ORDEM DOS ENGENHEIROS REGIÃO SUL

2018 ano de das alterações climáticas

RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DE ANTIGAS ÁREAS MINEIRAS DEGRADADAS EM PORTUGAL

Edgar Carvalho

13.09.2018

edm

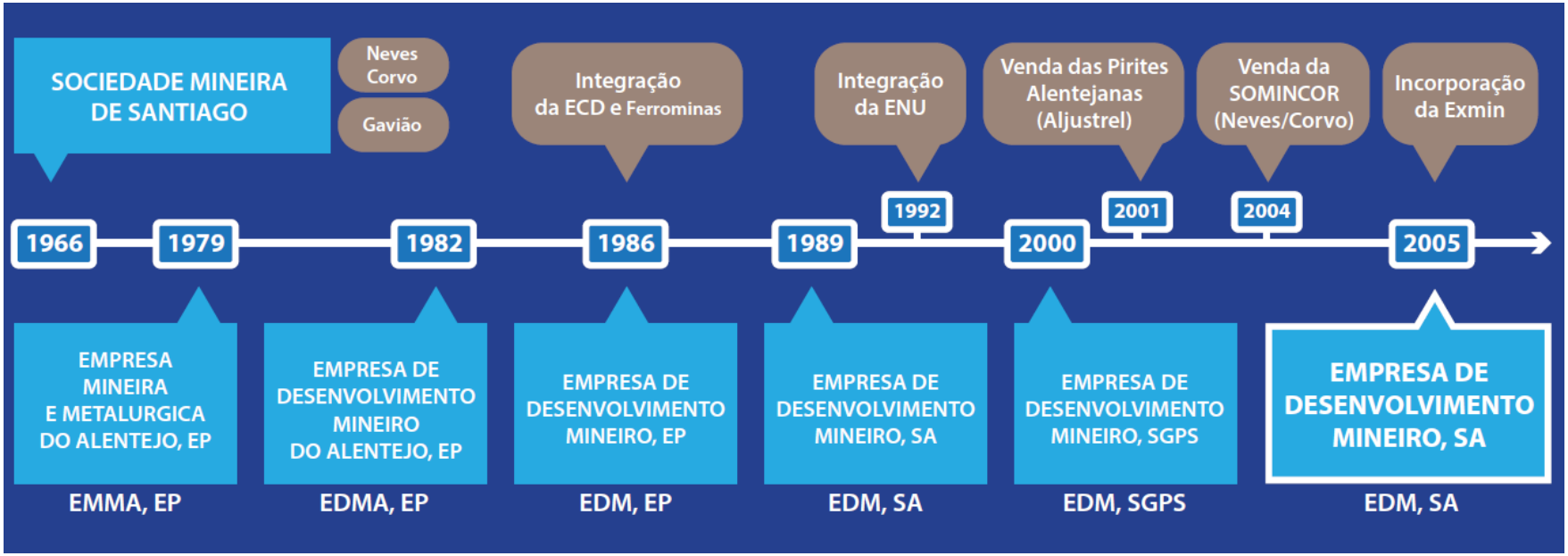
Empresa de Desenvolvimento Mineiro, SA

Índice

1. EDM – EMPRESA DE DESENVOLVIMENTO MINEIRO, S.A.
2. ENQUADRAMENTO
3. ÁREAS MINEIRAS DEGRADADAS: PRINCIPAIS PROBLEMAS
4. A ESTRATÉGIA DE INTERVENÇÃO DA EDM
5. PRINCIPAIS MEDIDAS DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL
6. BALANÇO ATUAÇÃO EDM
7. NOVOS DESAFIOS
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

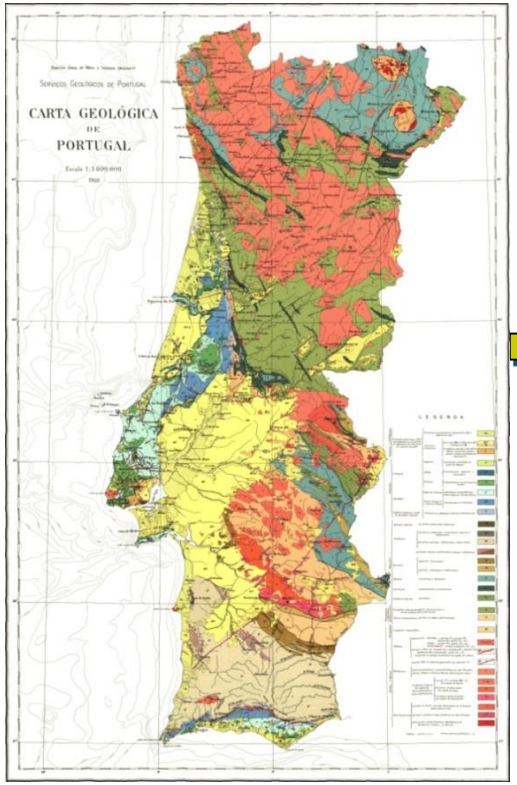
1. EDM – Empresa de Desenvolvimento Mineiro, S.A.

- Uma empresa pública com 50 anos
  - Exploração de recursos minerais
  - Recuperação ambiental de antigas áreas mineiras degradadas (Decreto-Lei n.º 198-A/2001)

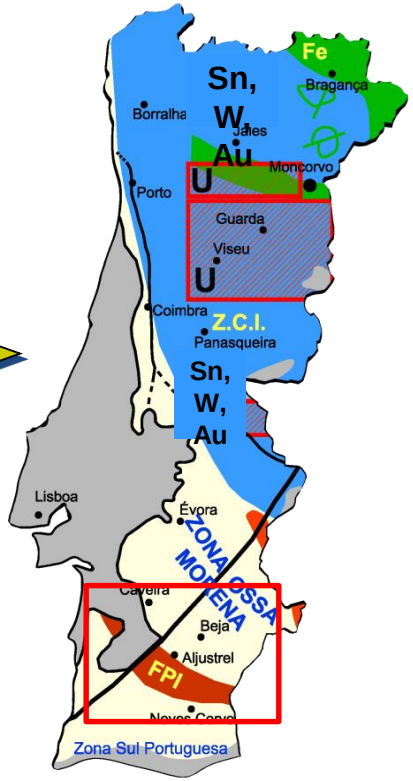


2. Enquadramento

- País com elevada diversidade geológica, geotectónica e geodinâmica, com condições específicas na formação de recursos minerais.



Mainland Geology Map of Portugal, 1:1000.000
(LNEG Edition)

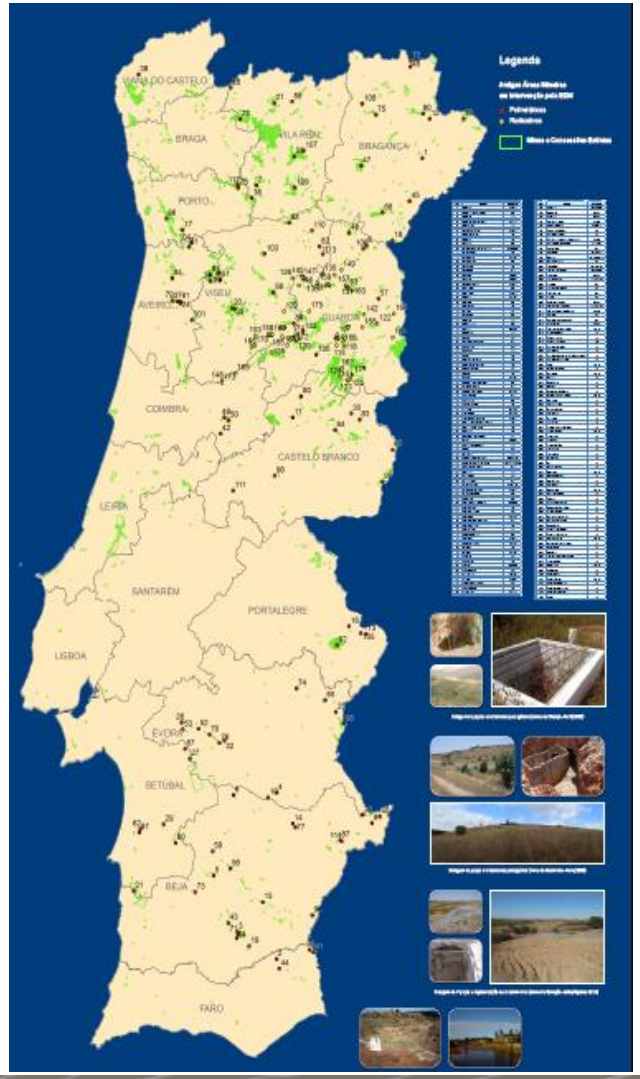


Metallogenic Portuguese Belts
("Abandoned Mine Legacy", DGGE & EDM Edition)

edm
Empresa de Desenvolvimento Mineiro, SA

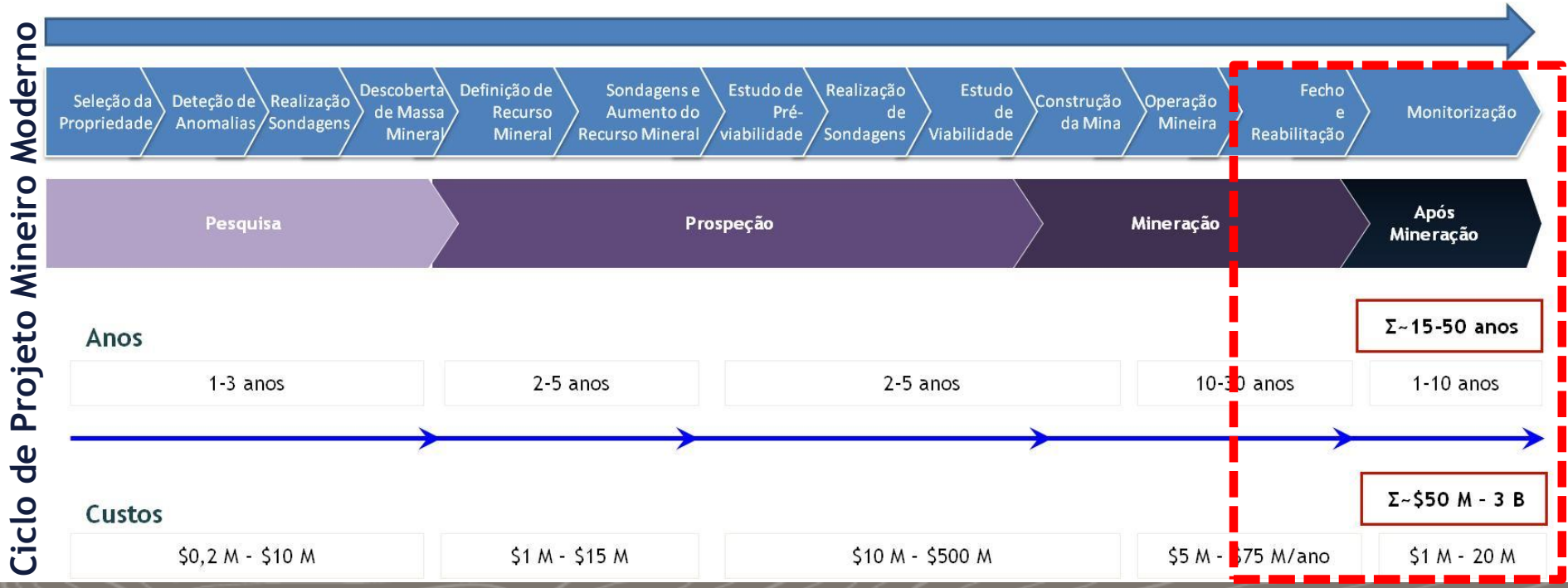
2. Enquadramento

- Exploração mineira registou-se ao longo dos séculos na procura de metais básicos, prata e ouro, especialmente:
  - Tartessos, Cartagineses e Período Romano:
    - Exploração de chapéus-de-ferro da Faixa Piritosa e posterior alargamento a todas as formações sedimentares e filonianas.
- Período Pós-Revolução Industrial (meados séc. XIX até último quartel do séc. XX):
    - Essencialmente formações graníticas e xistosas do Maciço Hespérico e orlas costeiras e dos estuários dos grandes rios, propiciadores à existência de jazigos minerais de natureza diversa.
- **Grande crescimento e forte expressão da atividade mineira**



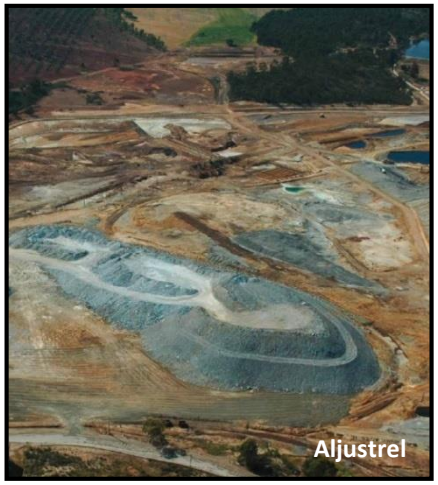
2. Enquadramento

- Passivo ambiental muito significativo, resultante:
  - da exploração num contexto legal e estado da arte distinto do actual;
  - da cessação "repentina" da exploração, sem adequado encerramento;
  - agravado pelo abandono das áreas e instalações mineiras ao longo de décadas.



3. Áreas mineiras degradadas: principais problemas

- Escombreiras, barragens de rejeitados e outros resíduos mineiros (*e.g.* radioativos)

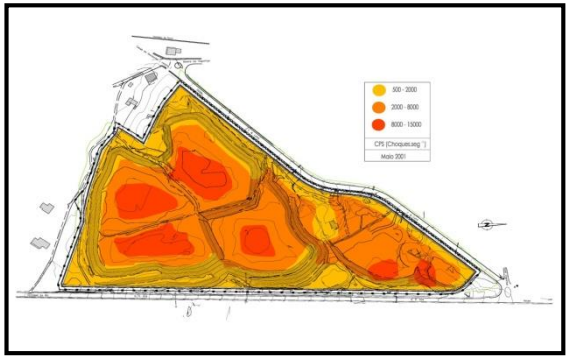

Aljustrel

Jales

Argozelo

Barragem Velha da Urgeiriça

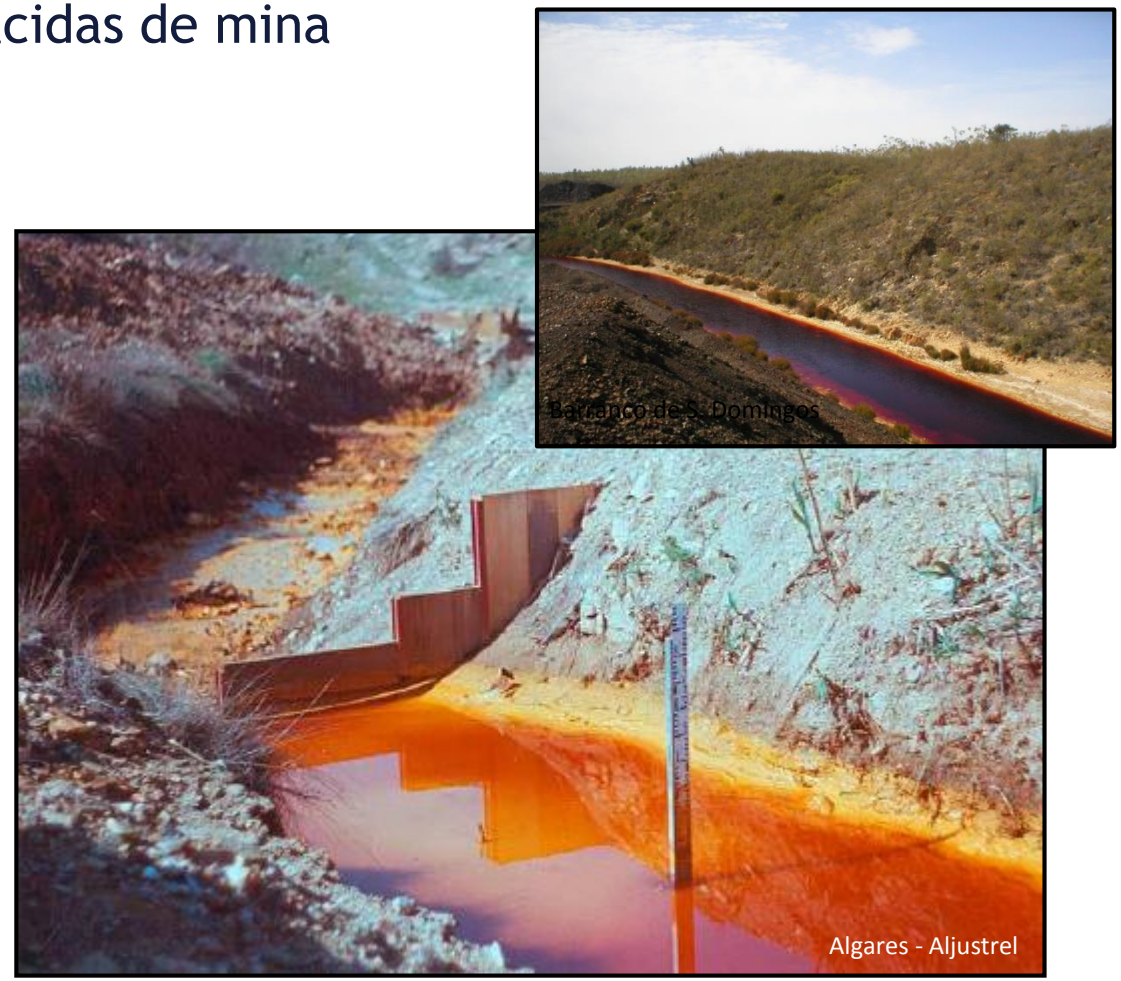
Barragem Velha da Urgeiriça



3. Áreas mineiras degradadas: principais problemas

- Efluentes e drenagens ácidas de mina

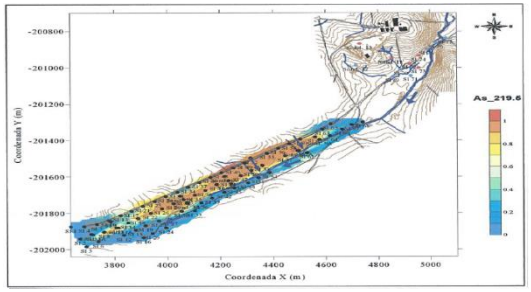
Covas


Barranco de S. Domingos

Algares - Aljustrel

3. Áreas mineiras degradadas: principais problemas

- Riscos de segurança
- Contaminação de solos
- Dispersão atmosférica
- Impactes paisagísticos
- Degradação de património industrial



Spatial Probability Distribution of As > 219.5

Chemical Treatment Facility (Urgeiriça)

4. A Estratégia de Intervenção da EDM

Considerando:

- Lei de Bases do Ambiente (11/87, de 7 de Abril)
- Legislação sectorial mineira (DL 90/90)
- Plano Nacional da Política do Ambiente (1995)
- Tratado de Amesterdão (1997)
- Directivas europeias e legislação nacional de ambiente

O Estado Português atribuiu à EXMIN/EDM a Concessão de Recuperação Ambiental de Áreas Mineiras Degradadas (Decreto-Lei n.º 198-A/2001), renovada pelas RCM nº 62/2011 (4 anos) e nº81/2015 (7 anos)

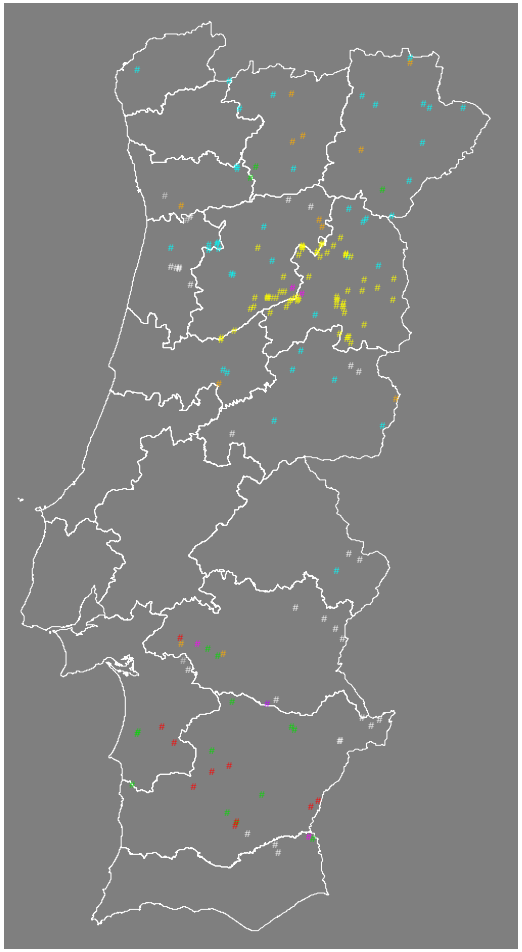
- Objectivos (Art. 3.º) Visa a valorização ambiental, cultural e económica das zonas intervencionadas, garantindo a defesa do interesse público e a preservação do património ambiental, tendo em vista:
  a) **Eliminar, em condições de estabilidade a longo prazo, os factores de risco que constituam ameaça para a saúde e a segurança públicas** (…);
  b) **Reabilitar a envolvente paisagística e as condições naturais de desenvolvimento da flora e da fauna locais**, tendo como referência os habitats anteriores de explorações;
  c) **Assegurar a preservação do património abandonado** pelas antigas explorações (…);
  d) Assegurar as condições necessárias para o estudo**, preservação e valorização de vestígios arqueológicos**, eventualmente existentes, relacionados com a actividade mineira;
  e) **Permitir uma utilização futura das áreas recuperadas**, em função da sua aptidão específica, em cada caso concreto, designadamente para utilização agrícola ou florestal, promoção turística e cultural, além de outros tipos de aproveitamento que se revelem adequados e convenientes.

4. A Estratégia de Intervenção da EDM

Empresa de Desenvolvimento Mineiro, SA

4. A Estratégia de Intervenção da EDM

- Inventário de áreas mineiras degradadas

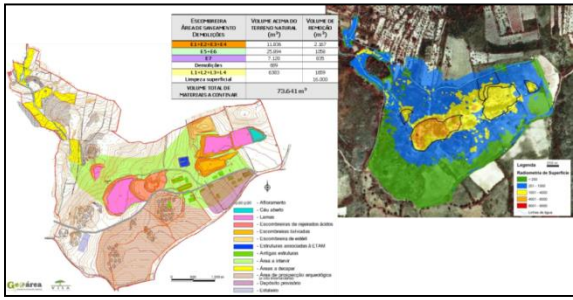


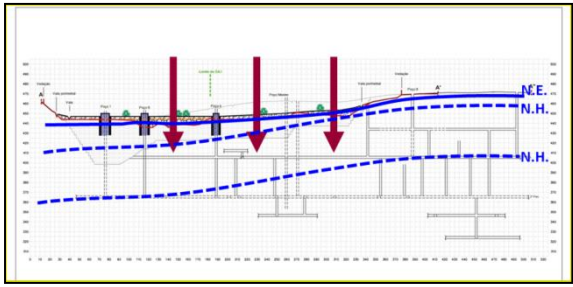
GRUPOS	N.º MINAS (175)	AS MINAS MAIS RELEVANTES
Minérios Radioativos	**61**	Urgeiriça, Quinta do Bispo, Cunha Baixa e Bica
Sulfuretos Polimetálicos	**10**	São Domingos, Aljustrel, Lousal e Caveira
Estanho e Volfrâmio	**40**	Argozelo, Covas, Montesinho e Terramonte
Metais Básicos	**28**	Terramonte, Coval da Mó e Miguel Vacas
Ferro e Manganês	**16**	Orada, Cercal / Rosalgar e Ferragudo
Carvão	**3**	São Pedro da Cova e Pejão
Ouro	**12**	Jales, Penedono e Freixeda
Outros	**4**	Gouveia de Baixo e Cortes Pereira
Asbestos	**1**	Arado do Castanheiro

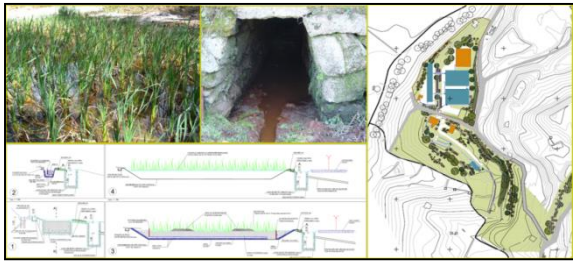
Atualmente 199 antigas áreas mineiras

5. Principais medidas de recuperação ambiental

- **Objetivos:**
- Confinamento técnico de resíduos
  - "Eliminação" focos de contaminação
  - Modelação e estabilização física
  - Minimização de produção de lixiviados
  - Minimização de teores de radiometria
  - Minimização emissão de gás radão
- Gestão de "águas"
  - Evitar contaminação de águas limpas
  - Intercepção e drenagem de águas de "mina"
  - Assegurar tratamento de águas de mina
- Preservação de património
- Resolução de problemas de segurança
- Integração paisagística
- Potenciar usos futuros

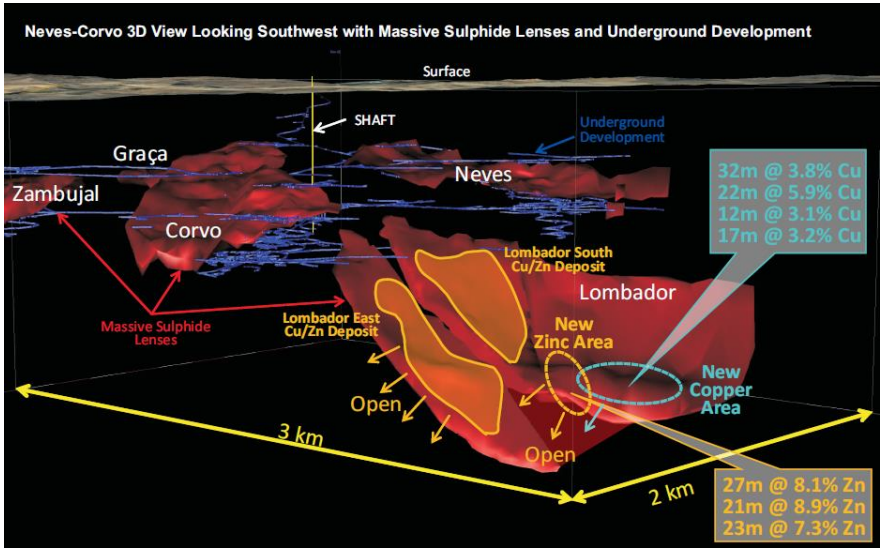




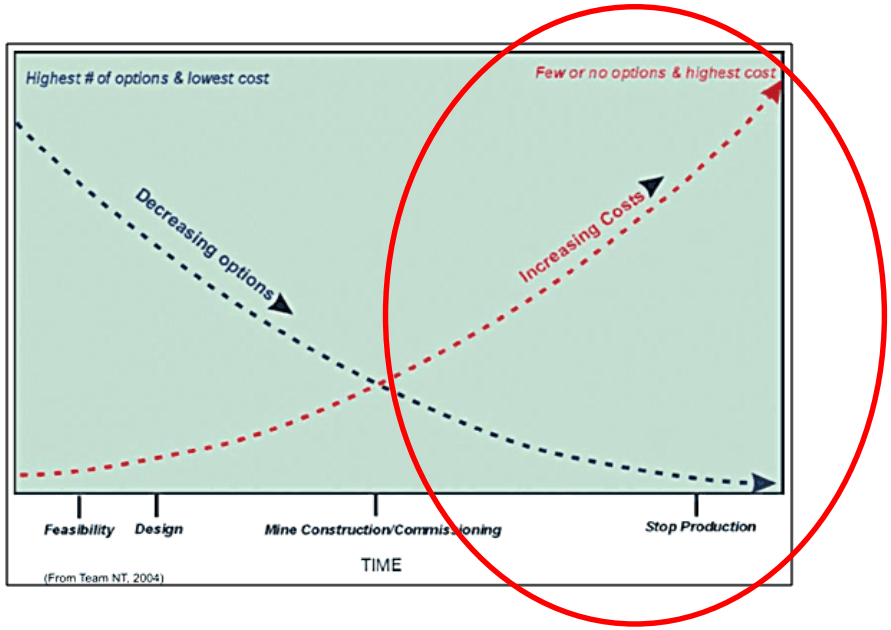


5. Principais medidas de recuperação ambiental

- Exploração moderna vs minas abandonadas
  - Adequada caracterização, avaliação e planeamento da Gestão de Resíduos e Águas de Mina, desde a fase de viabilidade económica e financeira
  - Medidas de correcção ou recuperação ambiental mais dispendiosas



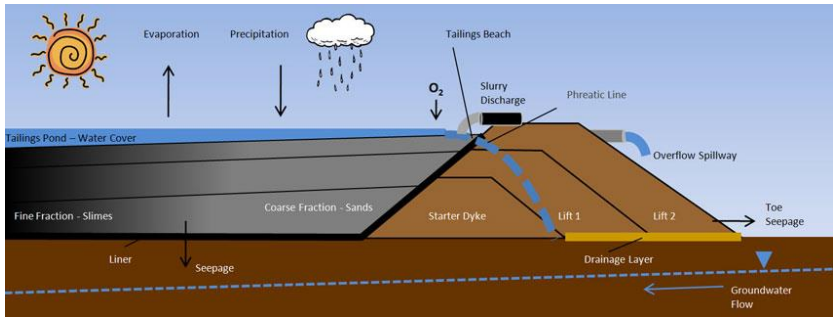
Source: Lundin Mining

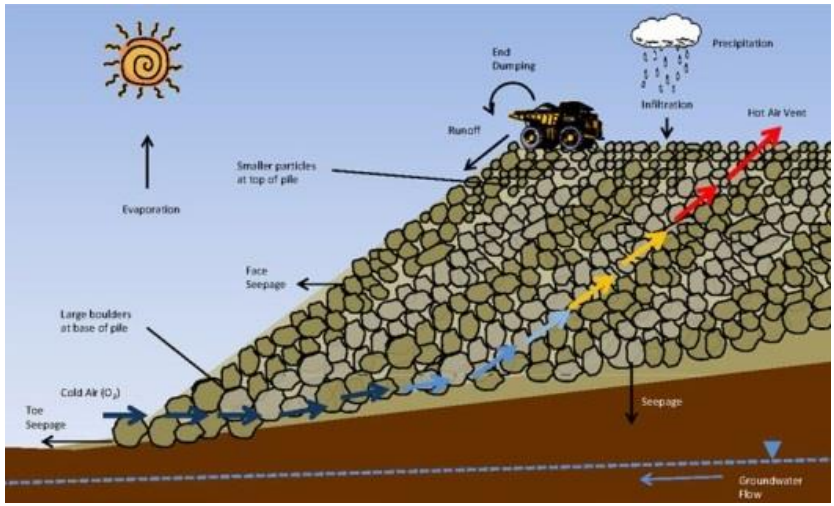


5. Principais medidas de recuperação ambiental

- Caraterização:
  - Histórico de exploração
  - Tipo de deposição:
    - Escombreiras
    - Barragens
  - Características físicas
  - Características químicas

The International Network for Acid Prevention (INAP), 2009. Global Acid Rock Drainage Guide (GARD Guide).http://www.gardguide.com/





Estabilidade física / geotécnica

Estabilidade química

Linhas de água e solos envolventes

Dispersão eólica

Lixiviados, *Acid Mine Drainage*

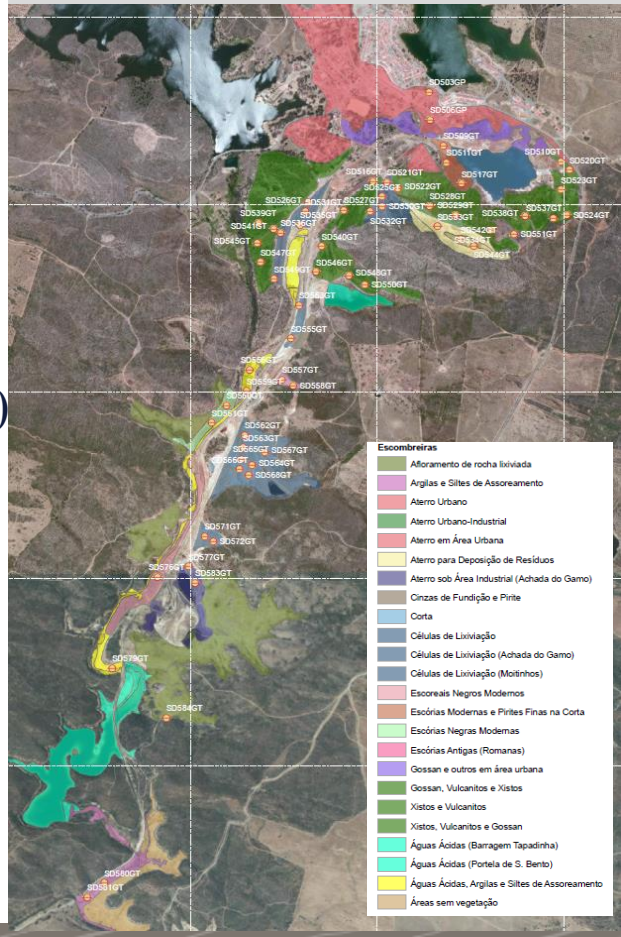
5. Principais medidas de recuperação ambiental

- Sondagens carotadas e execução de piezómetros
  - Sondagens carotadas com recolha continua de amostra (método de perfuração *Wire-Line*)
  - Caracterização lito-estratigráfica e do estado do maciço (grau de alteração, fracturação)
  - Instalação de piezómetros superficiais e profundos (monitorização da qualidade da água)

5. Principais medidas de recuperação ambiental

- Caracterização geoquímica detalhada de resíduos mineiros/escombreiras
  - 61 sondagens / 600 m extensão
  - 250 amostras compósitas
  - Análise geoquímica e mineralógica
- Ensaios de lixiviação
  - Ensaios de percolação em colunas (ASTM E2242)
  - Ensaios de geração ácida (NAG *Static Net Acid Generation)*
  - Ensaios Balanço Ácido-Base (ABA Acid Base Accounting test)
  - Ensaios Humidity cells (ASTM5744-96)
  - Extrações Sequenciais

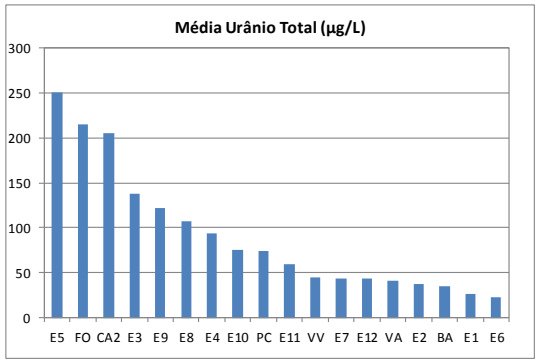
Minas do grupo dos Polimetálicos
Mina de São Domingos

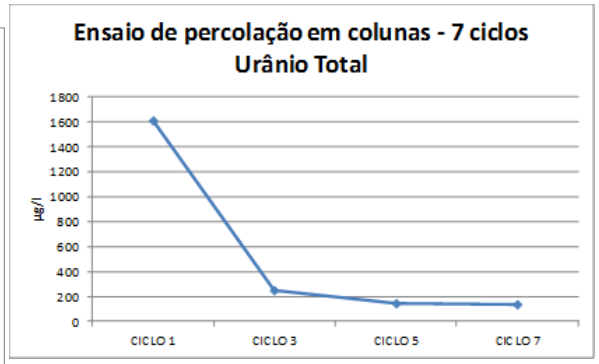


5. Principais medidas de recuperação ambiental

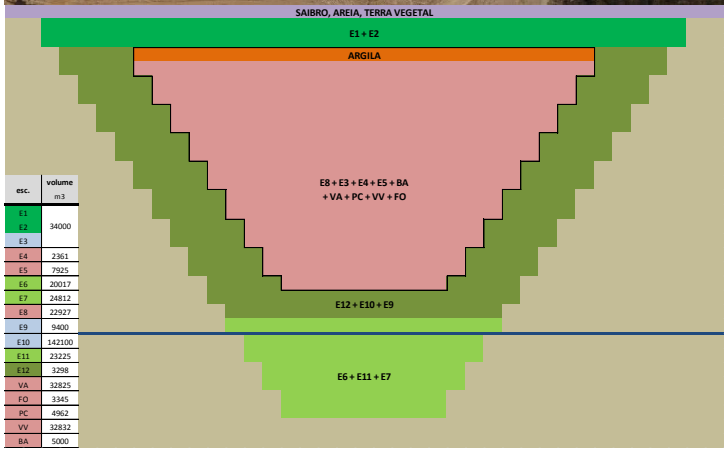
- Caracterização geoquímica detalhada de resíduos mineiros/escombreiras
  - Sondagens
  - Recolha de amostras
  - Análise geoquímica e mineralógica
- Ensaios de lixiviação
  - Ensaios de percolação em colunas (ASTM E2242)
  - Humidity cells (ASTM5744-96)

Esquema de deposição de resíduos no interior da célula de confinamento função dos resultados de lixiviação





Minas de radioativos: célula de confinamento



esc.	volume m3
E1	
E2	34000
E3	
E4	2361
E5	7925
E6	20017
E7	24812
E8	22927
E9	9400
E10	142100
E11	23225
E12	3298
VA	32825
FO	3345
PC	4962
VV	32832
BA	5000

5. Principais medidas de recuperação ambiental

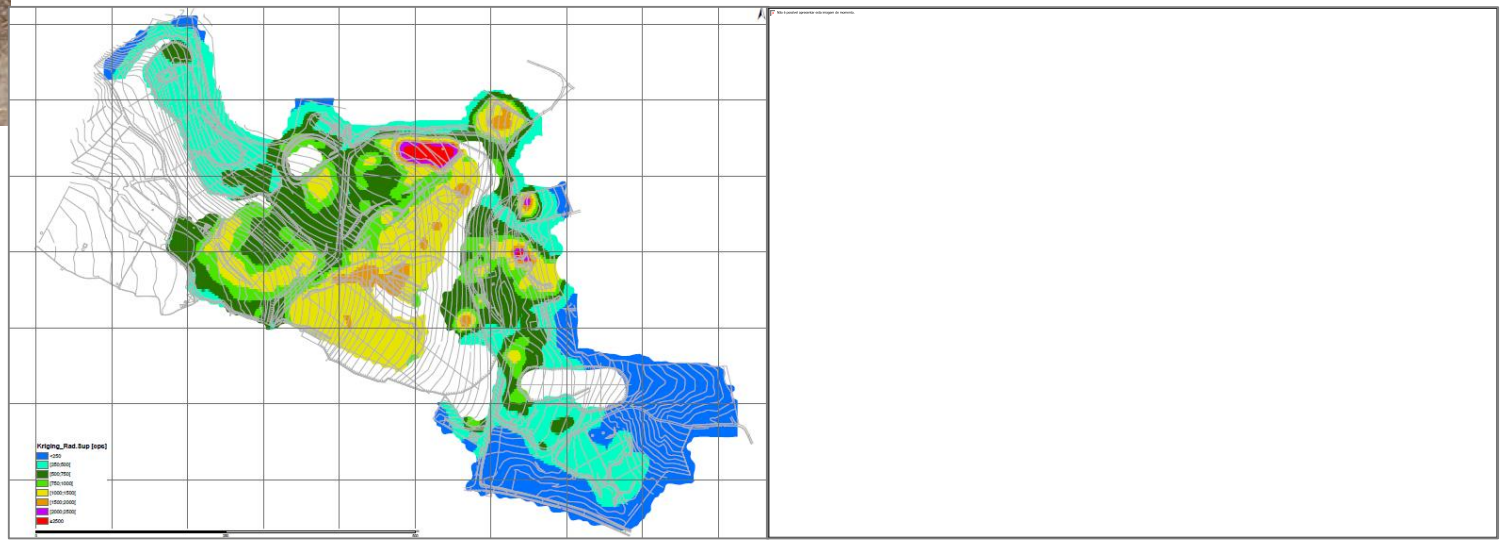
- Levantamentos radiométrico e radiológico

  Objetivo:

  – avaliar níveis de radiação à superfície do terreno
  – avaliar risco radiológico para a população por exposição
  – Levantamentos antes e após intervenção de recuperação ambiental

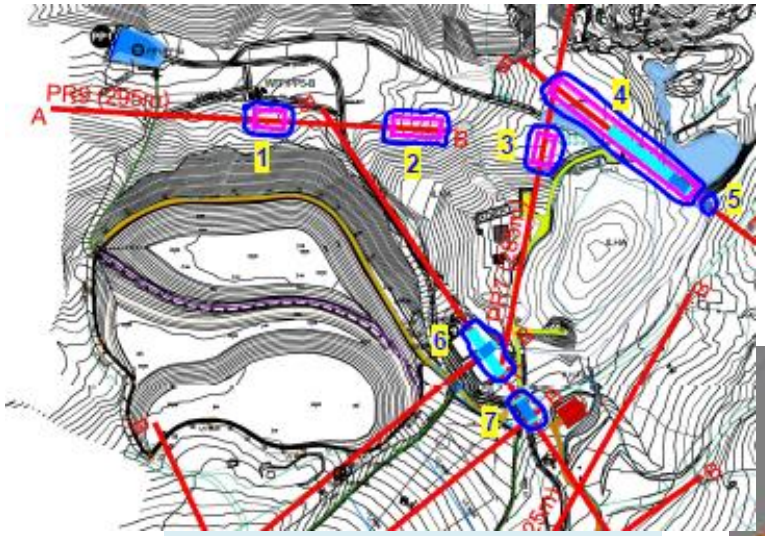
Medição de radiação externa
(Mini 6-80)

Medição da radiação gama
(cintilómetro SPP2)

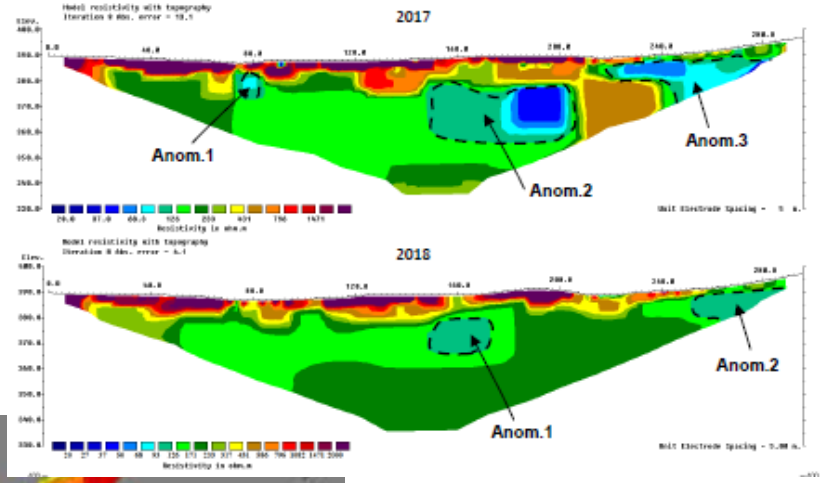


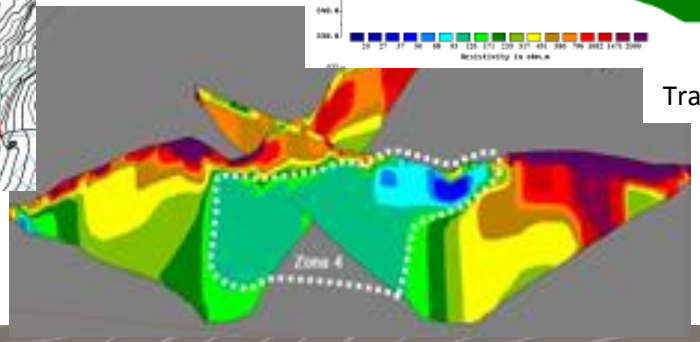
5. Principais medidas de recuperação ambiental

- Trabalhos de Prospeção Geofísica
  - Método resistividade elétrica
  - Perfis geoelétrica antes e após intervenções de recuperação ambiental
  - Anomalias “baixa”/”alta” resistividade
  - Ocorrência de zonas saturadas, zonas mais alteradas e/ou fraturadas do maciço, cavidades, descontinuidades, falhas.



Área mineira de Castelejo

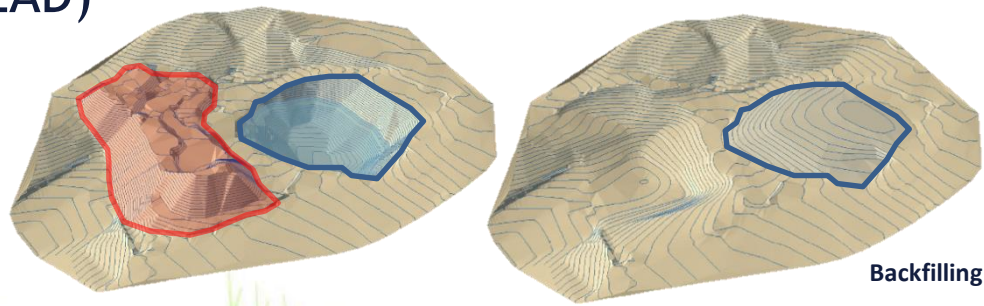




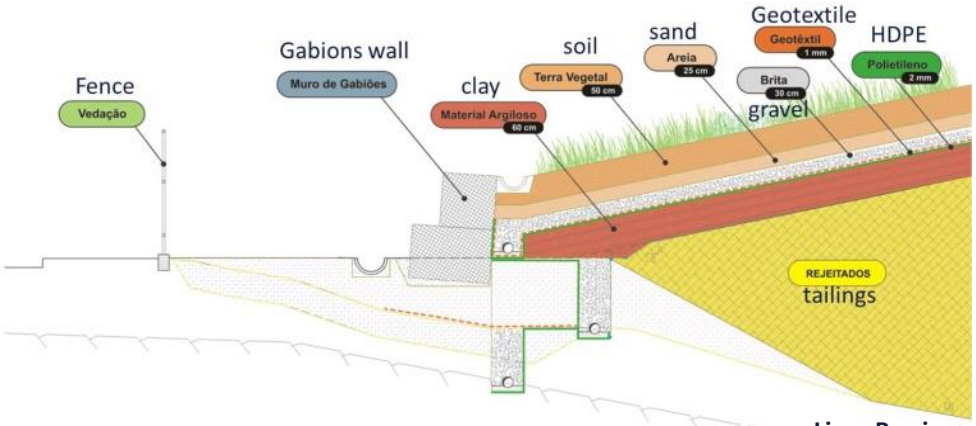
Trabalho realizado empresa Geoarea

5. Principais medidas de recuperação ambiental

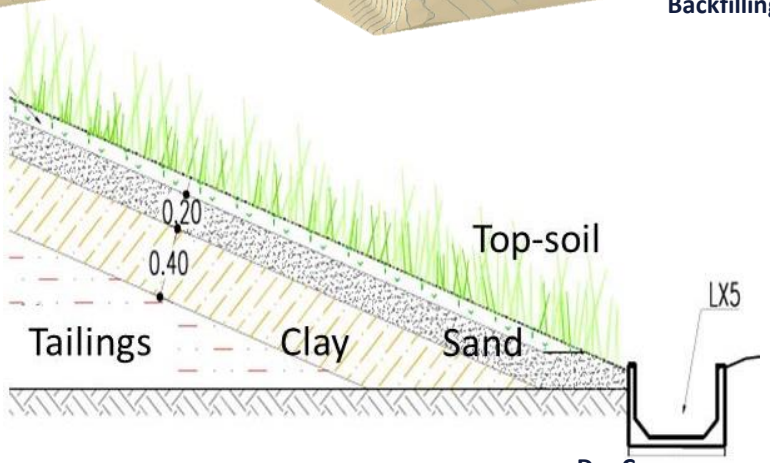
- Soluções de confinamento de resíduos mineiros
  - *Backfilling* (*e.g.* enchimento cortas, poços ou galerias mineiras)
  - Selagem técnica (barreiras de impermeabilização)
    - » Artificiais (*e.g.* telas PEAD)
    - » Naturais (*e.g.* argila)
    - » Mistas
  - Outras (*e.g.* tecnosolos)



Backfilling



Liner Barrier



Dry Cover

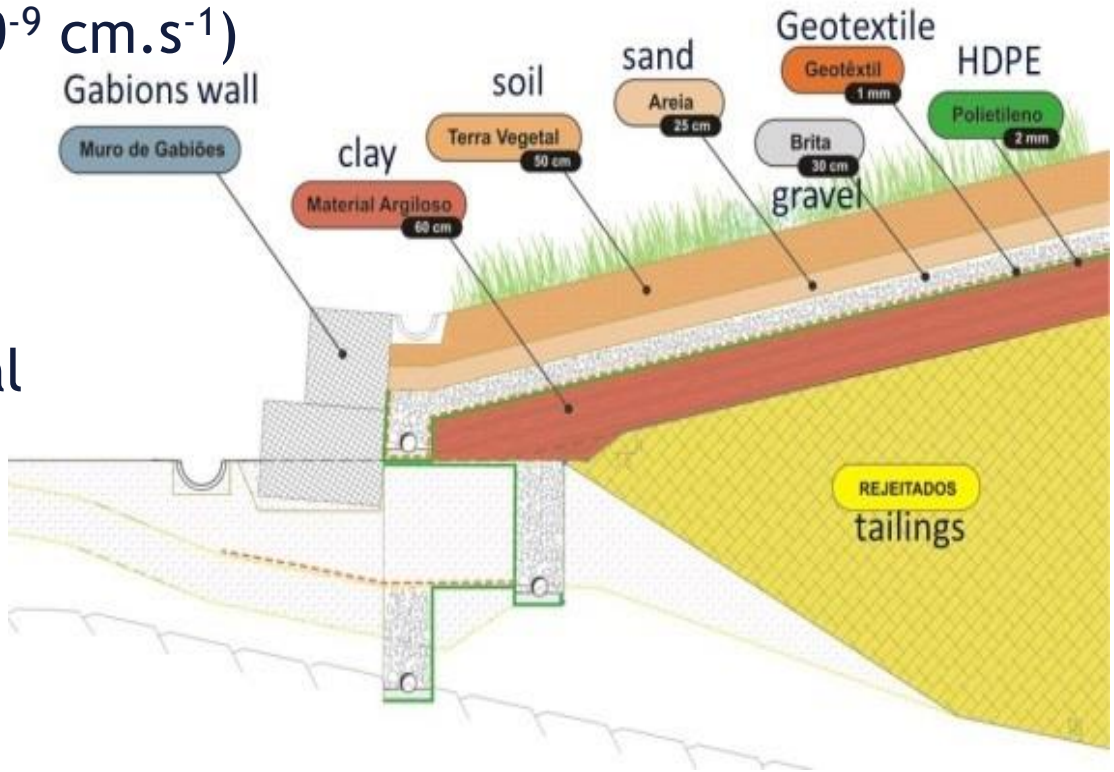
edm
Empresa de Desenvolvimento Mineiro, SA

Área Mineira da Fontinha

Área Mineira da Fontinha

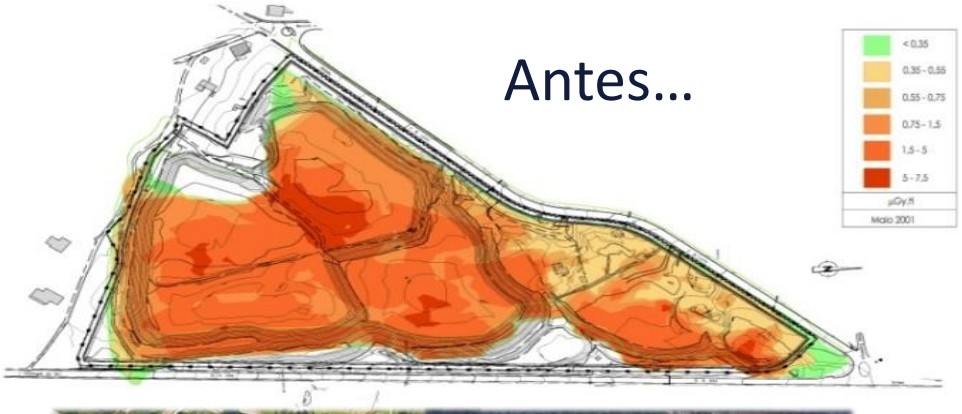
5. Principais medidas de recuperação ambiental

- Selagem e confinamento resíduos mineiros radioativos
  - Sistema de selagem multicamada
  - Rejeitados/escombros
  - 0,60 m argila (k= 10^{-9} cm.s^{-1})
  - Tela PEAD 2 mm
  - 0,30 m brita
  - 0,25 m areia
  - 0,50 m terra vegetal
  - Coberto vegetal
  - (geotêxtil)



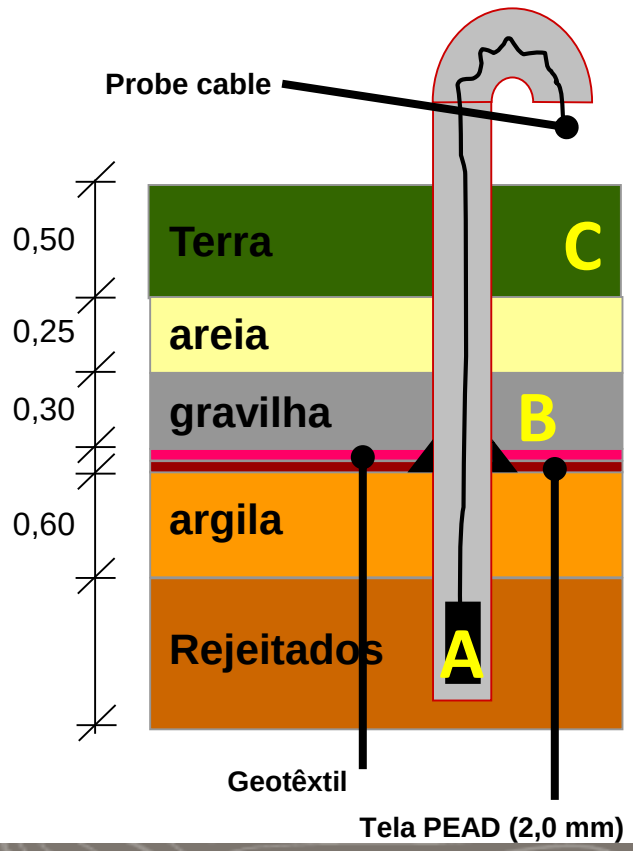
5. Principais medidas de recuperação ambiental

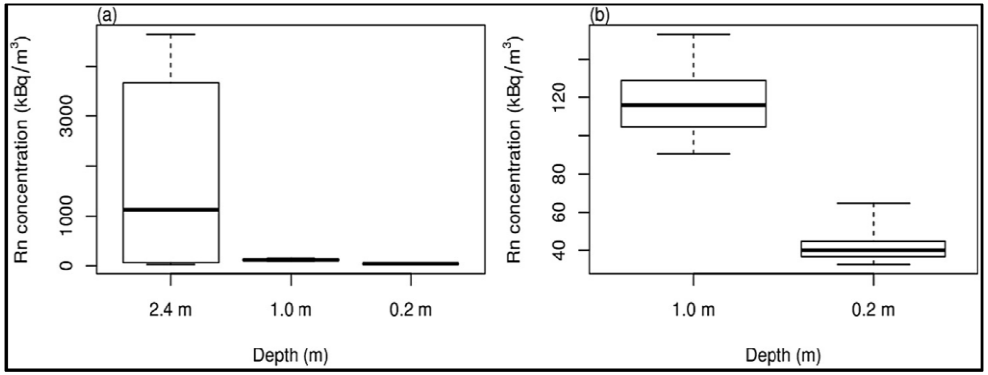
- Resultados “Barragem Velha” da Urgeiriça:
  - Radiometria de superfície (Cintilómetro, SPP2)
    - Antes: **15.000 c.p.s.** (máx.) Pós-remediação: **300 c.p.s.** (máx.)
  - Radiação externa
    - Antes: **7,5 μGy/h** (máx.) Pós-remediação : **0,35 μGy/h** (máx.)



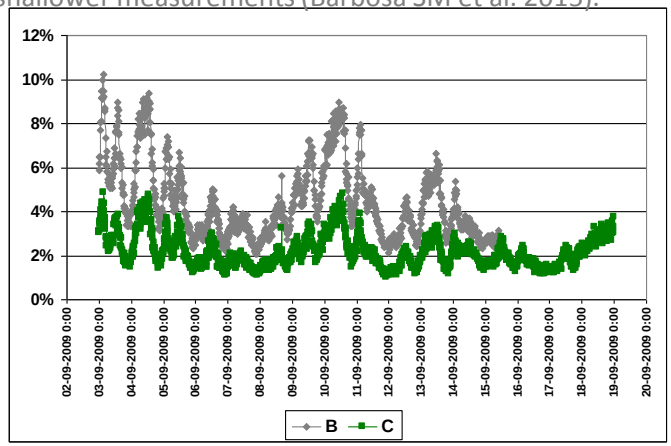
5. Principais medidas de recuperação ambiental

- Resultados “Barragem Velha” da Urgeiriça:
  - Redução da concentração de gás radão em 97%





Boxplots of the radon concentration values (left) measured at the 3 depths and (right) detailed view for the shallower measurements (Barbosa SM et al. 2015).



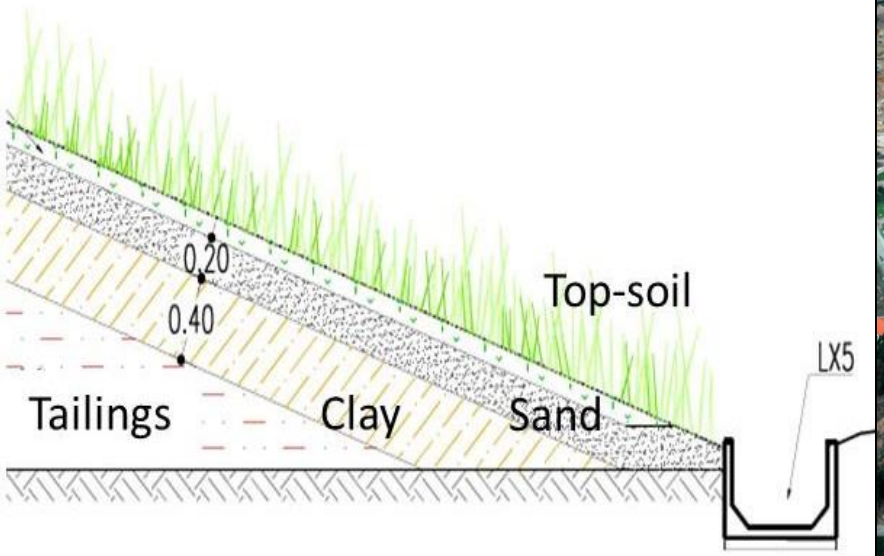
Relative concentration in B and C probes related to A

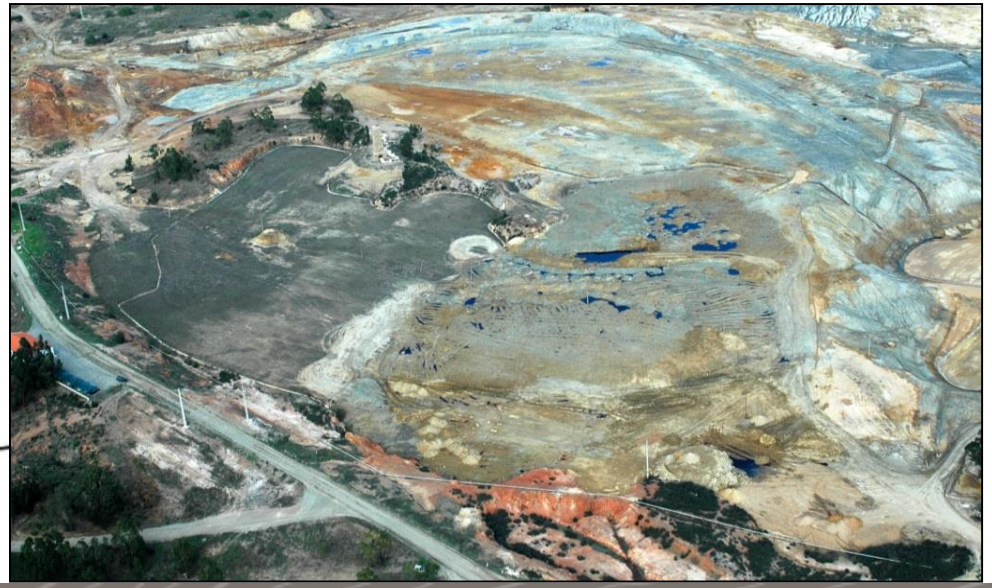
edm
Empresa de Desenvolvimento Mineiro, SA

Área Mineira da Urgeiriça

5. Principais medidas de recuperação ambiental

- Sistema de selagem “natural” em Aljustrel
  - Rejeitados
  - 0,40 m argila ($k=10^{-9}$ $cm.s^{-1}$)
  - 0,20 m areia
  - 0,40 m terra vegetal

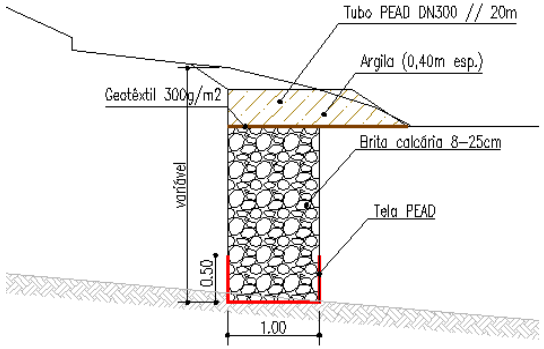




Área Mineira de Aljustrel

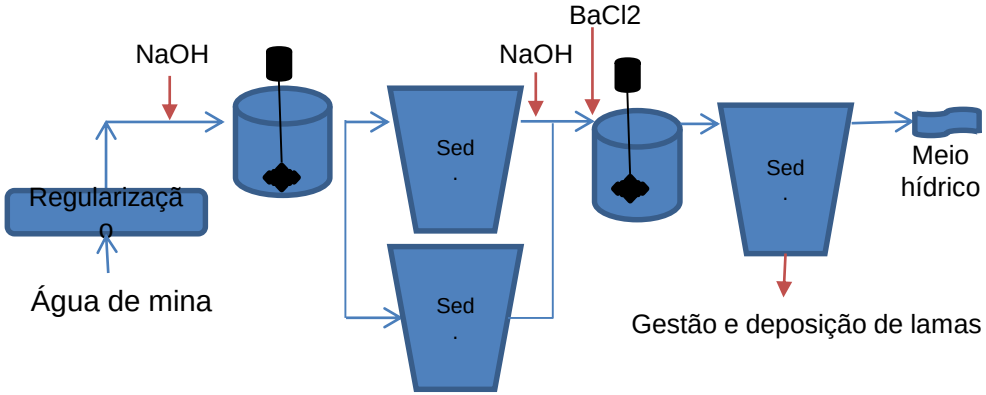
5. Principais medidas de recuperação ambiental

- Gestão de águas
  - Canais Perimetrais
  - Sistemas separativos de águas pluviais e contaminadas
    - Superficiais
    - Subterrâneas
  - Drenos de brita calcária
  - Drenos anóxicos de brita calcária
  - Barreiras geológicas
  - Barreiras reactivas permeáveis



5. Principais medidas de recuperação ambiental

- Tratamento de águas de mina
  - Sistemas de tratamento activos

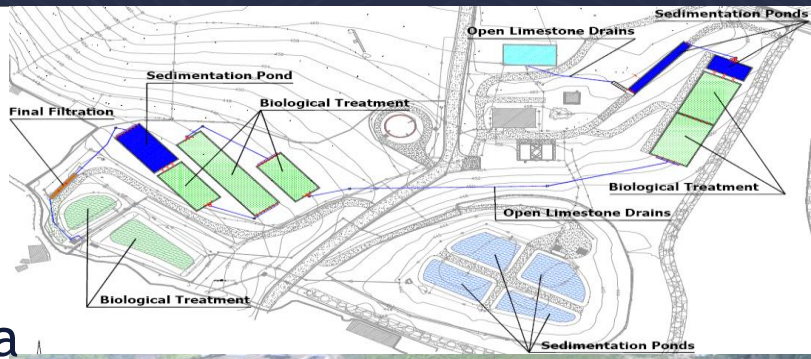


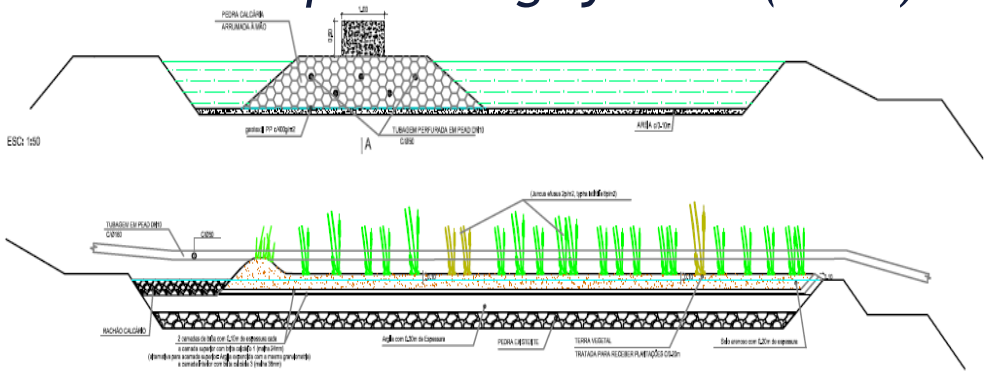
ETAM da Urgeiriça

ETAM da Urgeiriça

5. Principais medidas de recuperação ambiental

- Tratamento de águas de mina
  - Sistemas de tratamento passivos
    - cascatas de arejamento
    - Leitos e drenos de brita calcária
    - Bacias de decantação
    - Sistemas biológicos (wetlands aeróbias ou anaeróbias)
    - *Reducing and alkalinity producing systems (RAPS)*





Sistema de tratamento passivo do Lousal

6. Balanço atuação EDM

- 110 áreas mineiras intervencionadas/em curso (55%)
  - 40+6 minérios radioativos (74%)
  - 63+1 minérios polimetálicos (47%)

Áreas mineiras	Inventário	2001-2018		Previsto	
		Pós-intervenção	Em Curso	Pré-intervenção	Com constrangimentos
Radioativos	62	40	6	16	0
Polimetálicos	137	63	1	41	32
Total	199	103	7	57	32
		110		89	
		199			

(*) Exploration areas, Protected Areas, Archeological Areas, Other.

6. Balanço atuação EDM

- 88,6 M€ de investimento **realizado** entre 2000 e 2015
  - 52,6 M€ minérios radioativos (59%)
  - 36,0 M€ minérios polimetálicos (41%)

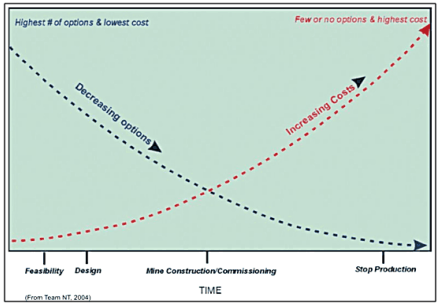
- 45,9 M€ de investimento **em curso** entre 2016 e 2020
  - 38,3 M€ minérios radioativos (83%)
  - 7,6 M€ minérios polimetálicos (17%)

7. Novos desafios

- Novos desafios

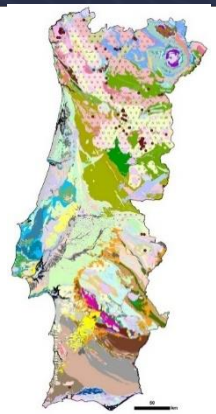
  "mining waste and water not only as an environmental issue, but as a secondary source of mineral raw materials"

  – Contribuir para soluções mais eficazes
    - Mobilização e reprocessamento resíduos mineiros
    - Remoção de contaminantes
    - Novas soluções de gestão de resíduos
  – Potencial retorno económico:
    - Novo modelo negócio
    - Parcialmente suportar os custos de remediação, manutenção e monitorização
  – Gestão mais eficiente de recursos



7. Novos desafios

- Abordagem:
  - Caraterização geral de antigos resíduos mineiros:
    - Volume disponível? Que materiais? Que concentrações?
  - Caracterização química e geoquímica detalhada:
    - Granulometria, mineralogia, química, …, microbiologia, …;
  - Soluções convencionais vs inovadoras:
    - Tipo de medidas de remediação implementadas
    - Mobilização / reprocessamento resíduos?
    - Soluções *In-situ*
    - Encerramento / Remediação final
  - Viabilidade económica…



Mining Site	Primary Raw Material	Waste Type	Confined waste	Volume of wastes ('000 m³)
Jales	Au	Tailings	X	> 250
Penedono	Au	Waste rock and Tailings		100 -150
Aljustrel-Algares	Cu, Pb, Zn	Waste rock and Tailings		> 250
São Domingos	Cu, Pb, Zn	Waste rock; Tailings, slags		> 250
Caveira	Cu, Pb, Zn	Waste rock		200 - 250
Aparis	Cu	Waste rock		50 - 100
Miguel Vacas	Cu	Waste rock		50 - 100
Mostardeira	Cu	Waste rock		50 - 100
Talhadas	Cu, Pb, Ag	Waste rock		50 - 100
Tinoca	Cu	Waste rock	X	50 - 100
Terramonte	Pb, Zn, Ag	Tailings	X	150 - 200
Braçal	Pb	Waste rock and Tailings		50 - 100
Argozelo	Sn, W	Waste rockand Tailings	X	100 - 150
Montesinho	Sn (w)	Waste rock		100 - 150
Bejanca	Sn, W	Waste rock and Tailings		50 - 100
Góis	Sn, W	Waste rock		50 - 100
Ribeira	Sn, W	Waste rock		50 - 100
Murçós	Sn, W	Waste rockand Tailings	X	50 - 100
Borralha	W	Waste rock and Tailings		150 - 200
Covas	W	Waste rock and Tailings	X	100 - 150
Fonte Santa	W	Waste rock	X	50 - 100

Empresa de Desenvolvimento Mineiro, SA

7. Novos desafios

- Projetos de I&D
  - **ERAMIN / 7th Framework Program**

ENVIREE – ENVIronmentally friendly & efficient methods for extraction of REE from secondary sources

BIOCRITICAL METALS - Recognition of microbial functional communities and assessment of the mineralizing potential (bioleaching) for high-tech critical metals

  - **H2020**

UNEXMIN – Autonomous Underwater Explorer for Flooded Mines

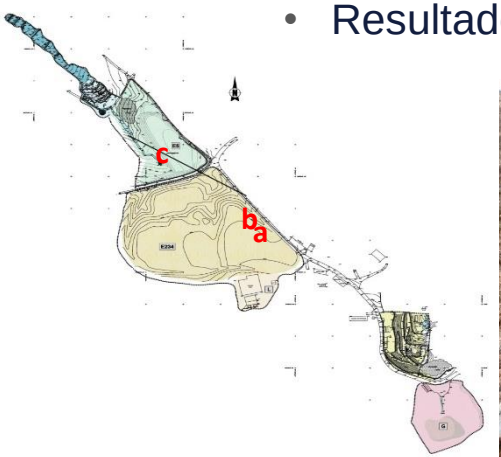
  - **Life**

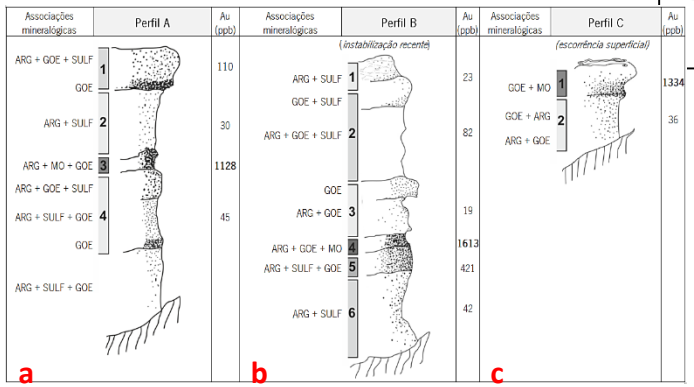
LifeNoWaste - Management Of Biomass Ash And Organic Waste In The Recovery Of Degraded Soils: A Pilot Project Set In Portugal

7. Novos desafios

- Projetos de I&D
  - **ENVIREE** – ENVIronmentally friendly & efficient methods for extraction of REE from secondary sources
    - Identificação preliminar de Fontes Secundárias de REE em Portugal (resíduos mineiros)
    - Caraterização laboratorial de resíduos pré-selecionados
    - Seleção de resíduos de Covas para ensaio piloto de extração de W, Ce, La and Nd
    - Resultados disponíveis no site do projeto

http://www.enviree.eu/

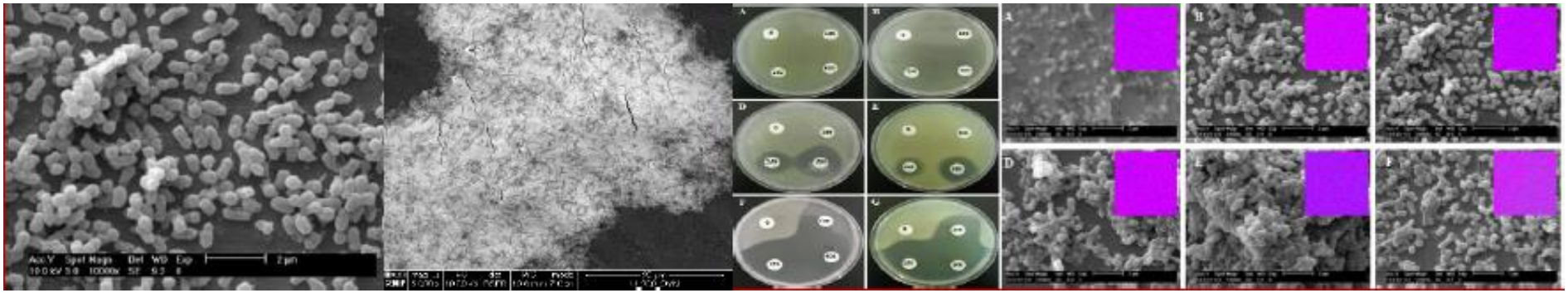




Empresa de Desenvolvimento Mineiro, SA

7. Novos desafios

- Projetos de I&D
  - **BIOCRITICAL METALS - Recognition of microbial functional communities and assessment of the mineralizing potential (bioleaching) for high-tech critical metals**
    - Identificação e caraterização de novos microorganismos
    - Avaliação em rejeitados com potencial em matérias primas críticas: In, Ga, Te and W e poluentes (As, Sb)
    - Aplicação em biosolubilização, biomineração e bioacumulação



7. Novos desafios

- Projetos de I&D
  - **UNEXMIN** – Autonomous Underwater Explorer for Flooded Mines
    - Metodos não invasivos para exploração autónoma sub-aquatica e mapeamento 3D, recolha de informação geológica, mineralógica e espacial
    - Teste piloto na Urgeiriça em 2019

HORIZON 2020

UNEXMIN

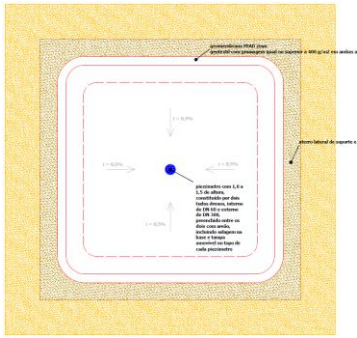
https://www.unexmin.eu/

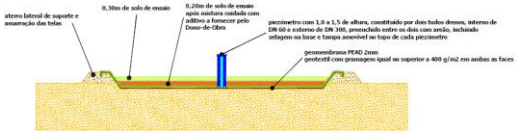
Project starting date: 1 February 2016
Duration: 45 months
Budget: EUR 4 862 865
Output: 3 working prototypes

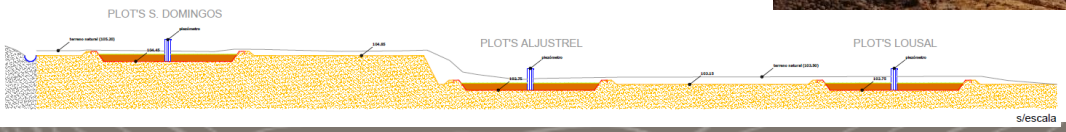
7. Novos desafios

- Projetos de I&D
  - **LifeNoWaste** - Management Of Biomass Ash And Organic Waste In The Recovery Of Degraded Soils: A Pilot Project Set In Portugal
    - Construção de ensaio piloto de recuperação de solos na Mina de São Domingos

LIFE14 ENV/PT/000369
http://www.lifenowaste.pt/







Empresa de Desenvolvimento Mineiro, SA

8. Considerações finais

- É sobretudo, de realçar a oportunidade do momento em que o Plano de Recuperação das Áreas Mineiras Degradadas foi lançado, o que permitiu beneficiar de importantes **comparticipações financeiras**, ao longo de três quadros comunitários.
- Os projetos devem ter o **envolvimento de stakeholders**, em particular das entidades locais com vista à sua compreensão, aceitação e futura utilização.
- Os projetos, em particular de grandes dimensões, devem ser **desenvolvidos por fases**, de modo a que as precedentes possam introduzir ajustamentos às anteriores.
- A actuação desenvolvida e a prevista concretizar, colocam o país em condições de poder congratular-se, **dentro de poucos anos, de ter resolvido um dos principais impactes negativos no seu território**, o associado à actividade mineira do passado.
- **Não basta recuperar. É preciso manter, operar e preservar de forma a evitar a degradação futura das áreas recuperadas.**

Empresa de Desenvolvimento Mineiro, SA

R. Sampaio e Pina, nº 1 – 3 Dtº 1070-248 LISBOA
Geral – Tel: (+351) 213 859 121 – Fax (+351) 213 856 344 – E-mail: edm.mineira@edm.pt
www.edm.pt

Edgar Carvalho
edgar.carvalho@edm.pt