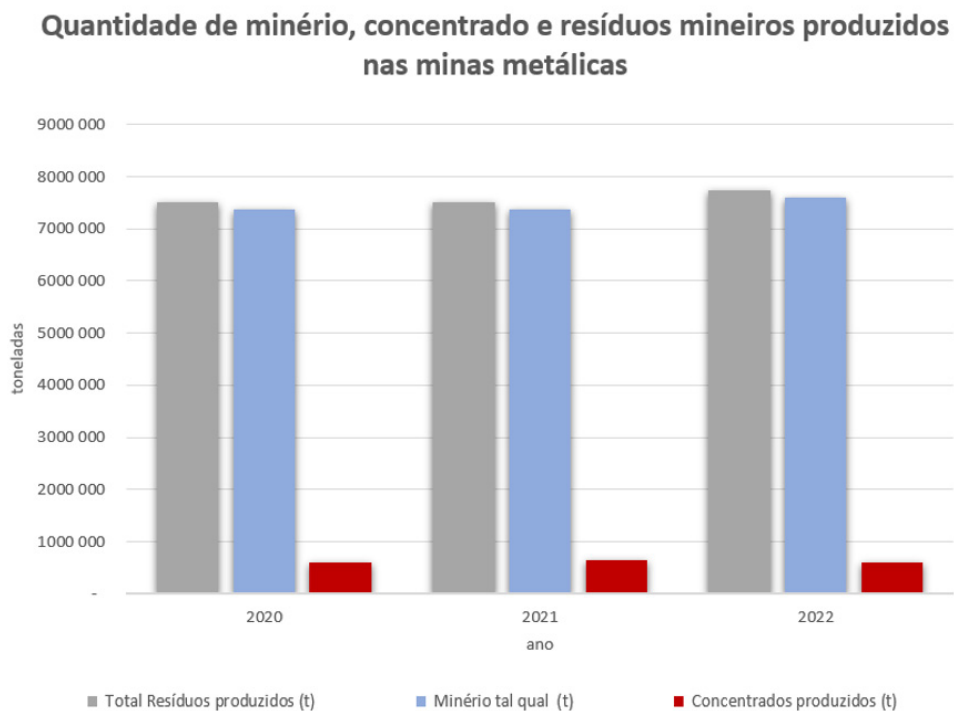


Figura 8. Quantidade de minério, concentrado e resíduos mineiros produzidos nas minas metálicas em Portugal 2020-2022 (dados facultados pela DGEG)

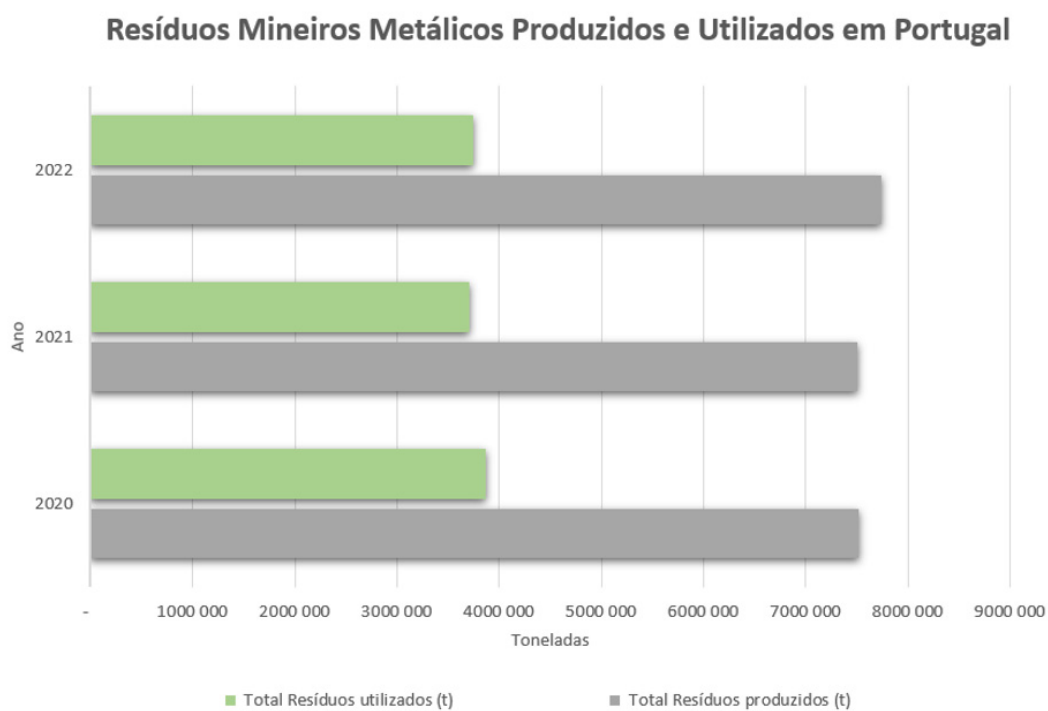


Figura 9. Quantidade de resíduos produzidos e utilizados nas minas metálicas em Portugal 2020-2022 (dados facultados pela DGEG)

Neste contexto, é evidente que a sustentabilidade da exploração de recursos minerais não se limita à reutilização das matérias-primas secundárias, como fonte para supressão da procura de recursos minerais, mas também à adoção de tecnologias que reduzam a produção de resíduos bem como na sua reutilização quer internamente, nas operações mineiras, quer externamente em cadeias de valorização.

2.2. Regime jurídico e normativo a que está sujeita a gestão de resíduos das explorações de depósitos minerais e de massas minerais

Alguns dos resíduos mineiros são inertes e não são suscetíveis de danificar o ambiente. No entanto, alguns podem também para além de não inertes conter substâncias perigosas, com potencial de geração ácida e metais pesados, ou produtos químicos residuais do processamento do minério.

Os resíduos mineiros são frequentemente armazenados em antigas cortas de prévia exploração mineira a céu aberto, escombreyras ou barragens. Um desmoronamento ou rotura nestas instalações e subsequente libertação descontrolada dos resíduos para o meio envolvente tem consequências muitas vezes desastrosas, com perda de vidas e com impacto duradouro na saúde humana, na economia e no ambiente.

Uma gestão adequada dos resíduos mineiros é essencial para garantir a segurança destas estruturas de contenção e sua estabilidade a longo prazo. As técnicas a aplicar e o desenho das instalações de resíduos mineiros deverão ser adequadas às características específicas dos resíduos a armazenar e às características geológicas, geotécnicas, hidrogeológicas e climáticas do local de armazenamento, visando a eliminação ou minimização da poluição da água, do solo e ar.

A UE definiu regras que têm por objetivo evitar ou reduzir os efeitos adversos no ambiente decorrentes da gestão dos resíduos mineiros, sendo as mesmas aplicadas em Portugal.

O Decreto-Lei nº 10 /2010 de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei nº 31/2013 de 22 de fevereiro, estabelece o regime jurídico a que está sujeita a gestão de resíduos das explorações de depósitos minerais e de massas minerais, transpondo para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 2006/21/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 15 de março, relativa à gestão dos resíduos das indústrias extrativas.

Este enquadramento legal visa a “adoção de medidas de gestão de resíduos orientadas para a prevenção, para a valorização e, subsidiariamente, para uma deposição final em condições

adequadas de estabilidade, segurança, de integração no meio envolvente e de proteção do ambiente e da saúde pública.” (DL 10/2010)

Algumas instalações de resíduos mineiros estão também, desde 2003, sujeitas à regulamentação europeia de prevenção e controlo de acidentes graves, com a alteração da assim conhecida Diretiva Seveso, que passou nessa data a incluir no seu âmbito instalações de armazenamento de resíduos mineiros, incluindo bacias e represas de decantação, que contenham substâncias perigosas tal como definidas no Anexo I, dessa mesma diretiva.

Atualmente O Decreto-lei n.º 150/2015 de 5 de agosto, transpõe a Diretiva 2012/18/UE (Seveso III) e estabelece o regime de prevenção e controlo de acidentes graves que envolvem substâncias perigosas e limitação das suas consequências para a saúde humana e o ambiente, sendo a definição de substância perigosa aplicável é efetuada de acordo com o Anexo 1 dessa mesma diretiva, em termos que quantidade máxima armazenada em qualquer instante na instalação e perigosidade da substância de acordo o Regulamento (CE) n.º 1272/2008.

Para além das diretivas da UE e sua respetiva transposição para o regime jurídico nacional, dentro dos guias e documentos de referência (e.g., https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/mining-waste_pt?etrans=pt) destaca-se o Documento de referência sobre as melhores técnicas disponíveis — Gestão de resíduos de indústrias extrativas em conformidade com a Diretiva 2006/21/CE (Documento BREF MWEI). O mesmo, embora não sendo prescritivo, fornece informação técnica relacionada com as melhores técnicas disponíveis identificadas para prevenir ou reduzir, tanto quanto possível, os efeitos adversos no ambiente e na saúde humana resultantes da gestão de resíduos de extração, para uma vasta gama de materiais e processos, fornecendo às indústrias extrativas, às autoridades competentes e a outras partes interessadas informações e dados atualizados sobre a gestão dos resíduos de extração que auxilia no cumprimento dos requisitos estipulados nas diretivas.

Não é objetivo desta dissertação o escrutínio detalhado destes regulamentos e guias, mas apenas fornecer um breve enquadramento para o âmbito Europeu e Nacional, cingindo-se por isso à sua enunciação. Considera-se, no entanto, importante referir também o recente GISTM – Global Industry Standard on Tailings Management (Padrão Global da Indústria para a Gestão de Rejeitos), de grande relevância atualmente na indústria mineira, ao que à gestão de resíduos mineiros diz respeito, e de aplicação internacional. Torna-se ainda mais relevante uma vez que o mesmo foi adotado pelo Grupo Lundin Mining, estando atualmente em fase de implementação/adequação na SOMINCOR.

O GISTM foi lançado em 2020, tendo sido desenvolvido pela iniciativa designada de Revisão Global de Rejeitos (RGR) que consiste numa parceria do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), dos Princípios para o Investimento Responsável (PRI) e o Conselho Internacional de Mineração e Metais (ICMM), em resposta à ocorrência de acidente catastróficos recentes de barragens de rejeitados, como por exemplo a tão mediática rotura da barragem de rejeitados da Mina Córrego do Feijão que atingiu a cidade de Brumadinho no Brasil em 2019 (Figura 10).



Figura 10. Vale Jusante da Barragem de Rejeitados em Brumadinho pós rotura (Fonte: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2022-06/identificado-o-266o-corpo-da-tragedia-em-brumadinho>)

Esta iniciativa visou a criação de um Padrão na indústria para a gestão segura dos rejeitados, tendo como objetivo principal alcançar a meta final de zero dano às pessoas e ao meio ambiente, com nenhuma tolerância para perdas de vidas humanas.

A sua aplicação abrange todo o ciclo de vida das estruturas de armazenamento de rejeitados, desde a seleção do local, projeto e construção, passando pela operação e monitorização, encerramento e pós-encerramento, não apenas no âmbito técnico e ambiental da gestão dos resíduos, mas também o âmbito Social, de Governança e Transparência. Assenta em 6 tópicos (Figura 11): Comunidades afetadas; Base integrada de conhecimentos; Projeto, Construção, Operação, Monitorização; Gestão e Governança; Resposta a Emergências e Recuperação a Longo Prazo; e Divulgação pública e acesso à informação, tópicos esses que se dividem em 15 princípios e 77 requisitos auditáveis.



Figura 11. Tópicos do GISTM

Voltando ao enquadramento normativo nacional, é ainda importante referir que complementarmente à regulamentação aplicável às instalações de resíduos mineiros “no caso de uma instalação de resíduos sob a forma de “barragem” o projeto de construção deverá seguir as normas técnicas definidas no regulamento de segurança em barragens” (Falé, 2015).

Para a APA¹: “O Quadro de atuação em vigor para controlo de segurança das barragens portuguesas foi estabelecido pelo Decreto-lei n.º 21/2018, de 28 de março que agrega, num único diploma, as seguintes disposições:

- Classificação das barragens;
- Regulamento de Segurança de Barragens (RSB);
- Regulamento de Pequenas Barragens (RPB).

Com este diploma foi introduzida uma importante alteração de âmbito de aplicação dos regulamentos anteriores, passando o RSB a ficar restringido às denominadas grandes barragens, aquelas que são de altura igual ou superior a 15 m, ou que criam albufeiras de capacidade superior a 1 hm³ (desde que de altura igual ou superior a 10 m), aplicando-se o RPB a todas as restantes barragens.” (pormenores em APA¹)

¹ <https://apambiente.pt/prevencao-e-gestao-de-riscos/legislacao-e-guias>

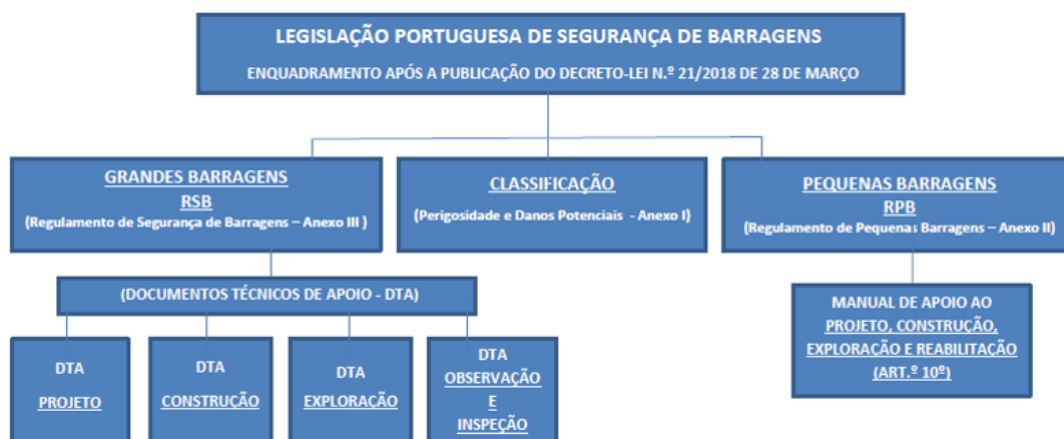


Figura 12. Legislação e enquadramento normativo nacional no âmbito da segurança de barragens (fonte: <https://apambiente.pt/prevencao-e-gestao-de-riscos/legislacao-e-guias>)

Tal como ilustrado na Figura 12, a regulamentação de segurança de barragens tem associados documentos técnicos de apoio, que terão que ser seguidos nas instalações de resíduos em forma de barragem, segundo definição da autoridade reguladora destas instalações de resíduos, a DGEG.

2.2.1. Definição de Instalações de Resíduos e conceitos associados

Para um correto enquadramento, é importante apresentar a definição de Instalação de resíduos, e outros conceitos associados de acordo com a legislação nacional (DL 10/2010):

- **Instalação de Resíduos** - “qualquer superfície designada para a acumulação ou depósito de resíduos de extração, sólidos, líquidos, em solução ou em suspensão, incluindo as barragens e outras estruturas que sirvam para fins de contenção, retenção ou confinamento, ou que sirvam de apoio a essas instalações, bem como as escombreyras e as bacias, com exclusão dos vazios de escavação em que sejam repostos resíduos depois da extração do mineral para fins de reabilitação, estabilização geotécnica e ou como requisito da sequência do método de exploração, durante os seguintes períodos:
 - i) Mais de seis meses, para as instalações de resíduos perigosos gerados de forma imprevista;
 - ii) Mais de um ano, para as instalações de resíduos não inertes e não perigosos;
 - iii) Mais de três anos, para as instalações destinadas a solo não poluído, resíduos de prospeção não perigosos, resíduos resultantes da extração, tratamento e armazenagem de turfa e resíduos inertes;”

-
- **Barragem** - “uma estrutura tecnicamente concebida para reter ou confinar água e ou resíduos numa bacia”
 - **Bacia** – “uma instalação natural ou tecnicamente preparada para a eliminação de resíduos finos, normalmente rejeitados, juntamente com volumes variáveis de água livre, resultantes do tratamento de recursos minerais e da clarificação e reciclagem de águas de processo”
 - **Escombreira** - “uma instalação tecnicamente preparada para a deposição à superfície de resíduos sólidos quando constituídos por partículas de espectro granulométrico largo”
 - **Melhores técnicas disponíveis (MTDs)** - “a fase de desenvolvimento mais avançada e eficaz das atividades e dos respetivos modos de exploração, que demonstre a aptidão prática de técnicas específicas para constituir, em princípio, a base dos valores limite de emissão com vista a evitar e, quando tal não seja possível, a reduzir de um modo geral as emissões e o impacto no ambiente no seu todo, entendendo-se por:
 - i) «Melhores» as técnicas mais eficazes para alcançar um nível geral elevado de proteção do ambiente no seu todo;
 - ii) «Técnicas» o modo como a instalação é projetada, construída, conservada, explorada e desativada, bem como as técnicas utilizadas no processo de produção;
 - iii) «Disponíveis» as técnicas desenvolvidas a uma escala que possibilite a sua aplicação no contexto do sector económico em causa em condições económica e tecnicamente viáveis, tendo em conta os custos e os benefícios, quer sejam ou não utilizadas ou produzidas a nível nacional ou comunitário e desde que acessíveis ao operador em condições razoáveis;”

2.3. Gestão de Resíduos Mineiros, conceitos e técnicas de deposição

2.3.1. Gestão de Resíduos Dentro do Ciclo Mineiro

O ciclo de vida típico de um projeto mineiro pode dividir-se em quatro grandes fases, ilustradas na Figura 13.

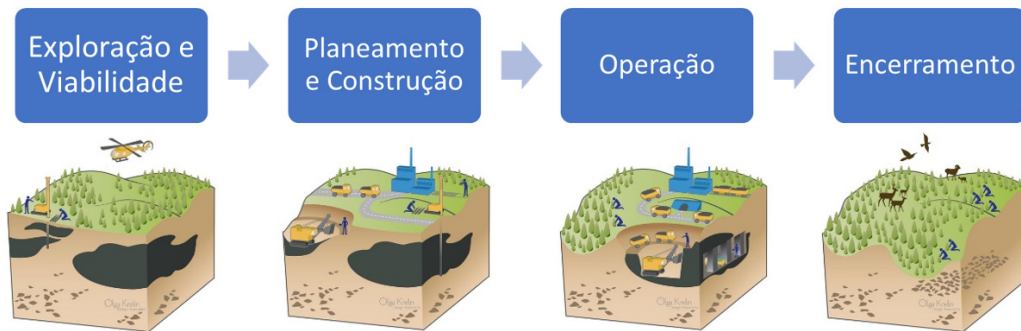


Figura 13. Fases da Vida de um Projeto Mineiro (Fonte imagens: <https://olga-krelin.com/news/2017/11/16/lifecycle-of-a-mine-recovery-of-investment-profitability-and-taxes-taxes-taxes>).

A gestão correta e segura dos resíduos mineiros está presente em todas essas fases, desde a viabilidade ao encerramento. Iniciando-se na estimativa das quantidades e caracterização dos resíduos gerados, essenciais para a escolha das melhores técnicas disponíveis a aplicar e definição da localização das instalações de resíduos que integram a viabilidade do projeto, passando pelo licenciamento da instalações de resíduos, que inclui logo nessa fase o plano de encerramento das mesmas, garantindo que no pós-encerramento não se tornarão passivos ambientais, pela correta construção e operação das instalações, de acordo com os critérios definidos em projeto, garantindo a segurança das instalações, e finalmente no encerramento das instalações e monitorização pós-encerramento.

Dentro da fase de operação a exploração mineira e o processamento de minério produzem vários tipos diferentes de resíduos mineiros que requerem reciclagem ou eliminação e manuseamento seguros (Figura 14).



Figura 14. Ciclo de Produção Mineiro e Geração de resíduos (adaptado de Taha, 2019)

Os resíduos mineiros típicos incluem os resíduos de rocha das escavações, solos e depósitos detríticos, derivados do desenvolvimento da mina, os rejeitados do processamento de minerais, mas também as águas utilizadas no processo industrial e de drenagem de mina (água de contacto de drenagem superficial e infiltração das instalações de resíduos e drenagem superficial da área industrial consideradas contaminadas) e as lamas geradas do tratamento de águas para recirculação ou descarga para ao meio ambiente.

As características e composição dos resíduos gerados dependem particularmente da geologia e mineralogia do depósito de minério explorado e das técnicas e produtos químicos utilizados no processamento do minério e no tratamento da água. Considerando a variabilidade dos depósitos minerais e dinamismo da indústria mineira, cuja viabilidade e teor de corte dos depósitos está altamente dependente das cotações de mercado dos metais produzidos, os planos de mina vão sendo alterados ao longo da vida da mina, assim como as técnicas de processamento, o que pode causar alterações nas características dos resíduos a gerir, pelo que uma correta gestão de resíduos deve ter carácter de melhoria contínua, adaptando os processo de gestão com frequentes avaliações das melhores técnicas disponíveis, atualizações dos planos de gestão de resíduos e dos planos de encerramento ao longo da vida da mina, em alinhamento com as práticas internacionais e legislação aplicável.

Como exemplo modelo de gestão para controlo e melhoria contínua descreve-se o quadro de gestão de rejeitados da Mining Association of Canada, que segue um ciclo de Planear-Fazer-Verificar-Agir (Figura 15).



Figura 15. Ciclo para a melhoria contínua dos quadros de gestão de rejeitados (adaptados de MAC, 2019)

Este ciclo é repetido, com o objetivo de reanalisar e rever conforme adequado, e ajustando os processos e planos (Figura 16). Isto ajuda a promover a melhoria contínua, conduzindo a uma melhor proteção ambiental e à redução dos riscos.

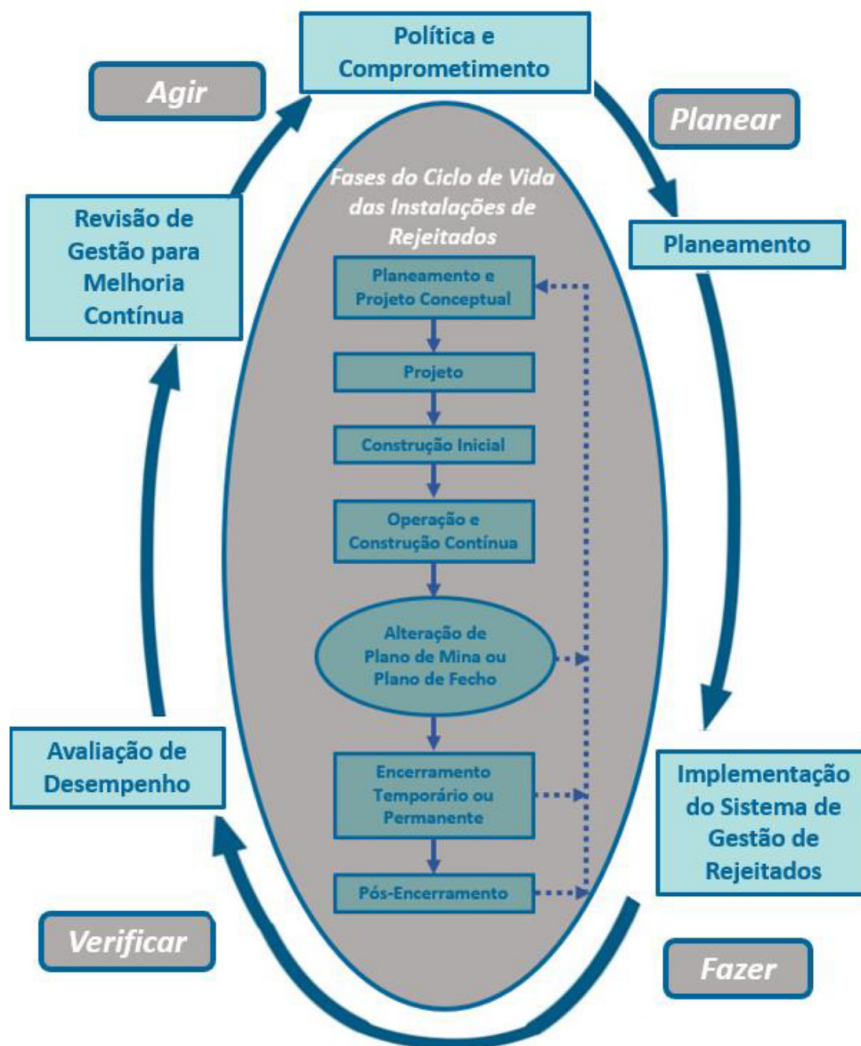


Figura 16. Elementos do quadro de gestão de rejeitados de acordo com a MAC (Fonte: MAC, 2019)

2.3.2. Técnicas de deposição de rejeitados e tipologia de instalações

O armazenamento de rejeitados pode ser feito recorrendo a diversas metodologias, técnicas de espessamento e tipologia de instalação de confinamento.

Os rejeitados produzidos nas operações mineiras são no geral uma polpa, com grande quantidade de água, sendo por isso o método mais comum de deposição a deposição hidráulica em barragens. Nos últimos anos as tecnologias de espessamento têm vindo ser implementadas e bem aceites na indústria derivado das suas vantagens, em que se destacam a menor ocupação de volume, maiores taxas de recuperação de água e por serem consideradas mais seguras ambiental e estruturalmente.

No Quadro 2 estão resumidas as tecnologias de espessamento/dessaturação de rejeitados e respectivos equipamentos tipicamente utilizados e meios de transporte. Esta classificação não é normalizada e varia de acordo com organizações e autores.

Quadro 2. Técnicas de Espessamento de Rejeitados (adaptado MEND,2017)

Grau Espessamento / Estado de dessaturação	Tensão de limite elástico (Pa)	Equipamento de Processamento	Método de transporte
Polpa	0	Nenhum - produto sem nenhum processo de espessamento	Adutoras utilizando tipicamente bombas centrífugas
Espessado	0-40	Espessadores e floculantes	Adutoras utilizando tipicamente bombas centrífugas
Espessado alta densidade	40-200	Espessadores de alta densidade e floculantes	Adutoras utilizando tipicamente bombas centrífugas e de deslocamento positivo
Pasta	>200	Espessador de Cone Profundo ou combinação com filtração	Adutoras utilizando tipicamente bombas de deslocamento positivo
Filtrado	N/A	Filtros de vácuo ou pressão	Camiões ou correias de transporte

Seguindo a metodologia utilizada em 2017 no Estudo de Tecnologias de Gestão de Rejeitados (MEND, 2017), poderemos organizar as tipologias de instalações de deposição associadas ao grau de espessamento de rejeitados, como representado na Figura 17.

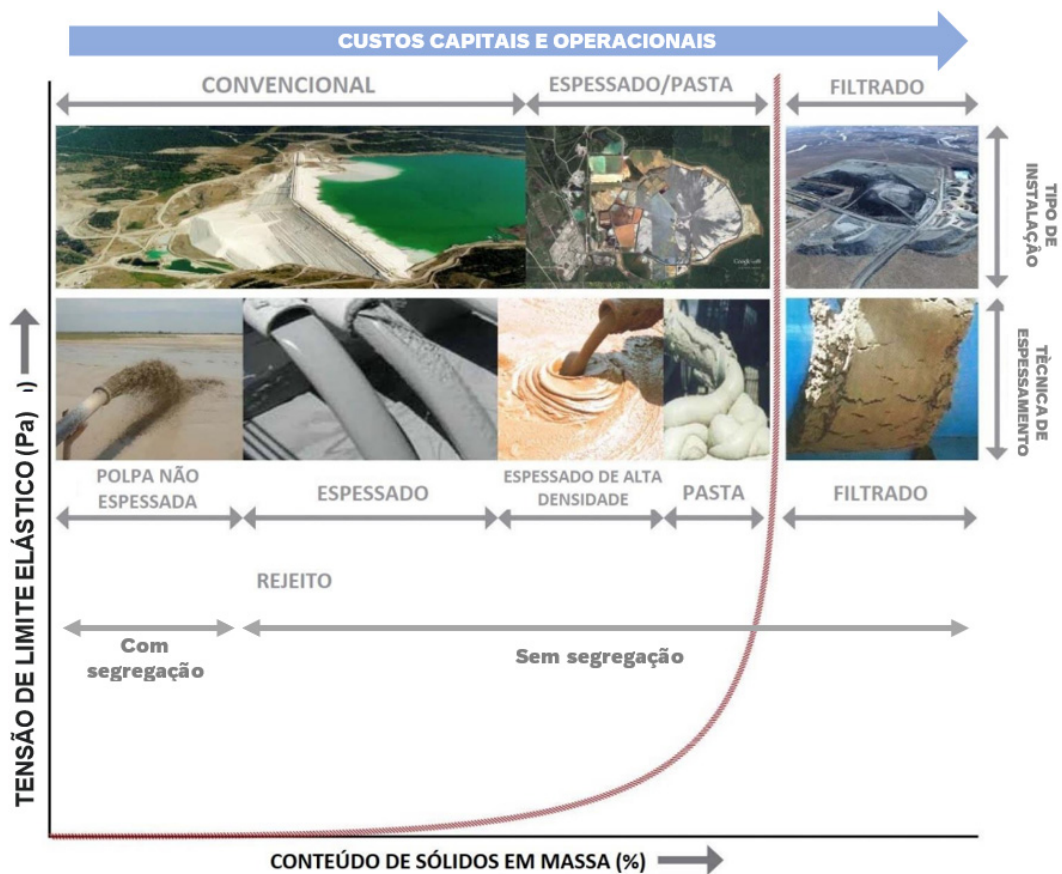


Figura 17. Tipologia de Instalação de deposição de resíduos de acordo com o grau de espessamento dos rejeitados (adaptada de MEND, 2017 e Burden et. al., 2019)

São consideradas instalações de deposição de rejeitados convencionais as que armazenam rejeitados em polpa ou espessados e cujo confinamento é criado por meio de barragem. Nestas instalações a deposição dos rejeitados pode ser efetuada de forma subaquática ou emersa.

Instalações de deposição de rejeitados espessados de alta densidade ou pasta, embora também recorram barragens como método de confinamento, a dimensão dos aterros é potencialmente menor dado a vantagem de se utilizar o maior ângulo de deposição que pode ser obtido nos rejeitados com maior grau de espessamento.

Instalações de deposição de rejeitados filtrado, recebem os rejeitados num grau de dessaturação tal que estes se comportam como um sólido, podendo ser depositados em pilha, geralmente com zonas estruturais que carecem de compactação (Figura 18). O teor em água deverá ser próximo do ótimo para facilitar a compactação.

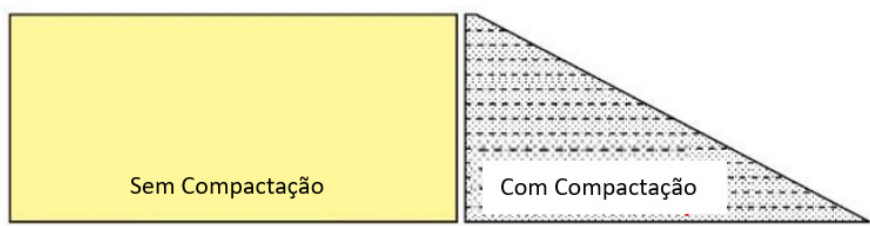


Figura 18. Perfil esquemático de Instalação de Rejeitados Filtrados (ICOLD, 2021)

No que diz respeito à tipologia da instalação, como já referido anteriormente, a forma de deposição de rejeitados mais convencional são as barragens. Estas podem dividir-se em dois grandes grupos de acordo com o método construtivo: aterros alteados e barragens de retenção (ICOLD, 1994), devido a serem mais onerosas as barragens de retenção são menos comuns.

As barragens de retenção, cujo um corte tipo a título de exemplo está ilustrado na Figura 19, são construídas na sua altura completa no início da deposição, sendo a sua forma construtiva idêntica às típicas barragens de aterro para armazenamento de água. Já as de aterros alteados são construídas faseadamente acompanhando a taxa de produção de rejeitados e conseqüentemente necessidades de capacidade da época, tornando-as estrutura economicamente mais atrativas para as empresas uma vez que o custo inicial é mais reduzido e os custos de construção são faseados ao longo do tempo de vida da empresa.

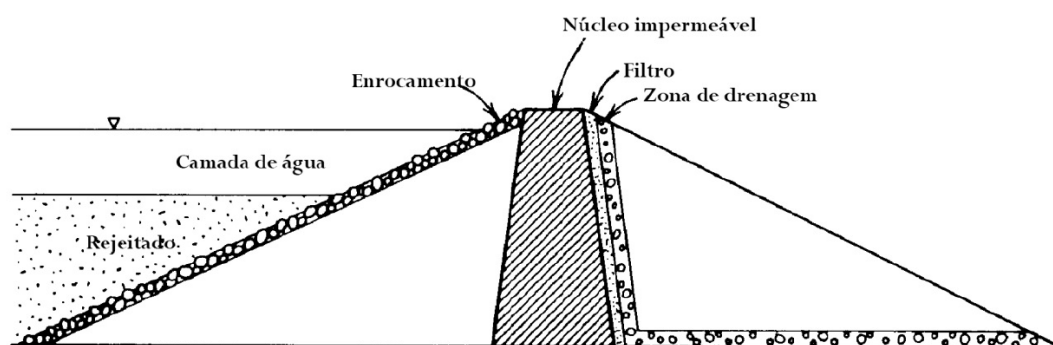


Figura 19. Barragem de retenção para a deposição de rejeitado (adaptado de EPA, 1994).

As barragens de aterro alteado começam por um dique inicial que vai sofrendo sucessivos alteamentos de modo a garantir sempre capacidade de armazenamento dos rejeitados que se produzem, podendo ser de 3 tipos: alteamento para montante, alteamento central e alteamento para jusante, sendo por esta ordem de construção mais onerosa, mas também mais seguras (Figura 20).

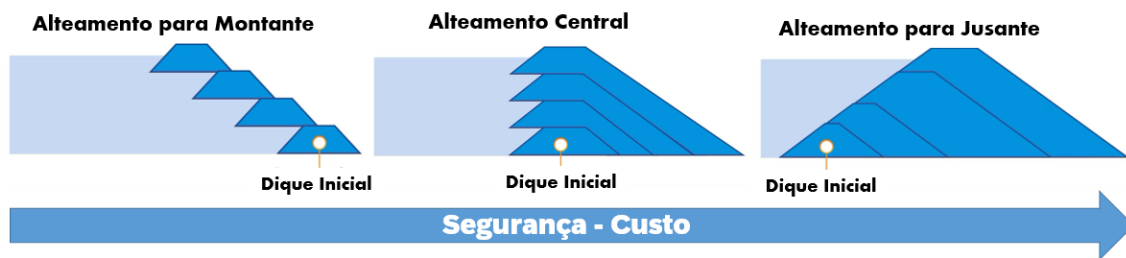


Figura 20. Métodos construtivos de alteamento de barragens de rejeitados

Muitas das vezes os materiais construtivos dos aterros de alteamento são os próprios rejeitados, recorrendo a métodos de separação granulométrica por hidrociclonação, para utilização das partículas mais grosseiras (areias) para construção dos aterros e deposição das partículas mais finas em polpa (lamas), como esquematizado na Figura 21. Esta técnica reduz a dependência de importação de materiais construtivos de manchas de empréstimo externas e sua consequente perturbação do solo.

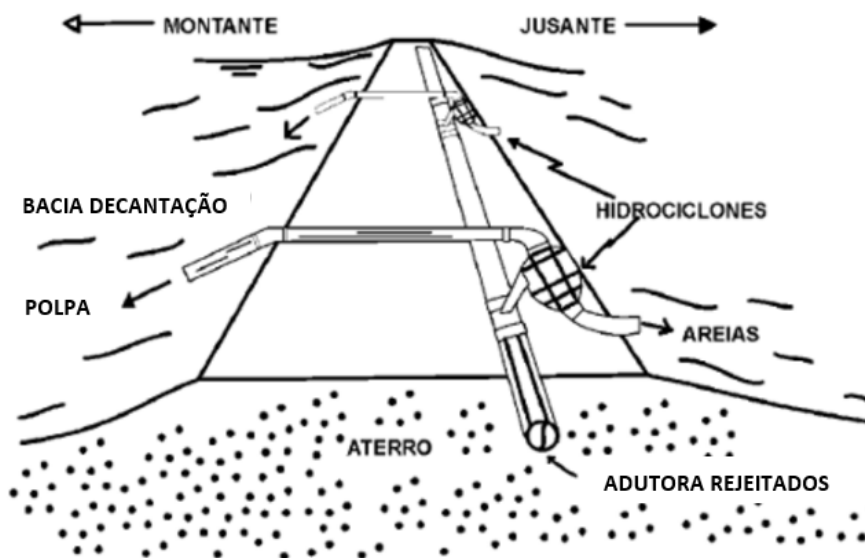


Figura 21. Disposição típica de hidrociclonação de rejeitados na crista de aterro em barragens de rejeitados (adaptado de Thomé, 2018)

Existem outras metodologias de descarga nos pontos de deposição (“spigoting” ou “single point discharge”), assim como variadas classificações de barragens de rejeitados no que diz respeito ao seu formato e enquadramento na orografia do terreno (“hillside”, “cross valey” ou “ring dike” - Figura 22), (Vicky, 1990).

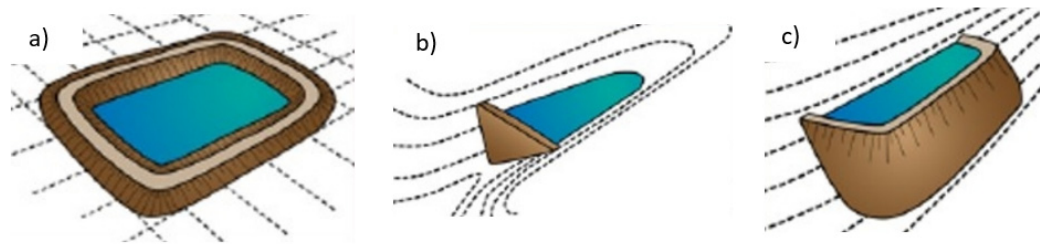


Figura 22. Tipologia de formatos de barragens rejeitadas: a) ring dike, b) cross valley, c) hillside (adaptado de Vicky, 1990)

Outras formas de deposição de rejeitados, que não carecem de construção de aterros de confinamento ou zonas estruturais (no caso de rejeitados filtrados), são a deposição em antigas cortas (“In-pit”), deposição subaquática num lago profundo ou em ambiente fluvial e marítimo (“Offshore Disposal”) e enchimento de vazios de exploração subterrânea (“Backfill”).

As cortas podem ser utilizadas como instalações para a deposição de rejeitados em locais onde existam cortas em fim de vida, desde que não constituam risco para saúde e segurança das operações (ligadas a trabalhos ativos) e em que não haja risco de esterilização dos recursos minerais (MEND, 2017).

A deposição subaquática num lago profundo ou em ambiente fluvial e marítimo (“Offshore Disposal”), são métodos que apesar de pouco utilizados podem ser úteis em algumas circunstâncias específicas, no entanto a deposição em ambiente fluvial e marítimo deve ser considerada como um método de último recurso (Vicky, 1990).

Estas metodologias são aplicadas em casos onde existe potencial para a geração de ácido derivada da natureza sulfuretada dos resíduos mineiros a gerir, ou locais onde não exista espaço disponível em terra para esse armazenamento. Os seus custos são também na generalidade mais baixo comparativamente com as soluções em terra. De acordo com o documento BREF 2018, e à data da sua redação, menos de 1% dos resíduos de extração provenientes do processamento de minerais são depositados no mar a nível mundial e têm vindo a ser tomadas várias iniciativas para eliminar gradualmente ou limitar a eliminação de resíduos de extração no mar.

O enchimento de vazios de exploração subterrânea (“backfill”) é uma solução complementar à gestão de resíduos, uma vez que não elimina a necessidade da deposição em instalações de superfície, mas minimiza, podendo reduzir significativamente o tamanho necessário destas instalações e conseqüente e custos de construção. É também uma boa prática para a reutilização interna de resíduos, para além de ser uma prática essencial para a continuidade do desenvolvimento da exploração da mina.

Todas as técnicas descritas acima visam apenas a deposição de rejeitados, sendo que tipicamente o escombro é depositado em escombrelas, mas muitas vezes utilizado como material de construção dos aterros de confinamento. Existem também técnicas de deposição de rejeitados em co-deposição com escombro, em que ambos os resíduos são depositados na mesma instalação com graus de mistura diferentes consoante o objetivo e técnica.

Embora o termo geral "co-deposição" (co-disposal) se refira à mistura dos fluxos de resíduos rejeitados e escombro numa mesma instalação, é utilizada outra terminologia na indústria mineira para definir o ponto em que a mistura ocorre ou a forma como os fluxos de resíduos independentes são colocados. Estes termos são resumidos a seguir:

- Co-mistura (co-mingling) - Os rejeitados e o escombro são transportados independentemente e misturados (geralmente por meios mecânicos) numa instalação de armazenamento de resíduos ou como um único fluxo de descarga quando bombeados. A mistura promove o preenchimento dos espaços vazios para maximizar a densidade do material.
- Co-colocação (co-placement) - Os rejeitados e o escombro são transportados de forma independente, mas não misturados para formar um único fluxo de descarga. Exemplos disso são o escombro depositado numa instalação de rejeitados ou escombro utilizado para criar bermas internas ou muros de contenção de uma instalação de rejeitados.
- Co-deposição (co-deposition) - Muito semelhante à co-colocação, mas os fluxos de resíduos são geralmente colocados em camadas independentes, permitindo que os rejeitos depositados entrem naturalmente nos vazios da rocha do escombro subjacente. É então adicionada uma nova camada de escombro e o processo continua, encapsulando o escombro no meio dos rejeitados.

2.3.3. Gestão de águas

A água é um recurso crítico para todas as operações mineiras sendo utilizada em todos os processos, desde o controle de poeira, processo de extração e processamento de minerais, até as necessidades de água para consumo dos trabalhadores. Dependendo do enquadramento regional, climático e hidrogeológico da mina, assim como das características do minérios extraídos e técnicas de processamento, os desafios na gestão de água podem ser muito variados, mas estão invariavelmente associados à gestão da quantidade (balanços hídricos positivos ou negativos) e da qualidade.

A água após integração no processo mineiro e industrial e quando em contacto com as instalações de resíduos ou áreas industriais contaminadas, torna-se ela própria um resíduo mineiro, que carece de soluções adequadas de gestão.

Quer seja para reutilização dentro dos processos mineiros quer seja para a sua libertação no meio ambiente, é importante garantir que a qualidade da água não impacta nem o processo de concentração de minérios e trabalhos subterrâneos nem o ambiente recetor do efluente descarregado.

Considerando que as taxas de recirculação de água influenciam a sua qualidade e as necessidades de tratamento, estas que devem ser alvo análise e avaliação específica nas fases de viabilização e desenvolvimento de projeto.

O ciclo da água na exploração mineira é complexo e deverá estar alinhado com todo o ciclo de vida da mina, desde a fase de planeamento e viabilidade até ao pós-encerramento. Para uma gestão de água bem sucedida devem ser desenvolvidos planos de gestão de água com a definição das estratégias que garantam: a supressão das necessidades de água para a operação; a minimização do potencial de contaminação da água superficial e subterrânea; a minimização da entrada de água não necessários à manutenção da operação e que exija posterior necessidade de armazenamento e/ou tratamento; a definição da tipologia de tratamento mais adequada para garantia da qualidade necessária para reutilização ou cumprimento dos parâmetros regulamentares para descarga a custos viáveis para a operação. Os planos de gestão devem incluir a descrição das metodologias de controlo do balanço hídrico (diagrama de fluxos (Figura 23), caudalímetros e softwares de apoio), metodologias de monitorização do balanço hídrico, preferencialmente acompanhadas de ferramentas de modelação que suportem as decisões de gestão e validem as técnicas aplicadas para a gestão do balanço hídrico.

A gestão de águas é indissociável da gestão dos resíduos mineiros, não só porque como já referido anteriormente, ela própria é um resíduo mineiro mas também porque o balanço hídrico está interligado com o balanço de fluxos dos rejeitados.

O balanço hídrico de uma mina é um fator relevante na própria definição da tipologia de deposição de rejeitados a aplicar. Tecnologias de espessamento, ao contrário das opções de deposição subaquática, são boas opções para projetos em que o balanço hídrico seja negativo, por permitirem uma taxa de recuperação de água superior e minimizarem as perdas por evaporação. Nestes casos a disponibilidade de água para reutilização no processo industrial é maior minimizando a quantidade de água fresca importada necessária para a operação (Cacciuttolo, 2022).

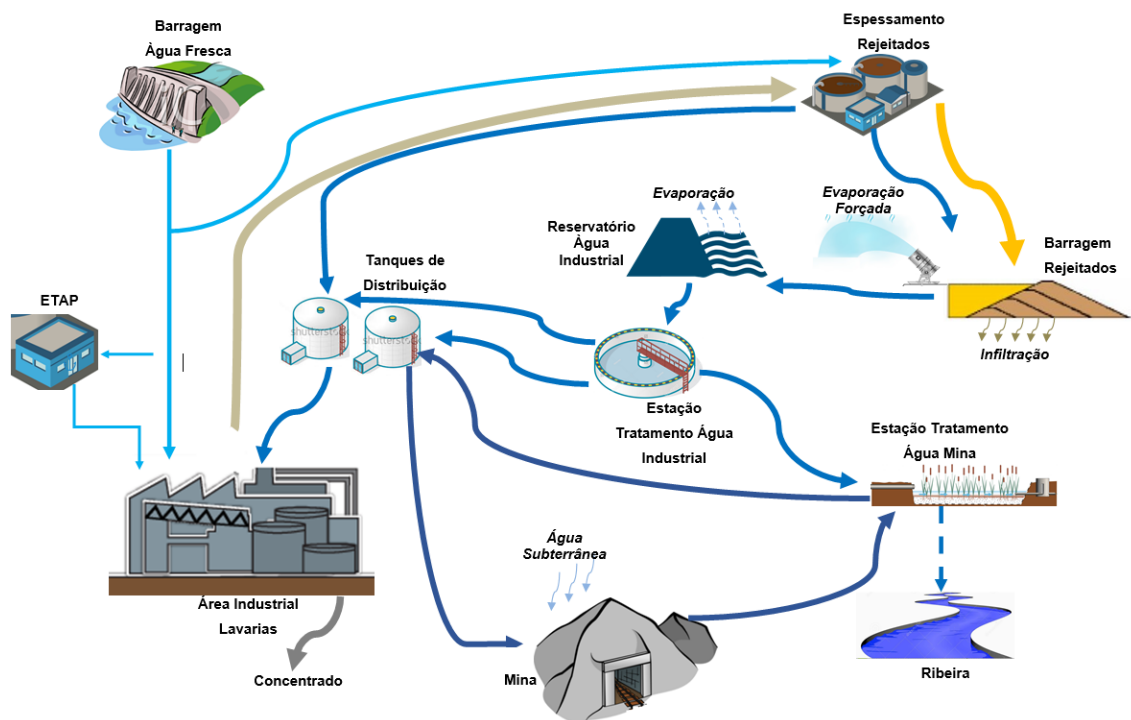


Figura 23. Exemplo de diagrama de fluxo de águas simplificado (Neves-Corvo)

A gestão da água dentro das instalações de armazenamento de resíduos em forma de barragem, vai para além da gestão quantitativa e qualitativa da mesma, sendo um requisito essencial na estabilidade física da instalação e sua segurança.

A correta identificação dos fluxos e caudais operacionais a gerir dentro da instalação de deposição, assim como a precipitação que cai diretamente sobre as instalações, são fatores essenciais que deverão ser quantificados de forma a garantir a sua gestão e armazenamento de forma segura.

Durante a fase de projeto deverão ser desenvolvidos os estudos hidrológicos que sustentam o dimensionamento das estruturas de descarga de segurança das instalações, de acordo com os requisitos e legislação aplicável para períodos de retorno adequados à classificação de risco dessa mesma estrutura, garantindo a rápida drenagem da água acima das cotas do descarregador de emergência, evitando o galgamento das estruturas de confinamento que potencialmente poderiam levar ao colapso das mesmas.

O correto cálculo do caudal de cheia para os diferentes períodos de retorno permite também a definição de regras de operação para a gestão de água da instalação, de forma garantir a capacidade de encaixe sem descarga para o caudal de cheia ambiental definido.

De uma forma genérica para todas as instalações de resíduos em forma de barragens (barragens de rejeitados e/ou barragens de água contaminada) os projetos e as regras operacionais devem prever um volume adequado para o armazenamento de água, e níveis de operação, incluindo:

- Volume para gestão de níveis normais de operação que deverá oscilar entre um nível mínimo de água armazenada, que permita a continuidade das operações de bombagem de águas para recirculação, a sedimentação de finos e, em alguns casos, para a atenuação geoquímica da água a ser recirculada, e o nível máximo de operação, sendo que entre este dois níveis deverá ser garantido o armazenamento temporário das aflúências sazonais normais.
- Armazenamento do volume de cheia ambiental – definido inferiormente pelo nível máximo de operação e superiormente pelo nível de pleno armazenamento (cota de descarregador de cheias de emergência), que permita o armazenamento do volume do caudal de cheia ambiental definido, sem que haja descarga de água para o meio ambiente.
- Passagem e descarga em segurança pelo descarregador de cheias, do caudal de cheia definido em projeto para garantir a integridade das barragens de contenção, definido pelo nível de máxima cheia.
- Folga acima do nível de máxima cheia para acomodação de efeito onda.

Na Figura 24 estão representados esquematicamente os conceitos de níveis de operação e de cheia que deverão ser considerados de forma a garantir que a gestão da água nas instalações de resíduos em forma de barragens permitam tanto a segurança da barragem como a segurança ambiental dado que a qualidade da água é frequentemente inadequada para ser libertada para o ambiente.

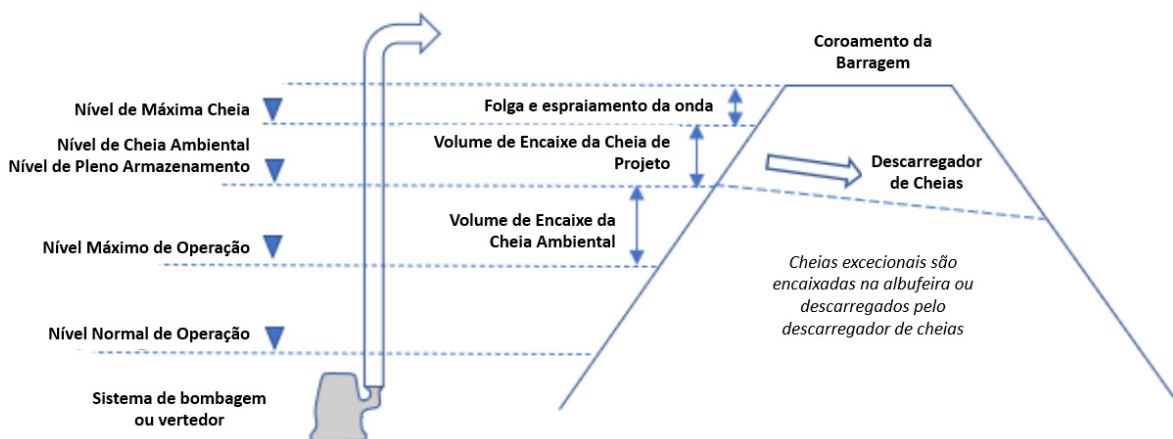


Figura 24. Representação esquemática níveis de operação e de cheia (adaptado de ICOLD,2022)

Estas regras de operação são especialmente importantes para barragens de armazenamento de água e também nos casos de barragens de rejeitados de deposição submersa em que a capacidade de armazenamento de água está continuamente a ser modificada pelos rejeitados depositados e também pelos sucessivos alteamentos dos aterros da barragem.

Para os casos de deposição emersa, estes conceitos não se aplicam diretamente, sendo que a gestão de água deverá ser efetuada em reservatório ou secção à parte da área de deposição ativa, devendo ser mantidas no entanto os critérios de dimensionamento de cheia de projeto e folgas para garantia da segurança das infraestruturas de contenção.

Os planos detalhados de deposição com recurso a softwares de modelação são ferramentas importantes na gestão das águas superficiais em instalações com deposição de rejeitados de forma emersa, na medida em que permitem simular a localização, volumes e cotas de lagonagem dentro da instalação em cada fase de construção/deposição (Figura 25). O recurso a estas ferramentas possibilita um planeamento adequado dos pontos de deposição em coordenação com as necessidades construtivas reduzindo o risco de operação das instalações.

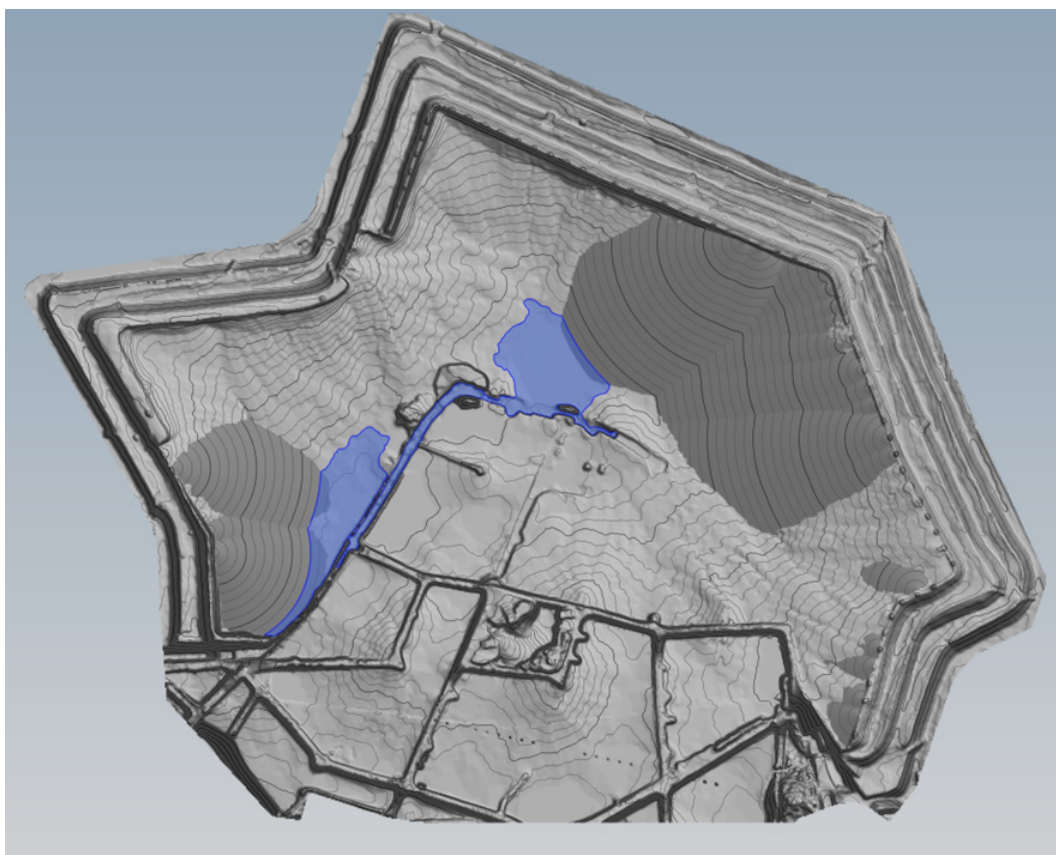


Figura 25. Exemplo de modelação de deposição de rejeitados e lagonagem (Neves-Corvo)

(página propositadamente em branco)

Capítulo III

Gestão de Resíduos Mineiros em Neves-Corvo

(página propositadamente em branco)

3. Gestão de Resíduos Mineiros em Neves-Corvo

3.1. Mina de Neves-Corvo: apresentação da Empresa

A mina de Neves-Corvo localiza-se na região do Alentejo, Portugal, a cerca de 220 km a sul de Lisboa, na orla ocidental da Faixa Piritosa Ibérica.

A SOMINCOR – Sociedade Mineiras de Neves-Corvo S.A. é concessionária da Mina de Neves-Corvo através do contrato de concessão e exploração do depósito mineral de cobre, zinco, chumbo, prata, ouro, estanho e cobalto.

A anomalia gravimétrica de parte do jazigo foi identificada em 1971, durante uma campanha de prospeção geofísica iniciada em 1966 pelo antigo Serviço de Fomento Mineiro no sector português da Faixa Piritosa Ibérica. Em 1977, com a continuação dos trabalhos de prospeção por parte de um consórcio empresarial privado, é descoberta a primeira das massas minerais que constituem o jazigo com teores notáveis de cobre, zinco, chumbo e prata e confirmada a viabilidade da sua exploração e autorizado, em 24 de Julho de 1980, o investimento de capitais estrangeiros na SOMINCOR.

A SOMINCOR foi fundada em 1980 com 51% pertencentes aos Estado Português através da atual EDM e 49% do consórcio francês Peñarroya+BRGM, que por sua vez vendeu a sua participação ao Grupo Rio Tinto em 1985. Em 2004 a SOMINCOR foi adquirida na totalidade pela EuroZinc e em 2006 a Lundin Mining, passou a ser a detentora da concessão em resultado da sua fusão com EuroZinc, mantendo-se até à data.

A atividade de extração e preparação de minérios metálicos não ferrosos teve início em Novembro de 1988, apenas com exploração de minério de cobre, seguindo-se em 1990 a exploração de minério de estanho, que se estendeu até 2005. A exploração de zinco teve início em 2006.

Neves-Corvo é um dos principais depósitos de sulfuretos maciços da Faixa Piritosa Ibérica, que se estende por uma faixa de mais de 200Km de comprimento e cerca de 60 Km de largura, entre Portugal e Espanha (Figura 1). Trata-se de uma das principais províncias metalogénicas a nível mundial devido ao elevado número de depósitos e ocorrências minerais.

Atualmente estão definidas sete massas de sulfuretos em Neves-Corvo, identificadas como Neves (Norte e Sul), Corvo, Graça, Zambujal, Lombador (Norte e Sul), Semblana e Monte-Branco (este último não se encontra representado na Figura 3).

O acesso ao fundo da mina é efetuado por uma rampa a partir da superfície (rampa do Castro) e a extração de minério e escombro é efetuada pelo Poço de Santa Bárbara (Figura 26).

Em Neves-Corvo são produzidos concentrados de cobre, zinco e chumbo obtidos pelo processamento de minério de Cobre e de Zinco em duas lavarias. A Lavaria do Cobre tem uma capacidade de produção anual de aproximadamente 2.6 milhões de toneladas de minério de cobre e a de Zinco de 2.5 milhões de toneladas.



Figura 26. Vista da área industrial de Neves-Corvo: parque de minério e Poço de extração de Santa Bárbara ao fundo

Os concentrados produzidos são expedidos para os clientes por via ferroviária (cobre e zinco) e rodoviária (chumbo), e posteriormente via marítima desde as suas instalações no Porto de Setúbal (Figura 27), e do Porto de Sines no caso do chumbo.



Figura 27. Instalações Somincor no Porto de Setúbal

A linha ferroviária que serve a SOMINCOR foi construída entre 1990 e 1992 permite não só a expedição de concentrado, mas também no retorno o transporte de areia, proveniente do areeiro da SOMINCOR, localizado em Santa Margarida do Sado, usada no enchimento dos desmontes da mina.

3.1. Mina de Neves-Corvo: Enquadramento geológico e hidrogeológico

A Mina de Neves-Corvo encontra-se na extremidade SE de um dos mais importantes anticlinais da Faixa Piritosa Ibérica (FPI), o anticlinal Neves-Corvo – Rosário, cuja orientação é NW-SE.

O afloramento das rochas na região é largamente dominado pelas litologias do Complexo Vulcano-Sedimentar (CVS), com o Grupo Filito-Quartzítico subjacente (GPQ) aflorante na região de Lançadoiras, a 1 km a NW da mina de Neves-Corvo.

A sucessão litológica da Faixa Piritosa é estratigraficamente coberta pelos turbiditos da Formação Mértola (CMT) do Grupo do Flysch do Baixo Alentejo (Figura 28), mas podem ocorrer imbricações tectónicas entre esta formação e as outras unidades litoestratigráficas da Faixa Piritosa. A estratigrafia do antifórma é composta por três grupos principais de litologias, todos pertencentes ao CVS: rochas vulcânicas félsicas ($V\alpha$), rochas vulcânicas máficas ($V\beta$) e xistos negros com intercalações de sedimentos vulcanogénicos finos (XV) nos quais as rochas vulcânicas estão intercaladas.

As rochas vulcânicas félsicas são dominantes no antifórma Neves-Corvo – Rosário, onde formam o núcleo aflorante dessa estrutura tectónica. Os tipos de rochas dominantes são os riólitos, riodacitos, com chertes e jaspes na parte superior.

As rochas vulcânicas máficas compreendem, principalmente, basaltos, doleritos, microdioritos e raros andesitos. São comuns lavas de almofada e hialoclastitos. No topo das rochas vulcânicas existem calcários lenticulares que contêm conodontes da idade Viseana (Oliveira, 1983).

As litologias compreendem xistos negros com intercalações de sedimentos vulcanogénicos, xistos siliciosos e siltitos escuros de camada fina e xistos roxos. Os nódulos siliciosos de óxidos de ferro e manganês, fosfato e siderite podem ser encontrados dispersos em todos esses xistos.

A Formação de Mértola é formada por turbiditos clássicos caracterizados por níveis de grauvaques, de espessura e granulometria variáveis, alternadas com bandas de xistos e siltitos. As camadas de grauvaque mostram as estruturas sedimentares típicas, que são comuns na sedimentação clástica gravítica de águas profundas (turbiditos s. l.). A espessura dada por secções expostas e testemunhos de sondagens é variável, dependendo dos blocos tectónicos, e pode

chegar a 1500 m. Os fósseis de *Posidonia becheri*, amonóides e palinomorfos indicam uma idade do Viséano tardio (LNEC, 2019).

Todas as unidades estratigráficas são afetadas por dobras de orientação NW-SE, com clivagem associada a mergulhar 60 a 70° na direção NE. As dobras, com vergência para SW, variam de isoclinais, nas unidades CVS e GPQ, para dobras assimétricas, com flancos normais longos e flancos inversos curtos, na Formação de Mértola. O CVS pode exibir uma clivagem anterior, também de orientação NW-SE, não tão penetrativa quanto a clivagem principal. Podem ocorrer correimentos paralelos à clivagem principal, alguns estendendo-se continuamente por vastas áreas, bem como falhas tardias quase verticais agrupadas em duas famílias principais: NW-SE, direitas e NE-SW, esquerdas (Oliveira, 1983; Korn, 1997; Oliveira et al., 2004).

Os solos são maioritariamente pouco desenvolvidos, não tendo na sua maior parte horizontes bem definidos, característica que define os Litossolos. Estes solos são maioritariamente ácidos e quase todos os minerais presentes na constituição dos horizontes superficiais destes solos são herdados da rocha originária (Oliveira et al., 2016).

O modelo hidrogeológico conceptual definido, tendo em conta as diferenças litológicas, estruturais e hidrogeológicas entre as diferentes unidades, propõe três sistemas (LNEC, 2019):

- 1) um aquífero freático do tipo fissurado/fracturado, superficial, nos primeiros 50 metros de profundidade e na zona fraturada e de alteração das rochas;
- 2) um aquífero intermédio, entre os 50 m de profundidade e o topo das massas de sulfuretos (aproximadamente 150 m de espessura), caracterizado por uma matriz de baixa permeabilidade, mas com falhas e fraturas verticais amplamente espaçadas que, com o rebaixamento dos níveis, podem funcionar como planos de circulação preferencial com condutividade hidráulica média a alta;
- 3) um aquífero profundo de águas que circulam nas massas de sulfuretos polimetálicos altamente fraturadas e rochas envolventes. Este aquífero, que enquadra as mineralizações a topo e na base, tem cerca de 1000 m de espessura desde a cota 0 m onde se situa o topo das massas de sulfuretos até à cota -1000 m, base atualmente conhecida das massas.

A circulação subterrânea é mista, de meio fracturado e fissurado. No entanto, dá-se essencialmente por caminhos preferenciais condicionados pela megaestrutura: nas falhas, nos correimentos tectónicos, nas fracturas, nas descontinuidades litológicas e é muito menor através de fissuras da rocha.

As principais características dos aquíferos observadas, conjugadas com a informação litostratigráfica apresentam-se esquematizadas na Figura 28.

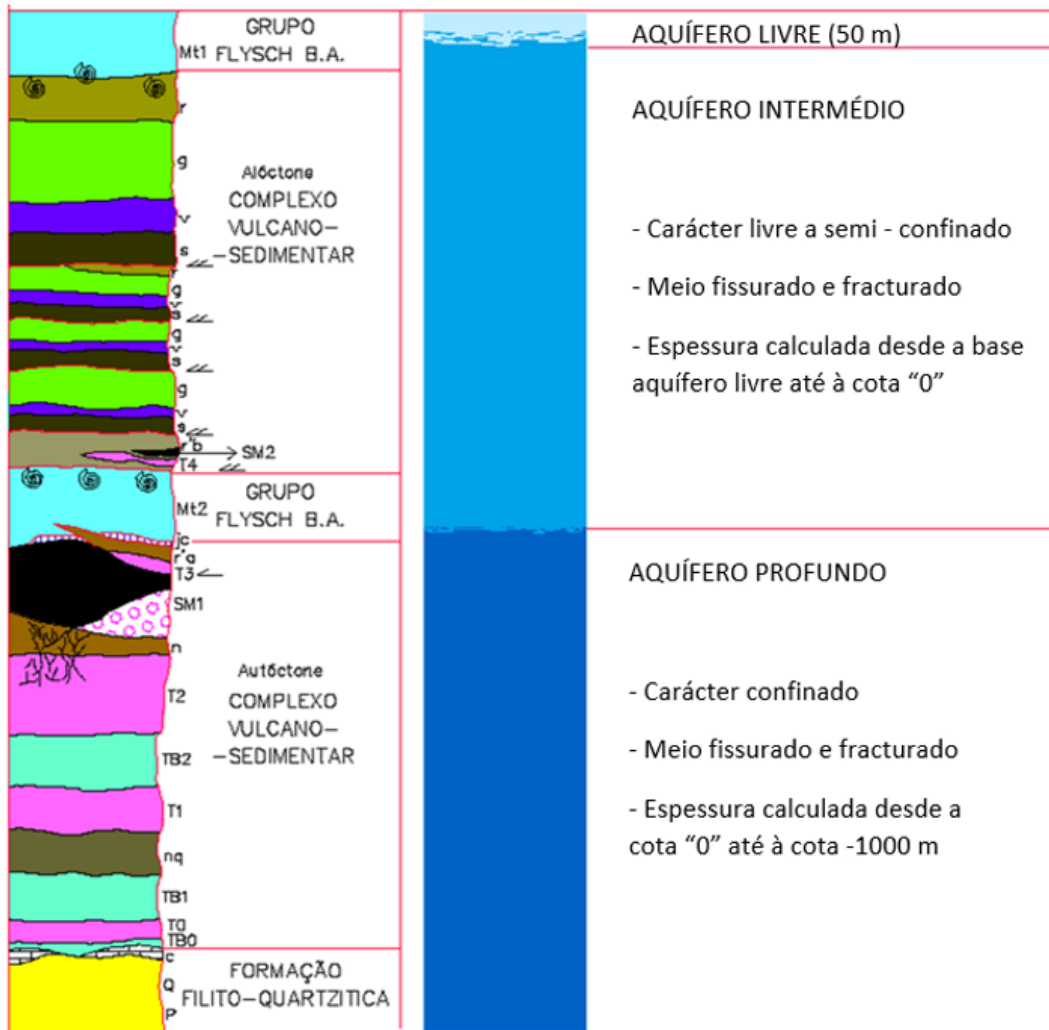


Figura 28. Aquíferos de Neves-Corvo com a correspondente coluna litostratigráfica (adaptada de Carvalho et al., 1993; in Batista, 2003 e LNEC, 2019).

3.2. Mina de Neves-Corvo: Exploração de minério e processo de concentração

Inicialmente, em Neves-Corvo, foram definidos três diferentes tipos de mineralização: “rubané”, sulfuretos maciços e fissural (Pacheco, 2001).

“Rubané” é um termo que foi introduzido pelos geólogos franceses na década de 1980, e deriva do francês “ruban” que significa faixa ou banda, numa analogia à disposição macroscópica deste minério. É utilizado para designar as alternâncias de bandas centimétricas, paralelas, de xistos negros clorítico-sericíticos, chertes/carbonatos e vulcânicas ácidas, com bandas, veios e pequenas lenticulas de sulfuretos. Localmente, o rubané apresenta um aspeto venular, com disseminações e filonetes de pirite e calcopirite que se entrecortam e penetram no nível dos jaspes e carbonatos

por remobilização e recristalização dos sulfuretos. Quando contém também cassiterite, esta ocorre na base da zona rica em calcopirite, obedecendo assim à zonalidade típica de Neves-Corvo. O *rubané* aparece no topo dos sulfuretos maciços e praticamente só se encontra na massa do Corvo, com todas as indicações de que se trata de um minério colocado a teto da massa tectonicamente (Pacheco, 2001; Pacheco et al., 1998).

Os sulfuretos maciços são o tipo de mineralização mais abundante em Neves-Corvo. São constituídos por sulfuretos de granulometria muito fina, observando-se por vezes estruturas do tipo “graded bedding” e “slumps”. O mineral mais abundante é a pirite, seguida da calcopirite, cassiterite, tetraedrite-tenantite e da bornite nas lentículas cupríferas e de esfalerite, tetraedrite-tenantite e galena nas lentículas zincíferas. Sílica, carbonatos e barite são os minerais de ganga mais frequentes.

O fissural é uma mineralização do tipo stockwork, que ocorre lateralmente e por baixo de todas as massas mineralizadas de Neves-Corvo, associada aos xistos negros e vulcânicas ácidas do muro. Caracteriza-se por uma rede de veios e filonetes mineralizados, de espessura variável, que se entrecruzam e cortam as rochas encaixantes de muro, tornando-se os sulfuretos cada vez mais abundantes com a proximidade aos sulfuretos maciços. As rochas encaixantes apresentam uma intensa alteração hidrotermal, principalmente clorítica e sericítica, e os minerais que aparecem com maior abundância são a pirite, a calcopirite, a esfalerite e a cassiterite (Pacheco, 2001; Pacheco et al., 1998).

Atualmente, com o esgotamento do minério rubané, o término da concentração de estanho e o início do aproveitamento do chumbo, as designações de classificações dos minérios extraídos dividem-se em dois tipos, minério de cobre e minério de zinco, tendo cada um deles algumas subdivisões (Ferreira, 2015).

No caso do minério de cobre, existem três subdivisões (Ferreira, 2015):

- MC, minério de cobre, que designa tanto sulfuretos maciços como fissurais, estando a diferença na quantidade de ganga não-silicatada, que é claramente maior no caso do minério maciço;
- MF, minério fissural do tipo stockwork, designa um minério muito fissural;
- MH, minério “sujo”, com penalizantes, designa qualquer um dos anteriores minérios com altos teores de penalizantes (por exemplo Hg), que normalmente estão associados à esfalerite.

Para efeitos de tratamento, considera-se atualmente os seguintes dois tipos de minérios complexos (Plano Lavra 2021):

- Minérios MZP- é um tipo de minério maciço que apresenta teor de chumbo superior a 2,0% e teores de Zinco superiores a 3,5%. A grande quantidade deste tipo de minério tem levado a algumas alterações no diagrama desta Lavaria, de modo a minimizar-se a passagem destes minerais de chumbo para o circuito de flutuação de Zinco;
- Minérios MZ- trata-se de minérios maciços com teores de Zinco superiores a 3,5%, com um teor de chumbo abaixo de 2%. Esta quantidade de chumbo permite a produção do respetivo concentrado.

Para a contabilização dos recursos minerais são usados os seguintes teores de corte (Plano Lavra, 2021):

- Mineralização de Estanho - $\geq 1\%Sn$;
- Mineralização de Cobre - $\geq 1\%Cu$;
- Mineralização de Zinco - $\geq 4,5\%Zn$;
- Mineralização de Chumbo - $\geq 1\%Pb$;
- Mineralização de Cobre e Zinco (MCZ) - $\geq 1\%Cu$;
- Mineralização de Zinco e Chumbo (MZP) - $\geq 4,5\%Zn$.

O minério é desmontado com recurso a explosivos. Atualmente as variantes mais utilizadas de métodos de desmonte em Neves-Corvo são o *Drift and Fill* (Galeria e Enchimento) onde os jazigos são pouco espessos e de teor elevado e o *Bench and Fill* (Bancada e Enchimento) onde o minério tem geralmente uma espessura superior a 15 m e teor mais baixo. O *Mini-Bench and Fill* é um híbrido de *Bench and Fill*, usado quando a espessura do minério tem entre 10 e 15m (Plano de Lavra, 2021). O enchimento é efetuado de forma a ocupar o vazio criado pela exploração do minério, permitindo o avanço com desmontes adjacentes e servindo também como plataforma de trabalho.

Ainda antes do processo de extração do minério pelo poço, o material é britado em profundidade para obtenção de uma granulometria inferior a 200 mm (Relatório anual Exploração SOMINCOR para DGEG, 2022), sendo o minério de zinco encaminhado para o parque de minério de zinco e o de cobre para o parque de minério de cobre, sendo separado em pilhas de acordo com a sua classificação para subsequente alimentação do processo das lavarias.

As lavarias são as instalações industriais onde se dá o tratamento e beneficiação do minério por processos físicos e/ou químicos, em circuitos mais ou menos complexos, cujo objetivo é a separação das partículas que contêm predominantemente a espécie mineralógica útil (o concentrado) das partículas contendo predominantemente as gangas (estéril ou rejeitado) (Dias, 2015).

No processo da lavaria existem duas operações mineralúrgicas fundamentais, a libertação e a separação, sendo a libertação a individualização das partículas do mineral útil e a separação a concentração destas partículas.

O processo de concentração em Neves-Corvo é a flutuação, que consiste num processo de separação físico sólido-sólido que ocorre em polpa (ou seja, solução de minerais e água). Com a adição de reagentes seletivos, as superfícies dos minerais preferidos tornam-se hidrofóbicas, e assim aderem a bolhas de ar introduzidas na polpa, sendo então transportadas para a superfície. Deste modo, as partículas com interesse, hidrofóbicas, são separadas das partículas de ganga, hidrófilas.

Atualmente, desde que entra numa das lavarias, o minério passa pelos seguintes processos: crivagem, britagem, moagem, classificação, flutuação e espessamento. Na lavaria do zinco o processo de britagem e moagem é atualmente um processo misto com um moinho semi-autógeno (SAG -Mill) que eliminou o processo isolado de britagem.

O concentrado obtido em cada umas das lavarias, após espessamento é filtrado para posterior carregamento e distribuição, e a polpa de rejeitado produzida é enviada para uma das instalações de ciclonagem, para separação das partículas mais grosseiras das mais finas. O fluxo de partículas mais grosseiras segue para ser utilizado nas técnicas de enchimento dos vazios de escavação da mina e o fluxo das partículas mais finas, ou a totalidade dos rejeitados quando a estação de ciclonagem está parada, segue para a Central de espessamento e deposição na instalação de resíduos do Cerro do Lobo. A água resultante do processo de espessamento é recirculada de volta para o processo das lavarias.

A Figura 29 contém o esquema representativo do processo de industrial de superfície de Neves-Corvo, conforme descrito.

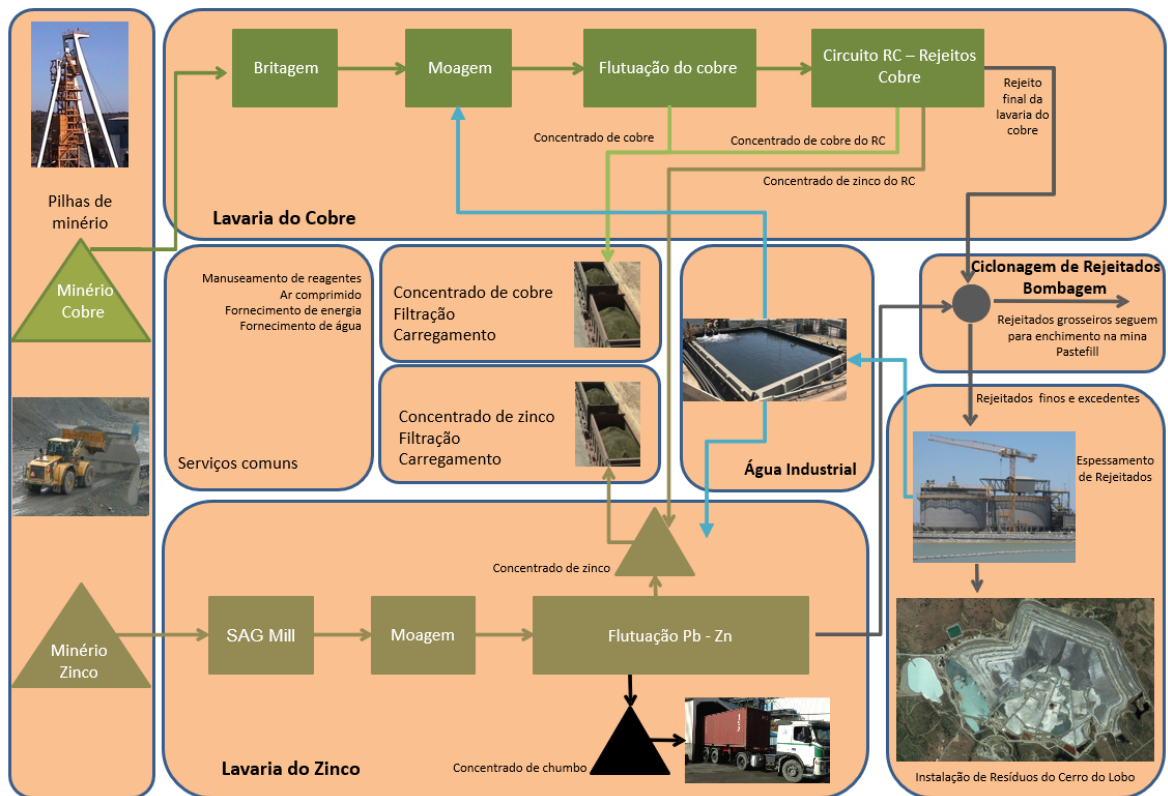


Figura 29. Esquema representativo do processo industrial de superfície de Neves-Corvo

3.1. Resíduos Mineiros da Extração de Minérios Metálicos Produzidos em Neves-Corvo

3.1.1. Escombro

Escombro é a designação dada ao conjunto de materiais rochosos provenientes da atividade de desenvolvimento da infraestrutura mineira, nomeadamente os trabalhos de desmonte da rocha encaixante, que permite o acesso à exploração dos jazigos minerais.

Antes de ser extraído (Figura 30) o escombro é britado, ficando com uma granulometria contínua e inferior a 200 mm.



Figura 30. Pilha de Escombro Extraído

As curvas granulométricas típicas do escombro extraído são apresentadas na Figura 31 (Relatório Anual de Exploração Somincor de 2022)

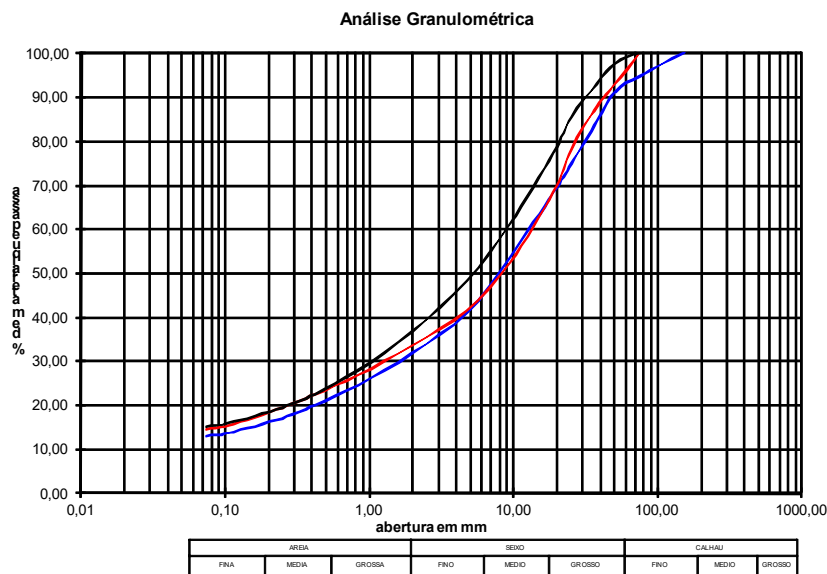


Figura 31. Curvas granulométricas típicas do escombro

No enquadramento geológico de Neves-Corvo esses materiais rochosos são os constituintes do Complexo Vulcano-Sedimentar sendo essencialmente rochas vulcânicas ácidas, grauvaques, xistos cloríticos, xistos verdes, xistos violetas, xistos negros e ainda jaspes e carbonatos. Estas rochas são constituídas maioritariamente por quartzo, moscovite e minerais do grupo das clorites, contendo alguns sulfuretos disseminados que resultam dos processos mineralizantes inerentes à génese do jazigo.

A composição química do escombro, de acordo com valores médios resultantes de campanha de amostragem e caracterização laboratorial realizada entre 2016 e 2017 é apresentada no Quadro 3 e os seus minerais constituintes no Quadro 4.

Quadro 3. Composição Química do Escombro

Composição Química
Si – 64%
Fe – 15%
Al – 12%
S – 4%
Mg e K – 2%
Ca – 1%
Cu – 4275 ppm
Zn – 1327ppm
Ar – 1120 ppm

Quadro 4. Composição Mineralógica do Escombro

Composição Mineralógica
Quartzo – 49%
Moscovite – 37%
Minerais do grupo das Clorites (Chamosite e Clinocloro) – 7%
Pirite – 6%
Gesso, Jarosite, Calcopirite, Anquerite, Brownite, Bustamite, Calcite e Dolomite - 3 a 1 %

As 14 amostras colhidas na campanha incluem amostras de escombro já depositado em escombreira, abrangendo várias localizações e conseqüentemente várias “idades”, e escombro “fresco” recentemente extraído (Figura 32).



Figura 32. Exemplos de amostras de escombro a) e b) amostras colhidas na escombreira; c) amostra escombro “fresco” extraído do jazigo de Corvo (mais escuro) e Zambujal (mais claro)

Para além da determinação da composição mineralógica e química (determinação dos óxidos principais por fusão de borato de lítio seguido de acabamento por ICP-OES e elementos traço por digestão de água-régia, seguido de acabamento de ICP-MS), foram efetuados testes de determinação do potencial de neutralização e potencial de acidez para cada amostra, utilizando a metodologia de referência europeia “EN 15875 :Characterization of waste-static test for determination of acid potential of sulfidic waste”. Os resultados obtidos para o potencial de neutralização (PN) foram sistematicamente baixos, na maioria das amostras abaixo do limite de quantificação <0,25 Kg CaCO₃/Ton e tendo para o potencial de acidificação sido obtido o valor médio de 117,52 Kg CaCO₃/Ton. Com base resultados obtido e respetivo cálculo do balanço de potencial de neutralização, confirmou-se que o mesmo é negativo comprovando o potencial de geração de ácido deste material.

Para além da caracterização geral de cada amostra foi também efetuado um compósito dessas amostras para determinação das características de perigosidade do escombros tendo os resultados classificando o mesmo como “Não Inerte, Não Perigoso” segundo o regulamento (UE) nº 1357/2014.

Apenas para referência da caracterização existente deste resíduos 2017-2018 a caracterização química dos escombros foi complementada ainda com NAG (“net acid generation”) e testes cinéticos, de entre os quais, teste de lixiviação com água desionizada e também soluções de diferentes pHs, testes de câmara húmida (Figura 33) e teste de percolação de fluxo vertical com análise química dos eluatos resultantes. Os resultados desses testes foram usados para suporte dos estudos de modelação e análise de comportamento geoquímico, associados ao projeto de licenciamento da expansão da capacidade da Instalação de Resíduos do Cerro do Lobo para co-deposição de escombros e rejeitados.



Figura 33. Câmara Húmida escombros (utilizando o procedimento ASTM D5744 2007)

3.1.2. Rejeitado

O resíduo resultante do processo de concentração de minério nas lavarias é o rejeitado (Figura 34). Este é classificado como “Não Inerte, Perigoso” segundo o regulamento (UE) nº 1357/2014.

Trata-se de um material bastante fino, de granulometria inferior a 100 μm e com d_{80} da ordem dos 40 μm a 50 μm .



Figura 34. Ponto de descarga de Rejeitados após espessamento

No que respeita à sua composição mineralógica e química, este é maioritariamente constituído pelo mineral Pirite, tendo por isso a sua constituição química uma alta percentagem de Ferro. O Quadros 5 e Quadro 6 apresentam as concentrações dos principais elementos e composição mineralógica média do rejeitado “standard”, produzidos em Neves-Corvo, respetivamente.

Quadro 5.Composição Química dos Rejeitados (Relatório Anual de Exploração Somincor de 2022)

SUBSTÂNCIAS	CONCENTRAÇÃO
Cobre	0.66 %
Chumbo	0.25 %
Zinco	0.74 %
Estanho	0.16 %
Enxofre	0,235
Ferro	27.6 %
Arsénio	5095 ppm
Antimónio	590 ppm
Bismuto	67 ppm

Quadro 6.Composição Mineralógica dos Rejeitados (Relatório Anual de Exploração Somincor de 2022)

Mineralogia	% em peso	Composição Química
Pirite	88,4	Fe S ₂
Calcopirite	0,6	Cu Fe S ₂
Esfalerite	1	(Zn, Fe) S
Galena	0,3	(Pb, Fe) S
Tetraedrite-Tenantite	0,1	(Cu, Fe) ₁₂ (Sb, As) ₄ S ₁₃
Gangas não metálicas	9,2	-

#

Também os rejeitados foram sujeitos às mesmas baterias de teste efetuadas em 2017-2018 com o escombros, já referidas no subcapítulo anterior.



Figura 35. Superfície de Rejeitado espessado depositado em secagem

3.1.3. Águas Industriais e Lamas Resultantes dos Processos de Tratamento

As águas industriais, de mina ou de contacto, geradas a partir do contacto água bruta com o minério e rejeitados nos processos de tratamento, e as águas pluviais de escorrência dentro da área industrial e instalações de resíduos passam a ser consideradas contaminadas e constituem um resíduo mineiro, assim como as lamas resultantes de tratamento dessas mesmas águas, com finalidade de descarga no meio recetor ou recirculação.

De modo a minimizar a contaminação das áreas envolventes à área industrial e percurso de adutoras, está implementado em Neves-Corvo um sistema de drenagem superficial de captação e encaminhamento das escorrências originadas por pluviosidade, água de rega para controlo de poeiras, águas de lavagens dos edifícios industriais, limpezas de rotina de manutenção de tubagens e também eventuais roturas das adutoras de transporte de águas contaminadas ou polpa de rejeitados. Esse sistema é composto por 5 barragens e recolha de águas superficiais contaminadas, estrategicamente localizadas no perímetro sul do complexo mineiro, complementado por uma vala de cintura a sul, e por um sistema de valas de drenagem e um tanque de receção que contornam a Escombreira aí existente (Figura 36), de forma a evitar a descarga destas para o exterior da área industrial impedindo a contaminação de solos e da ribeira de Oeiras. As águas armazenadas nestas barragens são muitas vezes reutilizadas dentro dos processos operacionais, nomeadamente para a própria limpeza das adutoras industriais ou então bombeadas para a Instalação de Resíduos do Cerro do Lobo.



Figura 36. Escombreira com barragem de águas contaminadas a Jusante

Este sistema de proteção conta também a existência de reservatórios de emergência localizados em pontos estratégicos e vales adjacentes ao percurso das adutoras de rejeitados e águas industriais contaminadas no percurso entre a área industrial da mina e a área industrial da barragem de rejeitados.

A reutilização da água dentro do processo industrial é uma medida de gestão tanto de um recurso como de um resíduo, permitindo minimizar a necessidade de descarga de água para o meio hídrico recetor, cujo cumprimento de valores limites de emissão acarreta custo de tratamento consideráveis, como também a redução dos volumes de água fresca consumidos.

Em 2013 foram efetuadas adaptações na estratégia de gestão e metodologias de tratamento de água que possibilitaram uma redução no consumo de água fresca. Desde 2016 que o consumo de água fresca em Neves-Corvo é inferior a 900.000 m³/ano (Figura 37) sendo esta redução superior a 80 %.

Atualmente 93% da água utilizada em Neves-Corvo, é água reutilizada para colmatar as necessidades do processo industrial e subterrâneo.

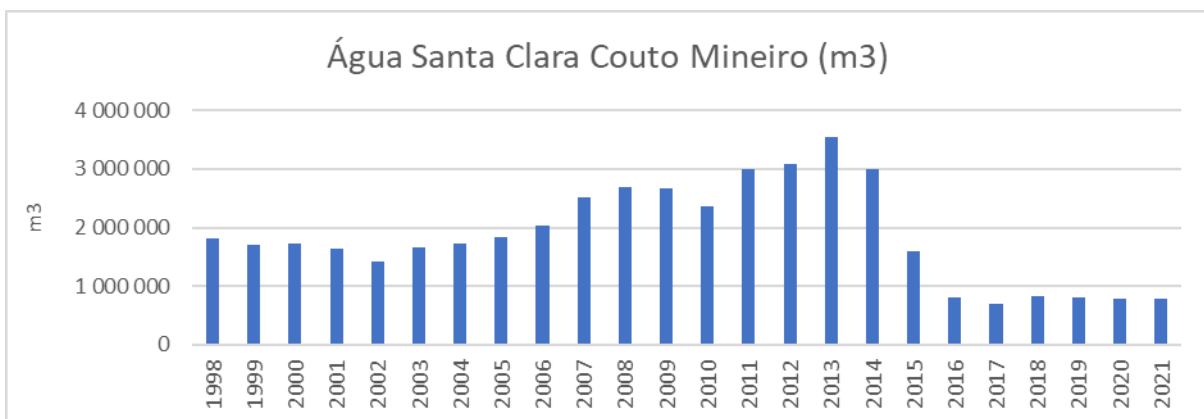


Figura 37. Água fresca (origem barragem de Santa Clara) consumida pela Somincor anualmente

Os métodos de tratamento de águas industriais utilizados para permitir a reutilização de parte da água para substituição de água fresca ou para descarga, geram resíduos (lamas de tratamento) que são geridos conjuntamente com os rejeitados, sendo integrados no processo de espessamento.

3.2. Reutilização dos resíduos dentro da cadeia de geração: Evolução Histórica e aplicação de Melhores Técnicas Disponíveis

A gestão de resíduos mineiros em Neves-Corvo tem sofrido alterações ao longo dos quase 35 anos de operação, tendo vindo a adaptar-se aos diferentes planos de mina e taxas de produção, técnicas disponíveis e legislação.

Para a gestão destes resíduos existem as seguintes instalações de resíduos (Figura 38):

- uma escombreira (Figura 39), de carácter temporário, o que significa que a mesma não poderá subsistir após o encerramento da operação, com capacidade licenciada de aproximadamente 4,7 Mt;
- uma barragem para a deposição de rejeitados (Instalação de Resíduos do Cerro do Lobo – IRCL), atualmente licenciada para 91,3 Mt de resíduos;
- um reservatório de água para gestão das águas industriais, agregada funcionalmente à IRCL (Reservatório do Cerro da Mina – RCM), com capacidade de armazenamento ao Nível de Pleno Armazenamento de aproximadamente 1,5 Mm³.

Todas as instalações são classificadas como Instalações de Resíduos à Categoria A, de acordo com o Anexo II do Decreto-Lei 10/2010, de 4 de fevereiro, pelo que a entidade licenciadora é a Direção Geral de Geologia e Energia (DGGE), de acordo com o ponto i) da alínea a) do Artigo 22º, do mesmo Decreto-Lei, atualizado pelo Decreto-Lei 31/2013 de 22 de fevereiro.



Figura 38. Localização das Instalações de Resíduos de Neves-Corvo (Escombreira, IRCL e RCM)

Existe ainda outra área licenciada para instalação de uma outra escombreira, com projeto final também aprovado, que permitirá o armazenamento definitivo de escombros até ao máximo de 7.5 Mt. No entanto com a maximização das técnicas de reutilização de escombros, foi possível, até esta data, evitar a construção desta estrutura, não se prevendo, também a esta data, que tenha de o ser. Este facto tem um impacto muito positivo em Neves-Corvo, pois a sua construção acarretaria custos de construção e manutenção, assim como aumentaria a área de implantação de instalações de resíduos a manter na fase de pós encerramento.



Figura 39. Vista talude norte da Escombreira 1 – pilha A

Os resíduos contidos na escombreira são essencialmente escombros, no entanto, durante alguns anos, a pilha A da escombreira 1 recebeu alguns resíduos de construção e demolição (RCD), provenientes de trabalhos decorridos no Couto Mineiro.

Desde janeiro de 2016 está em vigor um procedimento ambiental interno SOMINCOR de gestão de resíduos não minerais, na qual apenas são admitidos a depósito na escombreira Resíduos de Construção e Demolição que possuam características quer de natureza, quer de dimensão adequadas á sua mistura e reutilização conjuntamente com o escombros na IRCL:

- Solos/Areias/Terras/Pedra/Betão – com dimensão de 0 a 200 mm,
- Tijolo/Cerâmica/Betuminoso – com dimensão de 0 a 50 mm.

No início da laboração da mina as técnicas de reutilização dos resíduos mineiros na atividade eram praticamente nulas, tendo vindo a ser aplicadas e desenvolvidas ao longo dos anos de operação. Atualmente a Gestão de Resíduos Mineiros de Neves-Corvo assenta em políticas e técnicas de redução de geração de resíduos e de reutilização interna de todos os resíduos mineiros produzidos, em linha com as diretivas comunitárias e melhores técnicas disponíveis.

Nos trabalhos de exploração de minério são utilizadas técnicas de desmonte conjugadas com o posterior enchimento dos espaços vazios, nos quais se integram técnicas de reutilização dos resíduos mineiros. Atualmente as variantes mais utilizadas de métodos de desmonte em Neves-Corvo são o Bench & Fill (Bancada & Enchimento) e o Drift & Fill (Galeria & Enchimento). O enchimento é efetuado de forma a ocupar o vazio criado pela exploração do minério, permitindo o avanço com desmontes adjacentes e servindo também como plataforma de trabalho.

Os diferentes tipos de enchimento utilizados são:

- enchimento com escombros (wastefill)
- enchimento hidráulico (hydraulicfill)
- enchimento com pasta (pastefill)

Tanto o enchimento hidráulico como o enchimento com pasta utilizam a fração mais grosseira dos rejeitados, obtida pelo processo de ciclonagem. O enchimento hidráulico é composto aproximadamente por 3 % de rejeitados, 94 % de areia e 3 % de cimento à qual se adiciona água de forma a obter 75 % de sólidos. No enchimento do tipo pasta a proporção de utilização de rejeitados é muito superior, sendo este composto aproximadamente por 95 % de rejeitados e 5 % de cimento, com uma percentagem de sólidos em peso de 80 %, conferindo a esta mistura uma consistência pastosa onde não existe fase líquida livre.

No que diz respeito à gestão de rejeitados, o enchimento por pasta é o que tem um impacto mais significativo na redução de resíduos mineiros que necessitam de ser geridos em instalações de armazenamento definitivo à superfície (Figura 40).

Desde o início de aplicação desta técnica em 2000, já foram “desviados” da deposição na IRCL mais de 19 milhões de toneladas. Nos últimos 6 anos 40-50% dos rejeitados gerados foram reutilizados no enchimento dos desmontes, eliminando a sua deposição à superfície e consequentemente aumentando o tempo de vida das instalações de resíduos e evitando a importação de matérias-primas, como a areia, para o processo de enchimento.

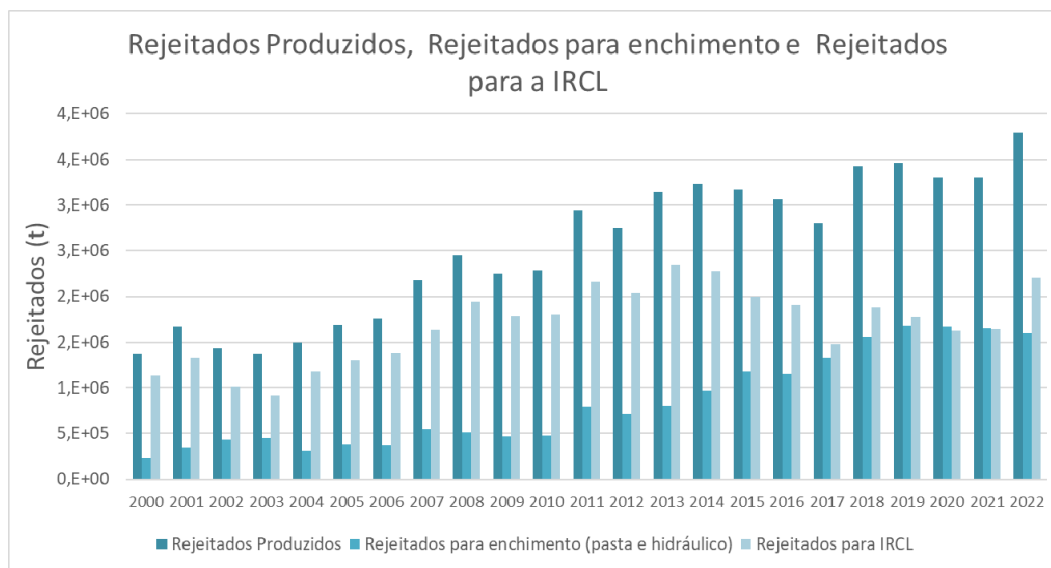


Figura 40. Rejeitados produzidos e seus destinos 2000-2022

A reutilização de escombro no enchimento de galerias é um processo que passou a ser operação corrente desde 2010, e desde essa data tem vindo a aumentar (Figura 41), tendo evitado até à data que mais de 6 milhões de toneladas de escombro fossem extraídas para a superfície.

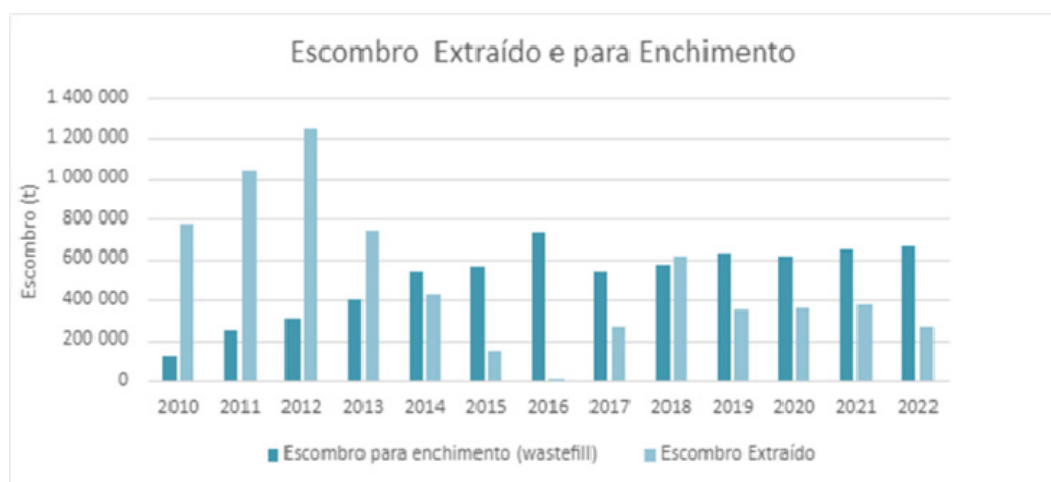


Figura 41. Escombro extraído e utilizado para enchimento 2010-2022

O escombro é constituído por rochas vulcânicas ácidas e alguns xistos negros, contendo sulfuretos disseminados. Por ser britado antes da sua extração possui uma granulometria extensa de 0-200 mm. Embora tenha potencial de geração de drenagem ácida, as suas características geotécnicas são adequadas à sua reutilização, não só no enchimento de vazios dos trabalhos subterrâneos como também à superfície, dentro da IRCL, na construção de diques e bermas de contenção/confinamento dos rejeitados aí depositados e também como a base de suporte à futura aplicação das camadas de cobertura de encerramento dessa instalação.



Figura 42. Vista Escombreira com área industrial Neves-Corvo em plano de fundo

Neste contexto, desde 2009 que o escombro extraído é preferencialmente aplicado diretamente na IRCL, para construção de coberturas, bermas e diques, sendo também para este efeito utilizado escombro anteriormente depositado na escombreira (Figura 42). Apenas é depositada na escombreira a quantidade de escombro extraída que num período específico exceda a quantidade de escombro em aplicação na IRCL nesse mesmo período.

Até final de 2022 já foram transportadas para a IRCL aproximadamente 9 milhões de toneladas de escombro que caso não pudessem ser reutilizados como material construtivo teriam que ser substituídos por material de pedra importado, com custos significativamente superiores de operação e criando impactos ambientais associados à sua exploração e transporte. Por outro lado, seria necessário garantir a deposição deste resíduo em instalação adequada e com carácter definitivo, o que também por sua vez aumentaria a área de implantação das instalações de resíduos mineiros em Neves-Corvo inclusivamente pós encerramento.

Destaca-se ainda como uma melhor técnica disponível na gestão de resíduos em Neves-Corvo o espessamento de rejeitados. Esta técnica, de acordo com o estipulado no documento europeu de referência para as melhores práticas disponíveis para a gestão de resíduos da indústria mineira, comparativamente à deposição convencional em polpa: possibilita a diminuição de volume e área de deposição, o que contribui para a prevenção ou minimização dos impactos visuais e da pegada ecológica decorrentes da gestão dos resíduos de extração; induz a estabilidade físico-química dos rejeitados com benefícios para a minimização da drenagem ácida; e também no que diz respeito à sua menor capacidade de mobilização é vantajoso em caso de rutura de uma barragem.

(página propositadamente em branco)

Capítulo IV

Reutilização de Escombros como Recurso Mineral:

Caso de Estudo em Neves-Corvo

(página propositadamente em branco)

4. Reutilização de escombro como recurso mineral: caso de estudo em Neves-Corvo

4.1. Deposição emersa de rejeitados em co-deposição com escombro

Como já descrito anteriormente, as técnicas aplicadas à gestão de resíduos mineiros em Neves-Corvo foram sofrendo alterações ao longo da operação da mina, sendo a mais marcante a alteração do método de deposição de rejeitados na IRCL, de deposição de rejeitados subaquática em polpa para deposição emersa de rejeitados espessados (Figura 43) em co-deposição com escombro.



Figura 43. Deposição de rejeitado espessado

Para dar resposta às alterações do plano de mina com a descoberta, viabilização e início de exploração de novos jazigos, seria necessário construir uma nova instalação de resíduos para armazenamento de rejeitados ou necessário ampliar a capacidade de armazenamento de rejeitados na IRCL. Por razões económicas, de segurança e topográficas não seria possível promover um novo alteamento dos aterros da IRCL, pelo que a SOMINCOR decidiu, alterar o método de deposição de rejeitados.

Neste novo sistema de deposição o escombro passou a ser não apenas um resíduo a gerir, mas passou a ser utilizado com um recurso, na medida em que, apesar de ser um material não inerte e com potencial de geração de drenagem ácida, possui propriedade geotécnicas adequadas para ser utilizado dentro da instalação de resíduos, na construção de diques e bermas de contenção/confinamento dos rejeitados aí depositados e também como a base de suporte à futura aplicação das camadas de cobertura de encerramento dessa instalação.

Os estudos que levaram a esta alteração decorreram de 2001 a 2010, com várias etapas que permitiram a viabilização e aprovação deste novo método de deposição e cobertura de encerramento, pelas autoridades nacionais, como mais tarde na sua inclusão como melhor técnica disponível (Garbarino, 2018). A deposição emersa de rejeitados espessados constitui um bom exemplo de medidas de minimização de área de impacto, pela co-deposição dos dois resíduos numa só instalação. Constitui outro bom exemplo como melhores técnicas disponíveis para minimização de drenagem ácida, quer pela metodologia de espessamento, que induz uma maior estabilidade físico-química dos rejeitados de natureza sulfuretada e não ocorrência de segregação na deposição, quer pela aplicação de cobertura seca, multicamada de baixa permeabilidade.

De 2010 a 2015 a deposição emersa de rejeitados espessados foi efetuada em células (Figura 44 e Figura 46), constituídas por diques de escombro (Figura 45), que foram contruídos sobre os rejeitados depositados subaquaticamente em polpa. Devido ao aumento de produção da mina a dimensão destas células revelou-se insuficiente para a acomodação em tempo útil dos rejeitados produzidos, bem como para a manutenção dos ritmos de deposição e consolidação dos mesmos, o que originou que o projeto evoluísse ainda em 2015, para um esquema de deposição em empilhamento vertical.

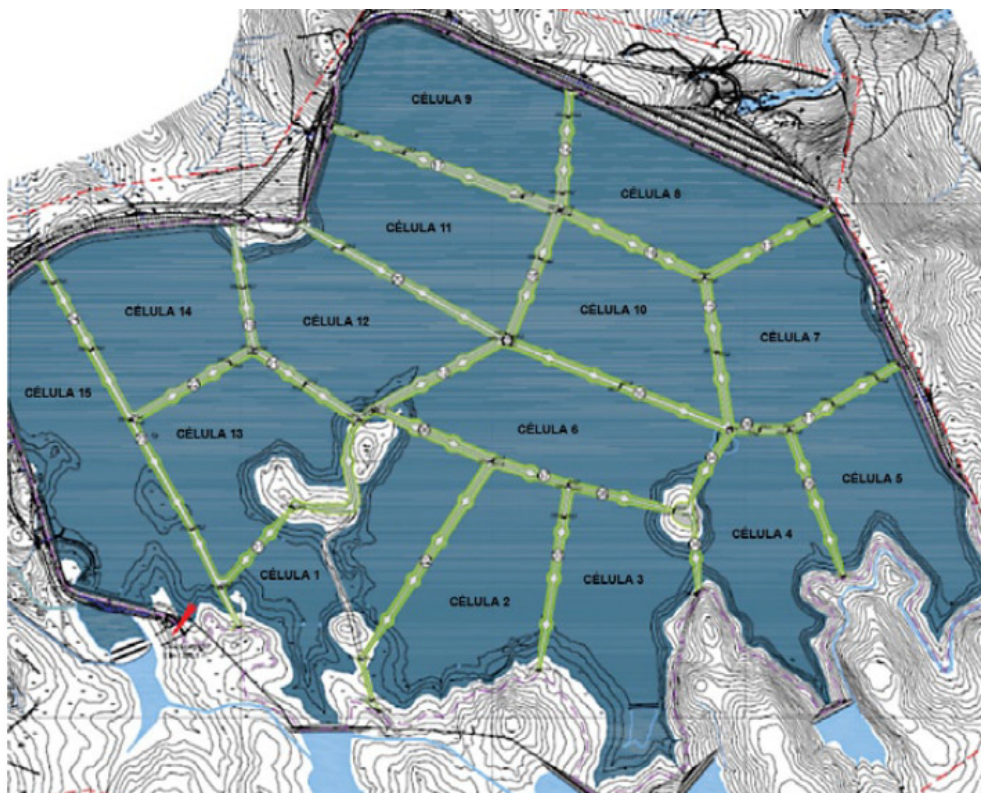


Figura 44. Projeto original de divisão da IRCL em células para deposição de rejeitados espessados



Figura 45. Construção de Diques



Figura 46. Vista Aérea IRCL (2014) com Divisão em Células

O empilhamento vertical é formado por níveis concêntricos limitados por uma berma perimetral em escombro assente sobre uma camada de cobertura de escombro construída sobre os rejeitados espessados.

o alinhamento do eixo da berma perimetral de cada nível é transposto paralelamente para o interior do depósito relativamente ao anterior. Essa transposição ocorre numa distância de 40 m para o interior e com um desnível útil médio de 2m, necessário para a formação da pendente média planeada para o depósito de 5% (Figura 47).

A deposição dos rejeitados espessados é efetuada em cada nível de deposição partindo da berma perimetral, até ao nível dos mesmos atingirem a cota máxima definida para esse nível, permitindo a construção de uma camada de escombros sobre os mesmos e de seguida a construção da berma perimetral no nível seguinte.



Figura 47. Corte Esquemático do Empilhamento Vertical na IRCL

Esta alteração permitiu que a deposição emersa de rejeitados espessados evoluísse para uma metodologia que possibilita a expansão vertical do depósito (Figura 48), maximizando a sua capacidade para um total de 33,3 milhões de m³ de resíduos mineiros (escombros e rejeitados), que até 2022 permitiu a duplicação da capacidade de deposição da instalação até ao nível 5, sem necessidade de aumento da área de implantação.



Figura 48. Vista do empilhamento vertical a montante da portela da margem esquerda da Barragem de rejeitados

Mais uma vez para aumentar a capacidade da IRCL possibilitando a expansão da produção de Zinco, procede-se à execução de um projeto de expansão da IRCL, iniciado em 2014 com o estudo de pré-viabilidade ao qual se seguiram os estudos de impacto ambiental e todo o processo de

licenciamento, tendo sido finalizado com a aprovação do projeto de execução em final de 2021, que pela primeira vez inclui um aumento de área da implantação da IRCL em 18 hectares, a par com a continuidade do empilhamento vertical até ao nível 13 (Figura 49), garantindo uma capacidade total de armazenamento de 50 milhões de m³ para rejeitados e escombros .

Durante 2022 e 2023 procedem os trabalhos de expansão horizontal, permitindo a continuidade do processo de expansão vertical integrado com esta expansão horizontal.

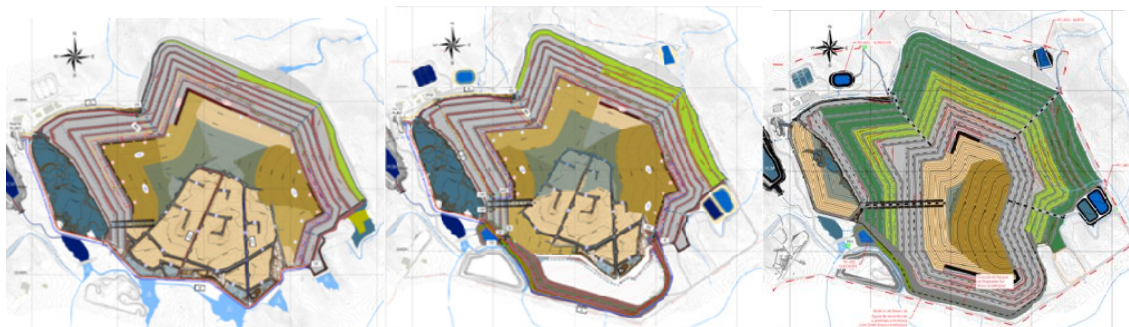


Figura 49. Esquema evolutivo da IRCL com empilhamento vertical e expansão horizontal (Golder, 2021)

Esta expansão, de acordo com o plano de mina atual e considerando o balanço entre a extração de escombros e as necessidades de escombros para a construção na IRCL, garante a co-deposição de resíduos mineiros na sua totalidade até ao encerramento da mina, incluído o escombros armazenando atualmente na escombreira temporária.

A manutenção da estabilidade geoquímica deste depósito, assenta em duas premissas, consideradas também melhores técnicas disponíveis no que diz respeito à minimização de drenagem ácida:

- o espessamento dos rejeitados deve ser efetuado de forma a evitar a ocorrência de fenómenos de segregação aquando da deposição, minimizando o índice de vazios o que induz maior estabilidade físico-química.
- aplicação de cobertura seca, multicamada de baixa permeabilidade, a fim de inibir o influxo de oxigénio e limitar a infiltração às taxas definidas como necessárias à manutenção da saturação da massa de rejeitados, sem ocorrência de oxidação e drenagem ácida.

A cobertura (Figura 50) foi definida com base nos resultados de avaliações do balanço de água, modelação geoquímica de geração e transporte de drenagem com contaminantes de testes piloto de com diferentes coberturas testadas. É composta por uma barreira à capilaridade,

constituída por brita/rachão sem finos, aplicada sobre o escombro, que previne a migração ascendente de sais à camada final de solo de cobertura que regulará a infiltração e permitirá o suporte ao desenvolvimento da vegetação rasteira típica a região.

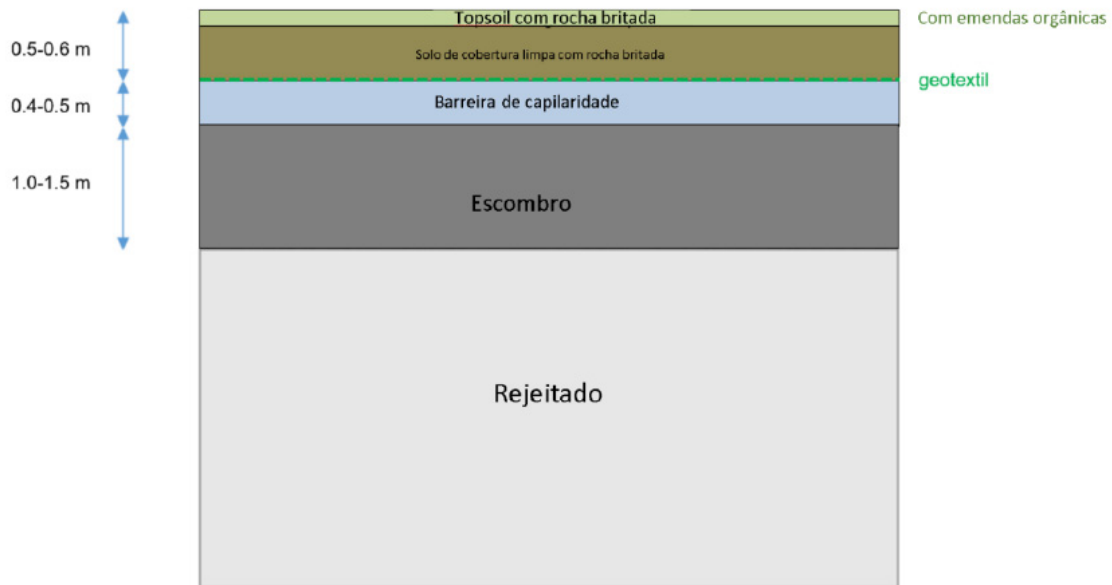


Figura 50. Esquema de cobertura de encerramento sobre os rejeitados e escombros na IRCL (Golder, 2021)

4.2. Metodologias construtivas

4.2.1. Aplicação em camada

Terminada a deposição de cada nível até às suas cotas máxima e após sua consolidação por peso próprio e secagem superficial, é progressivamente promovida a sua cobertura inicial com escombros (Figura 51) suportando o acesso de máquinas e o alteamento da berma perimetral do nível sequente.

O escombros transportado por caminhão desde a escombreira ou pilha de extração é aplicado em bandas sucessivas de incrementos de aproximadamente 2,5m da largura da cobertura no sentido perpendicular à berma, por empurre com buldózer bulldozer, sucessivamente até se atingir o alinhamento do novo nível a construir.



Figura 51. Construção camada de escombros sobre rejeitados espessados

O procedimento de execução foi definido com o objetivo de diminuir o risco de ocorrência de acidente durante a construção e garantir a segurança dos operacionais. Dadas as propriedades de potencial de liquefação dos rejeitados quando submetidos não só a carga dinâmica, mas também estática, quando da aplicação de escombros, poderá ocorrer cedência da fundação, pelo que o procedimento visa a aplicação de carga gradual e sequencial, com intervalo temporal entre avanço de faixa que permita a ocorrência da dissipação da pressão intersticial. Esse intervalo temporal foi estipulado em 1 dia, carecendo, no entanto, de confirmação com base na monitorização das pressões intersticiais dos rejeitados de fundação na área de aplicação da cobertura, que é alvo de monitorização com recurso a piezómetros de corda vibrante. O dimensionamento da extensão lateral da frente de trabalho e adequação dos meios na frente de obra para manutenção de ritmos de avanço compatíveis com as taxas de dissipação é essencial para redução da probabilidade de ocorrência de instabilidade na fundação, assim como a localização da descarga do escombros que é efetuada 10 metros recuada do eixo de aplicação da nova carga.

De forma a minimizar o risco de ocorrência de acidente em caso de instabilidade de fundação, a largura de 2,5 metros de faixa de avanço garante que a bulldozer opera com as lagartas fora da faixa em aplicação.

O esquema construtivo para aplicação de escombros para construção de coberturas está esquematizado na Figura 52.

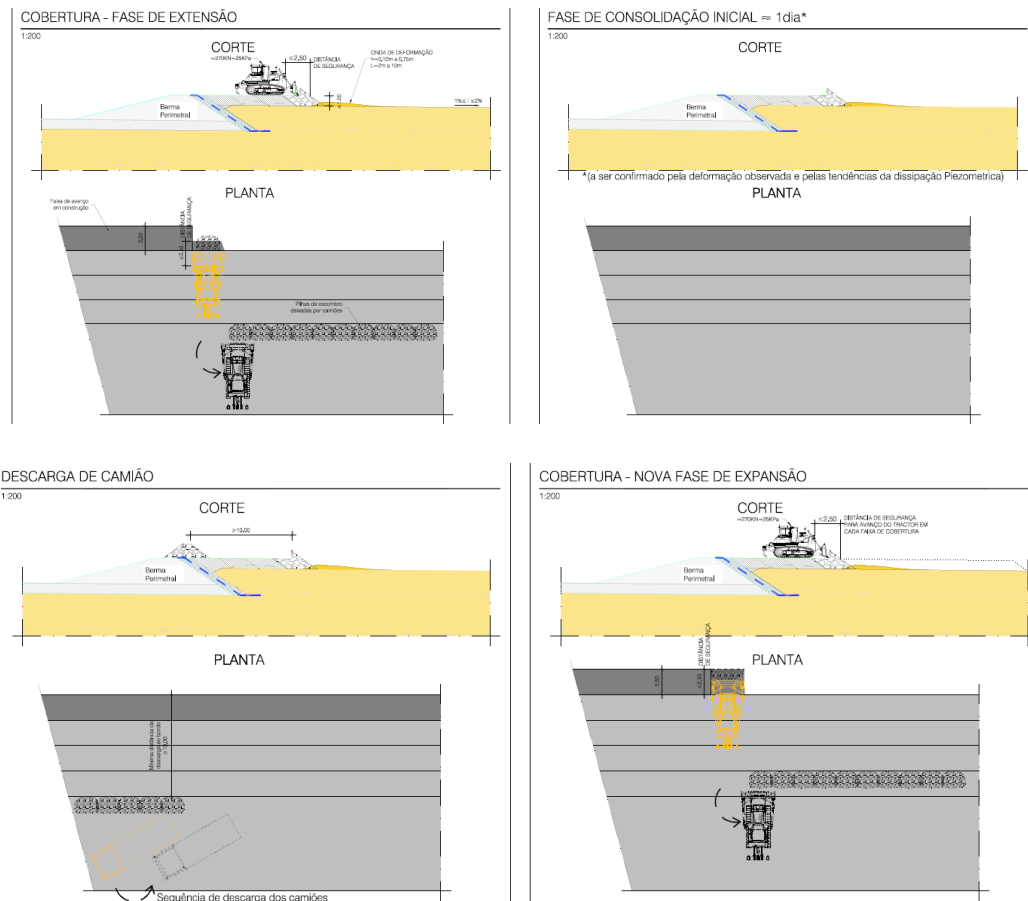


Figura 52. Esquema construtivo cobertura de escombro

A espessura alvo para essa camada de escombro é de aproximadamente 1m, mas a espessura de aplicação inicial é altamente influenciada pelas condições de fundação sobre os rejeitados, em especial pela sua condição de secagem e consolidação no momento do avanço da cobertura, mas também pela humidade e características granulométricas do escombro. A experiência operacional tem mostrado que para escombro com mais finos ou mais húmido e para praias de deposição mais recentes ou com menos secagem (como ocorre mais frequentemente no período de chuvas) a deformação da fundação e afundamento do escombro é maior, e a sua capacidade de distribuição de carga para o avanço das máquinas diminui, requerendo maior espessura que nesses casos tende para valores da ordem de 1,5m. Esse sobre gasto inicial deve posteriormente ser recuperado na fase de reperfilamento da cobertura após consolidação e antes da aplicação das camadas finais de cobertura com solos ambientalmente limpos. (Golder, 2021)

A inclinação de drenagem das coberturas é definida pela pendente para o interior gerada pela deposição dos rejeitados com valor médio de 1,5% a 2% e pela pendente longitudinal introduzida na construção das bermas de lançamento perimetral com gradientes reduzidos da ordem dos 0,1 a 0,2%.

4.2.2. Aplicação em Berma

O alinhamento do eixo da berma perimetral de cada nível é transposto paralelamente para o interior do depósito, relativamente ao anterior, na distância necessária à formação da pendente média planeada para o depósito de 5%.

A experiência de construção e operação inicial assim como a busca por uma maior facilidade de construção e menor gasto de escombro, ditou a opção de bermas menores com desnível útil médio de 2m, transpostas 40m para o interior a cada alteamento.

As bermas são construídas por alteamento progressivo de camadas sobrepostas de escombro empurradas com a buldózer (Figura 53), sobre a cobertura de escombro que se estendeu anteriormente até ao limite interior do pé de talude da berma a construir sobre esta.



Figura 53. Aplicação de escombro na construção de cobertura e berma perimetral de confinamento.

Por razões de segurança na construção e estabilidade, as bermas são formadas com taludes internos a 1V/2,5H e taludes externos a 1V/4H. O seu crescimento faz-se por camadas de 1 metros de espessura, cujo limite vai recuando consecutivamente 2,5 metros em relação ao anterior. O talude interior da berma é depois alvo de regularização com recurso a escavadora rotativa.

Também na construção das bermas se aplicam os mesmos pressupostos já descritos na metodologia de construção de cobertura, com intervalos temporais entre aplicação de camada para a dissipação das pressões intersticiais adequados aos resultados de monitorização das mesmas.

O esquema construtivo para construção de bermas em escombro encontra-se esquematizado na Figura 54, sendo que atualmente não se efetua nenhuma aplicação de solo isento de pedras devido a uma alteração ao projeto que possibilitou a eliminação da aplicação de geocompósito bentonítico até então colocado no paramento de montante das bermas perimetrais .

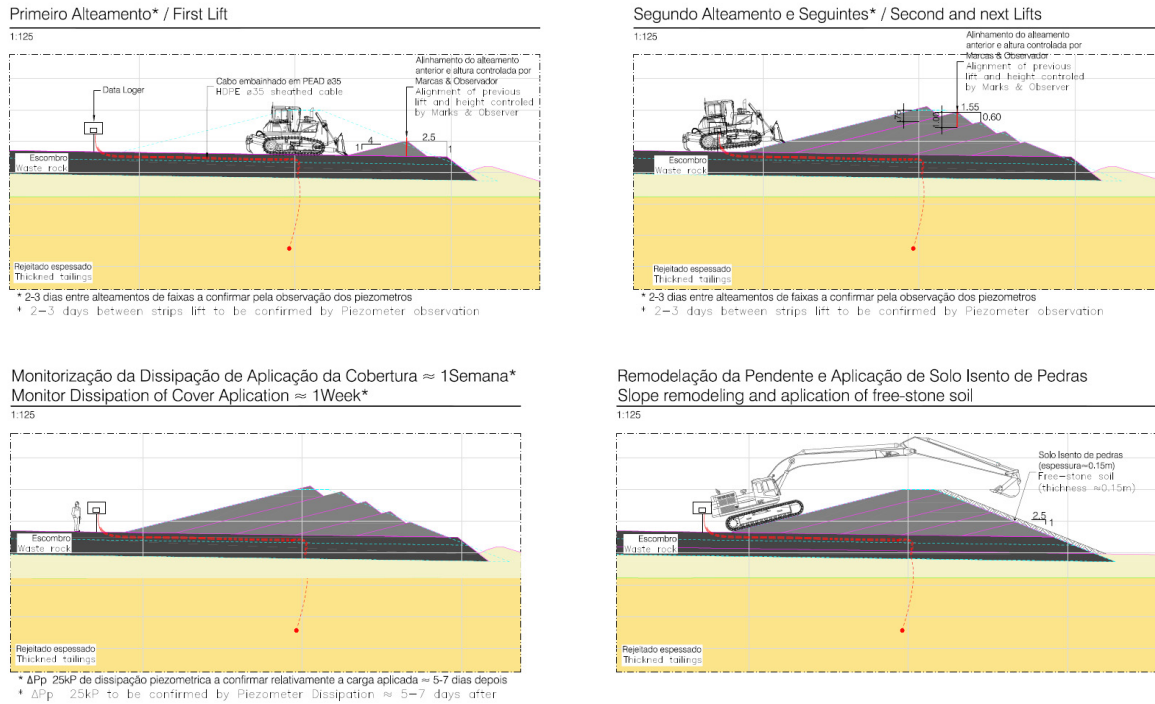


Figura 54. Esquema construtivo berma perimetral de escombro

O coroamento das bermas é definido com 2m de largura para permitir acomodar as tubagens de deposição e cota 1m acima dos níveis de deposição previstos para os rejeitados (Figura 55).



Figura 55. Tubagens de deposição de rejeitados espessados a partir de berma perimetral

4.3. Monitorização geoquímica e geotécnica do depósito de rejeitados e cobertura de escombros

O plano de Observação e Inspeção da Instalação de Resíduos do Cerro do Lobo foi elaborado de acordo com metodologia definida nos Documentos Técnicos de Apoio ao Regulamento de Segurança de Barragens, conjuntamente com o Programa de Monitorização definido para as águas subterrâneas envolventes à instalação durante o processo de licenciamento ambiental, visando no seu conjunto a estabilidade do depósito do ponto de vista hidráulico, estrutural e ambiental. O mesmo é extenso e com um âmbito mais abrangente ao tema deste documento, sendo que neste capítulo apenas se descrevem as atividades de monitorização e controlo de qualidade associadas à cobertura e bermas de escombros, quer durante a sua execução quer no acompanhamento do seu desempenho a longo prazo, pré-encerramento.

4.3.1. Assentamento e deslocamento das coberturas

Tendo em vista o acompanhamento da consolidação e eventuais deformações do depósito, é efetuado o acompanhamento topográfico das coberturas. O controlo dos assentamentos efetuado nas coberturas e bermas de escombro pré-encerramento é efetuado através de levantamento aerofotogramétricos e do controlo topográfico, através de GPS diferencial, da malha de alvos topográficos utilizados para amarração topográfica desses levantamentos.

Dada a natureza dinâmica das coberturas, sujeitas ao transito de camiões e máquinas durante a construção da camada de fundação em escombro e alteamento da berma perimetral seguinte, bem como a posterior necessidade de reperfilamento das mesmas, previamente à aplicação das camadas de cobertura com materiais limpos, foi considerado que o investimento em instalação de marcos topográficos definitivos não seria justificável e que a sua conceção deveria ser razoavelmente ligeira e expedita, ao mesmo tempo que se garantia uma estabilidade adequada para as condições do local e para os métodos de medição aplicados, trazendo benefícios no sentido de trazer rapidez de instalação essencial ao acompanhamento dos assentamento iniciais das coberturas (Figura 56).



Figura 56. Alvos topográficos de monitorização de assentamento das coberturas a)preparação ligeira do terreno; b) marca instalada

Estes assentamentos estão a ser monitorizados desde 2019, sendo que até final de setembro de 2022 os assentamentos máximos registados não ultrapassam os 6 a 8 cm e correspondem a zonas com marcas instaladas em coberturas mais recentes em que se desenvolve maior consolidação inicial, estabilizando após este período.

4.3.1. Nível de Água nas Coberturas

Como já descrito anteriormente, a cobertura final da IRCL foi definida de forma a promover uma infiltração controlada de água. Os estudos do balanço potencial de águas na cobertura realizados para suporte ao projeto, mostraram o potencial da cobertura em consideração para proteger os rejeitados dos efeitos da evaporação e dessaturação mantendo infiltrações controladas com baixo potencial de escoamento horizontal para o perímetro. A modelação das coberturas foi assim efetuada com pendentes para o interior e gradientes longitudinais muito reduzidos, maximizando a retenção dos picos de caudal de chuvas por encaixe do volume no vértice interno das bancadas e minimizando os gradientes de drenagem horizontal.

Nesse contexto a monitorização da cobertura de escombros e futura cobertura final conta com uma rede de indicadores de nível de água (INA) (Figura 57 e Figura 58) na fundação das coberturas, que permite monitorizar os níveis de acumulação de águas dentro da mesma e, potencialmente, também os gradientes de drenagem resultantes dessa acumulação.

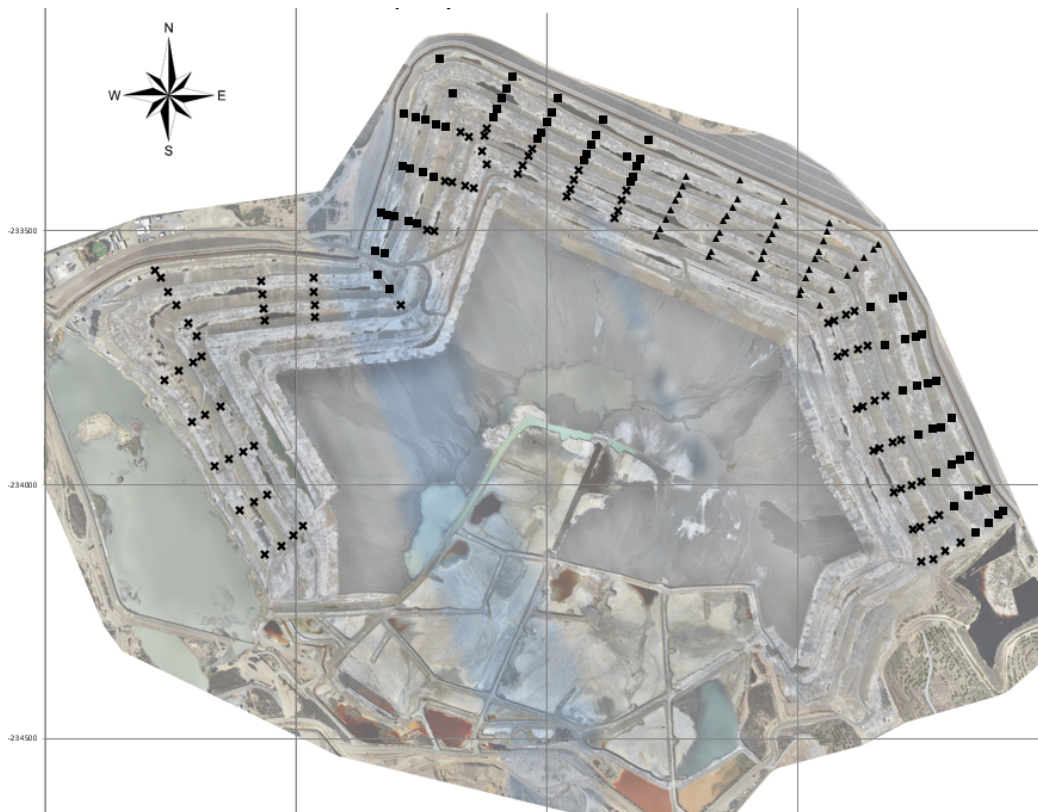


Figura 57. Distribuição espacial em planta dos INA construídos até setembro 2022

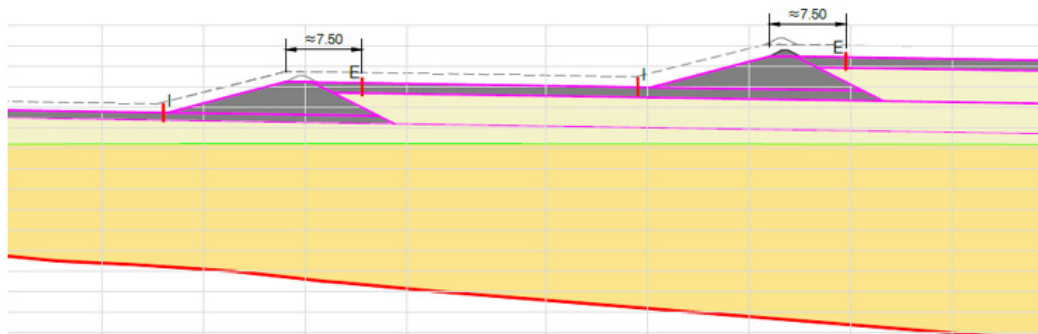


Figura 58. Distribuição espacial em corte transversal tipo dos INA

Os INA consistem em piezómetros de tubo aberto, instalados na interface entre os rejeitados e a cobertura de escombro aplicada sobre os mesmos. São materializados por tubos de PVC, com sensivelmente 3 metros de comprimento e diâmetro 110mm, cuja base é serrada para permitir a entrada de água, e os mesmos são ancorados na interface entre o rejeitado espessado e a camada de escombro, e envolvidos em brita confinada por geotêxtil cujas pontas são atadas ao tubo PVC, sendo o contacto selado com a adição de bentonite (Figura 59).



Figura 59. Indicadores de Nível de Água em construção

A monitorização periódica dos níveis de água nestes pontos ao longo das diferentes épocas e após eventos mais severos de pluviosidade, permite monitorizar a capacidade de amortecimento da infiltração nas coberturas, para subsequente infiltração difusa nos rejeitados, bem como da formação de gradientes horizontais que sejam relevantes para controlo dos eventuais escoamentos internos das coberturas para o perímetro do depósito. Uma vez que a percolação de água no escombro gera águas ácidas, estes indicadores permitem não só a monitorização dos níveis de água da cobertura como a colheita de amostras de água para monitorização da sua qualidade.

Estes dados obtidos previamente à aplicação da cobertura final permitem a compreensão dos balanços de água nas coberturas essenciais para a garantia de um encerramento eficaz.

4.3.1. Monitorização geoquímica de escombro

Aproveitando a construção dos INAS, é efetuada a colheita de amostra de escombro para determinação laboratorial de composição química e também determinação potencial de geração de ácido. Estas análises, embora não façam parte do programa de monitorização legal da IRCL, têm como propósito a caracterização química da cobertura de escombro aplicada, sendo consideradas uma boa prática.

As amostras são colhidas e preservadas em baldes plásticos de 15l com tampa, que são referenciados com a mesma nomenclatura do INA.

Ao facto de estarem aliados à execução dos INA trazem a vantagem de otimização de recursos e de possuírem uma distribuição espacial conhecida sem necessidade de outra metodologia de registo e sem necessidade de outro levantamento topográfico.

A informação obtida não tem como objetivo a correção de nenhum aspeto operacional nem de segurança, pelo que as amostras são enviadas para laboratório para análise química em campanhas de análise, quando existem lotes de amostras suficientes 40-50 unidades de forma a otimizar os custos de transporte.

4.3.2. Piezômetros para monitorização das pressões intersticiais

O depósito de rejeitados possui uma extensa rede de piezômetros sem fluxo de corda vibrante distribuídos espacialmente (

Figura 60), com alinhamentos associados aos dos perfis de observação e a diferentes profundidades, que assegura a monitorização da estabilidade do depósito, comparando os resultados com as pressões admissíveis decorrentes das análises de estabilidade efetuadas no seu dimensionamento e permite também a monitorização da evolução do rebaixamentos da coluna hidrostática ao longo do tempo.

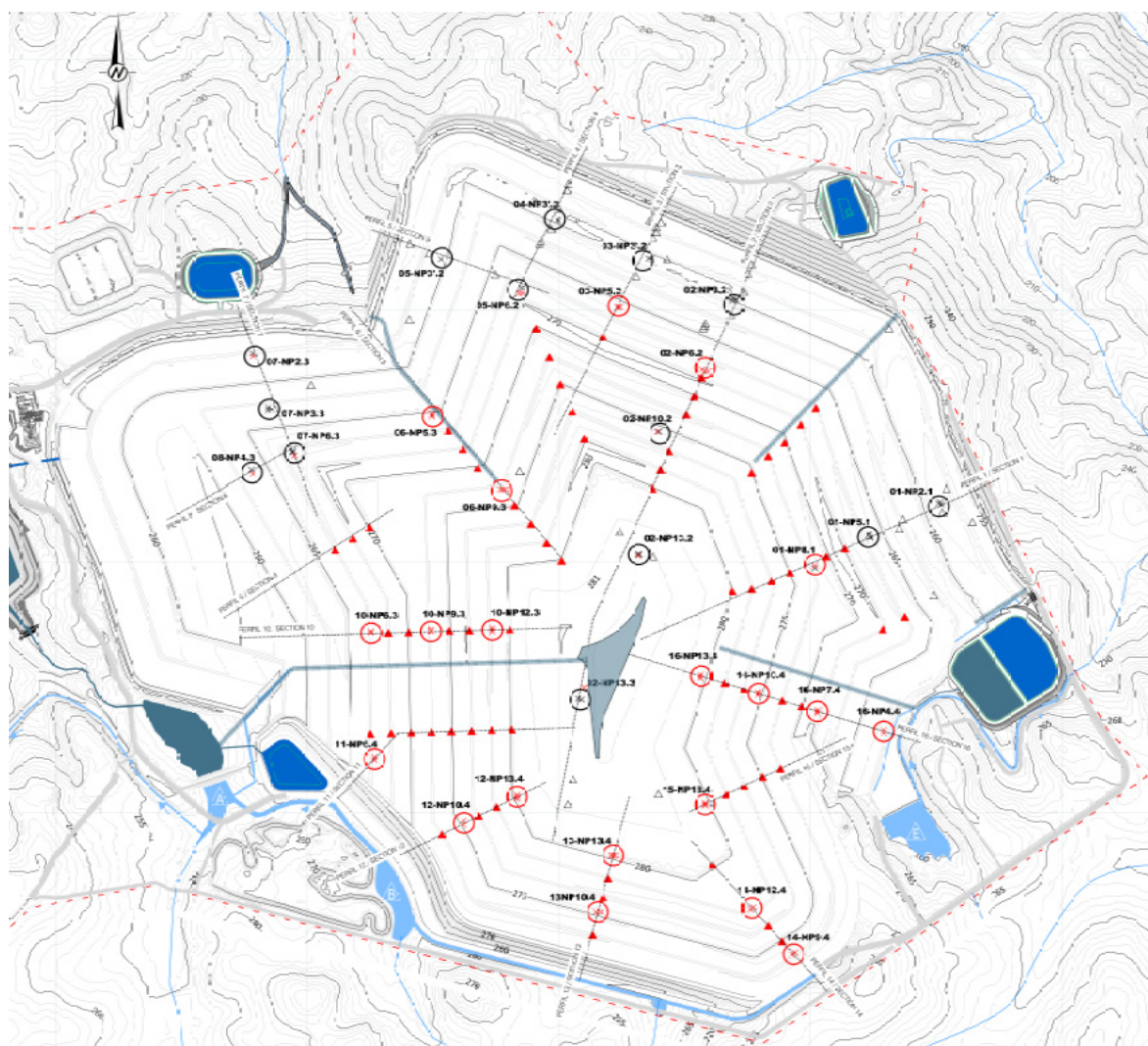


Figura 60. Distribuição em planta dos piezômetros de corda vibrante constantes do programa de monitorização da IRCL

Este sistema de monitorização inclui a monitorização da construção das estruturas em escombros sobre os rejeitados, através de piezómetros instalados a cerca de 5m de profundidade sob a fundação dos diques perimetrais. O acompanhamento dos registos destes piezómetros permite verificar que os ciclos de construção e consequente taxa de acreção estão adequadas às taxas de dissipação de acordo com os procedimentos construtivos, com o objetivo de garantir a estabilidade local inerentes à construção desses diques.

Na Figura 61 está ilustrado um exemplo de gráfico produzido para acompanhamento da construção das estruturas de escombros, onde se pode ver o registo do aumento das pressões intersticiais aquando da aplicação de cada camada de escombros e respetiva dissipação entre os ciclos de aplicação de carga de escombros.

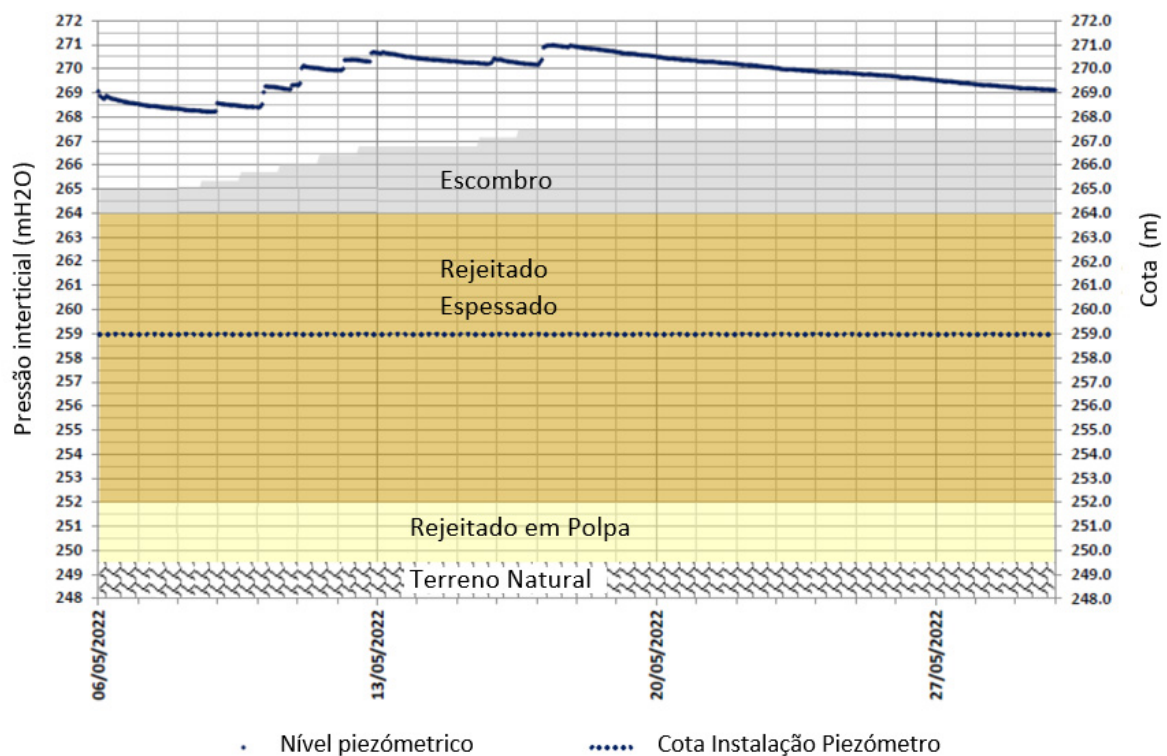


Figura 61. Exemplo de gráfico de monitorização das pressões intersticiais dos rejeitados na construção de cobertura e bermas de escombros

4.3.1. Controlo Afundamentos e espessura das coberturas

A camada de escombros tem prevista em projeto uma espessura que ronda 1m, mas dependendo das condições de secagem dos rejeitados e condições climáticas aquando da aplicação do escombros essa espessura pode variar.

Para avaliação de espessuras e deformações na camada de escombro aplicada, e consequente avaliação de conformidade das pendentes gerais da interface do escombro-rejeitado para o interior, e avaliação do volume de escombro de sobre gasto, são efetuadas trincheiras de prospeção, a cada 200m de extensão da cobertura aplicada, orientadas perpendicularmente ao desenvolvimento da cobertura, atravessando a mesma e toda a sua extensão.

A trincheira é aberta com escavadora rotativa, retirando o escombro apenas até à interface com o rejeitado, procedendo-se seguidamente ao levantamento topográfico do eixo dessa trincheira, diretamente com o bastão de GPS diferencial, ou com recurso a estacas de madeira cravadas nos rejeitados, com profundidades iguais e alvo refletor no topo que permitem o levantamento por visada (Figura 62).

Esse levantamento é de seguida comparado com a superfície teórica de projeto e com o levantamento aerofotogramétrico efetuado à superfície dos rejeitados previamente à construção da cobertura, permitindo avaliar os desvios de espessuras e afundamentos na aplicação da cobertura, e avaliar os assentamentos e pendentes médias na camada de escombro e na massa de rejeitados depositados.



Figura 62. Trincheira de prospeção na cobertura de escombro

Aqui importa referir que dado existir deformação dos rejeitados aquando da aplicação de escombro, para obtenção das cotas de projeto no nível seguinte o diferencial é compensado com “sobregasto” de escombro. O mesmo acontece se o nível inferior não for devidamente cheio. Assim para além de o enchimento com rejeitados dever ser o mais regular possível foi adotado

como procedimento operacional o enchimento do mesmo a cotas 30 a 50 cm superiores às cotas teóricas de projeto. Este “sobreenchimento” aquando da aplicação da cobertura sofre deformação e assentamento retornando para as cotas aproximadas de projeto. Assim maximiza-se a capacidade de armazenamento de rejeitados e minimiza-se o gasto de escombro desnecessário.

A informação obtida na investigação com recurso às trincheiras é de valiosa importância na ponderação dos “sobreenchimentos” de deposição a aplicar nos níveis subsequentes, potenciando-se deste modo a otimização de pendentes e gastos de escombro.

Para cada local investigado é então avaliado o perfil transversal obtido (Figura 63) e comparado com a superfície teórica de projeto e levantamento superfície de rejeitados previa à construção da cobertura, possibilitando a interpretação da espessura média do escombro aplicado e os afundamentos verificadas em cada vala.

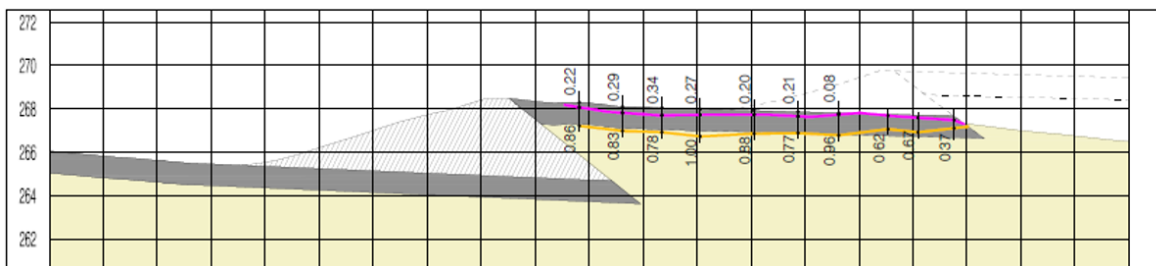


Figura 63. Perfil interpretativo de uma trincheira de prospeção na cobertura

O conjunto desta informação em cada nível de aplicação de cobertura é incorporado nas telas finais das estruturas de construção com escombro e será também útil, para o detalhe do reperfilamento necessário efetuar na camada de escombro antes da implementação da cobertura limpa.

4.3.2. Monitorização das propriedades físicas

O plano de observação prevê a monitorização das propriedades físicas dos resíduos depositados. No caso do escombro essa monitorização é efetuada com a realização de ensaio MACRO nas coberturas de escombro (Figura 64), com uma frequência mínima anual por cada 100.000 toneladas aplicadas.



Figura 64. Execução ensaio MACRO nas coberturas de escombros

Embora tenham sido realizados alguns ensaios esporádicos anteriormente esta monitorização foi introduzida na última versão do projeto licenciada. No Quadro 7 estão resumidos os resultados dos ensaios realizados.

Quadro 7. Resultado Ensaio MACRO

Parâmetro	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 5	Amostra 7	Amostra 8
Dimensão Máxima partículas (mm) ⁽¹⁾	150	150	110	160	160
Limite Liquidez (%) ⁽²⁾	-	-	24	21	24
Limite Plasticidade (%) ⁽²⁾	-	-	13	11	13
Equivalente Areia (%) ⁽³⁾	-	-	18	20	17
Massa volumica ponderada das partículas secas (t/m ³) ⁽⁴⁾	2,629	3,42	2,58	2,988	2,803
Índice vazios ⁽⁴⁾	28,4	26,7	33,1	9,9 ⁽⁵⁾	13 ⁽⁵⁾

⁽¹⁾ LNEC E196/E239

⁽²⁾ NP-143

⁽³⁾ LNEC E-199

⁽⁴⁾ Ensaio MACRO Procedimento LNEC

⁽⁵⁾ os valores de índice de vazios das amostras 7 e 8 apresentam um desvio considerado irrealista e que não é coerente com as propriedades granulométricas dessas mesmas amostras. Embora apresentados estes valores não foram considerados.

Capítulo V

Conclusões

(página propositadamente em branco)

5. Conclusões

A gestão de resíduos mineiros em Neves-Corvo tem assentado a sua evolução no cumprimento da legislação nacional e em linha com as melhores práticas disponíveis e recomendadas pela comissão europeia, com vista a um desenvolvimento sustentável e responsável, aplicando as boas práticas da indústria e valores do grupo Lundin Mining.

As técnicas de reutilização dos resíduos mineiros em Neves-Corvo já permitiram a reutilização de um total de mais 34 milhões de toneladas de resíduos (escombros + rejeitados), evitando que 25 milhões de toneladas de resíduos tivessem de ser geridas à superfície em instalações de resíduos, tendo sido possível o aumento de produção e vida da mina até 2022 sem necessidade de ampliação das áreas de implantação das instalações de resíduos.

A utilização do escombros como material construtivo na IRCL, embora formalmente considerado um resíduo levado a destino final de deposição, constitui uma valorização do mesmo transformando um resíduo num recurso que de outra forma teria de ser obtido externamente, aumentando os custos e criando impacto a montante associado à exploração e transporte desses recursos.

Até final de 2022 o escombros armazenado à superfície dividido pela Escombreira 1 (temporária) e a IRCL é de 11 Mt sendo que a capacidade licenciada para armazenamento de escombros na Escombreira 1 (temporária) e na Escombreira 2 (ainda não construída) é no total de cerca de 12 milhões de toneladas. Considerando que a escombreira 1 é temporária, caso não se tivesse optado pela co-deposição de rejeitados e escombros, mesmo com a utilização de técnicas de reutilização de escombros para enchimento dos desmontes resultantes a exploração subterrânea, nesta data para além da construção da Escombreira 2, já seria necessário ter iniciado o projeto e licenciamento de uma nova instalação de resíduos em forma de escombreira para acomodar o escombros necessário extrair para dar continuidade à produção.

A gestão dos resíduos mineiros não inertes acarreta a necessidade de caracterização e monitorização exigente da sua componente geoquímica para além da componente geotécnica. As instalações de resíduos oriundos de sulfuretos com potencial de geração de drenagem ácida têm de ser projetadas, operadas e encerradas visando o equilíbrio entre estas duas componentes, por vezes com exigências antagónicas, garantido a estabilidade estrutural, hidráulica e hidro geoquímica da estrutura como um todo e na sua envolvente.

A reutilização do escombro em co-deposição com rejeitados espessados emersos é uma tecnologia emergente, tendo sido validada com anos de estudos, baseados em testes e modelações.

Atualmente, após quase 13 anos de aplicação desta técnica nas operações de Neves-Corvo, numa perspectiva operacional, a tecnologia está provada como eficiente. A continuidade da monitorização e reavaliação e adequação contínua dos pressupostos de base do projeto com base nos resultados dessa monitorização é vital para o sucesso do projeto e garantia de uma operação e encerramento seguros.

Como trabalhos futuros perspectiva-se ainda a execução de testes experimentais de produção dos materiais limpos para aplicação da cobertura final e criação de lotes de testes de cobertura experimental, para aferir com detalhe o balanço de água das coberturas e qualidades expectáveis das águas de infiltração e escorrência. Estes testes serão essenciais para se avançar com o reperfilamento das coberturas de escombro e encerramento definitivo progressivo da instalação de resíduos.

Capítulo VI

Referências Bibliográficas

(página propositadamente em branco)

6. Referências Bibliográficas

Alves, D., 2022. Sustainable and Responsible Mining Based on Lundin Mining Corporation's Subsidiary, Somincor. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 134 p. (Dissertação de Mestrado)

Alves, P., 2020. Empilhamento de Rejeito Filtrado: A Expansão de uma alternativa para substituição de barragens. Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. 116 p. (Dissertação de Mestrado)

Azam, S., Li, Q., 2010. Tailings dam failures: a review of the last one hundred years. *Geotechnical News*, p. 50-53.

Barzallo, D., 2021. Ground improvement for tailing dam remediation and design. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona. 102 p (Tese de Mestrado)

Berkel, R., 2020. Sustainable Development and Cleaner Production in Minerals and Energy Production. Sixth International Symposium on Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production, Calgary, Alberta, Canada,

Bobba, S., Carrara, S., Huisman, J., Mathieux, F., Pavel, C., 2020. Critical materials for strategic technologies and sectors in the EU: a foresight study. Publications Office of the European Union. 100 p.

Burden, R., 2021. Using Co-Disposal Techniques to Achieve Stable "Dry-Stacked" Tailings: Geotechnical Properties of Blended Waste Rock and Tailings in Oil Sands and Metal Mining. University of Alberta. 211 p. (PhD Thesis)

Cacciuttolo, C., Valenzuela, F., 2022. Efficient Use of Water in Tailings Management: New Technologies and Environmental Strategies for the Future of Mining. *Water*, 14 (11), 1741.

Cambridge, M., Oliveira Toscano, M., 2006. The influence of inspection and monitoring on the phased construction of the Barragem de Cerro do Lobo: improvements in reservoir construction, operation, and maintenance. In: Proceedings of the 14th Conference of the British Dam Society, Paper 35, Thomas Telford, London.

Carvalho, J. 2010. Recursos Minerais: o Potencial de Portugal. In: Iniciativa Matérias Primas: Rumo ao fornecimento seguro e à gestão sustentável dos recursos minerais europeus (Apresentação powerpoint). In: <https://repositorio.ineg.pt/bitstream/10400.9/1036/1/34052.pdf> (consultado em Janeiro de 2023).

Concha, E., 2017. Minería global contemporánea o financiarizada. *Ola Financiera*, 10(27), 81–116.

Comissão Europeia, 2003. Proposta de Diretiva do Parlamento Europeu e do Conselho relativa à gestão dos resíduos das indústrias extrativas. COM(2003) 319 final. In: <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-10143-2003-INIT/pt/pdf> (consultado em Janeiro de 2023).

Comissão Europeia, 2010. Matérias-primas críticas para a EU. Relatório do Grupo de Trabalho Ad-hoc na definição de matérias – primas críticas. Comissão Europeia, Direcção-Geral Empresarial e Industrial. Junho 2010. In: <https://www.dgeg.gov.pt/media/n0lpi00h/mat%C3%A9rias-primas-cr%C3%ADticas-para-a-ue-relat%C3%B3rio-2010.pdf> (consultado em Janeiro de 2023).

Comissão Europeia, 2019. Comunicação da comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões, Bruxelas. Pacto Ecológico Europeu. COM(2019) 640 final. In: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/HTML/?uri=CELEX:52019DC0640> (consultado em Janeiro de 2023).

Comissão Europeia, 2020. Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões. Um Novo Plano de Ação Para a Economia Circular. Para uma Europa Mais Limpa e Competitiva. European Commission. COM (2020) 98 final. In: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0098> (consultado em Janeiro de 2023).

Comissão Europeia, 2020. Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões. Uma nova estratégia industrial para a Europa. COM(2020) 102 final. In: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0102> (consultado em Janeiro de 2023).

Comissão Europeia, 2020. Comunicação da comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões, Bruxelas. Resiliência em matérias-primas essenciais: o caminho a seguir para mais segurança e sustentabilidade. COM(2020) 474 final. In: <https://eurlex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX:52020DC0474> (consultado em Janeiro de 2023).

Cunha, D, 2021. Desafios do setor extrativo Português: uma análise prospetiva. Instituto Superior de Engenharia do Porto. 106 p. (Dissertação de Mestrado)

DGEG - Estatística de Recursos Geológicos da DSEF-RG - C. Minas - Produção Anual. Obtido de Direcção Geral de Energia e Geologia - Direcção de Serviços de Estratégia e Fomento dos Recursos Geológicos: <https://www.dgeg.gov.pt/pt/estatistica/geologia/minas/producao-anual/> (consultado a 26 de abril de 2023).

Decreto-Lei n.º178/2006. Diário da República, 1.ª série – N.º 171 – 5 de Setembro de 2006.

Decreto-Lei n.º344/2007. Diário da República, 1.ª série – N.º 191 – 15 de Outubro de 2007.

Decreto-Lei n.º173/2008. Diário da República, 1.ª série – N.º 164 – 26 de Agosto de 2008.

Decreto-Lei n.º10/2010. Diário da República, 1.ª série – N.º 24 – 4 de Fevereiro de 2010.

Decreto-Lei n.º31/2013. Diário da República, 1.ª série – N.º 38 – 22 de fevereiro de 2013.

Decreto-Lei n.º21/2018. Diário da República, 1.ª série – N.º 62 – 28 de Março de 2018.

Dias, M., Felício, A., 2015. Formação de operadores de lavaria - Somincor. (Relatório Inédito)

Diretiva 2003/105/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, Jornal Oficial da União Europeia L197/1 de 24 Julho 2012.

Diretiva 2012/18/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, Jornal Oficial da União Europeia L345/97 de 16 Dezembro 2003.

Domingues, A., Boson, P., Alípaz, S. 2016. A Gestão dos Recursos Hídricos e a Mineração. Agência Nacional de Águas, Coordenação-Geral das Assessorias, Instituto Brasileiro de Mineração, Brasília. 334p.

EPA, 1994. Design and Evaluation of Tailings Dams. U.S. Environmental Protection Agency. 63p

Escobar, A., Relvas, J., Pinto, A., Oliveira, M., 2021. Physical–Chemical Characterization of the Neves-Corvo Extractive Mine Residues: A Perspective Towards Future Mining and Reprocessing of Sulfidic Tailings, *J. Sustain. Metall.* 7, 1483–1505.

Falé, P., 2015. Resíduos da Indústria extrativa, processo de licenciamento. In: Seminário Gestão, projeto, construção e encerramento de instalações de resíduos mineiros, Ordem dos Engenheiros, In:https://www.ordemengenheiros.pt/fotos/dossier_artigo/20150127_pfale_123915819154d34fe3585c7.pdf (consultado em abril de 2023).

Ferreira, J., 2015. Estudo de um circuito de moagem: linha #1 da lavaria de cobre. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 119 p. (Dissertação de Mestrado)

Franco, A., 2009. O Desenvolvimento Sustentável nas Indústrias Extrativas. Resumo do Trabalho Desenvolvido na Direcção Geral de Energia e Geologia (DGGE) Para a União Europeia. Lisboa, Direcção Geral de Geologia e Energia. In: https://www.ordemengenheiros.pt/fotos/editor2/eng.geologica/colgeominas_desenvolvimento_sustentavel_onu_v2.pdf (consultado em abril de 2023).

Garbarino, E., Orveillon, G., Saveyb, H., Barthe, P., Eder, P., 2018. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Management of Waste from Extractive Industries, in accordance with Directive 2006/21/EC; EUR 28963 EN; Publications Office of the European Union, Luxembourg, 698 p.

Global Tailings Review ORG, 2020. Global Industry Standard on Tailings Management. 40 p

Global Tailings Review ORG, 2020. Padrão Global da Indústria para a Gestão de Rejeitos. 42p

Gomes, T., 2018. Co-Deposição de Rejeitados e Escombros na Instalação de Resíduos da Mina de Neves-Corvo. O comportamento geoquímico desses materiais e a sua influência na definição da cobertura final da Instalação de Resíduos. Universidade do Minho, 84 p (Dissertação de Mestrado)

Gomes, T., 2016. Estudo da estabilidade de portas de enchimento: caso de estudo da mina da Somincor. Instituto Superior Técnico. 107 p. (Dissertação de Mestrado)

Golder, 2021. Projeto de Licenciamento da Expansão da IRCL para o PEZ (DGEG). (Relatório Inédito)

ICMM, 2019. Guia prático de gestão de água captada para as indústrias de mineração e metalurgia. International Council on Mining and Metals. 59 p.

ICMM, 2021. Tailings Management. Good Practice Guide. International Council on Mining and Metals. 128 p

ICOLD, 2021. Tailings Dam Design Technology Update, International Commission on Large Dams. 97 p.

ICOLD, 2022. Tailings Dam Safety, Bulletin 194 version 1 Uncontrolled copy, International Commission on Large Dams. 196p

IGAOT, 2008. Guia de Inspeções SEVESO. Inspeção Geral do Ambiente e Ordenamento do Território. 41p

Li, Allen., Andruchow, B., Wislnsky, I., Olson, E., 2011. Field Testing of Co-Disposal Techniques for Acid Generating Tailings and Waste Rock at Cerro de Maimón Mine, Vanouver. Proceedings Tailings and Mine Waste.

Lee. C, Gu, F, 2017. Co-disposal of waste rock with backfill. In: Proceedings of the First International Conference on Underground Mining Technology, Australian Centre for Geomechanics, Perth, 353:362

LNEG, 2019. Estudo Hidrogeológico de Neves-Corvo (Relatório Inédito)

Lopes R., Bahia R., Jefferies M., Oliveira M., 2013. Paste deposition over an existing subaqueous slurry deposit of high sulphide content tailings: the Neves-Corvo experience. 16th International Seminar on Paste and Thickened Tailings, Belo Horizonte, Brazil, Australian Centre for Geomechanics.

Lopes R., Bahia R., Jefferies M., Oliveira M. , 2015. Upstream stacking of thickened tailings at Neves-Corvo. 18th International Seminar on Paste and Thickened Tailings, Cairns, Australia, Australian Centre for Geomechanics.

Lundin Mining, 2022. Sustainability Report 2021. 62p. In: https://lundinmining.com/site/assets/files/9071/lmc_2021_sustainability_report_accessible_082522.pdf (consultado em abril de 2023).

MEND, 2017. Study of Tailings Management Technologies – MEND Report 2.50.1, Mine Environmen Neutral Drainage Secretariat. 164 p

Morais, I., Albardeiro, L., Batista, M. Matros, J., Solá, R., Oliveira, D., Salgueiro, R., Araújo., V., Pacheco, N., 2020. Geochemistry of Iberian Pyrite Belt Portuguese sector massive sulfide deposits-related volcanic rocks. Considerations on hydrothermal alteration, petrology and tectonic evolution. *Comunicações Geológicas*, 107, Especial III, 133:149.

Oliveira, D., Batista, M., Matos, J., Silva, T., 2020. Mineral sustainability of the Portuguese sector of the Iberian Pyrite Belt, *Comunicações Geológicas*, 107, Especial III, 11-20.

Oliveira, M., 2011. Desenvolvimento do projeto de deposição de rejeitados. Espessados/pasta de rejeitados. *Boletim de minas*, 46(2):137-141.

Oliveira, M., 2015. SOMINCOR – Mina de Neves-Corvo: A problemática da gestão dos resíduos mineiros. In: Seminário Gestão, projeto, construção e encerramento de instalações de resíduos mineiros, Ordem dos Engenheiros, Lisboa In: https://www.ordemengenheiros.pt/fotos/dossier_artigo/20170127_moliveira_58580693354d3502c68934.pdf (consultado em abril de 2023).

Oliveira, M., Romeiro, M., Almeida, N., 2009. Alteamento da barragem de rejeitados de Cerro do Lobo. Minas Neves-Corvo. In: Actas do 10º Congresso Nacional de Geotecnia, UNL & SPG, Lisboa.

Oliveira, M., Falé, P., Rodrigues, A., 2011. Surface Paste Disposal of High-sulphide Tailings. Part 1 – Construction of Cells, 22nd World Mining Congress & Expo, Istanbul, Turkey-

Oliveira, J., Relvas, J., Pereira, Z., Matos, J., Rosa, C., Rosa, D., Munhá, J., Jorge, R., Pinto, A., 2006. O Complexo Vulcano-Sedimentar da Faixa Piritosa: Estratigrafia, Vulcanismo, Mineralizações associadas e Evolução Tectono-Estratigráfica no Contexto da Zona Sul Portuguesa, VII Congresso Nacional de Geologia, Estremoz.

Pacheco, N., 2001. A geologia na mina de Neves-Corvo, Baixo-Alentejo, Portugal. Évora. 11 pp.

Pacheco, N., Carvalho, P., Ferreira, A., 1998. Geologia da Mina de Neves-Corvo e do vulcanismo do anticlinório de Panóias-Castro Verde. V Congresso Nacional de Geologia, In: Livro Guia das Excursões, Instituto Geológico e Mineiro e Sociedade Geológica de Portugal, p. 111-130.

Parlamento Europeu, 2012, Parecer do Comité Económico e Social Europeu sobre «Tratamento e exploração, para fins económicos e ambientais, dos resíduos industriais e mineiros da União Europeia» (parecer de iniciativa). Jornal Oficial da União Europeia, 28 janeiro 2012. C24/11

Parlamento Europeu, 2021. Novo plano de ação para a economia circular. Resolução do Parlamento Europeu, de 10 de fevereiro de 2021, sobre o novo plano de ação para a economia circular (2020/2077(INI)) Jornal Oficial da União Europeia, 10 fevereiro 2021. C465/11

Pita, P., 2014. Sustentabilidade dos Georrecursos: Proposta de Definição de Índice de Sustentabilidade para Pedreiras Produtoras de Agregados. Instituto Superior de Engenharia do Porto. 155 p. (Dissertação de Mestrado)

Raposo, N., 2016. Deposição de rejeitados espessados. Caracterização experimental e modelação numérica. Universidade do Porto. 400 p (Tese Doutoramento)

Raposo N., Bahia R., Afonso E., Topa Gomes A., 2014. Optimization of Thickened Tailings Deposition. In: Proceedings of the 17th International Seminar on Paste and Thickened Tailings, Vancouver, Canada, Australian Centre for Geomechanics.

Relvas, J., 2000. Geology and Metallogenesis at the Neves-Corvo Deposit, Portugal. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 259 pp. (Tese de Doutoramento).

Ries, I., 2021. Parecer do Comité das regiões Europeu - Plano de Ação para as Matérias-Primas Críticas, 143.ª reunião plenária de 17 a 19 de março de 2021, 13 p.

Robertson, P., L. de Melo, D. Williams and G. Wilson, 2019. Report of The Expert Panel on the Technical Causes of the Failure of Feijão Dam 1. 71 p.

Rodrigues, A., Oliveira, M., 2023. De Resíduos a Recurso: Reutilização de Escombros como Prática na Gestão de Resíduos Mineiros em Neves-Corvo. In: Atas do 18º Congresso Nacional de Geotécnica. Sociedade Portuguesa de Geotecnia & Universidade de Évora.

Rodrigues, H., 2013. Deposição de rejeitado espessado: acompanhamento geotécnico e geoquímico. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. 182 p. (Dissertação de Mestrado).

SOMINCOR, 2021. Plano de Lavra 2021. (Relatório Inédito)

SOMINCOR, 2023. Relatório Anula de Exploração 2022. (Relatório Inédito)

SOMINCOR, 2019. Manual de Observação, Manutenção e Segurança – Estruturas Associadas à Deposição de Rejeitados, VER 0. (Relatório Inédito)

Taha, Y., Benzaazoua, M., 2019. Towards a Sustainable Management of Mine Wastes: Reprocessing, Reuse, Revalorization, and Repository, *Minerals* 10(1), 21.

Thomé, R., Passini, M. 2018. Barragens de Rejeitos de Mineração: Características do método de alteamento para montante que fundamentaram a suspensão da sua utilização em Minas Gerais., *Ciências Sociais Aplicadas em Revista - UNIOESTE/MCR* 8(34) 49: 65

UN, 1987. Our Common Future. Report of the World Commission on Environment and Development. 247 p.

UN, 2019. Global Resource Outlook 2019- Natural Resources for The Future We Want. United Nations Environment Program. 162 p.

Young, A., Barreto, M., Chovan, K., 2021. Towards a circular economy. Approach to mining operations. Key Concepts, Drivers and Opportunities. *Natural Resources Canada*. 97p

Vick, S., 1990. Planning, Design and Analysis of Tailings Dams. 1st Edition. BiTech Publishers LTD, Vancouver, Canada. 381 p

WEF, 2017. Atlas: Mapeando os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável na Mineração. *World Economic Forum*. 107 p.