



UNIVERSIDADE DE ÉVORA

ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS

DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS

**Avaliação do Potencial Mineiro das
Escombreiras da Mina de São Domingos**

Alexandre Miguel Ribeiro Vieira

Orientador:

Joaquim Luís Galego Lopes

Co-orientadores:

João Manuel Xavier de Matos

Ruben Sílvio Varela Santos Martins

Mestrado em Engenharia Geológica

Dissertação

Évora, 2015

ALEXANDRE MIGUEL RIBEIRO VIEIRA

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL MINEIRO DAS ESCOMBREIRAS
DA MINA DE SÃO DOMINGOS**

Dissertação apresentada à Universidade de Évora para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Geológica

Júri

Presidente: Isabel Maria Ratola Duarte (UÉ)

Arguente: António Manuel Nunes Mateus (FCUL)

Orientador: João Manuel Xavier de Matos (LNEG)

UNIVERSIDADE DE ÉVORA

ÉVORA, 2015

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) pela disponibilização dos dados a partir dos quais assentou a elaboração desta dissertação.

Ao Mestre João Xavier Matos, da Unidade de Recursos Minerais e Geofísica do LNEG, pela transmissão de conhecimentos sobre a Mina de São Domingos e por todo o apoio prestado ao longo do trabalho.

Ao Professor Doutor Rúben Varela Martins, por inicialmente me ter proposto o tema da dissertação, assim como por toda a ajuda prestada no decorrer da investigação.

Ao Professor Doutor Luís Galego Lopes, por todo o auxílio prestado.

À Professora Doutora Paula Alexandra Gonçalves Faria pelas valiosas sugestões em alguns aspectos da investigação.

Ao Departamento de Geociências da Universidade de Évora, pelas facilidades concedidas na recolha de amostras em campo e para a realização dos ensaios em laboratório.

À Sandra Velez, assistente técnica do laboratório de geotecnia da Universidade de Évora, pelo auxílio prestado na execução dos ensaios laboratoriais.

A Mandy Whitlock, da Dassault Systèmes, pelo empréstimo da licença do *software* GEOVIA Surpac, com o qual foi realizado grande parte deste estudo.

RESUMO

Avaliação do potencial mineiro das escombrelras da mina de São Domingos

Neste trabalho pretende-se avaliar os recursos geológicos associados aos resíduos mineiros da antiga exploração de sulfuretos da Mina de São Domingos, designadamente os depósitos de *gossan* e de rocha encaixante depositados junto à corta e aldeia mineira.

A reinterpretação da informação geoquímica obtida pela Companhia Nacional de Piritas, S.A. e a análise da cartografia mineira realizada pelo LNEG, permitiu construir um modelo tridimensional para cada depósito de escombros e assim proceder a uma estimativa dos recursos inferidos em ouro e prata neles existentes.

Considerando alguns factores limitantes à remoção dos resíduos, definiram-se diferentes cenários de exploração. O modelo mais restritivo aponta para um recurso geológico inferido de 2.4 Mt com 0,77 g/t de Au e 8,26 gt de Ag. Na totalidade dos resíduos analisados estimam-se 4.0 Mt com 0,64 g/t Au e 7,30 g/t de Ag, correspondentes a 82 878 oz t Au e 955 753 oz t Ag.

Palavras-chave: avaliação de recursos minerais; resíduos mineiros; metais preciosos; mina de São Domingos; Faixa Piritosa Ibérica

ABSTRACT

Evaluation of the mining potential of the São Domingos mine waste piles

This study aims to evaluate the geological resources related to the São Domingos old sulphide exploitation mining wastes, namely the *gossan* and host rock tailings located near the open pit and mine village.

Three-dimensional waste pile models were constructed for gold and silver inferred resource estimation purposes from the reinterpretation of geochemical data obtained in a survey carried out by the Companhia Nacional de Piratas, S.A. and mining waste mapping analysis performed by LNEG (Portuguese Geological Survey).

Due to some restricting factors to waste re-mining, different inferred resource scenarios were considered. In the most restrictive plan, an inferred resource of 2.4 Mt @ 0.77 g/t Au and 8.26 g/t Ag is presented. Considering all the evaluated wastes, an inferred resource of 4.0 Mt @ 0.64 g/t Au and 7.30 g/t Au is present, corresponding to a metal content of 82.878 oz t Au and 955.753 oz t Ag.

Keywords: mineral resource estimation; mining wastes; precious metals; São Domingos Mine; Iberian Pyrite Belt

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
ÍNDICE GERAL	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABELAS	xvii
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xxi
ÍNDICE DE EQUAÇÕES	xxiii
1 INTRODUÇÃO	1
PRIMEIRA PARTE – FUNDAMENTOS TEÓRICOS SOBRE A ESTIMAÇÃO DE RECURSOS MINERAIS	5
2 CONCEITOS ESTATÍSTICOS BÁSICOS	7
2.1 Média	7
2.2 Mediana	7
2.3 Variância e desvio padrão	8
2.4 Coeficiente de variação	9
2.5 Covariância e coeficiente de correlação linear	10
2.6 Histogramas	11
2.7 Nota sobre a dimensão da amostragem	11
2.8 Nota sobre valores anómalos extremos	12
3 MODELOS DE BLOCOS	13
4 EXTENSÃO DAS AMOSTRAS AOS MODELOS DE BLOCOS (ESTIMAÇÃO DE TEORES)	15
4.1 Métodos geoestatísticos – <i>Krigagem</i> Normal	16
4.2 Método do Inverso de uma potência das distâncias	20

SEGUNDA PARTE – AVALIAÇÃO DO POTENCIAL MINEIRO DAS ESCOMBREIRAS DA MINA DE SÃO DOMINGOS	25
5 DADOS E METODOLOGIA	27
5.1 Dados	27
5.1.1 Prospecção	26
5.1.1.1 Sondagens	28
5.1.1.2 Poços	29
5.1.2 Informação para a definição da estrutura dos corpos	29
5.2 Metodologia	30
6 AREA EM ESTUDO	33
6.1 Breve enquadramento geológico	35
6.2 Actividade mineira em São Domingos	37
6.2.1 Métodos de exploração no período Contemporâneo	37
6.2.2 Tratamento metalúrgico do minério de São Domingos	39
6.3 Tipologia e distribuição espacial dos resíduos mineiros	40
6.4 Caracterização dos Materiais em estudo	42
6.4.1 Gossan ou “chapéu-de-ferro”	43
6.4.2 Vulcanitos ácidos <i>gossanizados</i>	45
6.4.3 Vulcanitos ácidos e xistos argilosos	45
6.4.4 Xistos acastanhados	46
6.4.5 Aterros	47
6.4.6 Massa volúmica das rochas	48
6.4.7 Massa volúmica das escombreyras e aterros	52
7 DEFINIÇÃO DOS MODELOS TRIDIMENSIONAIS DAS ESCOMBREIRAS E ZONAS DE ATERRO	55
7.1 Limites laterais - polígonos delimitadores das áreas para estimação	56
7.1.1 Limites dos corpos de escombreyra	56
7.1.2 Definição de áreas de aterro para estimação de teores	58
7.1.3 Limites condicionados	60
7.2 Topografia actual: modelo digital das superfícies de escombreyra	64
7.2.1 Modelação de descontinuidades	65
7.3 Topografia original (paleorelevo): modelo digital do terreno da base das escombreyras	68
7.3.1 Modelação de descontinuidades	71

7.3.2	Avaliação da qualidade do modelo	72
7.4	Modelos tridimensionais os corpos de escombreira e aterro	75
7.4.1	Modelos tridimensionais dos corpos condicionados	81
7.4.2	Nota sobre o cálculo o volume dos modelos tridimensionais	82
8	ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS DA AMOSTRAGEM	83
8.1	Agrupamento da amostragem	83
8.1.1	Nota sobre o suporte da amostragem	85
8.1.2	Nota sobre a prospecção <i>in situ</i>	86
8.1.3	Nota sobre a informação geoquímica	86
8.2	Análise estatística básica da amostragem original	87
8.2.1	Corpos de escombreira e aterro	87
8.2.1.1	Ouro	87
8.2.1.2	Prata	90
8.2.1.3	Correlação linear entre os teores de ouro e prata	92
8.2.2	Fracções granulométricas	94
8.2.2.1	Ouro	94
8.2.2.2	Prata	96
8.3	Validação dos dados originais	98
8.3.1	Teores mínimos em ouro e prata	98
8.3.2	Corte de teores (<i>capping</i>)	98
8.4	Análise estatística básica após validação de dados	103
9	ESTIMAÇÃO DOS TEORES DE OURO E PRATA NOS CORPOS DE ESCOMBREIRA E ATERRO	105
9.1	Procura de amostras	105
9.2	Qualidade das estimações	111
9.3	Nota sobre a distribuição da amostragem	113
10	RECURSOS NAS ESCOMBREIRAS E ATERROS	115
10.1	Recursos totais nas escombreiras e aterros	115
10.1.1	<i>Gossan</i> (E4 e E5)	115
10.1.2	Vulcanitos ácidos <i>gossanizados</i> (E7)	117
10.1.3	Vulcanitos ácidos e xistos argilosos (E8)	118
10.1.4	Xistos acastanhados (E9)	119
10.1.5	Aterros (EA)	120
10.1.6	Recursos totais	118
10.2	Recursos condicionados	122

10.2.1	Perdas e recursos nos corpos condicionados.....	122
10.2.2	Perdas e recursos totais condicionados	124
11	ANÁLISE FINAL	127
11.1	Modelação tridimensional dos corpos de escombreira e de aterro	127
11.1.1	Limites entre corpos de escombreira contíguos.....	128
11.1.2	Sobreposição de diferentes materiais no mesmo corpo de escombreira	130
11.2	Estimações dos teores de ouro e prata nos modelos dos corpos de escombreira e aterro	133
11.3	Recursos nas escombreiras e zonas de aterro	135
11.3.1	Nota sobre os recursos dos corpos afectados pelas condicionantes à exploração	141
11.3.2	Nota sobre o potencial mineiro das escombreiras e aterros não considerados por este estudo	142
11.4	Comentário sobre a dispersão dos resíduos mineiros depositados na mina de São Domingos	144
12	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAS	147
13	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	151

ANEXOS

Anexo 1 – Metodologia para determinação da massa volúmica das rochas

Anexo 2 – Histogramas e diagramas de dispersão linear

Anexo 3 – Localização da prospecção efectuada na envolvente da corta e aldeia da Mina de São Domingos

Anexo 4 – Áreas de escombreira e de aterro e zonas com exploração condicionada

Anexo 5 – Modelo digital da superfície do terreno

Anexo 6 – Modelo Digital da superfície da base das escombreiras e aterros

Anexo 7 – Espessura das escombreiras e zonas de aterro

Anexo 8 – Teores médios de ouro nos corpos de escombreira e aterro

Anexo 9 – Teores médios de prata nos corpos de escombreira e aterro

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 – Modelo tridimensional de blocos de um depósito hipotético, construído em software mineiro (GEOVIA Surpac 6.6): a) modelo da área de interesse subdivido em blocos (modelo referencial); b) sólido representativo da mineralização; c) modelo de blocos da mineralização	14
Figura 4.1 – Modelo esférico (a vermelho) ajustado a um hipotético variograma experimental (adaptado de Sinclair & Blackwell, 2004)	19
Figura 4.2 – Ilustração da estimação de um bloco pelo método do inverso da distância com um conjunto de dados hipotético – apenas as amostras no interior da área de procura são utilizadas para a estimação do teor do bloco B (adaptado de Sinclair & Blackwell, 2004)	22
Figura 4.3 – Ilustração da procura de amostras para um caso em que se assume anisotropia: apenas as amostras dentro do elipsoide (área de procura) são consideradas para a estimação do teor do bloco B. Neste caso, a direcção d_1 está definida como sendo a de maior continuidade, abrangendo um maior número de amostras que na direcção perpendicular (d_2)	23
Figura 5.1 – Distribuição da prospecção efectuada pela CONASA nos resíduos depositados na envolvente da corta e aldeia da Mina de São Domingos (adaptado de Matos, 2004; fotografia aérea: Bing Maps)	28
Figura 5.2 – Resumo esquemático da informação e etapas metodológicas seguidas	31
Figura 6.1 – Localização geográfica da Mina de São Domingos. Legenda: a) Corte de Pinto; b) Santana de Cambas; c) Mértola; 1) Aldeia da Mina de São Domingos; 2) Corta; 3) Oficinas e estação ferroviária; 4) Moitinha; 5) Achada do Gamo; 6) Linha ferroviária; 7) Aldeia e porto fluvial do Pomarão	33
Figura 6.2 – Localização da Mina de São Domingos no enquadramento da Zona Sul Portuguesa (ZSP) (adaptado de González <i>et al.</i> , 2002)	35
Figura 6.3 – Primeira aldeia mineira na serra de São Domingos, onde se destaca no topo a primitiva igreja de São Domingos. Imagem à esquerda: aldeia antes do início da lavra a céu aberto, vista de oeste (ca. 1870); imagem à direita: parte da aldeia durante a primeira fase de lavra a céu aberto, vista de sul (ca. 1870) (Custódio, 1996b)	38

Figura 6.4 – Carta Mineira de São Domingos (adaptado de Matos, 2004)	41
Figura 6.5 – Excerto da carta mineira da Mina de São Domingos (adaptado de Matos, 2004) .	42
Figura 6.6 – Aspecto dos fragmentos grosseiros de <i>gossan</i> (classe E4)	43
Figura 6.7 – Escombreira de fragmentos grosseiros de <i>gossan</i> (classe E4)	43
Figura 6.8 – Exemplo de uma zona de escombreira onde se observa a alternância de materiais com diferentes granulometrias. A estratificação dos escombros reflecte a forma como os mesmos foram depositados	44
Figura 6.9 – Aspecto dos fragmentos finos de <i>gossan</i> (classe E5)	44
Figura 6.10 – Escombreira de fragmentos finos de <i>gossan</i> (classe E5)	44
Figura 6.11 – Escombreira de vulcanitos ácidos <i>gossanizados</i> (classe E7)	45
Figura 6.12 – Aspecto dos vulcanitos ácidos <i>gossanizados</i> (classe E7)	45
Figura 6.13 – Escombreira de vulcanitos ácidos e xistos argilosos (classe E8)	46
Figura 6.14 – Aspecto dos vulcanitos ácidos e xistos argilosos (classe E8)	46
Figura 6.15 – Escombreira de xistos acastanhados (classe E9)	47
Figura 6.16 – Aspecto dos xistos acastanhados (classe E9)	47
Figura 6.17 – Material depositado em aterro na zona da aldeia (classe EA)	48
Figura 6.18 – Material depositado em aterro na zona industrial (classe EA)	48
Figura 6.19 – Exemplo de alguns dos provetes utilizados na determinação das massas volúmicas das rochas	51
Figura 7.1 – Esquematização dos limites utilizados para definir um corpo de escombreira	55
Figura 7.2 – Exemplo da modificação efectuada à fotografia aérea para evidenciar as diferenças espectrais entre vários tipos de material: fotografia original à esquerda, fotografia modificada à direita	56
Figura 7.3 – Materiais depositados na envolvente da aldeia e corta da Mina de São Domingos (adaptado de Matos, 2004).....	58
Figura 7.4 – Esquema da definição de áreas de aterro para estimação de teores	59

Figura 7.5 – Localização das zonas de aterro definidas para estimação de recursos (adaptado de Matos, 2004)	60
Figura 7.6 – Áreas onde é interdita a alteração e mobilização do solo/subsolo (adaptado do anexo II da portaria n.º 414/2013)	61
Figura 7.7 – Exemplo da definição de áreas com exploração condicionada na zona da aldeia: a) delimitação dos edifícios; b) criação de polígonos espaçados a 10 m dos edifícios (<i>buffer</i>); c) área de exclusão	62
Figura 7.8 – Áreas de exclusão nas quais a exploração terá condicionantes (zonas patrimonial e habitacional)	63
Figura 7.9 – Diferença entre a cota dos pontos de prospecção e a cota da sua projecção na superfície do modelo digital do terreno, após a sua sobrelevação em 4,04 metros	64
Figura 7.10 – Zona de subsidência no sector leste da corta	65
Figura 7.11 – Esquema em corte de um local afectado por fenómenos de subsidência: a) esquema do corte A–B da figura 7.10; b) superfície do MDT: devido à falta de informação entre os pontos (p), é criada uma superfície suavizada do declive entre os mesmos; c) MDT interpolado com uso de barreiras à interpolação: Neste caso a transição da topografia no local da barreira dá-se de forma brusca, mais próxima daquela representada em a. Legenda: p – pontos utilizados para a interpolação da superfície	66
Figura 7.12 – Mapa com a visualização do modelo digital do terreno da área em estudo. Coordenadas em metros, no sistema Hayford-Gauss, Datum 73	67
Figura 7.13 – Esquema de um perfil demonstrando a interpretação da informação das sondagens e poços realizada antes da interpolação do MDT da base das escombrelas. Legenda: teores de Au à esquerda; teores de Ag à direita. Valores em g/t	70
Figura 7.14 – Esquema em corte da problemática da representação de zonas de subsidência no MDT inferior. a) Esquema da aparente situação da zona de subsidência da figura 7.10. b) Esquema da interpolação das superfícies de topo e base sem utilização de barreiras; c) Esquema da interpolação das superfícies de topo e base com a utilização de barreiras. Legenda: 1 – MDT superior; 2 – MDT inferior; p – prospecção; ● cota da base da prospecção	71

Figura 7.15 – Exemplo de uma secção do MDT inferior. a) Superfície interpolada a partir das cotas da base da prospecção inalteradas; b) Superfície interpolada após a alteração das cotas da base da prospecção e da definição de barreiras de interpolação. Legenda: traços azuis (poços e sondagens)	72
Figura 7.16 – Modelo digital do terreno da base das escombreyras e zonas de aterro, com a projecção das linhas de água no tempo anterior à deposição de materiais (Ribeiro, 1857, <i>in</i> Custódio, 1999) e das linhas de água inferidas a partir do modelo. Coordenadas em metros, no sistema Hayford-Gauss, Datum 73	73
Figura 7.17 – Esquema da obtenção das coordenadas para a definição do referencial do modelo de blocos do corpo E7–5: a) vista em planta do polígono; 2) Esquema em corte dos MDT inferior e superior	76
Figura 7.18 – Exemplo de uma secção do modelo digital do topo das escombreyras. A linha branca projectada sobre a superfície corresponde ao polígono delimitador do corpo de escombreyra E7–5. Coordenadas em metros no Sistema Hayford-Gauss, Datum 73	77
Figura 7.19 – Exemplo de uma secção do modelo digital da base das escombreyras. A linha branca projectada na superfície corresponde ao polígono delimitador do corpo de escombreyra E7–5. Coordenadas em metros no Sistema Hayford-Gauss, Datum 73	77
Figura 7.20 – Exemplo da definição dos modelos de blocos (escombreyra E7–5): a) Modelo de blocos referencial; b) Modelo de blocos final, após a delimitação com as superfícies superior e inferior, e pelo respectivo polígono delimitador. Coordenadas em metros no Sistema Hayford-Gauss, Datum 73	78
Figura 7.21 – a) Modelos de blocos dos corpos de escombreyra e de aterro. b) Área dos modelos projectada sobre o MDT superior	80
Figura 7.22 – Exemplo de um dos modelos tridimensionais afectados pelas condicionantes após a aplicação dos novos limites (corpo EA–4)	81
Figura 8.1 – Localização dos pontos de prospecção nos corpos de escombreyra e aterro, e teores médios de ouro	83
Figura 8.2 – Localização dos pontos de prospecção nos corpos de escombreyra e aterro, e teores médios de prata	84

Figura 9.1 – Vista em perfil do modelo de blocos da escombreira E7–5 onde se observa também a prospecção efectuada neste corpo (poços e sondagens). Os elipsóides de procura dos blocos preenchidos a cor azul não abrangeram nenhuma amostra, resultando num conjunto de blocos com teores nulos de ouro e prata (0,00 g/t) no sector ocidental desta escombreira	106
Figura 9.2 – Vista em perspectiva da distribuição espacial de teores de ouro no modelo de blocos da escombreira E7–5. No exemplo ilustrado, os blocos com teores inferiores a 0,10 g/t (a cor azul escuro) são blocos onde não foi feita estimacão devido a não abrangência de amostras	108
Figura 9.3 – Vista em perspectiva da distribuição espacial de teores de prata no modelo de blocos da escombreira E7–5. No exemplo ilustrado, os blocos com teores inferiores a 1,0 g/t (a cor azul escuro) são blocos onde não foi feita estimacão devido à não abrangência de amostras	109
Figura 9.4 – Mapa com a distribuição espacial dos teores médios de ouro estimados pelo IQD em cada um dos corpos de escombreira e aterro	110
Figura 9.5 – Mapa com a distribuição espacial dos teores médios de prata estimados pelo IQD em cada um dos corpos de escombreira e aterro	110
Figura 11.1 – Esquema de um corte entre o limite de três corpos de escombreira contíguos. 1) Vista em planta de parte dos corpos de escombreira E4–6, E7–4 e E7–7; 2) Corte do perfil A–B em que a fronteira entre os corpos foi considerada como vertical; 3) Corte do perfil A–B com uma interpretação da informacão geoquímica para a definição dos limites entre escombreira em profundidade	129
Figura 11.2 – Modelo de blocos do corpo E7–5 após a sua demarcaçao pelas superfícies do terreno (superior e inferior) e pelo respectivo polígono delimitador. Na zona indicada pelas setas é possível observar que limite do modelo é vertical, devido à contiguidade com um outro corpo de escombreira (E4–9). Coordenadas em metros no Sistema Hayford-Gauss, Datum 73	130
Figura 11.3 – Área ocupada pelos escoriais romanos antes e após a exploracão moderna da mina (adaptado de Matos, 2004; Ribeiro, 1857). No mesmo mapa encontra-se a localizacão das sondagens da CONASA com teores de ouro e/ou prata elevados (Au > 1 g/t; Ag > 15 g/t) no intervalo mais próximo da base da escombreira (terreno original)	131

Figura 11.4 – Esquema do corte A–B da figura 11.3: Os últimos intervalos das sondagens apresentam teores em ouro e prata elevados comparativamente aos restantes, indicando a possibilidade desses valores corresponderem a um material distinto, mais rico em metais preciosos. Legenda: 1) Escombreira moderna (fragmentos de <i>gossan</i> e de rocha encaixante); 2) Escoriais romanos. Teores de Au no lado esquerdo, teores de Ag no lado direito, expressos em g/t	132
Figura 11.5 – Áreas consideradas no caso 1: todos os corpos de escombreira e aterro abrangidos pelo estudo	137
Figura 11.6 – Áreas consideradas no caso 2: escombreiras e zonas de aterro não afectadas pelas condicionantes à exploração	138
Figura 11.7 – Áreas consideradas no caso 3: escombreiras e zonas de aterro com teores médios de ouro acima 0,45 g/t	139
Figura 11.8 – Esquema em corte do corpo de escombreira E4–6 na proximidade de uma infraestrutura (edifício das Cavalariças e Oficinas dos Correeiros)	141
Figura 11.9 – Evidências da remobilização de materiais depositados em escombreira junto à entrada das galerias da mina: 1) volume de escombreira na década de 1940 (Custódio, 1966b); 2) Volume dos mesmos corpos na actualidade. Pela comparação das duas imagens é possível verificar que parte do material existente na década de 1940 foi removido	144
Figura 11.10 – Evidência da remoção de material em algumas das escombreiras de <i>Gossan</i> (foto: João Matos)	145

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 6.1 – Massa volúmica real para os tipos de rocha amostrados (síntese dos resultados dos ensaios laboratoriais)	50
Tabela 6.2 – Massa volúmica das classes de material para os três casos de percentagem de volume de vazios (% _{vz})	54
Tabela 7.1 – Exemplos de modificação dos limites dos corpos de material da carta mineira de São Domingos (Matos, 2004)	57
Tabela 7.2 – Principais parâmetros de cada modelo de blocos dos corpos de escombreira e aterro	78
Tabela 7.3 – Volumes dos modelos dos corpos de escombreira e aterro afectados pelas condicionantes à exploração, e a respectiva redução percentual face ao volume total dos modelos sem condicionantes	81
Tabela 8.1 – Número de poços, sondagens e total de amostras por corpo de escombreira e aterro	85
Tabela 8.2 – Parâmetros estatísticos básicos dos conjuntos de teores de ouro dos corpos de escombreira (valores em g/t)	87
Tabela 8.3 – Estatísticos básicos dos conjuntos de teores de prata dos corpos de escombreira (valores em g/t)	90
Tabela 8.4 – Coeficientes de correlação linear entre teores de ouro e prata nos corpos de escombreira	92
Tabela 8.5 – Parâmetros estatísticos dos teores de ouro por fracção granulométrica. Valores em g/t	94
Tabela 8.6 – Parâmetros estatísticos dos teores de prata por fracção granulométrica. Valores em g/t	96
Tabela 8.7 – Valores de corte dos teores de ouro aplicados nas amostras dos vários corpos de escombreira e aterro, e número de amostras afectadas pelo corte	101
Tabela 8.8 – Valores de corte dos teores de prata aplicados nas amostras dos vários corpos de escombreira e aterro, e número de amostras afectadas pelo corte	102

Tabela 8.9 – Estatísticos básicos do ouro nos conjuntos de amostras correspondentes a cada corpo de escombreira e aterro após o corte de teores extremos (<i>outliers</i>)	103
Tabela 8.10 – Estatísticos básicos da prata nos conjuntos de amostras correspondentes a cada corpo de escombreira e aterro após o corte de teores extremos (<i>outliers</i>)	104
Tabela 9.1 – Parâmetros para estimação pelo IQD definidos em cada um dos modelos de escombreiras	107
Tabela 9.2 – Parâmetros estatísticos básicos dos dados originais (O) e das estimações realizadas nos modelos de blocos (M)	111
Tabela 10.1 – Recursos nas escombreiras de fragmentos grosseiros de <i>gossan</i> (classe E4)	115
Tabela 10.2 – Recursos nas escombreiras de fragmentos finos de <i>gossan</i> (classe E5)	116
Tabela 10.3 – Recursos nas escombreiras de vulcanitos ácidos <i>gossanizados</i> (classe E7)	117
Tabela 10.4 – Recursos da escombreira de vulcanitos ácidos e xistos argilosos (classe E8)	118
Tabela 10.5 – Recursos das escombreiras de xistos acastanhados (classe E9)	119
Tabela 10.6 – Recursos nos corpos de aterro considerados para estimação (classe EA)	120
Tabela 10.7 – Tonelagens e quantidades totais de ouro contidas nos corpos de escombreira considerando diferentes teores de corte	121
Tabela 10.8 – Tonelagens e quantidades totais de prata contidas nos corpos de escombreira considerando diferentes teores de corte	121
Tabela 10.9 – Recursos nos corpos de escombreira e aterro afectados pelas condicionantes e diferenças percentuais face aos recursos nos modelos sem condicionantes	122
Tabela 10.10 – Perdas de tonelagem e de quantidades de ouro e prata nos materiais de escombreira e aterro devidas às condicionantes da exploração	124

Tabela 10.11 – Recursos totais condicionados em função de diferentes teores de corte, para diferentes valores de volume de vazios (% v_z)	125
Tabela 10.12 – Recursos totais condicionados em função de diferentes teores de corte, para diferentes valores de volume de vazios (% v_z)	126
Tabela 11.1 – Exemplos de teores de corte aplicados actualmente em explorações mineiras de ouro e de prata	136
Tabela 11.2 – Recursos na totalidade do volume das escombrelras e zonas de aterro analisados	137
Tabela 11.3 – Recursos no volume não condicionado dos corpos de escombrelras e zonas de aterro	138
Tabela 11.4 – Recursos no volume não condicionado dos corpos de escombrelra e de aterro, com teores médios de ouro acima de 0,45 g/t	139

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 8.1 – Exemplo de um dos histogramas do ouro (dados originais do corpo de escombreira E7–5, classe de vulcanitos ácidos <i>gossanizados</i>)	89
Gráfico 8.2 – Exemplo de um dos histogramas da prata (dados originais do corpo de escombreira E7–5, classe de vulcanitos ácidos <i>gossanizados</i>)	91
Gráfico 8.3 – Teores médios de ouro nas quatro fracções granulométricas (M3: <5 mm; M2: 5–9 mm; M1: 9–40 mm; M0: >40 mm)	95
Gráfico 8.4 – Teor médio de ouro das fracções granulométricas nas classes de materiais (E4: fragmentos finos de <i>gossan</i> ; E5: fragmentos finos de <i>gossan</i> ; E7: vulcanitos <i>gossanizados</i> ; E8: vulcanitos e xistos; E9: xistos acastanhados; EA: aterro. M3: <5 mm; M2: 5 – 9 mm; M1: 9 – 40 mm; M0: >40 mm)	95
Gráfico 8.5 – Teores médios de prata nas quatro fracções granulométricas (M3: <5 mm; M2: 5–9 mm; M1: 9–40 mm; M0: >40 mm)	96
Gráfico 8.6 – Teor médio de prata das fracções granulométricas nas classes de materiais (E4: fragmentos finos de <i>gossan</i> ; E5: fragmentos finos de <i>gossan</i> ; E7: vulcanitos <i>gossanizados</i> ; E8: vulcanitos e xistos; E9: xistos acastanhados; EA: aterro. M3: <5 mm; M2: 5 – 9 mm; M1: 9 – 40 mm; M0: >40 mm)	97
Gráfico 8.7 – Exemplo dos gráficos com teores de ouro do corpo de escombreira E7–5 projectados em função das coordenadas. No caso exemplificado, verifica-se que as três amostras anómalas (com teores acima de 2,70 g/t de Au) encontram-se afastadas, existindo outras pelo meio com teores mais baixos, indicando que as mesmas não provêm de uma zona com teores anormalmente elevados	100
Gráfico 9.1 – Histogramas do ouro para do corpo de escombreira E7–5: 1) dados reais; 2) estimações obtidas pelo método do inverso do quadrado da distância (IQD) ...	113

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação 2.1 – Média aritmética	7
Equação 2.2 – Mediana	8
Equação 2.3 – Variância e desvio padrão	8
Equação 2.4 – Coeficiente de variação	9
Equação 2.5 – Covariância	10
Equação 2.6 – Coeficiente de correlação	10
Equação 2.7 – Média ponderada	11
Equação 3.8 – Reserva de um bloco	14
Equação 4.1 – Teor médio ponderado de um bloco	16
Equação 4.2 – Variograma	17
Equação 4.3 – Modelo de variograma esférico	18
Equação 4.4 – Estimador da <i>krigagem</i> normal	19
Equação 4.5 – Ponderadores da <i>krigagem</i> normal	20
Equação 4.6 – Erros de estimação da <i>krigagem</i> normal	20
Equação 4.7 – Ponderadores do IPD	21
Equação 6.1 – <i>Bulking</i>	52
Equação 7.1 – Espaçamento médio entre prospecção	76

1 INTRODUÇÃO

Localizada no sector norte da Faixa Piritosa Ibérica, próxima da fronteira entre Portugal e Espanha, a Mina de São Domingos tem sido explorada interruptamente desde há um longo período de tempo. Os indícios do começo da actividade mineira datam do Calcolítico (Custódio, 1996a ;Matos e Martins, 2006), seguindo-se um importante período de exploração pelos romanos, decorrido entre os séculos I a.C. e IV d.C. (Custódio, 1996a; Rego, 2004; Martins, 2008; Guita, 2011). Posteriormente, a fase de exploração mais significativa ocorreu no início da Revolução Industrial, a partir de 1854, ano em que a mina foi redescoberta.

Após um breve período inicial marcado pela exploração subterrânea, em 1857 inicia-se simultaneamente o desmonte a céu aberto. A alteração do método de exploração implicou a remoção de cerca de 3 milhões de m³ da capa sobrejacente à massa de pirite (chapéu de ferro ou *gossan*), o que obrigou ao desmantelamento da aldeia mineira primordial, localizada até então no topo da serra de São Domingos (Custódio, 1996a; Matos *et al.*, 2008). Durante a construção da nova aldeia mineira, a noroeste da massa mineral — local onde se situa a actual corta —, foram utilizados alguns dos resíduos provenientes do desmonte do capeamento do minério como agregado para realização de trabalhos de terraplanagem da superfície do terreno, que iria servir de fundação à nova aldeia (povoado actual).

Face ao tipo de actividade extractiva, desenvolvida a céu aberto até 120 metros de profundidade e em subterrâneo, até 420 metros, é hoje possível observar vários tipos de materiais depositados em escombreira e em aterro por todo o complexo mineiro, compostos por resíduos de exploração e por resíduos metalúrgicos, estimando-se um volume total de 14,7 milhões de m³ (Matos, 2004; Matos *et al.*, 2006b; Matos e Martins, 2006; Alvarez-Valero *et al.*, 2007; Matos *et al.*, 2008; Mateus *et al.*, 2011). Estes materiais encontram-se depositados em pilhas com espessuras que variam entre poucos centímetros até cerca de 16 metros, todos eles contendo quantidades significativas de metais (Mateus *et al.*, 2011). Após o encerramento da mina em 1966, ocorreu o alargamento da corta e abandono generalizado da área, com venda de muito equipamento em ferro para sucata. Alguns resíduos mineiros, nomeadamente as escórias localizadas na parte sul do complexo mineiro, junto às fábricas da Achada do Gamo, foram removidos, sendo utilizados como pavimento de estradas (Matos e Rosa, 2001; Matos *et al.*, 2008).

Análises químicas efectuadas em amostras de materiais depositados em torno da aldeia e da corta da mina, revelaram teores significativos de metais preciosos (Mason & Barry, 1936; Malavé y Bedia, 1991; Mateus *et al.*, 2011). Uma primeira avaliação dos recursos associados às escombreiras da parte norte da mina, feita pela empresa espanhola Compañía Nacional de

Piritas S.A. (CONASA), possibilitou a indicação de um recurso de 1 Mt com 1 g/t de ouro e 10 g/t de prata (Malavé y Bedia, 1991). Durante um breve período de laboração da mina (ca. 1870), chegou mesmo a existir uma pequena produção de lingotes de ouro e prata a partir de alguns dos resíduos de rocha encaixante mais ricos nestes metais (Custódio, 1996a), o que revela a riqueza desses materiais, bem como a possibilidade de os extrair metalurgicamente.

Esta evidência, assume uma maior importância se consideradas as actuais cotações dos metais, uma vez que os materiais tidos como estéreis à data da exploração precedente, poderão hoje em dia ser considerados como um recurso geológico com potencial relevo. Em caso favorável, um conhecimento pormenorizado do valor económico das escombrelas de São Domingos, pode sustentar o desenvolvimento de um novo projecto mineiro, focado na mineração dos antigos resíduos mineiros.

O interesse deste trabalho enquadra-se precisamente nesta nova abordagem, caracterizando a distribuição e variação dos recursos existentes. A definição de cenários favoráveis poderá certamente desencadear o interesse na reavaliação em detalhe dos recursos, potenciando a retoma da actividade extractiva em São Domingos.

Deste modo, propõe-se a realização de uma reinterpretação de um conjunto de dados existentes sobre a mina, nomeadamente a cartografia de detalhe dos resíduos de São Domingos, efectuada pelo LNEG (Matos, 2004), e dados recolhidos na campanha de avaliação efectuada início da década de 90 pela CONASA. O trabalho incide concretamente sobre os depósitos em escombrela e aterro do sector norte da mina — nos arredores da corta e da aldeia —, compostos essencialmente por fragmentos de *gossan* e rochas encaixantes das mineralizações de sulfuretos, nomeadamente, vulcânicas e xistos.

Com base numa releitura do banco de dados existente, pretende-se com este trabalho construir um conjunto de modelos tridimensionais representativos dos vários depósitos de escombros, de modo a fazer uma estimação dos recursos existentes nos mesmos.

Tendo em consideração que esta zona constitui um importante núcleo de património geológico e mineiro (Matos *et al.*, 2008; Brilha *et al.*, 2012), e atendendo a que a aldeia está assente sobre parte dos resíduos mineiros, a área total objecto de estudo teve também em consideração as condicionantes inerentes a essa realidade. Deste modo, foram definidas áreas nas quais a remobilização de escombros poderá não ser possível, devido ao uso actual do solo (*e.g.*, áreas urbanas edificadas no topo de escombrelas). Assim, propõe-se neste trabalho uma metodologia que permite avaliar o potencial mineiro deste conjunto de resíduos, partindo de dois cenários possíveis — exploração com e sem condicionantes.

Uma subsequente avaliação da capacidade de recuperação económica de metais preciosos a partir destes resíduos, poderá fornecer a base para despertar o interesse de empresas e entidades estatais para o desenvolvimento de novos estudos de avaliação, e, possivelmente, a um investimento num novo empreendimento mineiro. O conhecimento sobre estes recursos é também essencial para a elaboração de planos de gestão da área mineira.

PRIMEIRA PARTE - FUNDAMENTOS TEÓRICOS SOBRE ESTIMAÇÃO DE RECURSOS MINERAIS

A estimação de recursos minerais pode ser descrita como uma quantificação formal de materiais geológicos ocorrentes numa dada região, determinada através de um conjunto de procedimentos empíricos e teóricos que permite inferir a quantidade, qualidade e distribuição espacial de um determinado elemento com potencial valor económico (Sinclair & Blackwell, 2004).

A sua estimação é normalmente feita a partir de um arranjo tridimensional de amostras, as quais são aplicadas a volumes de mineralização com várias ordens de grandeza superiores às representadas pelas amostras (Sinclair & Blackwell, 2004). Para realizar este tipo de estimativas, foram desenvolvidos vários métodos com o propósito de determinar valores desconhecidos a partir de uma quantidade diminuta de informação (Erarslan, 2012), como, por exemplo, métodos geomatemáticos (*e.g.*, inverso de uma potência das distâncias), e métodos geoestatísticos (*e.g.*, *krigagem* normal).

Para que se possa fazer uso destes métodos, o depósito que se pretende avaliar é normalmente discretizado numa matriz de blocos, denominando-se essa matriz por *modelo de blocos*, para os quais são posteriormente estimados teores a partir de um conjunto limitado de informação (amostras), distribuída no espaço ocupado por esse volume (Sinclair & Blackwell, 2004). Ao somatório dos vários blocos aos quais são atribuídos teores através de métodos de estimação como os anteriormente mencionados, é atribuída a designação de *recurso mineral*. Deste modo, a estimação de um recurso mineral por estes métodos pode ser definida como sendo uma partição de blocos cujos tamanhos, localizações e teores se encontram bem estabelecidos, os quais poderão, ou não, vir a ser sujeitos a uma exploração mineira (Sinclair & Blackwell, 2004).

A recolha da informação necessária para o processo de estimação, a amostragem, pode ser feita directamente através de furos de sondagem, podendo também recorrer-se a métodos complementares (*e.g.*, poços, trincheiras, galerias), dependendo das especificidades do jazigo. Quando se realizam furos de sondagem para a avaliação de um recurso mineral, é usual a elaboração do *logging* do material recolhido (Sinclair & Blackwell, 2004; Erarslan, 2012; Haldar, 2013). Neste processo recolhe-se informação qualitativa complementar àquela fornecida pela análise química das amostras, como a litologia, texturas, estruturas, fracturas, *etc.* (Haldar, 2013). Esta informação é fundamental para todas as etapas subsequentes de avaliação do recurso mineral, pois é a partir desta que a caracterização geológica do mesmo é feita, e, por sua vez, será a partir dessa interpretação que se procede à definição de um modelo tridimensional da variação tridimensional dos teores da mineralização.

Um dos requisitos necessários para a utilização da informação quantitativa proveniente da amostragem para fins de tratamento estatístico e de estimação de recursos, é a existência de um suporte uniforme, isto é, todas as amostras devem representar um volume equivalente, possuir a mesma forma, orientação e dimensão (Koch & Link, 1971; Isaaks & Srivastava, 1989; Sinclair & Blackwell, 2004). Uma situação recorrente neste tipo de informação é a variabilidade do tamanho das amostras, devido ao facto de normalmente correspondem a troços de amostragem com diferentes comprimentos. Quando esta diferença existe, torna-se necessário proceder a uma normalização dos dados obtidos, sendo feita uma ponderação dos valores analíticos de cada amostra de acordo com a sua dimensão. Deste modo, obtêm-se amostras de igual suporte, ou seja, representativas do mesmo comprimento de mineralização, e, como tal, comparáveis, permitindo a realização de uma análise conjunta de toda a informação recolhida.

No caso particular deste trabalho, o alvo a estudar não se trata de um recurso primário, mas sim de um conjunto de resíduos resultantes da actividade mineira, pelo que alguns dos procedimentos seguidos neste trabalho terão de ser um pouco diferentes daqueles seguidos num recurso mineral, como, por exemplo, o processo de modelação geológica. Este processo – de extrema importância para a obtenção de um modelo tridimensional adequado do depósito mineral – depende do controlo geológico do depósito em que se pretende fazer a estimação de recursos. No caso em estudo, o processo de modelação geológica não assume a mesma complexidade que usualmente tem na modelação de uma massa mineral, na medida em que o objecto de estudo se trata de um conjunto de volumes de resíduos de exploração mineira, admitindo-se *a priori* que o processo de modelação será comparativamente mais simples que o de uma ocorrência mineral *in situ*. Deste modo, a definição de um modelo volumétrico para um corpo de resíduos baseia-se na construção de um conjunto de fronteiras delimitadoras para cada volume de escombros.

Um processo de estimação de recursos habitualmente termina com o estudo de viabilidade económica, com o qual se pretende avaliar se um recurso mineral poderá vir a ser considerado uma *reserva mineral*, da qual se poderá extrair e processar o minério de uma forma economicamente rentável. Neste trabalho, os procedimentos relacionados com o estudo da viabilidade económica não serão abordados, pelo que nos próximos capítulos apenas irão ser referidas algumas das questões teóricas mais importantes relativamente à análise de informação geoquímica proveniente de campanhas de avaliação, à construção de modelos tridimensionais de blocos, assim como a alguns dos principais métodos utilizados na interpolação de teores em modelos de blocos (estimação).

2 CONCEITOS ESTATÍSTICOS BÁSICOS

A aplicação de técnicas estatísticas aos dados recolhidos em campanhas de amostragem é feita normalmente com o intuito de conhecer, da melhor maneira possível, algumas das características numéricas de um depósito mineral, como por exemplo os teores de um determinado elemento. Estas técnicas estão geralmente relacionadas com medidas de tendência central, dispersão dos valores, com a forma das funções de probabilidade de densidade (*i.e.*, histogramas) e com as correlações entre as variáveis que se pretendam estudar (Blackwell & Sinclair, 2004). Pela análise dos resultados do tratamento estatístico, torna-se mais fácil deduzir as características de um recurso mineral a partir de um conjunto de dados que o represente satisfatoriamente, assim como permite a identificação de valores anómalos que possam comprometer a qualidade das estimações a efectuar com os mesmos.

As expressões que se apresentam de seguida constituem apenas uma fracção das que existem; no entanto, são aquelas genericamente mais utilizadas para a interpretação de informação proveniente de amostragem de materiais geológicos (Koch & Link, 1971; Goovaerts, 1997).

2.1 Média

O valor médio de uma distribuição é normalmente determinado pela sua média aritmética. Esta obtêm-se através da divisão do somatório dos valores observados (x_i) pelo conjunto total de amostras (n):

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (\text{Eq. 2.1})$$

2.2 Mediana

A mediana é outra importante medida de tendência central, particularmente nos casos em que a informação amostral tem uma distribuição assimétrica (Goovaerts, 1997; Sinclair & Blackwell, 2004). Este parâmetro estatístico corresponde ao ponto médio dos valores observados quando estes se encontram ordenados em ordem crescente. Ou seja, pode dizer-se que metade dos valores se encontram abaixo da mediana, e a outra metade acima. O seu valor determina-se após a ordenação dos dados ($x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n$) por uma das seguintes expressões (Isaaks & Srivastava, 1989):

$$M = \begin{cases} \frac{x_{n+1}}{2} & \text{se } n \text{ ímpar} \\ \frac{\left(\frac{x_n}{2} + \frac{x_{n+1}}{2}\right)}{2} & \text{se } n \text{ par} \end{cases} \quad (\text{Eq. 2.2})$$

Uma vantagem deste parâmetro relativamente à média reside no facto de não ser influenciado por valores erráticos e elevados, o que o torna mais adequado para estudo da medida central de distribuições muito assimétricas (Isaaks & Srivastava, 1989). Para conjuntos de valores com pequena dimensão, a mediana poderá ser um melhor indicador de tendência central que a média (Goovaerts, 1997; Sinclair & Blackwell, 2004).

2.3 Variância e desvio padrão

Uma das formas de estimar a dispersão de uma variável em torno do seu valor médio é através da variância, que se determina do seguinte modo (Goovaerts, 1997):

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2 \quad (\text{Eq. 2.3})$$

O desvio padrão (σ) é igual à raiz quadrada da variância, e é de igual modo uma forma de medir a dispersão dos valores em torno da sua média. Por vezes, é preferível utilizar o desvio padrão para a análise dos dados em detrimento da variância, pois o resultado do cálculo desta medida vem expresso nas mesmas unidades das amostras, e não elevadas ao quadrado, tal como acontece com a variância (Isaaks & Srivastava, 1989; Goovaerts, 1997).

2.4 Coeficiente de variação

O coeficiente de variação (CV) corresponde à razão entre o desvio padrão e média (Goovaerts, 1997):

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{X}} \quad (\text{Eq. 2.4})$$

Trata-se de uma medida muito útil para comparar a variabilidade das observações: um valor de CV superior a 1 é geralmente indicativo da presença de valores erráticos, os quais poderão influenciar significativamente as estimações (Isaaks & Srivastava, 1989). Para a interpretação deste parâmetro, Noble (1992) propõe a seguinte interpretação para este estatístico:

Coeficiente de variação	Interpretação
0 a 0,25	Distribuições simétricas de teores. A estimação de recursos torna-se fácil, permitindo a aplicação de vários métodos de estimação.
0,25 a 1	Distribuições assimétricas. Implicam alguma dificuldade na estimação de recursos. Distribuição típica lognormal.
1 a 2	Distribuição muito assimétrica com uma grande amplitude de valores. Existe dificuldade em estimar teores com este tipo de distribuição com alguma confiança.
acima de 2	Distribuição de dados errática, muito assimétrica, ou com várias populações. A estimação com este tipo de distribuições torna-se muito difícil ou mesmo impossível.

Uma grande vantagem deste parâmetro estatístico reside no facto de ser adimensional, logo poderá ser utilizado para comparar a variabilidade relativa de vários conjuntos de amostras, independentemente das unidades em que os dados estejam expressos.

2.5 Covariância e coeficiente de correlação linear

Para a descrição de um conjunto de dois atributos (descrição bivariada), pode-se recorrer a parâmetros estatísticos que sumariem as principais características da relação entre as duas variáveis. Os parâmetros mais frequentemente utilizados para este efeito são a covariância e o coeficiente de correlação linear (Goovaerts, 1997).

A covariância é uma medida quantitativa das variações sistemáticas entre duas variáveis e define-se pela seguinte expressão (Sinclair & Blackwell, 2004):

$$\sigma_{xy} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{X}_x) \cdot (y_i - \bar{X}_y)] \quad (\text{Eq. 2.5})$$

onde \bar{X}_x e \bar{X}_y são, respectivamente, as médias das variáveis que se pretende comparar (x_i e y_i).

Se valores elevados da variável x estão associados a valores elevados da variável y , e valores baixos de x estão associados a valores baixos de y , então a covariância é positiva. Se a valores baixos de x estão associados valores elevados de y , e vice-versa, então a covariância é negativa. Quando ambas as variáveis são estatisticamente independentes, a covariância será zero (Sinclair & Blackwell, 2004).

O coeficiente de correlação é uma medida que indica a relação linear entre duas variáveis e é definida como (Goovaerts, 1997):

$$\rho_{xy} = \frac{\sigma_{xy}}{(\sigma_x \cdot \sigma_y)} \in [-1,1] \quad (\text{Eq. 2.6})$$

onde σ_x e σ_y são os desvios padrão das variáveis x e y . Quando ρ_{xy} é igual a 1, a relação linear entre as duas variáveis é positiva. Quando ρ_{xy} é igual a zero, não existe relação linear entre as variáveis. Se ρ_{xy} é igual a -1, então a correlação entre as variáveis é negativa.

O coeficiente de correlação, sendo uma medida adimensional, é mais fácil de interpretar comparativamente à covariância, a qual depende da escala de medição das duas variáveis (Goovaerts, 1997).

2.6 Histogramas

Um histograma é uma representação gráfica da frequência de uma variável em intervalos uniformes e contíguos que se estendem à amplitude da variável (Sinclair & Blackwell, 2004). Trata-se de um método simples e efectivo de verificar qualitativamente alguns dos atributos de um determinado conjunto de dados, como, por exemplo, a forma da sua distribuição, sendo possível verificar expeditamente a sua assimetria.

Nos processos de estimação de recursos, os histogramas são uma ferramenta normalmente utilizada como elementos representativos do que existe num depósito mineral, isto é, dos seus teores e da sua variabilidade (Sinclair & Blackwell, 2004). Além do mais, permitem a comparação dos dados da amostragem (dados reais) com os valores obtidos por interpolação nos modelos de blocos (dados estimados), sendo a comparação entre ambos uma forma de avaliar a qualidade das estimações, pois será expectável que em ambos os casos a distribuição dos teores seja semelhante.

2.7 Nota sobre a dimensão da amostragem

Para que os parâmetros estatísticos anteriormente referidos possam ser utilizados em informação proveniente de uma campanha de amostragem, é pressuposto que todas as amostras possuam iguais características físicas, isto é, uma igual forma e dimensão, de modo a que representem o mesmo volume.

No entanto, é frequente esta situação não se verificar. Quando tal acontece, torna-se necessário fazer a ponderação dos valores de cada amostra de acordo com a sua dimensão, sendo necessário aplicar um factor de ponderação em função do comprimento dessa amostra (isto pressupondo que todo o material amostrado possui igual massa volúmica; caso contrário, será também necessário entrar com esse factor na ponderação de valores).

Para os casos em que as dimensões físicas das amostras são variáveis, a média aritmética passará a ser calculada pela seguinte expressão:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n (w_i \cdot x_i)}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (\text{Eq. 2.7})$$

Em que w_i é o factor de ponderação, que poderá ser, por exemplo, o comprimento ou o volume da amostra.

2.8 Nota sobre valores anómalos extremos

Como já foi referido anteriormente, a existência de uma pequena quantidade de valores anómalos extremos (*outliers*) poderá influenciar alguns dos parâmetros estatísticos, como por exemplo a média, a variância dos dados e o coeficiente de correlação linear. No sentido de contornar esse problema, Goovaerts (1997) sugere uma das seguintes possibilidades:

- assumir valores extremos como sendo valores erráticos, devendo ser ignorados para efeitos de estimação;
- averiguar a possibilidade desses valores extremos pertencerem a uma população diferente, e separá-los numa população estatística distinta;
- utilizar parâmetros estatísticos robustos, com menor sensibilidade a valores extremos;
- transformar os dados de modo a reduzir a influência dos valores extremos, como por exemplo uma transformação logarítmica;
- definir um tecto para os valores amostrais em função dos parâmetros estatísticos (*capping*).

3 MODELOS DE BLOCOS

Um modelo de blocos é uma forma de representação tridimensional de um volume de mineralização para o qual se pretende fazer estimações a partir de um conjunto de amostras. São normalmente constituídos por um conjunto ortogonal de blocos, em que cada bloco representa propriedades físicas e qualitativas, permitindo estimar volumes, tonelagens e teores de uma determinada substância a partir de amostras de campanhas de prospecção, assim como a sua utilização no âmbito do planeamento de uma futura exploração.

Actualmente, pela generalização do uso de *softwares* com elevada capacidade de cálculo, o processo de construção de um modelo de blocos é automatizado (Erarslan, 2013; Glacken & Snowden, 2001), pressupondo-se apenas para a sua construção a existência de uma forma confinante, a partir da qual se faz a delimitação de um modelo de blocos referencial, assim como a definição de um conjunto de parâmetros, como a dimensão e orientação espacial dos blocos.

A construção de um modelo de blocos referencial (figura 3.1a) é precedida pela interpretação geológica da massa que se pretende avaliar. O resultado dessa interpretação é depois transformado num modelo geológico no qual deverão estar patentes as principais características do jazigo, tais como os contactos entre litologias distintas, acidentes tectónicos, *etc.* É com base nesse modelo geológico que é construído o modelo de blocos das zonas onde se pretende fazer estimações (Glacken & Snowden, 2001). A construção do modelo poderá também ser realizada através de um conjunto de superfícies delimitadoras, como, por exemplo, as superfícies de contacto entre diferentes litologias (Glacken & Snowden, 2001).

Os blocos podem ter dimensões uniformes ou variáveis, dependendo de vários factores, como o controle geológico da mineralização e o espaçamento médio da malha de prospecção (Sinclair & Brackwell, 2004; Noble, 1992). A dimensão dos blocos deverá ter ainda uma relação com o método de exploração, a sua escala (*e.g.*, altura das bancadas numa exploração a céu aberto, ou a secção das galerias de uma exploração subterrânea) e o equipamento utilizado. Esta dimensão denomina-se usualmente por *unidade selectiva mineira* (Glacken & Snowden, 2001; Sinclair & Blackwell, 2004) e corresponde ao volume mínimo no qual serão tomadas todas as decisões mineiras (*e.g.*, discriminação entre blocos de minério e estéril, quantificação de diferentes tipos de minério, teor de corte) (Sinclair & Blackwell, 2004).

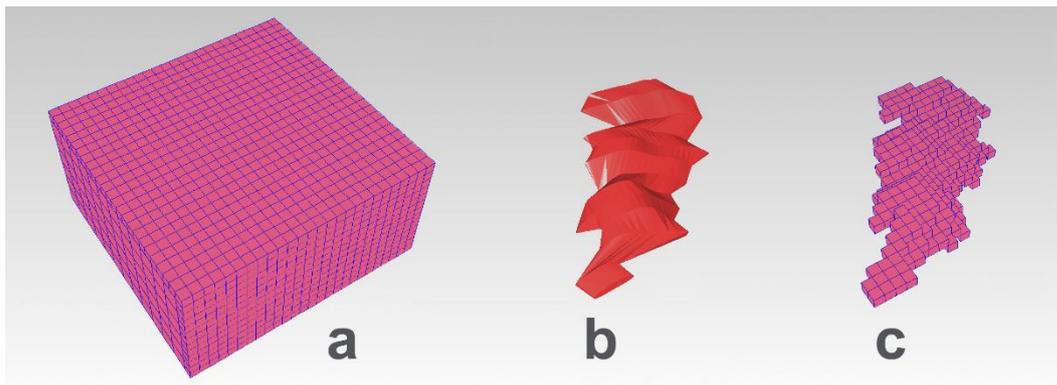


Figura 3.1 – Modelo tridimensional de blocos de um depósito hipotético, construído em *software* mineiro (GEOVIA Surpac 6.6): a) modelo da área de interesse subdividido em blocos (modelo referencial); b) sólido representativo da mineralização; c) modelo de blocos da mineralização.

No caso particular da modelação de resíduos mineiros, o facto do material já não se encontrar no maciço original e ter sido parcialmente processado (fragmentado), faz com que a continuidade geológica original tenha sido destruída, sendo substituída por outras condicionantes como a forma de transporte e deposição dos resíduos (*e.g.*, descarregamento por camião, por vagão em linha férrea, por tapete de transporte, por teleférico, *etc.*). Deste modo, os factores relacionados com o controle geológico da mineralização e método de exploração perdem importância, podendo assim admitir-se que os critérios para a definição da dimensão dos blocos ficam resumidos ao espaçamento médio entre a malha de prospecção. Segundo Sinclair & Blackwell (2004) e Noble (1992), a dimensão dos blocos não deverá ser inferior a $\frac{1}{4}$ do espaçamento médio da malha de prospecção, sendo os valores normalmente mais utilizados entre $\frac{1}{4}$ e $\frac{1}{2}$ do espaçamento médio.

A determinação do volume de um bloco é feita pela multiplicação das suas três dimensões espaciais: altura, largura e comprimento. A reserva de determinado bloco será dada pela multiplicação do seu volume pela densidade ou tonelagem do material que este representa, e pelo teor de substância estimado no bloco (Taylor, 1993, *in* Erarslan, 2012):

$$\text{Reserva do bloco (t)} = \text{volume do bloco (m}^3\text{)} \times \text{tonelagem (t/m}^3\text{)} \times \text{teor (\%)} \quad (\text{Eq. 3.8})$$

A reserva total do modelo poderá ser calculada pelo somatório da reserva de todos os blocos que o constituem.

4 EXTENSÃO DAS AMOSTRAS AOS MODELOS DE BLOCOS (ESTIMAÇÃO DE TEORES)

A extensão das amostras para o modelo de blocos pode ser realizada por vários métodos, dos quais se poderão destacar, pelo seu uso mais generalizado, os seguintes (Sinclair & Blackwell, 2004; Erarslan, 2012):

- geomatemáticos (e.g., inverso de uma potência das distâncias - IPD);
- geoestatísticos (e.g., *krigagem* normal).

O primeiro estimador enunciado, IPD, é um dos processos de extensão mais simples, em que a estimação se baseia na média ponderada de valores conhecidos (amostras), na qual os ponderadores são inversamente proporcionais às distâncias das amostras ao ponto a estimar. Dito de outro modo, quanto mais afastada a amostra do ponto a estimar, menor será o seu contributo na estimação, e *vice versa*.

Os estimadores geoestatísticos baseiam-se na hipótese de que o atributo a estimar se trata de uma variável regionalizada, isto é, amostras próximas entre si possuem, em média, atributos mais similares do que amostras mais afastadas. O processo divide-se normalmente em duas fases: estudo variográfico, ou variografia, na qual se procede à quantificação da correlação espacial entre amostras para a definição de uma função matemática representativa dessa correlação; e processo de estimação propriamente dito, e.g., *krigagem* normal, a partir da função definida na primeira fase, permitindo ainda associar um erro a cada estimação, e assim aferir a qualidade da mesma.

As estimações que têm em consideração estudos de viabilidade económica, ou seja, aquelas que contemplem critérios técnicos, económicos, etc., são classificadas como *reservas minerais*. As estimações mais simplificadas, que não tenham em consideração estes aspectos, são classificadas como *recursos minerais* (Noble, 1991; Sinclair & Blackwell, 2004).

De acordo com Noble (1991), o procedimento básico para a utilização de ambos os métodos poderá ser descrito sucintamente pelos seguintes pontos:

1. discretização da massa mineral numa matriz de blocos (modelo de blocos);
2. zonamento geológico, em que será considerada a geologia do depósito para a definição de zonas litologicamente distintas;
3. estimação dos teores em cada um dos blocos do modelo pela utilização das amostras numa determinada vizinhança, e cálculo de uma média ponderada das amostras

dessa vizinhança. O teor médio ponderado de cada bloco determina-se através da seguinte expressão:

$$g = \sum_{i=1}^n (w_i \cdot g_i) \quad (\text{Eq. 4.1})$$

onde g é teor estimado no bloco, g_i é o teor da amostra i , w_i é o ponderador atribuído à amostra i , e n o número de amostras utilizadas na estimação. O ponderador w_i poderá ser estimado recorrendo a um dos métodos de estimação referidos.

No caso de resíduos de exploração mineira, a segunda etapa supramencionada assume menor importância, na medida em que a continuidade geológica foi destruída durante o processo de extração e deposição em escombreira, e, por esse motivo o zonamento geológico é inexistente. No entanto, poderá justificar-se a definição de zonas distintas caso existam zonamentos compostos por diferentes materiais, de modo a poder realizar-se estimacões independentes, tornando-se assim possível, por exemplo, a utilização de diferentes parâmetros nos estimadores, ou a definição de diferentes valores de densidade dos materiais.

4.1 Métodos geoestatísticos – krigagem normal

O princípio dos métodos de interpolação geoestatísticos baseia-se na hipótese de que o atributo em estudo se trata de uma variável regionalizada, ou seja, apresenta uma correlação espacial entre pontos amostrados.

Com estes métodos é possível não só fazer a estimação de atributos em zonas não amostradas, mas também a quantificação da incerteza associada à estimação (Isaaks & Srivastava, 1989; Soares, 2000).

Uma vez que este tipo de método pressupõe a existência de dependência entre os dados, é necessário conhecer espacialmente até onde esta correlação existe. Um dos elementos utilizados para esse processo é o biponto, um par de pontos separados por vector \vec{h} , que permite caracterizar e quantificar o modo como se dispersam espacialmente as características de um atributo (grau de continuidade espacial e o modo diferencial como se dispersa no espaço, conhecido como anisotropia).

Para uma dada característica quantitativa $Z(x)$, os diagramas de representação de pares de pontos $Z(x)$ vs $Z(x + h)$, determinados com base no biponto para diferentes valores de distância

h , são considerados os parâmetros estatísticos que contêm informação mais importante sobre a continuidade espacial do atributo $Z(x)$ (Soares, 2000). A análise da continuidade espacial com recurso a este tipo de diagrama exige a construção de uma quantidade de diagramas que será tanto maior quanto o número de distâncias h . Deste modo, torna-se necessário sintetizar a informação desses diagramas num instrumento que permita a visualização da evolução dos dados em função da distância h , quantificando assim a continuidade do atributo $Z(x)$. Esta é feita por meio de um gráfico denominado por variograma, também denominado por semivariograma (Soares, 2000), representante da relação entre a distância e a variância através da média do quadrado das diferenças entre todos os pares de pontos separados por h , definida pela expressão (Goovaerts, 1997; Soares, 2000):

$$y(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{\alpha=1}^{N(h)} [Z(x_{\alpha}) - Z(x_{\alpha} + h)]^2 \quad (\text{Eq. 4.2})$$

onde $N(h)$ é o número de pares de pontos para cada valor de distância h . Esta análise pode ser realizada para várias direcções de h , ficando-se deste modo com uma noção de como o atributo $Z(x_{\alpha})$ varia em diferentes direcções do espaço (Soares, 2000).

Este processo inicia-se normalmente com a construção de um variograma omnidirecional, no qual as direcções dos vectores \vec{h} não são consideradas. Este, quando comparado com variogramas direccionais, abrange um maior número de amostras e, como tal, tem mais probabilidade de revelar uma estrutura interpretável (Isaaks & Srivastava, 1989). Quando este não apresenta nenhuma estrutura, é pouco provável que os variogramas direccionais a apresentem (Isaaks & Srivastava, 1989; Sinclair & Blackwell, 2004). Um exemplo desta situação será o caso de distribuições assimétricas, como é caso das distribuições lognormais. Nestas situações, Sinclair & Blackwell (2004) referem que deverá ser utilizado um variograma relativo ou feita uma transformação logarítmica dos valores do atributo, de modo a aproximá-los a uma distribuição normal. De outro modo, a interpretação dos variogramas poderá ser difícil ou mesmo impossível.

Após a construção de um variograma omnidirecional robusto, procede-se à análise do padrão de anisotropia do atributo através da construção de um conjunto de variogramas direccionais, pela análise dos quais se definem as direcções espaciais de máxima e menor continuidade.

Definidos os variogramas, é necessário modelá-los por uma função geral que lhes seja representativa, ajustada por meio de uma curva atenuada média, função de um número reduzido de parâmetros que quantifiquem a continuidade espacial da variável. A escolha das funções a utilizar no ajustamento está normalmente limitada a um conjunto de modelos de funções, dos quais o mais utilizado é o modelo esférico (Isaaks & Srivastava, 1989; Soares, 2000; Sinclair & Blackwell, 2004) (figura 4.1), caracterizado por duas componentes: componente aleatória (C_0) designada por *efeito pepita*; e por uma componente estruturada (C), e é definido pela seguinte expressão:

$$y(h) = \begin{cases} C_0 + C \left[\frac{3h}{2a} - \frac{h^3}{2a^3} \right] & \text{para } h \leq a \\ C_0 + C & \text{para } h > a \end{cases} \quad (\text{Eq. 4.3})$$

onde,

- a – amplitude ou influência - distância a partir da qual as amostras deixam de estar correlacionadas, ou seja, a distância a partir da qual o fenómeno se torna aleatório (Soares, 2000; Sinclair & Blackwell, 2004);
- C – patamar - variância do atributo, que reflecte a sua dispersão para distâncias superiores à amplitude, em que as amostras se tornam independentes;
- C_0 – efeito pepita - ordenada na origem do variograma. Indica que pequenas variações na localização estão por vezes associadas com grandes variações do atributo. Com valores de efeito pepita muito elevados, o fenómeno torna-se praticamente aleatório à escala da distância entre as amostras (Soares, 2000), tornando-se os ponderadores iguais para todas as amostras seleccionadas para estimação, aproximando o resultado da estimação a uma simples média aritmética dos valores (Isaaks & Srivastava, 1989).

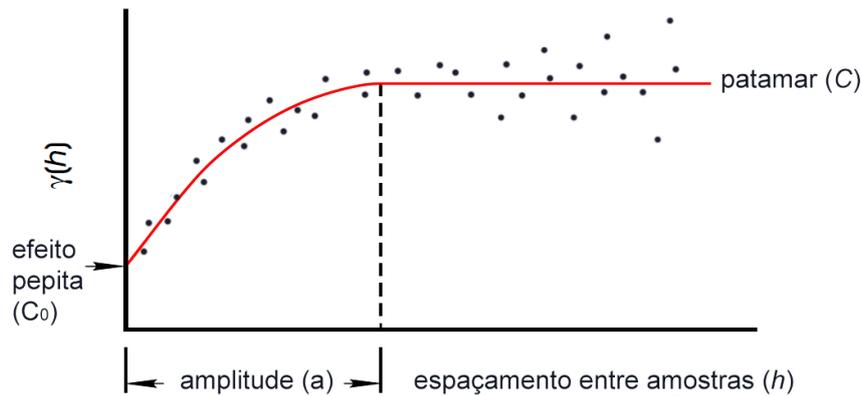


Figura 4.1 – Modelo esférico (a vermelho) ajustado a um hipotético variograma experimental (adaptado de Sinclair & Blackwell, 2004).

Com o ajustamento do modelo, infere-se um andamento de $y(h)$ representativo para toda a área de estimação e para toda a gama de valores de h . O modelo resultante representa de modo sintético as características estruturais do fenómeno espacial (grau de continuidade/dispersão, anisotropias, imbricamentos) (Soares, 2000).

Definido o modelo do variograma, segue-se a fase de estimação por *krigagem*, na qual se procede à estimação do atributo $Z(x_\alpha)$, assim como à determinação dos erros associados à estimação.

A *krigagem* compreende um conjunto de técnicas de estimação cujo princípio se baseia na existência de correlação espacial entre os atributos amostrados, ou seja, um ponto amostrado tem maior semelhança com os pontos mais próximos do que com os mais distantes (Isaaks & Srivastava, 1989). Este estimador é uma combinação linear do conjunto de N variáveis vizinhas, que cumpre dois critérios em relação ao erro de estimação: não-enviesamento; e variância de estimação mínima (Isaaks & Srivastava, 1989; Goovaerts, 1997; Soares, 2000).

A estimação de um atributo Z com coordenadas dadas pelo vector x_0 , é dada pela equação:

$$Z(x_0) = \sum_{\alpha=1}^N w_\alpha \cdot Z(x_\alpha) \quad (\text{Eq. 4.4})$$

onde $Z(x_0)$ é o atributo a estimar na posição x_0 ; w_α os ponderadores aplicados aos atributos que possuam dependência espacial com o atributo a ser estimado na posição x_0 ; e $Z(x_\alpha)$ os N atributos conhecidos (amostras). Os ponderadores são determinados em função de uma matriz

de covariância entre os pares de amostras utilizados na interpolação (K), e uma matriz das covariâncias entre cada amostra utilizada na interpolação e o ponto a estimar (M) (eq. 4.5). Estas matrizes determinam-se, respectivamente, pela substituição das distâncias entre pares de amostras, e distâncias entre amostras e o ponto a estimar, no termo h da equação do modelo do variograma (eq. 4.3) (Erarslan, 2012). O cálculo dos ponderadores (w_α) realiza-se através sistema de *krigagem* normal (aqui em notação matricial simplificada) (Soares, 2000):

$$[w_\alpha] = [K]^{-1} \cdot [M] \quad (\text{Eq. 4.5})$$

Os ponderadores obtidos pelo estimador resumem dois factores fundamentais (Soares, 2000, Isaaks & Srivastava, 1989):

- factor de distância estrutural ($[M]$) – quanto mais próximas estiverem as amostras do ponto a estimar, maior será o peso do estimador;
- factor de desagregação (*declustering*) ($[K]$) – quanto mais correlacionadas estiverem as amostras (menor distância estatística), maior será o efeito de agrupamento e menor será o seu peso individual.

Como referido anteriormente, uma das vantagens da utilização deste método é possibilidade de calcular erros associados à estimação, que pode ser feito pela seguinte expressão:

$$e^2 = (Z(x_0) - Z(x_\alpha))^2 \quad (\text{Eq. 4.6})$$

onde e^2 é o erro de estimação (variância), $Z(x_0)$ é o valor estimado e $Z(x_\alpha)$ é o valor medido (amostra) (Sinclair & Blackwell, 2004; Erarslan, 2012).

4.2 Método do Inverso de uma Potência da Distância

Este método permite estimar o valor de uma determinada grandeza no espaço entre as amostras apenas a partir de uma combinação linear dos valores observados. A determinação da influência de cada uma das amostras utilizadas na estimação tem por base apenas critérios geométricos, ou seja, a maior ou menor proximidade dos valores observados ao ponto a estimar (Soares, 2000).

O procedimento para o cálculo dos ponderadores do Inverso de uma Potencia da Distância (IPD) é bastante simples, sendo feito através da seguinte expressão (Noble, 1991; Sinclair & Blackwell, 2004):

$$w_i = \frac{\frac{1}{d_i^p}}{\left[\sum \left(\frac{1}{d_i^p} \right) \right]} \quad (\text{Eq. 4.7})$$

onde d é a distância do centróide do bloco a estimar à amostra i , e p a potência escolhida (factor de ponderação). Quanto maior for a potência, maior será o peso das amostras mais próximas; quando a potência é nula, os ponderadores são iguais para todas as amostras, tornando-se o valor estimado uma simples média aritmética das amostras. O valor normalmente mais utilizado é potência 2 (Soares, 2000; Glacken & Snowden, 2001; Sinclair & Blackwell, 2004), sendo por isso por vezes designado por método do Inverso do Quadrado das Distâncias (IQD) (Soares, 2000).

Para a utilização deste método, é necessário definir quais as amostras a utilizar nas estimações, processo que se realiza pela definição de um conjunto de parâmetros para o efeito (*e.g.*, raios de procura, número de amostras). A escolha dos parâmetros é um processo realizado por tentativa e erro, até se chegar a uma distribuição dos valores estimados próxima dos valores amostrais (valores reais), ou até se produzirem tendências que sejam coerentes com o fenómeno geológico em estudo (Noble, 1991). No caso de materiais depositados em aterro, tal pode não se verificar, na medida em que a continuidade geológica dos materiais poderá não existir.

No exemplo da imagem da figura 4.2, ilustra-se um exemplo da aplicação deste método, na qual está definido um raio de procura centrado no ponto B, cujo respectivo teor em substância se pretende estimar. Nesta situação, pressupõe-se a existência de isotropia, ou seja, a procura das amostras será realizada de igual modo em todas as direcções espaciais para uma dada distância (raio de procura), sendo que a duas dimensões essa área de procura corresponderá a círculo (área de procura).

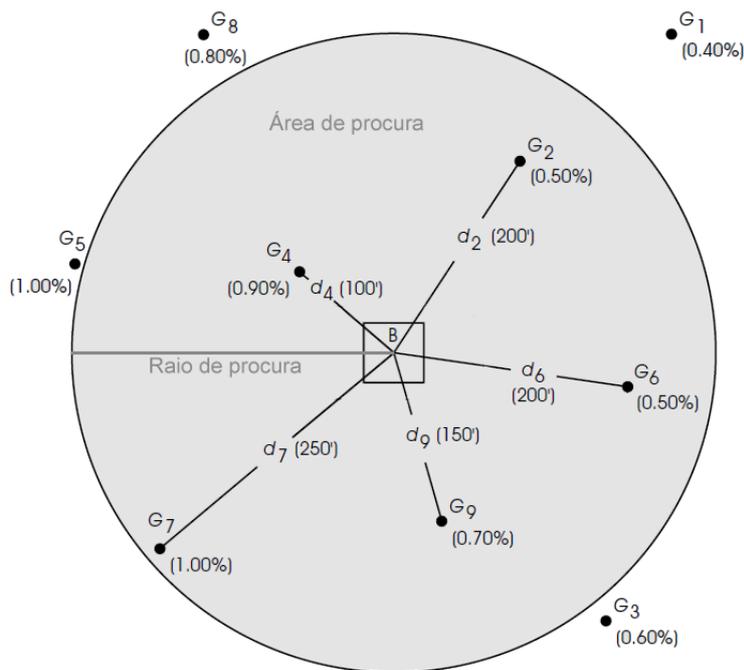


Figura 4.2 – Ilustração da estimação de um bloco pelo método do inverso da distância com um conjunto de dados hipotético – apenas as amostras no interior da área de procura são utilizadas para a estimação do teor do bloco B (adaptado de Sinclair & Blackwell, 2004).

Nos casos em que os dados demonstrem uma tendência nos valores (anisotropia), apresentando uma continuidade espacial diferente em várias direcções espaciais, se essa tendência for bem conhecida, poder-se-á definir uma área de procura representativa dessa tendência, de modo a que haja uma escolha de amostras de acordo com a anisotropia presente. Neste caso serão definidos não um, mas sim dois raios de procura (três, no caso a três dimensões), tendo a área de procura uma forma de elipse (elipsóide, no caso a três dimensões) (figura 4.3).

Deste modo torna-se possível melhorar desempenho deste estimador, sendo mesmo possível produzir resultados semelhantes aos obtidos por métodos geoestatísticos, como a *krigagem* normal (Sinclair & Blackwell, 2004).

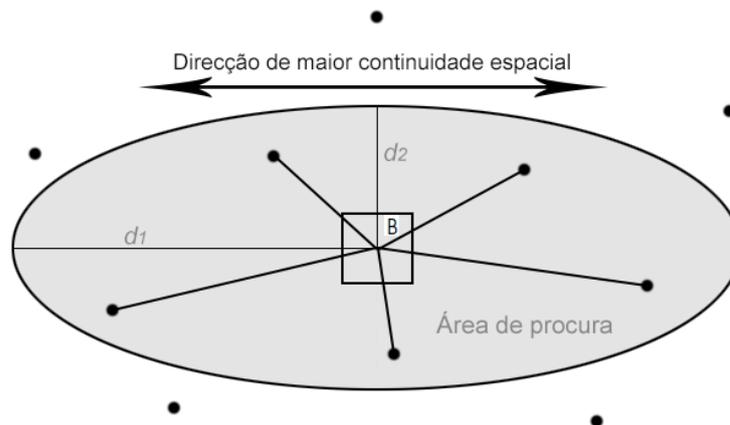


Figura 4.3 – Ilustração da procura de amostras para um caso em que se assume anisotropia: apenas as amostras dentro do elipsoide (área de procura) são consideradas para a estimação do teor do bloco B. Neste caso, a direcção d_1 está definida como sendo a de maior continuidade, abrangendo um maior número de amostras que na direcção perpendicular, d_2 .

Em alternativa à definição de uma área para a procura de amostras pode-se simplesmente definir o número de amostras a utilizar em cada estimação (n), sendo que a estimação de cada bloco passa a ser realizada com as n amostras mais próximas do bloco a estimar.

Ao contrário do que acontece nos métodos geoestatísticos, o IPD não desagrega agrupamentos de amostras: amostras agrupadas terão a mesma influência que uma amostra isolada, sendo o seu ponderador apenas determinado pela sua distância ao ponto a estimar. Deste modo, existe o risco de enviesar as estimações sempre que existam agrupamentos de amostras nas imediações do ponto a estimar. No sentido de contornar este problema, existe uma série de processos que devem ser aplicados para minimizar este problema, como:

- reduzir o valor dos ponderadores das amostras que se encontrem agrupadas;
- procurar amostras por quadrantes/octantes, método no qual a área/volume de procura é dividido em vários sectores, nos quais é feita uma média das amostras abrangidas, sendo depois feita a estimação com o valor médio.

De acordo com Houlding & Stoakes (1990) o IPD é por vezes utilizado em substituição dos métodos geoestatísticos quando estes não são possíveis de aplicar, sobretudo quando há impossibilidade de obter de variogramas representativos do fenómeno. No entanto, convém ter presente que este método apresenta algumas limitações:

- trata-se de um método que tem por base critérios geométricos, alguns definidos de uma forma algo arbitrária (distâncias de procura de amostras, potência);
- por ser determinista, não fornece medidas de incerteza relacionadas com o fenómeno, com as observações e com o método de inferências (Soares, 2000).

SEGUNDA PARTE – AVALIAÇÃO DO POTENCIAL MINEIRO DAS ESCOMBREIRAS DA MINA DE SÃO DOMINGOS, MÉRTOLA

O trabalho que aqui se apresenta tem como objectivo contribuir para uma avaliação do potencial mineiro de alguns resíduos mineiros depositados na antiga exploração de sulfuretos de São Domingos, em Mértola, especificamente, aqueles depositados na envolvente da cavidade de exploração (corta) e na proximidade da aldeia de Mina de São Domingos.

Como ponto de partida para a realização deste trabalho, dispõe-se de um conjunto de dados de geoquímica multi-elementar, provindos de relatórios técnicos de uma campanha de prospecção realizada entre 1990 e 1991 pela empresa Companhia Nacional de Piritas, S.A.. Esta informação não se reporta a todos os materiais existentes no local em estudo, mas sim, apenas a uma parte, então seleccionada pela empresa para prospecção, abrangendo um pequeno conjunto de classes de escombros, divididas por vários corpos.

Pretende-se construir um modelo tridimensional de cada uma das pilhas de escombros, nos quais será posteriormente feita a estimação dos respectivos volumes, tonelagens e a distribuição de teores de metais em cada um dos modelos. Nesta perspectiva, promove-se o interesse no conhecimento da distribuição de teores de ouro e prata existentes nos resíduos da mina de São Domingos. Este conhecimento será certamente importante para a realização de futuros trabalhos de avaliação.

5 DADOS E METODOLOGIA

Neste capítulo será feita uma breve apresentação dos dados utilizados para a construção dos modelos tridimensionais dos corpos de escombreira e na respectiva estimação de recursos, assim como os principais aspectos da metodologia de trabalho seguida para o efeito.

5.1 Dados

5.1.1 Prospecção

A informação relativa à prospecção de escombreiras foi retirada dos relatórios de uma campanha de amostragem realizada entre 1990 e 1991, pela Companhia Nacional de Piritas, S.A. (CONASA), disponibilizados pelo arquivo do Centro de Estudos Geológicos e Mineiros de Beja, pertencente ao Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG).

Os trabalhos de prospecção e avaliação consistiram na realização de poços e sondagens em alguns dos materiais depositados na envolvente da corta e aldeia da Mina de São Domingos, nomeadamente em escombreiras compostas por fragmentos de chapéu-de-ferro ou *gossan*, rocha encaixante da mineralização (xistos e vulcanitos ácidos), e também em algumas zonas de aterro da área urbanizada (ocupada actualmente pela aldeia da Mina de São Domingos) e da área do antigo complexo industrial. Foram também efectuadas algumas sondagens em rocha *in situ* no talude norte da corta, correspondente à zona de *stockwork* da massa de São Domingos (Matos *et al.*, 2006a).

A prospecção não foi realizada sobre uma malha regular, encontrando-se aleatoriamente dispersa pela área das escombreiras e zonas de aterro, sem um critério de organização aparente.

Foram efectuadas 160 sondagens e 162 poços, resultando na recolha de 1148 amostras, correspondentes a um total de 3184,5 m de perfuração. No caso dos poços, as amostras foram recolhidas em quatro fracções granulométricas distintas. A informação geoquímica constante nos relatórios, é referente ao cobre, zinco, chumbo, enxofre [expressa em percentagem (%)], ouro e prata [expressa em gramas por tonelada (g/t)]; no caso dos poços apenas existem valores para os teores totais em metais preciosos (ouro e prata). Nos restantes elementos, apenas existem valores referentes aos teores obtidos em cada uma das fracções granulométricas consideradas.

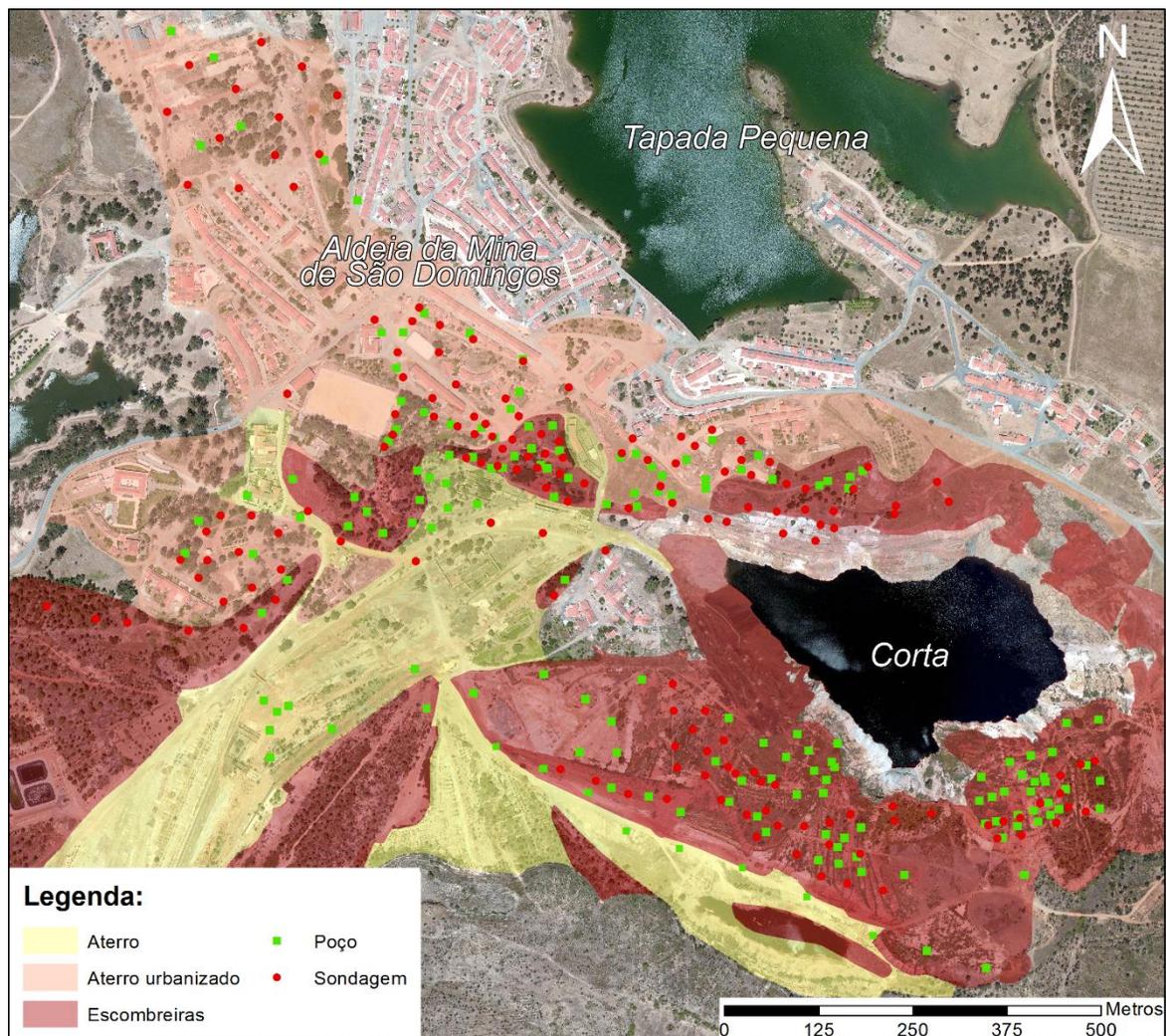


Figura 5.1 - Distribuição da prospecção efectuada pela CONASA nos resíduos depositados na envolvente da corta e aldeia da Mina de São Domingos (adaptado de Matos, 2004; fotografia aérea: Bing Maps).

5.1.1.1 Sondagens

As sondagens foram realizadas por roto-percussão com circulação inversa e sistema de recuperação de detritos. Os fragmentos foram amostrados em intervalos regulares de 2 m, em que no material proveniente desse comprimento se recolheram amostras com cerca de 10 kg para análise química. No total foram obtidas 942 amostras, correspondentes a 1 884 m de perfuração.

5.1.1.2 Poços

A realização deste tipo de prospecção teve como principais objectivos fazer o reconhecimento da espessura das escombreliras e zonas de aterro, assim como fazer recolha de amostras de grande volume para efectuar um estudo da distribuição de teores dos elementos de interesse em diferentes fracções granulométricas.

Os poços foram realizados com retro-escavadora equipada com uma *bivalva*¹. As escavações tinham aproximadamente 1 m² de área, e atingiram profundidades máximas de 12,5 m (limite do equipamento). O material extraído de cada metro escavação (cerca de 1 500 kg), foi quarteado para a obtenção uma amostra com cerca de 250 kg, a qual era posteriormente submetida a uma crivação de modo a separá-la em quatro fracções granulométricas (< 5 mm, 5 - 9 mm, 9 - 40 mm, > 40 mm). De cada uma das fracções foi colhida uma amostra com cerca de 10 kg para a realização de análises químicas. Os dados de cada uma das fracções amostradas foram posteriormente ponderados (de acordo com a proporção relativa de cada fracção), de modo a obterem-se os teores totais em cada intervalo.

No total existem 206 amostras compósitas (resultantes da ponderação de 824 amostras obtidas nas quatro fracções granulométricas), correspondentes a um total de 1307,5 m de escavação. Estas amostras representam intervalos que variam entre 1 e 12,5 m, e em média 6,0 m, havendo entre 1 a 3 amostras por poço.

5.1.2 Informação utilizada para a definição da estrutura dos vários corpos de escombrelira e de aterro

A informação utilizada para fazer a definição da estrutura dos corpos de escombrelira foi obtida a partir dos seguintes elementos:

- Carta mineira de São Domingos (Matos, 2004) – carta com os limites dos corpos de escombrelira dos vários materiais existentes na mina de São Domingos;
- Fotografia aérea – fotografia aérea ortorrectificada, com resolução espacial de 0,30 m, realizada pelo Instituto Geográfico Português e obtida através do sistema de visualização de mapas da Microsoft “Bing Maps”;

¹ Equipamento de escavação composto por dois baldes dispostos em formato de bivalve.

- Modelo digital do terreno – ficheiro .xls com um conjunto de 37 901 pontos georreferenciados, referentes à altimetria da zona do estudo, dispostos numa malha quadrada com 10 m, realizado pelo projecto MINEO em Portugal (Quental *et al.*, 2003);
- Carta Topográfica IGeoE 559 - Santana de Cambas (Mértola), na escala 1/25 000;
- Planta da Mina de Cobre da Mina de São Domingos (Ribeiro, 1857; Custódio, 1999) – mapa de pedido de concessão mineira, com uma representação dos principais relevos e rede hidrológica;
- Relatórios da CONASA – cotas da base dos poços e sondagens.

5.2 Metodologia

Dos relatórios técnicos da CONASA retirou-se toda a informação referente à prospecção: referência do poço/sondagem, coordenadas M e P em metros (Datum 73, Hayford-Gauss com origem no ponto central), profundidade atingida (m), cota da boca (m), intervalos (m), e os resultados das análises geoquímicas efectuadas em cada um dos intervalos [teores de Cu, Zn, Pb, S (em %) e Au e Ag (em g/t)]. Esta informação, inicialmente em formato de papel, foi transferida para uma base de dados informatizada (folha de cálculo).

A etapa seguinte correspondeu à definição dos limites estruturais de cada um dos corpos de escombreira e de aterro. Isto foi conseguido através da definição de três entidades delimitadoras para cada um dos corpos:

- Limite superior – correspondente à superfície do topo das escombreiras e das zonas de aterro, ou seja, a topografia actual do terreno;
- Limite inferior - correspondente à superfície da base das escombreiras e aterros, ou seja, a superfície do terreno anterior à deposição dos materiais;
- Polígonos delimitadores - representação espacial do perímetro de cada corpo.

Após a definição das estruturas delimitadoras para cada um dos corpos de escombreira e aterro, procedeu-se à organização da informação relativa à prospecção, agrupando-se os poços e sondagens por corpo de escombreira/aterro, e classificando-se cada uma das amostras de acordo com tipo de material constituinte (escombreira ou rocha *in situ*).

Uma vez organizada, a informação da base de dados foi importada e processada em ambiente Surpac, no qual se efectuaram todas as etapas necessárias para a estimação de recursos: construção dos modelos tridimensionais, análise estatística das amostras, cálculo de volumes e toneladas, estimação de teores.

Na figura que se segue encontram-se resumidos os procedimentos efectuados para o tratamento de dados, modelação dos corpos tridimensionais, estimação de teores e interpretação de resultados, assim como o *software* e os dados utilizados em cada uma das etapas.



Figura 5.2 – Resumo esquemático do tratamento da informação e etapas metodológicas seguidas neste estudo.

6 ÁREA EM ESTUDO: MINA DE SÃO DOMINGOS

A área em estudo situa-se na antiga Mina de São Domingos e abrange as freguesias de Corte do Pinto e Santana de Cambas, no concelho Mértola, distrito de Beja (figura 6.1).



Figura 6.1 – Localização geográfica da Mina de São Domingos. Legenda: a) Corte de Pinto; b) Santana de Cambas; c) Mértola; 1) Aldeia da Mina de São Domingos; 2) Corta; 3) Oficinas e estação ferroviária; 4) Moitinha; 5) Achada do Gamo; 6) Linha ferroviária; 7) Aldeia e porto fluvial do Pomarão.

A exploração moderna da mina de São Domingos iniciou-se em 1864, após a descoberta em 1857 por Nicolau Biava da capa de alteração do minério (chapéu-de-ferro ou *gossan*) e dos trabalhos mineiros deixados pela exploração no período romano (escórias, valas e poços).

A concessão de exploração foi adquirida por investidores franceses, que constituíram a empresa La Sabina. Foi posteriormente arrendada à empresa inglesa Mason & Barry Lda. (Custódio, 1996a), que a partir daí ficou responsável pela construção do empreendimento mineiro e pela exploração da mina.

O empreendimento mineiro, destinado à extracção e processamento de minérios de cobre e enxofre, afecta uma área total de aproximadamente 3 Mm² (a cor laranja na figura 6.1) (e.g., Matos *et al.*, 2012; Álvarez-Valero *et al.*, 2007) e estende-se desde a zona do jazigo, ao longo da ribeira de São Domingos, num percurso com cerca de 11 Km (e.g., Matos *et al.*, 2012). Era originalmente constituído por um vasto conjunto de infra-estruturas, das quais se poderão destacar oficinas e central eléctrica (zona da corta); fornos de ustulação, estação de moagem do

minério e campos de lixiviação (Moitinha); tanques de cementação e fábricas de enxofre (Achada do Gamo); conjunto de açudes para a retenção de água limpas (a montante da corta) e de águas ácidas (a jusante da corta); um porto fluvial para expedição do minério localizado na margem esquerda do Rio Guadiana, a cerca de 13 km a sul da mina (Pomarão); e uma linha férrea da corta até ao porto, com 18 km de extensão.

Devido ao isolamento do local, foram construídos dois povoados para albergar a mão-de-obra e todos os serviços necessários à laboração da mina: a aldeia da Mina de São Domingos e a aldeia do Pomarão. Existiram ainda três pequenos aglomerados habitacionais na Moitinha, na Achada do Gamo e no Telheiro (Custódio, 1996^a; Alves, 1998).

Durante o maior período de actividade da mina (1916), que chegou a empregar 2 400 trabalhadores, a produção anual chegou a ser superior a 400 000 t de minério (Guita, 2011). Durante todo o período de actividade, estima-se que tenham sido extraídas cerca de 25 Mt de minério (Matos *et al.*, 2006b ; Mateus *et al.*, 2011) e produzidas 24 000 t de cimentos de cobre (Costa e Goinhas, 1988 *in* Gaspar, 1995).

Em 1966 com o esgotamento do minério, a mina encerrou, deixando um grande passivo ambiental, evidenciado pela presença de um enorme conjunto de resíduos de extracção e processamento do minério, estimado em cerca de 25 Mm³ (Mateus *et al.*, 2011), assim como pelas amplas superfícies afectadas pela drenagem ácida da mina (Álvarez-Valero *et al.*, 2008; Matos e Martins, 2006).

A aldeia de São Domingos, a corta, e todas infra-estruturas abandonadas do complexo mineiro constituem um importante testemunho para a arqueologia industrial (Alves, 1998), encontrando-se algumas delas classificadas como *Conjunto de Interesse Público* (portaria n.º414/2013, DR, 2ª série, n.º 120 de Junho de 2013).

6.1 Breve enquadramento geológico

O jazigo de São Domingos localiza-se no sector norte da província metalogénica designada por Faixa Piritosa Ibérica (FPI), uma região com uma largura que varia entre 30 e 60 km, e com um 250 km de comprimento, que se desenvolve desde o Baixo Alentejo até à região da Andaluzia, em Espanha (e.g., Matos e Martins, 2006; Matos *et al.*, 2008). Constitui uma importante fonte de metais básicos e preciosos (Cu, Zn, Pb, Sn, Ag, Au, Fe, Co, Cd), evidenciada pela presença de mais de noventa jazigos de sulfuretos maciços polimetálicos (Matos *et al.*, 2006a; Matos e Martins, 2006; Matos *et al.*, 2012), conferindo-lhe um estatuto de província metalogenética de classe mundial (e.g., Matos *et al.*, 2006a).

A FPI está inserida na Zona Sul Portuguesa (ZSP) do maciço Hespérico. É constituída por uma sucessão estratigráfica, composta por rochas sedimentares e vulcânicas, com idades que vão desde o Devónico até ao Carbónico (Schermerhorn, 1971 *in* Álvarez-Valero *et al.*, 2007), agrupada em três unidades lito-estratigráficas principais (Gaspar, 1995): grupo do *Flysch*, Complexo Vulcano-Sedimentar (CSV), grupo Filito-Quartzítico (PQ).

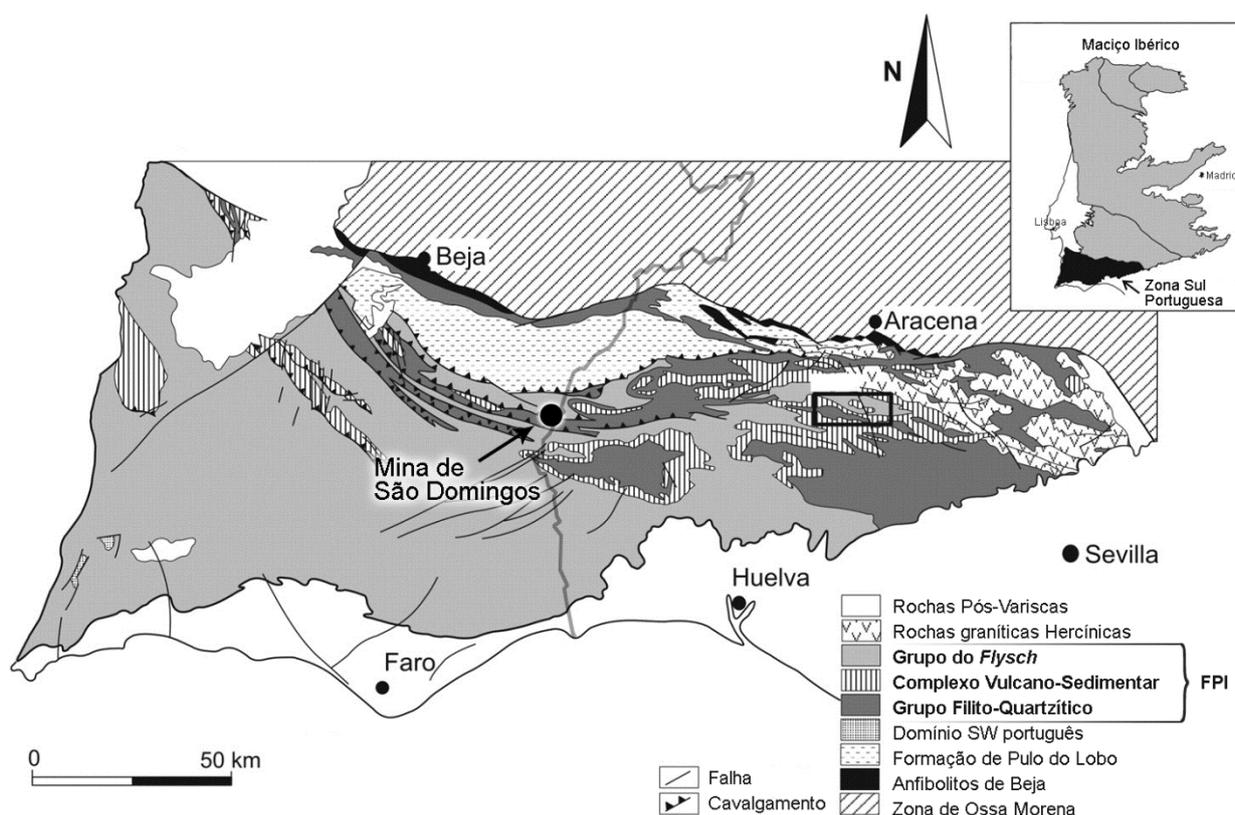


Figura 6.2 - Localização da Mina de São Domingos no enquadramento da Zona Sul Portuguesa (ZSP) (adaptado de González *et al.*, 2002).

O grupo do *Flysch*, de idade Viseano Superior–Bashkiriano/Moscoviano, consiste numa sequência de sedimentos turbidíticos, constituída por grauvaques, siltitos, xistos e conglomerados.

A unidade lito-estratigráfica intermédia, Complexo Vulcano-Sedimentar, de idade Fameniano Superior-Viseano Superior (Oliveira e Matos, 2004 *in* Matos *et al.*, 2006b) é essencialmente composta por xistos argilosos, vulcânicas ácidas (riólitos) e rochas vulcânicas básicas (basaltos, doleritos), intercaladas numa sequência vulcanoclástica (*e.g.*, Álvarez-Valero, 2007). É a unidade com a qual estão associados os jazigos vulcanogénicos de sulfuretos maciços e de manganês (*e.g.*, Gaspar, 1995; Matos *et al.*, 2006b), encontrando-se as litologias desta formação afectadas por alteração hidrotermal relacionada com o processo de formação do minério, representada pela presença de clorite, sílica e sericite (*e.g.*, Matos *et al.*, 2006b).

O Grupo Filito-Quartzítico, de idade Givetiano-Fameniano Superior, é composto por uma sequência sedimentar predominante, constituída por filitos, siltitos, quartzitos e quartzo-grauvaques (Pereira *et al.*, 2008; Matos *et al.*, 2012).

A massa de sulfuretos de São Domingos era constituído por uma única massa sub-vertical de sulfuretos maciços com forma lenticular e direcção aproximada este-oeste. Possuía uma extensão de cerca de 540 m, e uma possança que variava entre 45 e 70 m (*e.g.*, Matos *et al.*, 2006b). O jazigo assenta sobre formações do CVS, algumas das quais são atravessadas por uma rede entrançada de veios (*stockwork*), marcada pela presença de pirite com matriz siliciosa, de espessura centimétrica (*e.g.*, Matos, 2004; Oliveira e Matos, 2004; Matos *et al.*, 2006b). Estes veios encontram-se ligados ao minério maciço, que evidencia uma zonalidade do seu conteúdo metalífero, caracterizada pelo enriquecimento em cobre a norte, e em zinco mais a sul e a oeste (Webb, 1958 *in* Matos *et al.*, 2006a; Matos e Martins, 2006). Os principais minerais constituintes são a pirite, esfarelite, calcopirite, galena, arsenopirite e sulfossais. A massa possuía cerca de 25 Mt com teores médios de 1,25% de cobre, 2-3% de zinco, 1% de chumbo e 45-48% de enxofre (Carvalho, 1971 *in* Matos e Martins, 2006). O jazigo foi afectado por tectónica compressiva, marcada pela existência de cavalgamentos de direcção WNW-ESE e NW-SE, assim como por desligamentos de orientação N-S a NE-SW (Matos *et al.*, 2006a, 2006b).

A paleo-meteorização do jazigo deu origem a uma capa de alteração (chapéu-de-ferro ou *gossan*), e ao desenvolvimento de uma rede de fracturas preenchidas por óxidos de ferro (Matos & Martins, 2006; Matos *et al.*, 2006a).

6.2 Actividade mineira em São Domingos

Apesar de existirem indícios de que a exploração tenha iniciado no Calcolítico (Custódio, 1996a ; Matos e Martins, 2006; Matos *et al.*, 2008), a principal actividade mineira no jazigo de São Domingos teve início por volta dos finais do século I a.C., durante o período romano, no qual se deu uma intensa exploração do chapéu-de-ferro para a extracção de cobre e prata (Matos e Martins, 2006; Álvarez *et al.*, 2008), que se julga ter durado até aos finais do século IV d.C. (Rego, 2004; Martins, 2008; Guita, 2011).

O último e mais importante período de exploração ocorreu nas últimas décadas do séc. XIX, até meados do século XX, após a descoberta moderna da mina em 1854, por Nicolas Biava (Custódio; 1996a; 1999). Ao longo deste período de actividade mineira existiram vários métodos de exploração, quer à superfície, quer em subterrâneo, assim como vários métodos de processamento dos minérios.

6.2.1 Métodos de exploração no período moderno (1857 – 1966)

A exploração do jazigo iniciou-se em método de lavra subterrânea, através da abertura de vários poços superficiais de acesso e galerias, fazendo-se a exploração por pisos. O processo de exploração consistia na abertura de galerias longitudinais (com uma secção de 7 por 8 m) paralelas ao maior eixo da massa (este-oeste), e de galerias transversais (com secções de 4 por 6 m), ficando entre elas pilares de sustentação com larguras entre 3 e 5 m (método *câmaras e pilares*) (Custódio, 1996a ; Guita, 2011). Em algumas zonas eram abertas galeria de menor dimensão (1,8 por 1,2 m), que posteriormente eram enchidas com os rejeitos provenientes dos trabalhos de desmonte (método *corte e enchimento*). As galerias principais estavam interligadas por poços verticais, conectando os pisos, que eram utilizados para circulação de trabalhadores e equipamentos, esgoto e ventilação (Custódio, 1996a). A partir de 1859, o acesso ao interior da mina e a remoção do material do seu interior passa a ser feito por túneis, à entrada dos quais se instalou um sistema para a extracção do minério e escombros (cais de minério).

Em 1867, devido à necessidade de diminuir os custos de extracção e aumentar a produção, inicia-se a exploração do jazigo a céu aberto, mantendo-se simultaneamente a exploração em subterrâneo. Numa primeira fase extraíram-se os 32 m superficiais da massa, correspondentes à capa de alteração do minério (*gossan*), constituída essencialmente pelo estéril deixado nos pilares subterrâneos das explorações romana e pré-romana (Guita, 2011). Nesta fase inicial, que

durou até 1880, estima-se que tenham sido extraídos 3 Mm³ de rocha (Custódio, 1996a; Matos *et al.*, 2006).

A aplicação do novo método de lavra a céu aberto obrigou ao desmantelamento da aldeia original, construída no topo do jazigo (figura 6.3), tendo-se realizado a sua deslocalização entre 1869 e 1880 (Custódio, 1996a), para noroeste da massa, local onde ainda hoje se situa.

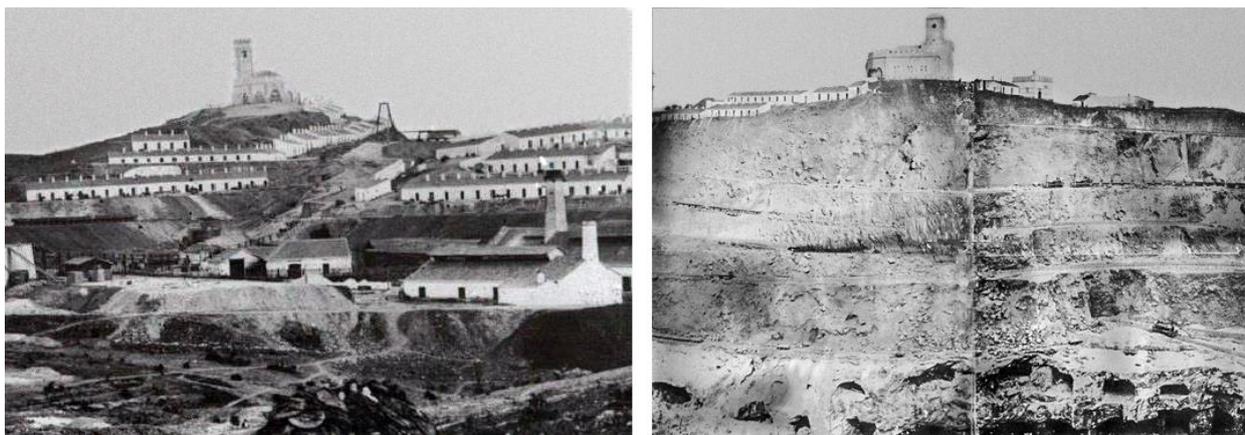


Figura 6.3 – Primeira aldeia mineira na serra de São Domingos, onde se destaca no topo a primitiva igreja de São Domingos. Imagem à esquerda: aldeia antes do início da lavra a céu aberto, vista de Oeste (ca. 1870); Imagem à direita: parte da aldeia durante a primeira fase de lavra a céu aberto, vista de Sul (ca. 1870) (Custódio, 1996b).

Na segunda fase de desmonte a céu aberto a exploração foi alargada a toda a extensão da massa, até se atingir a profundidade de 120 metros, a partir da qual se parou a lavra a céu aberto, continuando a exploração exclusivamente pelo método subterrâneo (Custódio, 1996a).

A ventilação da mina era feita por dois poços (n.º 6 e n.º 7) e pelos túneis de acesso (n.º 2 e n.º 5). O poço n.º 7 servia como ponto de exaustão do ar, no qual estava instalado um sistema de ventilação movido a vapor (Custódio, 1996a). A admissão do ar era feito pelos túneis de acesso, e pelo poço n.º 6 (Malacate), o qual servia também para a saída do esgoto da mina (Matos *et al.*, 2006; 2011).

A exploração em subterrâneo continuou até aos 420 m de profundidade, até ao esgotamento do minério útil (em 1966), ficando apenas uma pequena porção da massa mineral, cuja exploração não era rentável devido às limitações tecnológicas da época (Custódio, 1996a).

6.2.2 Tratamento metalúrgico do minério de São Domingos

Durante o período de exploração moderno, foram vários os processos de tratamento metalúrgico utilizados em São Domingos, hidrometalúrgicos (lixiviação) para a extracção de cobre, ustulação e calcinação para a produção de enxofre, assim como os produtos obtidos ao longo da vida da mina (pirite, pirite lixiviada, enxofre, cimentos de cobre).

Os minérios mais ricos em cobre eram fragmentados na estação de moagem da Moitinha, sendo daí expedidos por ferrovia até ao porto mineiro do Pomarão. Aí eram descarregados em barcos que o transportavam até ao Reino Unido (Swansea, no País de Gales), onde seriam submetidos a tratamentos pirometalúrgicos para extracção de cobre, ferro e chumbo (Custódio, 1996a), e a tratamentos hidrometalúrgicos, para a obtenção de ouro e prata (Gaspar, 1995).

Os minérios mais pobres em cobre eram fragmentados e ustulados, sendo o cobre posteriormente extraído por lixiviação nos campos da Moitinha, e recuperado por cementação nos tanques da Achada do Gamo. Durante o período inicial de laboração, até 1870, e final, em 1965, foi também realizada lixiviação *in situ*, inundando-se os sectores da mina já explorados com água ácida que depois se bombeava para a superfície, chegando enriquecida em cobre, sendo posteriormente precipitado nos tanques de cementação que existiam junto da mina (Custódio, 1996a, 1996b; Alves, 1998; Guita, 2011).

A partir de 1875, face à quebra das exportações de minério para o Reino Unido, imposta pela diminuição dos preços do cobre, passou-se a fazer a lixiviação do minério *cru* (não ustulado) (Custódio, 1996a; Gaspar, 1995). Com este método conseguia-se uma maior recuperação de cobre do que com a alcançada com a lixiviação dos minérios ustulados, obtendo-se um cimento com teores de cobre entre 68 e 80% (Gaspar, 1995). Após este processo, o minério lixiviado era vendido para a produção de enxofre (Custódio, 1996a).

Em 1935 é dado início à construção de uma unidade industrial na Achada do Gamo, e em 1943 uma segunda, denominada Achada do Gamo II, ambas destinadas ao processamento dos minérios pobres em cobre para a produção de enxofre pelo processo de Orkla (Guita, 2011).

6.3 Tipologia e distribuição espacial dos resíduos mineiros

Na mina de São Domingos podem-se observar vários tipos de escombrelras nas proximidades da corta e ao longo da ribeira de São Domingos (Matos, 2004; Matos *et al.*, 2006; Álvarez-Valero *et al.*, 2008; Mateus *et al.*, 2011) (figura 6.4). Dos materiais depositados podem distinguir-se dois tipos principais de resíduos:

- resíduos de extracção, compostos por materiais provenientes da exploração da capa de alteração do jazigo (*gossan*) e dos trabalhos de desmonte do minério e criação de acessos (*i.e.*, poços, galerias, abertura da corta, *etc.*), compostos por rocha encaixante da mineralização (maioritariamente xistos e vulcanitos ácidos);
- resíduos industriais, resultantes das operações de processamento metalúrgico do minério (escórias romanas e modernas, óxidos de ferro, cinzas de fundição, pirite britada, resíduos de lixiviação).

Na área próxima da corta predominam as escombrelras de fragmentos de *gossan*, de rochas vulcânicas ácidas oxidadas (*gossanizadas*), xistos, assim como os escoriais do período moderno e romano. Junto à estação de moagem (Moitinha – figura 6.4), encontram-se extensos campos de lixiviação de minério. Mais a sul, na zona industrial da Achada do Gamo (antigas fábricas de enxofre), predominam as escombrelras de escórias modernas, minério britado (pirite) e cinzas de fundição (Matos, 2004; Matos *et al.*, 2008; Mateus *et al.*, 2011).

Adicionalmente aos materiais depositados em escombrelra, existe uma ampla área de aterros constituídos por resíduos mineiros de extracção, nomeadamente a área actualmente ocupada pela aldeia, a zona da represa n.º 3 (Tapada Pequena) e parte da área ocupada pelo complexo industrial (oficinas, Moitinha, Achada do Gamo) (figuras 6.4 e 6.5).

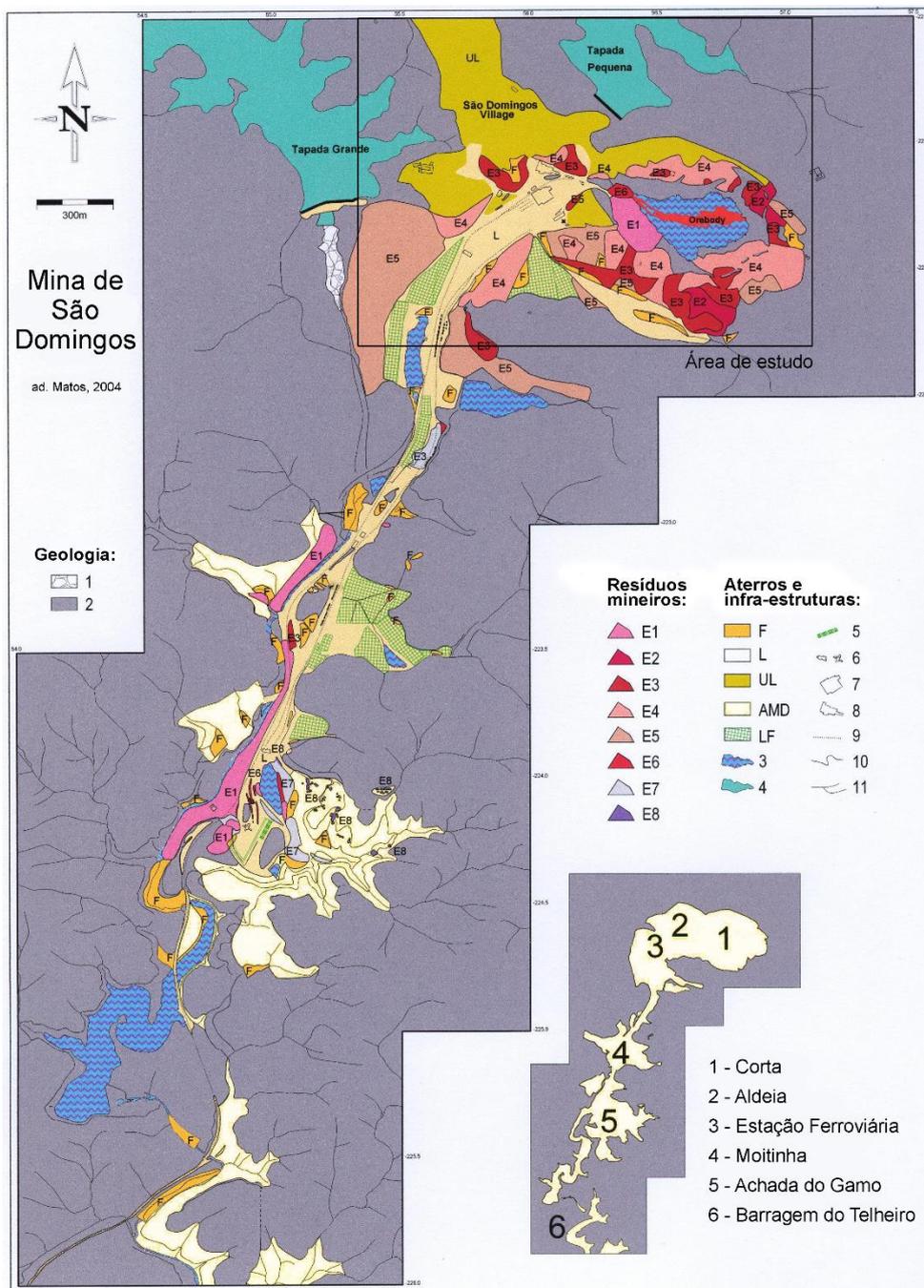


Figura 6.4 – Carta Mineira de São Domingos (adaptado de Matos, 2004): Geologia: 1) Depósitos aluvionares do Quaternário; 2) Zona Sul Portuguesa; Resíduos mineiros: E1) Escórias modernas; E2) Escórias romanas; E3) Gossan; E4) Vulcanitos e xistos; E5) Xistos; E6) Pirite britada; E7) Pirite ustulada; E8) Óxidos de ferro. Aterros e infra-estruturas: F) Materiais lixiviados; L) Aterros; UL) Aterros urbanos; AMD) Área afectada pela drenagem ácida; LF) Tanques de lixiviação; 3) Água ácida; 4) Água límpida; 5) Tanques de cementação; 6) Fornos de ustulação; 7) Estação ferroviária; 8) Central eléctrica; 9) Antigo caminho-de-ferro; 10) Canal; 11) Linha de água.

6.4 Caracterização dos materiais em estudo

A área sobre a qual incide este estudo abrange apenas as escombreiras localizadas na envolvente da corta, nomeadamente os materiais de *gossan* e vulcanitos *gossanizados*, assim como alguns dos corpos com fragmentos de xistos. Será também considerada parte da área dos aterros, designadamente, parte da zona ocupada pela aldeia e uma pequena parte da zona industrial, entre a central eléctrica e oficinas.

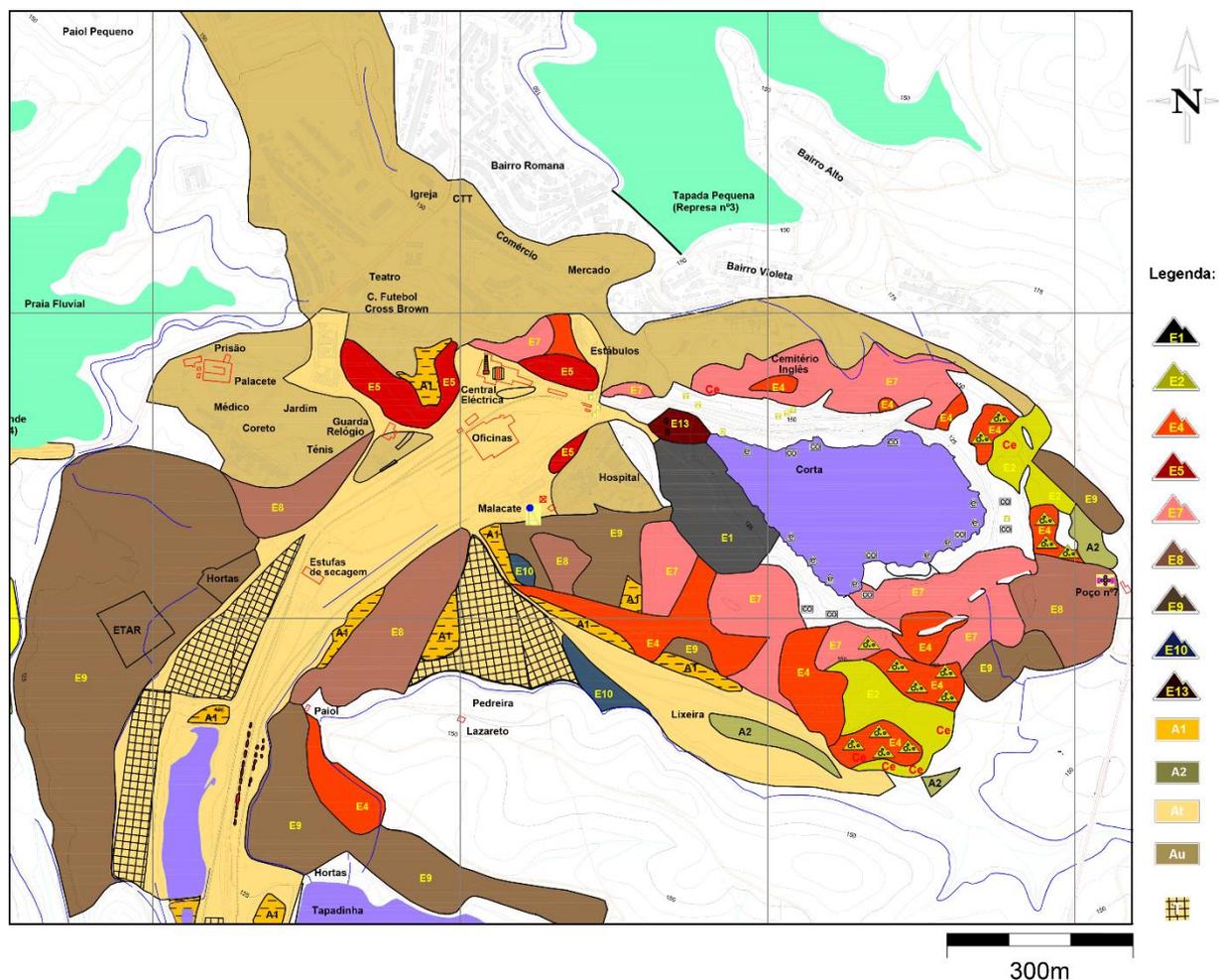


Figura 6.5 – Excerto da carta mineira da Mina de São Domingos (adaptado de Matos, 2004). Legenda: A1- Argilas esbranquiçadas; A2- Argilas e siltes; E1 - Escórias modernas; E2 - Escórias antigas (romanas); E4 - *Gossan* (fragmentos grosseiros, >5 mm); E5 - *Gossan* (fragmentos finos, < 5mm); E7 - Vulcanitos ácidos *gossanizados*; E8 - Vulcanitos e xistos; E9 - Xistos acastanhados; E10 - Xistos negros; E13 - Pirite britada; At - Aterro; Au - Aterro urbano; T - Tanques de lixiviação.

De seguida será feita uma breve descrição de cada um dos tipos de escombreira, identificados por Matos (2004) e outros autores (Matos *et al.*, 2006b; Pinto *et al.* 2007; Álvarez-Valero *et al.*, 2007; Mateus *et al.* 2011), baseada na observação dos materiais efectuada aquando da visita ao local. Na área existem ainda pilhas de materiais (rocha encaixante, minério, escórias) que não foram abrangidas pela campanha de prospecção, como tal, não irão ser descritas neste capítulo.

6.4.1 Chapéu-de-ferro ou *gossan*

Estes materiais são provenientes da exploração da capa de alteração supergénica do minério exposto à superfície (afloramento do chapéu-de-ferro ou *gossan*). Na área em estudo, estão cartografadas quinze escombreiras deste tipo de material, encontrando-se classificadas em dois tipos, de acordo com a sua granulometria: fragmentos grosseiros (classe E4, em média > 5 cm) e fragmentos finos (classe E5, em média < 5 cm). No primeiro caso, fragmentos grosseiros, o material encontra-se dividido por doze corpos, ocupando uma área total de 85 364 m²; destes apenas quatro foram alvo da campanha de prospecção da CONASA. No segundo caso, fragmentos finos, apenas existem três corpos, ocupando uma área conjunta de 19 596 m². Neste caso todos foram abrangidos pela prospecção.

O material classificado como fragmentos grosseiros (classe E4), aparenta ser composto por uma granulometria heterogénea, observando-se desde partículas finas, com dimensões inferiores às areias, até fragmentos com dimensões centimétricas, que no geral não parecem exceder os 15 cm.

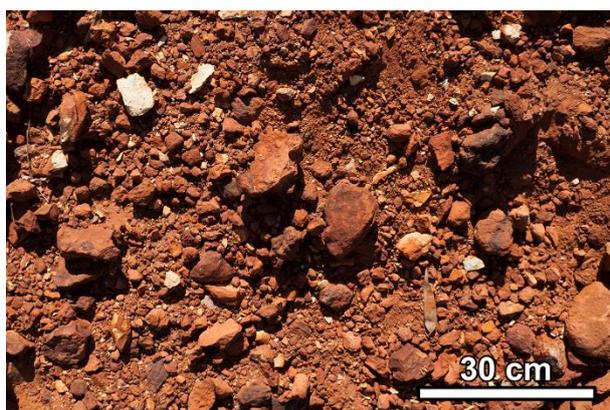


Figura 6.6 – Aspecto dos fragmentos grosseiros de *gossan* (classe E4)



Figura 6.7 – Escombreira de fragmentos grosseiros de *gossan* (classe E4).

Em algumas zonas dos corpos deste material é possível observar estruturas de deposição, marcadas pela alternância de camadas de materiais finos com materiais mais grosseiros (figura 6.8), demonstrando a grande heterogeneidade granulométrica que existe dentro dos próprios corpos de escombreira.



Figura 6.8 – Exemplo de uma zona de escombreira onde se observa a alternância de materiais com diferentes granulometrias. A estratificação dos escombros reflecte a forma como os mesmos foram depositados.

O material classificado como fragmentos finos de *gossan* (classe E5), é um material com uma granulometria aparentemente menos extensa, mais homogênea, constituída no geral por partículas da dimensão dos seixos (4 – 64 mm), e que no geral parecem não ultrapassar os 5 cm (figura 6.9). Esta classe poderá corresponder a um material britado e/ou crivado.

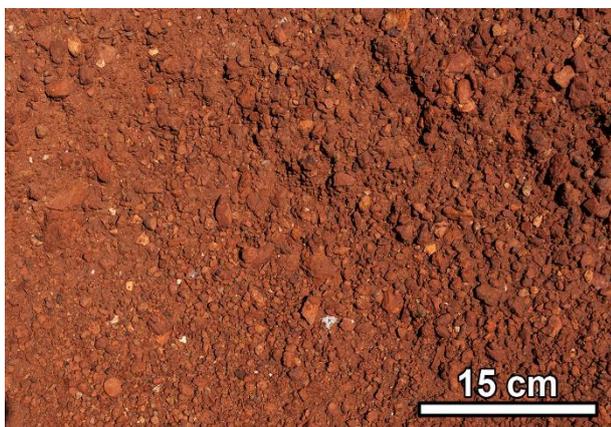


Figura 6.9 – Aspecto dos fragmentos finos de *gossan* (classe E5).



Figura 6.10 – Aspecto de um dos corpos de escombreira de fragmentos finos de *gossan* (classe E5).

Em ambas as classes de material (E4 e E5) observam-se fragmentos de outros tipos de rocha, tendo-se identificado fragmentos de vulcanitos ácidos, cinzas vulcânicas e xistos, embora envoltos numa pátina de tom vermelho, formada essencialmente por hematite (Alvarez-Valero *et al.*, 2007), que por vezes impossibilita a distinção visual dos materiais.

6.4.2 Vulcanitos ácidos gossanizados

Estes materiais são essencialmente constituídos por rochas vulcânicas ácidas com veios de sulfuretos oxidados (*stockwork*), podendo-se observar fragmentos com vários graus de meteorização, em alguns casos argilizados, apresentando por isso uma quantidade apreciável de partículas finas. A granulometria aparenta ser diversa, com blocos de grande dimensão e com partículas finas provenientes da alteração meteórica dos materiais.

Em termos de área prospectada, tratam-se dos materiais que ocupam a parcela mais importante dos resíduos existentes na área em estudo, ocupando no total 98 088 m², divididos por sete corpos, sendo que todos eles foram alvo de prospecção.



Figura 6.11 - Escombreira de vulcanitos ácidos vulcanizados (classe E7).



Figura 6.12 - Aspecto heterogêneo dos vulcanitos ácidos gossanizados (classe E7).

6.4.3 Vulcanitos ácidos e xistos argilosos

Esta classe de escombreira (E8) é constituída por uma mistura de rochas vulcânicas ácidas e de xistos argilosos de cor cinza claro, cinza escuro, e castanho claro, correspondendo ao encaixe da mineralização. Ambos os tipos de rocha apresentam diferentes graus de alteração meteórica,

observando-se vulcanitos ácidos de cor cinza clara (menos alterados), e de cor amarelo-esbranquiçada em maior estado de alteração (caulinização). A proporção relativa de cada uma das rochas é difícil de estabelecer visualmente. A granulometria do material aparenta ser heterogénea, com uma aparente prevalência das fracções mais finas, e com dimensões superiores que parecem no geral não ultrapassar os 15 cm, observando-se pontualmente blocos com dimensões entre 50 a 100 cm.

Esta classe de escombreira encontra-se dividida por quatro corpos, ocupando uma área de 76 395 m²; apenas um foi prospectado, cobrindo uma área de 15 288 m².



Figura 6.13 – Escombreira de vulcanitos ácidos e xistos argilosos (classe E8)



Figura 6.14 – Aspecto dos vulcanitos ácidos e xistos argilosos (classe E8).

6.4.4 Xistos acastanhados

Tratam-se de materiais compostos maioritariamente por xistos de cor castanha, por vezes com veios de óxidos, podendo-se encontrar alguns fragmentos de cor cinzenta escura. A granulometria do material parece ser relativamente homogénea, composta predominantemente por fragmentos com dimensões que variam entre 10 e 30 cm. Estão identificados seis corpos deste material, ocupando uma área conjunta de 259 155 m², dos quais apenas dois foram alvo de prospecção. Trata-se da classe de escombreira mais representativa da área em estudo, encontrando-se a maioria do material depositado numa grande escombreira localizada na zona sudoeste mina (figura 6.5). Devido à natureza do material (com menor presença de sulfuretos) o impacte químico deste tipo de escombreira é menor, identificando-se um coberto vegetal, mais ou menos desenvolvido (figura 6.15).



Figura 6.15 – Escombreira de xistos acastanhados (classe E9), parcialmente vegetada.



Figura 6.16 – Aspecto dos xistos acastanhados depositados em escombreira (classe E9).

6.4.5 Aterros

Alguns dos materiais resultantes da exploração mineira de São Domingos foram utilizados para a construção de aterros na zona actualmente ocupada pela aldeia (figura 6.17) e na zona ocupada pelo antigo complexo industrial (figura 6.18). A finalidade destes aterros, contruídos pela empresa arrendatária Mason & Barry com materiais compactados, era assegurar a existência de plataformas para a lixiviação de minério, meios de transporte, nomeadamente caminho-de-ferro, e construção de infra-estruturas industriais e de habitação (Matos *et al.*, 2008).

Durante uma visita a alguns locais de aterro, verificou-se que estes aparentam ser constituídos por uma mistura muito heterogénea de vários tipos de rocha, tendo-se identificado principalmente xistos, vulcanitos ácidos e, em menor quantidade, *gossan* e quartzitos.

Na zona em estudo, estes materiais compreendem uma área de 627 007 m², podendo-se diferenciar em duas zonas, baseadas no tipo de ocupação: área urbana, ocupada pela aldeia (310 804 m²); e área industrial (314 204 m²), ocupada pelas várias infra-estruturas do complexo mineiro (tanques de lixiviação, oficinas, caminho-de-ferro, *etc.*).



Figura 6.17 – Material depositado em aterro na zona da aldeia (classe EA).



Figura 6.18 – Material depositado em aterro na zona industrial (classe EA).

6.4.6 Massa volúmica das rochas

Um dos aspectos mais importantes para a avaliação de recursos minerais é a existência de uma boa caracterização da massa volúmica dos materiais, pois esta afecta directamente a conversão dos volumes em toneladas, e por sua vez é através destas que se determina a quantidade total de substância útil.

A única referência sobre a massa volúmica dos materiais analisados constante nos relatórios da CONASA resume-se a um valor aproximado da massa do volume correspondente a cada intervalo de sondagem, cerca de 50 kg, e a cada metro de profundidade de poço, cerca de 1 500 kg.. Sabe-se que o diâmetro do tricône² utilizado nas sondagens era de 130 mm. Calculando o volume de um intervalo a partir desta informação (volume de um cilindro) obtém-se um valor igual a 1 884 kg por cada metro cúbico de material (1,88 g/cm³). No caso dos poços, considerando que estes tinham uma abertura com aproximadamente 1 m² de área, e que cada metro de escavação tem cerca de 1 500 kg de material, obtém-se um valor de 1 500 kg por metro cúbico (1,50 g/cm³). Além de resultarem em dois valores significativamente diferentes, estas massas volúmicas constituem apenas uma aproximação ao valor médio de uma grande diversidade de rochas, não sendo por isso aceitável utilizar o mesmo valor de massa volúmica para determinar a tonelagem de materiais com composições litológicas distintas.

Como forma de colmatar a falta de informação precisa, decidiu-se efectuar uma recolha de amostras das várias rochas que constituem cada classe de escombreira, com o objectivo de se

² Ferramenta localizada no extremo inferior da coluna de perfuração, composta por três cabeças cónicas rotativas, responsável pela fragmentação do material e progressão do furo.

estabelecerem massas volúmicas de referência para os materiais de cada uma das classes e para os materiais depositados em aterro.

Aquando da visita ao local para a recolha das amostras, observaram-se também fragmentos de outros tipos de rocha para além daquelas descritas nos subcapítulos anteriores (cinzas vulcânicas, brecha tectónica, quartzitos). Face à heterogeneidade dos materiais rochosos, não é possível estabelecer uma proporção relativa entre os constituintes de cada classe de escombro. Como tal, para efeitos de determinação de massas volúmicas, apenas foram consideradas as rochas predominantes em cada uma das classes de escombreira.

Devido à impossibilidade de realizar uma amostragem exaustiva, apenas foi recolhida uma pequena quantidade de amostras de cada classe de material. Esta recolha apenas se realizou nas zonas de fácil acesso: na superfície e na base das vertentes das escombreiras. Caso os materiais depositados em São Domingos se tratassem de corpos homogéneos do ponto de vista litológico e granulométrico, os locais referidos seriam aceitáveis para fazer uma recolha representativa dos materiais de escombreira. No entanto, verificou-se que se trata de materiais com granulometrias variadas e compostos por vários tipos de rocha e em diferentes estados de alteração. Desta forma as amostragens acabam por não ser representativas do volume total de cada escombreira, por exemplo, na base dos taludes os materiais encontram-se segregados de acordo com a dimensão das partículas, observando-se maioritariamente fragmentos de maior dimensão. Se um determinado tipo de rocha se concentrar numa fracção de maior dimensão, então será de esperar que constitua o material mais abundante neste local.

À superfície, um aspecto que pode influenciar a representatividade das rochas será a maior alteração meteórica a que estas estão sujeitas, que atendendo à idade das escombreiras (algumas expostas desde a época romana, outras desde o século XIX até 1966), é possível que as rochas expostas nas zonas mais superficiais se encontrem mais alteradas que aquelas que se localizam no núcleo das pilhas de escombros.

Assim, as pilhas são constituídas por fragmentos de diferentes tipos de rocha, com diferentes estados de alteração meteórica, distribuídos por granulometrias heterogéneas. *In situ*, é difícil definir a proporção relativa dos vários tipos de rocha, pois as partículas encontram-se cobertas por óxidos de ferro, o que torna difícil fazer uma quantificação relativa por observação directa. Face às dificuldades referidas, a amostragem dos materiais limitou-se a uma recolha de amostras dos principais materiais constituintes, obtendo-se um conjunto de rochas para as quais foram determinadas as respectivas massas volúmicas.

Na tabela 6.1 encontram-se os resultados dos ensaios laboratoriais executados no laboratório de geotecnia da Universidade de Évora, para a determinação da massa volúmica (metodologia de ensaio descrita no anexo I). Os valores apresentados na tabela referem-se à massa volúmica real da amostra, ou seja, à massa volúmica tendo em consideração os vazios constituintes das rochas, resultando por isso em valores baixos quando comparados a valores tabelados das mesmas rochas (geralmente referentes à massa volúmica aparente), devido à elevada porosidade existente em algumas amostras.

Tabela 6.1 – Massa volúmica real para os tipos de rocha amostrados (síntese dos resultados dos ensaios laboratoriais).

Classe	Rocha	Massa volúmica (média) (g/cm ³)	Massa volúmica (mín. - máx.) (g/cm ³)
E4 e E5	<i>Gossan</i>	2,62	2,43 - 2,80
E7	Vulcanitos ácidos <i>gossanizados</i>	1,90	1,60 - 2,20
E8	Vulcanitos ácidos	1,81	1,53 - 2,22
E8	Xistos argilosos	1,99	1,96 - 2,01
E9	Xistos acastanhados	2,56	2,47 - 2,63

O *gossan* trata-se de minério maciço ou semi-maciço alterado, com uma porosidade elevada, no entanto os valores de massa volúmica resultantes dos ensaios não apresentaram uma grande amplitude de valores (tabela 6.1 e anexo 1).

Nos vulcanitos ácidos *gossanizados* verifica-se uma grande amplitude nos valores de massa volúmica. Isto deve-se não só à variabilidade dos vazios da rocha, mas também à maior ou menor presença de veios de mineralização, pois estes materiais são provenientes da zona de *stockwork*, tendo por isso massas volúmicas previsivelmente variáveis nas amostras. No caso dos vulcanitos ácidos, à semelhança do que acontece com os vulcanitos ácidos *gossanizados*, constata-se também uma grande amplitude nos valores de massa volúmica, devida igualmente à variabilidade dos vazios no material, assim como aos diferentes estados de alteração meteórica da rocha (caulinização). Comparando as massas volúmicas médias obtidas para as duas rochas, verifica-se que no caso dos vulcanitos *gossanizados* o valor é maior. Isto deve-se provavelmente à presença de veios de minério oxidado, mais densos, que contribuem para o aumento dos valores médios neste tipo de rocha.

No caso dos xistos, os resultados obtidos foram os mais homogéneos, verificando-se uma baixa dispersão nos valores massa volúmica medidos. Nos xistos argilosos, comparativamente com os xistos acastanhados, as amostras apresentam-se globalmente menos densas, devido possivelmente ao maior estado de alteração meteórica da rocha. De referir que em algumas das

amostras recolhidas observaram-se veios de óxidos de ferro (figura 6.19), embora em quantidades inferiores às observadas no vulcanitos *gossanizados*.

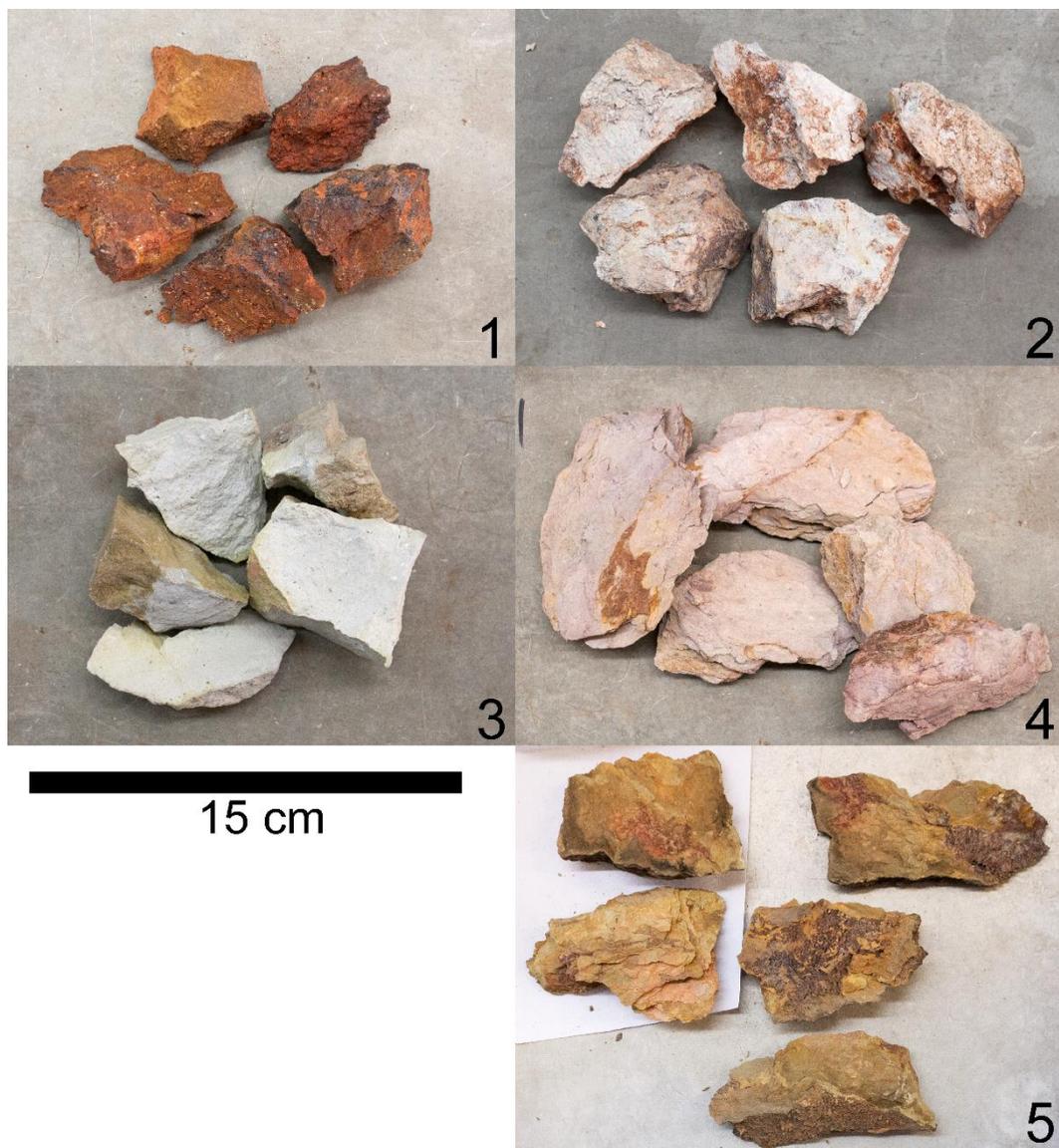


Figura 6.19 - Exemplo de alguns dos provetes utilizados na determinação das massas volúmicas das rochas. 1) *Gossan* (E4); 2) Vulcanitos ácidos *gossanizados* (E7); 3) Vulcanitos ácidos (E8); 4) Xistos argilosos (E8); 5) Xistos acastanhados (E9).

6.4.7 Massa volúmica das escombreyras e aterros

Nos relatórios de onde se recolheu a informação geoquímica da prospecção, não havia qualquer referência às massas volúmicas das várias classes de material analisadas para além daquela referida no subcapítulo anterior. Como aí se referiu, como forma de colmatar esta falta de informação, foram recolhidas algumas amostras *in situ*, com o intuito de se realizarem ensaios laboratoriais para a obtenção de valores de referência para os tipos de rocha mais abundantes em cada classe.

Idealmente, a determinação da massa volúmica em materiais depositados em escombreyra deve ser feita de modo a determinar não apenas a massa volúmica das rochas constituintes, mas a massa do volume ocupado pelos fragmentos de rocha, ou seja, tendo em consideração os espaços vazios entre as partículas. A heterogeneidade de rochas e a grande variabilidade granulométrica que parece existir dentro dos próprios corpos de escombreyra, faria com que a determinação correcta da massa volúmica de cada uma das classes de escombreyra implicasse a recolha de uma quantidade considerável de amostras, cada uma delas com grande volume, de modo a serem representativas do material. Tendo em conta os recursos disponíveis para este estudo, a realização de ensaios dessa magnitude seria impraticável. Por isso, decidiu-se estimar a massa dos vários materiais apenas recorrendo à massa das principais rochas que constituem cada uma das classes de material e pela atribuição de um valor de índice de vazios pela comparação com outros materiais, pese embora que esta prática se irá traduzir numa fonte de imprecisão.

O material rochoso ao ser fragmentado e depositado em escombreyra, irá ocupar um maior volume relativamente àquele que ocupava originalmente no maciço, devido ao acréscimo de espaços vazios entre os fragmentos. Esse aumento de volume está dependente de vários factores, como por exemplo a forma das partículas, distribuição granulométrica, resistência à compressão da rocha, e com o grau de compactação alcançado após a deposição. Segundo Sweigard, (1992) e Ofoegbu *et al.* (2008), este aumento de volume é denominado com *bulking* ou *swell*, podendo-se calcular um valor para essa variação de volume através da seguinte expressão:

$$B(\%) = 100 \cdot \left(\frac{V_b}{V} - 1 \right) \quad (\text{Eq 6.1})$$

Onde V_b é o volume da pilha de rocha fragmentada após o desmonte do volume inicial ocupado no maciço (V). O resultado da expressão será um valor que representa o aumento de volume em percentagem, ou de outro modo, a percentagem de vazios no material desmontado.

Existem alguns valores publicados de *bulking* para vários tipos de material rochoso, que se poderiam ter utilizado para definir a massa volúmica dos materiais de São Domingos. No entanto esses valores são referentes ao aumento de volume do material imediatamente após o seu desmonte, sem que este tenha sofrido transporte ou qualquer processo indutor de rearranjo das partículas (compactação). No caso das escombreyras de São Domingos, o material encontra-se depositado ao longo de um grande período de tempo (mais de 100 anos considerando o período moderno, e cerca de 1800 a 2000 anos considerando os materiais depositados na época Romana), pelo que existiu alguma compactação efectiva do material, induzida pelos equipamentos de transporte e pela compactação natural dos materiais com o passar do tempo. Além disso, os materiais de São Domingos aparentam possuir uma granulometria extensa, com uma quantidade de partículas finas considerável, grande parte delas resultantes da própria alteração das rochas, e que foram colmatando os espaços vazios entre as partículas de maior dimensão, diminuindo o volume de vazios, pelo que se considerou que os valores de *bulking* tabelados na literatura não seriam totalmente adequados para os materiais em estudo.

Considerando a granulometria extensa que aparentemente compõe a generalidade das escombreyras, procurou-se encontrar um material que de alguma forma pudesse ser comparável com aqueles depositados em São Domingos. Um exemplo de um material com uma curva granulométrica possivelmente próxima ao das escombreyras serão os agregados britados de granulometria extensa (ABGE), normalmente designados por *tout-venants*. Este tipo de materiais, quando compactados em pequenas camadas e em condições de humidade óptimas, possuem índices de vazios médios na ordem dos 15%³.

Tendo em conta o previsível baixo grau de compactação induzido pelos equipamentos de transporte durante a deposição (não concebidos para compactação), e uma baixa compactação natural ao longo do tempo, deduz-se que o índice de vazios dos materiais seja superior ao de um ABGE compactado em condições óptimas. Como tal definiu-se como valor mínimo 20% de vazios para os materiais depositados em escombreyra.

Por forma a acautelar uma eventual subestimação dos volumes de vazios, e uma consequente sobrestimação das tonelagens dos materiais, decidiu-se atribuir mais dois valores de volume de vazios, um por excesso, considerando valores muito elevados, e um valor intermédio. O valor

³ Valor médio de ensaios de controlo de compactação efectuados em aterros de ABGE (SulEnsaio, 2011).

máximo definido foi de 40%, correspondente a um máximo factor de *bulking* determinado em rochas ígneas e metamórficas alteradas (Ofoegbu *et al.*, 2008), ou seja, um valor que os materiais depositados em escombreira provavelmente não excederão.

No caso dos materiais depositados em aterro, existe a possibilidade de que estes tenham sido submetidos a trabalhos de compactação, mas uma vez que não foram medidos quaisquer valores *in situ*, e não se dispõe de informação que o confirme, consideraram-se os mesmos valores de volume de vazios definidos para os materiais depositados em escombreira, embora se admita que na realidade estes possam ser comparativamente menores. Na tabela 6.2 encontram-se os valores de massa volúmica para as classes de material considerando os três valores de volume de vazios.

Tabela 6.2 – Massa volúmica das classes de material para os três casos de percentagem de volume de vazios (%*ovz*).

Classe	Material	Massa volúmica (g/cm ³)		
		20% <i>ovz</i>	30% <i>ovz</i>	40% <i>ovz</i>
E4 e E5	<i>Gossan</i>	2,10	1,83	1,57
E7	Vulcanitos <i>gossanizados</i>	1,52	1,33	1,14
E8	Vulcanitos e xistos	1,49	1,30	1,12
E9	Xistos acastanhados	2,05	1,79	1,54
EA	Aterros	1,69	1,47	1,26
	Média das classes	1,77	1,54	1,33

No caso dos vulcanitos e xistos, face ao desconhecimento da proporção relativa de cada um dos principais constituintes, fez-se uma média da massa volúmica dos dois tipos de rocha, ou seja, assumiu-se uma proporção equivalente destes dois materiais.

No caso dos materiais depositados em aterro, o valor foi definido pela média de todos os materiais, excluindo-se o *gossan*, devido ao facto de se ter observado uma pequena quantidade de fragmentos desta rocha nos aterros, o que resulta num valor mais baixo do que caso fosse considerado o valor dessa rocha, obtendo-se assim uma massa volúmica mais baixa e prevenindo-se assim uma sobrestimação da tonelagem dos corpos deste material.

De referir que a média dos dois valores de massa volúmica determinados a partir da informação dos relatórios da CONASA (1,50 e 1,88 g/cm³) resulta num valor de massa volúmica de 1,70 g/cm³, valor próximo ao resultante da média dos valores definidos na tabela 6.2 (1,77 g/cm³), pelo que se julga que a percentagem média de vazios dos materiais se deva situar entre 20% e 30%.

7. DEFINIÇÃO DOS MODELOS TRIDIMENSIONAIS DAS ESCOMBREIRAS E ZONAS DE ATERRO

Uma condição importante para a determinação dos recursos de um depósito mineral é o bom conhecimento das fronteiras do corpo que se pretende estudar, de modo a que seja possível obter volumes representativos da massa de minério, e assim poder-se quantificar correctamente as tonelagens e teores de substância útil. Metodologicamente, nos processos de inventário mineral, procede-se a uma modelação geológica, processo no qual se estabelecem os limites de zonas geologicamente idênticas, correspondentes a diferentes materiais, alguns com interesse para exploração (minério), outros como material estéril e sem interesse económico, de modo a definir-se um volume no qual será feito o estudo e a avaliação de recursos.

No caso particular deste trabalho o recurso em estudo não se trata exactamente de uma formação geológica, mas sim de um conjunto de volumes compostos de resíduos litologicamente variados, resultantes da exploração de um jazigo. Os limites deste tipo de materiais são um pouco diferentes de um corpo mineral, pois em vez de um corpo geologicamente circunscrito, tem-se um corpo apenas delimitado inferiormente (figura 7.1).

Como forma de modelar a estrutura de cada um dos corpos de escombreira que se pretende modelar, foi necessário definir três limites:

- lateral – correspondente ao perímetro que delimita cada um dos corpos de escombreira;
- superior – correspondente à superfície do corpo de escombreira, ou seja, a actual superfície do terreno;
- inferior - correspondente à morfologia do terreno anterior à deposição dos vários materiais, ou seja, a topografia original do terreno.

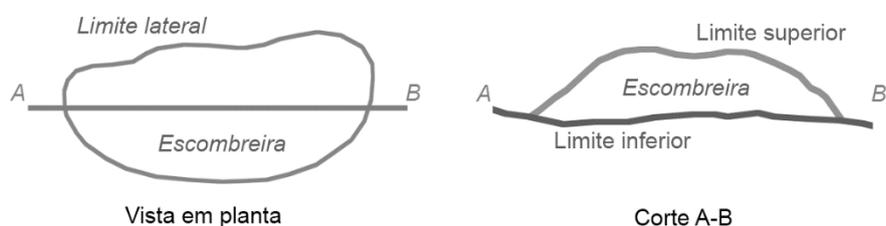


Figura 7.1 - Esquemática dos limites utilizados para definir um corpo de escombreira.

7.1 Limites laterais - Polígonos delimitadores das áreas para estimação

7.1.1 Limites dos corpos de escombreira

O ponto de partida para o estabelecimento dos limites dos corpos de escombreira foi a carta mineira de São Domingos (Matos, 2004), com base na qual se fez uma redefinição um pouco mais pormenorizada dos limites de cada um dos corpos de escombreira. Esta redefinição realizou-se pelo confronto dos limites representados na carta mineira com a fotografia aérea ortorrectificada, com resolução espacial de 0,30 m.

Esta redefinição dos limites foi feita tendo sempre em consideração que a informação obtida pela análise da fotografia aérea apresenta informação obtida remotamente, e não por uma observação directa no local, como terá sido realizada nos trabalhos da carta mineira, pelo que grande parte dos limites cartografados foram mantidos, modificando-se apenas aqueles em que uma melhoria era claramente possível de realizar.

Para que houvesse uma maior facilidade na identificação das várias classes de escombreira na fotografia aérea, antes de a utilizar na redefinição dos limites, procedeu-se a um tratamento digital da imagem, de modo a aumentar o contraste e assim facilitar a distinção visual entre os vários materiais (figura 7.2).

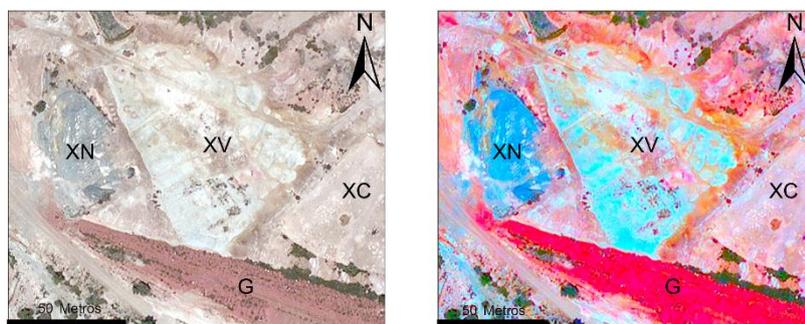


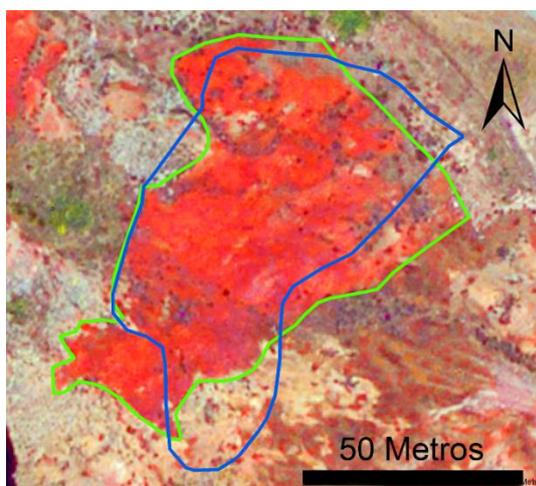
Figura 7.2 – Exemplo da modificação efectuada à fotografia aérea para evidenciar as diferenças espectrais entre vários tipos de material: fotografia original à esquerda, fotografia modificada à direita. Legenda: XN - Xistos negros; XV - Xistos e vulcanitos; XC - Xistos acastanhados; G - Gossan.

Este processamento consistiu em modificar individualmente os histogramas de cada um dos canais de cor da imagem (vermelho, verde e azul) de modo a criar uma saturação das cores, resultando numa imagem em cores falsas, na qual a distinção entre os vários tipos de material é

visualmente mais fácil. Este procedimento foi feito com *software* de manipulação de imagem Adobe Photoshop.

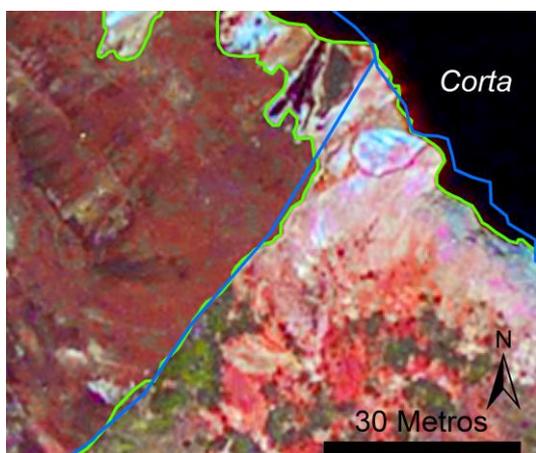
Na tabela que se segue apresentam-se alguns exemplos de situações em que se procedeu à alteração dos limites dos corpos de material da carta mineira de São Domingos.

Tabela 7.1 – Exemplos de modificação dos limites dos corpos de material da carta mineira de São Domingos (Matos, 2004).



Exemplo 1 – Alteração do limite. No caso ilustrado, o material do corpo de escombreira (*gossan*) possui uma cor distinta dos materiais envolventes. Quando comparado o limite da carta mineira (a azul) com a fotografia aérea, nota-se uma clara diferença na geometria do perímetro do corpo de escombreira.

Neste tipo de situações procedeu-se à redefinição parcial ou completa (no exemplo, a verde) dos limites do corpo em questão.



Exemplo 2 – Adição de detalhe e pequenas correcções à geometria. No caso exemplificado na figura, foi adicionado algum detalhe ao limite entre materiais, bem como a actualização do limite da lagoa ácida (corta), devido à subida das águas.

O mapa com o resultado final apresenta-se na figura 7.3. As classificações e nomenclatura dos vários tipos de material definidas em Matos (2004) foram mantidas, tendo-se apenas complementado com uma classificação numérica para cada um dos corpos da mesma classe de material, de modo a facilitar a identificação de cada um dos corpos.

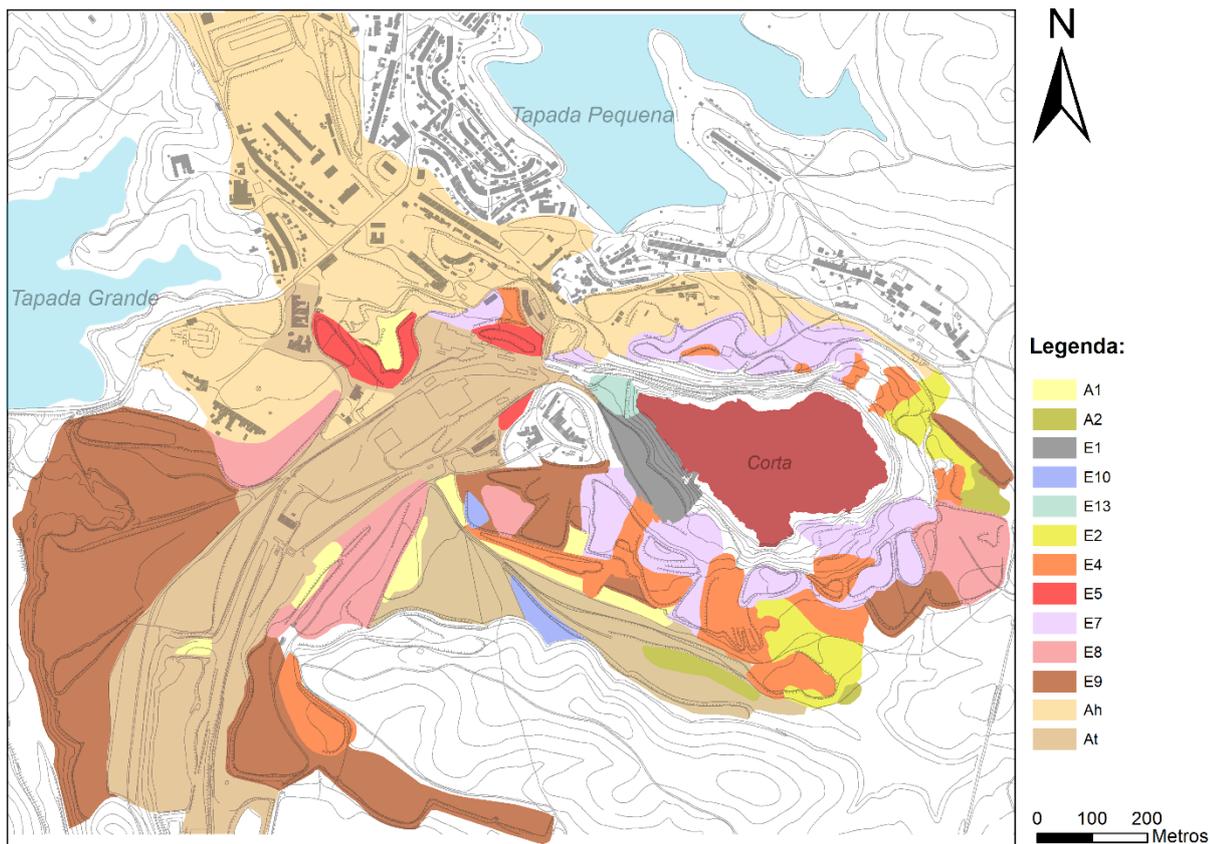


Figura 7.3 - Materiais depositados na envolvente da aldeia e corta da Mina de São Domingos. Legenda: A1- Argilas e siltes amarelo-esbranquiçados; A2- Argilas e siltes acastanhados; E1 - Escórias modernas; E2 - Escórias antigas (romanas); E4 - Gossan (fragmentos grosseiros); E5 – Gossan (fragmentos finos); E7 – Vulcanitos gossanizados; E8 – Vulcanitos e xistos; E9 – Xistos acastanhados; E10 – Xistos negros; E13 – Pirite britada; Ah – Aterro urbanizado; At – Aterro industrial. Adaptado de Matos (2004).

7.1.2 Definição de áreas de aterro para estimação de teores

Como referido no capítulo 5, algumas das zonas de aterro também foram abrangidas pela campanha de prospecção, revelando amostras com teores de ouro e prata interessantes, e nos quais se registou inclusive a amostra com maior teor em ouro (8,0 g/t).

No entanto, a área ocupada pelos aterros é muito ampla, encontrando-se incompletamente abrangida pela campanha da CONASA. Os pontos de prospecção realizados encontram-se aglomerados em determinados locais, pelo que a informação é limitada, não permitindo uma correlação total com todos os recursos existentes nesta classe de escombros. Assim, de modo a poder-se utilizar essa informação amostral para estimação dos recursos nestes materiais, foi

necessário definir um conjunto de limites para a modelação de corpos nos locais onde a prospecção se concentra.

Esses limites foram obtidos através da criação de polígonos cujos vértices correspondiam às sondagens externas de cada um dos aglomerados de prospecção (figura 7.4, b), sendo posteriormente criado um segundo polígono, excentricamente espaçado a 15 m, o qual foi utilizado para fazer a delimitação lateral do volume a estudar. O valor de espaçamento definido, 15 m, foi escolhido como sendo uma aproximação de metade do valor do espaçamento médio entre a prospecção nas zonas de aterro.

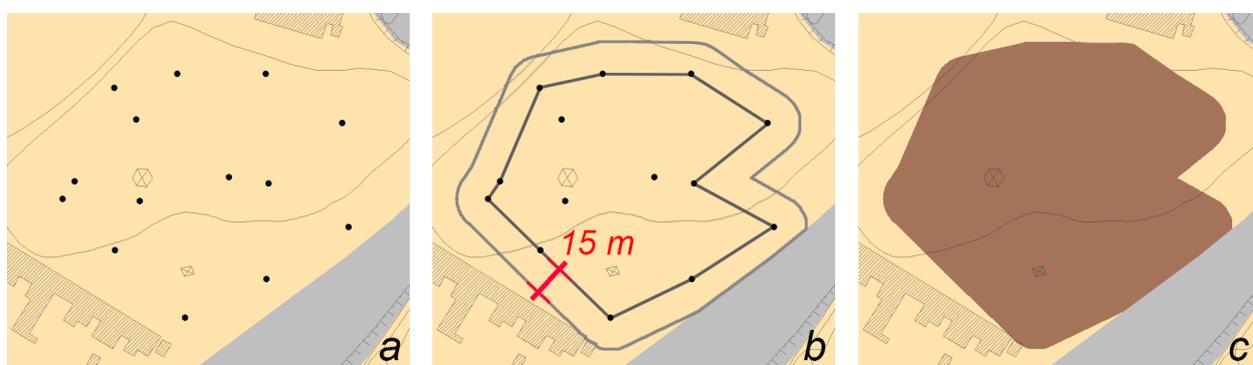


Figura 7.4 - Esquema da definição de áreas de aterro para estimação de teores. Legenda: a) zona com prospecção; b) definição dos polígonos; c) área de para estimação.

No total foram definidos seis corpos de aterro (figura 7.5): quatro na zona ocupada pela aldeia, correspondentes a uma área de 113 098 m², e dois na zona industrial, ocupando uma área de 19 162 m². No total, as áreas definidas para estimação têm uma área de 132 260 m², correspondendo sensivelmente a 21% da área total dos materiais depositados em aterro na zona em estudo (618 212 m²).

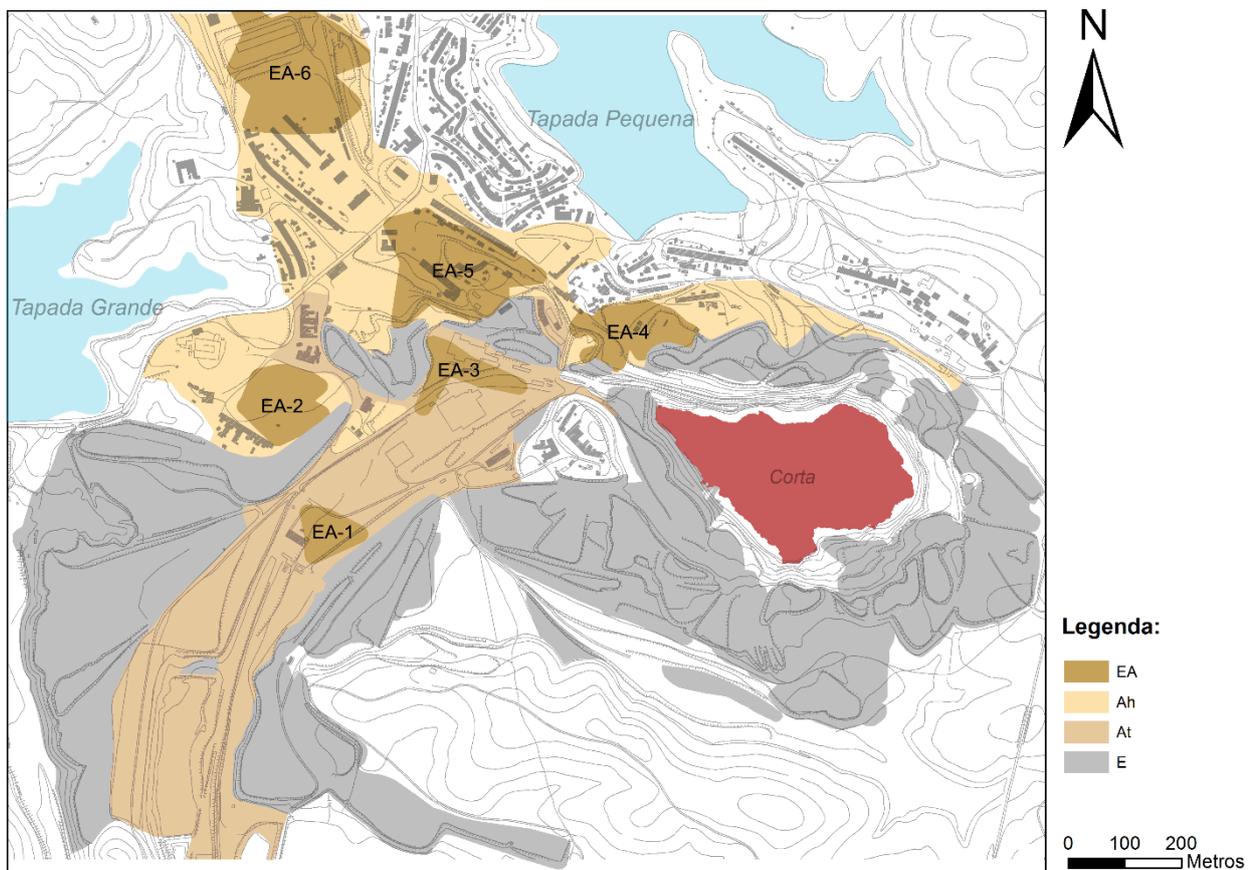


Figura 7.5 - Localização das zonas de aterro definidas para estimativa de recursos. Legenda: EA - Áreas de aterro para a estimativa de recursos; Ah – Aterro urbanizado; At – Aterro industrial; E - Escombros. Adaptado de Matos (2004).

7.1.3 Limites condicionados

Parte da zona em estudo encontra-se classificada como *conjunto de interesse público* (Conjunto das Minas de São Domingos), pela portaria n.º 414/2013 de 25 de Junho de 2013. Este documento define que em algumas áreas é interdita a alteração e mobilização de solo, especificamente na envolvente de alguns edifícios mineiros e em parte dos taludes norte e leste da corta (figura 7.6), impondo-se assim uma condicionante à área possível de ser explorada, e logo a uma diminuição do volume de material passível de ser processado.

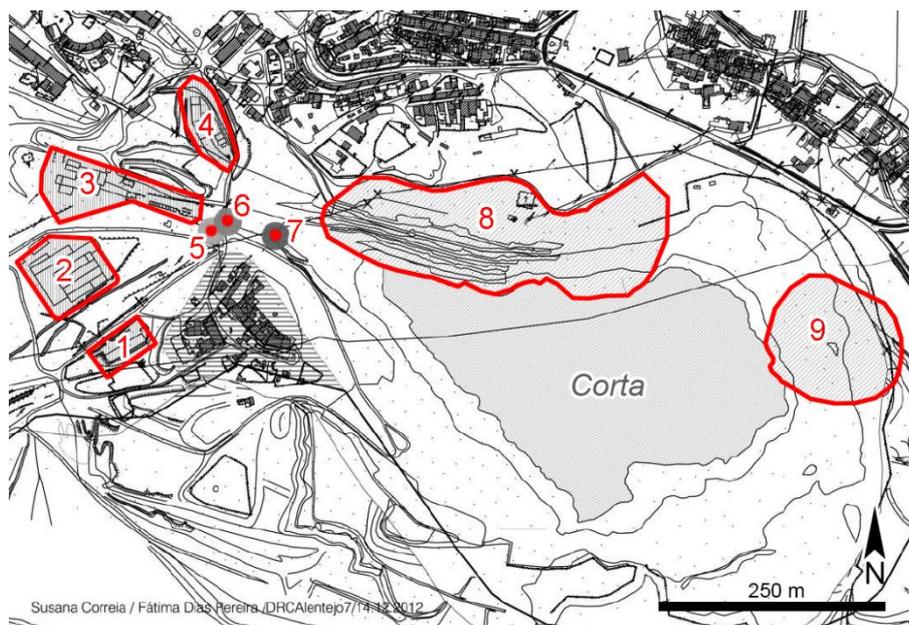


Figura 7.6 - Áreas onde é interdita a alteração e mobilização do solo/subsolo. Legenda: 1 - Armazém de ferro; 2 - Oficinas, 3 - Central eléctrica, 4 - Cavalariças, 5 – Contramina, 6 – Ponte, 7 – Pontão; 8 e 9 – Vestígios de galerias e escoriais romanos (adaptado do Anexo II da portaria n.º 414/2013).

Outro factor condicionante da quantidade de material disponível resulta do facto de alguns dos materiais se encontrarem próximos, e em alguns casos subjacentes, a infra-estruturas de habitação e mineiras. Do ponto de vista da avaliação económica destes materiais ter-se-á que ter em consideração estas limitações, de modo a saber-se que escombros poderão ser remobilizados. Na eventualidade destas condicionantes prevalecerem de facto, poderão condicionar e inviabilizar uma futura exploração caso se verifique uma redução considerável dos recursos exploráveis.

Na área de património mineiro não será provavelmente possível a exploração, pois isso implicaria a demolição de edifícios com valor patrimonial e histórico. No caso das zonas de habitação, a exploração também não será provavelmente possível, ou, caso seja, será necessário fazer uma deslocalização de parte da aldeia, com o consequente aumento dos custos económicos e sociais.

As escombrelas de escórias romanas que ainda estão *in situ*, no local onde foram depositadas, possuem um valor arqueológico muito importante, constituindo sítios arqueológicos com interesse de preservação (Matos *et al.*, 2008, 2011). Alguns destes corpos de escoriais, nomeadamente os que se localizam na parte norte da corta, situam-se também sobre afloramentos importantes de mineralização tipo *stockwork*, tendo este local sido classificado como *geossítio* (base de dados ProGeo - geossitios.progeo.pt; Brilha *et al.*, 2012).

De forma a acautelar todas as condicionantes referidas, foram definidas zonas de protecção para as áreas de aldeamento e de património (incluindo o não abrangido pela portaria 414/2013), com objectivo de definir novos volumes para os materiais em que a exploração estará condicionada.

Estas áreas foram categorizadas na seguinte tipologia:

1. zona patrimonial: áreas com infra-estruturas mineiras com possível interesse de preservação como património arquitectónico histórico (incluindo as definidas pela portaria anteriormente referida);
2. zona habitacional: habitações e edifícios públicos nas imediações ou edificados sobre material com interesse. Neste caso também se consideram os caminhos de acesso aos edifícios.

Ambas as zonas foram definidas através da criação de polígonos representantes de todas as unidades identificadas pela análise da fotografia aérea (figura 7.7a), e das cartas mineira (Matos, 2004) e topográfica (n.º 559). Posteriormente fez-se a junção de todos esses polígonos, acrescentando-se uma distância de protecção de 10 m em redor dos mesmos (figura 7.7b), de modo a obter-se uma área de exclusão (figura 7.7c) na qual a exploração dos materiais estará condicionada pelos motivos já mencionados.



Figura 7.7 – Exemplo da definição de áreas com exploração condicionada na zona da aldeia: a) delimitação dos edifícios; b) criação de polígonos espaçados a 10 m dos edifícios (*buffer*); c) área de exclusão.

A distância de 10 m apenas se aplicou aos edifícios não referidos pelo anexo II da portaria anteriormente mencionada. Para esses casos, as zonas de segurança foram aquelas definidas pelo documento. O valor de 10 m foi escolhido como uma aproximação preliminar de uma área de protecção, pois não foi encontrada qualquer referência legal específica sobre este tipo de distâncias de segurança. Assim utilizou-se o valor de 10 m, distância mencionada como margem

de defesa de prédios rústicos para o caso de explorações mineiras a céu aberto (Anexo II do Decreto-Lei 340 de Junho de 2007).

No mapa da figura 7.8, apresentam-se as áreas de zona habitacional e patrimonial definidas com base na análise de fotografia aérea e nas áreas definidas pelo anexo da Portaria (figura 7.6).

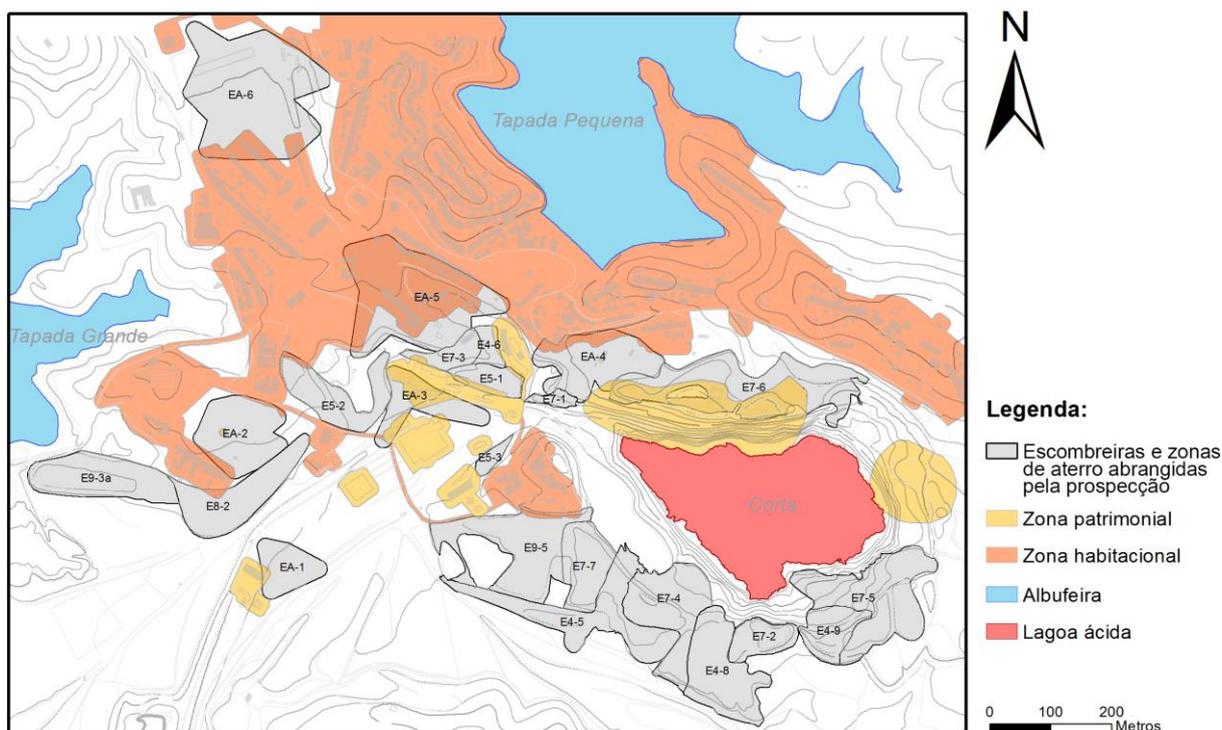


Figura 7.8 - Áreas de exclusão nas quais a exploração terá condicionantes (zonas patrimonial e habitacional).

Impostas as condicionantes, a área das escombreyas abrangidas pela prospecção diminui em 20 460 m², o que corresponde a uma redução de 9,5% da área total destes materiais (216 412 m²). No caso dos materiais depositados em aterro, as áreas para estimação definidas em 7.1.2, sofrem uma redução de 41 329 m², correspondendo a uma diminuição de 68% da sua área total (132 260 m²). Se considerada a totalidade da área ocupada pelos aterros na zona de estudo (618 212 m²), as áreas de exclusão implicarão a redução de 36% da área explorável, ficando reduzida a 397 411 m².

Após a delimitação das áreas com exploração condicionada, definiram-se novos polígonos para os corpos de escombreira e zonas de aterro afectados (anexo 4), com o intuito de criar um segundo conjunto de modelos tridimensionais, dos quais os volumes afectados pelas condicionantes não serão contabilizados na estimação de recursos.

7.2 Topografia actual: modelo digital do terreno das superfícies de escombreira

A informação utilizada para a criação da superfície superior das escombreyras foi obtida a partir de um ficheiro de dados de um projecto realizado pelo Instituto Geológico e Mineiro (IGM), actual LNEG, na mina de São Domingos (projecto MINEO, EU FP5). O ficheiro consiste num conjunto 37 900 pontos georreferenciados, dispostos numa malha quadrada de 10 m. Esta informação foi importada para o *software* ArcGIS, no qual se seleccionou apenas a informação referente à área abrangida por este estudo e se construiu um modelo digital do terreno (MDT), interpolando-se a informação para uma grelha quadrada com células de 5 m.

Aquando da comparação inicial das cotas dos pontos de prospecção com a cota da projecção dos mesmos no modelo digital do terreno, verificou-se que existia uma diferença significativa entre os valores. Os pontos da prospecção encontravam-se em média 4,04 m elevados relativamente à sua localização projectada no MDT. Como abordagem inicial à resolução deste problema, procedeu-se à elevação do MDT em 4,04 m, com o intuito de verificar se o problema seria assim minorado. Com esta modificação, os valores ficaram mais próximos da superfície, não se observando, no entanto, uma concordância total, verificando-se ainda alguma discrepância nas cotas, como se pode verificar pela análise do gráfico da figura 7.9.

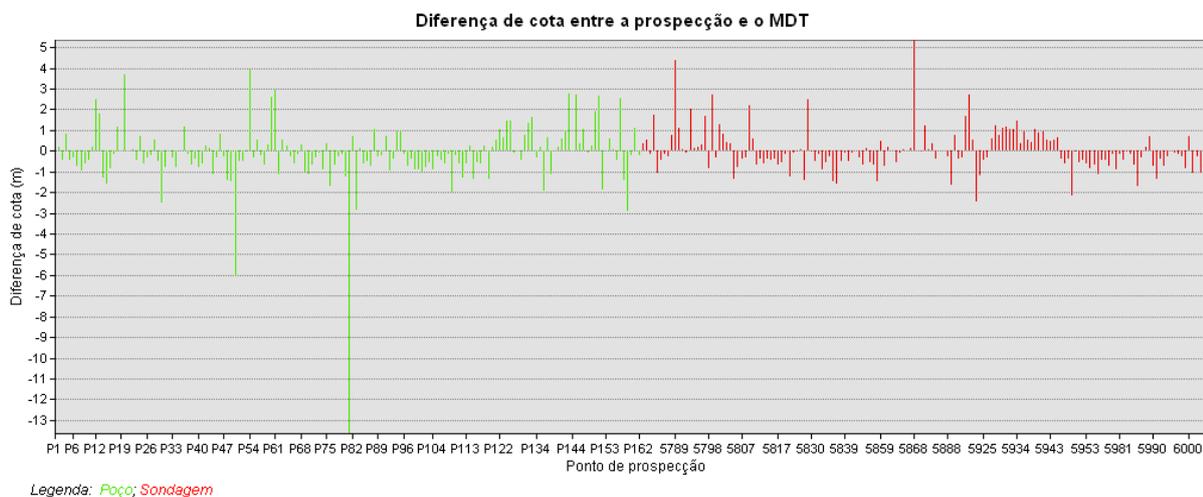


Figura 7.9 - Diferença entre a cota dos pontos de prospecção e a cota da sua projecção na superfície do modelo digital do terreno após a sua sobreelevação em 4,04 m.

Visto que a maioria das diferenças possui um valor inferior a 1 m (cerca de 85% dos casos), isto poderá dever-se à falta de resolução do MDT, que é uma aproximação suavizada ao terreno, criado a partir de uma grelha de informação com espaçamento de 10 m, o que faz com que haja

a possibilidade de existirem pontos de prospecção que não sejam totalmente coincidentes com a superfície interpolada. Nos casos em que as diferenças são maiores, poderá dever-se a uma localização errada das coordenadas da prospecção. Nestes casos, os valores foram confrontados com os documentos originais (relatórios da CONASA), de modo a verificar se estas grandes diferenças se deviam a erros de digitação dos dados. No entanto, tal não se verificou, pelo que face à impossibilidade de verificar de outro modo se a diferença se devia a uma localização incorrecta das coordenadas da prospecção, todos os dados foram considerados como correctos.

O passo seguinte consistiu em confrontar o MDT com informação topográfica do local, com o objectivo de corrigir a altimetria do modelo. Para tal elaborou-se um mapa com curvas de nível a partir do MDT, o qual se confrontou com a base topográfica da carta mineira da mina de São Domingos (Matos, 2004). O valor da elevação utilizado inicialmente (4,04 m) revelou-se ser aceitável e coincidente com a base cartográfica, e, como tal, não se efectuou nenhum reajuste no eixo vertical, como inicialmente planeado.

Como forma de ultrapassar a diferença de cotas dos pontos de prospecção e o MDT, todas as cotas da prospecção foram ajustadas, de modo a que se tornassem concordantes com a superfície do MDT, e assim permitir o seguimento deste trabalho.

7.2.1 Modelação de descontinuidades

Nos sectores leste e sul da corta, existem declives na topografia muito acentuados (figura 7.10), resultantes da presença de falhas, deslizamentos planares e fenómenos de subsidência relacionados com o abatimento de galerias mineiras abandonadas (Matos *et al.*, 2006a).

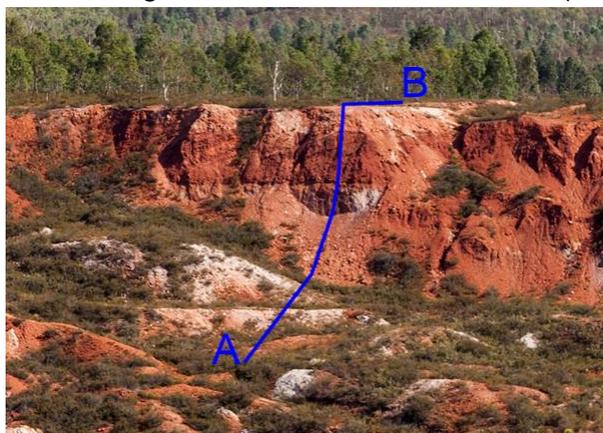


Figura 7.10 - Zona de subsidência no sector leste da corta.

Quando utilizado o conjunto de pontos para interpolar a superfície do modelo do terreno, esses declives não são correctamente representados, devido ao espaçamento da informação utilizada para construir o MDT não ser suficientemente pequeno e ideal para representar estas variações bruscas em curta distância. Isto leva a que nos locais em que tais variações se verificam seja feita uma interpolação suavizada da superfície, resultante da utilização de valores de ambos os lados do plano da descontinuidade na interpolação de valores intermédios (figura 7.11, b).

Para reduzir este efeito de suavização e melhorar o modelo nestes locais, definiram-se segmentos de recta representativos das descontinuidades, de modo a criar uma barreira à interpolação, forçando assim a criação artificial de uma transição brusca, que aproxima essas zonas do modelo à situação que se verifica na realidade (figura 7.11, c).

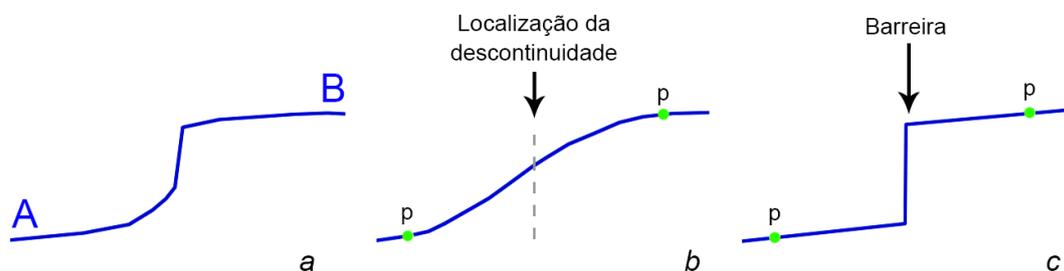


Figura 7.11 - Esquema em corte de um local afectado por fenómenos de subsidência: a) esquema do corte A-B da figura 7.10; b) superfície do MDT: devido à falta de informação entre os pontos (p), é criada uma superfície suavizada do declive entre os mesmos; c) MDT interpolado com uso de barreiras à interpolação: nesse caso a transição da topografia no local da barreira dá-se de forma brusca, mais próxima daquela representada em a. Legenda: p - pontos utilizados para a interpolação da superfície.

Após todas as correcções e modificações referidas, procedeu-se à construção do MDT final, realizando-se a interpolação da informação para uma grelha com 5 m, recorrendo a uma função *spline*, que, das várias possibilidades disponíveis no ArcMap, revelou ser o interpolador que melhores resultados produzia.

A qualidade do modelo foi posteriormente avaliada por análise visual e pela comparação com a informação topográfica do local (base topográfica da Carta Mineira de São Domingos (Matos, 2004) e Carta Topográfica n.º 559).

Na figura que se segue encontra-se um mapa com o modelo digital do terreno obtido e utilizado para a definição da superfície das escombrelas e corpos de aterro. No anexo 5 pode encontrar-se um mapa com a superfície do MDT com a projecção dos limites dos corpos de escombrela e de aterro.

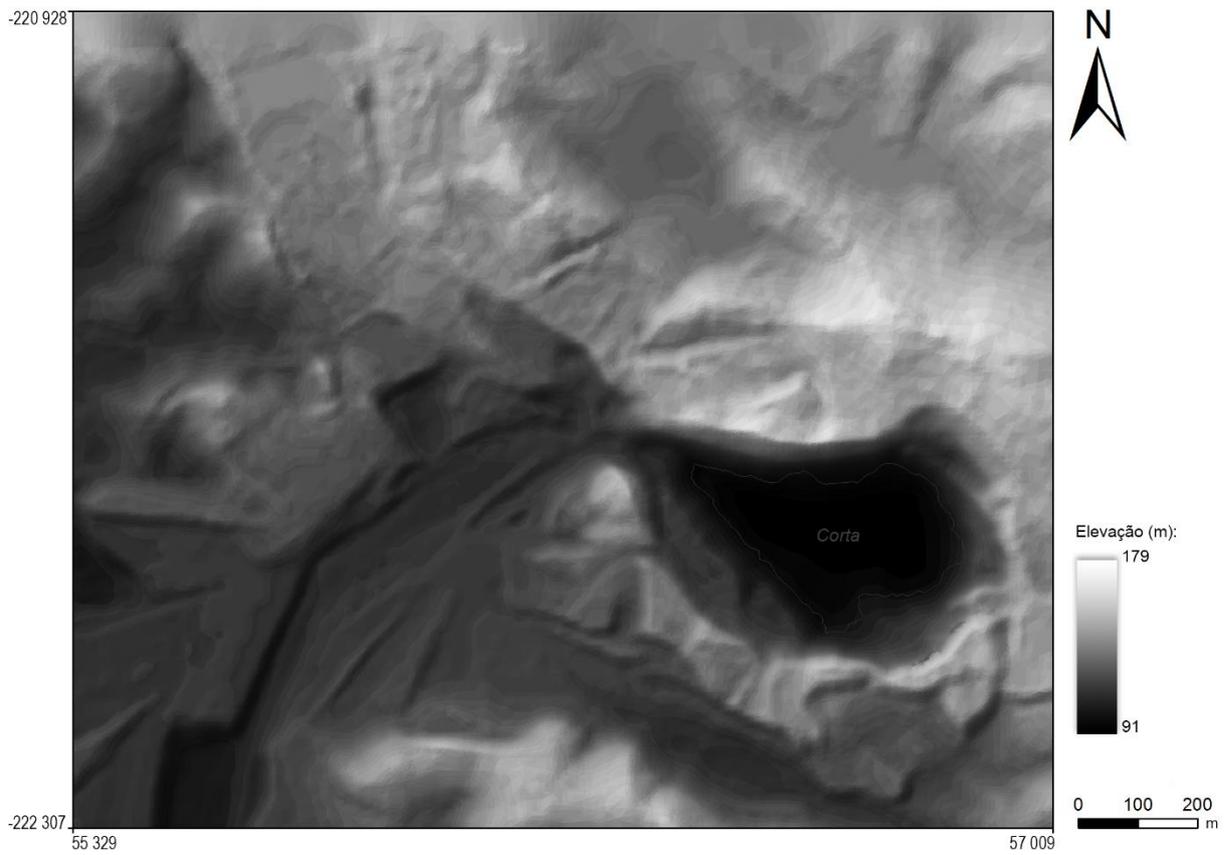


Figura 7.12 – Mapa com a visualização do modelo digital do terreno da área em estudo. Coordenadas em metros, no sistema Hayford-Gauss, Datum 73.

7.3 Topografia original (paleorelevo): modelo digital do terreno da base das escombrelras

Uma das principais dificuldades encontradas na modelação tridimensional das escombrelras e aterros de São Domingos foi a definição de uma superfície delimitadora da base dos materiais, ou seja, anterior à escavação da corta, durante o séc. XIX. A informação sobre a topografia do terreno antes da deposição dos materiais em escombrelra e aterro é escassa e a pouca que foi encontrada não tinha grande utilidade prática, devido à baixa precisão dos mapas desta época. Porém, estes dados são essenciais para que se possa definir correctamente a quantidade de recursos existentes na área mineira.

A definição da base de escombrelras é geralmente feita a partir do conhecimento das cotas do perímetros das suas bases, as quais são posteriormente utilizadas para a interpolação da superfície onde assentam os materiais, pressupondo-se assim que essa superfície é pouco acidentada, e tida como razoável para fins de estimação de volumes.

No caso de algumas das escombrelras depositadas em São Domingos, a forma como os materiais foram depositados ao longo da exploração, fez com que hoje em dia existam corpos de materiais diferentes contíguos, e por vezes sobrepostos, formando um único e extenso volume assente sobre uma topografia irregular, o que inviabiliza a construção da superfície de um modo anteriormente mencionado. Além disso, foram definidas áreas de aterro para fazer cálculo de recursos, as quais na realidade se tratam de uma porção de um único volume contínuo, tornando-se assim impossível definir a sua base sem que haja qualquer outro tipo de informação.

Perante as condicionantes em cima indicadas, a melhor forma para se obter informação que permita definir um modelo da superfície sobre a qual assentam os vários materiais, foi através da interpretação da informação obtida pela prospecção que foi realizada nos materiais, nomeadamente as cotas da base dos poços e sondagens realizados pela CONASA. Os poços tiveram como um dos objectivos a medição da espessura das escombrelra e aterros, pois o tipo de sondagem utilizado, roto-percussão com circulação inversa, não permite fazer esta medição com grande certeza, dado que a identificação de limites de transição entre materiais diferentes é feita pela observação dos fragmentos saídos do furo (*cuttings*), sendo por isso difícil fazer uma distinção entre as partículas de materiais de escombrelra com as de substrato rochoso.

A construção inicial de um modelo digital experimental da base dos materiais com a informação de ambos os tipos de prospecção resultou numa superfície muito irregular (figura 7.15, a), pouco provável de corresponder à morfologia real da superfície, pelo que se concluiu que esta informação não era possível de utilizar sem que se procedesse primeiro a uma análise detalhada.

Na área em estudo, a grande maioria dos materiais depositados em escombreira e aterro assentam sobre rochas do grupo Filito-Quartzítico (FQ) e do Complexo Vulcano-Sedimentar (CVS); apenas uma pequena porção se encontra sobre formações com mineralização (vulcanitos ácidos com *stockwork* do CVS, localizados no sector norte da corta). Logo, será de esperar que nos eventuais casos em que os materiais das formações não mineralizadas tenham sido interceptados e amostrados pelas sondagens, existam intervalos com teores de ouro e prata mais baixos e próximos aos limites de detecção (0,10 g/t Au; 1,0 g/t Ag).

Face ao que foi mencionado, especula-se que tenha existido dificuldade em fazer a distinção entre o que é escombreira e o que é rocha, isto devido à existência de trechos de sondagem com teores de ouro e prata ininterruptamente baixos, tratando-se provavelmente de fragmentos de rochas do FQ ou do CVS, e não de escombreira. Será portanto de esperar que em algumas situações a profundidade das sondagens não corresponda à espessura real da escombreira, havendo o risco de se obter uma superfície subelevada, e, conseqüentemente, um sobredimensionamento do volume dos corpos, caso se utilize a cota da base das escombreiras na construção do MDT inferior.

Como forma de minimizar este problema, antes de se proceder à criação do modelo da base, todos os pontos de prospecção foram analisados individualmente, comparando-se a cota da base das sondagens com a dos poços mais próximos (espessura real), assim como também fazendo a análise dos teores de ouro e prata ao longo dos furos de sondagem, de forma a identificar intervalos finais com teores muito baixos ($Au \leq 0,10$ g/t; $Ag \leq 1,0$), e portanto, já possivelmente condicionados por rochas do substrato. Durante esta análise também foi tido em consideração que a profundidade máxima alcançada pelos poços foi de 12,5 m, imposta por limitações do equipamento de escavação utilizado. Como tal, poços com profundidade igual a este valor poderão nem sempre corresponder à espessura real da escombreira. Nas situações em que esta dúvida persistia, procedeu-se à comparação com as cotas da base de poços e sondagens realizados na periferia, e caso se suspeitasse que nesse local a espessura de material fosse superior a 12,5 m, esse ponto seria ignorado durante a interpolação.

Na imagem da figura 7.13 encontra-se esquematizado um exemplo ilustrando todas as situações anteriormente descritas.

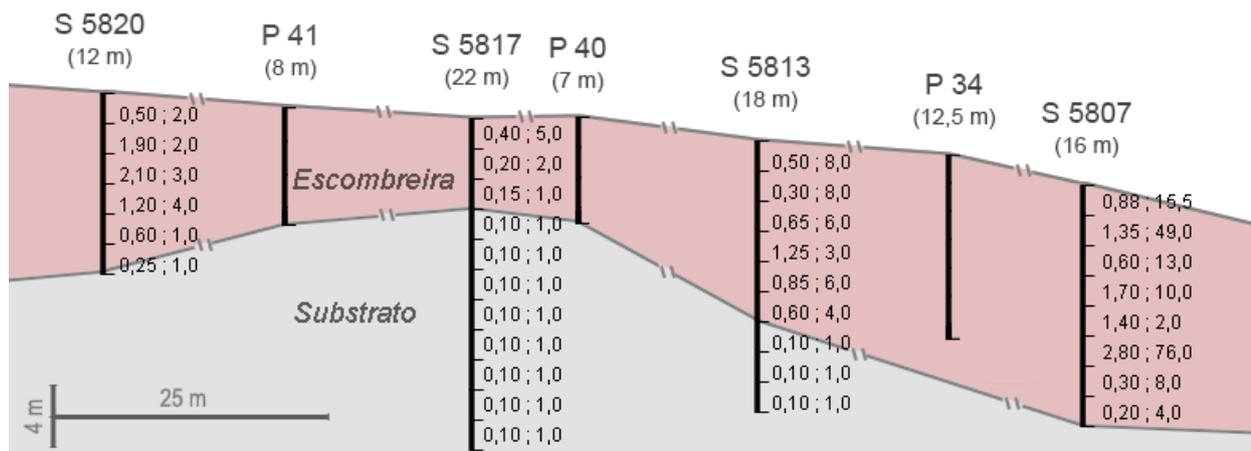


Figura 7.13 - Esquema de um perfil demonstrando a interpretação da informação das sondagens e poços realizada antes da interpolação do MDT da base das escombreliras. Legenda: teores de Au (g/t) à esquerda; teores de Ag (g/t) à direita.

No caso dos poços P40 e P41, representados na figura 7.13, os valores das suas profundidades foram considerados como sendo representativos da situação real, ou seja, nesse local a espessura da escombrelira é igual à profundidade atingida pelo poço. O mesmo aconteceu no caso das sondagens S5820 e S5807, pois todos os intervalos possuem teores que estão acima dos limites definidos para a remoção (0,10 g/t Au e 1,0 g/t Ag). Refira-se que nestes dois casos existe a possibilidade dos teores dos últimos intervalos se deverem a uma mistura de escombrelira com rocha do substrato, especialmente na sondagem S5820, na qual o último intervalo têm um teor de prata igual a 1,0 g/t e um teor de ouro próximo de 0,10 g/t. Por isso a incerteza da espessura obtida neste tipo de prospecção é maior que a informação obtida com os poços.

Olhando para os teores das amostras da sondagem S5813, verifica-se que os três últimos intervalos possuem 0,10 g/t Au e 1,0 g/t Ag. Nesta situação esses três últimos intervalos foram ignorados, somando-se o valor do seu comprimento à cota da base da sondagem, resultando numa espessura local de 12 m. O mesmo acontece no caso da sondagem S5817, em que o comprimento do trecho com teores baixos é ainda mais significativo. No entanto o início desse trecho parece ser concordante com a cota da base do poço mais próximo (P40), pelo que todos os intervalos com teores baixos não foram considerados como escombrelira.

O poço P34 atingiu o valor de profundidade máxima permitida pelo equipamento, pelo que neste caso existe a possibilidade de haver uma espessura de escombrelira superior a 12,5 m.

Analisando a cota da base redefinida nas sondagens S5813 e S5807, verifica-se que existe a possibilidade de nesse caso a espessura local ser superior à profundidade atingida pelo poço. Como tal admitiu-se a possibilidade de nesse ponto a espessura de escombreira ser superior a 12,5 m, sendo esse ponto ignorado na interpolação da superfície.

7.3.1 Modelação de descontinuidades

Na interpolação da superfície do topo das escombreyras foram utilizadas barreiras à interpolação, devido ao facto do espaçamento da informação não ser suficientemente pequeno para detalhar as variações bruscas que se observam em alguns locais. No caso da superfície inferior, o espaçamento da informação é ainda maior, sendo por isso igualmente necessário utilizar o mesmo processo de limitação da interpolação, de modo a que nesses locais não sejam criados declives demasiado suavizados (figura 7.14, b). Por isso foram utilizadas as mesmas barreiras definidas para o MDT superior, pois é de esperar que as descontinuidades identificadas à superfície continuem em profundidade e afectem de igual modo a geometria da base dos corpos de escombreira.

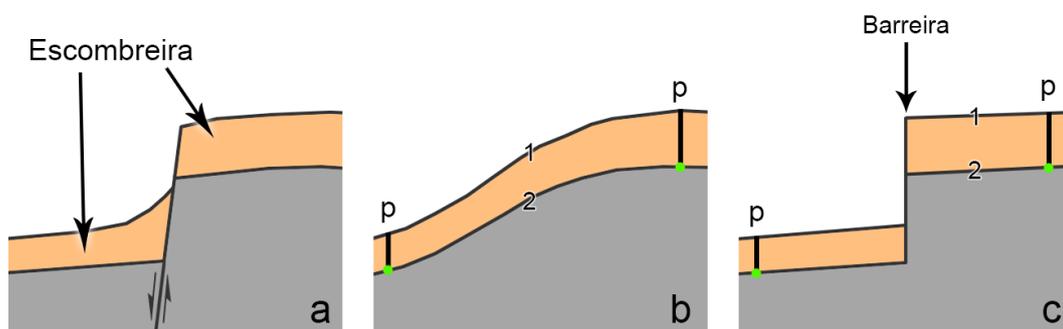


Figura 7.14 – Esquema em corte da problemática da representação de zonas de subsidência no MDT inferior. a) Esquema da aparente situação da zona de subsidência da figura 7.10. b) Esquema da interpolação das superfícies de topo e base sem utilização de barreiras; c) Esquema da interpolação das superfícies de topo e base com a utilização de barreiras. Legenda: 1 – MDT superior; 2 – MDT inferior; p – prospecção; ● – cota da base da prospecção.

Após a modificação dos dados da prospecção e da definição das barreiras, procedeu-se à interpolação da superfície para uma grelha de células quadradas de 5 m, sendo que apenas se fez a interpolação na área definida por um polígono correspondente à área das escombreyras e zonas de aterro onde foi efectuada prospecção.

Na figura que se segue, encontra-se um exemplo de uma secção do MDT inferior antes e depois das alterações das cotas da prospecção e da colocação de barreiras à interpolação.

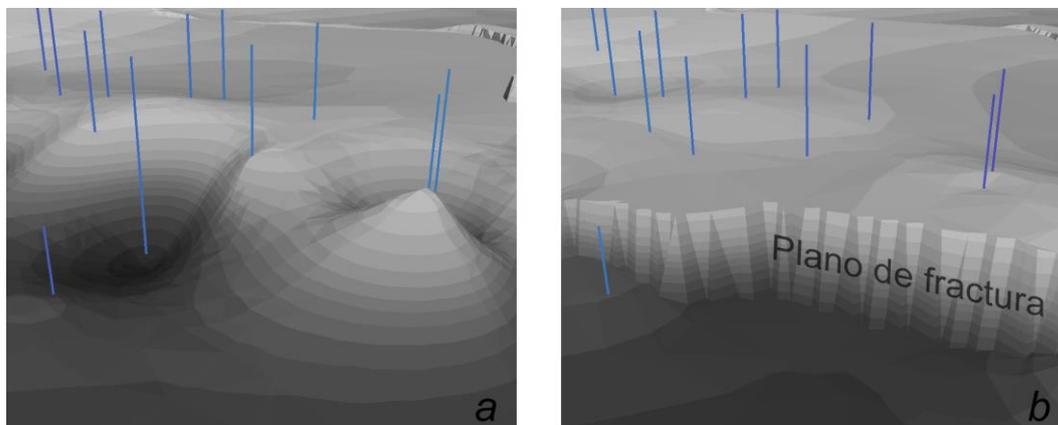


Figura 7.15 - Exemplo de uma secção do MDT inferior. a) Superfície interpolada a partir das cotas da base da prospecção inalteradas; b) Superfície interpolada após a alteração das cotas da base da prospecção e da definição de barreiras de interpolação. Legenda: traços azuis - prospecção (poços e sondagens).

Como se pode observar pela comparação das duas imagens da figura anterior, a descontinuidade observada no terreno (figura 7.10) ficou representada no modelo, aproximando-o substancialmente à morfologia verificada na realidade. Nas mesmas figura também se observa que após a remoção dos intervalos de sondagem com teores muito baixos (figura 7.13), a superfície do modelo ficou mais uniforme, e provavelmente mais próxima da situação real, reforçando que os intervalos removidos correspondiam de facto a material do substrato rochoso, e não a material de escombreira.

7.3.2 Avaliação da qualidade do modelo

Como já tinha sido referido, a única informação disponível sobre a superfície original do terreno corresponde a uma planta dos limites da área da concessão da mina, datada de 1857, anterior ao início da exploração moderna da mina, no qual estão também representados os principais relevos e linhas de água (Ribeiro, 1857 *in* Custódio, 1999 e Matos *et al.*, 2011).

A maioria dos relevos identificados no mapa ainda se mantêm na actualidade, mas a rede de drenagem original já não existe, devido à deposição de materiais em escombreira e de materiais em aterro. Por outro lado, a colina principal de São Domingos, correspondente aos afloramentos

do chapéu-de-ferro, foi destruída no século XIX, aquando da abertura da corta (Matos *et al.*, 2006a).

As linhas de drenagem correspondem geralmente a zonas mais baixas na morfologia de um terreno, sendo expectável que seja nesses locais que ocorram as maiores espessuras de material e, como tal, seja por isso possível distinguir a localização da antiga rede de drenagem na superfície modelada. Como forma de avaliar a qualidade do modelo com base nesta premissa, procedeu-se à modelação da rede de drenagem a partir do MDT da base, com o intuito de posteriormente compara-la com as linhas de água registadas no século XIX, pois é expectável que uma boa aproximação do modelo à realidade produza uma rede de drenagem próxima àquela verificada na antiguidade.

A modelação das linhas de água foi feita com recurso das capacidades de modelação hidrológica do *software* ArcMap, e cujo resultado se apresenta no mapa da figura 7.16.

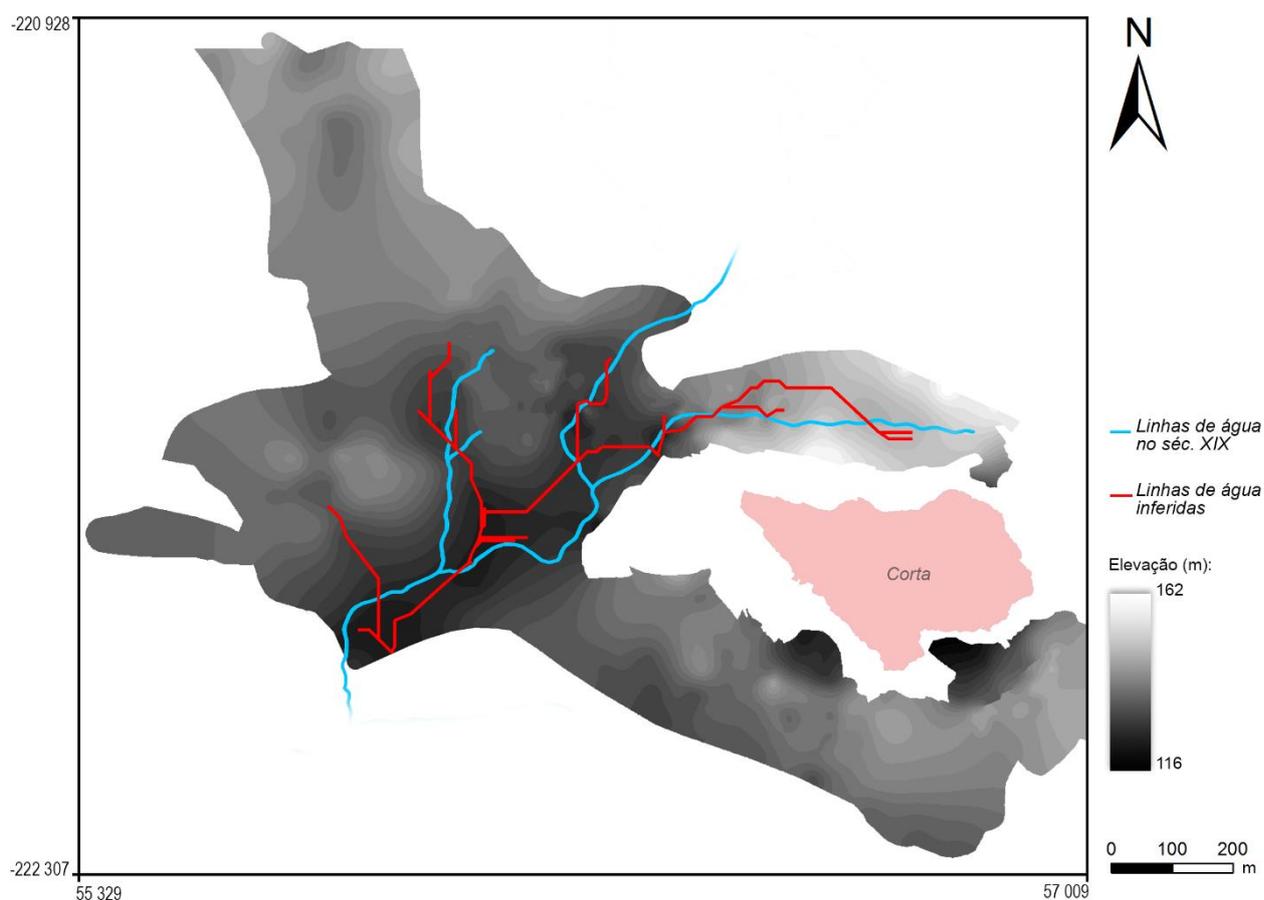


Figura 7.16 - Modelo digital do terreno da base das escombreiras e zonas de aterro, com a projecção das linhas de água no tempo anterior à deposição de materiais (Ribeiro, 1857, *in* Custódio, 1999) e das linhas de água inferidas a partir do modelo. Coordenadas em metros, no sistema Hayford-Gauss, Datum 73.

Apesar da localização das duas redes de drenagem não ser totalmente coincidente, é possível identificar uma correlação entre as linhas de água cartografadas antes da deposição dos materiais com as linhas de água inferidas a partir do modelo digital do terreno (actualidade). Assim, poderá interpretar-se essa relação como um indicador positivo da qualidade do modelo obtido.

Refira-se que esta superfície foi interpolada por um número reduzido de pontos (316 pontos para uma área de 772 568 m²). Além disso, a falta de referências topográficas no mapa do século XIX fez com que a sua georreferenciação fosse um processo pouco rigoroso, pelo que poderão haver alguns erros de referenciação das linhas de água no seu traçado antigo.

7.4 Modelos tridimensionais dos corpos de escombreira e de aterro

O tipo de modelo escolhido para representar o volume dos corpos de escombreira e de aterro foi o modelo de blocos. Esta metodologia baseia-se na representação tridimensional do volume que define um corpo, discriminado numa matriz de blocos, nos quais é feita a extensão das amostras por um processo interpolativo, resultando na estimação de um teor de substância em cada bloco e, por conseguinte, no modelo total.

Para a construção deste tipo de modelo é necessário definir um referencial de blocos, a partir do qual será feito o modelo final, assim como estabelecer a dimensão que cada bloco deverá ter nas três direcções espaciais.

Como se referiu no capítulo 3, a dimensão dos blocos deverá ter, idealmente, uma relação com o equipamento mineiro, normalmente denominada de selectividade mineira (Glacken & Snowden, 2001; Sinclair & Blackwell, 2004), conceito que corresponde à menor parcela de material na qual serão tomadas as decisões mineiras (unidade mineira selectiva). A dimensão dos blocos deverá ter ainda em consideração a relação espacial entre os pontos de amostragem. Blocos demasiado pequenos em relação ao espaçamento médio entre as amostras irão resultar numa suavização da informação amostral, com conseqüente diminuição da precisão dos resultados (Stephenson & Vann, 2001).

No caso da situação em estudo, pode-se afirmar que o conceito de unidade selectiva mineira não terá grande aplicabilidade, pois os corpos a modelar são constituídos de um material parcialmente processado, sem necessidade de desmonte, apenas necessitando de remoção e transporte. A actividade extractiva será eventualmente feita com pás-carregadoras, com capacidades entre os 4 e 5 m³, o que induz num modelo de blocos de dimensão algo reduzida se tido em consideração que a rede de pontos de avaliação de escombreiras desenvolvida pela CONASA tem um espaçamento muito variável e, em alguns casos, pouco detalhado. Pelas condicionantes associadas aos objectivos deste estudo, foi escolhida uma dimensão de blocos adequada à malha de prospecção. O critério escolhido foi 1/4 do espaçamento médio entre os pontos de prospecção, em que o aumento da dimensão dos blocos será directamente proporcional ao espaçamento médio entre os pontos de amostragem.

Devido à distribuição irregular da prospecção, a determinação do espaçamento médio entre pontos de prospecção foi feito de uma forma algo *grosseira*, utilizando-se uma expressão sugerida por Isaaks & Srivastava (1989), indicada para determinar o espaçamento médio neste tipo de situações:

$$\text{Espaçamento médio entre a prospecção} = \sqrt{\frac{\text{Área coberta pela prospecção}}{\text{Número de pontos de prospecção}}} \quad (\text{Eq 7.2})$$

Na fórmula anterior, a área coberta pela prospecção deveria corresponder à área do polígono formado pela mesma. No entanto, devido ao facto de se querer fazer a estimação na totalidade da área ocupada pela escombreira (extrapolação e interpolação), o valor utilizado não foi o da área coberta pela prospecção, mas sim o da área total ocupada pelo material, resultando em blocos com dimensões um pouco superiores àquelas que se obteria caso se utilizasse apenas a área da prospecção.

Definidas as dimensões dos blocos em cada modelos, procedeu-se à definição dos respectivos referenciais. Para isso foi necessário determinar a extensão que estes necessitam de ter em cada uma das três direcções espaciais, ou seja, definir os valores mínimos e máximos das coordenadas (x, y, z). Esses valores foram determinados pela análise dos polígonos e das áreas das secções dos MDT correspondentes à área dos corpos (figura 7.17).

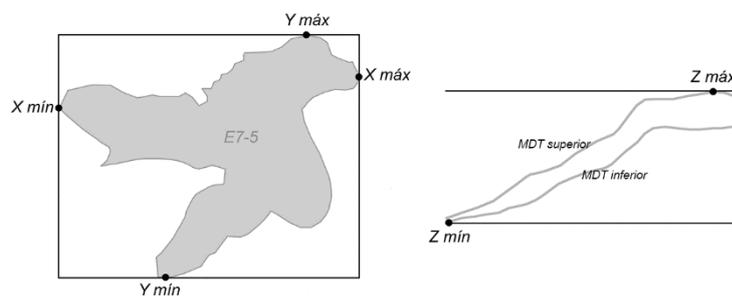


Figura 7.17 - Esquema da obtenção das coordenadas para a definição do referencial do modelo de blocos do corpo E7-5: a) vista em planta do polígono; 2) Esquema em corte dos MDT inferior e superior.

Após a definição da extensão dos referenciais de cada um dos modelos e calculadas as dimensões dos respectivos blocos, foram criados os modelos no *software* Surpac. A delimitação de cada um dos referenciais foi feita através da intersecção com as superfícies dos modelos digitais do terreno e polígonos delimitadores.

A título exemplificativo, nas imagens das figuras que se seguem, apresentam-se duas secções dos modelos digitais do terreno definidos em 7.2 e 7.3, utilizados para delimitar o topo e a base do modelo do corpo E7-5, assim como a projecção do respectivo polígono utilizado para fazer a delimitação lateral.

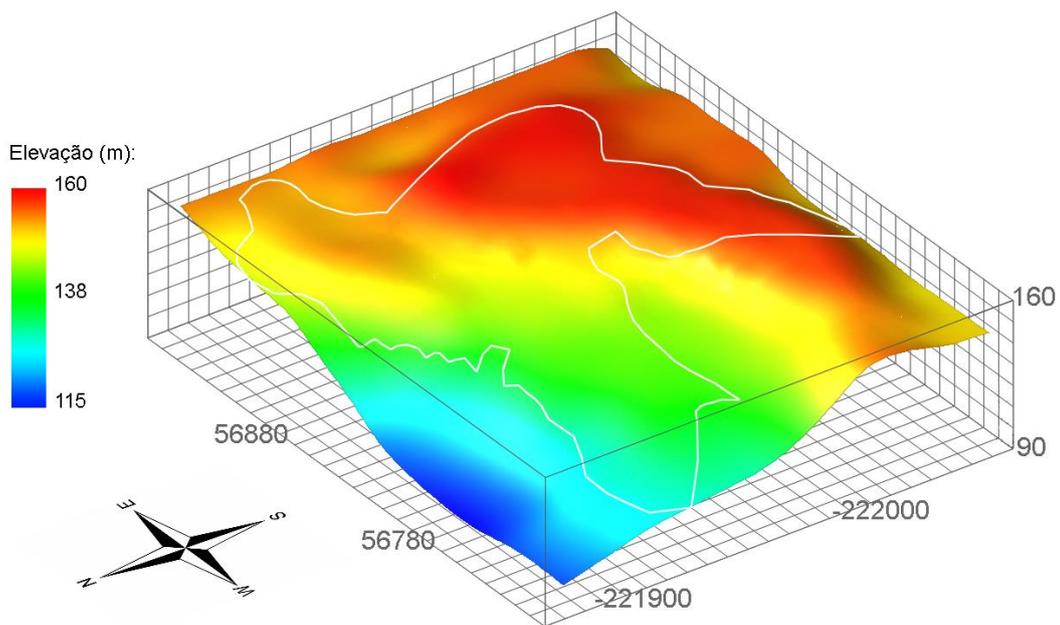


Figura 7.18 – Exemplo de uma secção do modelo digital do topo das escombreyras. A linha branca projectada sobre a superfície corresponde ao polígono delimitador do corpo de escombreyra E7-5. Coordenadas em metros, no sistema Hayford-Gauss, Datum 73.

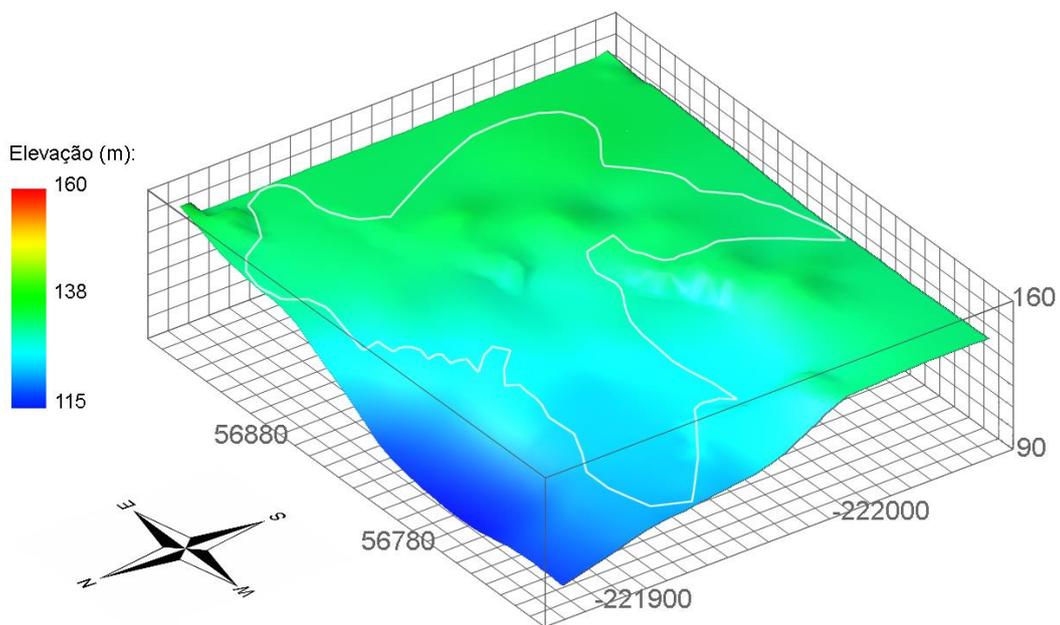


Figura 7.19 – Exemplo de uma secção do modelo digital da base das escombreyras. A linha branca projectada na superfície corresponde ao polígono delimitador do corpo de escombreyra E7-5. Coordenadas em metros, no sistema Hayford-Gauss, Datum 73.

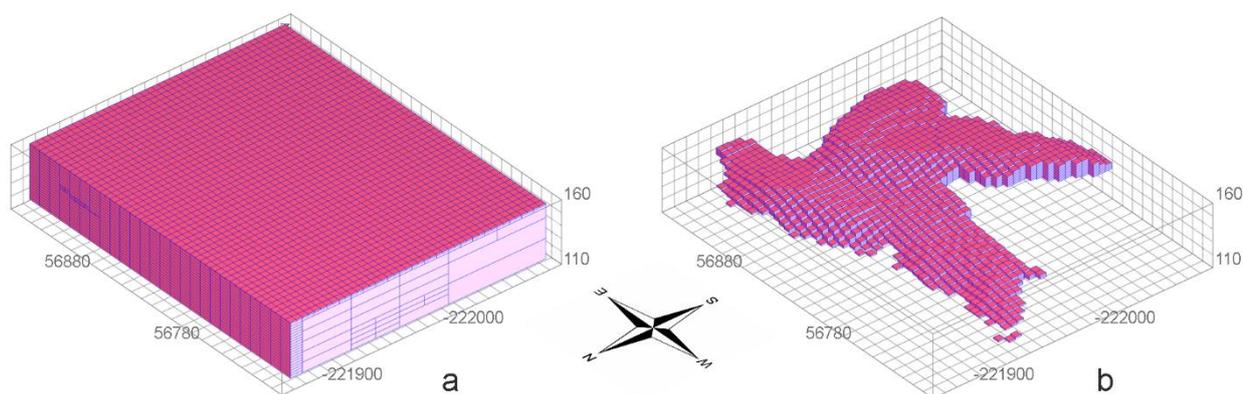


Figura 7.20 – Exemplo da definição dos modelos de blocos (escombreira E7-5): a) Modelo de blocos referencial; b) Modelo de blocos final, após a delimitação com as superfícies superior e inferior, e pelo respectivo polígono delimitador. Coordenadas em metros, no sistema Hayford-Gauss, Datum 73.

Na tabela seguinte encontra-se um resumo dos parâmetros definidos para cada um dos modelos, assim como os respectivos volumes. No caso dos modelos das escombreyras E7-6 e E9-3, os volumes apresentados são apenas relativos a uma porção do volume total desses corpos, pois não se dispunha de informação suficiente que permitisse modelar a totalidade da superfície da base (MDT inferior) na área que estes materiais ocupam.

Tabela 7.2 – Principais parâmetros de cada modelo de blocos dos corpos de escombreira e aterro.

Modelo	Coordenadas da origem (m)			Dimensões do bloco (m)			Nº de blocos*	Volume do modelo (m³)*
	x	y	z	x	Y	z		
E4-5	56 081,68	-221 877,41	135,46	7	7	1,5	1 813	133 256
E4-6	56 134,49	-221 575,30	125,99	5	5	1,0	1 174	29 350
E4-8	56 503,05	-222 196,64	130,60	6	6	1,0	3 648	131 328
E4-9	56 699,67	-222 090,43	126,84	4	4	1,0	3 630	57 440
E5-1	56 093,55	-221 627,51	125,55	5	5	1,0	1 497	37 425
E5-2	55 804,90	-221 686,71	127,81	10	10	2,0	401	80 200
E5-3	56 143,42	-221 763,12	123,68	6	6	1,0	464	16 704
E7-1	56 227,23	-221 644,41	124,53	5	5	2,0	277	13 850
E7-2	56 579,31	-222 086,87	139,82	10	10	1,0	551	55 100
E7-3	56 011,32	-221 581,13	125,31	4	4	1,0	3 037	48 592
E7-4	56 395,95	-222 141,74	123,61	6	6	1,0	4 319	155 484
E7-5	56 684,19	-222 090,43	116,23	5	5	1,0	6 840	171 000
E7-6	56 374,14	-221 663,95	144,93	9	9	1,0	2 099	170 019
E7-7	56 292,15	-221 999,17	135,33	8	8	1,0	974	62 336

Tabela 7.2 – Principais parâmetros de cada modelo de blocos dos corpos de escombreira e aterro (continuação).

Modelo	Coordenadas da origem (m)			Dimensões do bloco (m)			Nº de blocos*	Volume do modelo (m ³)*
	x	y	z	x	Y	z		
E8-2	55 609,09	-221 870,79	128,50	10	10	1,0	1 214	121 400
E9-3	55 370,43	-221 810,64	134,88	14	14	1,0	482	94 472
E9-5	56 064,88	-221 984,12	130,16	14	14	3,0	238	139 944
EA-1	55 767,00	-221 976,00	123,06	8	8	1,0	1 272	81 408
EA-2	55 656,50	-221 767,30	132,11	11	11	1,0	948	114 708
EA-3	55 969,60	-221 713,40	124,55	10	10	1,0	612	61 200
EA-4	56 241,00	-221 635,30	127,67	5	5	1,0	7 372	184 300
EA-5	55 914,90	-221 557,47	128,22	6	6	1,0	9 420	339 120
EA-6	55 639,10	-221 214,30	136,86	13	13	1,0	1 877	317 213

* Valores finais, após a delimitação dos modelos

A espessura dos modelos dos corpos varia entre 1 m (valor de altura mínimo dos blocos) e os 16 m, com uma espessura média de cerca de 7 m. Um mapa com as espessuras das escombreiras e aterros pode ser encontrado no anexo 7.

Na primeira imagem da figura que se segue apresenta-se uma visualização dos modelos de blocos de todos os corpos de escombreira e de aterro. Na segunda imagem, encontra-se a projecção da localização de cada um dos modelos sobre a superfície do modelo digital do terreno, na qual se projectou a fotografia aérea do local.

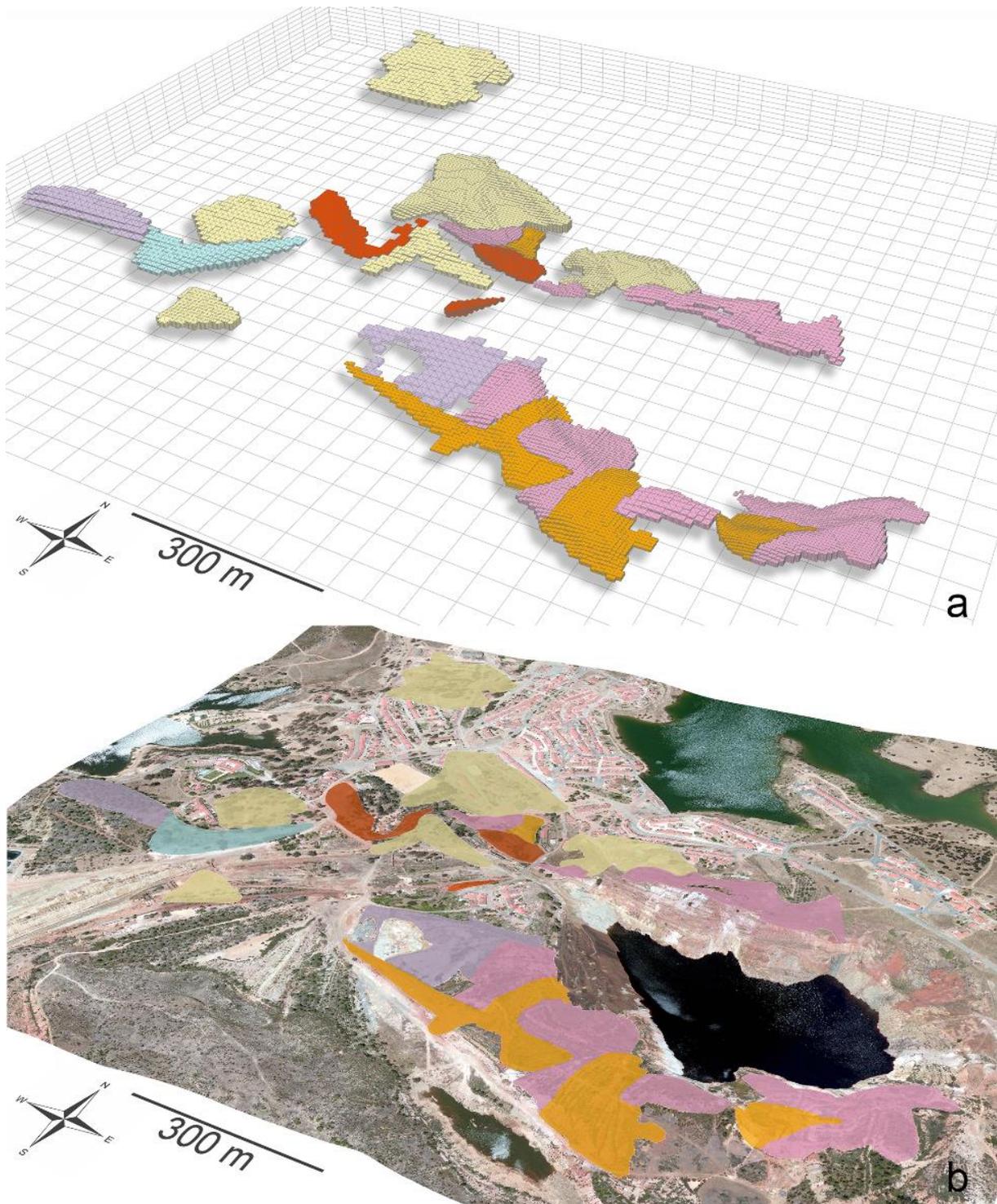


Figura 7.21 - a) Modelos de blocos dos corpos de escombreira e de aterro. b) Área dos modelos projectada sobre o MDT superior.

Legenda: ■ - Fragmentos grosseiros de *gossan* (E4); ■ - Fragmentos finos de *gossan* (E5); ■ - Vulcanitos ácidos *gossanizados* (E7); ■ - Vulcanitos ácidos e xistos argilosos (E8); ■ - Xistos acastanhados (E9); ■ - Aterros (EA).

7.4.1 Modelos tridimensionais dos corpos condicionados

Para a determinação de volumes e recursos dos corpos de escombreira e aterros afectados pelas condicionantes, utilizaram-se os mesmos modelos referenciais definidos anteriormente, mas com um novo conjunto de limites, composto pelos modelos digitais das superfícies e pelos polígonos correspondentes à área das escombreiras e aterros não afectada pelas condicionantes. Assim, obteve-se um novo modelo no qual o volume afectado pelas condicionantes não é considerado (figura 7.22).

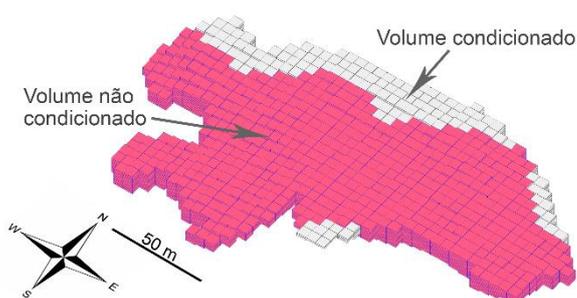


Figura 7.22 - Exemplo de um dos modelos tridimensionais afectados pelas condicionantes após a aplicação dos novos limites (corpo EA-4).

Na tabela que se segue encontram-se os volumes dos modelos condicionados, assim como a redução percentual de volume face ao volume total dos mesmos modelos.

Tabela 7.3 – Volumes dos modelos dos corpos de escombreira e aterro afectados pelas condicionantes à exploração, e a respectiva redução percentual face ao volume total dos modelos sem condicionantes.

Corpo	Nº de blocos	Volume do modelo (m ³)	Redução de volume (%)
E4-6	1 019	25 475	13,2
E5-1	1 162	29 050	22,4
E5-2	366	73 200	8,7
E7-3	2 902	46 432	4,4
E7-6	980	79 380	53,3
E8-2	1 175	117 500	3,2
E9-5	236	138 768	0,8
EA-1	1 233	78 912	3,1
EA-2	859	103 939	9,4
EA-3	391	39 100	36,1
EA-4	6 187	154 675	16,1
EA-5	2 755	99 180	70,8
EA-6	1 633	275 977	13,0

7.4.2 Nota sobre o cálculo do volume dos modelos tridimensionais

Os volumes dos corpos de escombreira e de aterro foram determinados a partir dos modelos de blocos. A dimensão dos blocos que constituem os modelos é, na maioria dos casos, demasiadamente grande para representar o detalhe dos limites definidos para cada corpo, fazendo com que o volume resultante da intersecção dos modelos digitais do terreno e polígonos seja diferente do volume do modelo de blocos demarcado por esses mesmos limites.

O processo que o Surpac 6.6 utiliza para fazer a delimitação dos modelos baseia-se na análise da localização espacial do centróide dos blocos relativamente aos limites do corpo. Em algumas situações, blocos com centróide fora dos limites têm parte do seu volume no interior. Nestes casos esses blocos são ignorados, significando uma subestimação do volume. Noutras situações poderá acontecer o inverso, em que o centróide se encontra dentro dos limites e uma parte do bloco fora, resultando numa sobrestimação do volume do modelo.

De forma a quantificar a influência que isto poderia ter nos modelos, fez-se uma determinação do volume dos corpos apenas com base nas superfícies dos modelos digitais e polígonos, com o intuito de verificar se a diferença entre os dois volumes seria significativa. Em cada um dos modelos, essas diferenças rondam valores muito próximos de 1% e, no volume total dos materiais analisados, a diferença é de apenas 0,1%, pelo que se considerou que estas diferenças de volume se poderiam considerar desprezáveis.

8 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS

8.1 Agrupamento da amostragem

Os relatórios da CONASA não contêm informação sobre as litologias e escombros intersectados pelos poços e sondagens realizadas em 1990 e 1991. Assim, de modo a poder-se utilizar a informação para a estimação de recursos nos vários corpos de escombreira e aterro, foi necessário definir a que classe de escombreira cada ponto de prospecção pertence. Para isso procedeu-se ao agrupamento dos poços e sondagens em função da sua localização espacial, fazendo-se a sobreposição da sua localização com os polígonos definidos para cada corpo de escombreira e de aterro no *software* ArcGIS, e atribuindo-se posteriormente na base de dados uma referência correspondente à escombreira/aterro a que cada ponto pertence. Como resultado obtiveram-se 23 grupos de prospecção (figuras 8.1 e 8.2), constituídos no total por 147 poços e 145 sondagens (tabela 8.1), sendo que inicialmente se dispunha de 162 poços e 160 sondagens. Os poços e sondagens não adicionados a nenhum dos grupos dos corpos de escombreira e zonas de aterro tratam-se maioritariamente de pontos bastante isolados, geralmente localizados nas zonas de aterro.

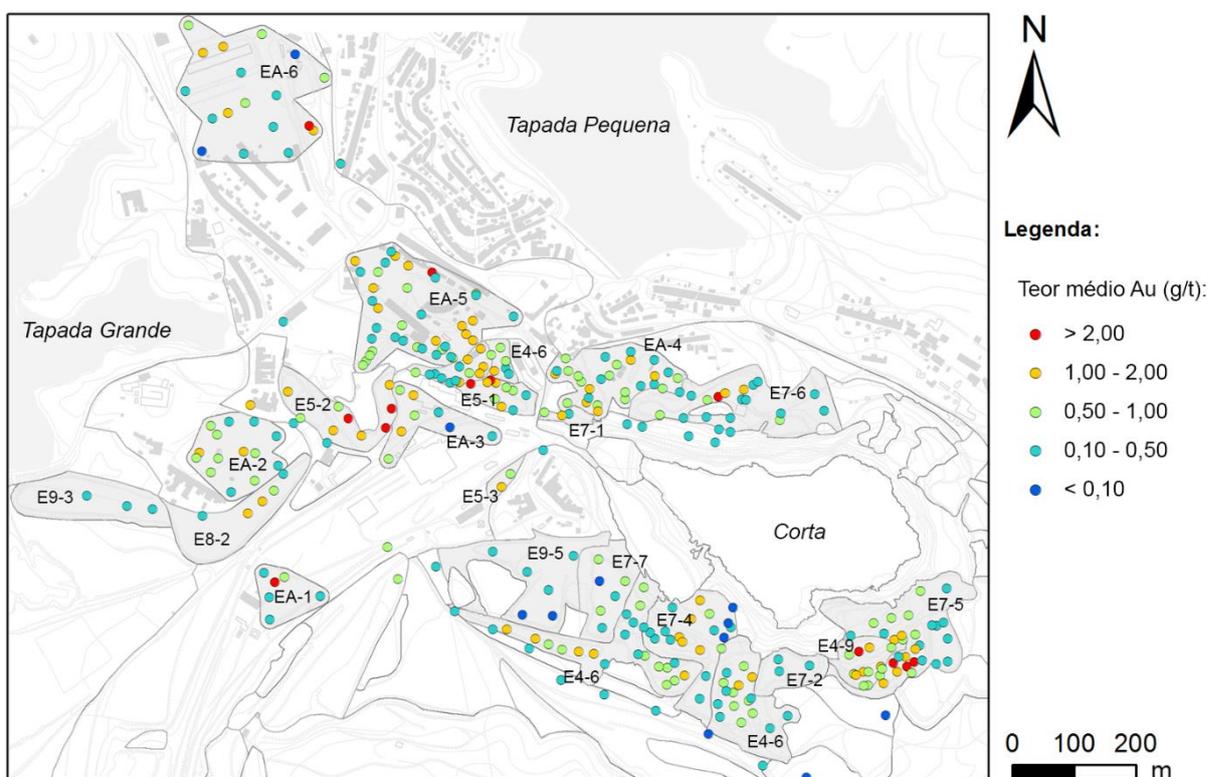


Figura 8.1 - Localização dos pontos de prospecção nos corpos de escombreira e aterro, e teores médios de ouro.

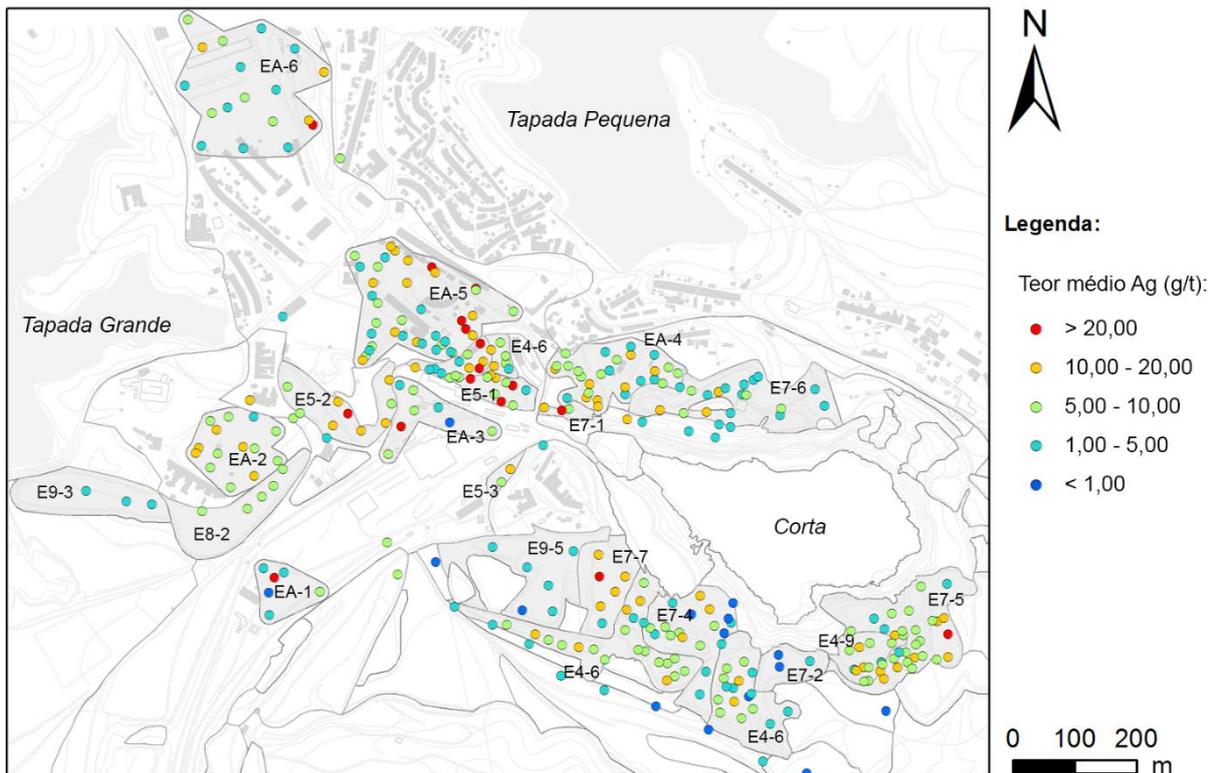


Figura 8.2 - Localização dos pontos de prospeção nos corpos de escombreira e aterro, e teores médios de prata. E4 – fragmentos grosseiros de *gossan*; E5 – fragmentos finos de *gossan*; E7 – vulcanitos ácidos *gossanizados*; E8 – vulcanitos ácidos e xistos argilosos; E9 – xistos acastanhados; EA – Aterros.

De seguida procedeu-se a uma classificação de cada uma das amostras quanto ao tipo de material (escombreira/substrato), de modo a diferenciar as amostras a serem utilizadas na estimação de recursos (escombreira) daquelas que se irão situar fora dos modelos tridimensionais (resultado da definição do limite inferior do terreno), às quais se atribuiu a classificação de “substrato”. Inicialmente dispunha-se de 1144 amostras correspondentes a 3184,5 m de perfuração. Após o agrupamento por corpo de escombreira/aterro e da exclusão das amostras não intersectadas pelos modelos tridimensionais, ficou-se com 877 amostras (tabela 8.1), correspondentes a um total de 2589 m de perfuração.

Uma vez agrupada a prospeção e classificadas as amostras, fez-se a importação da base de dados inicial (folha de cálculo) para o *software* Surpac 6.6, no qual se criou um nova base de dados, a partir da qual se procedeu a uma análise estatística básica da informação.

Tabela 8.1 – Número de poços, sondagens e total de amostras por corpo de escombreira e aterro. E4 – fragmentos grosseiros de *gossan*; E5 – fragmentos finos de *gossan*; E7 – vulcanitos ácidos *gossanizados*; E8 – vulcanitos ácidos e xistos argilosos; E9 – xistos acastanhados; EA – Aterros.

Escombreira	Poços	Sondagens	Amostras (total)
E4-5	9	13	74
E4-6	2	3	25
E4-8	10	7	48
E4-9	9	4	30
E5-1	4	6	30
E5-2	8	0	8
E5-3	1	1	9
E7-1	1	1	7
E7-2	0	3	16
E7-3	7	7	48
E7-4	13	6	44
E7-5	14	14	78
E7-6	5	12	50
E7-7	0	6	21
E8-2	2	3	18
E9-3	0	3	11
E9-5	6	0	8
EA-1	6	0	7
EA-2	11	3	41
EA-3	5	3	16
EA-4	14	14	100
EA-5	15	23	136
EA-6	5	13	52
Total	147	145	877

Importa notar que alguns dos corpos de escombreira abrangeram uma quantidade muito pequena de pontos de prospecção, como tal, a estimação nestes corpos foi executada com um número muito pequeno de amostras.

8.1.1 Nota sobre o suporte da amostragem

Para a análise estatística e estimação de recursos é pressuposto que haja uma uniformidade no suporte, ou seja, todas as amostras devem ter a mesma forma, orientação e dimensão. No caso das sondagens utilizadas neste trabalho, todos os intervalos possuem a mesma dimensão (2 m), representando o mesmo volume de material. No caso dos poços, as amostras representam intervalos irregulares que variam entre 2 m a 12,5 m de comprimento. Blackwell & Sinclair (2004) referem que neste tipo de situações os intervalos devem idealmente ser reconvertidos para o comprimento do maior intervalo verificado na prospecção. A aplicação desse critério aos poços

e sondagens, implicaria a composição das amostras para intervalos de 12,5 m. Isto na prática não seria possível, pois em certos locais a espessura de material é inferior a 12,5 m, além disso, a elevada dimensão deste comprimento iria resultar numa grande diminuição do número de amostras a utilizar na estimação. Por outro lado, caso se fizesse uma alteração dos intervalos dos poços para um valor mais pequeno, por exemplo 2 m, de modo a equivaler ao das sondagens, verificar-se-ia um aumento e repetição de informação, traduzindo-se numa diminuição artificial da variância dos teores, não melhorando a qualidade da informação. Posto este problema, e face à pequena quantidade de amostras existente na maioria dos agrupamentos, achou-se preferível manter o suporte original de todas as amostras e utilizar toda a informação para efeitos de análise e estimação.

8.1.2 Nota sobre a prospecção efectuada em rocha *in situ*

Como foi referido na descrição dos dados da prospecção (capítulo 5), o talude norte da corta também foi abrangido pela campanha de prospecção da CONASA, tendo sido efectuadas seis sondagens na zona de *stockwork*. A análise preliminar da geoquímica dessas sondagens revelou teores muito baixos de ouro e prata; apenas uma das sondagens interceptou material com teores com possível interesse, podendo-se destacar uma amostra com 0,75 g/t Au e 28,0 g/t Ag. As restantes apresentam valores muito baixos, quer em ouro (média 0,13 g/t), quer em prata (média 3,2 g/t), pelo que esta informação não será contabilizada na estimação de recursos, focalizando-se a atenção unicamente sobre os resíduos de exploração mineira.

8.1.3 Nota sobre a informação geoquímica

As amostras da campanha efectuada pela CONASA em São Domingos foram analisadas para ouro, prata, cobre, zinco e chumbo. A análise preliminar dos dados da geoquímica revelou que os teores médios em metais básicos nas amostras apresentam consistentemente valores muito baixos em todas as classes de material, com teores médios a rondar 0,02% para o cobre, 0,03% para o zinco e 0,50% para o chumbo. Estes resultados mostram uma actividade extractiva eficiente e focalizada na exploração de metais básicos (sobretudo cobre). Dada a importância dos valores em ouro e prata observados, decidiu-se focalizar a investigação exclusivamente nestes elementos, pois, do ponto de vista económico, os teores nestes metais são os que se apresentam mais interessantes e poderão justificar um eventual processamento dos resíduos depositados em São Domingos.

8.2 Análise estatística básica da amostragem

Os teores das amostras da prospecção, nomeadamente os teores em ouro e prata, foram submetidos a uma análise estatística simples, de modo a conhecer-se alguns dos seus parâmetros estatísticos básicos. Os valores apresentados nessa análise estão expressos nas unidades originais, gramas por tonelada (g/t), e com a dimensão do suporte inalterada (intervalos de 2 m no caso das sondagens e intervalos variáveis entre 2 m e 12,5 m no caso dos poços), não se tendo realizado composição em intervalos uniformizados. A análise foi efectuada separadamente com a informação agrupada nos seguintes conjuntos:

- corpo de escombreira / aterro – análise após o agrupamento dos dados originais feita com o intuito de se conhecerem os parâmetros estatísticos básicos do ouro e da prata em cada um dos corpos de escombreira e aterro;
- classe granulométrica - análise das amostras de cada uma das fracções granulométricas recolhidas nos poços, feita com objectivo de conhecer a distribuição do ouro e da prata nas várias classes de material em função da dimensão das partículas.

8.2.1 Corpos de escombreira e aterro

8.2.1.1 Ouro

Na tabela 8.2, encontra-se o resumo de alguns dos parâmetros estatísticos básicos determinados para os teores de ouro em cada um dos conjuntos de amostras dos corpos de escombreira e aterro.

Tabela 8.2 – Parâmetros estatísticos básicos dos conjuntos de teores de ouro dos corpos de escombreira (valores em g/t). E4 – fragmentos grosseiros de *gossan*; E5 – fragmentos finos de *gossan*; E7 – vulcanitos ácidos *gossanizados*; E8 – vulcanitos ácidos e xistos argilosos; E9 – xistos acastanhados; EA – Aterros.

Corpo	Nº amostras	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	D. padrão	Variância	Coef. V.
E4-5	74	0,10	5,25	0,83	0,45	0,81	0,65	0,97
E4-6	25	0,10	2,80	0,80	0,60	0,67	0,43	0,83
E4-8	48	0,10	3,19	0,52	0,38	0,51	0,26	0,98
E4-9	30	0,20	3,25	1,17	1,04	0,69	0,48	0,59

Tabela 8.2 – Parâmetros estatísticos básicos dos conjuntos de teores de ouro dos corpos de escombreira (continuação).

Corpo	Nº amostras	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	D. padrão	Variância	Coef. V.
E5-1	30	0,10	5,00	1,45	0,98	1,40	1,97	0,97
E5-2	8	0,76	2,42	1,64	1,70	0,52	0,27	0,32
E5-3	9	0,55	3,40	1,25	0,90	0,83	0,69	0,66
E7-1	7	0,25	2,50	1,23	1,20	0,69	0,48	0,56
E7-2	16	0,10	0,40	0,16	0,10	0,08	0,01	0,50
E7-3	48	0,10	4,55	0,85	0,60	0,85	0,72	0,99
E7-4	44	0,10	2,60	0,55	0,35	0,57	0,33	1,04
E7-5	78	0,10	6,45	0,84	0,50	0,93	0,87	1,11
E7-6	50	0,01	2,53	0,43	0,25	0,50	0,25	1,17
E7-7	21	0,01	1,00	0,35	0,25	0,30	0,09	0,86
E8-2	18	0,10	2,75	0,78	0,50	0,70	0,49	0,90
E9-3	11	0,10	0,55	0,26	0,25	0,15	0,02	0,59
E9-5	8	0,07	0,36	0,21	0,19	0,10	0,01	0,50
EA-1	7	0,11	3,41	0,94	0,47	1,04	1,09	1,11
EA-2	41	0,05	2,10	0,66	0,50	0,50	0,25	0,75
EA-3	16	0,05	1,60	0,58	0,47	0,46	0,21	0,79
EA-4	100	0,10	2,30	0,65	0,55	0,48	0,23	0,73
EA-5	136	0,05	4,40	0,80	0,45	0,86	0,74	1,08
EA-6	52	0,01	8,00	0,72	0,37	1,21	1,46	1,67

Dos corpos de fragmentos grosseiros de *gossan* (classe E4) destaca-se o corpo E4-9, com teores médio e mediano acima 1 g/t. Os restantes corpos apresentam teores médios mais baixos, entre 0,52 e 0,83 g/t.

Os fragmentos finos de *gossan* (classe E5) apresentam os teores médios mais elevados de todas as classes, tendo todos os corpos valores superiores a 1 g/t. Também as medianas possuem valores elevados, podendo-se destacar o caso do corpo E5-2, com um valor de 1,70 g/t, no entanto, os valores estatísticos para este corpo foram calculados a partir de um pequeno conjunto de amostras.

No caso dos vulcanitos *gossanizados* (classe E7), os teores médios e medianos são muito variáveis, destacando-se o corpo E7-1, com média e mediana superiores a 1 g/t. No entanto, à semelhança do que acontece com o corpo E5-2, haverá que considerar o facto deste corpo apenas ter sido interceptado por dois pontos de prospecção, resultando em apenas sete amostras no total.

O corpo de vulcanitos ácidos e xistos argilosos (classe E8) apresenta um teor médio de 0,78 g/t e um mediano de 0,50 g/t. Valores tão elevados não seriam de esperar neste material, pois as rochas que o constituem tratam-se de rocha encaixante sem uma grande quantidade de mineralização.

As escombrelas de xistos acastanhados (classe E9) apresentam os teores mais fracos, sendo que, de todos os materiais litológicos analisados, é aquele que apresenta os teores médios e medianos mais baixos.

Os corpos de material depositado em aterro (classe EA) apresentam teores médios que variam entre 0,58 e 0,94 g/t. Os teores medianos são próximos em todos os corpos, variando entre 0,37 e 0,55 g/t.

Os histogramas obtidos para o conjunto de cada um dos corpos de escombrela (Anexo 2), indicam no geral a existência de distribuições assimétricas positivas (gráfico 8.1), embora em alguns casos esta seja dificilmente identificada, devido à pequena quantidade de amostras de alguns dos conjuntos. Esta assimetria também se reflecte nas medidas de tendência central, pois constata-se que os teores médios são sempre superiores aos medianos. As medidas de dispersão indicam que o comportamento do ouro é irregular na maioria dos corpos, verificando-se inclusive alguns valores de coeficiente de variação acima de 1, indicando que as amostras com teores máximos se tratam de valores extremos anómalos (*outliers*).

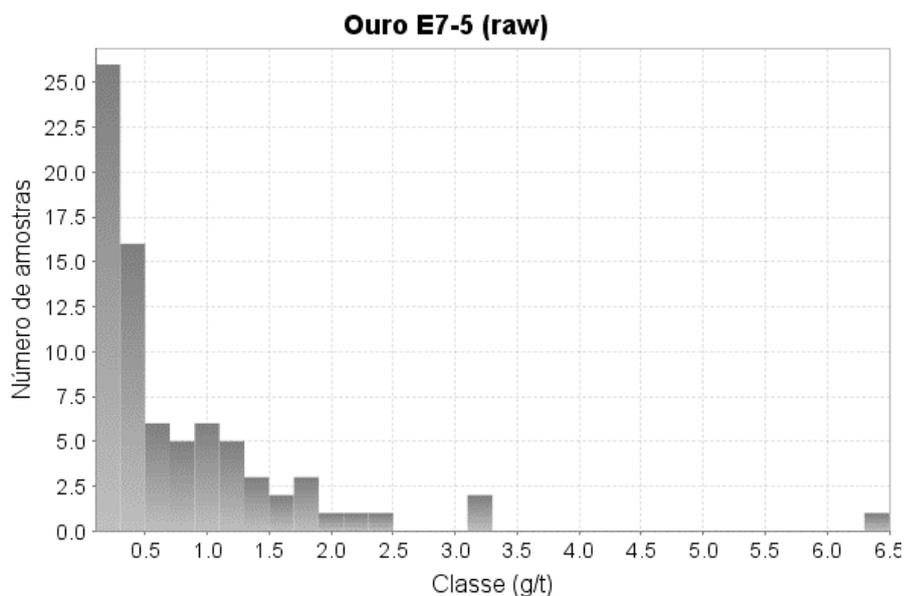


Gráfico 8.1 – Exemplo de um dos histogramas do ouro (dados originais do corpo de escombrela E7-5 - classe vulcanitos ácidos gossanizados).

Desta informação conclui-se que os teores de ouro seguem em geral uma lei lognormal, característica das substâncias pouco abundantes, como é o caso do ouro, em que os teores baixos prevalecem sobre os teores mais elevados.

8.2.1.2 Prata

Na tabela que se segue encontra-se o resumo de alguns dos parâmetros estatísticos básicos determinados para os teores de prata de cada um dos conjuntos de amostras dos corpos de escombreira e aterro.

Tabela 8.3 – Parâmetros estatísticos básicos dos conjuntos de teores de prata dos corpos de escombreira (valores em g/t). E4 – fragmentos grosseiros de *gossan*; E5 – fragmentos finos de *gossan*; E7 – vulcanitos ácidos *gossanizados*; E8 – vulcanitos ácidos e xistos argilosos; E9 – xistos acastanhados; EA – Aterros.

Corpo	Nº amostras	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	D. padrão	Variância	Coef. V.
E4-5	74	1,00	30,00	8,62	7,00	6,21	38,50	0,72
E4-6	25	1,00	35,00	8,45	6,00	7,72	59,67	0,91
E4-7	48	1,00	21,00	6,10	5,50	4,72	22,26	0,77
E4-8	30	1,00	27,50	10,58	9,50	6,64	44,12	0,63
E5-1	30	1,00	202,00	20,00	14,50	35,92	1290,00	1,79
E5-2	8	8,10	20,49	12,80	12,53	3,77	14,22	0,29
E5-3	9	4,50	18,50	10,42	11,50	4,01	16,08	0,38
E7-1	7	8,53	97,00	34,93	14,00	30,86	952,66	0,88
E7-2	16	1,00	13,00	1,81	1,00	2,90	8,40	1,60
E7-3	48	1,00	76,00	10,66	7,50	13,17	173,41	1,24
E7-4	44	2,00	22,76	7,06	6,00	4,38	19,15	0,62
E7-5	78	1,00	28,18	9,06	9,05	5,29	27,95	0,58
E7-6	50	1,00	30,00	6,60	5,00	6,05	36,54	0,92
E7-7	21	3,50	47,50	15,38	14,50	9,75	95,07	0,63
E8-2	18	1,00	21,00	7,93	7,00	5,51	30,39	0,69
E9-3	11	1,00	6,00	3,45	4,00	1,88	3,52	0,54
E9-5	8	1,00	4,70	2,73	2,63	1,06	1,13	0,39
EA-1	7	1,00	30,71	7,31	4,50	9,75	95,01	1,33
EA-2	41	1,00	20,50	9,06	8,50	5,43	29,49	0,60
EA-3	16	1,00	20,66	6,65	5,50	5,32	28,27	0,80
EA-4	100	1,00	25,00	7,19	6,00	4,79	22,93	0,67
EA-5	136	0,50	44,65	9,10	5,72	9,22	85,00	1,01
EA-6	52	1,00	36,00	6,83	4,00	8,23	67,75	1,20

De modo geral, as medidas de tendência central apresentam valores baixos em todos os corpos de escombreira e aterro, observando-se uma grande variabilidade nos teores médios e medianos nos corpos de material. Os teores médios mais elevados encontram-se nos corpos E5-1 e E7-1, embora estes apresentem medidas de dispersão também muito elevadas, indicando que os teores médios mais elevados são influenciados pelos valores extremos máximos, sendo que foi nestes dois corpos que se registaram os valores amostrais mais elevados (202,0 e 97,0 g/t).

Os histogramas obtidos para o conjunto de cada um dos conjuntos de dados (gráfico 8.2 e Anexo 2), revelam uma distribuição assimétrica positiva dos dados, embora não tão marcada como acontece no caso do ouro. O mesmo se verifica pela comparação dos teores médios com os teores medianos, em que os valores são muito próximos na maioria dos casos.

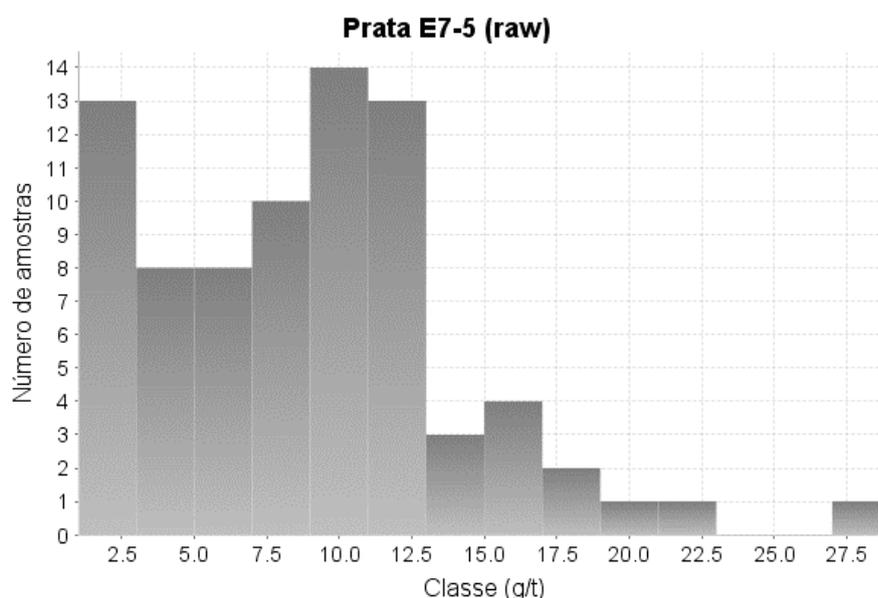


Gráfico 8.2 – Exemplo de um dos histogramas da prata (dados originais do corpo de escombreira E7-5 - classe vulcanitos ácidos *gossanizados*).

De modo geral, os teores de prata apresentam comportamento semelhante aos do ouro: coeficientes de variação elevados e teores médios ligeiramente superiores às medianas. Este é um comportamento observado em todos os corpos analisados, havendo alguma dificuldade em identifica-lo nos casos em que a quantidade de amostras é muito pequena.

À semelhança do que acontece no caso do ouro, é também na classe de fragmentos finos de *gossan* que se verifica de uma forma consistente, teores elevados em prata, em que todas as medianas têm valores acima dos 10 g/t.

8.2.1.3 Correlação linear entre os teores de ouro e prata

Com o intuito de averiguar a existência de correlação entre os teores de ouro e prata, elaboraram-se gráficos de correlação linear entre os teores dos dois metais (Anexo 2). Na tabela que se segue, apresentam-se os coeficientes de correlação entre os dois metais obtidos em cada corpo de escombreira.

Tabela 8.4 – Coeficientes de correlação linear entre teores de ouro e prata nos corpos de escombreira. E4 – fragmentos grosseiros de *gossan*; E5 – fragmentos finos de *gossan*; E7 – vulcanitos ácidos *gossanizados*; E8 – vulcanitos ácidos e xistos argilosos; E9 – xistos acastanhados; EA – Aterros.

Escombreira	Nº de amostras	Coeficiente de correlação
E4-5	74	0,73
E4-6	25	0,65
E4-8	48	0,57
E4-9	30	0,49
E5-1	30	0,47
E5-2	8	0,34
E5-3	9	0,39
E7-1	7	0,88
E7-2	16	-0,12
E7-3	48	0,48
E7-4	44	0,55
E7-5	78	0,30
E7-6	50	0,15
E7-7	21	0,20
E8-2	18	0,46
E9-3	11	0,77
E9-5	8	0,79
EA-1	7	0,98
EA-2	41	0,75
EA-3	16	0,78
EA-4	100	0,62
EA-5	136	0,63
EA-6	52	0,74

Como se pode verificar, a correlação linear entre os dois metais é muito variável entre corpos de escombreira, parecendo, de uma maneira geral, não existir relação linear evidente entre os teores de ouro e prata nas várias classes de material.

Os coeficientes mais baixos encontram-se em alguns dos corpos de vulcanitos ácidos *gossanizados* (classe E7), nos quais se verificam coeficientes de correlação baixos na maioria dos corpos, significando a existência de uma baixa dependência linear entre o ouro e a prata nesta classe de material. Num dos casos (corpo E7-2), contrariamente a todos os outros corpos, verifica-se um coeficiente de relação negativo, indicando que teores elevados de um metal estão relacionados com teores baixos do outro. No entanto, o valor é próximo de zero, pelo que essa relação se pode considerar inexistente.

Relativamente aos coeficientes elevados, destaca-se o corpo E7-1 (0,88), no entanto há que considerar que este valor foi calculado com um número muito pequeno de amostras (7). Nos xistos acastanhados (classe E9), os coeficientes de correlação são elevados e muito próximos. O material onde se verificam menores variações nos coeficientes de correlação entre os corpos é nos materiais depositados em aterro (classe EA), nos quais todos os valores são superiores a 0,60, indicando uma forte correlação. De destacar que o corpo com o coeficiente mais elevado (EA-1), muito próximo de 1 (0,98), no entanto, à semelhança do corpo E7-2, também este valor foi determinado com um conjunto muito pequeno de amostras (7).

8.2.2 Fracções granulométricas

Como referido na descrição da prospecção (capítulo 5), no caso dos poços, a análise química dos materiais foi efectuada separadamente em quatro fracções granulométricas (<5 mm, 5-9 mm, 9-40 mm e >40 mm), a partir das quais se determinaram os teores médios de cada amostra. Como tal utilizou-se esta informação para efectuar uma análise estatística das amostras correspondentes a cada fracção, com o objectivo de conhecer a distribuição de teores de ouro e prata em função da dimensão das partículas, com o fim de aferir se existe alguma fracção com maior interesse. Lembra-se que estas amostras referem-se a valores não ponderados, resultantes de amostras com suporte de dimensão variável (intervalos entre 2 a 12,5 m de comprimento).

8.2.2.1 Ouro

Os parâmetros estatísticos do ouro relativos às análises químicas efectuadas nas quatro fracções granulométricas, indicam que, no geral, existe uma relação entre os teores médios e a granulometria, em que fracções mais grosseiras contêm maiores teores médios e medianos de ouro (tabela 8.5 e gráfico 8.3), verificando-se um aumento de teores médios de ouro da granulometria mais fina para a mais grosseira.

Tabela 8.5 – Parâmetros estatísticos dos teores de ouro por fracção granulométrica. Valores em g/t.

Classe	M3 (< 5 mm)	M2 (5 - 9 mm)	M1 (9 - 40 mm)	M0 (> 40 mm)
Mínimo	0,05	0,05	0,05	0,05
Máximo	2,95	3,60	4,00	15,00
Média	0,67	0,73	0,87	1,22
Mediana	0,50	0,55	0,65	0,78
Variância (g/t) ²	0,26	0,38	0,58	2,71
Desvio padrão	0,51	0,62	0,76	1,65
Coef. Variação	0,76	0,85	0,87	1,35

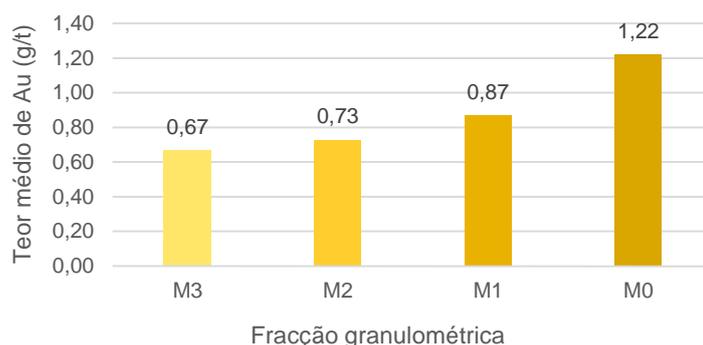


Gráfico 8.3 - Teores médios de ouro nas quatro fracções granulométricas (M3: <5 mm; M2: 5 - 9 mm; M1: 9 - 40 mm; M0: >40 mm).

Pela análise dos dados constantes na tabela 8.5, observa-se que a dispersão dos teores aumenta com a dimensão das partículas, indicando que o aumento dos teores médios se deverá possivelmente a ocasionais valores extremos mais elevados. Nas fracções finas, os teores são mais baixos mas possuem uma menor dispersão.

Quando feita a análise separada por tipo de material, verifica-se que nem todos têm exactamente o mesmo comportamento na distribuição dos teores (gráfico 8.4). Os fragmentos finos de *gossan* (E5) apresentam teores semelhantes, em que as três fracções mais grosseiras (M2, M1, M0) possuem teores médios muito próximos (cerca de 1,9 g/t), mantendo-se no entanto o aumento da dispersão com o aumento das partículas.

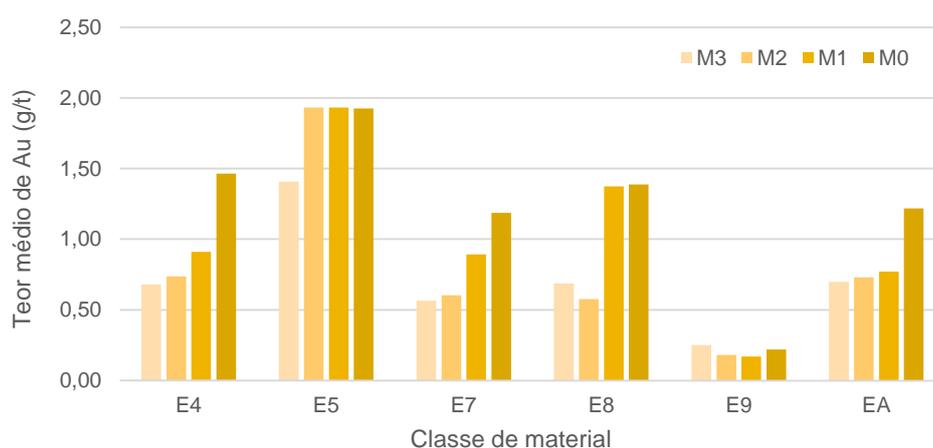


Gráfico 8.4 – Teor médio de ouro das fracções granulométricas nas classes de materiais (E4: fragmentos finos de *gossan*; E5: fragmentos finos de *gossan*; E7: vulcanitos *gossanizados*; E8: vulcanitos e xistos; E9: xistos acastanhados; EA: aterro. M3: <5 mm; M2: 5 - 9 mm; M1: 9 - 40 mm; M0: >40 mm).

Os restantes casos em que esta tendência não se verifica é nos vulcanitos ácidos e xistos (classe E8) e nos xistos acastanhados (classe E9), onde aparenta não existir uma relação entre teor e granulometria. No entanto, em ambas as situações, os cálculos foram efectuados com uma pequena quantidade de amostras por fracção: 4 para o E8, e 8 para o E9, não se podendo afirmar com muita confiança que o comportamento real seja de facto o representado pelos parâmetros estatísticos.

8.2.2.2 Prata

No caso da prata (tabela 8.6), verifica-se que a variação dos teores pelas várias fracções é um pouco mais errática quando comparada com o ouro. Uma análise global das amostras revela que a fracção com teor mais elevado é a de maior dimensão (M0: >40 mm), apresentando um valor médio de 9,54 g/t. No entanto esta fracção é a que apresenta parâmetros de dispersão mais elevados.

Tabela 8.6 – Parâmetros estatísticos dos teores de prata por fracção granulométrica. Valores em g/t.

Classe	M3 (< 5 mm)	M2 (5 - 9 mm)	M1 (9 - 40 mm)	M0 (> 40 mm)
Mínimo	0,16	1,00	1,00	1,00
Máximo	68,00	49,00	58,00	129,00
Média	9,39	7,87	7,97	9,54
Mediana	7,00	6,38	6,13	6,50
Desvio padrão	8,64	6,49	7,12	11,95
Variância (g/t) ²	74,58	42,18	50,80	142,97
Coef. Variação	0,92	0,82	0,89	1,25

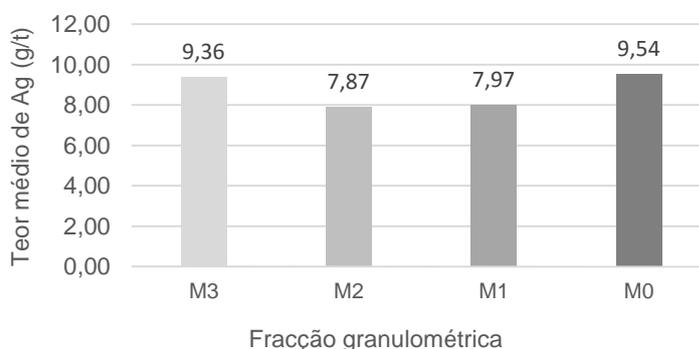


Gráfico 8.5 - Teores médios de prata nas quatro fracções granulométricas (M3: <5 mm; M2: 5-9 mm; M1: 9-40 mm; M0: >40 mm).

A segunda fracção com teor médio mais elevado é a fracção com partículas de menor dimensão (M3: <5 mm), com um teor médio de prata de 9,36 g/t, valor muito próximo da fracção de maior dimensão. Nesta fracção, verifica-se a mediana mais elevada de todas as classes (7,0 g/t).

Quando feita a análise individual das fracções por tipo de material (gráfico 8.6), verifica-se que de modo geral os teores médios mais elevados encontram-se na menor (M3) e maior fracções (M0). Este comportamento verifica-se nos materiais mais exhaustivamente amostrados: fragmentos finos de gossan (classe E4), vulcanitos ácidos *gossanizados* (classe E7) e nos materiais de aterro.

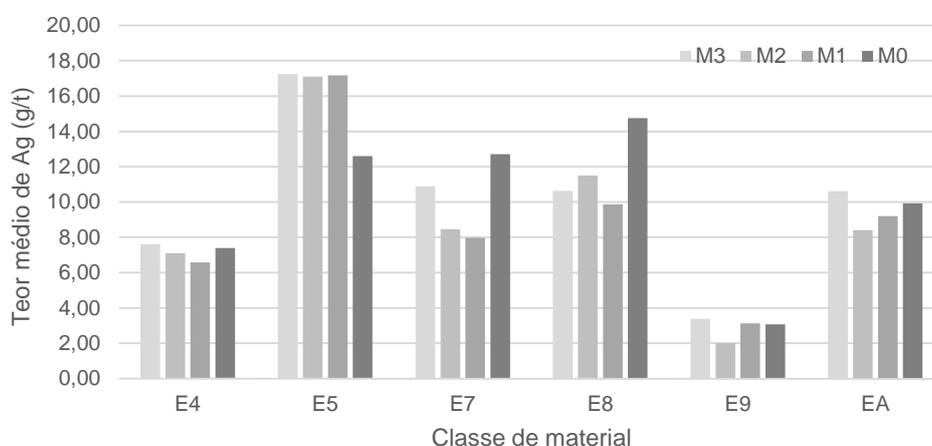


Gráfico 8.6 - Teor médio de prata das fracções granulométricas nas classes de materiais (E4: fragmentos finos de *gossan*; E5: fragmentos finos de *gossan*; E7: vulcanitos *gossanizados*; E8: vulcanitos e xistos; E9: xistos acastanhados; EA: aterro. M3: <5 mm; M2: 5 - 9 mm; M1: 9 - 40 mm; M0: >40 mm).

No caso dos fragmentos finos de *gossan* (classe E5) observa-se comportamento semelhante ao que se verifica no caso do ouro: teores médios muito próximos em três das fracções, e uma fracção com média mais baixa. Embora no caso da prata, ao contrário do que acontece no ouro, a fracção que apresenta o menor teor é a fracção mais grosseira (M3).

Os teores médios das fracções dos vulcanitos ácidos e xistos argilosos (classe E8) não aparentam possuir uma relação entre teores e fracção granulométrica. O mesmo parece acontecer no caso dos xistos acastanhados, em que os teores médios se encontram todos muito próximos, variando entre 8,40 e 10,61 g/t. Mais uma vez se reforça que estes dados resultam de um pequeno número de amostras.

8.3 Validação dos dados originais

8.3.1 Teores mínimos de ouro e prata

Durante a análise inicial da amostragem das sondagens, constatou-se que não existiam amostras com teores de ouro e prata nulos, ou seja, amostras sem qualquer conteúdo destes dois metais. Este facto considerou-se como sendo algo improvável, pois durante a utilização desta informação para a construção da superfície da base das escombreyras e aterros (capítulo 7) encontraram-se várias sondagens com intervalos contínuos de teores muito baixos ($Au = 0,10$ g/t e $Ag = 1,0$ g/t) (figura 7.13), indicando que estes correspondem muito provavelmente a material do substrato rochoso estéril, e portanto sem mineralizações de ouro ou prata, pelo que se depreendeu que esses valores não se tratavam efectivamente de valores medidos, mas muito provavelmente de valores associados ao limite de detecção do equipamento de análise utilizado. No caso dos teores de ouro, estes teores mínimos correspondem a 23,4% das amostras. No caso da prata estes teores são de 18,1%, sendo que, em ambos os casos, esses teores correspondem aos valores mais frequentes (moda estatística).

Num pequeno grupo composto por dezasseis sondagens, os teores mínimos são de 0,05 g/t para o ouro e 0,50 g/t para a prata, impondo-se a dúvida que os limites de detecção possam não ser os anteriormente mencionados. No entanto sabe-se que os trabalhos de prospecção foram desenvolvidos pela CONASA ao longo de vários meses, pelo que se depreende que parte das amostras possa ter sido analisada em equipamentos ou laboratórios distintos, justificando assim a existência de vários limites de detecção.

Se estes valores corresponderem de facto a amostras com teores nulos, caso sejam utilizados na estimação de teores, irão contribuir para uma subestimação das tonelagens com teores baixos ($Au < 0,10$ g/t e $Ag < 1,0$ g/t), resultando no aumento nas médias globais de ouro e prata nos corpos, com consequente sobrestimação total de recursos. Como tal, para efeitos de estimação dos teores, estes valores foram ignorados.

8.3.2 Corte de teores (capping)

Durante a análise estatística dos dados originais constatou-se a existência de amostras com teores que se afastavam muito dos teores médios (*outliers*). Quando utilizados na estimação de teores, estes valores extremos poderão inflacionar as estimações feitas nos blocos da sua vizinhança, implicando uma sobrestimação da tonelagem com teores elevados, e um aumento da média global do corpo. Este facto torna-se particularmente problemático nos casos em que

as amostras anómalas se encontram espacialmente afastadas das restantes do seu grupo, como acontece em alguns dos conjuntos de dados em estudo (figuras 8.1 e 8.2). Por este motivo, as amostras com teores extremos deverão receber um tratamento diferenciado das restantes. Este pode ser feito de diversas formas: atribuição de pesos menores a essas amostras durante o processo de estimação; modificação dos teores máximos anómalos, de modo a que estes não ultrapassem um determinado valor máximo predefinido (*capping*); remoção do conjunto de dados (Blackwell & Sinclair, 2004).

O método para o tratamento dos valores extremos nos conjuntos de dados, consistiu em definir um teor máximo de ouro e de prata para cada um dos conjuntos de dados (*cut* ou *capping*). A metodologia utilizada para definir qual o valor de corte a aplicar baseou-se apenas nos parâmetros estatísticos de cada conjunto, sendo determinado pela soma da média com o dobro do desvio padrão, que Blackwell & Sinclair (2004) afirmam ser um método aceitável para a determinação deste valor, e que a experiência da aplicação deste método em explorações mineiras demonstrou produzir resultados aceitáveis (Parish, 1997 *in* Blackwell & Sinclair, 2004).

Uma vez que os materiais em estudo se tratam de uma mescla de fragmentos de rocha depositados em escombreira ou em aterro, nos quais a distribuição espacial dos teores é muito errática, será de esperar que os teores anómalos extremos se tratem de amostras isoladas, e não de amostras pertencentes a uma única zona de escombreira/aterro anormalmente rica em ouro e/ou prata. No entanto, a fim de se descartar essa eventual possibilidade, decidiu-se realizar uma análise da distribuição espacial desses teores de modo a verificar se as amostras identificadas como anómalas se situavam próximas entre si, e assim verificar a possibilidade de estas representarem uma população anormalmente elevada dentro das zonas dos corpos de escombreira. Devido à pequena quantidade de amostras que constitui cada um dos grupos, essa análise fez-se inicialmente recorrendo a gráficos de dispersão com os teores projectados em função das coordenadas espaciais (gráfico 8.7) e, nos casos em que este método não se adequava (amostras anómalas muito próximas), mediante a correlação lateral entre sondagens através do *software* Surpac.

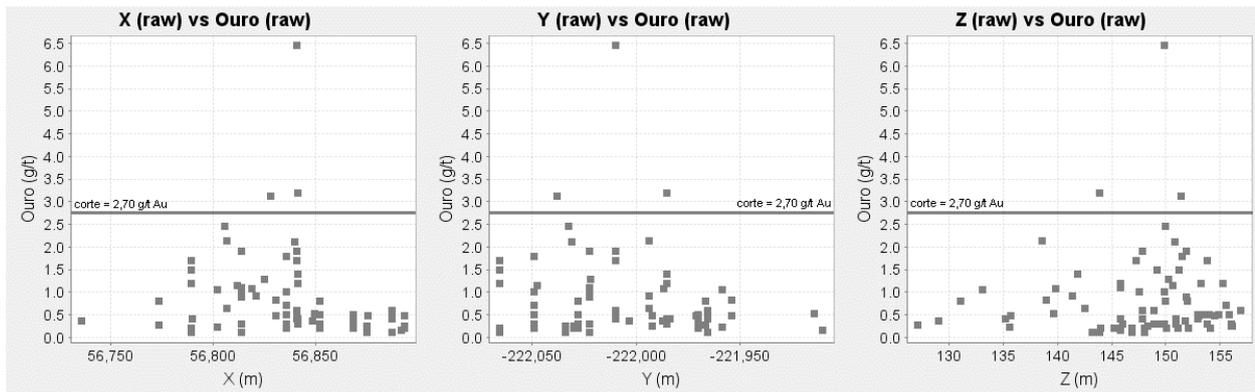


Gráfico 8.7 – Exemplo dos gráficos com teores de ouro do corpo de escombreira E7-5 projectados em função das coordenadas. No caso exemplificado, verifica-se que as três amostras anómalas (com teores acima de 2,70 g/t de Au) encontram-se afastadas, intercalando-se amostras com teores mais baixos, indicando que estes valores extremos não provêm de uma zona com teores anormalmente elevados.

De modo geral constatou-se que as amostras com teores extremos são de facto casos isolados, existindo amostras com teores mais baixos entre essas amostras com valores extremos (*efeito pepita*).

Definidos os limites de corte para o ouro e para a prata em cada um dos conjuntos de dados, e descartada a hipótese da existência de zonamentos com teores anormalmente elevados, aplicou-se uma condição na base de dados do *software* Surpac, de modo a que todas as amostras com teor igual ou superior ao do limite definido para cada conjunto (tabelas 8.7 e 8.8) tomassem esse valor.

Nas duas tabelas que se seguem encontram-se os valores de corte definidos para cada corpo de escombreira e aterro, assim como o número de amostras totais e número de amostras afectadas pelo corte em cada um dos conjuntos.

Tabela 8.7 – Valores de corte dos teores de ouro aplicados nas amostras dos vários corpos de escombreira e aterro e número de amostras afectadas pelo corte. E4 – fragmentos grosseiros de *gossan*; E5 – fragmentos finos de *gossan*; E7 – vulcanitos ácidos *gossanizados*; E8 – vulcanitos ácidos e xistos argilosos; E9 – xistos acastanhados; EA – Aterros.

Corpo	Máximo (g/t)	Corte (g/t)	Nº total de amostras	Nº de amostras afectadas
E4-5	5,25	2,42	74	1
E4-6	2,80	1,94	25	1
E4-8	3,19	1,51	48	1
E4-9	3,25	2,63	30	2
E5-1	5,00	4,25	30	3
E5-2	2,42	-	8	-
E5-3	3,40	2,89	9	1
E7-1	2,50	-	7	-
E7-2	0,40	0,30	16	1
E7-3	4,55	2,53	48	3
E7-4	2,60	1,69	44	2
E7-5	6,45	2,70	78	3
E7-6	2,53	1,42	50	2
E7-7	1,00	-	21	-
E8-2	2,75	2,08	18	2
E9-3	0,55	-	11	-
E9-5	0,36	-	8	-
EA-1	3,41	3,01	7	1
EA-2	2,10	1,64	41	2
EA-3	1,60	1,47	16	1
EA-4	2,30	1,59	100	6
EA-5	4,40	2,49	136	7
EA-6	8,00	3,45	52	2

Tabela 8.8 – Valores de corte dos teores de prata aplicados nas amostras dos vários corpos de escombreira e aterro e número de amostras afectadas pelo corte. E4 – fragmentos grosseiros de *gossan*; E5 – fragmentos finos de *gossan*; E7 – vulcanitos ácidos *gossanizados*; E8 – vulcanitos ácidos e xistos argilosos; E9 – xistos acastanhados; EA – Aterros.

Corpo	Máximo (g/t)	Corte (g/t)	Nº total de amostras	Nº de amostras afectadas
E4-5	30,00	21,17	74	3
E4-6	35,00	29,50	25	1
E4-8	21,00	15,51	48	2
E4-9	27,50	24,50	30	2
E5-1	202,00	56,00	30	2
E5-2	20,49	-	8	-
E5-3	18,50	-	9	-
E7-1	97,00	-	7	-
E7-2	13,00	7,50	16	1
E7-3	76,00	42,50	48	2
E7-4	22,76	15,80	44	1
E7-5	28,18	19,61	78	3
E7-6	30,00	18,68	50	3
E7-7	47,50	37,25	21	1
E8-2	21,00	17,99	18	2
E9-3	6,00	-	11	-
E9-5	4,70	-	8	-
EA-1	30,71	26,79	7	1
EA-2	20,50	19,92	41	1
EA-3	20,66	17,26	16	1
EA-4	25,00	17,50	100	5
EA-5	44,65	27,59	136	7
EA-6	36,00	29,25	52	4

No caso do ouro foram no total afectadas 41 amostras, e no caso da prata 42, correspondendo em ambos os casos ao corte de aproximadamente 5% do total de amostras (877). Em alguns dos corpos não foi efectuado corte em nenhuma amostra (algarismos cor cinza nas tabelas 8.7 e 8.8). Isto deveu-se ao facto do valor resultante do critério aplicado ter sido superior ao valor amostral máximo.

8.4 Análise estatística básica dos dados após validação

Como se referiu anteriormente, alguns parâmetros estatísticos são consideravelmente influenciados pelos valores anómalos (*outliers*). Com o intuito de conhecer a sua variação em cada um dos conjuntos de dados após o corte de teores anómalos, procedeu-se a uma segunda análise estatística da informação, cujos principais estatísticos se encontram nas tabelas 8.9 e 8.10.

Tabela 8.9 – Parâmetros estatísticos básicos do ouro nos conjuntos de amostras correspondentes a cada corpo de escombreira e aterro após o corte de teores extremos (*outliers*). E4 – fragmentos grosseiros de *gossan*; E5 – fragmentos finos de *gossan*; E7 – vulcanitos ácidos *gossanizados*; E8 – vulcanitos ácidos e xistos argilosos; E9 – xistos acastanhados; EA – Aterros.

Corpo	Nº amostras	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	D. padrão	Variância	Coef. V.
E4-5	74	0,00	2,42	0,78	0,60	0,60	0,36	0,77
E4-6	25	0,00	1,94	0,77	0,60	0,58	0,34	0,76
E4-8	48	0,00	1,51	0,48	0,38	0,36	0,13	0,75
E4-9	30	0,20	2,63	1,15	1,04	0,64	0,41	0,55
E5-1	30	0,00	4,25	1,42	0,98	1,34	1,79	0,94
E5-2	8	0,76	2,42	1,64	1,70	0,52	0,27	0,32
E5-3	9	0,55	2,89	1,19	0,90	0,68	0,47	0,57
E7-1	7	0,25	2,50	1,23	1,20	0,69	0,48	0,56
E7-2	16	0,00	0,30	0,15	0,10	0,06	0,00	0,41
E7-3	48	0,00	2,53	0,80	0,60	0,66	0,44	0,83
E7-4	44	0,00	1,69	0,53	0,35	0,51	0,26	0,96
E7-5	78	0,00	2,70	0,78	0,50	0,68	0,46	0,86
E7-6	50	0,00	1,42	0,40	0,25	0,40	0,16	1,00
E7-7	21	0,00	1,00	0,35	0,25	0,30	0,09	0,86
E8-2	18	0,00	2,08	0,74	0,50	0,60	0,36	0,82
E9-3	11	0,00	0,55	0,26	0,25	0,15	0,02	0,59
E9-5	8	0,07	0,36	0,21	0,19	0,10	0,01	0,50
EA-1	7	0,11	3,01	0,88	0,47	0,91	0,83	1,00
EA-2	41	0,10	1,64	0,65	0,50	0,46	0,21	0,71
EA-3	16	0,00	1,47	0,57	0,47	0,44	0,19	0,77
EA-4	100	0,00	1,59	0,62	0,55	0,40	0,16	0,64
EA-5	136	0,10	2,49	0,75	0,45	0,72	0,51	0,95
EA-6	52	0,05	3,45	0,64	0,37	0,76	0,58	1,20

Como esperado, o corte dos teores máximos nos grupos de amostragem levou a uma diminuição dos teores médios e das medidas de dispersão. No caso dos teores médios verificam-se decréscimos que variam entre 1,1% e 11,1%, e em média 5,2 %, face aos valores originais. Os

valores de desvio padrão também diminuíram significativamente na maioria dos corpos, decrescendo entre 4,3% e 37,2%, e em média 17,4%.

Tabela 8.10 – Parâmetros estatísticos básicos da prata nos conjuntos de amostras correspondentes a cada corpo de escombreira e aterro após o corte de teores extremos (*outliers*). E4 – fragmentos grosseiros de *gossan*; E5 – fragmentos finos de *gossan*; E7 – vulcanitos ácidos *gossanizados*; E8 – vulcanitos ácidos e xistos argilosos; E9 – xistos acastanhados; EA – Aterros.

Corpo	Nº amostras	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	D. padrão	Variância	Coef. V.
E4-5	74	0,00	21,17	8,06	7,00	5,16	26,58	0,64
E4-6	25	0,00	29,50	8,23	6,00	7,01	49,15	0,85
E4-8	48	0,00	15,51	5,89	5,50	4,15	17,26	0,71
E4-9	30	0,00	24,50	10,48	9,50	6,41	41,03	0,61
E5-1	30	0,00	56,00	15,14	14,50	14,34	205,50	0,95
E5-2	8	8,10	20,49	12,80	12,53	3,77	14,22	0,29
E5-3	9	4,50	18,50	10,42	11,50	4,01	16,08	0,38
E7-1	7	8,53	97,00	34,93	14,00	30,86	952,66	0,88
E7-2	16	0,00	7,50	1,47	1,00	1,56	2,48	1,07
E7-3	48	0,00	42,50	9,82	7,50	9,77	95,38	0,99
E7-4	44	2,00	15,80	6,90	6,00	3,90	15,18	0,56
E7-5	78	0,00	19,61	8,91	9,05	4,88	23,84	0,55
E7-6	50	0,00	18,68	6,16	5,00	4,64	21,56	0,75
E7-7	21	3,50	37,25	14,90	14,50	8,28	68,48	0,56
E8-2	18	0,00	17,99	7,60	7,00	4,78	22,84	0,63
E9-3	11	0,00	6,00	3,45	4,00	1,88	3,52	0,54
E9-5	8	0,00	4,70	2,73	2,63	1,06	1,13	0,39
EA-1	7	0,00	26,79	6,75	4,50	8,40	70,69	1,25
EA-2	41	0,00	19,92	9,05	8,50	5,40	29,18	0,60
EA-3	16	0,00	17,26	6,44	5,50	4,79	22,99	0,75
EA-4	100	0,00	17,50	7,06	6,00	4,42	19,53	0,63
EA-5	136	1,00	27,59	8,60	5,72	7,68	58,96	0,89
EA-6	52	0,00	29,25	6,57	4,00	7,40	54,74	1,13

À semelhança do que acontece na situação do ouro, na prata também se registou um decréscimo dos teores médios, verificando-se reduções entre 0,1% e 24,3%, e em média 5,8% face aos valores iniciais. Os valores do desvio padrão sofreram reduções que variaram entre 0,6% e 60%, que, em média, resultou numa diminuição global de 16,8%.

No geral, os teores médios do ouro e da prata decresceram em média aproximadamente 5%. Em ambos os casos, o decréscimo dos parâmetros de dispersão foi cerca de 17%, sendo importante referir que se tratou de uma alteração significativa atendendo à pequena quantidade de amostras que foram afectadas pelo corte (cerca de 5% do total de amostras).

9 ESTIMAÇÃO DOS TEORES EM OURO E PRATA NOS CORPOS DE ESCOMBREIRA E DE ATERRO

A extensão das amostras aos blocos dos modelos tridimensionais foi feita a partir dos dados após o corte de valores extremos (*capping*), utilizando apenas as amostras não excluídas nos modelos de cada corpo de escombreira/aterro, ou seja, apenas aquelas classificadas como escombreira (capítulo 8). A interpolação utilizada para estimar os teores de ouro e prata em cada um dos modelos baseou-se no método do inverso de uma potência das distâncias (IPD), cujos parâmetros definidos serão apresentados de seguida.

9.1 Procura de amostras

A utilização do inverso da potência das distâncias pressupõe a definição de um conjunto de parâmetros para a procura de amostras, a partir das quais será feita a estimação de teores num determinado bloco. Esta procura pode ser feita de dois modos: pela atribuição do número de amostras a utilizar em cada estimação (n), ou pela definição de uma vizinhança de procura, que a três dimensões é representada por um elipsóide (definido por três distâncias) dentro do qual se irão encontrar as amostras a utilizar na estimação. Para os casos em estudo utilizaram-se ambos os métodos em simultâneo. O algoritmo procura as n amostras mais próximas do bloco a estimar que se encontrem dentro da vizinhança definida pelo elipsóide. Deste modo impede-se que sejam utilizadas amostras demasiado afastadas do bloco a estimar.

O processo para a escolha das distâncias horizontais foi baseado na distância máxima observada entre blocos e amostras, definindo-se um valor que permitisse que durante a procura se encontrasse no mínimo uma amostra por bloco, garantindo-se assim a abrangência de toda a área a estimar. Devido à aleatoriedade da distribuição de teores, sem direcções de continuidade preferenciais, atribuíram-se valores iguais para as duas distâncias horizontais (*i.e.* procura isotrópica).

Relativamente às distâncias verticais, definiram-se valores em função do espaçamento vertical entre as amostras, de modo a abranger uma menor quantidade nesta direcção. Os melhores resultados obtiveram-se com distâncias pequenas, variando entre 2,5 m e os 4,5 m.

A definição do número de amostras foi feita de modo iterativo, atribuindo-se diferentes quantidades até se obter um conjunto de parâmetros estatísticos básicos nas estimações dos

modelos de blocos próximo dos dados originais (tabelas 8.9 e 8.10). O mesmo se efectuou relativamente à potência utilizada, sendo a que melhores resultados produziu foi o quadrado.

Em algumas situações a distância de procura vertical escolhida não foi suficiente para que todos os blocos abrangessem amostras, devido ao facto destes se encontrarem a uma cota inferior à das amostras mais próximas, resultando assim em blocos não estimados. Caso se optasse pela abrangência de amostras durante o processo de estimação desses blocos, definindo-se uma distância de procura vertical maior, como resultado seria seleccionado um maior número de amostras na vertical, o que se constatou que tendia a que os teores médios e medianos se afastassem, por excesso, dos parâmetros estatísticos dos dados originais. Por isso, preferiu-se manter distância de procura que dessem resultados mais próximos dos dados originais, ainda que resultando em alguns modelos com blocos com teores nulos (não estimados), além disso, constatou-se que estes têm sempre uma representatividade muito baixa no quantidade de blocos não estimados.

Na imagem que se segue, apresenta-se uma representação gráfica da vista em perfil de um dos modelos de blocos. Os blocos preenchidos a azul são o exemplo da situação referida anteriormente. O centróide destes blocos dista mais de 4,5 m da amostra verticalmente mais próxima (distância de procura vertical definida para este modelo). Neste caso, o conjunto de blocos não estimados corresponde a um volume de 2 350 m³ (1,4% do volume total desta escombreira).

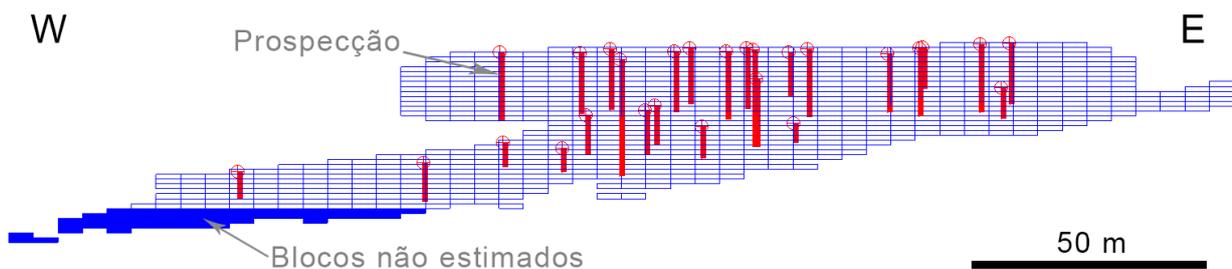


Figura 9.1 - Vista em perfil este-oeste do modelo de blocos da escombreira E7-5 onde se observa também a prospecção efectuada neste corpo (poços e sondagens). Os elipsóides de procura dos blocos preenchidos a cor azul não abrangeram nenhuma amostra, resultando num conjunto de blocos com teores nulos de ouro e prata (0,00 g/t) no sector ocidental desta escombreira.

Na tabela 9.1 encontra-se informação relativa aos parâmetros definidos para cada um dos modelos, nomeadamente as distâncias de procura, e a quantidade de amostras utilizada em cada um dos modelos discriminada em função da origem (poço ou sondagem). Na mesma tabela encontra-se também um elemento designado “volume por amostra”, que resulta da divisão do volume do modelo pelo número total de amostras utilizadas na estimação. Este elemento foi colocado com a intenção de dar uma noção da quantidade de amostras em comparação com o volume total de escombreira.

Tabela 9.1 – Parâmetros para estimação pelo IQD definidos em cada um dos modelos de escombreiras. E4 – fragmentos grosseiros de *gossan*; E5 – fragmentos finos de *gossan*; E7 – vulcanitos ácidos *gossanizados*; E8 – vulcanitos ácidos e xistos argilosos; E9 – xistos acastanhados; EA – Aterros.

Modelo	Dist. de procura (m)		Nº de amostras	Nº de amostras	Volume por amostra (m ³)*
	Horizontal	Vertical	mín/máx	Sondagem/poço	
E4-5	50	2,5	1/4	63/11	1 801
E4-6	30	2,5	1/6	20/5	1 174
E4-8	70	2,5	1/6	35/13	2 736
E4-9	50	4,5	1/6	20/10	1 936
E5-1	35	2,5	1/6	25/5	1 248
E5-2	60	16	2/8	0/8	10 025
E5-3	50	4,5	1/4	8/1	6 125
E7-1	40	16	2/6	6/1	1 979
E7-2	50	2,5	1/4	16/0	3 444
E7-3	40	2,5	1/8	40/8	1 012
E7-4	60	2,5	1/5	30/14	3 534
E7-5	90	4,5	1/6	53/25	2 192
E7-6	75	2,5	1/5	45/5	3 400
E7-7	100	2,5	2/8	21/0	2 968
E8-2	100	2,5	2/8	14/4	6 744
E9-3	130	2,5	2/8	11/0	8 588
E9-5	130	20	2/8	0/8	17 493
EA-1	45	4,5	1/4	0/7	11 630
EA-2	50	2,5	1/4	38/3	2 798
EA-3	45	4,5	1/12	10/6	3 825
EA-4	70	4,5	1/6	84/16	1 843
EA-5	45	2,5	1/4	115/21	2 494
EA-6	100	4,5	2/8	46/6	6 100

*Quociente do volume do modelo e o número de amostras utilizado na estimação.

Como se pode verificar com a análise da última coluna da tabela anterior, a quantidade de amostras utilizadas na estimação de cada um dos corpos de escombreira é muito variável, indicando que em alguns casos o número de amostras é manifestamente pequeno para a dimensão do volume a estimar.

Nas imagens das figuras 9.2 e 9.3 encontram-se dois exemplos gráficos da distribuição de teores de ouro e prata no mesmo corpo de escombreira da figura 9.1 (E7-5). Nestes exemplos, os blocos com teores de ouro e prata abaixo de, respectivamente, 0,1 g/t e 1,0 g/t, correspondem aos blocos onde não foi feita estimação.

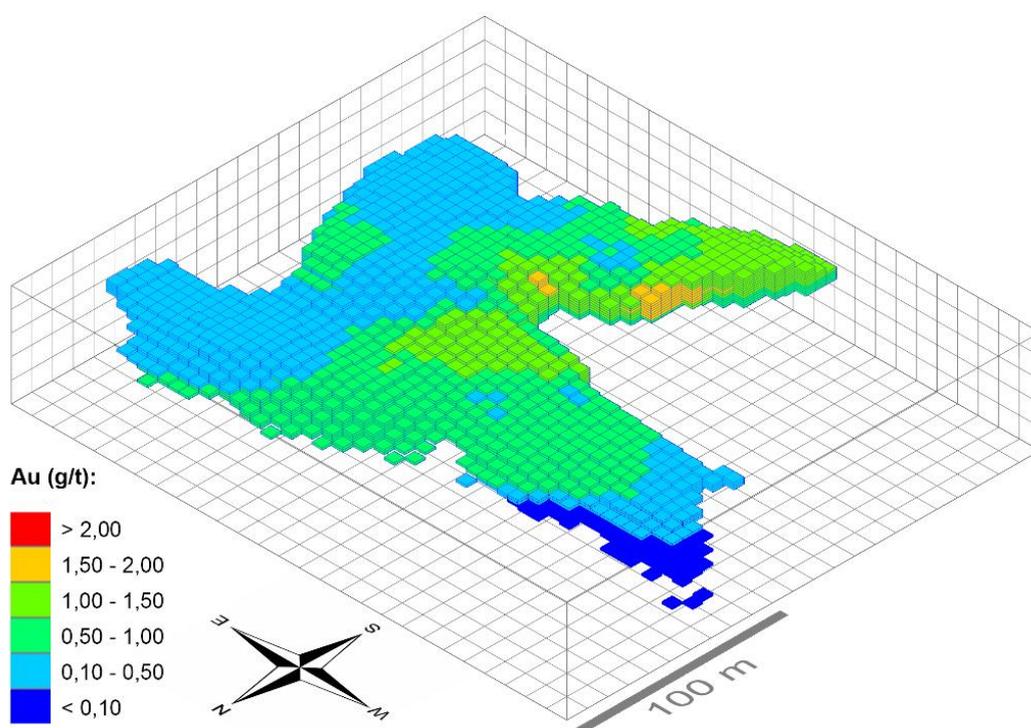


Figura 9.2 – Vista em perspectiva da distribuição espacial de teores de ouro no modelo de blocos da escombreira E7-5. No exemplo ilustrado, os blocos com teores inferiores a 0,10 g/t (a cor azul escuro) são blocos onde não foi feita estimação devido à não abrangência de amostras.

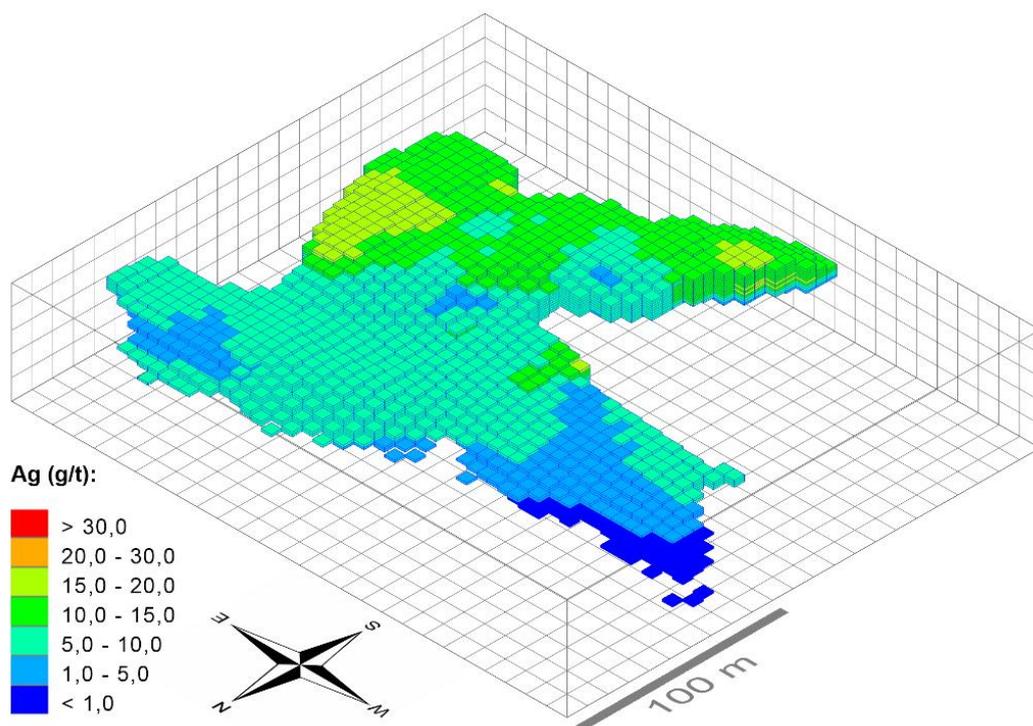


Figura 9.3 – Vista em perspectiva da distribuição espacial de teores de prata no modelo de blocos da escombreira E7-5. No exemplo ilustrado, os blocos com teores inferiores a 1,0 g/t (a cor azul escuro) são blocos onde não foi feita estimacão devido à não abrangência de amostras.

Nas figuras 9.4 e 9.5 apresentam-se dois mapas com a distribuio dos teores médios de ouro e prata em todos os corpos de escombreira. Os mesmos são apresentados nos Anexos 8 e 9.

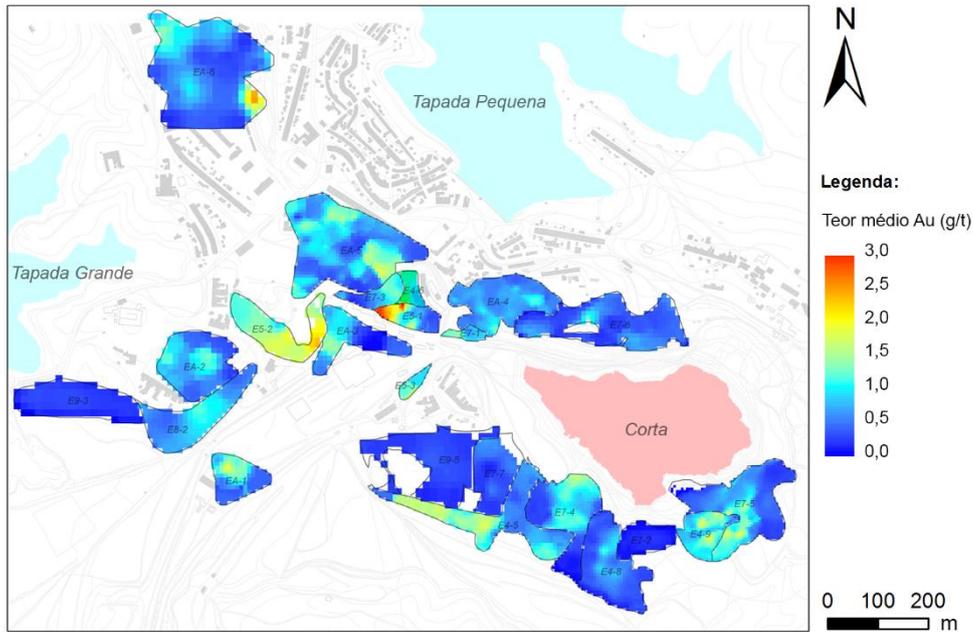


Figura 9.4 – Mapa com a distribuição espacial dos teores médios de ouro estimados pelo IQD em cada um dos corpos de escombreira e aterro. E4 – fragmentos grosseiros de *gossan*; E5 – fragmentos finos de *gossan*; E7 – vulcanitos ácidos *gossanizados*; E8 – vulcanitos ácidos e xistos argilosos; E9 – xistos acastanhados; EA – Aterros.

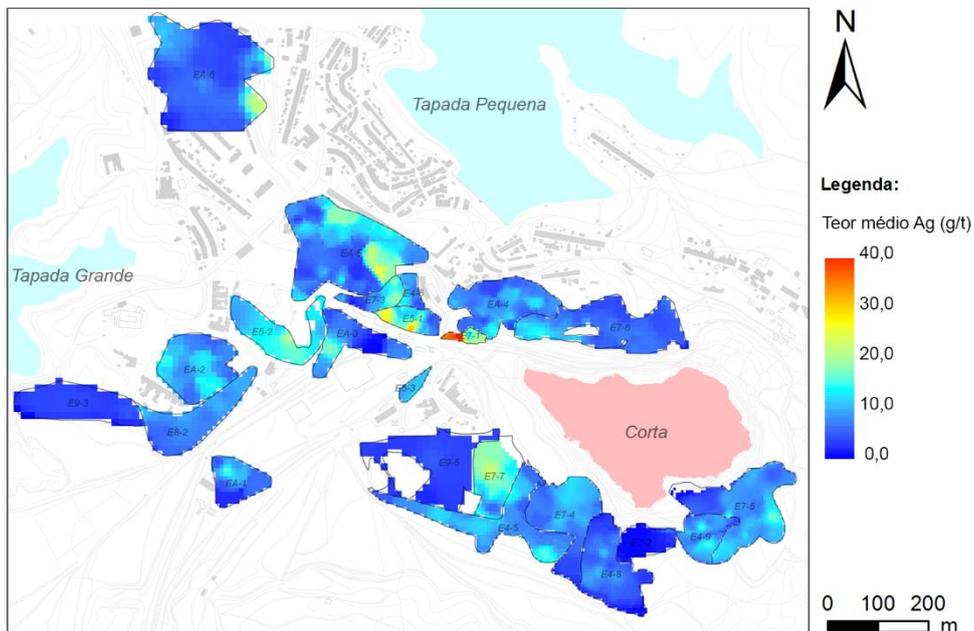


Figura 9.5 – Mapa com a distribuição espacial dos teores médios de prata estimados pelo IQD em cada um dos corpos de escombreira e aterro. E4 – fragmentos grosseiros de *gossan*; E5 – fragmentos finos de *gossan*; E7 – vulcanitos ácidos *gossanizados*; E8 – vulcanitos ácidos e xistos argilosos; E9 – xistos acastanhados; EA – Aterros.

9.2 Qualidade das estimações

Como referido anteriormente, ao longo do processo de estimação foi sendo feita a comparação de alguns parâmetros estatísticos básicos da informação real com aqueles obtidos nos modelos, de modo a verificar se as estimações respeitavam a informação original, pois é razoável esperar que uma boa estimação produza valores com uma distribuição semelhante à dos dados originais. Nesse sentido, a qualidade de cada um dos modelos foi analisada pela comparação da estatística dos modelos com a estatística da informação original (amostras utilizadas na interpolação), comparando-se não só os valores médios, como também as medianas que, considerando as distribuições assimétricas dos dados originais, assumiu-se como sendo um parâmetro mais adequado para fazer a comparação. Na tabela que se segue podem encontrar-se alguns parâmetros estatísticos básicos dos dados originais, e os mesmos para as estimações feitas em cada um dos modelos.

Tabela 9.2 – Parâmetros estatísticos básicos dos dados originais (O) e das estimações realizadas nos modelos de blocos (M). E4 – fragmentos grosseiros de *gossan*; E5 – fragmentos finos de *gossan*; E7 – vulcanitos ácidos *gossanizados*; E8 – vulcanitos ácidos e xistos argilosos; E9 – xistos acastanhados; EA – Aterros.

Corpo	Média (g/t)		Mediana (g/t)		D. padrão (g/t)		Variância (g/t) ²		
	O	M	O	M	O	M	O	M	
Au	E4-5	0,78	0,87	0,60	0,69	0,60	0,48	0,42	0,23
Ag		8,05	8,90	7,00	8,21	5,15	3,54	31,84	12,55
Au	E4-6	0,77	0,82	0,60	0,88	0,58	0,34	0,34	0,12
Ag		8,23	8,43	6,00	7,50	7,01	4,59	49,14	21,07
Au	E4-8	0,48	0,45	0,38	0,41	0,36	0,24	0,13	0,06
Ag		5,89	5,19	5,50	4,85	4,15	2,87	17,26	8,24
Au	E4-9	1,15	1,11	1,04	1,08	0,64	0,38	0,41	0,14
Ag		10,48	9,07	9,50	8,89	6,41	3,02	41,03	9,13
Au	E5-1	1,42	1,37	0,98	0,98	1,34	1,09	1,78	1,18
Ag		15,14	15,20	14,50	14,45	14,34	9,09	205,50	82,67
Au	E5-2	1,64	1,42	1,70	1,34	0,52	0,28	0,27	0,08
Ag		12,79	11,84	12,53	12,06	3,77	2,35	14,22	5,52
Au	E5-3	1,19	1,13	0,90	0,91	0,68	0,38	0,47	3,97
Ag		10,42	9,81	11,50	10,15	4,01	1,99	16,01	0,15
Au	E7-1	0,98	0,97	0,82	0,85	0,68	0,27	0,47	0,07
Ag		27,01	25,52	12,00	19,97	28,51	10,87	813,27	118,20
Au	E7-2	0,15	0,14	0,10	0,12	0,06	0,05	0,01	0,01
Ag		1,47	1,46	1,00	1,00	1,58	1,20	2,48	1,44
Au	E7-3	0,80	0,87	0,60	0,82	0,66	0,46	0,44	0,21
Ag		9,82	11,12	7,50	10,19	9,77	6,42	95,38	41,26
Au	E7-4	0,53	0,65	0,35	0,49	0,51	0,48	0,26	0,23
Ag		6,90	7,25	6,00	7,02	3,89	3,09	15,18	9,52
Au	E7-5	0,78	0,75	0,50	0,56	0,68	0,55	0,46	0,30
Ag		8,91	8,92	9,05	8,67	4,88	3,67	23,84	13,47

Tabela 9.2 – Parâmetros estatísticos básicos dos dados originais (**O**) e das estimações realizadas nos modelos de blocos (**M**) (continuação).

	Corpo	Média (g/t)		Mediana (g/t)		D. padrão (g/t)		Variância (g/t) ²	
		O	M	O	M	O	M	O	M
Au	E7-6	0,40	0,40	0,25	0,34	0,40	0,23	0,16	0,05
Ag		6,16	5,76	5,00	5,44	4,64	2,93	21,57	8,59
Au	E7-7	0,35	0,34	0,25	0,31	0,30	0,17	0,09	0,03
Ag		14,89	15,14	14,50	15,95	8,28	4,53	68,48	20,55
Au	E8-2	0,74	0,74	0,60	0,68	0,56	0,32	0,36	0,10
Ag		8,02	7,27	8,00	7,02	4,89	2,83	22,84	8,00
Au	E9-3	0,26	0,23	0,25	0,20	0,15	0,10	0,02	0,01
Ag		3,45	2,96	4,00	2,90	1,88	1,06	3,52	1,13
Au	E9-5	0,21	0,21	0,19	0,20	0,10	0,06	0,01	0,01
Ag		2,73	2,70	2,63	2,72	1,06	0,58	1,13	0,34
Au	EA-1	0,88	0,74	0,47	0,52	0,91	0,46	0,83	0,21
Ag		6,75	6,09	4,50	5,59	8,41	3,58	78,69	12,79
Au	EA-2	0,65	0,68	0,50	0,63	0,46	0,30	0,21	0,09
Ag		9,05	9,46	8,50	9,16	5,40	2,90	29,17	8,41
Au	EA-3	0,57	0,61	0,47	0,64	0,44	0,40	0,19	0,16
Ag		6,44	6,66	5,50	6,24	4,79	4,07	22,99	16,55
Au	EA-4	0,62	0,63	0,55	0,60	0,40	0,21	0,16	0,05
Ag		7,06	7,10	6,00	6,71	4,42	2,60	19,53	6,74
Au	EA-5	0,75	0,77	0,45	0,67	0,72	0,49	0,51	0,24
Ag		8,60	9,22	5,72	7,47	7,68	6,07	58,96	36,82
Au	EA-6	0,64	0,59	0,37	0,46	0,76	0,39	0,57	0,15
Ag		6,57	5,67	4,00	4,77	7,40	3,32	54,74	11,07

Os valores observados indicam que, de modo geral, as estimações obtidas nos modelos parecem apresentar uma boa correlação com os dados originais. As diferenças mais evidentes verificam-se nos parâmetros de dispersão, sendo significativamente menores nos teores estimados. Esta redução na variabilidade é espectável e deve-se ao facto das estimações serem resultado da combinação linear de vários valores amostrais, referida na literatura por *efeito de suavização (smoothing effect)* (Soares, 2000; Goovaerts, 1997; Isaaks & Srivastava, 1989).

Em alguns casos, verifica-se que existe uma diferença significativa entre as medidas de tendência central, especialmente nas medianas. Isto é igualmente devido ao efeito de suavização, pois a diminuição da variabilidade dos teores estimados (suavização) significa que a distribuição das estimações contém uma menor percentagem de valores extremos (mínimos e máximos) quando comparada com a distribuição dos dados originais. Isto traduz-se numa menor acentuação da assimetria da distribuição, com o conseqüente aumento dos teores medianos e, em algumas situações, também com o aumento dos teores médios.

A título de exemplo, na figura que se segue, encontram-se os histogramas dos dados originais e das estimações obtidas no modelo de blocos do corpo E7-5, nos quais é possível verificar-se que a dispersão e medidas de tendência central diferenciam-se.

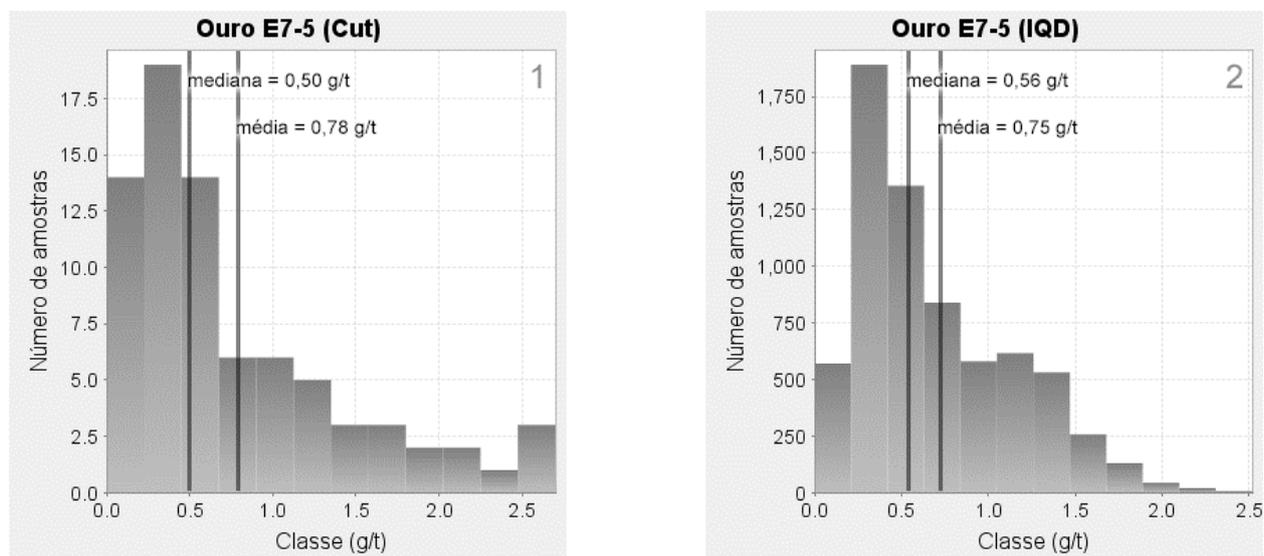


Gráfico 9.1 – Histogramas do ouro para o corpo de escombreira E7-5: 1) dados reais; 2) estimações obtidas pelo método do inverso do quadrado da distância (IQD).

Pela comparação do histograma dos dados reais (gráfico 9.1 - 1) com o do modelo de blocos (gráfico 9.1 - 2), é possível constatar um aumento dos teores médios e medianos das estimações, pelo motivo descrito anteriormente. Também se observa que os teores mínimos e máximos foram subestimados, apresentando uma frequência menor no histograma das estimações.

9.3 Nota sobre a distribuição da amostragem

Em amostragens irregulares, com agrupamentos preferenciais da informação, deve-se evitar uma procura simples das n amostras mais próximas do bloco a estimar, pois isso poderá levar a que o *software* seleccione amostras agrupadas em detrimento das isoladas, mas possivelmente mais representativas (Soares, 2000). Isto tem particular importância quando essas aglomerações são constituídas por amostras com teores anormalmente elevados, pois é possível que essas concentrações se localizem em zonas particularmente ricas (e como tal com maior interesse em prospectar), o que poderá contribuir para uma sobrestimação dos blocos na sua vizinhança.

Uma forma possível de minorar este problema seria atribuir pesos menores às amostras aglomeradas, de modo a atribuir-lhes artificialmente um espaçamento mais homogéneo, por um processo denominado de *desagregação (declustering)*, que consiste em discretizar o volume prospectado numa matriz de blocos, com posterior atribuição de um peso a cada amostra inversamente proporcional ao número de amostras contido em cada bloco (Sinclair & Blackwell, 2004; Isaaks & Srivastava, 1989), isto para que as amostras *aglomeradas* recebam pesos menores, e, conseqüentemente, tenham menor influência nas estimações. No caso em estudo, os locais onde existe uma maior concentração de prospecção não parecem estar relacionados apenas com teores elevados, mas também com teores baixos, devido à grande variabilidade de teores que se verifica a curtas distâncias (*efeito pepita* elevado). Nestas situações, caso se tivesse feito *desagregação* dos dados, ir-se-ia atribuir pesos menores não só a amostras com teores elevados, mas também a amostras com teores baixos, fazendo com que acrescesse o risco de se sobrestimar os teores nos modelos. Como tal, aliando também o facto das aglomerações serem pontuais, geralmente compostas por apenas dois pontos de prospecção, não se utilizou este processo. No entanto, nos casos em que se suspeitava que as aglomerações pudessem contribuir para o enviesamento das estimações, experimentou-se realizar uma procura de amostras por octantes. Este método consiste em seccionar o volume de procura em oito sectores (octantes), e definir um número máximo de amostras a utilizar de cada um. Nos casos em que o octante tenha um número de amostras igual ou inferior ao máximo definido, todas serão utilizadas na estimação. Caso ultrapassem o valor máximo, apenas serão utilizadas as mais próximas do centróide do bloco a estimar, minorando assim a problemática associada à aglomeração de amostras. No entanto, a utilização deste método revelou não trazer diferenças significativas às estimações feitas com o elipsóide de procura, optando-se assim pelo método de procura descrito em 9.1 em todos os modelos.

10 RECURSOS NAS ESCOMBREIRAS E ATERROS

As tonelagens e quantidades de ouro e prata contidos em cada um dos corpos foram calculados a partir dos valores de massa volúmica reportados no capítulo 6, resultando a tonelagem da multiplicação da massa volúmica pelo volume obtido nos modelos, e as quantidades de ouro e prata da multiplicação dos teores médios pelas tonelagens. Estes valores apresentam-se para três casos distintos de massa volúmica, baseados nos diferentes valores de percentagem relativa dos volumes de vazios nos materiais (20, 30 e 40%_{ovz}).

10.1 Recursos nas escombrelras e aterros

10.1.1 Gossan (E4 e E5)

Nas tabelas que se apresentam de seguida encontram-se os teores médios, tonelagens e quantidade de ouro e prata contidos em cada um dos corpos de escombrelras da classe de gossan (fragmentos finos e grosseiros).

Tabela 10.1 – Recursos nas escombrelras de fragmentos grosseiros de gossan (classe E4) em função de diferentes volumes de vazios (%_{ovz}).

M	Escombrelra	Teor médio (g/t)	Tonelagem (t)			Metal contido (g)		
			20% _{ovz}	30% _{ovz}	40% _{ovz}	20% _{ovz}	30% _{ovz}	40% _{ovz}
Au	E4-5	0,87	279 840	243 860	209 213	244 310	212 898	182 650
Ag		8,87				2 483 285	2 164 005	1 856 551
Au	E4-6	0,81	61 635	53 711	46 080	50 315	43 846	37 616
Ag		8,25				508 857	443 433	380 431
Au	E4-8	0,43	275 789	240 330	206 185	119 058	103 750	89 010
Ag		5,08				1 400 782	1 220 681	1 047 251
Au	E4-9	1,03	120 624	105 115	90 181	124 180	108 214	92 839
Ag		8,54				1 029 654	897 270	769 789
Au	Total	0,73	737 888	643 016	551 659	537 862	468 708	402 116
Ag		7,35				5 422 578	4 725 389	4 054 023

Tabela 10.2 – Recursos nas escombreliras de fragmentos finos de *gossan* (classe E5) em função de diferentes volumes de vazios (%ovz).

M	Escombrelira	Teor médio (g/t)	Tonelagem (t)			Metal contido (g)		
			20%ovz	30%ovz	40%ovz	20%ovz	30%ovz	40%ovz
Au	E5-1	1,37	78 593	68 488	58 757	107 618	93 782	80 457
Ag		15,27				1 200 029	1 045 739	897 164
Au	E5-2	1,42	168 420	146 766	125 914	238 972	208 247	178 660
Ag		11,84				1 993 459	1 737 157	1 490 348
Au	E5-3	1,14	35 078	30 568	26 225	39 872	34 746	29 809
Ag		9,93				348 258	303 482	260 364
Au	Total	1,32	282 091	245 822	210 897	386 462	336 774	288 926
Ag		12,56				3 541 746	3 086 378	2 647 876

Apesar da composição destas duas classes ser composta pelo mesmo material, os teores médios variam em ambas as classes, em que os fragmentos grosseiros apresentam teores mais baixos que os fragmentos finos.

No caso dos corpos de fragmentos grosseiros, os teores médios de ouro são menores, dos quais apenas um dos corpos tem um teor médio superior a 1,0 g/t. De referir que neste material foram observados fragmentos de materiais *contaminantes* (rocha encaixante sem mineralização), além disso, devido à grande área ocupada por estes materiais e contiguidade com corpos de outros tipos de material, é possível que a prospecção nestes materiais tenha atingido em profundidade outros materiais de escombrelira, contribuindo para teores finais mais baixos comparativamente com os fragmentos finos de *gossan*.

Relativamente aos fragmentos finos, de todos os materiais analisados neste trabalho, estes são os que apresentam teores de ouro elevados de uma forma mais consistente, possuindo todos os corpos teores médios de ouro acima de 1,0 g/t. Por este motivo, constituem o recurso mais importante observado.

10.1.2 Vulcanitos ácidos *gossanizados* (E7)

Neste material verifica-se uma grande variabilidade nos teores médios de ambos os metais nos vários corpos, variando entre 0,08 e 0,97 g/t para o caso do ouro, e 0,60 e 25,52 g/t no caso da prata. Em termos de tonelagem analisada, este é o material com maior representatividade, tendo sido contabilizadas 1 028 100 toneladas com teor médio de 0,54 g/t de ouro e 8,04 g/t de prata.

Tabela 10.3 – Recursos nas escombrelas de vulcanitos ácidos *gossanizados* (classe E7) em função de diferentes volumes de vazios (%_{vz}).

M	Escombrela	Teor médio (g/t)	Tonelagem (t)			Metal contido (g)		
			20% _{vz}	30% _{vz}	40% _{vz}	20% _{vz}	30% _{vz}	40% _{vz}
Au	E7-1	0,97	21 052	18 421	15 789	20 505	17 942	15 379
Ag		25,52				537 195	470 046	402 897
Au	E7-2	0,08	83 752	73 283	62 814	6 782	5 934	5 087
Ag		0,60				49 753	43 534	37 314
Au	E7-3	0,86	73 860	64 627	55 395	63 609	55 658	47 707
Ag		11,07				817 306	715 143	612 980
Au	E7-4	0,63	236 336	206 794	177 252	148 661	130 078	111 496
Ag		7,25				1 713 459	1 499 277	1 285 095
Au	E7-5	0,69	259 920	227 430	194 940	180 440	157 885	135 330
Ag		8,62				2 239 301	1 959 389	1 679 476
Au	E7-6	0,40	258 429	226 125	193 822	102 602	89 777	76 952
Ag		5,76				1 487 872	1 301 888	1 115 904
Au	E7-7	0,34	94 751	82 907	71 063	32 233	28 204	24 175
Ag		15,00				1 421 538	1 243 846	1 066 154
Au	Total	0,54	1 028 100	899 587	771 075	554 832	485 478	416 124
Ag		8,04				8 266 425	7 233 122	6 199 819

10.1.3 Vulcanitos ácidos e xistos argilosos (E8)

O corpo de vulcanitos ácidos e xistos argilosos analisado apresentou um teor médio em ouro elevado, já denunciado pela análise estatística, que não seria de todo espectável neste tipo de materiais devido ao facto desta classe ser composta por fragmentos de rocha encaixante sem mineralização.

Tabela 10.4 – Recursos da escombreira de vulcanitos ácidos e xistos argilosos (classe E8) em função de diferentes volumes de vazios (%_{vz}).

M	Escombreira	Teor médio (g/t)	Tonelagem (t)			Metal contido (g)		
			20% _{vz}	30% _{vz}	40% _{vz}	20% _{vz}	30% _{vz}	40% _{vz}
Au	E8-2	0,74	180 886	157 820	135 968	134 110	117 009	100 808
Ag		7,27				1 315 010	1 147 324	988 464

De referir que estes valores foram estimados a partir de um número muito reduzido de amostras e portanto há que os interpretar com alguma reserva, pois, como mencionado, nestes materiais não era expectável que os teores em ouro e prata fossem muito elevados.

10.1.4 Xistos acastanhados (E9)

De todos os materiais analisados, este é o que possui teores em ouro e prata mais baixos, apresentando teores médios muito semelhantes para os dois metais em ambos os corpos de escombreira analisados. Lembra-se que apenas se fez a estimativa de uma pequena porção da escombreira E9-3 (aproximadamente 5% do volume total), devido à falta de dados que o permitisse fazer a todo o volume do corpo, estimado em cerca de 2 Mm³. Esta classe de escombreira corresponde a rocha estéril sem grande interesse económico, sendo formada por rochas metassedimentares do CVS e eventualmente do PQ.

Tabela 10.5 – Recursos das escombreiras de xistos acastanhados (classe E9) em função de diferentes volumes de vazios (%vz).

M	Escombreira	Teor médio (g/t)	Tonelagem (t)			Metal contido (g)		
			20% _{vz}	30% _{vz}	40% _{vz}	20% _{vz}	30% _{vz}	40% _{vz}
Au	E9-3	0,19	193 668	169 105	145 487	36 500	31 870	27 419
Ag		2,83				546 990	477 616	410 910
Au	E9-5	0,21	286 885	250 500	215 514	59 233	51 721	44 497
Ag		2,70				774 590	676 349	581 887
Au	Total	0,20	480 553	419 605	361 001	95 733	83 591	71 916
Ag		2,75				1 321 580	1 153 965	992 797

10.1.5 Aterros (EA)

Os materiais depositados em aterro apresentam teores médios de ouro algo próximos em todos os corpos, sendo que todos apresentam teores médios superiores a 0,5 g/t de ouro. No caso da prata, a variabilidade dos teores médios é maior, variando entre as 5,47 e 9,39 g/t.

Tabela 10.6 – Recursos nos corpos de aterro considerados para estimação (classe EA) em função de diferentes volumes de vazios (%_{vz}).

M	Escombreira	Teor médio (g/t)	Tonelagem (t)			Metal contido (g)		
			20% _{vz}	30% _{vz}	40% _{vz}	20% _{vz}	30% _{vz}	40% _{vz}
Au	EA-1	0,74	137 580	119 670	102 574	101 363	88 168	75 573
Ag		6,09				837 693	728 644	624 552
Au	EA-2	0,68	193 857	168 621	144 532	130 528	113 536	97 317
Ag		9,39				1 820 202	1 583 253	1 357 074
Au	EA-3	0,61	103 428	89 964	77 112	63 235	55 003	47 145
Ag		6,52				674 506	586 701	502 886
Au	EA-4	0,63	311 467	270 921	232 218	196 356	170 795	146 396
Ag		7,11				2 215 571	1 927 153	1 651 846
Au	EA-5	0,77	573 113	498 506	427 291	446 053	387 987	332 560
Ag		9,13				5 231 363	4 550 357	3 900 306
Au	EA-6	0,58	536 090	466 303	399 688	311 281	270 759	232 079
Ag		5,47				2 931 595	2 549 968	2 185 686
Au	Total	0,67	1 855 535	1 613 985	1 383 415	1 248 816	1 086 248	931 070
Ag		7,39				13 710 930	11 926 075	10 222 350

Os resultados obtidos mostram que, embora se tratem de aterros, estes resíduos apresentam um valor económico interessante. Este facto resulta da constituição dos aterros ser possivelmente repartida entre fragmentos de rocha encaixantes e de chapéu-de-ferro.

10.1.6 Recursos totais nas escombreliras e aterro

Nas tabelas que se seguem encontram-se os recursos para a totalidade dos corpos de escombrelira e aterro analisados neste estudo, reportados para diferentes teores de corte.

Tabela 10.7 – Tonelagens e quantidades totais de ouro contidas nos corpos de escombrelira considerando diferentes teores de corte.

Teor de corte (g/t)	Teor médio (g/t)	Tonelagem (t)			Metal contido (g)		
		20% _{ovz}	30% _{ovz}	40% _{ovz}	20% _{ovz}	30% _{ovz}	40% _{ovz}
<0,10	0,64	4 565 050	3 979 835	3 414 014	2 957 815	2 577 809	2 210 690
0,10	0,67	4 360 583	3 801 275	3 260 793	2 952 531	2 573 194	2 207 001
0,50	0,99	2 359 748	2 056 365	1 763 616	2 342 775	2 041 588	1 750 946
1,00	1,40	943 433	822 202	705 139	1 325 628	1 155 271	990 793
2,00	2,48	50 837	44 286	37 984	126 500	110 203	94 524

Tabela 10.8 – Tonelagens e quantidades totais de prata contidas nos corpos de escombrelira considerando diferentes teores de corte.

Teor de corte (g/t)	Teor médio (g/t)	Tonelagem (t)			Metal contido (g)		
		20% _{ovz}	30% _{ovz}	40% _{ovz}	20% _{ovz}	30% _{ovz}	40% _{ovz}
<1,0	7,3	4 565 050	3 979 835	3 414 014	33 578 269	29 727 254	25 105 329
1,0	7,6	4 426 670	3 858 978	3 310 364	33 555 426	29 252 333	25 088 234
5,0	9,8	2 885 537	2 515 331	2 157 067	28 462 391	24 812 353	21 277 780
10,0	14,3	1 069 169	932 113	799 310	15 332 170	13 367 150	11 462 256
20,0	25,6	90 465	78 869	67 615	2 312 613	2 016 465	1 728 758
30,0	38,4	13 480	11 776	10 097	518 738	453 134	388 546

10.2 Recursos condicionados

De seguida serão apresentados os recursos tendo em consideração as condicionantes à exploração descritas no capítulo 7, no qual foram definidos novos contornos para a delimitação lateral dos modelos. Aplicados os novos limites aos corpos afectos, procedeu-se uma segunda determinação de tonelagens, teores e quantidade de metais, com o intuito de se poder quantificar as perdas de material explorável na prevalência das condicionantes.

10.2.1 Perdas e recursos nos corpos condicionados

Na tabela que se segue encontram-se os recursos de cada um dos corpos afectados pelas condicionantes, assim como a diferença percentual face à totalidade dos mesmos modelos (sem a aplicação das condicionantes).

Tabela 10.9 – Recursos nos corpos de escombreira e aterro afectados pelas condicionantes e diferenças percentuais face aos recursos nos modelos sem condicionantes. E4 – fragmentos grosseiros de *gossan*; E5 – fragmentos finos de *gossan*; E7 – vulcanitos ácidos *gossanizados*; E8 – vulcanitos ácidos e xistos argilosos; E9 – xistos acastanhados; EA – Aterros.

M	Corpo	Teor médio (g/t)	Tonelagem (t)				Dif.	Metal contido (g)			
			20% vz	30% vz	40% vz			20% vz	30% vz	40% vz	Dif.
Au	E4-6	0,83	53 498	46 619	39 996	-13,2%	44 376	38 671	33 176	-11,8%	
Ag		8,49					453 807	395 461	339 275	-10,8%	
Au	E5-1	1,32	61 005	53 162	45 609	-22,4%	80 552	70 196	60 222	-25,1%	
Ag		14,44					881 306	767 995	658 881	-26,6%	
Au	E5-2	1,44	153 720	133 956	114 924	-8,7%	221 420	192 952	165 538	-7,3%	
Ag		12,04					1 850 940	1 612 362	1 383 798	-7,1%	
Au	E7-3	0,89	70 577	61 755	52 932	-4,4%	62 730	54 889	47 048	-1,4%	
Ag		11,44					807 749	706 781	605 812	-1,2%	
Au	E7-6	0,36	120 658	105 575	90 493	-53,3%	43 525	38 085	32 644	-57,6%	
Ag		4,86					585 509	512 321	439 132	-60,6%	
Au	E8-2	0,75	175 075	152 750	131 600	-3,2%	130 700	114 033	98 244	-2,5%	
Ag		7,24					1 267 206	1 105 616	952 531	-3,6%	
Au	E9-5	0,21	284 474	248 395	213 703	-0,8%	58 727	51 279	44 117	-0,9%	
Ag		2,70					768 081	670 666	576 997	-0,8%	

Tabela 10.9 - Recursos nos corpos de escombreira e aterro afectados pelas condicionantes e diferenças percentuais face aos recursos nos modelos sem condicionantes (continuação).

M	Corpo	Teor médio (g/t)	Tonelagem (t)				Metal contido (g)			
			20% vz	30% vz	40% vz	Dif.	20% vz	30% vz	40% vz	Dif.
Au	EA-1	0,75	133 361	116 001	99 429	-3,1%	99 940	86 930	74 511	-1,4%
Ag		6,18					824 193	716 902	614 487	-1,6%
Au	EA-2	0,69	175 657	152 790	130 963	-9,4%	120 430	104 753	89 788	-7,7%
Ag		9,54					1 676 229	1 458 022	1 249 733	-7,9%
Au	EA-3	0,59	66 079	57 477	49 266	-36,1%	38 764	33 717	28 901	-38,7%
Ag		6,74					445 487	387 495	332 139	-34,0%
Au	EA-4	0,65	261 401	227 372	194 891	-16,1%	169 607	147 528	126 452	-13,6%
Ag		7,46					1 949 418	1 695 647	1 453 412	-12,0%
Au	EA-5	0,68	167 614	145 795	124 967	-70,8%	114 330	99 447	85 240	-74,4%
Ag		8,79					1 473 660	1 281 822	1 098 705	-71,8%
Au	EA-6	0,61	466 401	405 686	347 731	-13,0%	282 248	245 506	210 434	-9,3%
Ag		5,62					2 622 957	2 281 507	1 955 577	-10,5%
Au	Total	0,67	2 189 520	1 907 333	1 636 504	-26,2%	1 467 349	1 277 986	1 096 315	-26,6%
Ag		7,13					15 606 543	13 592 596	11 660 479	-28,4%

Consideradas as áreas com condicionantes à exploração, alguns dos corpos com teores de ouro mais significativos perdem uma parte considerável do volume explorável, podendo-se destacar a classe dos fragmentos finos de *gossan* (classe E5) em que o corpo E5-1 diminui 22,4% da sua massa, equivalendo a uma perda de 25,1% da sua quantidade de ouro e 26,6% da de prata.

No total verifica-se uma diminuição de 26,2% do volume explorável dos corpos afectados pela proximidade de património mineiro e das zonas de habitação, significando uma redução de 26,6% da quantidade de ouro e 28,4% da quantidade de prata neste conjunto de corpos.

10.2.2 Perdas e recursos totais condicionados

Na tabela que se segue apresentam-se as reduções percentuais das tonelagens e quantidades de ouro e prata nas várias classes de material, imposta pela aplicação das condicionantes à exploração.

Tabela 10.10 – Perdas de tonelagem e de quantidades de ouro e prata nos materiais de escombreira e aterro devidas às condicionantes da exploração.

Classe	Tonelagem	Ouro contido	Prata contida
Fragmentos grosseiros de <i>gossan</i> (E4)	-1,1%	-1,1%	-1,0%
Fragmentos finos de <i>gossan</i> (E5)	-11,4%	-11,6%	-13,0%
Vulcanitos ácidos <i>gossanizados</i> (E7)	-13,7%	-10,8%	-11,0%
Vulcanitos ácidos e xistos (E8)	-3,2%	-2,5%	-3,6%
Xistos acastanhados (E9)	-0,5%	-0,5%	-0,5%
Aterros (EA)	-31,5%	-33,9%	-34,4%
Total	-17,0%	-18,2%	-18,5%

Como se observa pela análise tabela, a classe de material mais afectada é a dos materiais depositados em aterro (classe EA), cujos volumes nos quais se fez a estimação de recursos se reduz em 31,5%, correspondendo a uma diminuição de 33,9% de ouro e 34,4% de prata exploráveis nesses corpos. Esta grande percentagem de área reduzida deve-se ao facto da maioria da prospecção nestes materiais ter sido efectuada na zona da aldeia, onde grande parte do material se encontra subjacente aos edifícios.

A segunda classe de material mais afectada pelas condicionantes é a dos vulcanitos ácidos *gossanizados* (classe E7), cujo volume se reduz em 13,7%, significando uma diminuição de 10,8% de ouro e 11,0% de prata. A redução de área explorável nestes materiais deve-se apenas corpo E7-6, localizado a norte da corta, em que a exploração está condicionada pela sobreposição da área de protecção dada a esse local devido à existência de galerias romanas.

Dois dos três corpos de fragmentos finos de *gossan* (classe E5) são afectados, significando uma redução do volume explorável em 11,4%, que se traduz numa diminuição de 11,6% do ouro contido e 13,0% da prata nesta classe de material. No caso do corpo E5-1, a redução deve-se à proximidade dos edifícios das cavalariças e da central eléctrica. No caso do corpo E5-2, a área condicionada deve-se à proximidade de edifícios de habitação.

O corpo de vulcanitos ácidos e xistos argilosos (classe E8) reduz-se 3,2%, reduzindo respectivamente as quantidades de ouro e prata em 2,5% e 3,6%, devido à proximidade de um conjunto de edifícios de habitação.

A tonelagem de fragmentos grosseiros de *gossan* (classe E4) não diminui significativamente, sendo apenas uma porção de um dos quatro corpos afectada (corpo E4-6) pela proximidade do edifício das antigas cavaliariças, resultando na diminuição de apenas 1,1% do volume de material, e 1,1% da quantidade de ouro e 1,0% da quantidade de prata.

A tonelagem de xistos acastanhados reduz-se em apenas 0,5%, sendo que esta redução tem pouco impacto na quantidade de ouro e prata totais (também 0,5%).

Considerando todos os corpos de escombreira e zonas de aterro, no total haverá uma restrição à exploração de 17,0% do volume total dos materiais abrangidos neste estudo que, considerando o volume de vazios mais baixo (20%_{vz}), corresponde a uma diminuição de 774 722 t, significando uma diminuição de 17 295 oz t (onças troy) de ouro e 199 383 oz t de prata. Se considerado o volume de vazios mais elevado (40%_{vz}), o volume explorável terá um decréscimo de 576 896 t, significando uma diminuição de 12 718 oz t de ouro e 147 946 oz t de prata.

A tonelagem total dos materiais analisados será assim de 3 790 328 t para no caso do menor volume de vazios (20%_{vz}), e de 2 835 652 t no caso do maior volume de vazios (40%_{vz}), com teores médios de 0,63 g/t de ouro e 7,20 g/t de prata (tabelas 10.11 e 10.12).

Tabela 10.11 – Recursos totais condicionados em função de diferentes teores de corte, para diferentes valores de volume de vazios (%_{vz}).

Teor de corte (g/t)	Teor médio (g/t)	Tonelagem (t)			Metal contido (g)		
		20% _{vz}	30% _{vz}	40% _{vz}	20% _{vz}	30% _{vz}	40% _{vz}
<0,1	0,63	3 790 328	3 305 145	2 835 652	2 419 889	2 109 506	1 809 509
0,1	0,67	3 593 421	3 133 182	2 688 086	2 414 865	2 105 119	1 805 745
0,5	1,00	1 910 679	1 665 389	1 428 456	1 907 029	1 662 282	1 425 783
1,0	1,40	776 402	676 866	580 548	1 091 952	951 940	816 481
2,0	2,44	43 413	37 820	32 439	106 270	92 581	79 409

Tabela 10.12 – Recursos totais condicionados em função de diferentes teores de corte, para diferentes valores de volume de vazios (%_{vz}).

Teor de corte (g/t)	Teor médio (g/t)	Tonelagem (t)			Metal contido (g)		
		20% _{vz}	30% _{vz}	40% _{vz}	20% _{vz}	30% _{vz}	40% _{vz}
<1,0	7,2	3 790 328	3305 145	2 835 652	27 376 759	23 872 342	20 476 280
1,0	7,5	3 657 174	3188 843	2 735 905	27 355 467	23 853 771	20 460 342
5,0	9,8	2 370 715	2066 939	1 772 691	23 142 107	20 179 693	17 306 424
10,0	14,0	866 687	755 846	648 202	12 170 896	10 615 404	9 103 252
20,0	25,9	65 915	57 506	49 299	1 707 848	1 490 146	1 277 507
30,0	38,5	11 380	9 946	8 527	438 854	383 521	328 823

11 ANÁLISE FINAL

11.1 Modelação tridimensional dos corpos de escombreira e de aterro

Durante a análise inicial dos dados da campanha de prospecção da CONASA, verificou-se que a maioria das cotas da boca das sondagens e poços não era concordante com a superfície do modelo digital do terreno. Devido a esse facto, toda a informação altimétrica dos levantamentos de prospecção foi ajustada de modo a tornar-se coincidente com a superfície do modelo, e assim poder-se utilizar para a delimitação superior dos modelos tridimensionais. Não foi possível conhecer a razão desta discrepância, presumindo-se que se possa dever à falta de resolução espacial da informação utilizada na construção do MDT original (10 m), ou a erros na localização dos pontos, pois desconhece-se qual o método utilizado pela CONASA para a obtenção de coordenadas e, portanto, a sua precisão.

Durante a análise visual do modelo digital do terreno actual no *software* ArcMap, verificou-se que a superfície modelada não possuía resolução suficiente que permitisse representar alguns dos detalhes observados no campo, nomeadamente as discontinuidades existentes no sector leste da corta (planos de subsidência). A não inclusão destas características morfológicas no MDT iria apresentar um problema na correcta definição da geometria dos corpos de escombreira depositados nas imediações desses locais, pois a superfície encontrava-se localmente muito suavizada, o que se traduzia numa incorrecta representação do topo destes corpos. Idealmente, esta informação deveria ter sido recolhida com maior detalhe, de modo a obter-se um modelo representativo da superfície do terreno e assim poder-se determinar com maior precisão a geometria da superfície dos corpos de escombreira. No entanto, face à impossibilidade de recolher essa informação e como forma de incluir essas características morfológicas, adicionaram-se, durante o processo de interpolação do modelo, essas discontinuidades de um modo *artificial*, através da definição de barreiras à interpolação que permitissem aproximar essas zonas do modelo ao que se verifica na realidade.

A superfície de base dos corpos de escombreira e de aterro foi modelada exclusivamente a partir de informação proveniente da campanha de prospecção, nomeadamente das cotas da base dos furos de sondagem e poços. Durante a análise do modelo experimental verificou-se que a superfície se encontrava muito irregular em alguns locais, indicando a possibilidade da base de alguns dos pontos de prospecção não corresponder exactamente à superfície original do terreno. De forma a contornar este problema, fez-se uma reinterpretação da informação amostral obtida nos furos de sondagem, na qual se teve em consideração a informação geoquímica obtida nos intervalos inferiores, especulando-se que os mesmos pudessem corresponder a rocha do

substrato, e não a material de escombreira, o que explicaria essa superfície irregular. Como tal, para efeitos de modelação, removeram-se as amostras com teores muito baixos ($Au \leq 0,10$ g/t; $Ag \leq 1,0$ g/t), que se julgou corresponderem aos limites de detecção dos equipamentos de medição utilizados, e logo possivelmente resultantes da análise química a fragmentos estéreis. Como resultado desta decisão, obteve-se um modelo com uma superfície muito mais regular, mais próxima do que se julgou ser uma boa aproximação à realidade. Como forma de aferir a qualidade desse modelo, procedeu-se à construção da rede de drenagem do local a partir do mesmo, com o intuito de a comparar àquela existente originalmente no terreno, ou seja, antes da deposição dos materiais em escombreira e aterro. Essa comparação revelou a existência de uma relação entre as duas redes de drenagem, reforçando que o modelo criado estará próximo da realidade.

Uma das maiores limitações da informação contida nos relatórios da campanha de prospecção para a definição dos limites dos corpos de escombreira e aterro, foi a falta de um *log* geológico em cada um dos furos de sondagens e poços realizados pela CONASA. Uma vez que não havia nenhuma informação qualitativa sobre o material em profundidade, suspeita-se que, pela interpretação da informação geoquímica e pela observação da forma como as escombreiras foram dispostas à superfície, os volumes modelados possam, por vezes, ser compostos por diferentes corpos de escombreira, com composições litológicas distintas. De seguida serão apresentadas algumas das dúvidas encontradas ao longo do processo de modelação.

11.1.1 Limites entre corpos de escombreira contíguos

O processo de definição dos polígonos utilizados para a delimitação lateral de cada um dos corpos de escombreira e aterro, teve apenas como base a informação observada à superfície do terreno. Desconhece-se, portanto, como varia o contacto entre corpos contíguos em profundidade, pois não se dispunha de qualquer informação que permitisse inferir a geometria das escombreiras nessas zonas. Face a este desconhecimento, o limite entre corpos foi considerado vertical, assumindo-se assim que a transição de material entre corpos contíguos se dá de forma súbita na horizontal. A interpretação da informação geoquímica de alguns dos pontos de prospecção localizados na proximidade das zonas de limite entre escombreiras parece indicar que a geometria dos taludes é, contrariamente ao que foi definido para fins de modelação, inclinada. Na figura que se segue apresenta-se uma esquematização da abordagem seguida, e da disposição dos limites entre corpos em profundidade inferida com base na informação da prospecção.

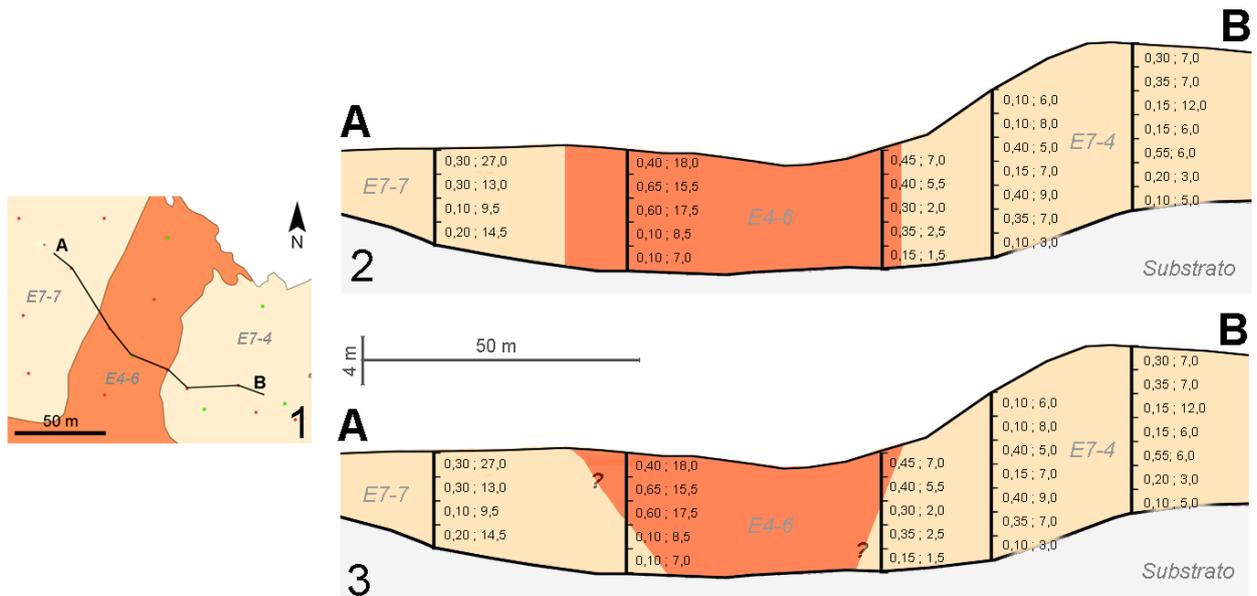


Figura 11.1 – Esquema de um corte entre o limite de três corpos de escombreira contíguos. 1) Vista em planta de parte da área ocupada pelos corpos de escombreira E4-6, E7-4 e E7-7; 2) Corte do perfil A-B em que a fronteira entre os corpos foi considerada como vertical; 3) Corte do perfil A-B com uma interpretação da informação geoquímica para a definição dos limites entre escombreira em profundidade.

Pela interpretação da informação geoquímica dos furos de sondagem representados nos esquemas 2 e 3 da figura anterior, e sabendo que os teores de ouro e prata nos materiais da classe fragmentos grosseiros de *gossan* (classe E4) são em média superiores aos da classe de vulcanitos ácidos *gossanizados* (classe E7), poder-se-ia considerar que as amostras com teores mais baixos das sondagens próximas do limite entre materiais possam corresponder a material da classe E7, indicando que nesse local os taludes dos corpos E7-4 e E7-7 possam ter uma disposição semelhante à esquematizada na imagem 3 da figura 11.1. No entanto, como não se pode assumir isto com certeza, podendo os valores dessas amostras resultar de uma zona da escombreira de *gossan* com teores mais baixos, nem se dispõe de informação suficiente que permita definir a totalidade da extensão dos contactos, definiu-se o contacto entre os dois materiais como sendo vertical; no entanto é improvável que isto corresponda à realidade.

A título de exemplo da situação anteriormente descrita, apresenta-se na imagem seguinte o modelo de blocos do corpo E7-6 após a delimitação pelas superfícies e polígonos definidos no capítulo 7. Note-se que algumas laterais do corpo terminam na vertical, devido à contiguidade com um outro corpo de escombreira (corpo E4-9). Na lateral norte isso não acontece, pois nesse local não existe outro corpo de escombreira, sendo a demarcação desse sector do modelo feita pela superfície da base do terreno e da superfície do topo do corpo de escombreira. Esta seria

situação que idealmente deveria acontecer em toda a extensão dos limites laterais de escombreira, em que a demarcação do modelo seria feita apenas por duas superfícies (a base e o topo do corpo escombreira), sem a necessidade de utilizar os polígonos delimitadores.

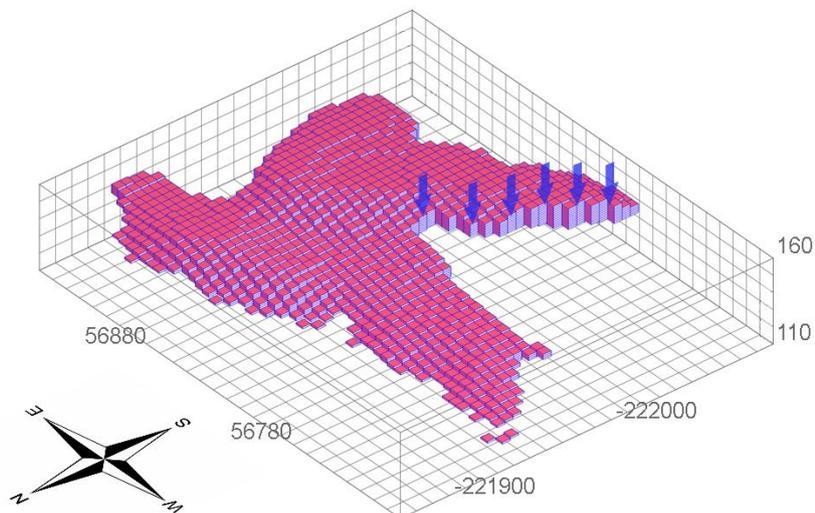


Figura 11.2 - Modelo de blocos do corpo E7-5 após a sua demarcação pelas superfícies do terreno (superior e inferior) e pelo respectivo polígono delimitador. Na zona indicada pelas setas é possível observar que limite do modelo é vertical, devido à contiguidade com um outro corpo de escombreira (E4-9). Coordenadas em metros, no sistema Hayford-Gauss, Datum 73 (dimensão da quadrícula: 10 metros).

Esta falta de detalhe terá impacto nos volumes dos modelos, havendo em alguns casos uma sobrestimação, e noutros, subestimação do volume do corpo modelado. Tendo em conta o caso exemplificado na figura 11.1, o volume do corpo E4-6 terá sido localmente sobrestimado, tendo havido uma diluição dos teores médios devido à inclusão de amostras com teores mais baixos, presumivelmente de vulcanitos ácidos (classe E7), contribuindo para a diminuição dos teores médios estimados nesse corpo de escombreira.

11.1.2 Sobreposição de diferentes materiais no mesmo corpo de escombreira

Um outro problema que afecta a qualidade dos modelos tridimensionais definidos para cada corpo de escombreira e aterro será a eventual existência de diferentes materiais em profundidade. Uma vez que a informação geoquímica da prospecção não é acompanhada por um *log* geológico, com a descrição dos materiais amostrados ao longo dos poços e furos de sondagem, não é possível estabelecer uma fronteira entre diferentes classes de escombros.

No mapa da mina de São Domingos, datado do início da concessão da mina (Ribeiro, 1857, *in* Custódio, 1999), regista-se uma área de escoriais romanos com aproximadamente 205 800 m², dos quais ainda hoje se pode observar *in situ* cerca de 29 300 m² (figura 11.3). Parte da área ocupada por estes materiais nos tempos anteriores à exploração moderna é hoje em dia ocupada por alguns dos corpos de escombreira depositados durante a época moderna (1854-1966). Durante a campanha de prospecção realizada pela CONASA, foram encontrados nos fragmentos de perfuração pedaços de cerâmica datados do período romano (Matos *et al.*, 2011), indicando que os escoriais romanos ainda se encontram debaixo de algumas das escombreiras depositadas no período moderno.

Análises químicas efectuadas nos escoriais do período romano actualmente existentes na mina (figura 11.3), indicaram teores médios em ouro e prata relativamente elevados (2,19 g/t Au e 74,5 g/t Ag) (Mateus *et al.*, 2011).

Durante a execução da superfície da base das escombreiras (MDT inferior), constatou-se que em algumas sondagens, os intervalos com teores mais elevados eram aqueles imediatamente acima da superfície do terreno original, verificando-se diferenças consideravelmente superiores face aos teores dos restantes intervalos (figura 11.4).

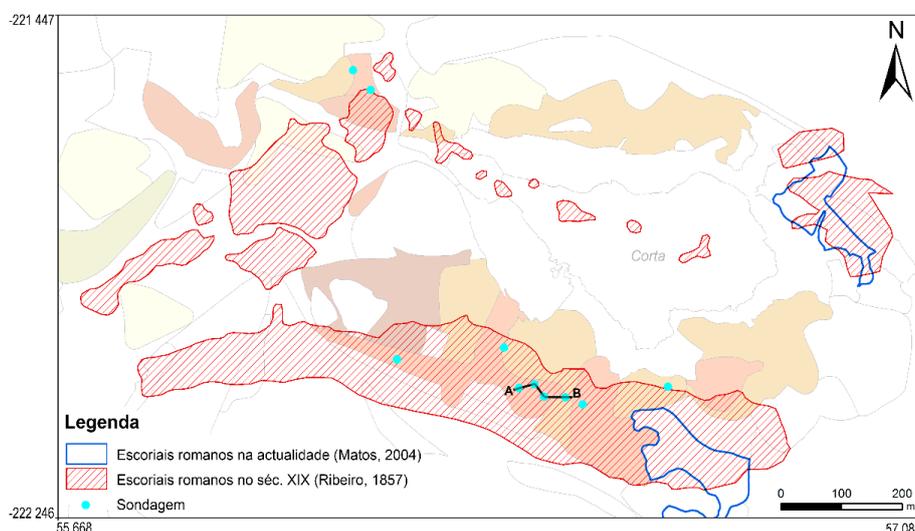


Figura 11.3 – Área ocupada pelos escoriais romanos antes e após a exploração moderna da mina (adaptado de Matos, 2004; Ribeiro, 1857). No mesmo mapa encontra-se a localização das sondagens da CONASA com teores de ouro e/ou prata elevados (Au > 1 g/t; Ag > 15 g/t) no intervalo da base da escombreira (terreno original). Coordenadas em metros, no sistema Hayford-Gauss, Datum 73.

Uma possível explicação para a existência destas diferenças tão evidentes poderá dever-se à presença de escoriais romanos nas camadas inferiores dos escombros, mais ricos em ouro e

prata, que resultam em amostras com teores comparativamente mais elevados. No esquema da figura encontra-se uma exemplificação gráfica desta ocorrência.

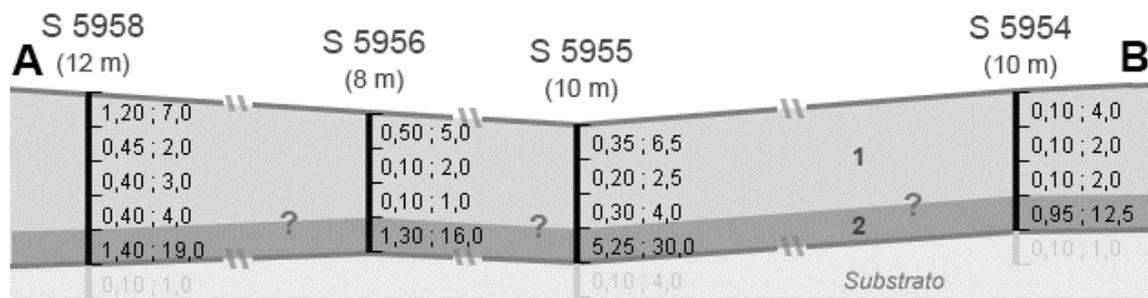


Figura 11.4 - Esquema do corte A-B da figura 11.3: Os últimos intervalos das sondagens apresentam teores em ouro e prata elevados comparativamente aos restantes, indicando a possibilidade desses valores corresponderem a um material distinto, mais rico em metais preciosos. Legenda: 1) Escombreira moderna (fragmentos de *gossan* e de rocha encaixante); 2) Escoriais romanos. Teores de Au no lado esquerdo, teores de Ag no lado direito, expressos em g/t.

Idealmente, esta ocorrência deveria implicar que se fizesse uma separação entre materiais, de modo a criar duas zonas distintas no modelo de blocos, nas quais se realizariam as estimações de um modo independente. No entanto, a falta de *logs* detalhados dos poços e sondagens da CONASA e o número reduzido de furos em que isto se pode afirmar com alguma certeza (amostras finais com teores claramente superiores às restantes), é muito pequeno tendo em conta a área que se estima ocupada pelos escoriais na base das escombreiras em análise (cerca de 149 085 m²). Assim, devido ao facto de existir uma quantidade tão diminuta de informação, optou-se por não aumentar a complexidade dos modelos. Como tal, todo o material foi considerado como sendo pertencente a uma única entidade, embora tendo-se a consciência de que isto poderá afectar as estimações, existindo a possibilidade de ocorrer uma subestimação das tonelagens com teores mais elevados. De referir que, durante o processo de estimação, na escolha dos raios verticais de procura de amostras se tenham definido distâncias de poucos metros, por forma a minorar esse problema.

11.2 Estimações dos teores de ouro e prata nos modelos dos corpos de escombreira e aterro

Uma das dificuldades sentidas na realização deste trabalho foi a escolha do algoritmo de estimação a utilizar. Os dados da amostragem, por vezes muito dispersos e em pequena quantidade e o tipo de material, com muita variabilidade espacial dos teores, dificultaram a escolha. Inicialmente pretendia-se utilizar o estimador *krigagem* normal, atendendo ao facto que, com este método é possível estudar a correlação espacial entre as amostras e fornecer informação acerca da incerteza das estimações. Este tipo de interpolador é normalmente aplicado em depósitos minerais *in situ*. No caso em estudo os depósitos são constituídos por rocha fragmentada, removida da localização original e depositada em escombreiras. Como tal, a continuidade da mineralização poderá ter sido completamente destruída, ao ponto de não ter qualquer reprodução nas pilhas de escombros.

Inicialmente precedeu-se à realização de um estudo variográfico em alguns dos corpos com maior quantidade de dados e com uma distribuição da prospecção mais regular, de modo a verificar se existia alguma continuidade espacial dos teores de ouro e prata nesses corpos. Para tal construíram-se inicialmente variogramas omnidireccionais experimentais relativos (com uma transformação logarítmica dos dados, devido à natureza lognormal das distribuições dos teores (Anexo 2)). Os variogramas experimentais obtidos revelaram-se indefinidos, difíceis de modelar, com efeitos pepita elevados, indicando uma distribuição de teores aleatória e sem uma continuidade característica. Deste modo, considerou-se que os dados não reuniam as condições necessárias para a utilização deste estimador. Não se realizaram variogramas direccionais, pois os resultados obtidos nos omnidireccionais e a pequena quantidade e distribuição muito irregular das amostras, fazia prever variogramas direccionais com poucos pares de pontos, e consequentemente, sem robustez suficiente que permitisse tirar quaisquer conclusões.

Face à impossibilidade de utilizar o estimador *krigagem* normal, todas as estimações fizeram-se com recurso ao método do Inverso de uma Potência das Distâncias, tendo-se definido o quadrado como potência. Este método apresenta algumas limitações, nomeadamente uma sensibilidade aos teores extremos (muito baixos e muito elevados), e uma suavização dos dados estimados. Ainda assim decidiu-se utilizar este método face aos outros métodos clássicos e igualmente sem garantia de uma melhor estimação dos dados.

Os valores obtidos nas estimações indicam que, de modo geral, os modelos construídos apresentam correlação com os dados originais. No entanto, tal não é sinónimo da qualidade desses mesmos modelos, apenas indica que as estimativas feitas para os blocos honram a

informação original. No entanto, face à natureza dos materiais, muito heterogêneos na sua composição, constituída por vários tipos de rocha e sem grande continuidade espacial dos teores de ouro e prata, haverá que interpretar os resultados das estimações com alguma reserva. Importa também referir que o método interpolativo utilizado tem por base critérios estritamente geométricos, tratando-se de um método determinista que não apresenta qualquer medida de incerteza.

11.3 Recursos nas escombrelras e zonas de aterro

Os recursos minerais são normalmente divulgados acima de um determinado teor de corte (*cut-off grade*), ou seja, acima de um teor mínimo a partir do qual se considera economicamente viável a exploração e processamento do minério. A definição deste valor está sujeita a uma série de factores económicos e mineiros, que variam de acordo com as especificidades do caso de estudo, assim como com as cotações dos produtos minerais, neste caso, do ouro e prata. O cálculo deste valor é um procedimento algo complexo, e fora do âmbito dos objectivos definidos para esta dissertação, pelo que não se efectuaram quaisquer estudos que visassem a definição destes valores para as escombrelras e aterros de São Domingos.

No capítulo 10, apresentaram-se os recursos para cada um dos corpos de escombrelras e aterro, assim como os recursos totais estimados para a totalidade dos materiais analisados. Neste último caso, os valores foram declarados em função de vários teores de corte, colocados com o intuito de conceder uma noção da distribuição dos teores na totalidade dos materiais analisados. No entanto, dada a pouca continuidade espacial de teores, uma eventual exploração das escombrelras e aterros irá muito provavelmente implicar o processamento de grande parte ou da totalidade do material de cada corpo de escombrelra. Como tal, não fará muito sentido definir teores de corte dentro dos corpos, pois será difícil definir zonas com teores mais elevados, fazendo por isso mais sentido atribuir uma tonelagem e um teor médio em ouro e prata para cada um dos corpos.

Alguns dos corpos apresentaram teores de ouro e prata muito baixos, pelo que o processamento dos materiais dos mesmos provavelmente não será economicamente viável. Em consideração deste pressuposto, procurou-se encontrar um teor mínimo de ouro e de prata que permita fazer uma distinção entre os corpos com potencial para exploração daqueles com pouco potencial. Para tal, procuraram-se casos semelhantes para se obter teores de corte que pudessem ser utilizados como referência no caso em estudo, embora tendo em mente que estes valores são específicos para cada exploração, e portanto, serão considerados unicamente como valores de referência.

Os valores de teor de corte não estão normalmente disponíveis ao público, sendo raramente divulgados pelas empresas de exploração, pelo que a procura de valores de referência se limitou à análise de estudos de viabilidade económica e de declarações de recursos e reservas (*resources and reserves statements*) de algumas explorações mineiras que se consideraram ser próximas do caso em estudo. Para o caso do ouro, foram encontrados exemplos relativos à exploração de resíduos depositados em escombrelra. Para o caso da prata apenas foi

encontrada informação sobre explorações mineiras a céu aberto e em subterrâneo, sendo que se optou pelos valores das primeiras, uma vez que estas oferecem custos de exploração mais baixos, e como tal, os teores de corte aplicados serão também mais baixos.

Alguns dos teores de corte resultantes dessa pesquisa encontram-se na tabela 11.1.

Tabela 11.1 – Exemplos de teores de corte aplicados actualmente em explorações mineiras de ouro e de prata.

Exemplo	Tipologia	Teor de corte Au (g/t)	Teor de corte Ag (g/t)
Orefinders, 2013	Escombreiras	0,45	-
Laurion, 2013	Escombreiras	0,50	-
Quaterra, 2012	Mina a céu aberto	-	15,00
Silver Bull, 2013	Mina a céu aberto	-	15,00

Pela observação da tabela, para o caso da prata, verifica-se que os teores de corte aplicados nos casos tomados como exemplo são aproximadamente o dobro do teor médio estimado nas escombreiras e aterros analisados (7,30 g/t). Caso se adoptasse este valor (15,0 g/t Ag) como teor de corte, apenas três dos corpos o iriam igualar ou ultrapassar (corpos E5-1, E7-1 e E7-7). No entanto, há que considerar o facto de esses teores provirem de minas a céu aberto, pelo que o cálculo dos mesmos teve em conta todos os custos relacionados com a extracção do minério. No caso dos materiais de São Domingos, esses custos serão comparativamente menores, logo, o teor de corte para este metal poderá ser também menor.

Relativamente ao caso do ouro, os teores médios estimados são superiores ao teor mínimo de corte encontrado (0,45 g/t) em 17 dos corpos (correspondentes a 72% do material não condicionado). Assim, para fins de contabilização final de recursos, será contemplado um caso em que apenas serão considerados os corpos cujos teores médios em ouro se encontram acima desse valor de referência, até porque, de modo geral, os corpos com teores mais elevados em ouro são também os que contêm teores mais elevados em prata, não se justificando definir um teor de exclusão para o caso da prata.

De seguida serão apresentados os recursos finais para três situações distintas:

- **caso 1** - recursos estimados na totalidade dos volumes analisados;
- **caso 2** - recursos estimados nos volumes não afectados pelas condicionantes à exploração;

- **caso 3** - recursos estimados nos volumes não afectados pelas condicionantes à exploração, tendo em conta um teor de corte para o ouro de 0,45 g/t.

Caso 1 – Recursos totais nas escombreyras e zonas de aterro

Aqui considera-se a totalidade dos materiais de escombreyra e de aterro sobre os quais incidu este trabalho, sendo que face às condicionantes à exploração existentes no terreno, e aos baixos teores médios em ouro e prata estimados em alguns dos corpos de escombreyra, corresponderá ao cenário menos provável.

Tabela 11.2 – Recursos na totalidade do volume das escombreyras e zonas de aterro analisados.

Metal	Teor médio (g/t)	Tonelagem (t)			Metal contido (g)		
		20% _{ovz}	30% _{ovz}	40% _{ovz}	20% _{ovz}	30% _{ovz}	40% _{ovz}
Au	0,64	4 565 050	3 979 835	3 414 014	2 957 815	2 577 809	2 210 690
Ag	7,30				33 578 269	29 727 254	25 105 329

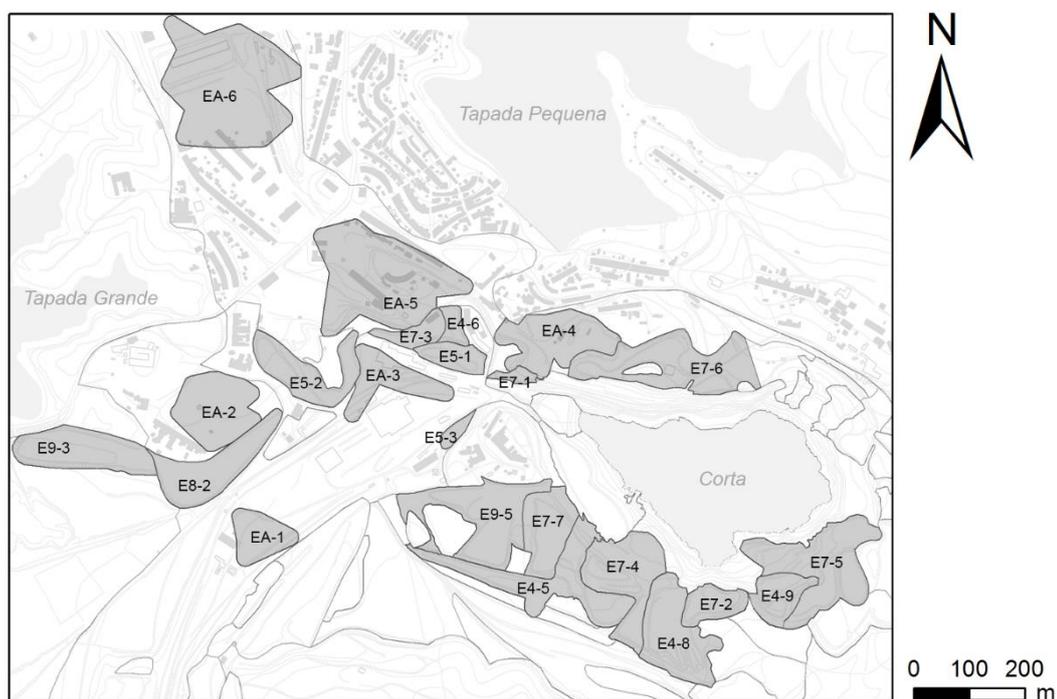


Figura 11.5 – Áreas consideradas no caso 1: todos os corpos de escombreyra e aterro abrangidos pelo estudo.

Caso 2 – Recursos no volume não condicionado das escombreyras e áreas de aterro

Para este caso consideram-se apenas os volumes das escombreyras e zonas de aterro não afectadas pelas condicionantes à exploração, o que corresponde a um cenário em que todos os corpos de material são tidos em consideração, sendo apenas excluídos os volumes com exploração condicionada.

Tabela 11.3 – Recursos no volume não condicionado dos corpos de escombreyras e zonas de aterro.

Metal	Teor médio (g/t)	Tonelagem (t)			Metal contido (g)		
		20% _{ovz}	30% _{ovz}	40% _{ovz}	20% _{ovz}	30% _{ovz}	40% _{ovz}
Au	0,63	3 790 328	3 305 145	2 835 652	2 419 889	2 109 506	1 809 509
Ag	7,20				27 376 759	23 872 342	20 476 280

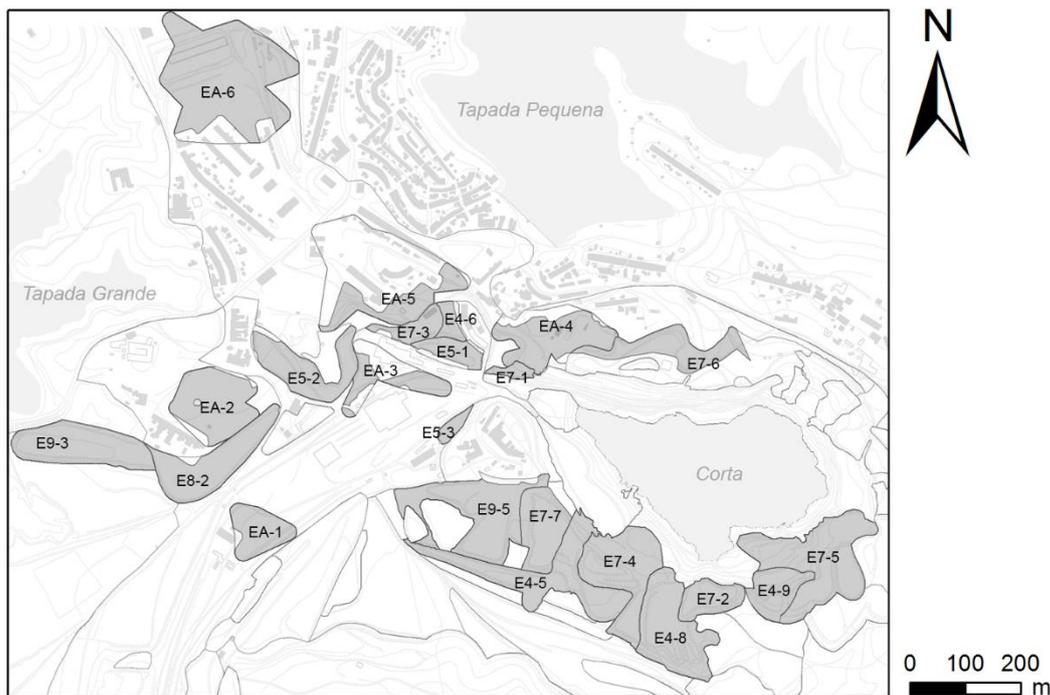


Figura 11.6 – Áreas consideradas no caso 2: escombreyras e zonas de aterro não afectadas pelas condicionantes à exploração.

Caso 3 – Recursos nos corpos de escombreira e zonas de aterro com teores médios de ouro acima de 0,45 g/t

Este será o cenário que se poderá considerar como o mais provável, em que apenas são contabilizados os volumes não condicionados dos corpos de escombreira e de aterro, com teores médios acima de um hipotético teor de corte (0,45 g/t), ou seja, apenas se consideram os volumes dos materiais com maior potencial para exploração.

Tabela 11.4 – Recursos no volume não condicionado dos corpos de escombreira e de aterro, com teores médios de ouro acima de 0,45 g/t.

Metal	Teor médio (g/t)	Tonelagem (t)			Metal contido (g)		
		20% _{ovz}	30% _{ovz}	40% _{ovz}	20% _{ovz}	30% _{ovz}	40% _{ovz}
Au	0,77	2 737 237	2 385 550	2 045 908	2 123 065	1 850 384	1 587 058
Ag	8,26				22 604 106	19 703 678	16 898 521

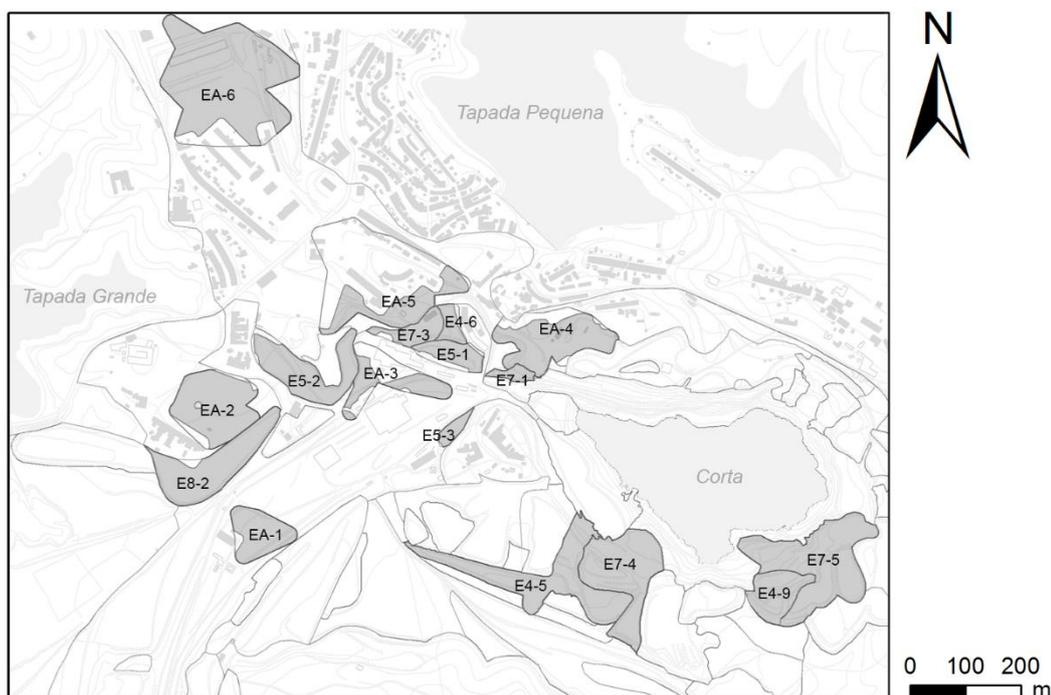


Figura 11.7 – Áreas consideradas no caso 3: escombreiras e zonas de aterro com teores médios de ouro acima 0,45 g/t.

Os valores estimados nos três casos anteriormente considerados correspondem aos recursos mineiros dos materiais estudados, os quais podem ser classificados de acordo com o grau de confiança nas estimações, em três categorias: *inferidos*, *indicados* e *medidos* (NI 43-101, 2011; JORC Code, 2012). São classificados como *recursos inferidos* aqueles estimados com base numa quantidade de amostragem limitada e, conseqüentemente, com um baixo nível de fiabilidade, nos quais as tonelagens e teores não estão estabelecidos com grande certeza. A categoria *recursos indicados* refere-se aos recursos minerais para os quais se encontram estabelecidos os volumes, teores, densidades, forma e características físicas, de modo a que as estimativas obtidas são confiáveis, existindo informação suficiente para que possam ser considerados para efeitos de planeamento mineiro e de estudo da viabilidade económica. Consideram-se *recursos medidos* aqueles em que os volumes, teores, densidades, forma e características físicas se encontram estimados com um grau de confiança suficiente que permita realizar um planeamento mineiro detalhado e uma avaliação final da viabilidade económica do depósito.

Durante a execução deste trabalho foram encontrados alguns factores que contribuem para a incerteza dos volumes, tonelagens e teores em cada um dos modelos, podendo destacar-se os seguintes:

- desconhecimento da forma dos corpos de escombreira em detalhe e a sua provável constituição por zonas compostas de diferentes materiais;
- desconhecimento da massa volúmica das várias classes de material;
- pequena quantidade e distribuição aleatória da malha de prospecção;
- fraca continuidade espacial dos teores de Au e Ag nos materiais;
- o facto de parte dos recursos terem sido estimados por extrapolação de amostras, em alguns casos a uma distância superior ao espaçamento médio da malha de prospecção.

Face a todos os factores enumerados, poder-se-á dizer que os recursos estimados deverão enquadrar-se na primeira categoria mencionada – *recursos inferidos*.

11.3.1 Nota sobre os recursos dos corpos afectados pelas condicionantes à exploração

Na exploração dos materiais nas zonas condicionadas, o caso mais problemático terá a ver com as zonas de aterro, subjacentes aos edifícios habitacionais da aldeia e cuja remoção implicará a demolição de algumas dessas infra-estruturas, obrigando inevitavelmente à remobilização de parte da população da aldeia, incrementando os custos sociais e económicos associados à exploração.

Relativamente aos materiais depositados em escombreira é possível que em alguns dos corpos a exploração da totalidade do volume de material seja praticável, isto porque a forma como algumas das escombreyras estão dispostas permite que, durante uma eventual exploração, seja possível efectuar a remoção da totalidade do corpo sem afectar a integridade das infra-estruturas adjacentes. Na figura que se segue ilustra-se um exemplo encontrado num dos corpos de escombreira afectados pela área condicionada.

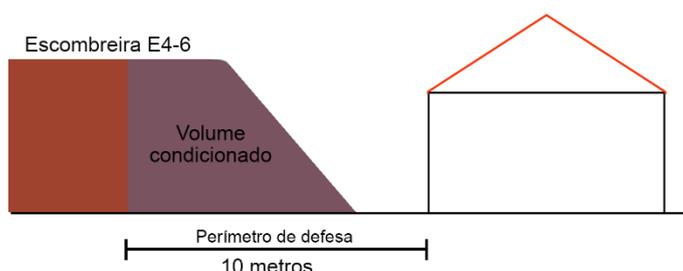


Figura 11.8 – Esquema em corte do corpo de escombreira E4-6 na proximidade de uma infra-estrutura (edifício das Cavalariças e Oficinas dos Correeiros).

Como se verifica pelo esquema da figura 11.8, o volume condicionado não está em contacto directo com o edifício. Uma vez que os materiais se encontram fragmentados, a sua remoção poderá provavelmente ser feita com equipamentos de remoção de solos/agregados, como pás-carregadora ou escavadoras, que permitem (especialmente no caso da última) fazer uma remoção cuidada e selectiva dos materiais, sem causar danos no edifício. Nesta situação em particular, pode dizer-se que o perímetro de defesa definido, trata-se apenas de uma primeira aproximação conservativa a uma medida de protecção, sendo que para a definição destes limites deverá ser realizado um estudo com maior detalhe, de modo a averiguar se a exploração da totalidade do material será efectivamente possível. Desse modo, poder-se-á aumentar a área de exploração dos materiais depositados em escombreira sobre os quais não existe qualquer edificação. Supondo que esta possibilidade se verifica, apenas os materiais depositados em aterro e as escombreyras dentro dos limites definidos pelo anexo II da portaria n.º 414/2013 (capítulo 7), ficarão vedados à exploração.

11.3.2 Nota sobre o potencial mineiro das escombrelras e materiais depositados em aterro não considerados neste estudo

Neste trabalho foi analisada parte das escombrelras e áreas de aterro existentes na circundante da aldeia e corta de São Domingos, tendo-se definido algumas zonas para a estimacão de recursos de ouro e prata. No entanto, a área das escombrelras de *gossan* e de rocha encaixante juntamente com a área das zonas de aterro analisadas neste estudo (132 262 m²), corresponde apenas a uma pequena porção da área total ocupada por estes materiais na Mina de São Domingos (1 045 311 m²; Mateus *et al.*, 2011). Alguns sectores da área mineira, como a Achada do Gamo e Moitinha, não foram contemplados na campanha de prospecção da CONASA e, por isso, não foram considerados nesta investigação. No entanto, é possível que os materiais aí depositados possuam teores de metais da mesma ordem dos materiais analisados.

Relativamente às escombrelras, existem pilhas de materiais que revelaram possuir teores interessantes e que não foram avaliadas neste trabalho, podendo-se dar como exemplo os 11 corpos compostos por fragmentos finos de *gossan* (classe E4). Dos 4 corpos desse material analisados neste trabalho, estima-se um teor médio de 0,75 g/t e 7,39 g/t para ou ouro e prata, respectivamente. Pressupondo que a constituição litológica da classe E4 seja semelhante à dos restantes corpos, é possível que também estes possuam teores médios da mesma ordem.

Quanto às áreas de aterro, a informação da campanha de prospecção efectuada pela CONASA provém apenas de determinadas zonas, nas quais as estimacões efectuadas resultaram em valores médios muito próximos em todos os corpos (médias de 0,67 g/t para Au e 7,39 g/t para Ag), indicando que estes materiais são mais homogéneos quanto ao teor em metais. Tendo isto em atenção, é possível que parte das restantes áreas de aterro não abrangidas pelos trabalhos de prospecção possam igualmente conter teores *elevados* em metais preciosos.

Em 1936 foi efectuada pela Mason & Barry uma campanha de pesquisa nos materiais de aterros para a avaliação de teores, na qual foram efectuados poços para a recolha de amostras e feita uma avaliação ao seu teor em ouro e prata (Mason & Barry, 1936). À semelhança do que se verificou nos dados recolhidos pela CONASA, na década de 90, também nessa campanha os resultados apresentaram teores interessantes, tendo sido identificadas amostras com teores relativamente elevados em alguns dos materiais analisados, das quais se destacam alguns poços com teores médios elevados (1,07 – 1,91 g/t de Au; 12,19 – 20,55 g/t de Ag) (Mason & Barry, 1936). Dessas análises poderá referir-se como exemplo a zona do antigo mercado da aldeia (área a sudoeste da represa n.º 3 – Tapada Pequena), onde foram identificados materiais com teores médios de 1,65 g/t de ouro e 17,67 g/t de prata (Mason & Barry, 1936). Estes

materiais podem ter resultado do desmonte do chapéu de ferro, localizado originalmente a oriente deste local. No entanto, esta área em particular não foi abrangida pela campanha de avaliação que serviu de base para este estudo. Considerando o facto da amostragem levada a cabo em 1936 ter revelado teores não desprezáveis, espera-se que a área de aterro com potencial de exploração possa ser significativamente maior àquela analisada neste trabalho, especialmente considerando que nas proximidades desta zona foram inferidas as maiores espessuras de escombro (cerca de 16 m; Anexo 7).

Em adição aos materiais depositados em aterro, existe uma área de 153 394 m² (Mateus *et al.*, 2011) na qual foram utilizados resíduos de exploração como material de construção (tanques de lixiviação, tanques de cementação) e que, à semelhança dos aterros, também poderão ser considerados como material com potencial interesse, sendo no entanto igualmente necessário avaliar estes materiais, de modo a verificar se efectivamente possuem teores de ouro e prata relevantes.

A existência de todo este conjunto de materiais poderá sustentar a realização de novas campanhas de avaliação, existindo assim a possibilidade de se aumentar substancialmente os recursos nos resíduos mineiros de São Domingos.

11.4 Comentário sobre a dispersão dos resíduos mineiros depositados na mina de São Domingos

Alguns dos corpos dos materiais depositados em São Domingos aparentam já ter sido parcialmente removidos, existindo também alguns registos da sua utilização como agregado em obras de construção, como a pavimentação de acessos e construção de aterros (Matos *et al.*, 2008; Matos e Martins, 2006; Matos e Rosa, 2001).

Também pela comparação dos registos fotográficos antigos com a actualidade, verifica-se que em alguns dos corpos de escombreira, parte do material foi substancialmente remobilizado. Na figura que se segue é apresentado um desses casos.

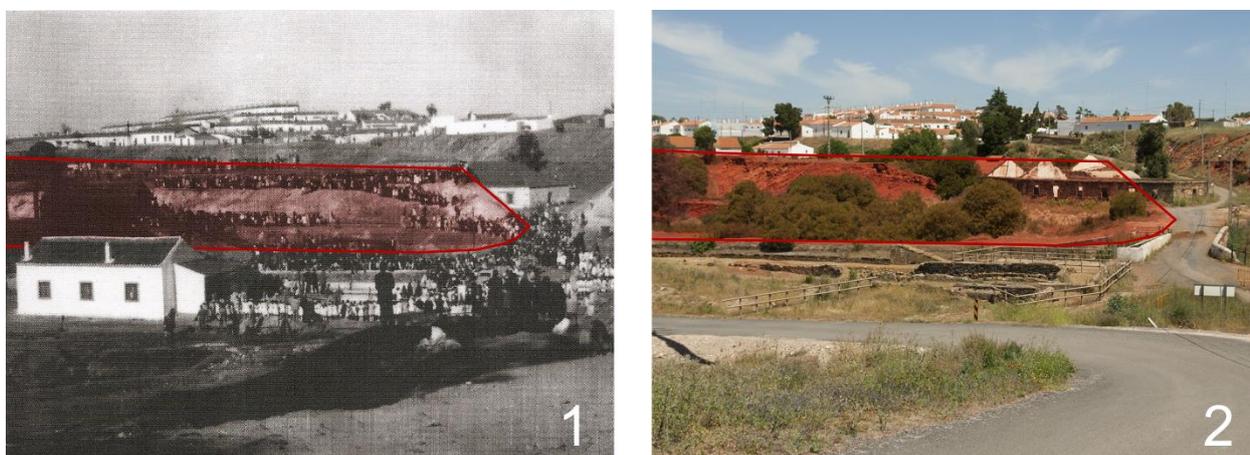


Figura 11.9 – Evidência da remobilização de materiais depositados em escombreira junto à entrada das galerias da mina: 1) Volume de escombreiras na década de 1940 (Custódio, 1996b); 2) Volume dos mesmos corpos na actualidade. Pela comparação das duas imagens é possível verificar que parte do material existente na década de 1940 foi removido.

No conjunto de escombreiras na área abrangida pela imagem da figura anterior, encontram-se alguns dos corpos onde foram detectados os teores médios mais interessantes em ouro (E4-6: 0,81 g/t; E5-1: 1,37 g/t; E7-3: 0,86 g/t).

Uma parte significativa destes materiais poderá ter sido dispersa ao ponto de já não ser possível o seu aproveitamento. Este problema é particularmente gravoso no caso das pilhas de fragmentos finos de *gossan* (classe E5), material onde se obtiveram os teores de ouro e prata mais significativos, 1,32 g/t e 12,56 g/t, respectivamente. Em dois dos três corpos desta classe modelados neste trabalho, é possível observar sinais de remoção do material (figura 11.9 e

11.10), possivelmente devido ao facto da sua granulometria homogénea o tornar adequado como agregado de construção.



Figura 11.10 - Evidências da remoção de material em algumas das escombreiras de *gossan* (fotos: João Matos).

No sentido de evitar o mau uso destes materiais pela construção civil, seria interessante e pertinente criar um plano de gestão e de protecção legal que impedisse a sua remobilização, pois, para além da sua deslocalização contribuir para a dispersão de contaminantes, está-se a disseminar material com elevado interesse económico, e que assim fica indisponível, tornando a sua recuperação difícil ou mesmo impossível. Uma protecção legal asseguraria uma proibição da utilização destes materiais por parte da população e entidades públicas. O papel da autarquia de Mértola e da Empresa de Desenvolvimento Mineiro (EDM), responsável pelo plano de reabilitação da mina, é fundamental para a boa gestão dos resíduos da mina de São Domingos, os quais apresentam um valor económico significativo.

12 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objectivo fazer uma estimaco dos recursos de ouro e prata em alguns dos resíduos mineiros da antiga exploração mineira de São Domingos.

Numa primeira fase, procedeu-se  construcção de modelos tridimensionais que fossem representativos dos volumes de cada uma das escombreyras, assim como a definico de modelos para algumas das zonas de aterro, nas quais haviam sido efectuados trabalhos de prospecção. Para tal, recorreu-se a dados oriundos de trabalhos já efectuados na área, com o objectivo de reunir informação para a definico de um conjunto de limites que permitisse modelar os volumes de escombros: um limite superior, correspondente ao topo das escombreyras e aterros, ou seja, a superfície actual do terreno; um limite inferior, correspondente  superfície do terreno original, ou seja, anterior  deposico dos materiais; e um limite lateral, que permitisse a delimitação lateral de cada um dos corpos, já que alguns são contíguos, não sendo possível fazer a sua demarcação recorrendo apenas às duas superfícies do terreno.

Alguns dos corpos de material estudados encontram-se na proximidade e, em alguns casos, subjacentes a várias infra-estruturas: habitacionais, devido à grande proximidade do povoado mineiro de Mina de São Domingos, e industriais, com valor histórico importante, em alguns casos até, com estatuto legal de preservação (Conjunto das Minas de São Domingos, Portaria n.º 414/2013). Este facto foi tido em consideração para a estimaco da quantidade de recursos exploráveis, tendo-se definido um segundo conjunto de modelos tridimensionais, nos quais se teve em conta a possível limitação imposta por essas condicionantes.

Numa segunda fase do trabalho, procedeu-se  análise da informação proveniente da campanha de prospecção efectuada no início da década de noventa, pela empresa CONASA. Inicialmente fez-se o agrupamento dos dados, definindo-se quais as amostras pertencentes a cada um dos modelos. De seguida procedeu-se  análise estatística, de modo a conhecerem-se os principais parâmetros estatísticos de cada um dos conjuntos de informação. Definidos os grupos amostrais, procedeu-se  estimaco dos teores em ouro e prata em cada um dos modelos, recorrendo-se ao método interpolativo Inverso do Quadrado das Distâncias.

Devido à falta de informação sobre as massas volúmicas das várias classes de material, foi realizada uma recolha de amostras em algumas das escombreyras abrangidas por este estudo. Esta recolha teve um número muito limitado de amostras, correspondentes apenas aos principais constituintes litológicos de cada uma das classes. A metodologia adoptada para esse efeito apresentou grandes limitações quanto  obtenção de valores fidedignos, não são devido à grande heterogeneidade de rochas que compõe cada uma das classes, mas também pelo facto de não

ter sido possível quantificar a razão de vazios existente em cada classe. Devido a essa limitação, procurou-se fazer uma comparação com outros materiais que se assumiu possuírem características semelhantes aos depositados em São Domingos e dos quais se conhecem valores aproximados de índices de vazios. Estes foram utilizados como ponto de referência para a definição de um conjunto de valores que pudesse ser transponível para os materiais focados por este estudo.

Para a estimação dos recursos nos modelos tridimensionais foram contemplados três casos distintos, nos quais se teve em consideração as limitações impostas pelas condicionantes à exploração, assim como os baixos teores em metais preciosos estimados em alguns dos modelos. Desses três casos definiu-se um como sendo o cenário mais provável, correspondente aos volumes de escombros não afectados pelas condicionantes à exploração e com teores médios acima de um limite mínimo de ouro (0,45 g/t). Os critérios definidos para este caso fez com que apenas dezassete dos vinte e três corpos modelados fossem considerados como *recursos inferidos*. Se considerado o conjunto de valores de volume de vazios definido como intermédio (30%), estima-se existir um recurso de aproximadamente 2,4 Mt com teores médios de 0,77 g/t em ouro e 8,26 g/t em prata, que se pode traduzir numa quantidade total aproximada de 59 500 oz t de ouro e 633 500 oz t de prata. Tendo em conta os preços médios destes metais ao longo do ano de 2014 (Au: 984,43€/oz t; Ag: 15,03€/oz t)⁴, estes recursos corresponderão a um valor de 68M€ (valor para o total dos metais contidos).

Para além dos materiais considerados neste trabalho, existe um maior conjunto de volumes de resíduos mineiros que não foram contemplados, dos quais se poderão destacar aqueles compostos de rochas provenientes do desmonte da capa de alteração do jazigo (constituídos maioritariamente por fragmentos de *gossan*). Deste modo, os recursos estimados poderão ser significativamente incrementados, se feita uma nova campanha de avaliação que inclua esses mesmos materiais.

Os materiais depositados em escombrelas, apresentam algumas particularidades que poderão contribuir para o aumento do seu potencial de exploração, designadamente a inexistência de capeamento rochoso, o que torna a sua remoção mais simples e com custos menores comparativamente com a exploração de um jazigo mineral. Uma outra particularidade é o facto dos materiais já se encontrarem parcialmente fragmentados, podendo assim admitir-se que os custos relacionados com a cominuição possam ser também inferiores. Isto faz com que os custos globais de exploração sejam comparativamente menores, podendo eventualmente considerar-

⁴ Média dos valores médios mensais de 2014, obtidos no *site* www.infomine.com

se como *recurso* os materiais com teores em ouro inferiores ao considerado como teor de corte (0,45 g/t).

A par do reprocessamento dos resíduos mineiros de São Domingos para obtenção de metais preciosos, deverá ser também considerado o facto dessa exploração implicar a remoção desses mesmos resíduos. Assim, o processamento dos escombros poderá contribuir para uma recuperação ambiental da área mineira, já que parte dos materiais contaminantes serão removidos. Este pressuposto traduz-se numa mais valia económica, justificando-se o investimento da remoção dos escombros nas zonas habitacionais e próximas do património mineiro.

Em suma, face aos resultados obtidos e caso os preços dos metais preciosos se mantenham elevados no futuro, os resíduos de exploração de São Domingos poderão ser vistos com tendo um potencial mineiro não desprezável.

No entanto, estes carecem de uma avaliação mais detalhada, devendo-se tentar melhorar a informação já adquirida, de modo a conferir-lhe um maior grau de confiança. Tal será possível com a obtenção de um maior conjunto de dados, que permita aumentar o conhecimento da geometria dos corpos de escombreira, assim como ampliar o conhecimento das variáveis que se pretendem conhecer com rigor.

Neste sentido, sugere-se a realização de um conjunto de trabalhos de investigação que visem a recolha de informação complementar àquela já existente, a avaliação de materiais não englobados neste estudo, assim como a adopção de medidas que visem a preservação dos recursos actualmente existentes:

- estudo das fronteiras entre corpos contíguos, de modo a que se possam definir com maior detalhe as suas geometrias, através de trabalhos de reconhecimento (e.g., trincheiras, poços);
- caracterização pormenorizada das classes de escombros, nomeadamente da sua massa volúmica, para que se possa obter uma tonelagem dos materiais mais fidedigna, e, consequentemente, aumentar a confiança na quantidade de metais preciosos estimada;
- complementação da base de dados geoquímicos utilizada neste estudo, com informação proveniente de amostragem que contemple a totalidade da área ocupada pelos corpos

de escombreira e aterro, com o intuito de colmatar a falta de informação que se verifica em alguns dos locais analisados. Assim como a recolha de informação geoquímica em alguns dos materiais que ainda não foram avaliados e que possam revelar potencial mineiro;

- definição de um estatuto de protecção legal para os resíduos mineiros da mina de São Domingos, com especial enfoque para os constituídos por *gossan* e rochas *gossanizadas* – materiais identificados como tendo maior interesse do ponto de vista económico – de modo a prevenir a dispersão destes recursos;
- elaboração de um plano de pormenor que identifique todo o património edificado e o património que interessa proteger, definindo-se áreas com baixo valor patrimonial nas quais poderá eventualmente vir a ocorrer a exploração dos materiais depositados em aterro e escombreira.

13 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez-Valero, A., M., Pérez-López, J., Matos, J., X., Capitán, M., A., Nieto, J., M., Sáez, R., Delgado, J., Caraballo, M., 2007, *Potential environmental impact at São Domingos mining district (Iberian Pyrite Belt, SW Iberian Peninsula): evidence from a chemical and mineralogical characterization*, Environmental Geology, volume 55, issue 8, pp. 1797 – 1809.
- Alves, H., M., 1998, *Mina de São Domingos: Entre o Património e os Projectos de Musealização*, Actas do Seminário Museologia e Arqueologia Mineiras, Museu do IGM, pp. 49 -56, Lisboa.
- Coombes, J., 2008, *The Art and Science of Resource Estimation: A practical guide for geologists and engineers*, Coombes Capability, pp.137-144.
- Custódio, J., 1999, *Documentos para a história da mina de S. Domingos – O relatório do geólogo Carlos Ribeiro*. In Arqueologia Medieval nº6, Afrontamento Editores, Mértola, pp. 255-265.
- Custódio, J., 1996a, *Sistemas de Lavra na Mina de São Domingos (1854-1966)*. In Rego M., Nascimento, P., *Mineração no Baixo Alentejo*, Câmara Municipal de Castro Verde, Castro Verde, pp. 176-185.
- Custódio, J., 1996b, *James e a Construção da Mina de São Domingos*. In Rego M., Nascimento, P., *Mineração no Baixo Alentejo*, Câmara Municipal de Castro Verde, Castro Verde, pp. 199-229.
- Erarslan, K., 2012, *Computer Aided Ore Body Modelling and Mine Valuation*. In Dar, I., A., *Earth Sciences*, InTech, Rijeka, pp. 346 – 372.
- Gaspar, O.,C., 1995, *Microscopia e Petrologia de Minérios Aplicadas à Génese, Exploração e Mineralurgia dos Sulfuretos Maciços dos Jazigos de Aljustrel e Neves-Corvo*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Glacken, I., M., Snowden, D., V., 2001, *Mineral Resource Estimation*. In Edwards, A.C. (editor), *Mineral Resource and Ore Reserve Estimation – The AusIMM Guide to Good Practice*, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourn, pp. 189-198.
- González, F., Moreno, C., Sáez, R., Clayton, G., 2002, *Ore Genesis Age of the Tharsis Mining District (Iberian Pyrite Belt): A Palynological Approach*, Journal of the Geological Society vol.159, nº.3 pp. 229 – 232.

- Goovaerts, P., 1997, *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*, Oxford University Press, Inc., New York.
- Guita, R., J., 2011, *A Mina de São Domingos (Mértola, Baixo Alentejo, Portugal): actividade industrial moderna (1854-1966)*, Ciclo de Encontros de Historiados Locais “Áreas industriais e comunidades operárias”, Instituto de História Contemporânea, Portimão.
- Haldar, S., K., 2013, *Mineral Exploration – Principles and Applications*, Elsevier.
- Isaaks, E., H., Srivastava, R., M., 1989, *An Introduction to Applied Geostatistics*, Oxford University Press, New York.
- Koch, G., S., Link, R., F., 1971, *Statistical Analysis of Geological Data*, Dover Publications, New York.
- Leistel, J.M, Marcoux, E., Thiéblemont, D., Quesada, C., Sánchez, A., Almodóvar, C.R., Pascual, E., Sáez, R., 1998, *The volcanic-hosted massive sulphide deposits of the Iberian Pyrite Belt*, Mineralium Deposita 33, pp. 2-30.
- Malavé, J., Bedia, J., 1991, *Relatório Final de Trabalhos realizados na Área de S. Domingos (1990-91)*, CONASA, Arq. Técnico LNEG, Beja (não publicado).
- Martins, C., M., 2008, *A Exploração Mineira Romana e a Metalurgia do Ouro em Portugal*, Instituto de Ciências Sociais da Universidade do Minho, Braga.
- Mason & Barry, 1936, *Pesquisas de ouro e prata nas entulheiras provenientes do chapéu de ferro do jazigo de São Domingos*, Arq. Técnico LNEG, Beja (não publicado).
- Mateus, A., Pinto, A., Alves, L.C., Matos, J.X., Figueiras, J., Neng, N.R., 2011, *Roman and modern slag at S. Domingos mine (IPB, Portugal): compositional features and implications for their long-term stability and potential reuse*, International Journal of Environment and Waste Management, Vol. 8, N. 1/2, 2011, pp.133-159.
- Matos, J., X., Pereira, Z., Batista, M., J., Oliveira, D., 2012, *São Domingos Mining Site – Iberian Pyrite Belt*, 9th International Symposium on Environmental Geochemistry, Aveiro, 15th-21st July 2012.
- Matos, J.X., Pereira, Z., Oliveira, J.T., 2010, *A Rota da Pirite, uma rede de sítios geológicos e mineiros dedicada ao património e história da Faixa Piritosa Ibérica*, VIII Congresso Nacional de Geologia, Braga, 12-14 Julho 2010.
- Matos, J.X., Martins, L.P., Oliveira, J.T., Pereira, Z., Batista, M.J., Quental, L., 2008, *Rota da pirite no sector português da Faixa Piritosa Ibérica, desafios para um desenvolvimento*

- sustentado do turismo geológico e mineiro*. Projecto RUMYS, programa CYTED, Livro Rutas Minerales en Iberoamérica, Ed. Paul Carrion, Esc. Sup. Politécnica del Litoral, Guayaquil, Equador, pp. 136-155.
- Matos, J., X., Martins, L., P., 2006, *Reabilitação ambiental de áreas mineiras do sector português da Faixa Piritosa Ibérica: estado da arte e perspectivas futuras*, Boletín Geológico y Minero, 117 (2), pp. 289-304.
- Matos, J., X., Soares, S., Claudino, C., 2006a, *Caracterização Geológica-Geotécnica da corta da mina de São Domingos*, FPI. X Congresso Nacional de Geotecnia, SPG/UNL, v.3, pp. 741-752.
- Matos, J., X., Pereira, Z., Oliveira, V., Oliveira, J., T., 2006b, *The Geological setting of the São Domingos pyrite orebody, Iberian Pyrite Belt*, VII Congresso Nacional de Geologia, Universidade de Évora, Évora.
- Matos, J., X., 2004, *Carta geológico-mineira de São Domingos*, Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa.
- Noble, A., C., 1992, *Ore Reserve/Resource Estimation*. In Hartman, H., L. (editor), *SME Mining Engineering Handbook*, 2nd edition, Volume 1, Society for Mining Metallurgy and Exploration, Inc., Colorado, pp. 344-359.
- Ofoegbu, G., I., Read., R., S., Ferrante, F., 2008, *Bulking factor of rock for underground openings*, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington.
- Oliveira, J.,T., Matos, J.,X., 2004, *O caminho de ferro da Mina de S. Domingos ao Pomarão: um percurso geoeducacional na Faixa Piritosa Ibérica*. XXIV Encontro Prof. Geociências APG, 19.
- Quental, L., Brito, M.G., Sousa, A.J., Abreu, M.M., Batista, M.J., Oliveira, V., Vairinho, M., Tavares, T., 2003, *Utilização de imagens hiperespectrais na avaliação da contaminação mineira em S. Domingos, Faixa Piritosa, Alentejo*. Ciências da Terra (UNL), Lisboa, n^oesp. V. CD-ROM, M33-M36.
- Rego, M., 2004, *Mina de São Domingos*, Cadernos de Mértola, 1^o Trimestre de 2004, Câmara Municipal de Mértola, Mértola, pp. 2-11.
- Reimann, C., Filzmoser, P., Garrett, R., Dutter, R., 2008, *Statistical Data Analysis Explained – Applied Environmental Statistics with R*, John Wiley & Sons, West Sussex.
- Ribeiro, C., 1857, *Planta da Mina de Cobre da Serra de São Domingos no Conselho de Mértola*.

Sinclair, A., J., Blackwell, G., H., 2004, *Applied Mineral Inventory Estimation*, Cambridge University Press, Cambridge.

Soares, A., 2000, *Geoestatística para as Ciências da Terra e do Ambiente*, IST Press, Lisboa.

Stephenson, P., R., Vann, J., 2011, *Common Sense and Good Communication in Mineral Resource and Ore Reserve Estimation*. In Edwards, A., C. (editor), *Mineral Resource and Ore Reserve Estimation – The AusIMM Guide to Good Practice*, AIMMM, Melbourne, pp. 13-20.

Sweigard, R., J., 1992, *Materials handling: Loading and haulage*. In Hartman, H., L. (editor), *SME Mining Engineering Handbook*, 2nd edition, Volume 1, Society for Mining Metallurgy and Exploration, Inc., Colorado, p.763.

Legislação

Decreto-lei 340/2007, Diário da República, 1.^a série — N.º 197 — 12 de Outubro de 2007, Ministério da Economia e da Inovação, Lisboa.

Portaria n.º 414/2013, Diário da República, 2.^a série — N.º 120 — 25 de Junho de 2013, Gabinete do Secretário de Estado da Cultura, Lisboa.

Sítios na internet

JORC, 2012, *The Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves ('the JORC Code')*, Joint Ore Reserves Committee of The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Australian Institute of Geoscientists and Minerals Council of Australia (JORC). Disponível em:

http://www.jorc.org/docs/JORC_code_2012.pdf [consultado em Junho de 2014].

NI 43-101, 2011, *National Instrument 43-101 - Standards of Disclosure for Mineral Projects - Definition Standards for Mineral Resources and Mineral Reserves*. Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum. Disponível em:

http://www.cim.org/~/-/media/Files/PDF/Subsites/CIM_DEFINITION_STANDARDS_2012
[consultado em Junho de 2014].

Laurion Mineral Exploration Inc., 2013, *Laurion announces Resource Estimate of 144,070 tonnes of surface stockpile grading 1.59 g/t Gold and 137,501 tonnes of tailings grading 0,67 g/t gold.*

Disponível em:

http://www.laurion.ca/pdf/news/2013-04-23_NR.pdf [consultado em Maio de 2014].

Orefinders Resources Inc., 2013, *Orefinders identifies Inferred Mineral Resource of 10,618,00 tonnes averaging 1.29 gpt Au at the Mirado Gold Project.* Disponível em:

http://www.orefinders.ca/i/pdf/news/2013-12-09_NR.pdf [consultado em Maio de 2014].

Quaterra Resources Inc., 2014, *43-101 Technical Report Amended Preliminary Economic Assessment Zacatecas, Mexico.* Disponível em:

http://www.quaterra.com/resources/reports/Nieves_43-101_Amended.pdf [consultado em Junho de 2014].

Silver Bull Resources Inc., 2013, *Technical Report and the Resources of the Silver-Zonc Sierra Mojada Project Coahuila, Mexico.* Disponível em:

<http://www.silverbullresources.com/i/pdf/reports/Sierra-Mojada-43-101-April-30-2013.pdf>

[consultado em Junho de 2014]

ANEXOS

Anexo 1 – Determinação da massa volúmica das principais rochas constituintes das classes de escombreira da mina de São Domingos

Anexo 2 – Histogramas e diagramas de dispersão linear dos dados utilizados nas estimativas

Anexo 3 – Localização da prospecção efectuada na envolvente da corta e aldeia da Mina de São Domingos

Anexo 4 – Áreas de escombreira e de aterro e zonas com exploração condicionada

Anexo 5 – Modelo digital da superfície do terreno

Anexo 6 – Modelo Digital da superfície da base das escombreiras e aterros

Anexo 7 – Espessura das escombreiras e zonas de aterro

Anexo 8 – Teores médios de ouro nos corpos de escombreira e aterro

Anexo 9 – Teores médios de prata nos corpos de escombreira e aterro

ANEXO I – Determinação da massa volúmica das principais rochas constituintes das classes de escombreira da Mina de São Domingos

No decurso deste trabalho foi necessária a realização de ensaios laboratoriais, com o objectivo de caracterizar a massa volúmica dos constituintes litológicos que ocorrem nas escombreiras da mina de São Domingos, visando a sua utilização na determinação das tonelagens dos vários corpos de escombreira e aterro. Como tal foi necessário fazer uma recolha de amostras *in situ* com o fim de realizar a caracterização.

1.1 Recolha de amostras

No terreno verificou-se que as classes de escombreira são constituídas por fragmentos de diferentes tipos de rocha, em diferentes estados de alteração meteórica, e distribuídos por granulometrias muito heterogéneas. Deste modo, não foi possível definir a proporção relativa de cada um dos constituintes. Face a esta grande variabilidade encontrada nos materiais, a amostragem limitou-se à recolha de amostras dos principais constituintes litológicos de cada uma das classes de escombreira (tabela 1).

Tabela 1 – Principais constituintes litológicos das classes de escombreira

Classe de escombreira	Principais constituintes litológicos
E4	<i>Gossan</i> (> 5mm)
E5	<i>Gossan</i> (< 5mm)
E7	Vulcanitos ácidos <i>gossanizados</i>
E8	Vulcanitos ácidos e xistos argilosos
E9	Xistos acastanhados
EA	<i>Gossan</i> , xistos, vulcanitos ácidos

Em todos os locais de amostragem, procurou-se colher fragmentos por tipologia com distintos estados de alteração, prevendo-se que pudessem existir grandes variações de densidade no mesmo tipo de rocha, devido não só aos diferentes estados de alteração, como também à presença de veios mineralizados em algumas das litologias.

Devido à pequena quantidade de amostras que se pretendia recolher, seleccionou-se apenas um ponto de amostragem por cada classe de material. No caso das classes de material que maior volume ocupam, a classe E7 (vulcanitos ácidos *gossanizados*) e EA (aterros), foram recolhidas amostras em dois corpos de material distintos. No total foram efectuados 8 pontos de amostragem, identificados no mapa da figura 1.

Os fragmentos recolhidos em cada um dos locais de amostragem foram colocados em sacos de plástico espesso. Em cada local de amostragem foram recolhidos cerca de 10-20kg de fragmentos, com dimensões entre os com dimensões entre os 10 e 15 cm, excepto no caso do material da classe E5 (fragmentos finos de *gossan*), em que as dimensões médias dos fragmentos são no geral inferiores a 5 cm.

As coordenadas geográficas de cada um dos pontos de amostragem foram obtidas através de um GPS de mão.

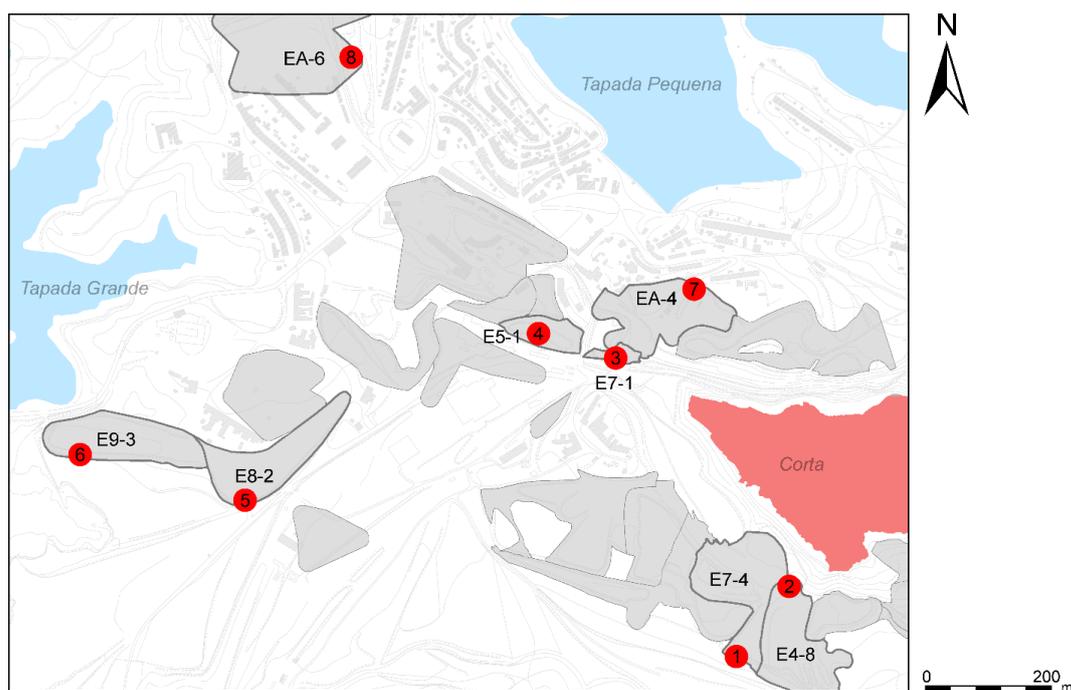


Figura 1 – Localização dos pontos de recolha de amostras. Vulcanitos ácidos *gossanizados* (1 e 3), classe E7; fragmentos grosseiros de *gossan* (2), classe E4; fragmentos finos de *gossan* (4), classe E5; vulcanitos ácidos e xistos argilosos (5), classe E8; xistos acastanhados (6), classe E9; aterro (7 e 8), classe EA.

1.2 Preparação das amostras e provetes

As amostras foram fragmentadas com martelo e marreta de modo a serem obtidos fragmentos com cerca de 50 g. Cada provete era constituído por cinco fragmentos, perfazendo uma massa total de aproximadamente 250 g por provete. Após a constituição dos provetes, todos os fragmentos de rocha foram lavados com água destilada, de modo a remover as sujidades e partículas que se pudessem soltar durante a execução do ensaio.

1.3 Determinação da massa volúmica das rochas

A metodologia utilizada para o cálculo da massa volúmica baseou-se no método sugerido pela Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas (ISRM) - *method for porosity/density determination using saturation and buoyancy techniques*⁵. Este método é indicado para a medição da massa volúmica de amostras de fragmentos irregulares de rocha, e baseia-se no Princípio de Arquimedes.

O processo consiste em fazer a determinação do volume de um provete através da medição da massa de uma amostra saturada e imersa em água (massa aparente), e da massa saturada do mesmo provete emerso. O volume desse provete (V) determina-se pela seguinte expressão⁵:

$$V = \frac{M_{sat} - M_{sub}}{\rho_w} \quad (\text{Eq. 1})$$

onde M_{sat} é a massa da amostra emersa e saturada em água; M_{sub} a massa aparente da amostra imersa em água; e ρ_w a massa volúmica da água.

A massa volúmica do provete (ρ_d) obtém-se pela divisão da massa do provete seco pelo seu volume¹:

$$\rho_d = \frac{M_s}{V} \quad (\text{Eq. 2})$$

⁵ Ulusay, R., Hudson, J.A., 2007, *The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974-2006*, International Society for Rock Mechanics.

1.3.1 Procedimento

Para a determinação dos valores de massa submersa utilizou-se um banho de imersão, composto por uma balança digital, um recipiente com água destilada, e um cesto para a pesagem do provete imerso em água (figura 2).

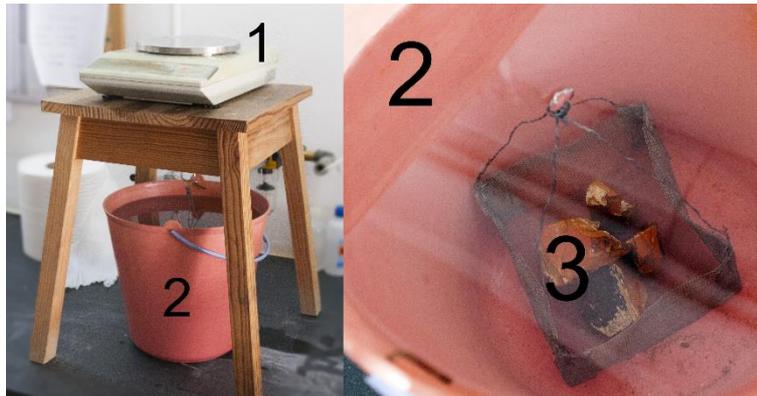


Figura 2 – Aparato utilizado para a determinação da massa aparente dos provetes.
Legenda: 1) balança digital; 2) recipiente com água destilada; 3) cesto de pesagem.

O processo experimental seguido consistiu, resumidamente, nos seguintes passos:

- colocação dos provetes em água destilada por um período de 48h, com agitação periódica para ajudar à libertação de bolhas de ar;
- transferência do provete saturado em água para o cesto do banho de imersão para determinação da massa do cesto e provete saturado imerso em água: M_1 , massa do cesto e provete saturado imersos; M_2 , massa do cesto imerso ($M_1 - M_2 = M_{sub}$);
- remoção da água superficial dos fragmentos do provete com um pano humedecido, e determinação da sua massa: M_3 , massa do provete com os fragmentos saturados e sem água superficial (M_{sat});
- determinação da massa do provete após secagem em estufa a 105°C até atingir massa constante: M_4 , massa do provete seco (M_s);

- determinação da massa volúmica dos provetes secos através da seguinte expressão (resultante das equações 1 e 2):

$$\rho_d = \rho_w \frac{M4}{M3 - (M2 - M1)} \quad (\text{Eq. 3})$$

onde ρ_w é a massa volúmica da água destilada a uma temperatura de 21° C (0,9980 g/cm³).

Na tabela 1 apresentam-se os valores medidos no ensaio, assim como os valores de massa volúmica calculados através da equação 3.

Tabela 1 – Valores medidos e resultados do ensaio

Rocha	Provete	M1 (g)	M2 (g)	M3 (g)	M4 (g)	Massa volúmica seca (g/cm ³)	Massa volúmica seca média (g/cm ³)
Gossan	A2-1	240,02	36,47	184,27	229,62	2,49	2,62
	A2-2	268,36	36,56	207,28	259,70	2,66	
	A2-3	272,60	36,70	208,07	245,73	2,43	
	A4-1	245,96	37,13	197,56	231,73	2,71	
	A4-2	239,35	37,26	193,94	231,09	2,80	
Vulcanitos gossanizados	A1-1	281,32	37,63	175,28	231,00	1,61	1,90
	A1-2	219,43	38,76	165,74	203,29	2,20	
	A1-3	271,30	38,60	186,35	241,61	1,96	
	A3-1	216,60	37,42	160,38	199,09	2,13	
	A3-2	227,27	37,97	148,63	186,01	1,60	
Vulcanitos ácidos	A5-1	164,01	37,44	114,77	133,97	1,55	1,81
	A5-2	253,71	37,45	157,23	205,35	1,53	
	A5-3	277,78	37,25	174,44	241,31	1,72	
	A5-4	248,24	37,46	170,85	230,68	2,01	
	A5-5	250,87	37,48	179,57	241,97	2,22	
Xistos argilosos	A5-6	214,01	40,78	161,12	188,20	2,01	1,99
	A5-7	250,00	38,59	178,03	220,68	2,00	
	A5-8	258,07	36,65	177,02	231,28	1,96	
	A5-9	268,09	37,55	184,86	238,76	1,98	
Xistos acastanhados	A6-1	223,93	37,39	177,90	219,36	2,63	2,56
	A6-2	260,09	37,55	197,93	246,16	2,47	
	A6-3	280,64	37,91	213,55	273,56	2,61	
	A6-4	254,18	37,99	195,30	245,09	2,53	
	A6-5	226,39	38,16	179,64	218,84	2,58	

Um dos provetes de xistos argilosos apresentava-se muito alterado, tendo perdido parte da sua massa durante o ensaio, pelo que o resultado obtido para esse provete foi ignorado. Assim, o valor médio desta classe de material foi determinado apenas o resultado de 4 ensaios.

1.4 Nota sobre a realização do ensaio

O método sugerido pela ISRM para a determinação da massa volúmica das rochas pressupunha que a saturação dos provetes em água fosse feita sob uma baixa pressão (< 800 Pa). No entanto, durante o período de execução do ensaio, não foi possível dispor de parte do equipamento necessário (câmara de vácuo). Deste modo não foi possível determinar algumas propriedades normalmente calculadas durante este ensaio, como a massa volúmica aparente e a porosidade. No entanto estes valores não são essenciais para os objectivos deste trabalho, já que apenas se pretendia conhecer a massa volúmica real dos fragmentos de rocha analisados, para posterior estimação das tonelagens.

ANEXO 2 – HISTOGRAMAS E DIAGRAMAS DE DISPERSÃO LINEAR DOS DADOS UTILIZADOS NAS ESTIMATIVAS

1. Histogramas para os teores de ouro e prata

- Histogramas para o ouro e prata nos conjuntos de dados utilizados para a estimação de teores (após o corte de valores extremos);
- as classes dos histogramas são iguais em todos os gráficos (0,2 g/t Au; 2,0 g/t Ag).

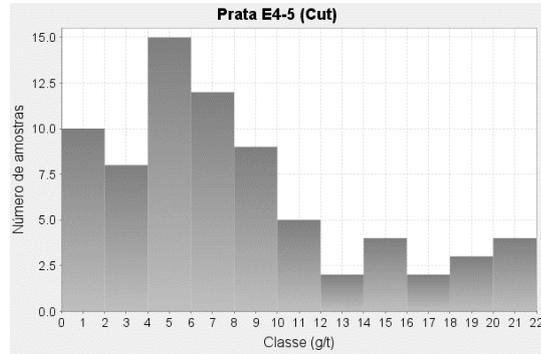
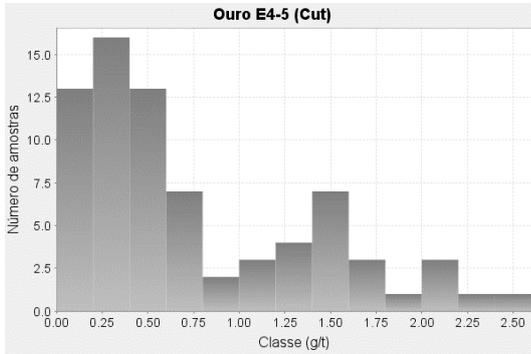
2. Diagramas de dispersão linear entre os teores de ouro e prata

- Diagramas de dispersão linear entre os teores de ouro e prata nos dados dos dados originais agrupados por corpo e classe de escombreira.

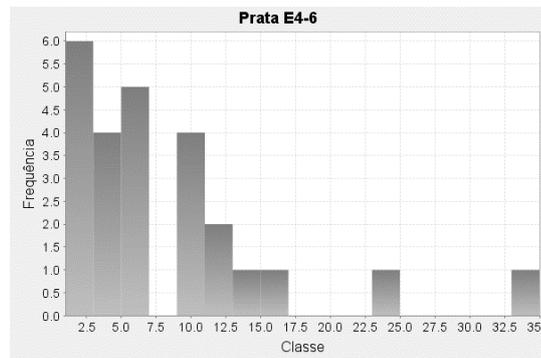
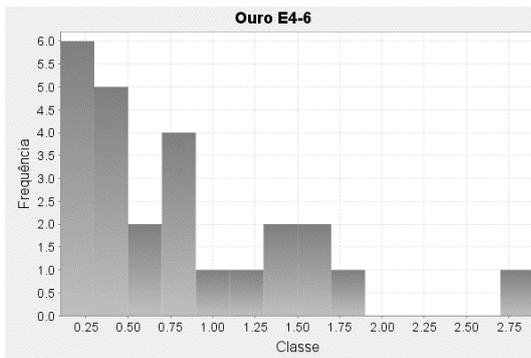
1. Histogramas dos teores de ouro e prata

1.1 Fragmentos grosseiros de *gossan* (classe E4, > 5cm)

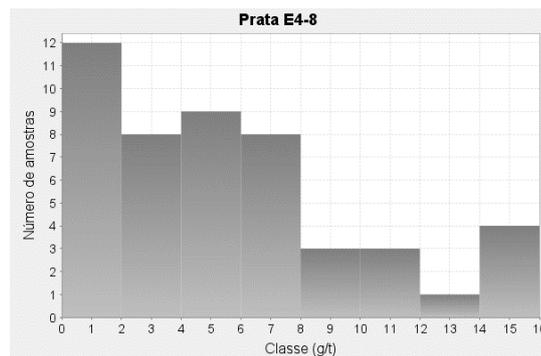
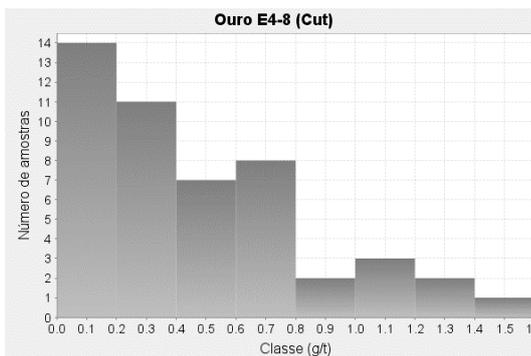
Corpo E4-5



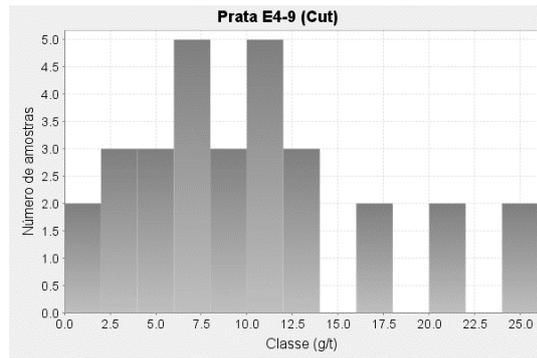
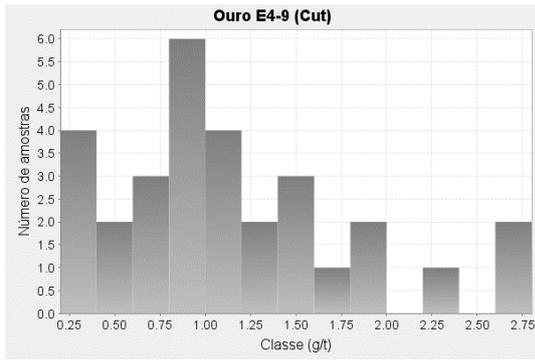
Corpo E4-6



Corpo E4-8

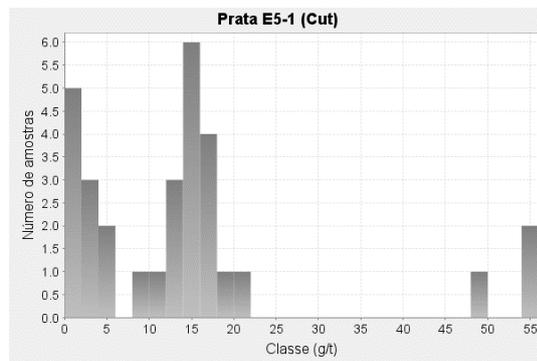
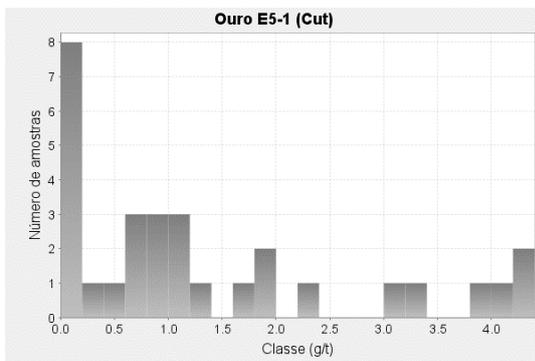


Corpo E4-9

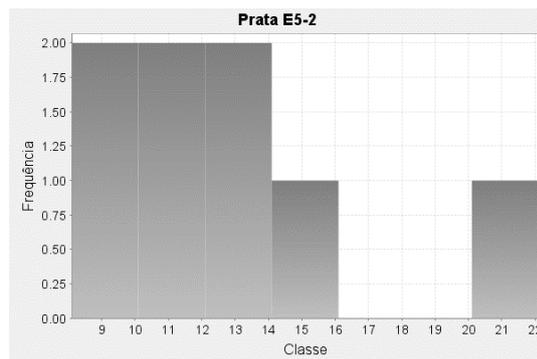
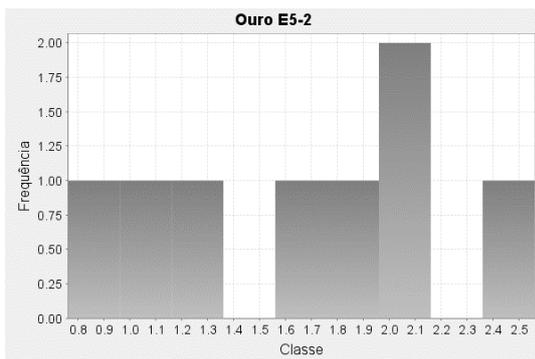


1.2 Fragmentos finos de gossan (classe E5, < 5cm)

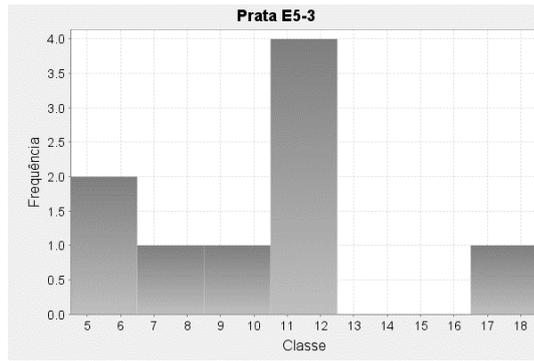
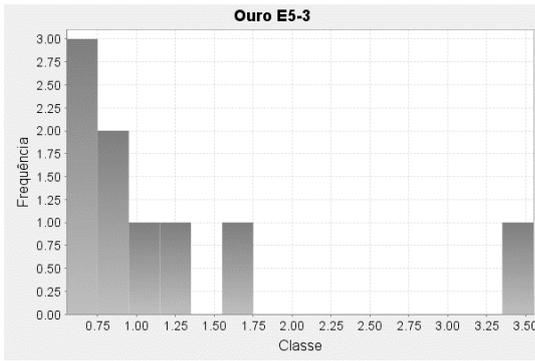
Corpo E5-1



Corpo E5-2

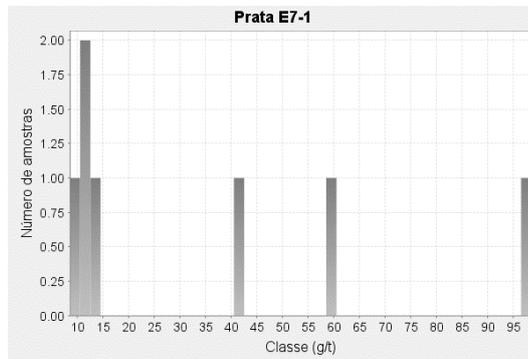
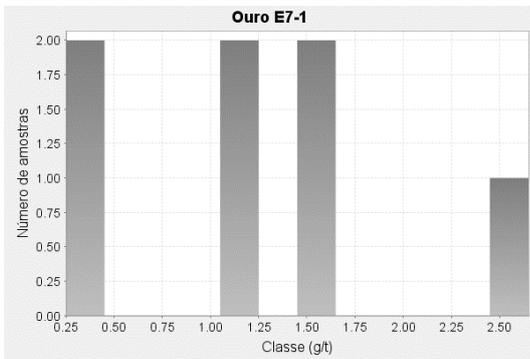


Corpo E5-3

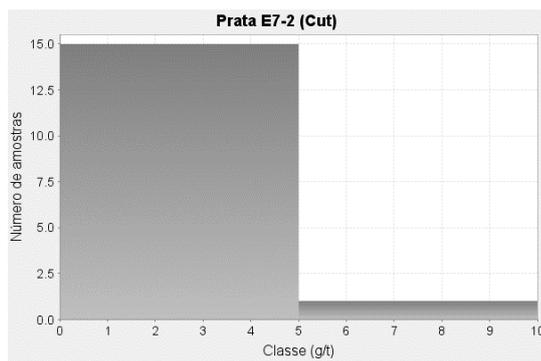
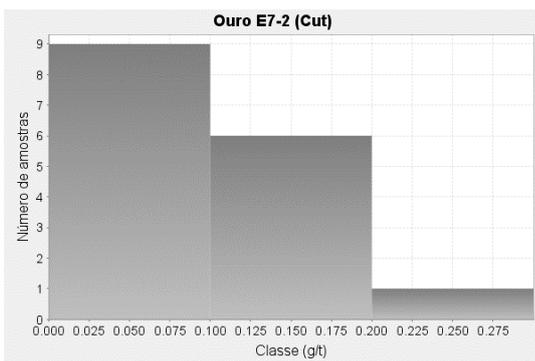


1.3 Vulcanitos ácidos gossanizados (classe E7)

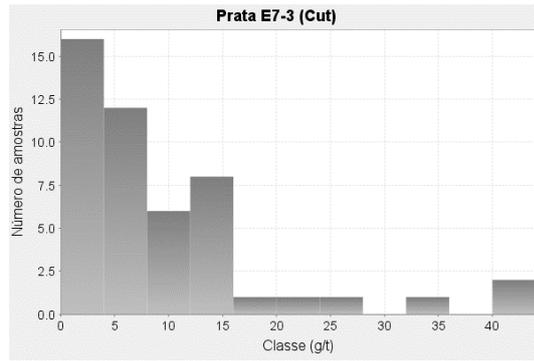
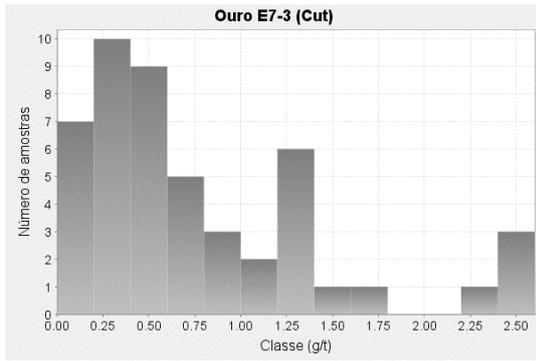
Corpo E7-1



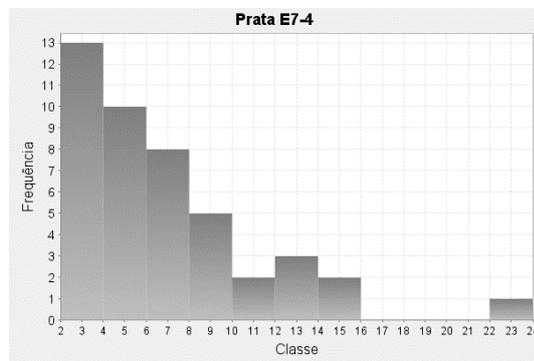
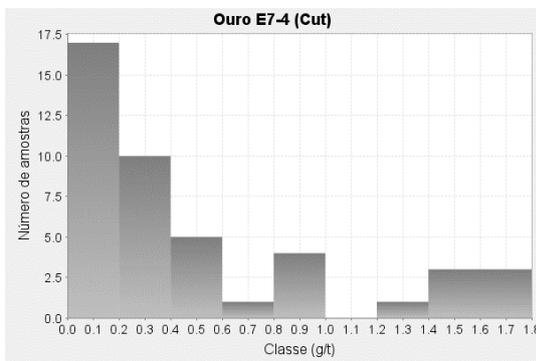
Corpo E7-2



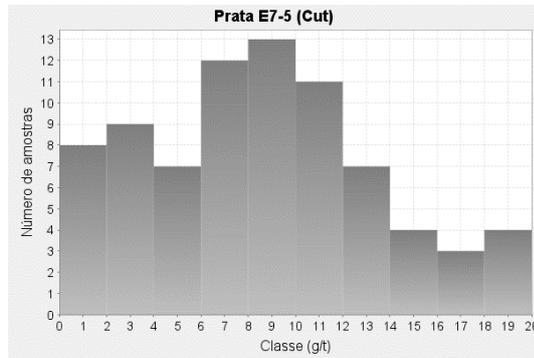
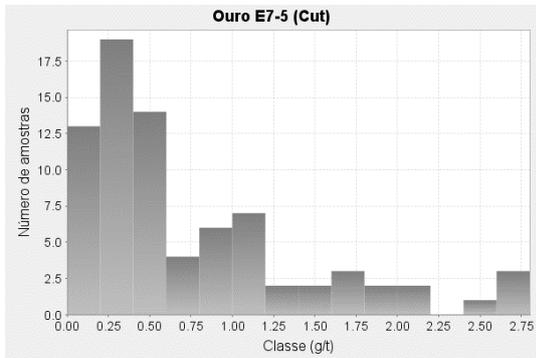
Corpo E7-3



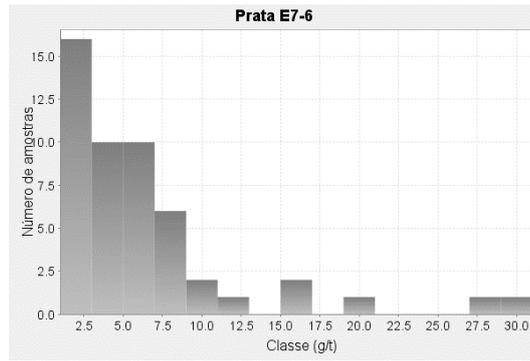
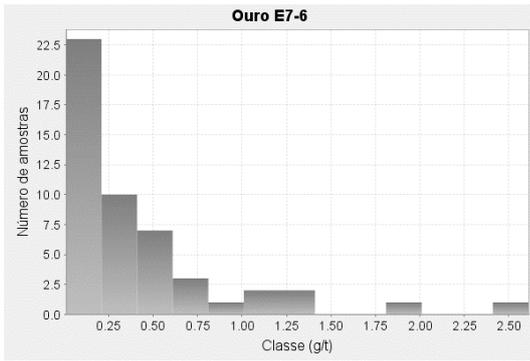
Corpo E7-4



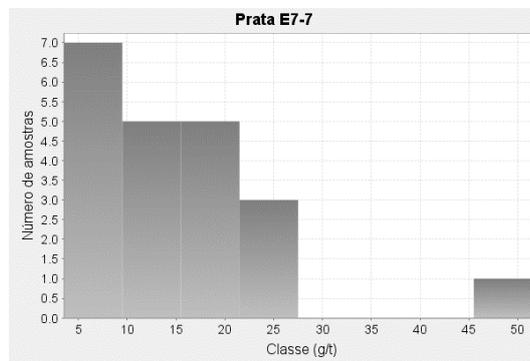
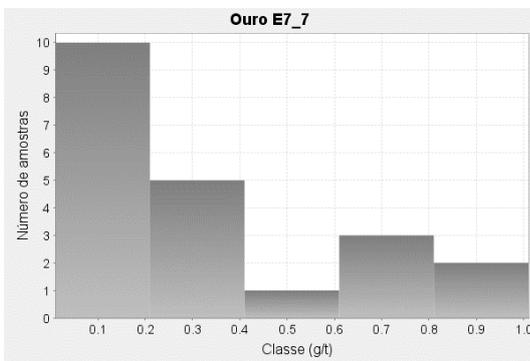
Corpo E7-5



Corpo E7-6

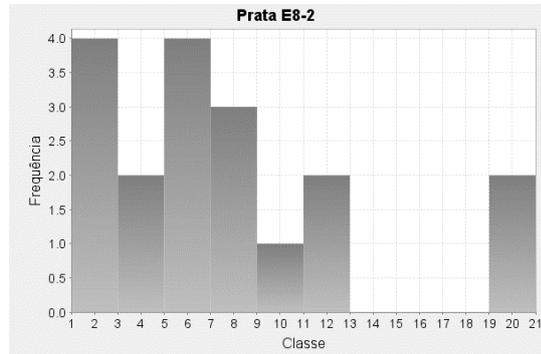
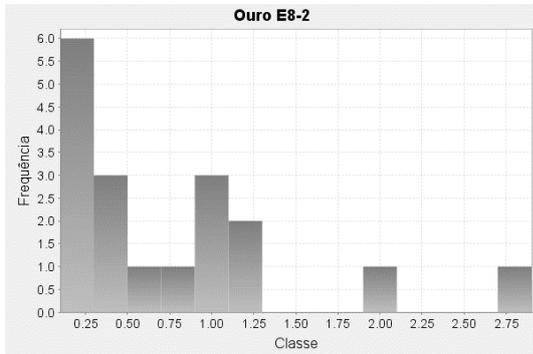


Corpo E7-7



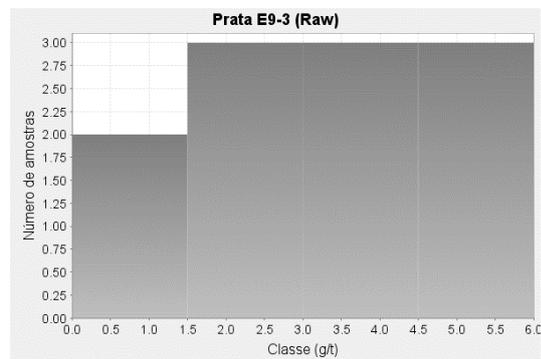
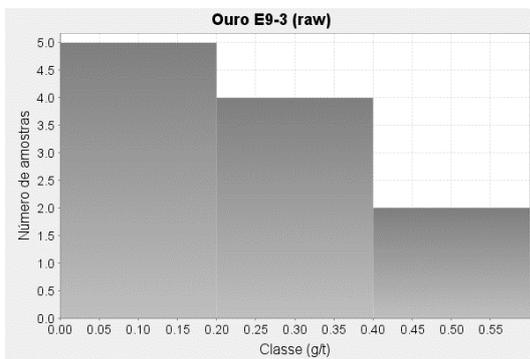
1.4 Vulcanitos ácidos e xistos argilosos (classe E8)

Corpo E8-2

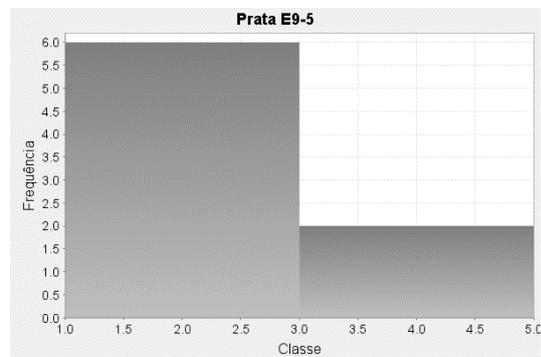
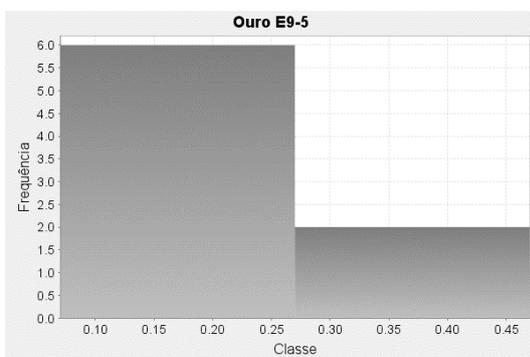


1.5 Xistos acastanhados (classe E9)

Corpo E9-3

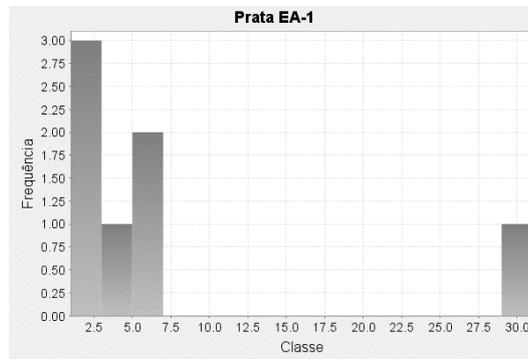
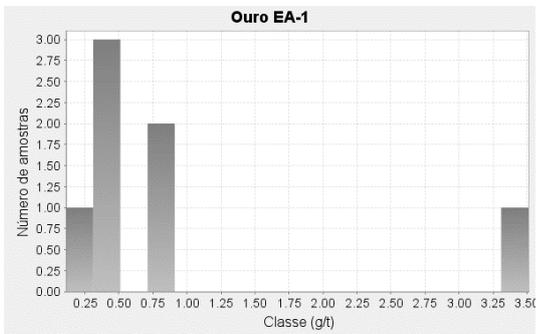


Corpo E9-5

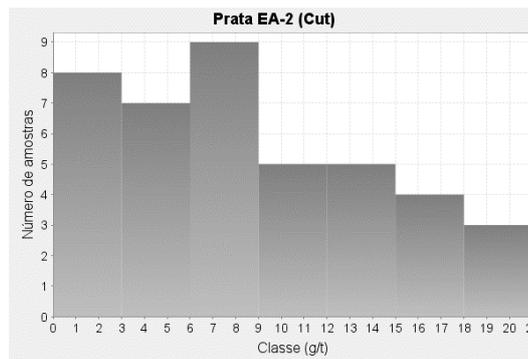
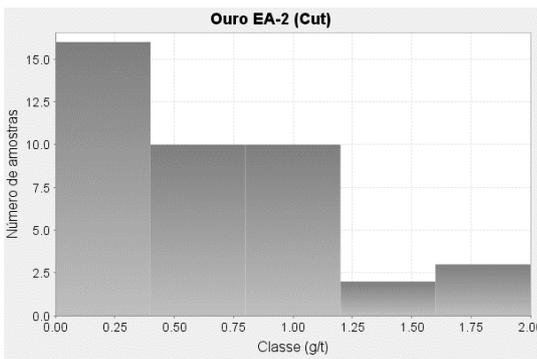


1.6 Zonas de aterro (classe EA)

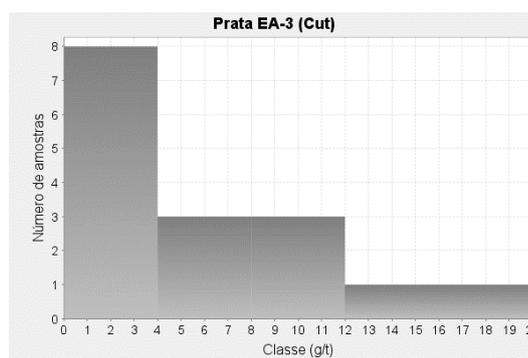
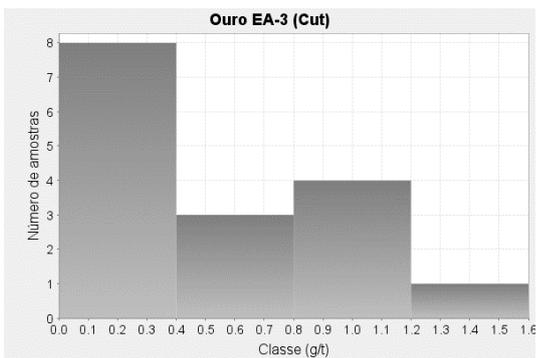
Corpo EA-1



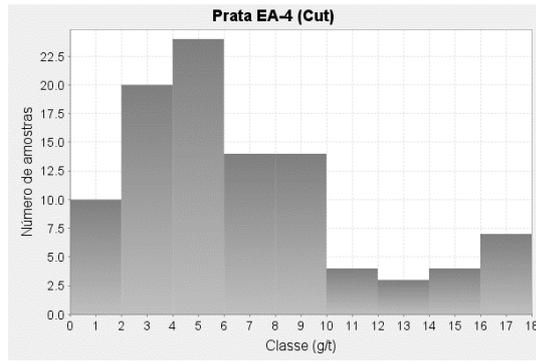
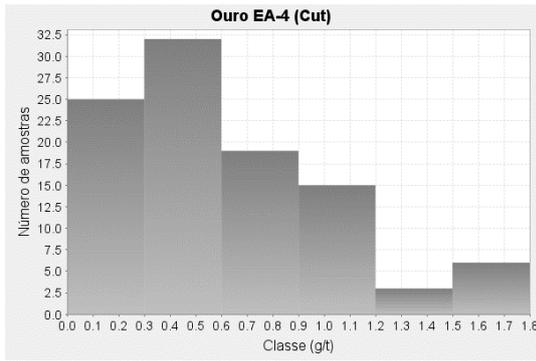
Corpo EA-2



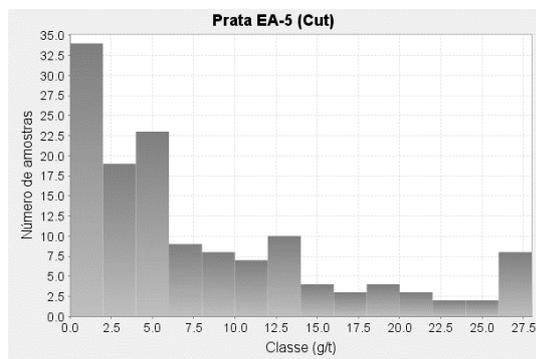
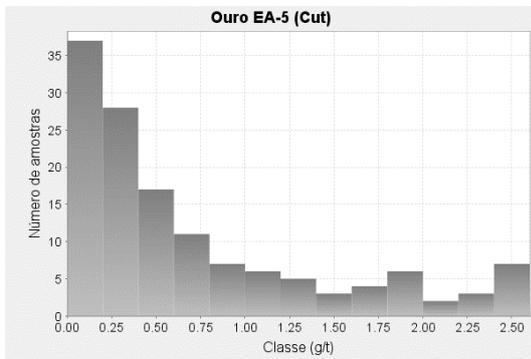
Corpo EA-3



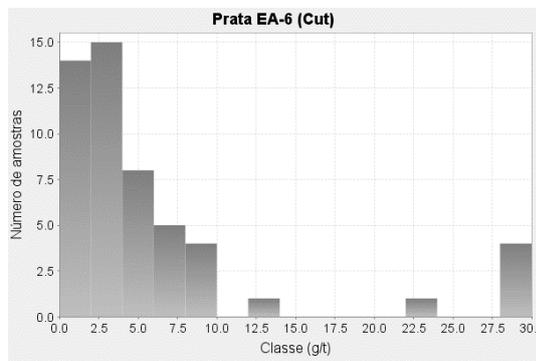
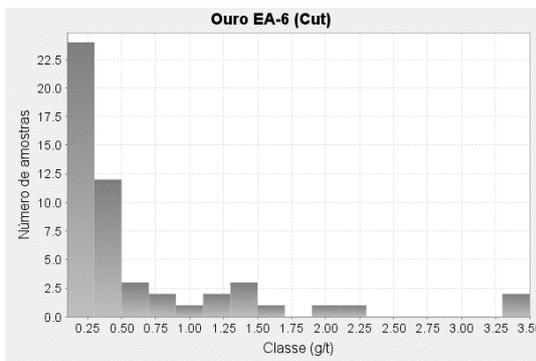
Corpo EA-4



Corpo EA-5



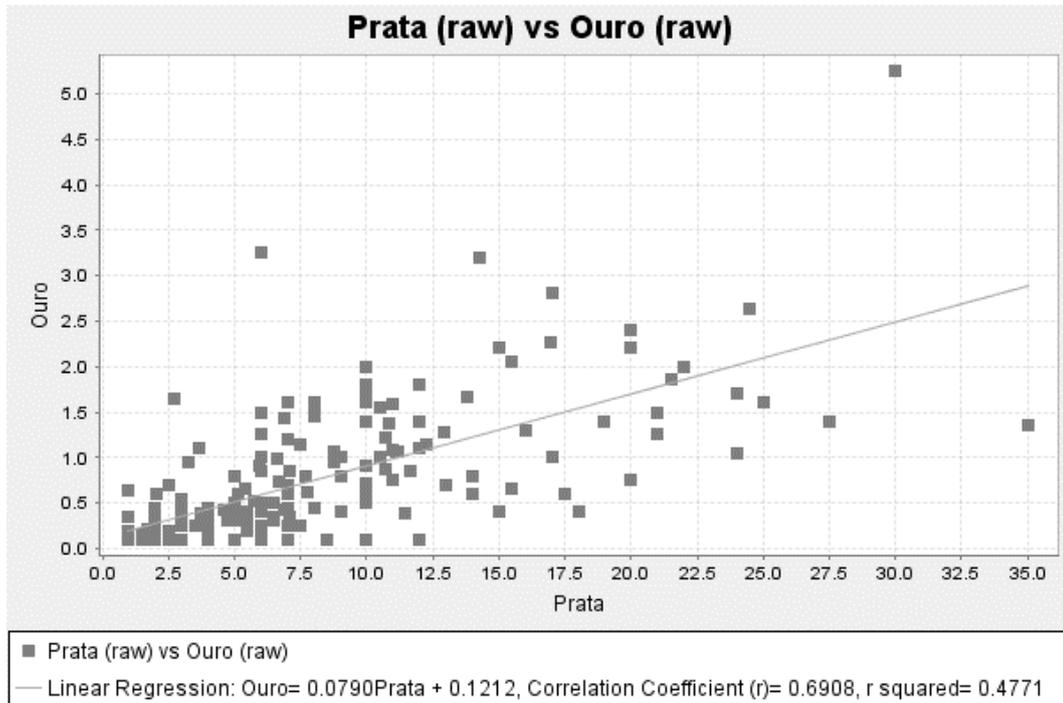
Corpo EA-6



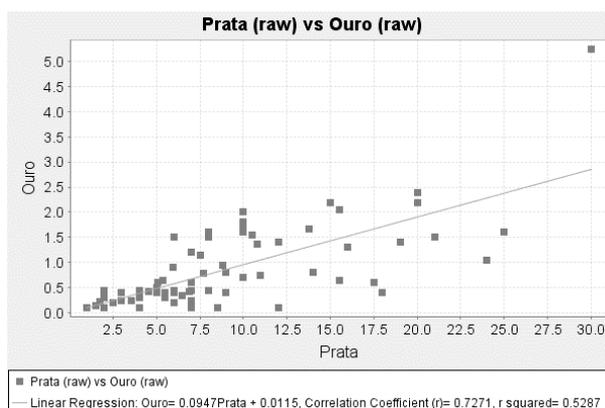
2. Diagramas de dispersão linear entre os teores de ouro e prata

2.1 Fragmentos grosseiros de *gossan* (classe E4, >5cm)

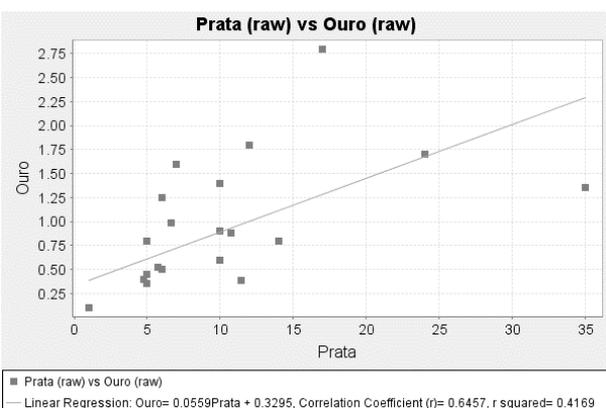
Total de amostras da classe E4



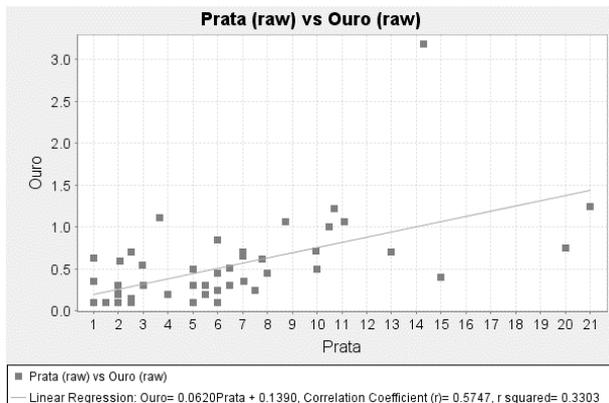
Corpo E4-5



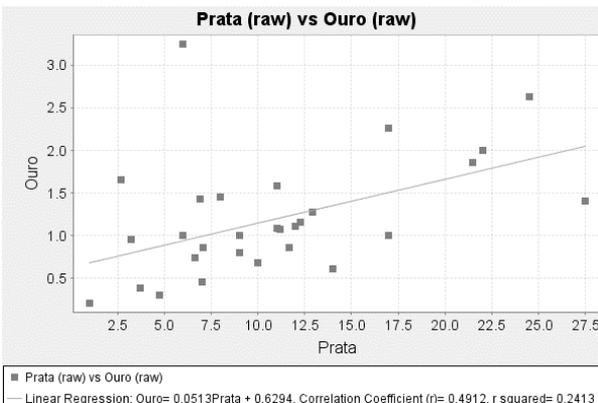
Corpo E4-6



Corpo E4-8

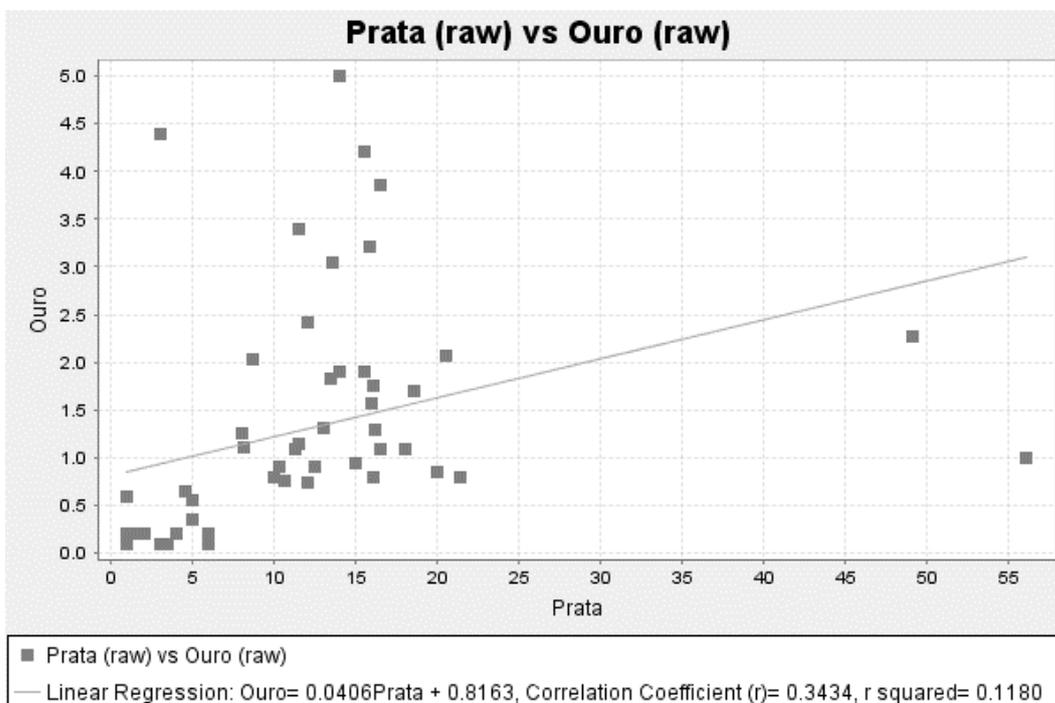


Corpo E4-9

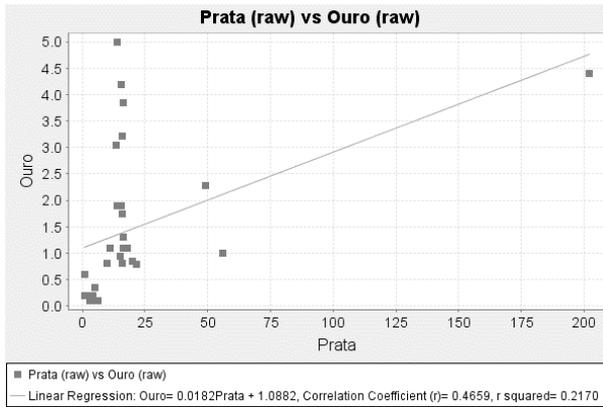


2.2 Fragmentos finos de gossan (classe E5, < 5cm)

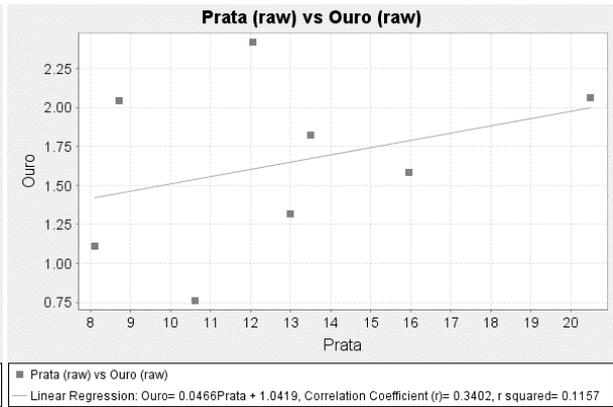
Total de amostras da classe E5



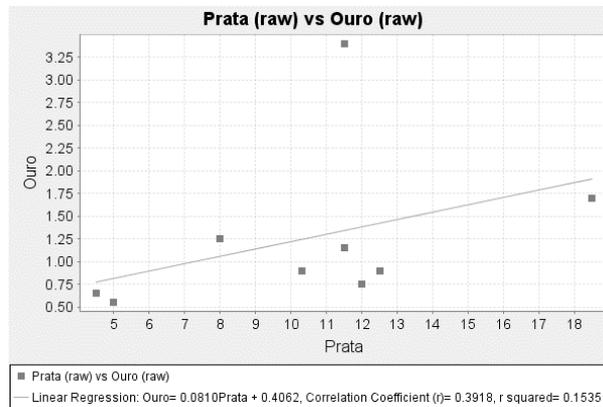
Corpo E5-1



Corpo E5-2

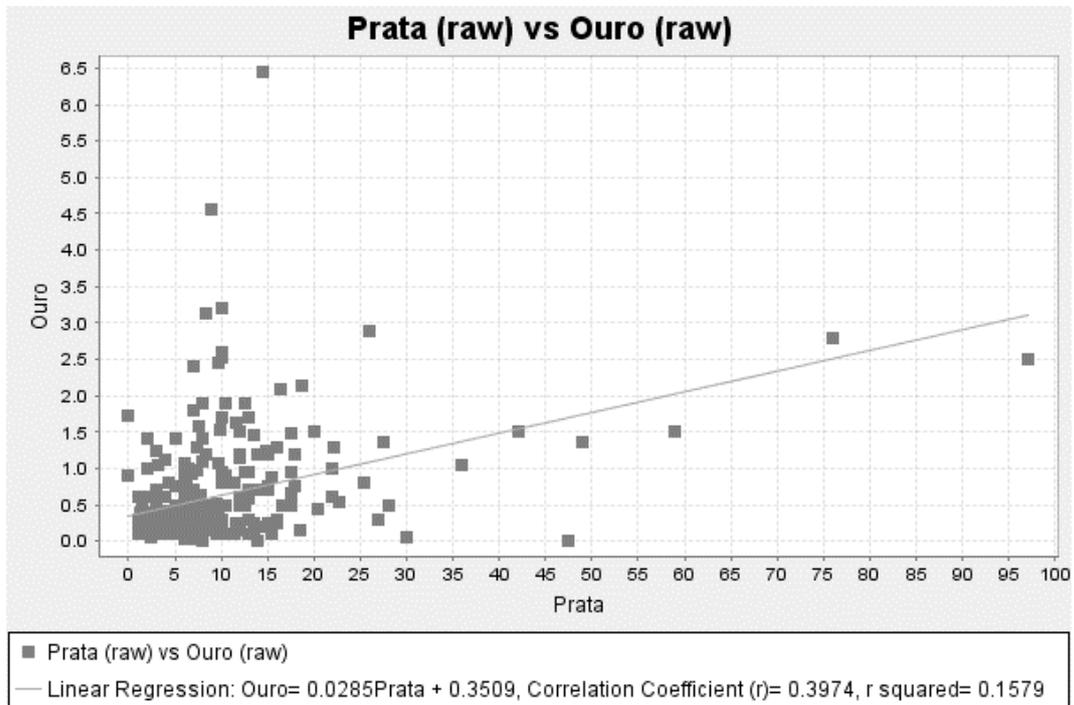


Corpo E5-3

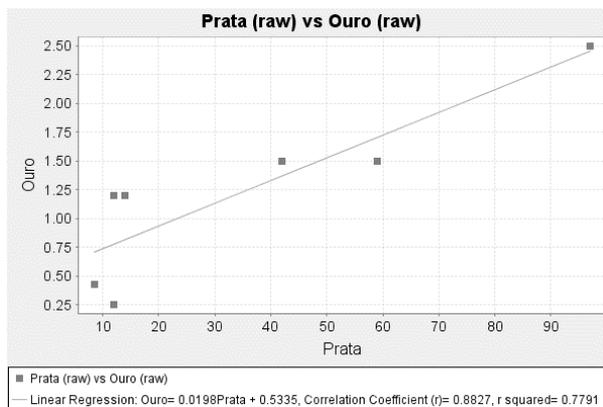


2.3 Vulcanitos ácidos gossanizados (classe E7)

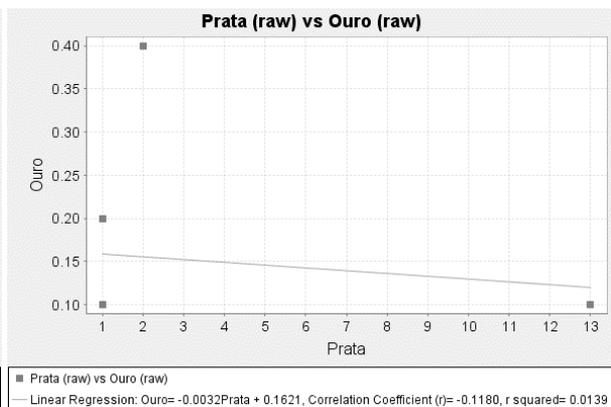
Total de amostras da classe E7



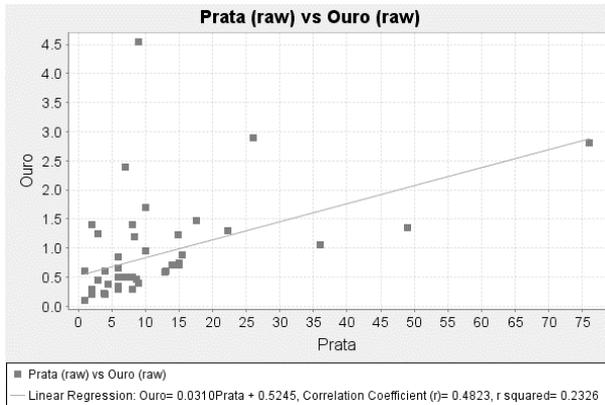
Corpo E7-1



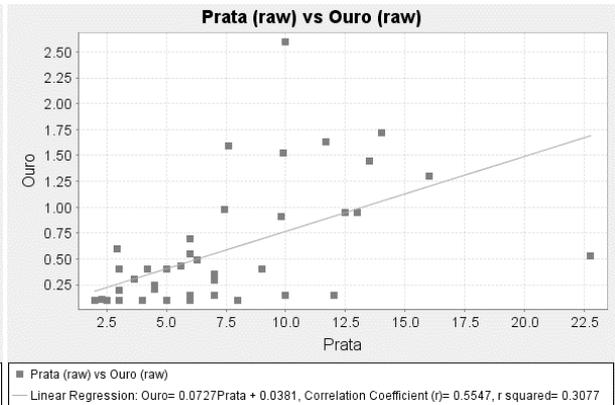
Corpo E7-2



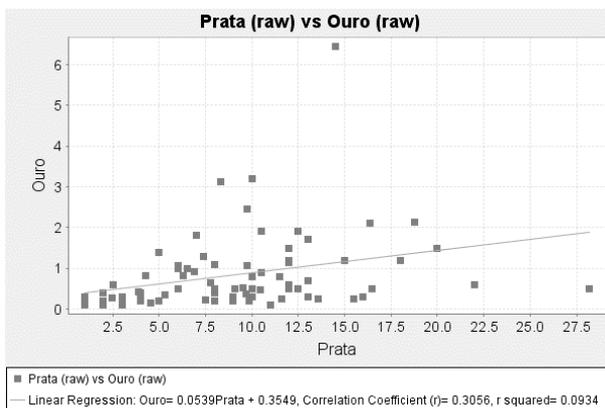
Corpo E7-3



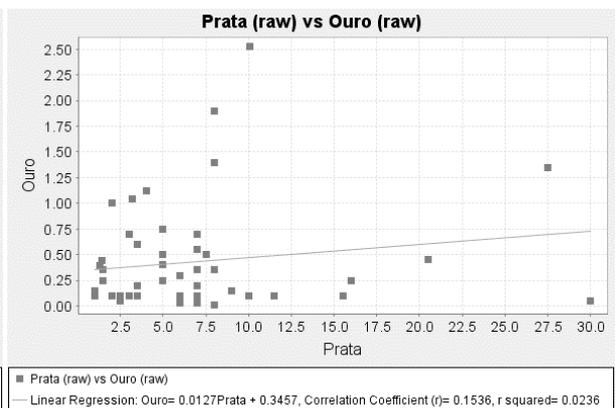
Corpo E7-4



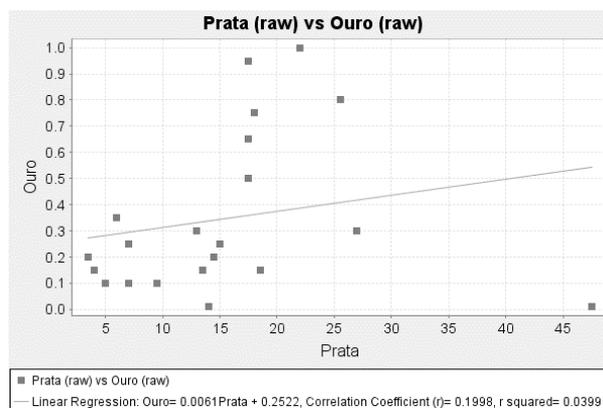
Corpo E7-5



Corpo E7-6

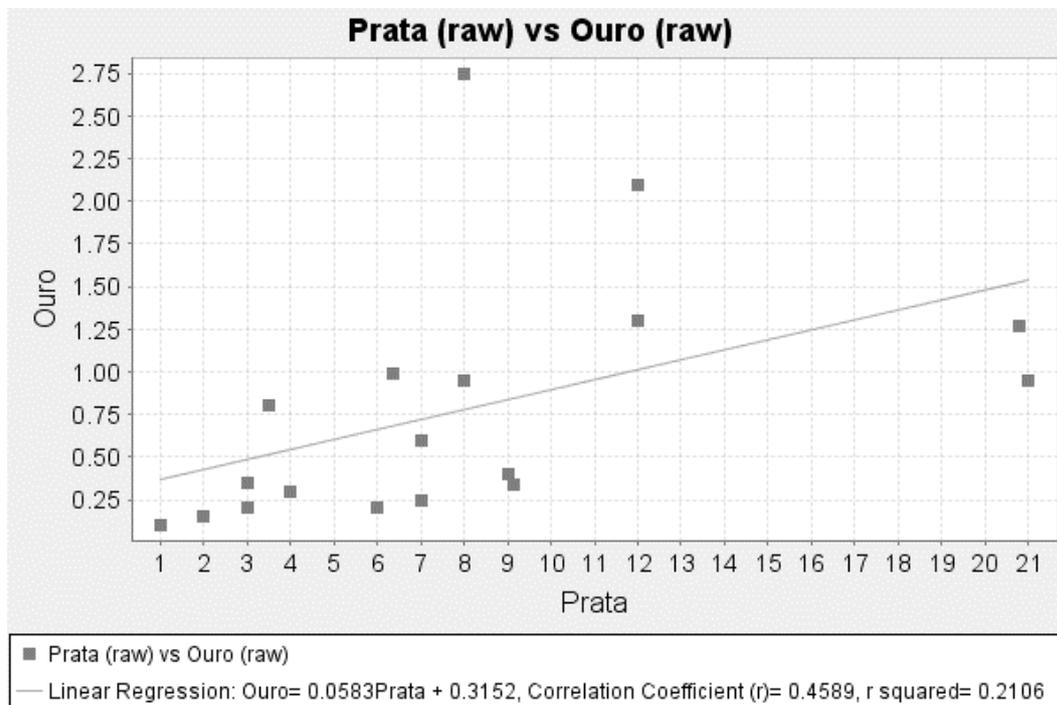


Corpo E7-7



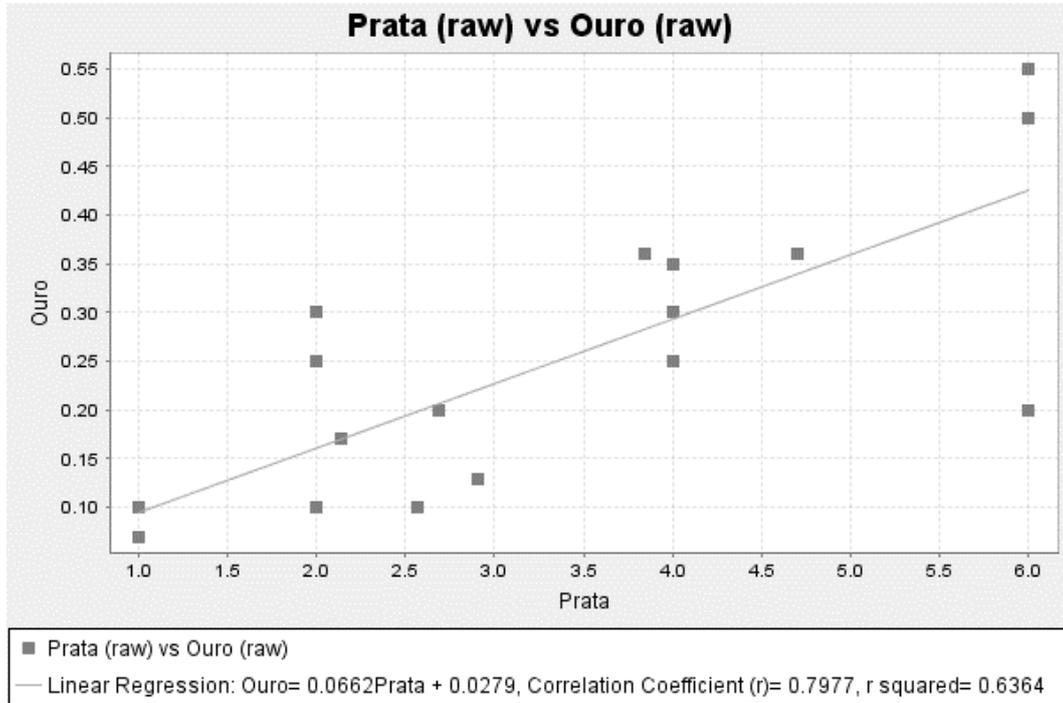
2.4 Vulcanitos ácidos e xistos argilosos (classe E8)

Corpo E8-2 (total de amostras da classe E8)

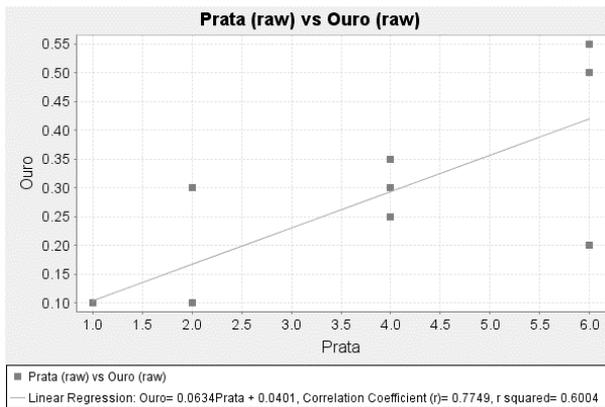


2.5 Xistos acastanhados (classe E9)

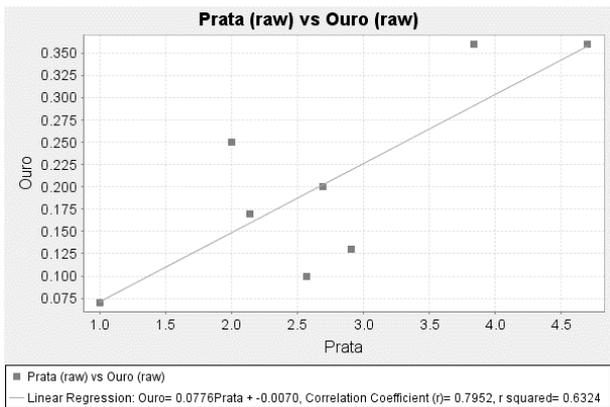
Total de amostras da classe E9



Corpo E9-3

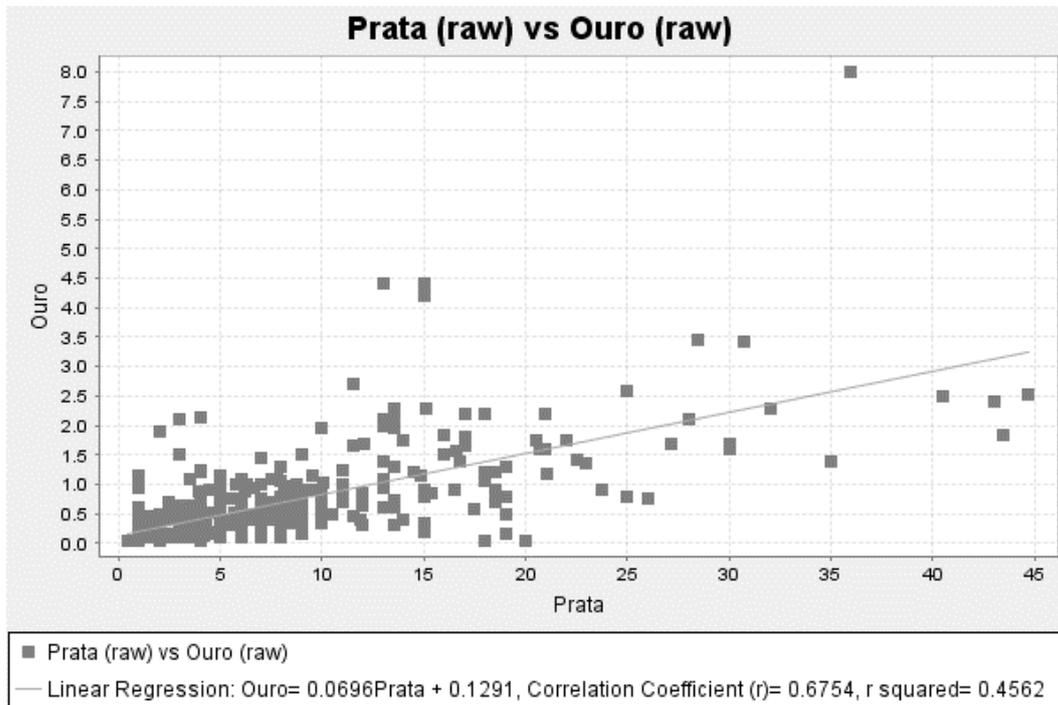


Corpo E9-5

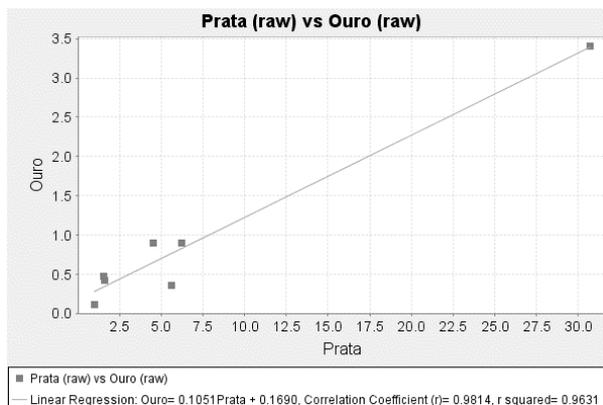


2.6 Zonas de aterro (classe EA)

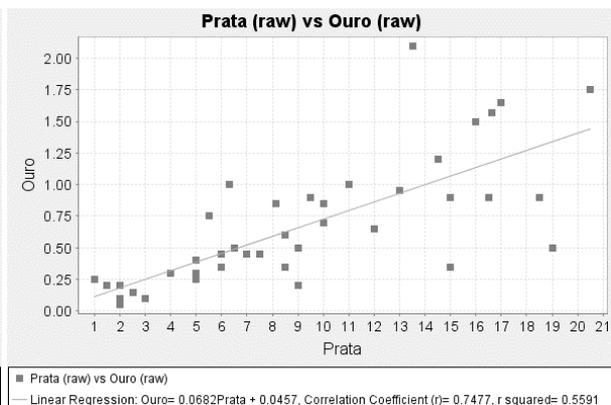
Total de amostras da classe EA



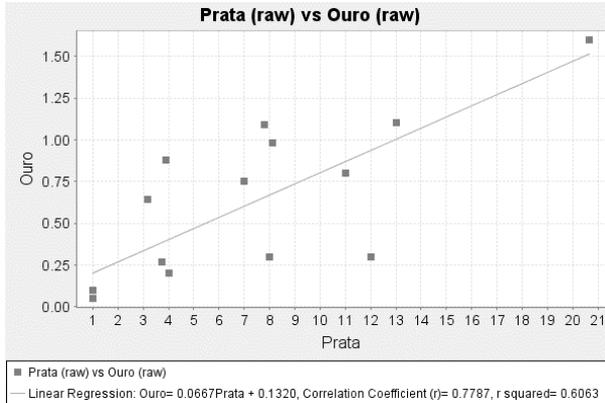
Corpo EA-1



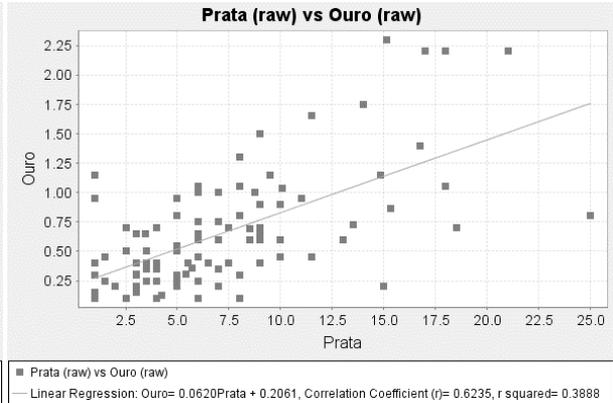
Corpo EA-2



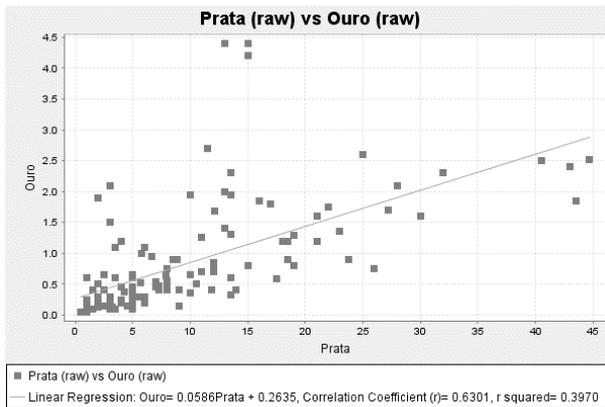
Corpo EA-3



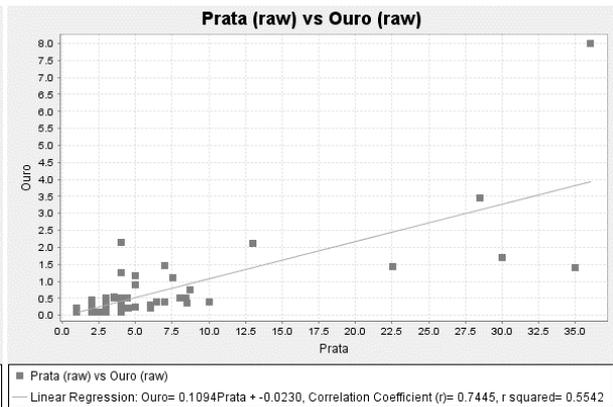
Corpo EA-4



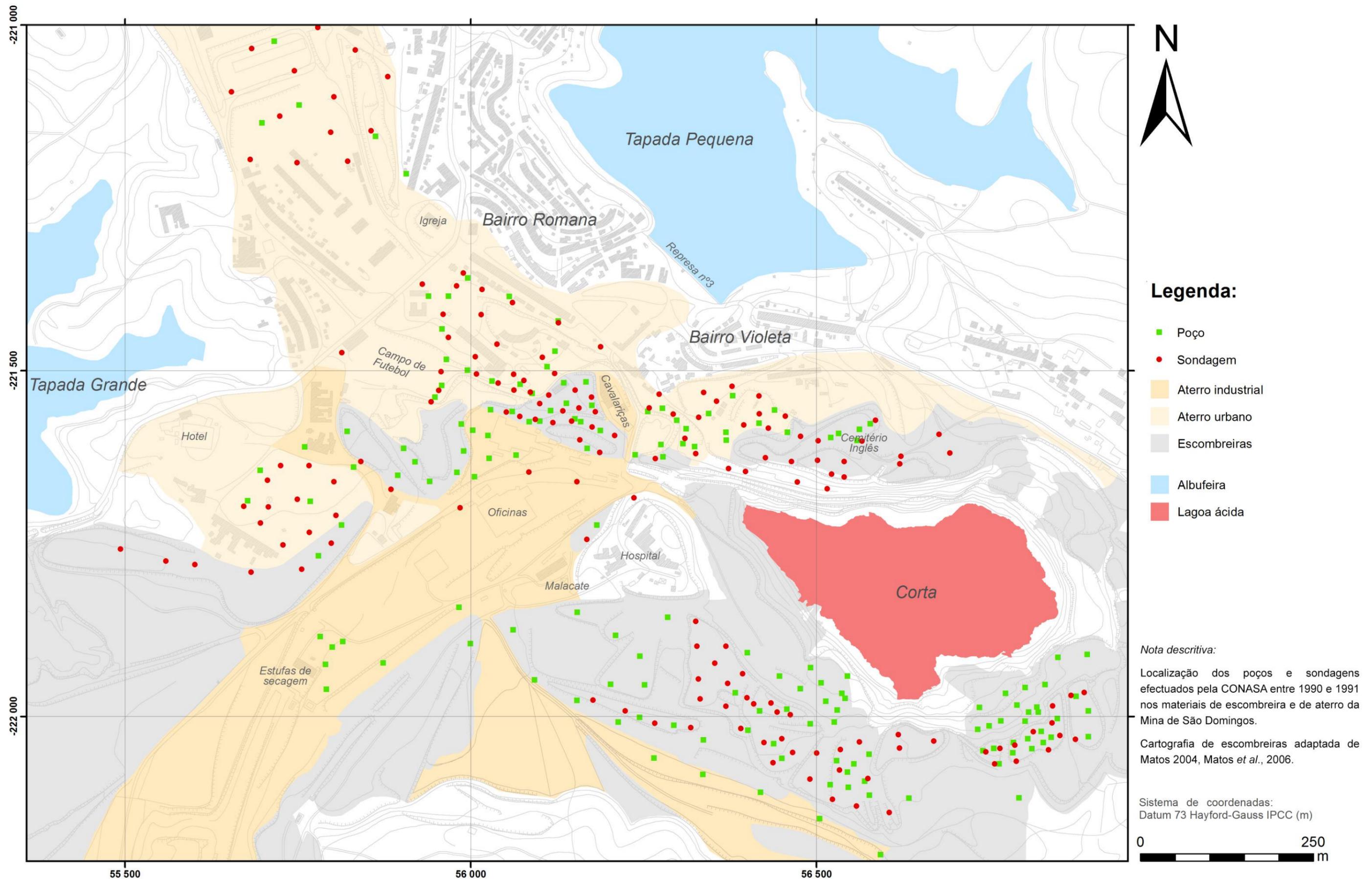
Corpo EA-5



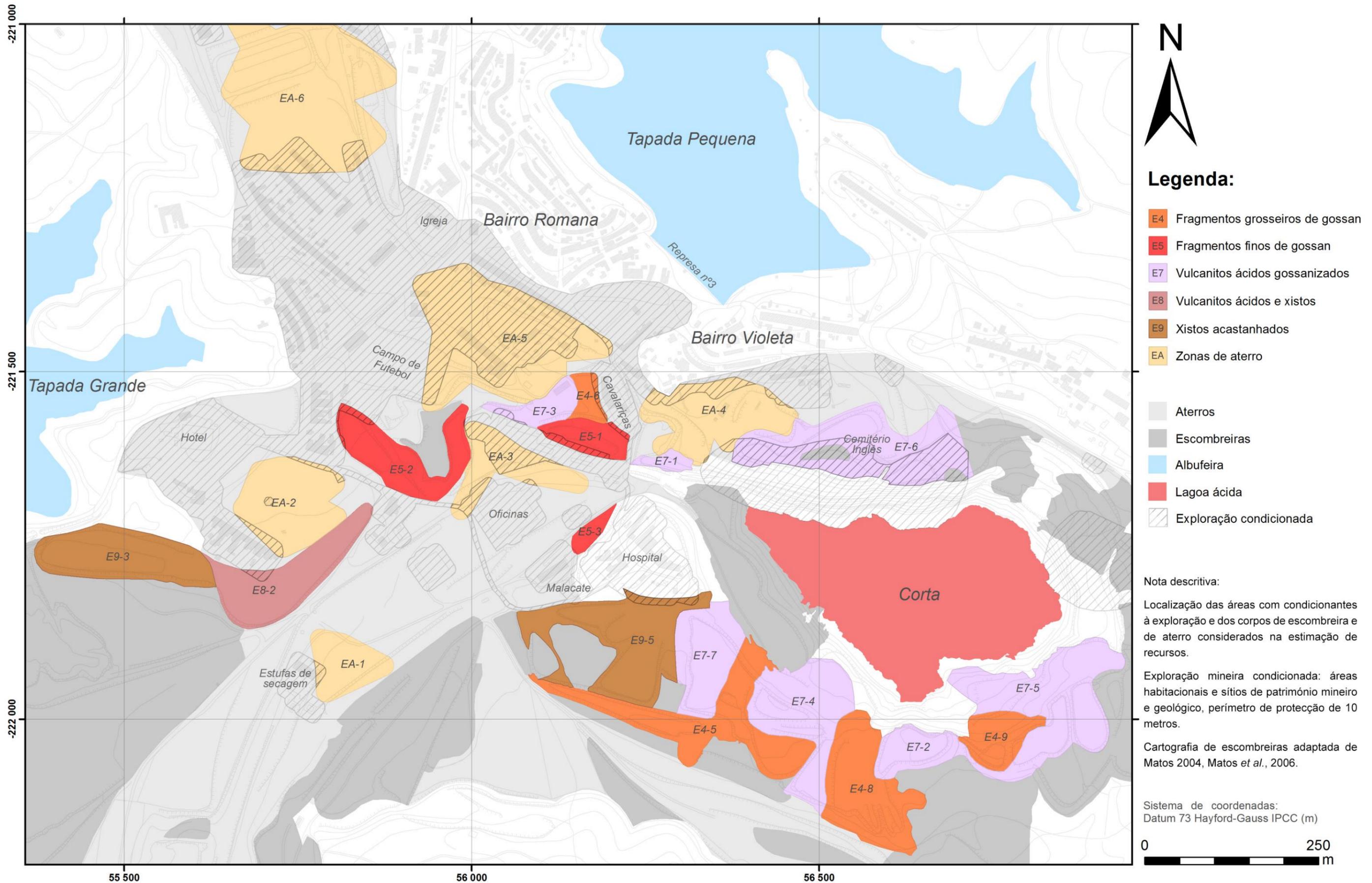
Corpo EA-6



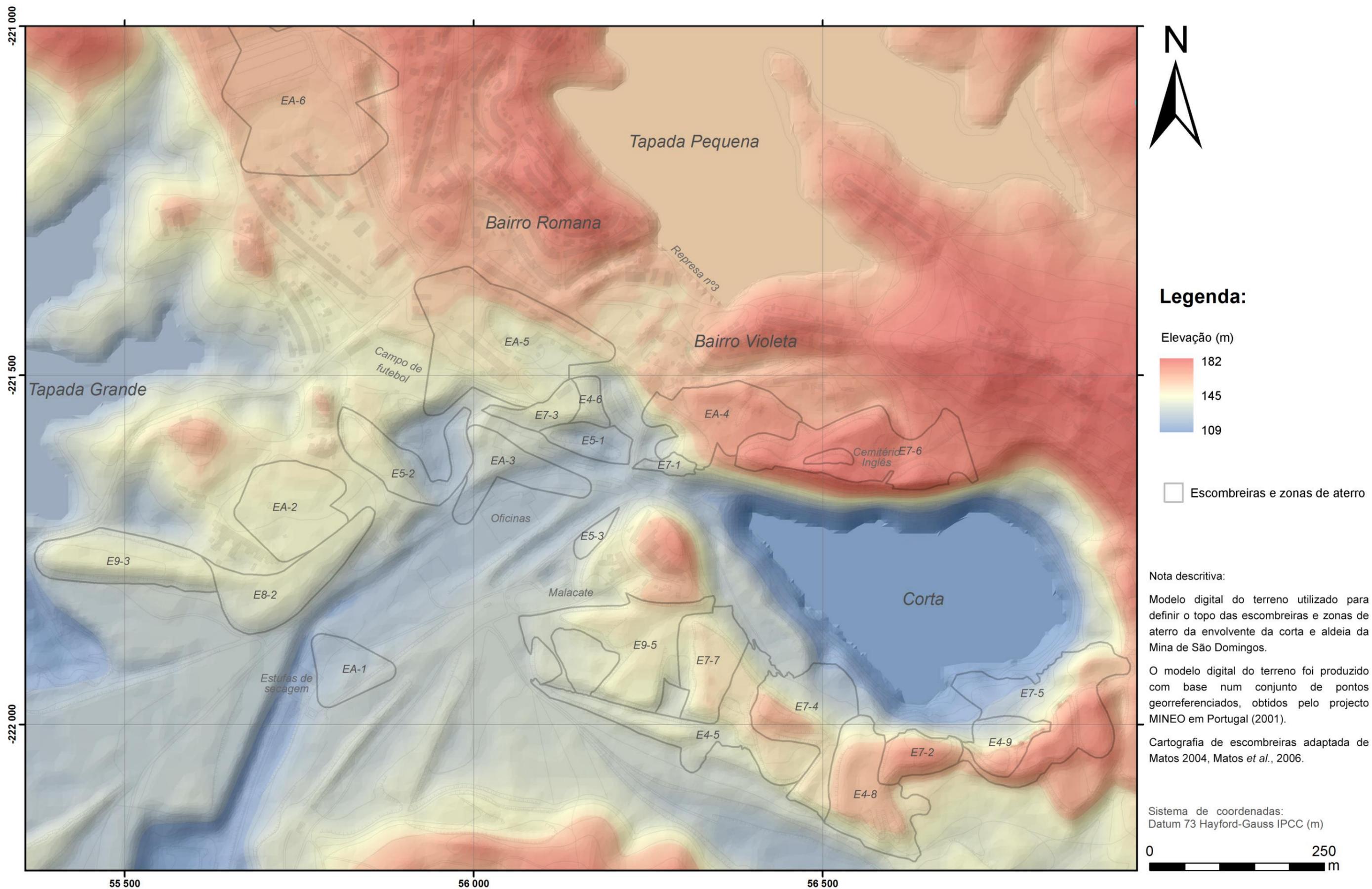
Anexo 3 - Localização da prospecção efectuada na envolvente da corta e aldeia da Mina de São Domingos 1:5 000



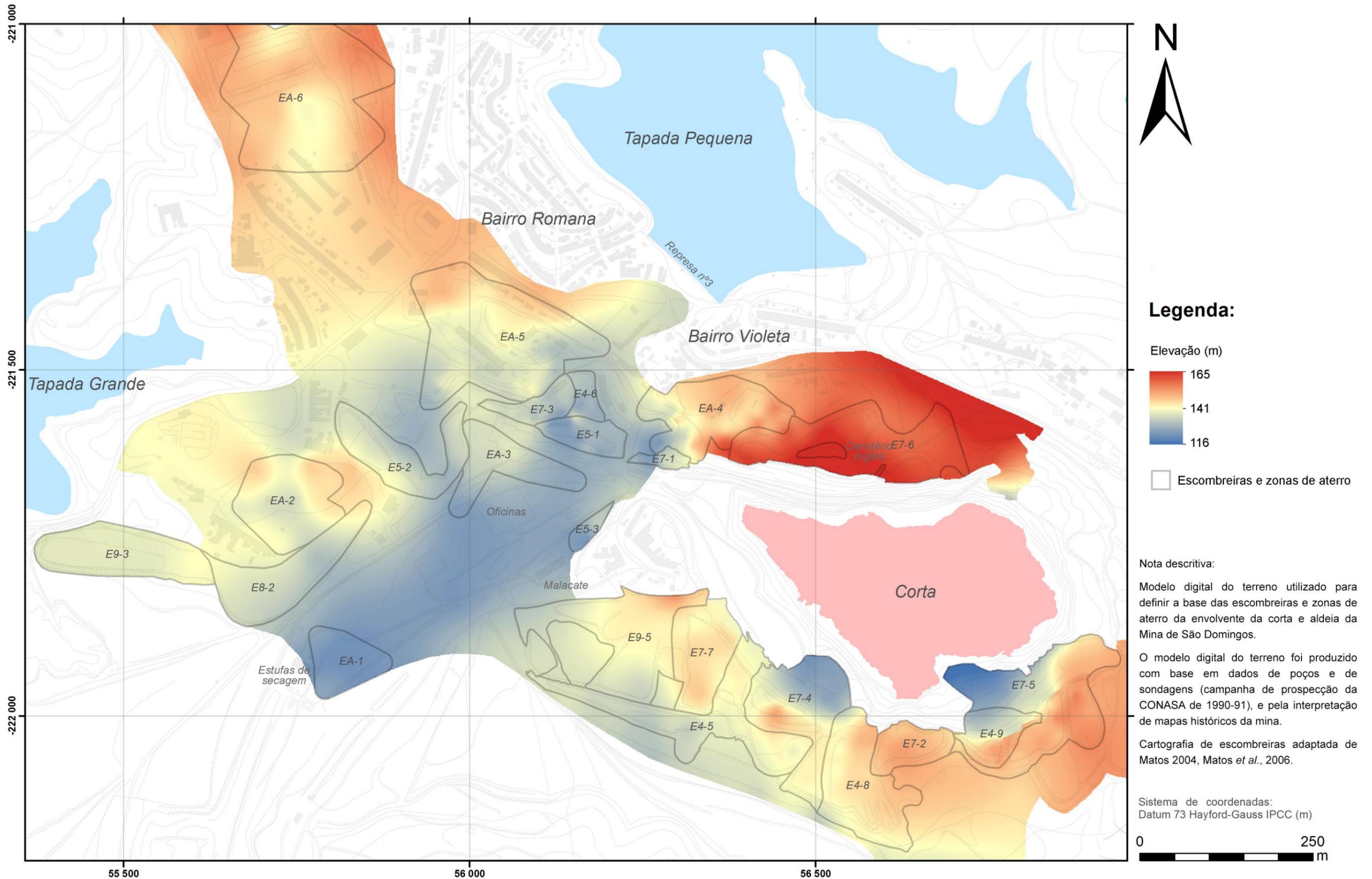
Anexo 4 - Áreas de escombreira e de aterro e zonas com exploração condicionada 1:5 000



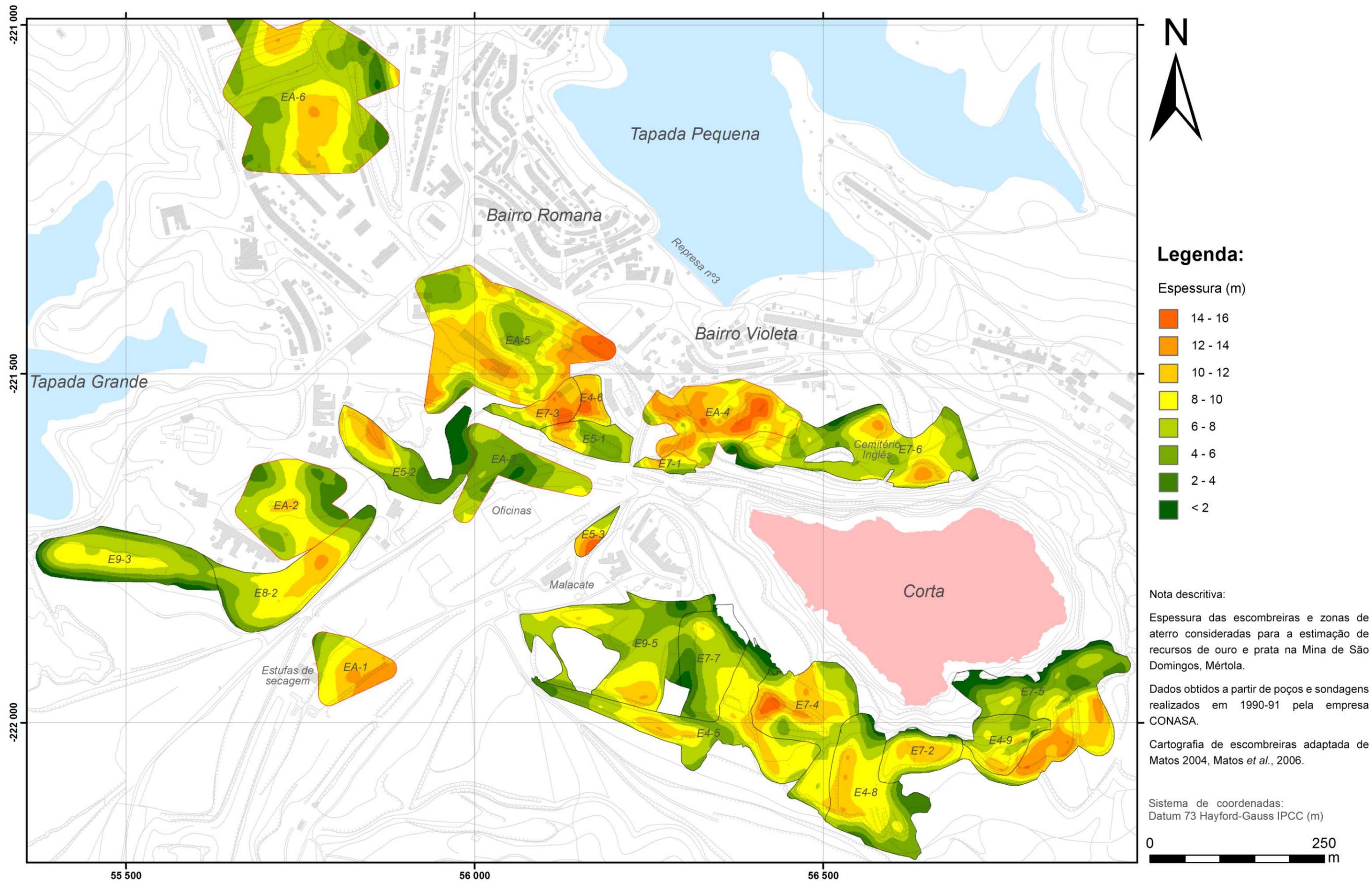
Anexo 5 - Modelo digital da superfície do terreno 1:5 000



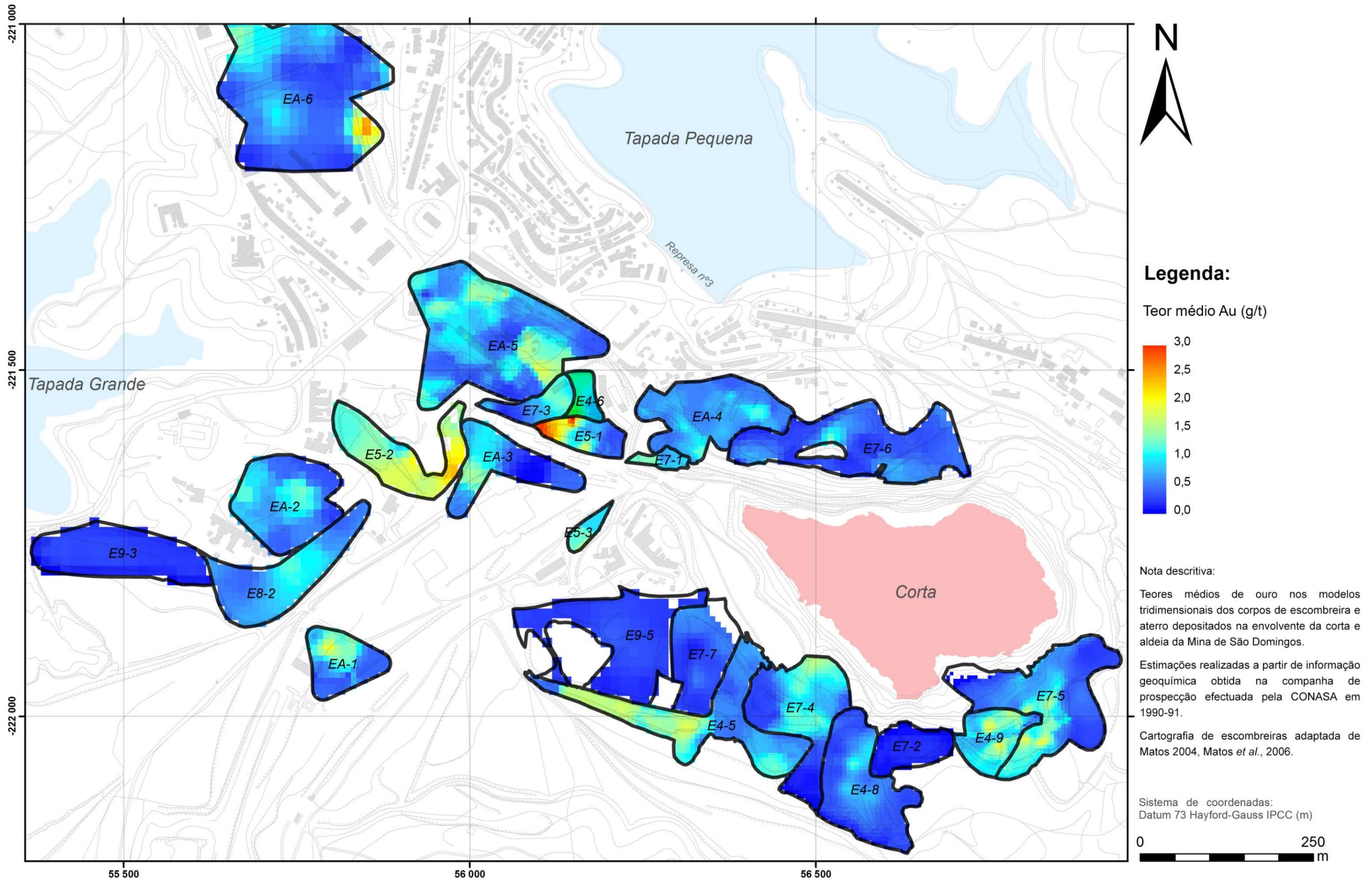
Anexo 6 - Modelo digital da superfície da base das escombreiras e aterros 1:5 000



Anexo 7 - Espessura das escombreyras e zonas de aterro 1:5 000



Anexo 8 - Teores médios de ouro nos corpos de escombreira e de aterro 1:5 000



Anexo 9 - Teores médios de prata nos corpos de escombreira e de aterro 1:5 000

