

Modelação e cálculo de recursos de um corpo do jazigo tungstífero de Covas, V.N. de Cerveira, NW Portugal

Cláudia Maria de Almeida Coelho
Dissertação de Mestrado apresentada à
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto em
Geologia
2014





Modelação e cálculo de recursos de um corpo do jazigo tungstífero de Covas, V. N. de Cerveira, NW Portugal

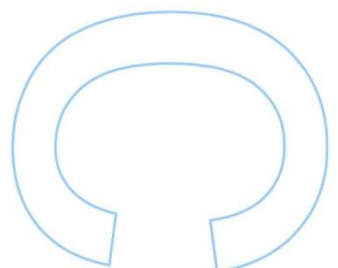
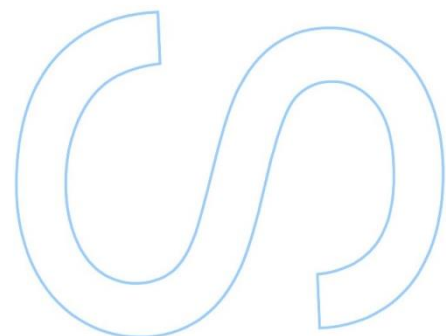
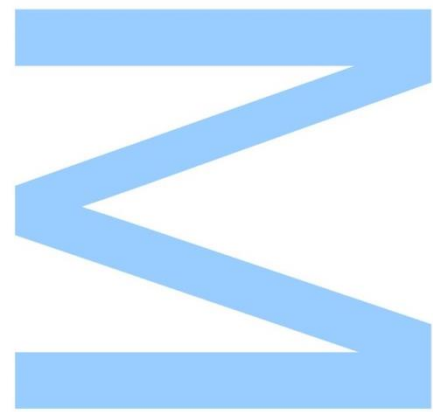
Cláudia Maria de Almeida Coelho

Mestrado em Geologia

Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território
2014

Orientador

João Manuel Domingues Coelho, Professor Associado,
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

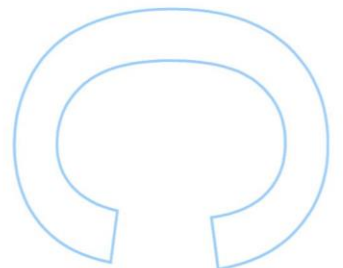
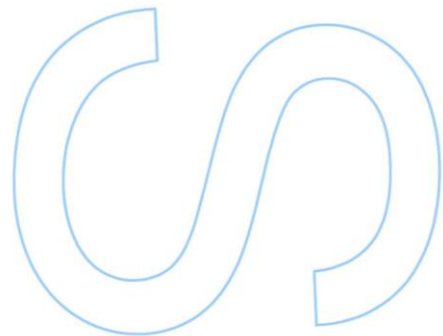
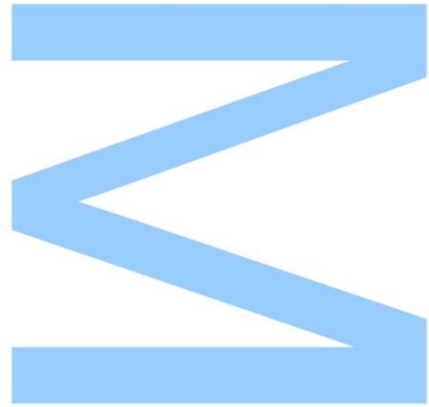




Todas as correções determinadas pelo júri, e só essas, foram efetuadas.

O Presidente do Júri,

Porto, ____/____/____



Agradecimentos

Ao Professor Doutor João Coelho por ter aceitado orientar esta dissertação, pelo apoio e constante interesse em todas as fases deste trabalho, estando sempre disponível para o esclarecimento de qualquer dúvida. Obrigada pela confiança, disponibilidade e conselhos dados ao longo destes anos.

À *Union Carbide* e ao antigo Instituto Geológico Mineiro por nos terem facultado os dados utilizados.

Em especial, quero agradecer aos meus pais, sem os quais este trabalho não teria sido possível, que sempre puseram o meu bem-estar acima do deles, e que me ensinaram a ser humilde, responsável e trabalhadora.

Resumo

O jazigo tungstífero de Covas situa-se a aproximadamente 20 km de Caminha, V. N. Cerveira, no NW de Portugal.

É um jazigo metassomático, cuja rocha portadora de mineralização é um “skarn” cálcico, no qual se insere o principal mineral hospedeiro de tungsténio: a scheelite.

Até ao final dos anos 80, a região de Covas foi palco de prospeção e de inúmeras explorações de pequena a média dimensão. Destaca-se o trabalho realizado pela *Union Carbide* e a sua subsidiária portuguesa que procederam a estudos de pesquisa e avaliação das reservas (segundo os seus autores) de tungsténio na região.

A prospeção e a exploração de recursos minerais são, cada vez mais, essenciais para a evolução da humanidade. O cálculo e a qualificação dos recursos são fundamentais para a avaliação da viabilidade de uma potencial exploração.

Recorrendo a diversas aplicações informáticas, da qual se destaca o *RockWorks16®*, calcularam-se e qualificaram-se os recursos de WO_3 para um dos corpos do jazigo em causa.

Para a caracterização da área estudada foram criados os modelos base: estratigráfico, litológico, de “skarn” e de distribuição espacial dos teores de WO_3 .

84% do “skarn” total está mineralizado. Dentro deste, os teores variam entre os 0.01% e os 5%.

Fora da litologia “skarn” existe alguma mineralização, que apesar de não ter sido contemplada nos principais cálculos dos recursos, apresenta teores que, na nossa opinião, deverão ser tidos em conta numa possível exploração.

No total, os recursos brutos de WO_3 fora do “skarn” correspondem a 380.17 Ton.

Foram calculados os recursos em “skarn” e WO_3 . Os primeiros, excluídos os estéreis, foram qualificados por distâncias de corte e por teores de corte apenas quando declarado. Os segundos foram objeto de qualificação por distâncias e teor de corte. Os recursos brutos em “skarn” perfazem 1 192 950.00 Ton e em WO_3 1 735.91 Ton

De forma a quantificar a importância de cada zona, utilizou-se o método GT¹ para o modelo de teores e para as sondagens. Este método realçou que as áreas central e SE são as de maior interesse mineiro, em que ocorrem os maiores teores e/ou espessuras de “skarn”.

¹ GT: teor x espessura (*grade x thickness*)

Com vista a uma possível exploração por galerias, procedeu-se à requalificação dos recursos segundo quatro cenários hipotéticos. Nestes cenários considerou-se:

- 1) Espessura mínima mineralizada de “skarn”;
- 2) Espessura mínima, cumulativa de “skarn”;
- 3) Espessura máxima de ganga interestratificada e
- 4) *Stripping ratio*.

Também se procedeu à simulação de uma exploração em céu aberto.

Palavras-chave:

“Skarn”, WO_3 , teores, modelação e recursos.

Abstract

The tungsten ore from Covas is located approximately 20 km from Caminha, V.N. Cerveira, NW Portugal.

It is a metasomatic ore, whose bedrock is a calcic skarn that incorporates the principal host mineral of tungsten: the scheelite.

Exploration and numerous pits of small to medium size were conducted in the region, until the late 80's. The work done by Union Carbide and its Portuguese subsidiary included research studies and evaluation of reserves (terminology of the authors) of tungsten in the region.

The exploration and exploitation of mineral resources are becoming more and more essential to the evolution of humanity. The calculation and the qualification of resources are fundamental to the viability assessment of any potential exploitation.

Using various computer applications, among which the *RockWorks16*® stands out, we calculated and qualified resources of WO_3 for one of the bodies of the ore concerned.

To characterize the study area, the following base models were created: stratigraphic, lithological, skarn and the spatial distribution of WO_3 .

84% of the skarn is mineralized. Inside of it, the grades range from 0.01% to 5%.

Outside the skarn, there is some mineralization that, despite of not having been considered in the main resources calculation, shows grades which, in our opinion, should be taken into account in a possible exploitation. The raw resources of WO_3 outside the skarn totalize 380.17 Ton.

The skarn and WO_3 resources were calculated. The first, excluding sterile, were qualified for distances and for grade cut-offs, when declared. The latter were subject to qualification for distance and for grade cut-offs. The skarn raw resources totalize 1 192 950.00 Ton and the WO_3 raw resources totalize 1 735.91 Ton.

In order to quantify the relative importance of each area, the method GT^2 was applied to both the model of spatial distribution of WO_3 and the boreholes data. This method has shown that the central and SE areas are the ones with the greatest mining interest, where the highest grades and/or thickness of skarn occur.

Assuming exploitation by galleries, we proceeded to the requalification of the resources according to four hypothetical scenarios. In these scenarios we considered:

- 1) Minimum ore zone thickness;
- 2) Minimum total ore thickness;

² $GT = \text{grade} \times \text{thickness}$

- 3) Maximum waste thickness;
- 4) Stripping ratio.

An open pit exploitation was also simulated.

Keywords:

Skarn; WO_3 ; grade; modelling and resources.

ÍNDICE

Agradecimentos.....	i
Resumo.....	ii
Abstract.....	iv
Lista de ilustrações	ix
Lista de tabelas.....	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objeto e objetivos	2
2. A ÁREA ESTUDADA.....	4
2.1. Localização	4
2.2. Geologia	5
2.3. Principais publicações.....	7
2.4. Atividade na área	8
2.4.1. No passado	8
2.4.2. No presente.....	11
3. TUNGSTÉNIO.....	13
3.1. Definição e características do tungsténio.....	13
3.2. Hospedeiros.....	14
3.3. Aplicações	14
3.4. Recursos, reservas e produção mundial	15
3.4.1. Definição de recurso e de reserva	15
3.4.2. Tungsténio no mundo.....	17
3.5. Preços.....	19
4. “SKARNS”	20
4.1. Conceito de “skarn”.....	20
4.2. Génese	21
4.2.1. Da formação da fase fluída até ao seu escape.....	21
4.2.2. O escape do fluído e o metassomatismo	23
4.3. Classificação e Nomenclatura.....	26

4.4. O caso de Covas	29
4.4.1. Paragéneses	30
4.4.2. Tungsténio: Origem, transporte e deposição	32
5. DADOS, MEIOS E METODOLOGIA.....	34
5.1. Dados	34
5.2. Meios usados.....	36
5.3. Metodologia	36
5.3.1. Modelo estratigráfico	38
5.3.2. Modelo litológico.....	38
5.3.3. Modelo de “Skarn”	38
5.3.4. Modelo de distribuição dos teores de WO ₃	39
5.3.4.1. Anomalias	39
5.3.5. Modelo de recursos de WO ₃	40
5.3.5.1. Qualificação dos recursos.....	40
5.3.5.2. Quantificação dos recursos.....	41
5.3.6. Reamostragem e Requalificação.....	43
5.3.6.1. Reamostragem dos teores das sondagens.....	43
5.3.6.2. Requalificação dos recursos.....	44
5.3.7. Simulação de uma exploração a céu aberto.....	48
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
6.1. Modelo Estratigráfico	49
6.2. Modelo Litológico	51
6.3. Modelo de “Skarn”.....	55
6.4. Modelo de teores de WO ₃	57
6.4.1. Teores dentro do “skarn”	58
6.4.2. Teores fora do “skarn”	63
6.4.3. Anomalia em relação ao TEM.....	69
6.5. Recursos.....	73
6.5.1. Qualificação dos recursos	73
6.5.2. Quantificação dos recursos	75

6.5.2.1. A partir do modelo de WO_3	75
6.5.2.2. Com base nas sondagens.....	77
6.6. Reamostragem/Requalificação	86
6.6.1. Reamostragem dos teores das sondagens.....	86
6.6.2. Requalificação dos recursos.....	89
6.7. Simulação de uma exploração a céu aberto	96
7. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	99
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107
ANEXOS	115
Anexo 1 - Algoritmos.....	115
Anexo 2- Tabela “Skarn”	116
Anexo 3 - Diagrafias	118

Lista de Ilustrações:

Ilustração 1: Materiais críticos para a Europa (adaptado de <i>URL 1</i>).	1
Ilustração 2: A - Localização da área estudada retângulo vermelho), UTM, zona 29T - WGS84. B- Principal nível de “skarn” (linha verde). Dados implantados sobre a Carta Geológica Folha 1-C, Caminha, escala 1:50 000, UTM, zona 29T - WGS84.....	4
Ilustração 3: Coluna estratigráfica referente à área estudada. Unidades da zona mineralizada (<i>Coelho, 1993</i>)	7
Ilustração 4: Localização das antigas concessões (anos 1960-1980), do principal nível de “skarn” (linha vermelha), dos 8 corpos mineralizados (1- Fervença, 2- Valdarcas, 3- Lapa Grande, 4- Muito Seco, 5- Boundary, 6- Castelo, 7- Cerdeirinha Oeste e 8- Telheira) e da área estudada (polígono azul). Dados implantados sobre as cartas militares 14 (Caminha) e 15 (Paredes de Coura) à escala 1:25 000, UTM, zona 29T - WGS84.....	10
Ilustração 5: Localização da atual concessão. Dados projetados sobre as cartas militares 14 (Caminha) e 15 (Paredes de Coura) à escala 1:25 000, UTM, zona 29T - WGS84.....	12
Ilustração 6: Relação entre recursos minerais e reservas minerais (adaptado de <i>URL 6</i>).	16
Ilustração 7: Produção mundial de tungsténio em 2009 (adaptado de (<i>Pitfield & Brown, 2011</i>))	18
Ilustração 8: Mapa de localização dos maiores jazigos de tungsténio do mundo (adaptado de <i>Werner et al., 1998</i>)	18
Ilustração 9: Evolução do preço do tungsténio ao longo dos anos.(Adaptado de <i>URL 9</i>)	19
Ilustração 10: Modelo de derivação e cristalização de <i>Jahns & Burnham (1969)</i>	25
Ilustração 11: A - Diagramas ternários relativos à composição das piroxenas e granadas dos maiores jazigos de skarn do mundo (<i>Meinert, 1982</i>); B - Composição das granadas de Covas; C - Composição das piroxenas de Covas.	30
Ilustração 12: Principais paragénese primárias dos “skarns” de Covas (<i>Coelho, 1993</i>).	32
Ilustração 13: Localização da área e das sondagens estudadas. O símbolo vermelho indica a presença de “skarn” nas sondagens. Os traços das sondagens inclinadas (linhas tracejadas azuis) estão representados em projeção ortogonal. Dados implantados sobre imagem do <i>Google Earth™</i>	35

Ilustração 14: Histograma de frequências dos teores de WO_3 das sondagens em estudo.....	35
Ilustração 15: Variograma para os dados de WO_3	41
Ilustração 16: Esquema do método espessura mínima de zona mineralizada .	45
Ilustração 17: Esquema do método espessura mínima total mineralizada (adaptado de <i>Rockworks, Help files</i>).....	45
Ilustração 18: Esquema do método espessura máxima de ganga (adaptado de <i>Rockworks, Help files</i>)	46
Ilustração 19: Esquema do método <i>stripping ratio</i> – ganga contígua (adaptado de <i>Rockworks, Help files</i>)	47
Ilustração 20: Modelo estratigráfico da área estudada.....	50
Ilustração 21: Isópaca 3D da formação “skarn”, com um exagero vertical de 1.5 vezes	50
Ilustração 22: Modelo litológico da área estudada. Exagero vertical de 1.5 vezes.....	52
Ilustração 23: Secções com orientação SW-NE do modelo litológico.	53
Ilustração 24: Secções com orientação SE-NW do modelo litológico.	54
Ilustração 25: Mapa geológico da área estudada.	54
Ilustração 26: A) Modelo de “skarn” total e <i>logs</i> 3D com representação da litologia, observados de SE com um exagero vertical de 1.5 vezes. B) Modelo de “skarn” total e <i>logs</i> 3D com representação da litologia, observados de NW com um exagero vertical de 1.5 vezes. A legenda da litologia é a da ilustração 17.	56
Ilustração 27: Mapa da espessura real, cumulativa, de “skarn” total.....	57
Ilustração 28: Mapa de espessura de terreno de cobertura acima da litologia “skarn”	57
Ilustração 29: Histograma de frequências dos teores de WO_3 do modelo de distribuição, com escala logarítmica. No pormenor observam-se os teores entre 1 e 5%.	59
Ilustração 30: Modelo de distribuição espacial dos teores de $WO_3\%$ dentro do “skarn”	60
Ilustração 31: Mapa dos teores mais elevados de WO_3 dentro do “skarn”, segundo a vertical.....	61
Ilustração 32: Mapa dos teores mais baixos de WO_3 dentro do “skarn”, segundo a vertical.	61
Ilustração 33: Mapa dos teores médios de WO_3 dentro do “skarn”, segundo a vertical.	62

Ilustração 34: Mapa da soma dos teores de WO_3 dentro do “skarn”, segundo a vertical.....	62
Ilustração 35: Histogramas de frequência para as litologias onde ocorrem teores fora do “skarn”. A linha tracejada a vermelho indica a média, a linha tracejada a verde indica a mediana e a região a amarelo indica o “background”.....	65
Ilustração 36: Mapa dos teores mais elevados de WO_3 , segundo a vertical, fora do “skarn”.....	67
Ilustração 37: Mapa dos teores mais baixos de WO_3 , segundo a vertical, fora do “skarn”	67
Ilustração 38: Mapa dos teores médios de WO_3 , segundo a vertical, fora do “skarn”	68
Ilustração 39: Mapa da soma dos teores de WO_3 , segundo a vertical, fora do “skarn”	68
Ilustração 40: Modelo de anomalias em relação ao TEM	70
Ilustração 41: Mapa das anomalias mais elevadas em cada vertical	71
Ilustração 42: Mapa das cotas mais elevadas das anomalias mais elevadas ..	71
Ilustração 43: Mapa de espessuras das anomalias positivas em cada vertical	72
Ilustração 44: Mapa da anomalia média em cada vertical.....	72
Ilustração 45: Modelo tridimensional dos recursos brutos de WO_3 existentes no seio do “skarn”	73
Ilustração 46: Mapa resultante da soma de GT em cada vertical, cujos teores de WO_3 são superiores ao TEM e o valor de GT é superior a 0.14.....	76
Ilustração 47: A) Mapa dos teores médios de WO_3 da área estudada; B) Mapa da soma das espessuras de “skarn” mineralizado; C) Mapa de GT.....	80
Ilustração 48: A) Mapa de GT medido (<42 m) para os teores baixos (0.14 a 2%); B) Mapa de GT medido (<42 m) para os teores elevados (>2%); C) Mapa de GT medido (<42 m) para teores baixos e elevados (>0.14%).....	81
Ilustração 49: A) Mapa de GT indicado (42 a 76 m) para os teores baixos (0.14 a 2%). B) Mapa do GT indicado (42 a 76 m) para os teores elevados (>2%). C) Mapa do GT indicado (42 a 76 m) para teores baixos e elevados (>0.14%).....	82
Ilustração 50: A) Mapa de GT medido e indicado (< 76 m) para os teores baixos (0.14 a 2%). B) Mapa do GT medido e indicado (< 76 m) para os teores elevados (>2%). C) Mapa do GT medido e indicado (< 76 m) para teores baixos e elevados (>0.14%).....	83
Ilustração 51: A) Mapa de GT inferido (76 a 100 m) para os teores baixos (0.14 a 2%). B) Mapa do GT inferido (76 a 100 m) para os teores elevados (>2%). C) Mapa do GT inferido (76 a 100 m) para teores baixos e elevados (>0.14%).....	84

Ilustração 52: A) Mapa de GT medido, indicado e inferido (< 100 m) para os teores baixos (0.14 a 2%). B) Mapa do GT medido, indicado e inferido (< 100 m) para os teores elevados (>2%). C) Mapa do GT medido, indicado e inferido (< 100 m) para teores baixos e elevados (>0.14%).....	85
Ilustração 53: Diagrafia da sondagem 76-10. Da esquerda para a direita podem observar-se: a profundidade sondada e as respetivas cotas; litologia e estratigrafia atravessadas; histograma de teores de WO ₃ ; histogramas resultantes da reamostragem dos teores (LCW para a estratigrafia “skarn”, LCW por bancadas e o teor médio).	87
Ilustração 54: Mapa da soma de GT em cada sondagem (os caracteres a vermelho são a soma do GT e os caracteres a preto são a identificação das sondagens).....	89
Ilustração 55: Modelo booleano do “skarn” mineralizado resultante do cenário 1. O modelo representa os níveis de “skarn” mineralizado cuja espessura é igual ou superior a 0.7 m.....	92
Ilustração 56: Modelo booleano do “skarn” mineralizado resultante do cenário 2. O modelo representa as zonas cuja espessura cumulativa, na vertical, é igual ou superior a 1 m.....	93
Ilustração 57: Modelo booleano do “skarn” mineralizado resultante do cenário 3. O modelo representa o “skarn” e as zonas de ganga interestratificada cujas espessuras não ultrapassam os 1 m.....	94
Ilustração 58: Modelo booleano do “skarn” mineralizado resultante do cenário 4. O modelo representa as zonas que obedecem a um <i>stripping ratio</i> de 5:1.....	95
Ilustração 59: Mapa da topografia resultante da simulação da exploração a céu aberto.	97
Ilustração 60: Mapa da topografia resultante da simulação da exploração a céu aberto.	97

Lista de Tabelas:

Tabela 1: Resumo das sondagens realizadas entre meados dos anos 1960 e 1980 (<i>Bronkhorst, 1980</i>)	9
Tabela 2: Produção de “skarn” mineralizado na região mineira de Covas até aos anos 80 (<i>Price, 2012</i>)	11
Tabela 3: Algumas propriedades do tungsténio (adaptado de <i>Pitfield & Brown, 2011</i>)	13
Tabela 4: Propriedades dos minerais de tungsténio mais comuns (adaptado de (<i>Pitfield & Brown, 2011</i>))	14
Tabela 5: Valores de volume, massa e percentagem em volume das formações existentes na área.	49
Tabela 6: Valores de volume, de massa e percentagem em volume das litologias existentes na área.	53
Tabela 7: Volumetria e massa de “skarn” total, mineralizado e não mineralizado	55
Tabela 8: Recursos brutos de WO_3 fora do “skarn”	64
Tabela 9: Resumo das estatísticas dos histogramas de frequência relativos aos teores fora do “skarn”	66
Tabela 10: Resultados obtidos para a massa e volume de “skarn” mineralizado, após a aplicação das distâncias de corte (DC) definidas.	74
Tabela 11: Resultados para os recursos de WO_3 e o respetivo teor médio, após aplicação das distâncias de corte e do teor de corte.	74
Tabela 12: Resultados do LCW para a formação “skarn”. Sondagens ordenadas por ordem crescente de grandeza	86
Tabela 13: Teor médio e Soma das Espessuras para cada sondagem, após a reamostragem GT	88
Tabela 14: Recursos resultantes do cenário 1	92
Tabela 15: Recursos resultantes do cenário 2	93
Tabela 16: Recursos resultantes do cenário 3	94
Tabela 17: Recursos resultantes do cenário 4	95
Tabela 18: Relatório dos recursos de “skarn” mineralizado com teores de WO_3 de 0.14 a 5% entre as cotas 264 m e 364 m, em intervalos de 5 em 5 m. A coluna intitulada “Percentagem” refere-se à percentagem volumétrica de “skarn” em cada intervalo.	97
Tabela 19: Resultados obtidos para os recursos de “skarn” e WO_3 após a qualificação	102

Tabela 20: Resultados obtidos após a requalificação dos diversos cenários. 103

Tabela 21: Comparação dos recursos de “skarn” calculados nesta dissertação com os da *Union Carbide* 105

1. INTRODUÇÃO

A utilização dos recursos minerais pelo Homem é quase tão antiga como a sua própria existência. As grandes inovações tecnológicas da História da Humanidade foram e continuam a ser baseadas na utilização dos recursos minerais.

À medida que a população aumentou, a civilização tornou-se mais sofisticada e tecnologicamente avançada, levando a um aumento da procura dos recursos minerais.

Alguns desses recursos são considerados como materiais críticos para a Europa (ilustração 1).

A prospeção e a produção de materiais críticos estão a tornar-se progressivamente mais caras devido a:

- estes materiais serem cada vez mais requeridos pelo avanço das atividades de alta tecnologia industrial;
- existir risco de rutura de fornecimento, quer pela sua produção estar controlada por um número limitado de países, quer por ocorrer em países problemáticos.

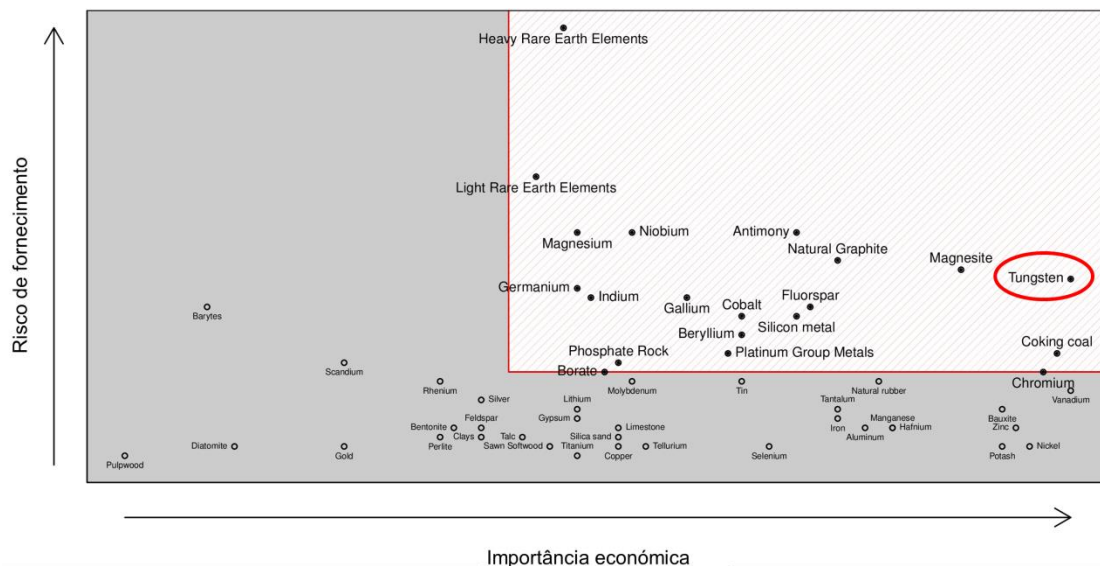


Ilustração 1: Materiais críticos para a Europa (adaptado de URL 1).

O tungsténio, também conhecido por volfrâmio, é um dos materiais críticos com maior importância económica na Europa (ilustração 1).

O facto de o tungsténio possuir o ponto de fusão mais elevado de todos os metais torna-o uma importante matéria-prima, necessária ao progresso da humanidade (Cerveira, 1982).

Os maiores depósitos de tungsténio encontram-se na China, Canadá e Rússia. Atualmente, os maiores depósitos na Europa situam-se em Portugal e na Áustria (URL 2).

Os jazigos do tipo “skarns” são dos mais abundantes na crosta terrestre (Meinert *et al.*, 2005) e constituem a maior fonte de tungsténio e cobre, uma importante fonte de ferro, estanho, molibdénio e zinco e ainda uma pequena fonte de cobalto, ouro, prata, chumbo, bismuto, berílio e boro (Einadi *et al.*, 1981).

A mineralização e a mineralogia dos jazigos de “skarn” refletem a combinação de vários fatores, tais como a tectónica, a composição do magma, a composição do fluido metassomático original e ainda o substrato onde este se infiltra (Einadi *et al.*, 1981).

Os “skarns” estão presentes em todos os continentes e estão conotados com quase todas as idades geológicas (Meinert *et al.*, 2005).

Estas rochas podem ser associadas a metamorfismo de contacto ou regional e são formadas por uma variedade de processos metassomáticos que envolvem fluídos de origem magmática, metamórfica e/ou infiltração (Meinert *et al.*, 2005).

O jazigo tungstífero de Covas localiza-se perto de Caminha, no NW de Portugal. Este jazigo situa-se numa estrutura antiformal, conhecida pelo “Domo de Covas”, cuja parte central já foi erodida.

A rocha metassomática, mãe da mineralização, é um “skarn” cálcico, um granato-piroxenito, onde se insere o principal mineral hospedeiro de tungsténio: a scheelite (Coelho, 1993).

No passado recente, esta região foi alvo de diversos trabalhos de pesquisa e de prospeção levados a cabo por várias empresas, chegando mesmo a ser explorado algum tungsténio (sob a forma de scheelite e de volframite). No entanto, a área foi abandonada por não ser considerada economicamente viável, face às condições vigentes da altura. Mais recentemente, esta região voltou a suscitar interesse, tendo uma empresa do sector obtido licença para exploração experimental.

1.1. Objeto e objetivos

Existe uma considerável quantidade de informação e de dados disponíveis sobre o jazigo de Covas.

Foi necessário subdividir o jazigo em diversas áreas, refletindo a distribuição espacial dos dados existentes.

Como objeto de estudo desta dissertação, optou-se por trabalhar apenas uma das áreas disponíveis, denominada “corpo 6”. Esta área engloba o corpo Lapa Grande, definido pela *Union Carbide* e, ainda, os terrenos vizinhos.

Foram equacionados os seguintes objetivos principais:

- modelação estratigráfica, litológica, de teores e de tonelagens, bi e tridimensional, “booleana” e numérica, o mais detalhada e realista possível;
- cálculo dos recursos em “skarn” e em WO_3 segundo vários parâmetros e condicionantes;
- qualificação e quantificação dos recursos obtidos;
- definição das áreas de maior e menor interesse mineiro.

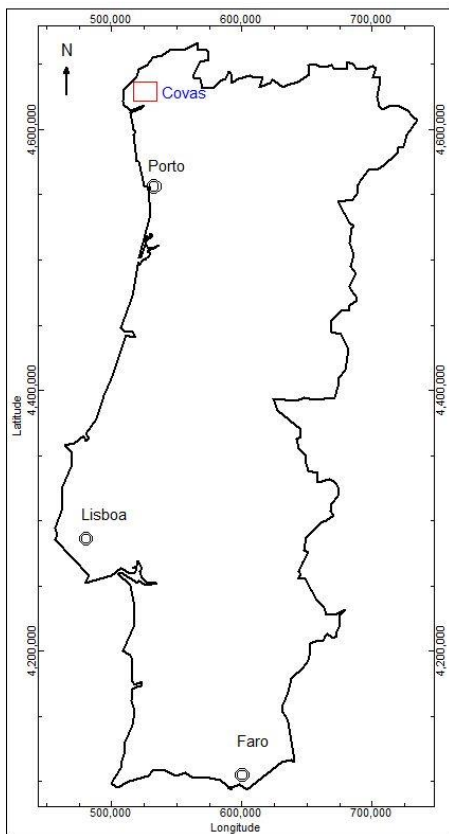
2. A ÁREA ESTUDADA

2.1. Localização

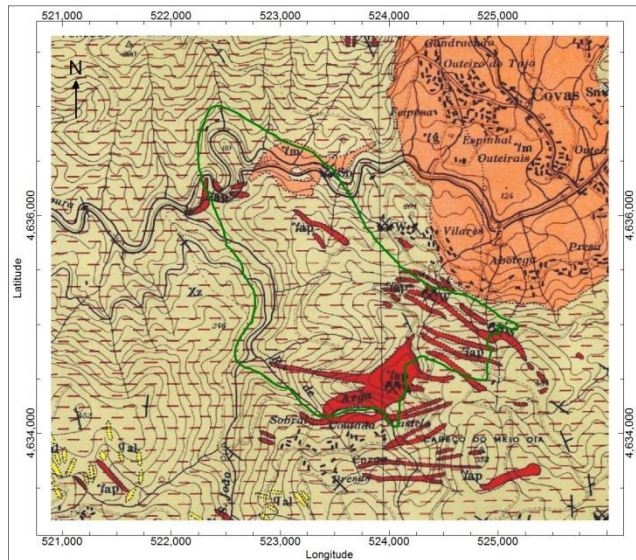
O jazigo tungstífero de Covas situa-se aproximadamente a 20 km de Caminha, no concelho de Vila Nova de Cerveira, distrito de Viana do Castelo, província do Minho, noroeste de Portugal (ilustração 2A).

O “Domo de Covas”, estrutura onde se aloja o jazigo em estudo, enquadra-se numa região bastante acidentada e compartilhada pelas três bacias hidrográficas dos rios Minho, Lima e Âncora. A este domo corresponde fisiograficamente a “Janela de Covas”, área geográfica que é dominada a sul pela Serra de Arga e que é confinada a norte pelo rio Coura e pelo granito de Covas, a oeste pela ribeira de São João e a sul pela ribeira de Arga e pelo Cabeço do Meio-Dia (Coelho *et al.*, 2001).

A área está coberta pela folha 1-C, Caminha (ilustração 2B), da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000 e pelas cartas militares 14 – Caminha e 15 – Paredes de Coura à escala 1:25 000.



A



B

Ilustração 2: **A** - Localização da área estudada (retângulo vermelho), UTM, zona 29T - WGS84. **B**- Principal nível de “skarn” (linha verde). Dados implantados sobre a Carta Geológica Folha 1-C, Caminha, escala 1:50 000, UTM, zona 29T - WGS84.

2.2. Geologia

O vasto domínio em questão encontra-se na extremidade NW da Zona Centro Ibérica (Julivert *et al.*, 1974), integra-se no arco hercínico Ibero-Armoricano, genericamente constituído por terrenos Paleozóicos deformados, média a fortemente metamorfizados, através dos quais irrompem granitóides hercínicos (Coelho, 1993).

A região localiza-se a oeste do cisalhamento dúctil (dextrogiro) de Vila Nova de Cerveira-Amarante (Farinha, 1989).

Os granitóides que podem ser encontrados a preencher os antiformas intravestefalianos, ou completamente discordantes (Dias, 1987), revelam composições variáveis de granodioritos a leucogranitos.

A NE aflora o granito de Covas (alcalino de grão grosseiro a médio) e a SSW temos o granito da Serra de Arga (duas micas, alcalino, de grão médio a grosseiro e com tendência porfiróide) (Farinha, 1989).

Na região ocorre uma densa rede de filões de aplito-pegmatitos, entrecortados esporadicamente por lamprófiros (kersantitos), com especial ênfase para o sector da “janela de Covas” (Coelho, 1993 e Coelho & Calejo, 1994).

‘A “janela de Covas” corresponde ao afloramento de um domo estrutural, que afetou localmente a série sedimentar, e cujo contorno é cartograficamente sublinhado por um notável nível quartzítico, acompanhado por bancadas descontínuas de “skarn” (Coelho, 1993).’

A série metassedimentar é essencialmente constituída por terrenos de idade Paleozóica que assentam no Complexo Xisto-Grauváquico Ante-Ordovício e ascendem progressivamente para Este até ao Silúrico Superior (Coelho *et al.*, 1988). A série é litologicamente dominada por metamorfitos derivados principalmente de xistos argilosos e de grés pelíticos, embora se evidencie em diferentes níveis estruturais, também, a presença de outros metamorfitos oriundos de quartzitos, liditos, grés líticos, calcário e de níveis carbonosos (Coelho *et al.*, 1988).

O metamorfismo regional encontrado nesta região é dos mais elevados da Zona Centro Ibérica (Julivert *et al.*, 1974), pelo que se encontram “associações minerais do tipo almandina - hornblenda actinolítica - andesina, em rochas quartzo - feldspáticas e andaluzite - estauroлите - moscovite - biotite nas rochas pelíticas (Coelho, 1993).”

O intenso metamorfismo regional não só obliterou grande parte das estruturas sedimentares primárias, como também camuflou os efeitos de metamorfismo de contacto associado à implantação de granitóides e dos filões aplito-pegmatíticos, exceto nas suas periferias imediatas (Coelho, 1993).

As unidades estratigráficas (ilustração 3), que no Domo de Covas enquadram o jazigo em causa, prolongam-se para Oeste, até próximo de Caminha, através de um sinforma cujo eixo tem orientação Norte-Sul.

Em Coelho *et al.*(1988) é possível encontrar a descrição pormenorizada de um longo perfil geológico, de orientação Oeste-Este, normal à orientação da estrutura regional, que uniu os terrenos reconhecidamente atribuídos ao Complexo Xisto-Grauváquico Ante-Ordovícico, das cercanias de Azevedo, às unidades do Domo de Covas. São de destacar, nesta série, os xistos negros da vizinhança do jazigo.

As mineralizações de scheelite e volframite da zona de Covas confinam-se a horizontes de “skarn” intercalados numa série pelítica metassedimentar. Em algumas litologias, que não o “skarn”, é possível encontrar-se mineralização sobre a forma de pseudomorfoses de scheelite em ferberite, resultantes de remobilizações e reconcentrações durante os processos supergénicos (Neiva *et al.*,1956 e Coelho, 1993).

Em termos estratigráficos (*sensu lato*) a zona foi subdividida, com base em meros critérios de campo, em unidades que não correspondem a unidades estratigráficas restritas, a saber e de cima para baixo (Coelho, 1993 e Farinha, 1989):

Cobertura: engloba o material sem recuperação e o solo existente;

Gresopelitos Superiores: Série negra, xistos³ com biotite e moscovite, com andaluzite e abundante turmalina. São nodulares devido à crenulação e podem conter pirite deformada nos planos de xistosidade.

“Skarn”: níveis calcossilicatados com possanças centimétricas a métricas e intercalados nos xistos que se sobrepõem aos quartzitos. Têm granadas, tremolite, esfena, clorite, diópsido, apatite (abundante), vesuvianite, scheelite e sulfuretos: dominam a pirrotite e a pirite;

Gresopelitos Intermédios: xistos com biotite e andaluzite, xistos nodulosos, grés amarelo e grés micáceo;

Quartzito: de cor clara, amarelo acastanhado quando oxidado. De grão fino e com granadas;

Gresopelitos Inferiores: xistos de grão fino e siliciosos quando localizados nas imediações dos quartzitos. Localmente revelam-se muito oxidados e hematitizados. Contêm andaluzite, turmalina, biotite, moscovite e granadas.

³ Será utilizado ao longo deste trabalho o termo xisto como simplificação de micaxisto.

Coelho (1993) identificou duas fases de deformação:

- Fase F_n : fase precoce que originou xistosidade de plano axial (à escala do afloramento), traduzida por dobras isoclinais deitadas, de plano axial sub-horizontal e eixo $20^0 \rightarrow N148^0$;

- Fase F_{n+1} : forma dobramentos de amplitude regional, dobras métricas em “chevron” às quais se associa uma crenulação decimétrica.

Os estudos levados a cabo por Coelho (1993) sugerem que o Domo de Covas resulta de uma domação diapírica, devida à implantação sub-superficial de uma massa magmática (não aflorante), tardi F_{n+1} , de um antifórme mais precoce, da mesma fase.

O antifórme que corresponde ao domo de Covas tem o plano axial sub-vertical, eixo com orientação $N50^0W$ e pertence à fase F3 (F_{n+1} de Coelho, 1993) da orogenia Hercínica (Ribeiro, 1974).

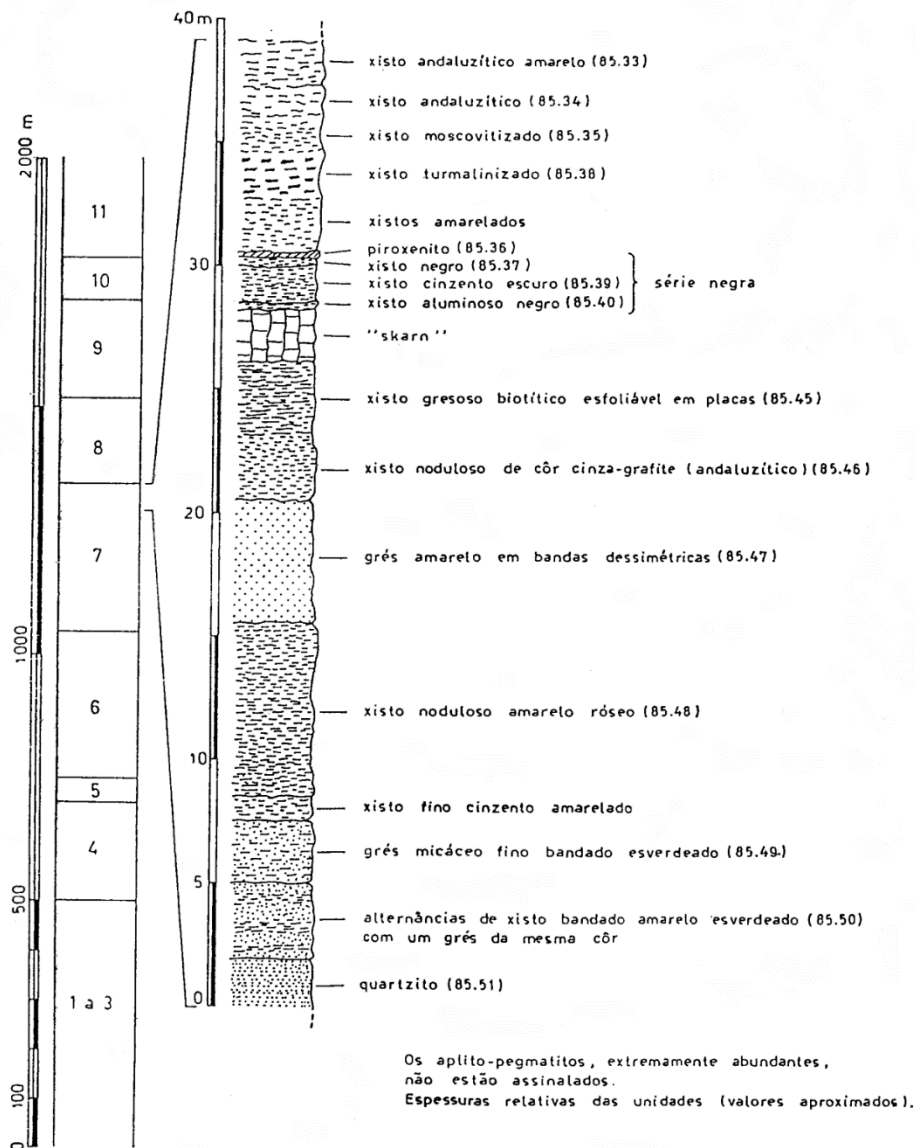


Ilustração 3: Coluna estratigráfica referente à área estudada. Unidades da zona mineralizada (Coelho, 1993).

2.3. Principais publicações

Das diversas publicações existentes sobre a geologia desta região são de salientar as seguintes:

Bayer (1968), Bronkorst & Farinha (1979), Coelho *et al.* (1985, 1988), Coelho (1993), Coelho & Calejo (1994)., Conde *et al.* (1971), Dias (1983/85, 1984, 1987), Dias & Boullier (1985), Ferreira (1981), Ferreira *et al.* (1988), Fonteilles & Garcia (1985), Garcia *et al.* (1979), Govare (1984), Neiva (1944, 1954a e b), Neiva *et al.* (1956), Romariz (1969), Salemink *et al.* (1986, 1987), Teixeira & Torre de Assunção (1961), Teixeira *et al.* (1972) e Thadeu (1973).

2.4. Atividade na área

2.4.1. No passado

A região de Covas foi palco de inúmeras explorações de pequena a média dimensão, incidentes sobre aluviões, filões aplito-pegmatíticos e “skarns”. Os dois primeiros tipos serviram à exploração de cassiterite, volframite, tantalite e columbite, enquanto no terceiro o interesse convergiu principalmente em scheelite e em volframite subordinada (Teixeira & Torre de Assunção, 1961).

O Complexo mineiro do Couço do Monte Furado, situado na freguesia de Covas, prova que esta região já era explorada desde os tempos dos romanos (Decreto nº67/97).

Segundo a Circunscrição Mineira do Norte (Teixeira & Torre de Assunção, 1961) no período 1951-1960 a produção de tungsténio na região foi:

Concessão de Valdarcas.....	325 105 Kg
Concessão de Cerdeirinha.....	76 350 Kg
Concessão de Lapa Grande.....	64 723 Kg

Desde meados dos anos 60, até 1980, foram realizados na região de Covas importantes trabalhos de prospeção e de pesquisa, concretizados quer por companhias privadas (*Metalimex* – Companhia Checoslovaca; *Union Carbide* – Companhia Norte Americana), quer pelo Serviço do Fomento Mineiro (atual LNEG) (Farinha, 1989).

É de destacar o trabalho realizado, desde 1974 até ao fim de 1979, pela *Union Carbide* e pela sua subsidiária *Union Carbide Geotécnica Portuguesa* – Assistência Mineira, Lda. Estas procederam a estudos de pesquisa e avaliação das reservas (na terminologia daqueles autores) de tungsténio na região. Foi necessária a realização de

contratos com as Companhias Portuguesas Geomina, Lda. e Gaudêncio, Valente & Faria, Lda. e com o governo Português, que autorizou a pesquisa nas concessões destas duas firmas e numa zona de área cativa ao redor das referidas concessões.

Dos trabalhos levados a cabo são de destacar (Bronkhorst, 1980):

- 1) Levantamento geológico, nas escalas de 1:5 000, 1:2 000 e 1:500;
- 2) Prospecção geofísica por magnetometria, polarização induzida e resistividade;
- 3) Prospecção geoquímica, com amostragem de sedimentos de corrente e de solos, e de afloramentos de “skarn”;
- 4) Oito campanhas de sondagens, seis das quais sob a responsabilidade da *Union Carbide Corporation* e da *Union Carbide Geotécnica Portuguesa*.

Na tabela 1 explicitam-se o número de sondagens realizadas, os metros furados e ainda os seus autores.

Tabela 1: Resumo das sondagens realizadas entre meados dos anos 1960 e 1980 (Bronkhorst, 1980).

Executadas por:	Ano	Nº de sondagens	Metros furados
Metalimex	1970-1972	37*	1 000*
U.C.C.	Até 1976	68	7 132
U.C.C.	1974	15	1 600
U.C.C./U.C.G.P.	1975	7	1 243
U.C.G.P.	1975-1976	81	6 683
U.C.G.P.	1971-1978	70	6 575
U.C.G.P.	1977	25	527
U.C.G.P.	1979	26	1 643
Total:		329	26 403

U.C.C. = *Union Carbide Corporation*

U.C.G.P. = *Union Carbide Geotécnica Portuguesa – Assistência Mineira, Lda.*

* valores estimados

O trabalho realizado permitiu reconhecer um nível principal de “skarn” (ilustração 2B) que rodeia uma estrutura em forma de domo alongado segundo NW-SE (ilustração 4). Este nível aflora nas concessões de Fervença, Fraga e Valdarcas, com orientação paralela ao eixo principal do dobramento (cuja inclinação para NE varia entre os 50⁰ e a vertical), aumentando o pendor de NW para SE.

Na concessão de Lapa Grande as sondagens intersectaram o eixo da dobra e o “skarn” apresenta-se sub-horizontal.

Foi confirmada a existência de mineralização em oito corpos (ilustração 4): Fervença, Valdarcas, Lapa Grande, Muito Seco, Boundary, Castelo, Cerdeirinha Oeste e Telheira (Bronkhorst, 1980 e Gouveia, 1980).

Os cálculos de reservas (ainda segundo a terminologia dos seus autores) permitiram definir que nos oito corpos detetados existiam: 689 800 Ton com um teor de 0.86% WO_3 ⁴ de minério indicado⁵ e 233 100 Ton com um teor de 0.56% WO_3 de minério inferido (Bronkhorst, 1980).

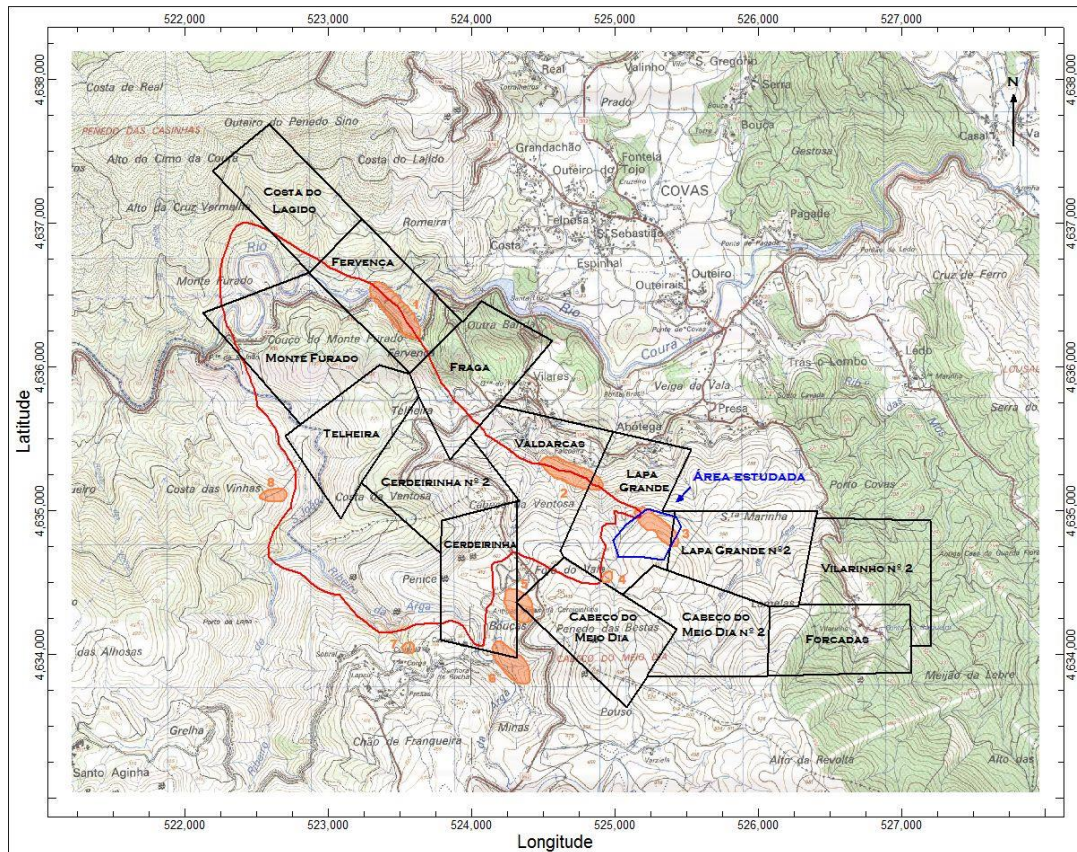


Ilustração 4: Localização das antigas concessões (anos 1960-1980), do principal nível de “skarn” (linha vermelha), dos 8 corpos mineralizados (1- Fervença, 2- Valdarças, 3- Lapa Grande, 4- Muito Seco, 5- Boundary, 6- Castelo, 7- Cerdeirinha Oeste e 8- Telheira) e da área estudada (polígono azul). Dados implantados sobre as cartas militares 14 (Caminha) e 15 (Paredes de Coura) à escala 1:25 000, UTM, zona 29T - WGS84.

No entanto, no fim do ano de 1979, os estudos económicos realizados pela *Union Carbide* concluíram que o projeto de Covas não era economicamente viável, o que levou a companhia a abandoná-lo (Bronkhorst, 1980).

Até meados dos anos 80, a região foi produtora de tungsténio. Na tabela 2 encontra-se uma síntese das tonelagens extraídas.

⁴ Genericamente o separador decimal utilizado será o “.” (ponto).

⁵ Conceito de indicado e inferido explicados mais à frente.

Tabela 2: Produção de “skarn” mineralizado na região mineira de Covas até aos anos 80 (Price, 2012).

Empresa	Corpo	Produção (Ton)	Teor (%WO₃)
Geomina, Lda.	Cerdeirinha	184 500	0.49
	Fervença	20 000	1.21
	Valdarcas	122 000	0.70
Gaudêncio, Valente e Faria, Lda.	Mina da Fraga	3 000	1.00
	Lapa Grande	36 670	0.60
Total:		366 170	0.61

2.4.2. No presente

No ano de 2007 foram concedidos à MAEPA (Empreendimentos Mineiros e Participações, Lda.) os direitos exclusivos de prospeção e de exploração de depósitos de tungsténio, estanho e ouro de uma área de 19.49 Km² (ilustração 5) (Price, 2012). A MAEPA é uma subsidiária da *Avrupa Minerals* Lda. que, é associada da *Blackheath Resources Inc.*

Entre 2007 e 2010 foram realizados diversos trabalhos, a saber:

- 1) Levantamento magnético;
- 2) Realização de sondagens no principal nível de “skarn” para confirmar as mineralizações conhecidas;
- 3) Análise de sedimentos de corrente;
- 4) Sondagens diamantíferas.

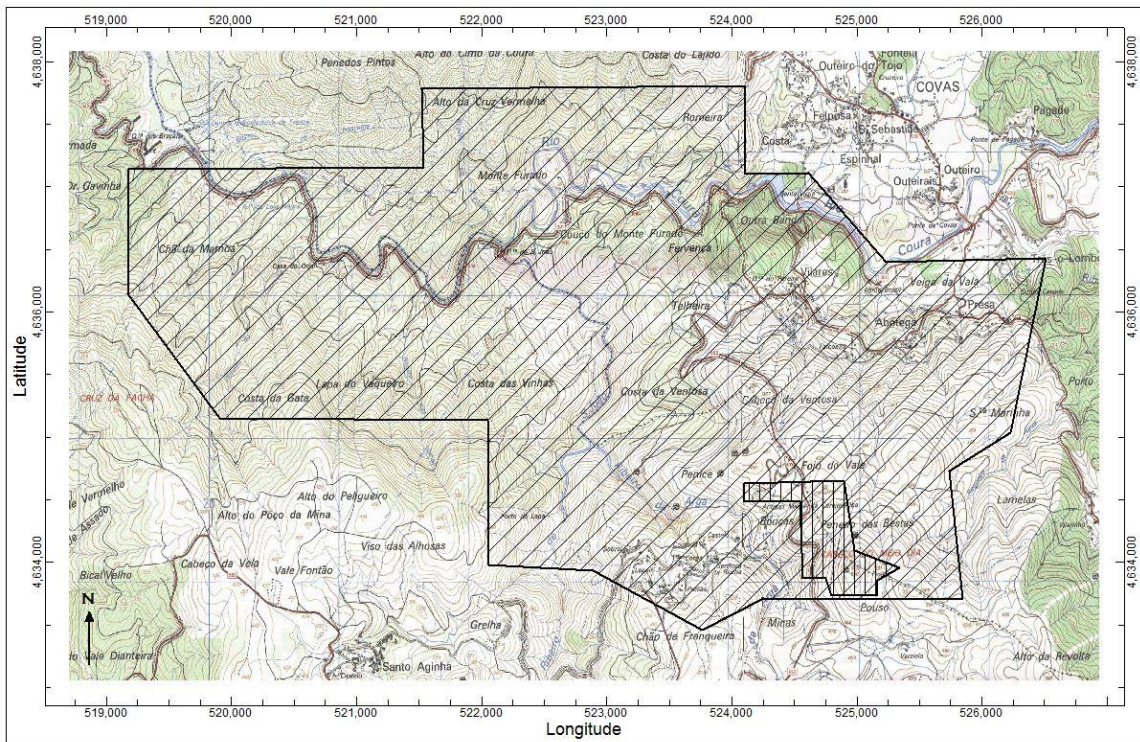
As sondagens perseguiram dois objetivos (Price, 2012):

- 1) Os “skarns” com mineralizações de tungsténio na periferia do domo (explorados no passado e os recursos do presente);
- 2) Novos depósitos de ouro e tungsténio no interior do domo que nunca foram explorados.

Em Setembro de 2012 (URL 3), a *Avrupa Minerals* Lda. e a *Blackheath* confirmaram a existência de novas anomalias magnéticas e de anomalias geoquímicas de superfície de tungsténio que não eram conhecidas. Adicionalmente, tinham sido identificadas anomalias de ouro indicativas de um possível sistema *intrusive-related gold*⁶.

Atualmente a empresa já se encontra na Fase 2 de perfuração, na qual prevê que sejam sondados entre 1500 a 2000m. Já lhes foi concedida licença para exploração experimental (URL 4 e 5).

⁶ Jazigos de ouro que estão caracteristicamente associados com províncias de W e/ou (menos consistentemente) de Sn, espacial e temporalmente relacionados com intrusões de granitóides, no interior ou no exo-contacto das mesmas (Lang & Baker, 2001).



Legenda

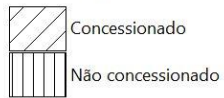


Ilustração 5: Localização da atual concessão. Dados projetados sobre as cartas militares 14 (Caminha) e 15 (Paredes de Coura) à escala 1:25 000, UTM, zona 29T - WGS84.

3. TUNGSTÉNIO

3.1. Definição e características do tungsténio

O tungsténio, também conhecido por volfrâmio, é o elemento químico de símbolo W, pertencente ao grupo VI B da tabela periódica. É um metal de transição que, à temperatura ambiente, se encontra no estado sólido.

A sua elevada densidade (tabela 3) está na origem do nome tungsténio, que deriva do sueco *tung sten*, que significa “rocha pesada” (Silveira, 2008).

Segundo Marshall & Fairbridge (1999), a propriedade mais notável deste elemento é possuir o ponto de fusão mais elevado de todos os metais (tabela 3). Também possui a resistência à tensão mais elevada a temperaturas superiores a 1650°C e o menor coeficiente de expansão de todos os metais puros (Pitfield & Brown, 2011).

O tungsténio tem uma estrutura cúbica centrada, cor branca acinzentada e um brilho metálico cinzento prateado. Apesar de na sua forma pura o tungsténio ser bastante maleável e dúctil, a inclusão de pequenas quantidades de oxigénio e carbono tornam-no num metal consideravelmente duro e frágil difícil de trabalhar no seu estado bruto. O tungsténio tem condutividade térmica e elétrica elevadas (Pitfield & Brown, 2011).

Na tabela 3 são apresentadas algumas propriedades chave deste metal.

Tabela 3: Algumas propriedades do tungsténio (adaptado de *Pitfield & Brown, 2011*).

Símbolo	W
Número atómico	74
Peso atómico	183.84
Densidade	19.3 g/cm ³
Ponto de fusão	3422 °C
Ponto de ebulição	5555 °C
Estrutura cristalina	Cúbica centrada
Dureza	7.5 Mohs

A abundância média de tungsténio na crosta terrestre é estimada em 1.25-1.50 ppm, aproximadamente a mesma que a do estanho e a do molibdénio, e cerca de metade da do urânio. Nos oceanos a sua abundância é de 0.1 microgramas por litro. A concentração média em jazigos situa-se entre 0.1 e 1% de WO₃ (Pitfield & Brown, 2011).

3.2. Hospedeiros

O tungsténio não ocorre naturalmente como um metal livre. Os minerais mais importantes de tungsténio são os monotungstatos, como a scheelite (tungstato de cálcio, CaWO_4), stolzite (tungstato de chumbo, PbWO_4) e volframite, cujos membros extremos são o tungstato de ferro (ferberite, FeWO_4) e o tungstato de manganês (hübnerite, MnWO_4) (Pitfield & Brown, 2011).

Na tabela 4 estão algumas propriedades dos minerais referidos.

Tabela 4: Propriedades dos minerais de tungsténio mais comuns (adaptado de (Pitfield & Brown, 2011).

Nome	Fórmula	WO ₃ %	Peso Específico (g/cm ³)	Aparência	Estrutura cristalina
Scheelite	CaWO_4	80.6	5.4-6.1	Amarelo pálido a laranja, verde a castanho escuro, rosado, azul escuro a preto, branco ou incolor, vítreo ou resinoso.	Tetragonal
Stolzite	PbWO_4	50.9	8.28	Vermelho acastanhado a amarelo esverdeado, vítreo a resinoso.	Tetragonal
Ferberite	FeWO_4	76.3	7.5	Preto, sub-metálico a metálico.	Monoclínica
Hübnerite	MnWO_4	76.6	7.2-7.3	Vermelho acastanho a preto, sub-metálico a adamantino.	Monoclínica
Volframite	$(\text{Fe,Mn})\text{WO}_4$	76.5	7.1-7.5	Cinzento escuro a preto, sub-metálico a metálico.	Monoclínica

O mineral de tungsténio mais abundante é a scheelite (ilustração da folha de rosto). Este está presente em cerca de dois terços dos jazigos de tungsténio conhecidos.

Uma propriedade importante da scheelite é a sua fluorescência branca-azulada, sob radiação UV, que é extremamente valiosa na sua prospeção. A cor da fluorescência é influenciada pelo teor em molibdénio. Com o aumento da fração molar de molibdénio na scheelite, a cor varia entre azul, amarelo pálido e laranja. A stolzite pode ocorrer como resultado da alteração hidrotermal de scheelite (Pitfield & Brown, 2011).

3.3. Aplicações

A utilização do tungsténio remonta ao tempo do imperador chinês Kang-Hsi (1662-1722), em que o tungsténio era utilizado como corante vermelho para porcelanas (Silveira, 2008).

Atualmente, este metal é utilizado nas indústrias química e metalúrgica e em armamentos, estando provado que o tungsténio é uma importante matéria-prima necessária ao progresso da Humanidade (Cerveira, 1982).

Dos compostos de tungsténio é de salientar o carbureto (carboneto ou carbeta) de tungsténio, que é extremamente duro e resistente, utilizado no fabrico de serras e outras máquinas cortantes ou perfuradoras, mós abrasivas, pontas de esferográficas, pontas de utensílios odontológicos, entre outras. A sua dureza é aproximada à da do diamante, o que justifica que o tungsténio o substitua em diversas aplicações (Pitfield & Brown, 2011 e Silveira, 2008).

O fabrico de aços especiais de maior dureza, resistência à corrosão e melhor comportamento a temperaturas elevadas é a segunda maior aplicação do tungsténio. Este metal também é utilizado na criação de ligas metálicas que são aplicadas no fabrico de peças e máquinas em que se exige elevada resistência em condições drásticas de trabalho (Pitfield & Brown, 2011 e Silveira, 2008).

O fabrico de filamentos de lâmpadas de incandescência e de halogéneo é a aplicação mais conhecida do tungsténio metálico puro (Pitfield & Brown, 2011 e Silveira, 2008).

3.4. Recursos, reservas e produção mundial

3.4.1. Definição de recurso e de reserva

Um **recurso** é uma concentração de material natural sólido, líquido ou gasoso na crosta terrestre, em quantidade e teor e/ou qualidade suficiente que, uma vez pesquisado, exiba parâmetros que indiquem a possibilidade do seu aproveitamento económico na atualidade ou no futuro. A localização, quantidade, teor, características geológicas e continuidade de um recurso mineral são definidas a partir de evidências específicas e conhecimento geológico (URL 6).

Os recursos minerais estão subdivididos (ilustração 6), por ordem crescente de confiança geológica, em inferidos, indicados e medidos (URL 6):

- **Recursos Inferidos:** parte do recurso mineral para o qual a quantidade e teor ou qualidade podem ser estimados com base em evidências geológicas e amostragem limitadas. São assumidos razoavelmente não podendo ser verificada a continuidade geológica e dos teores. A estimacão é baseada em informacão limitada, em amostras recolhidas através de técnicas apropriadas em afloramento, trincheiras, poços e furos de sondagens.

- **Recursos Indicados:** parte do recurso mineral para a qual a quantidade, teor ou qualidade, densidade, estrutura e características físicas podem ser estimadas com um nível de confiança suficiente que permitam aplicar parâmetros técnicos e

económicos apropriados, para suportarem o planeamento de uma exploração e avaliação da viabilidade económica do depósito.

A estimação é baseada em exploração detalhada e confiável e em informação testada, recolhida através de técnicas apropriadas a partir de afloramentos, trincheiras, poços e furos de sondagens poucos espaçados, que permitam assumir uma continuidade geológica e de teores, razoável.

- **Recursos Medidos:** parte do recurso mineral para o qual a quantidade, teor ou qualidade, densidade, estrutura e características físicas estão tão bem estabelecidas que podem ser estimadas com confiança suficiente para permitirem a aplicação de parâmetros técnicos e económicos, para suportarem um plano de produção e avaliarem a viabilidade económica do depósito.

A estimação é baseada em exploração detalhada e confiável, amostragem e informação testada, recolhida através de técnicas apropriadas a partir de afloramento, trincheiras, poços e furos de sondagens pouco espaçados para confirmarem tanto a continuidade geológica como a de teores.

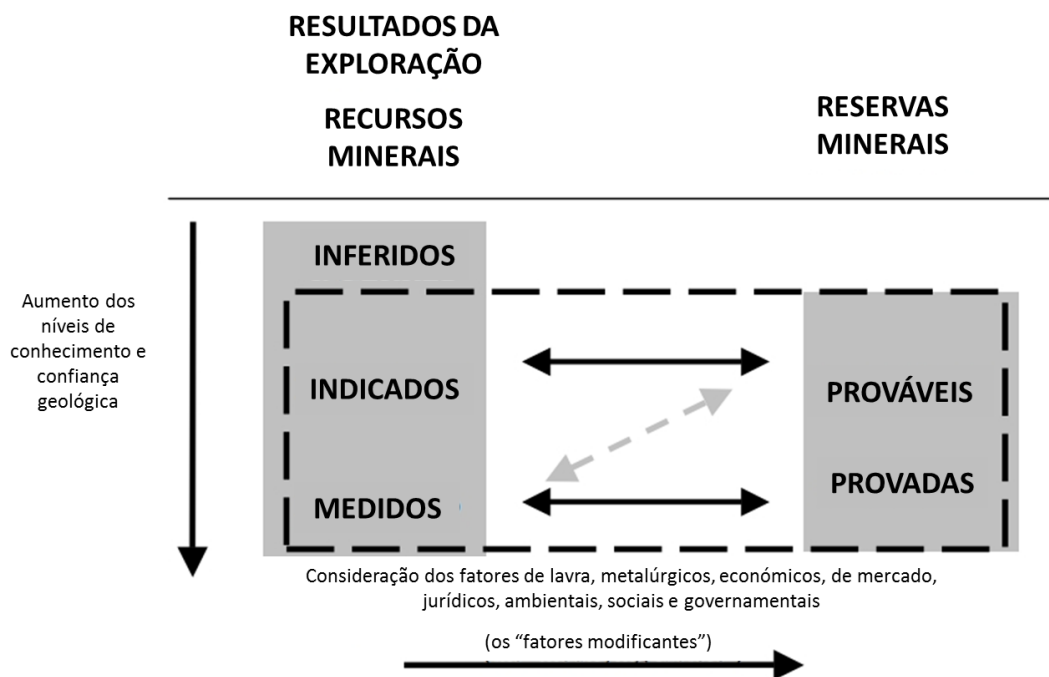


Ilustração 6: Relação entre recursos minerais e reservas minerais (adaptado de URL 6).

A **reserva** mineral (ilustração 6) é a parte economicamente explorável de um recurso medido ou indicado, para a qual se demonstrou, pelo menos, um estudo de viabilidade técnica e económica. Este estudo deve incluir informações adequadas sobre a exploração, o processamento, a metalurgia, a economia e outros fatores que demonstrem, no momento do relatório, a viabilidade económica da exploração.

A reserva mineral envolve material que inclui a mineralização e uma margem de segurança para perdas que possam ocorrer aquando da exploração do material (URL 6).

- **Reserva provável:** parte economicamente explorável de um recurso indicado e em algumas circunstâncias, um recurso medido demonstrado por, pelo menos, um estudo de viabilidade preliminar.

Este estudo deve incluir informação adequada sobre a exploração, processamento, metalurgia, economia e outros fatores relevantes que demonstrem, no momento do relatório, que a extração económica pode ser justificada.

- **Reserva provada:** parte economicamente explorável de um recurso medido demonstrado por, pelo menos, um estudo de viabilidade preliminar.

Este estudo deve incluir informação adequada sobre a exploração, processamento, metalurgia, economia e outros fatores relevantes que demonstrem, no momento do relatório, que a extração económica pode ser justificada.

Uma vez que na realização desta dissertação não se teve acesso a dados de carácter técnico-económicos relativos à exploração do corpo estudado, apenas é possível classificarmos os recursos de WO₃ segundo os diversos graus de confiança.

3.4.2. Tungsténio no mundo

Os recursos mundiais de tungsténio foram estimados em cerca de 7 milhões de toneladas, incluindo os depósitos que ainda não foram provados ser economicamente viáveis (Hinde, 2008). Destes recursos, 30% são minério de volframite e 70% minério de scheelite.

Os maiores jazigos de tungsténio são no Cazaquistão, China, Canadá, Reino Unido e Rússia (ilustração 7).

Em Janeiro de 2010, os USGS⁷ estimaram que as reservas de tungsténio eram de 2.8 milhões de toneladas, das quais mais de 60% se situam na China (Pitfield & Brown, 2011).

O tungsténio é atualmente produzido em 20 países (ilustração 7). Nos últimos anos a China tem sido o principal produtor mundial. Em 1989 a produção chinesa representava 58% da produção total, tendo passado para 89% em 2004. Mais recentemente a sua produção sofreu uma ligeira descida para os 80% (ilustração 8) (Pitfield & Brown, 2011).

⁷ *United States Geological Survey*

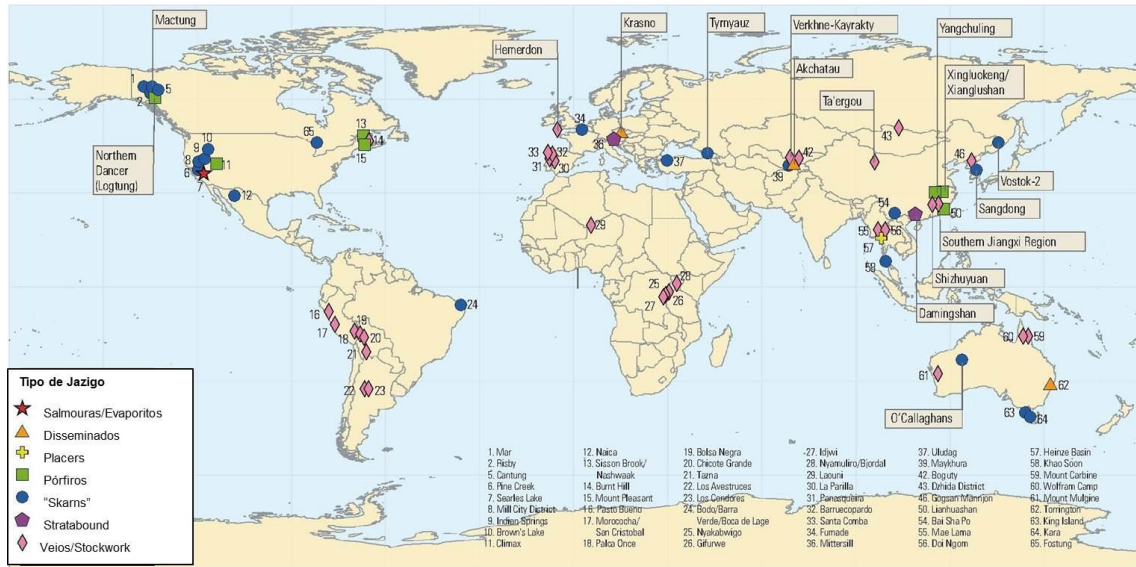


Ilustração 7: Mapa de localização dos maiores jazigos de tungsténio do mundo (adaptado de *Werner et al., 1998*).

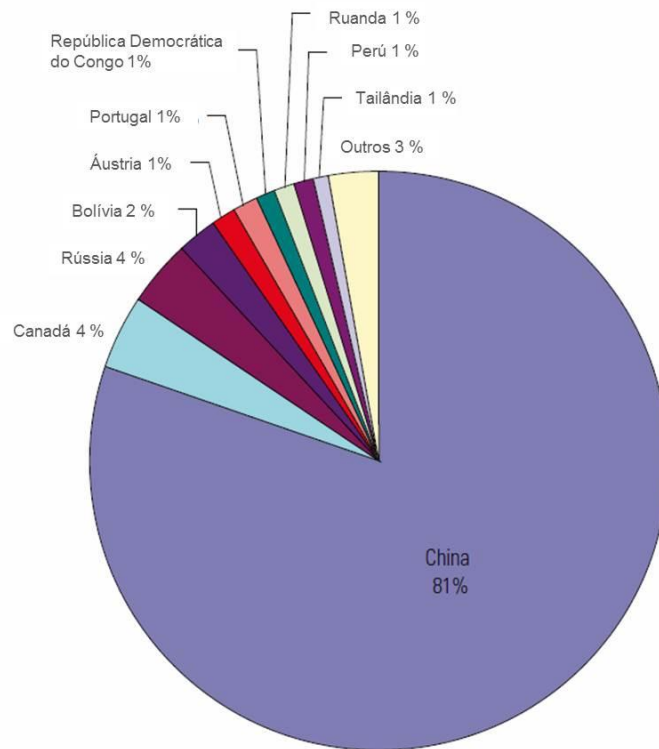


Ilustração 8: Produção mundial de tungsténio em 2009 (adaptado de *Pitfield & Brown, 2011*).

3.5. Preços

Os preços, em qualquer mercado, são determinados pela lei da oferta e da procura. Quando existe um excesso de oferta os preços tendem a baixar.

No início da década de 80 o preço do tungsténio sofreu uma queda brusca de 180\$US/mtu⁸ em 1977 para 81\$US/mtu em 1983 (Braz, 2001).

Até 2002 o preço do tungsténio manteve-se baixo, sofrendo apenas pequenas oscilações. A principal causa desta baixa de preços foi o domínio do mercado mundial pela China, que praticamente eliminou a competição, oferecendo tungsténio a preços muito baixos (URL 8).

Em 2004 (ilustração 9) os preços do tungsténio no mercado internacional iniciaram uma trajetória ascendente graças à mudança de algumas políticas do governo chinês, das quais se destacam (URL 8):

- restringir o desenvolvimento de novas minas no país, para não esgotar as reservas e, assim ter potencial para atender demandas futuras;
- restringir as exportações, com a exigência de cotas, que aumentaram as taxas de exportação.

No período 2006-2008 (ilustração 9) os preços mantiveram-se, de um modo geral, estáveis tendo sofrido uma queda no final de 2008 (Pitfield & Brown, 2011).

Em 2011 (ilustração 9) o preço do tungsténio alcançou os 480\$US/mtu, tendo sofrido uma ligeira descida para os 390\$US/mtu em 2012 (Pitfield & Brown, 2011 e Price, 2012).

No início de Junho de 2014 o preço do tungsténio era de 370\$US/mtu (URL10).

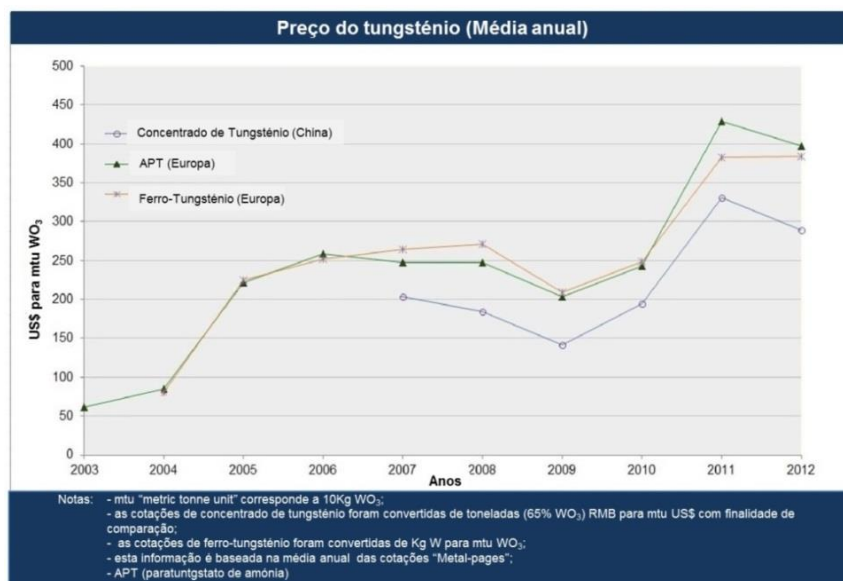


Ilustração 9: Evolução do preço do tungsténio ao longo dos anos.(Adaptado de URL 9).

⁸ Metric tonne unit = 10 Kg WO₃

4. “SKARNS”

Foram diversas as tentativas de uniformizar os critérios de classificação dos “skarns”. No entanto, o atual estado evolutivo dos conhecimentos sobre este domínio e a proliferação das distintas ocorrências geológicas, levaram à inexistência de uma terminologia correlativa universalmente aceite. Em Burt (1982) é possível seguir o percurso do termo em questão até aos anos 70.

4.1. Conceito de “skarn”

Geneticamente, os “skarns” são rochas silicatadas, formadas por reação direta, ou por intermédio de uma fase fluída, entre dois meios incompatíveis, um ácido e outro básico (Fonteilles, não publicado).

O aspeto fundamental do meio ácido, com o qual ou à custa do qual a reação se produz, é a presença de quartzo e/ou feldspato potássico, ou de plagioclase ácida, moscovite ou de silicatos de alumínio na rocha.

Esta rocha poderá ser siliciosa, sílico-feldspática ou sílico-aluminosa. O meio básico com o qual, ou à custa do qual a reação se desenvolve pode petrograficamente ser um meio carbonatado, um meio calco-silicatado, um meio básico ou mesmo um meio ultra-básico (Coelho, 1993).

Apesar de os “skarns” nem sempre serem de fácil identificação, há características geométricas e composicionais, que permitem o seu reconhecimento, das quais se destacam (Coelho, 1993):

a) Geralmente os “skarns” possuem limites discordantes em relação às estruturas sedimentares e/ou tectónicas das rochas de que derivam e/ou contactam.

Uma vez que as estruturas anisotrópicas (sedimentares e tectónicas) são frequentemente fossilizadas pelos “skarns”, não é de esperar confusão entre as expressões geométricas dos “skarns” e as relações intrusivas criadas pelos corpos magmáticos;

b) O quimismo das rochas metassomáticas é frequentemente distinto do das rochas de que derivam (sedimentares, magmáticas e mesmo metamórficas). Destaca-se a abundância de elementos menores e elementos traço nos “skarns” de infiltração, que muitas vezes constituem jazigos minerais com elevado interesse económico (W, Sn, Zn, Au, Ag, etc);

c) A zonalidade traduzida pelos “skarns” é a sua característica mais relevante:

1) Nos “skarns” de infiltração, adiante definidos, por domínios paragenéticos internamente homogêneos e supostamente em equilíbrio, mas distintos entre si, separados por frentes metassomáticas (Korzhinskii, 1970 e Fonteilles, 1978);

2) Nos “skarns” de difusão, também definidos adiante, por uma zonação mineralógica menos nítida e mais ou menos complexa, em que as composições químicas globais manifestam no espaço variações contínuas entre os dois meios em confrontação, inicialmente em desequilíbrio.

d) Nos “skarns” de infiltração existe forte tendência para a monomineralidade das paragénese constituintes das zonas metassomáticas. Isto acentua-se progressivamente no sentido de jusante para montante, com o decréscimo do número de fases mineralógicas por paragénese;

e) Nos “skarns” de infiltração é geralmente evidente a nitidez e o paralelismo das frentes metassomáticas sincrónicas, onde ocorrem fenómenos de substituição mineralógica, mais ou menos evidentes;

f) Nos “skarns” de infiltração existem, ainda, diversas manifestações texturais que evidenciam crescimento mineralógico na presença de uma fase hidratada abundante.

4.2. Génese

É útil para a compreensão do fenómeno metassomático procedermos ao seu enraizamento na evolução magmática, que consideramos passível de ter dado origem aos fluídos responsáveis pela mineralização do jazigo tungstífero de Covas.

Iremos basear-nos no modelo de derivação e cristalização de Jahns & Burnham (1969) e no trabalho de tese realizado por Coelho (1993). Do esquema-guia da ilustração 10, apenas iremos salientar os processos de interesse neste âmbito.

4.2.1. Da formação da fase fluída até ao seu escape

Assume-se que inicialmente existe um magma derivado, com ou sem fases cristalinas abundantes, que forma um corpo de dimensões discretas na crosta terrestre.

O fundido silicatado (*melt* na sequência) nele contido pode ter sido implantado mecanicamente a partir de outra fonte (Processo A) ou pode ter sido desenvolvido “*in*

situ”, quer por segregação de um corpo de grandes dimensões (Processo B) quer por fusão do material crustal nesse ponto (Processo C).

Dos voláteis dissolvidos no *melt* a água é geralmente o mais abundante, no entanto, também existem halogéneos e outros voláteis em diversas proporções.

Caso o *melt* não esteja bem contido, ele pode reagir significativamente com os materiais adjacentes, ou seja, com as paredes da rocha encaixante.

Por simplicidade é assumido que a partir do momento em que o *melt* é formado, não recebe magma adicional ou outros materiais de fontes que não as paredes da câmara magmática. No entanto, é de esperar que tais adições aconteçam ao longo da “vida” de um magma.

Inicialmente a água encontra-se numa escala sub-microscópica, em emulsão, representando apenas décimas de 1%. Progressivamente vai assumindo a forma e o papel de um fluído intersticial até constituir uma verdadeira fase física e, mais tarde, atingir o valor correspondente à saturação do *melt*.

O aumento da quantidade de água no sistema é causado pelo decorrer da cristalização fracionada, em resposta às descidas da pressão e da temperatura, com o desenvolvimento das fases anidras.

Caso não haja perturbações no sistema, o processo de cristalização irá continuar, com ou sem reações entre as fases sólidas e o *melt*, podendo levar à saturação do magma (Processo E), fenómeno conhecido por efervescência secundária, efervescência ressurgente ou, ainda, efervescência retrógrada.

Esta saturação pode ser alcançada de diversas formas:

- Redução drástica da pressão confinante produzida pela fracturação da rocha encaixante ou por outros meios naturais (Processo F);
- A existência de permeabilidade seletiva do encaixante, isto é, permeabilidade diferencial ao magma e à água, pode levar a um processo osmótico em que a água da rocha encaixante é “sugada” para o magma (Processos G e H);
- Pode ainda ocorrer entrada de água para o *melt*, caso a pressão fluída na rocha encaixante exceda o valor da P_{H_2O} do sistema.

Se as condições forem favoráveis, o fluído aquoso pode migrar para o topo da câmara magmática, nela se concentrando.

A partir do momento em que passam a existir duas fases no sistema, uma fase fluída e uma fase silicatada (*melt*), os constituintes do sistema passam a exibir um coeficiente de partilha entre elas. Ou seja, haverá elementos mais propícios a ficar no magma e outros mais propícios a fazer parte da fase fluída.

Em condições termoquímicas favoráveis, os anfóteros (flúor, bromo, cloro, iodo, etc) integram a fase fluída e podem formar complexos. Estes complexos são capazes de albergar metais na sua estrutura, que de outra forma seriam insolúveis na fase fluída.

Em contrapartida, caso a pressão fluída do sistema iguale a menor das componentes da pressão confinante, ocorrerá rotura da câmara magmática que levará a um aumento da permeabilidade e simultâneo escape do fluído.

Tendo em conta que estes processos demoram de milhares a milhões de anos, é de esperar que esta concentração e fuga de fluídos se repita várias vezes durante o processo de evolução magmática. Tal pode acontecer para distintos quadros termoquímicos e portanto distintas composições da fase hidratada.

4.2.2. O escape do fluído e o metassomatismo

Ao escapar da câmara magmática, a fase fluída que estava em equilíbrio com o sistema, vai aproveitar todas as fraturas para se deslocar. Durante este processo pode encontrar eventualmente uma rocha porosa, permeável e reativa que levará ao metassomatismo e casos as condições sejam favoráveis, à mineralização.

Para uma melhor compreensão destes processos é útil explicarmos, de uma forma geral, o fenómeno da metassomatose.

Segundo Fonteilles (1978) “todas as trocas de matéria ou transportes químicos operados na crosta terrestre, a uma escala superior à do grão mineral individual, implicam a presença ou de um magma ou de uma fase fluída hidratada. No segundo caso, as trocas ao nível da trama sólida, excluindo os fenómenos de hidratação e carbonatação-descarbonatação..., são designadas pelo termo geral de metassomatose.”

Os fluídos intervenientes no metassomatismo podem ser gerados pelo metamorfismo regional, fluídos de infiltração, fluídos magmáticos ou uma origem mista. Neste trabalho apenas iremos dar ênfase ao penúltimo caso, uma vez que este parece ter sido o prevacente na origem do fenómeno metassomático dos “skarns” de Covas. Em Coelho (1993) é explicada e discutida a viabilidade destas três possíveis fontes de fluídos hidratados.

Existem dois tipos principais de metassomatismo:

a) Metassomatismo de difusão ou reação

O motor do processo difusivo é o gradiente de potenciais químicos gerados pela confrontação de dois meios incompatíveis. Este processo ocorre quando a

velocidade de percolação do fluído for significativamente menor que a velocidade média de difusão (Fonteilles, 1978 e Coelho, 1993).

Tal como irá ser referido mais à frente (4.3. Classificação e Nomenclatura), os “skarns” de difusão estão estritamente limitados ao contacto dos meios reagentes (paredes das fraturas, por exemplo), não ultrapassando a dimensão decimétrica.

Considerando que os gradientes de potencial químico são sempre negativos, este processo não é passível de formação de mineralizações.

b) Metassomatismo de infiltração ou percolação

A entrada de um fluído, supostamente abundante e agressivo, num sistema composto pela rocha sólida e pelas suas fases fluídas intersticiais, provoca a mobilização crescente de constituintes inertes⁹ para o estado perfeitamente móvel¹⁰.

Este processo irá originar um sistema de zonas paragenéticas justapostas (a coluna metassomática), em que a montante o fluído impõe a sua composição à rocha sólida, e a jusante se adapta à composição do material rochoso presente (Coelho, 1993).

A coluna metassomática encontra-se dividida em diferentes zonas, dentro das quais reina o equilíbrio químico – pelo menos o equilíbrio químico em mosaico¹¹. As diferentes zonas encontram-se separadas por superfícies que materializam os únicos lugares geométricos onde decorrem as reações: são as frentes metassomáticas (Coelho, 1993).

O fluído diminui a sua agressividade de montante para jusante.

A par deste comportamento também ocorre uma progressiva diminuição de fases mineralógicas presentes em cada zona, havendo tendência para a monomineralidade. Assim, quando (se) todos os constituintes tiverem passado ao estado perfeitamente móvel, na entrada do sistema, teremos o próprio fluído.

A porosidade de uma rocha é uma das propriedades mais importantes no metassomatismo de infiltração. Caso a rocha não seja suficientemente porosa, não poderá alojar no seu meio o fluído.

Esta porosidade pode aumentar ou diminuir quando reage com o fluído.

⁹ Constituinte cujo potencial químico é fixado do interior do sistema, mesmo que a sua quantidade varie com o tempo (Korzhinskii, 1970).

¹⁰ Todo o constituinte cujo potencial químico (atividade ou fugacidade) é fixado do exterior do sistema (Korzhinskii, 1970).

¹¹ Se a velocidade de percolação das soluções, ou de difusão dos constituintes, for suficientemente lenta em relação à velocidade com que se desenvolvem os equilíbrios entre os minerais e as soluções intersticiais, pode estabelecer-se um equilíbrio local em cada pequeno domínio de um sistema que, no seu conjunto, não está em equilíbrio (Korzhinskii, 1970).

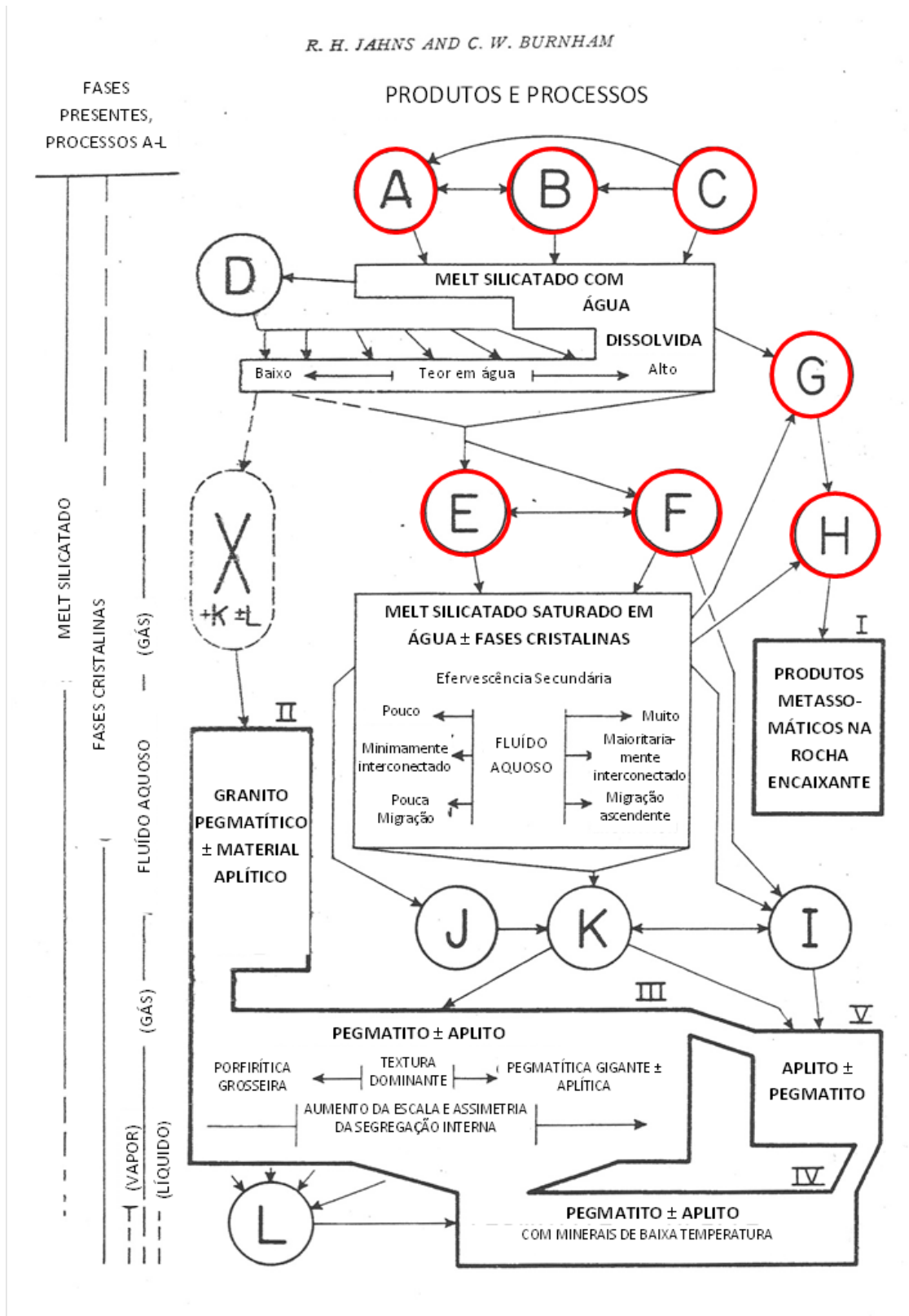


Ilustração 10: Modelo de derivação e cristalização de *Jahns & Burnham (1969)*.

A: Implantação mecânica ou magma residual com H₂O; **B:** Segregação de magma residual gerador de H₂O em corpo em cristalização; **C:** Fusão parcial crustal *in situ* na presença de H₂O; **E:** Cristalização anidra, com ou sem reação sólido-melt; **F:** Redução da pressão confinante total do sistema; **G:** Separação osmótica da H₂O do melt; **H:** Escape parcial do fluido do a partir do encaixante, com movimento de materiais por e através da fase livre.

No primeiro caso o fluído altera o comportamento dos constituintes da rocha, passando-os progressivamente de constituintes inertes a perfeitamente móveis, levando à dissolução de uma ou mais espécies minerais.

No segundo caso a interação entre o fluído e a rocha pode provocar a precipitação de espécies minerais a partir do fluído, o que poderá levar a uma redução, mais ou menos drástica, da porosidade da rochas (Fonteilles, 1978).

A diminuição da porosidade da rocha pode conduzir ao bloqueio da sua permeabilidade, em qualquer etapa de um processo metassomático, mesmo que precoce (Coelho, 1993).

Em conjunto com a porosidade da rocha, também há outros parâmetros a considerar: a temperatura, a pressão sólida, a pressão fluída e os potenciais químicos (Garcia *et al.*, 1979). Em Coelho (1993) é possível encontrar a descrição e influência destes parâmetros.

É de reter que somente os “skarns” de percolação são propensos à formação de jazigos economicamente viáveis.

4.3. Classificação e Nomenclatura

Tal como em Coelho (1993), neste trabalho iremos utilizar a classificação e a nomenclatura definidas por Fonteilles, M. em documento não publicado, intitulado “Os Skarns”.

Vários são os critérios utilizados para classificar as rochas metassomáticas:

a) Natureza do fenómeno físico que regula o transporte em solução dos elementos químicos

Descrita a génese dos “skarns” de difusão (reação) e “skarns” de percolação (infiltração) (4.2. Génese), apenas iremos estabelecer as principais diferenças entres os “skarns” formados por um ou outro processo.

1) “Skarns” de difusão (reação)

- Estritamente limitados ao contacto dos meios reagentes, com espessura centimétrica a decimétrica;

- Composições quantitativas intermédias entre os dois meios reagentes. Não existem elementos estranhos aos dois meios. Nunca formam mineralizações;

- Zonação pouco marcada, tendência monominerálica rara e frentes pouco nítidas;

- Sem porosidade apreciável.

2) “Skarns” de infiltração (percolação)

- Não estão necessariamente limitados ao contacto dos meios reagentes. Podem atingir várias dezenas de metros de espessura;
- As composições não são forçosamente intermédias entre as dos meios envolvidos, podendo no entanto refletir as suas participações. Estes “skarns” são propensos à formação de jazigos economicamente viáveis.
- Apresentam uma zonação bem definida, tendência para a monomineralidade e frentes nítidas caso o material original seja composicionalmente homogéneo;
- Pode ocorrer forte variação de porosidade; tendência de alguns minerais para o idiomorfismo; preenchimento de espaços vazios por minerais precipitados; textura fibro-radiada e são frequentes os minerais de grande porte.

b) Natureza do material rochoso original sobre o qual se desenvolve o metassomatismo

Este foi um dos primeiros critérios a ser utilizado, no entanto é muito controverso.

Classicamente aplicava-se o termo “exoskarn” aos calcários ou mármore metassomatizados e o termo “endoskarn” para o resultado da transformação metassomática das rochas intrusivas. No entanto, diversos autores têm pontos de vista divergentes:

- alguns afirmam que o termo “endoskarn” deve ser aplicado ao caso da metassomatose de qualquer rocha aluminosa, independentemente da sua natureza petrográfica;
- outros pretendem que as rochas aluminosas sejam denominadas de “silicate skarn”. Einaudi & Burt (1982) defendem que se deve chamar “skarnóide” aos produtos metassomáticos das rochas aluminosas sedimentares;
- e Fonteilles (não publicado) utiliza “endoskarn” para se referir aos formados sobre um meio ácido e “exoskarn” para os formados por um meio básico.

Neste trabalho iremos seguir a terminologia proposta por Coelho (1993), em que:

- 1) Caso seja possível reconhecer a ascendência magmática ou metamórfica/sedimentar da rocha original, quer quimicamente, quer pela ocorrência de estruturas ou texturas preservadas, deveremos usar os termos: “endoskarn” se a rocha original for de carácter magmático e “exoskarn” se a rocha for de carácter metamórfico ou sedimentar, independentemente do seu quimismo;

2) Se ainda for possível o reconhecimento mais preciso da natureza litológica/petrográfica da rocha que sofre metassomatismo, a rocha resultante deve ter a designação de “endoskarn” ou “exoskarn”, com a especificação da rocha original (ex: “exoskarn” sobre mármore, “endoskarn” sobre pegmatito).

Um outro conceito, que tem sido alvo de uma utilização não sistematizada, é o de “skarnóide”. Este termo, segundo a sua raiz etimológica, designa as rochas semelhantes a “skarns”, isto é, as rochas que, embora sem evidenciarem uma clara origem metassomática, revelam circunstancialmente uma composição mineralógica afim à dos “skarns” (Coelho, 1993).

c) Quimismo da mineralogia predominante

Esta nomenclatura é baseada no quimismo da mineralogia predominante.

Segundo a escola Russa e Fonteilles (não publicado), podemos ter “skarns” calcários, “skarns” magnesianos, “skarns” manganésiferos e ainda “skarns” ferríferos.

Estes autores tentam, mais uma vez, estabelecer uma ponte entre o quimismo das paragénese dos “skarns” e a natureza da rocha inicial. No entanto esta classificação pode induzir em erro pois, se para o “skarns” magnesianos a ligação com os dolomitos parece legítima, uma vez que o magnésio é um elemento pouco móvel, o mesmo não acontece no caso dos “skarns” ferríferos ou manganésiferos, posto que estes dois elementos podem ser facilmente fornecidos, em abundância, pelas fases fluídas (Coelho, 1993).

Coelho (1993) defende que este critério deve aludir unicamente ao quimismo das paragénese dos “skarns”.

d) Mineralogia predominante

Baseada na ocorrência de certos minerais em predominância distintiva, esta classificação é útil numa primeira classificação de terreno, ou de amostra de mão.

Como exemplos temos os “skarns” em que predominam as clinopiroxenas, as granadas, a volastonite e a idocrase, respetivamente designados por piroxenitos, granatitos, volastonititos e idocrasitos.

A utilização desta classificação deve ser feita com prudência, uma vez que pode criar confusão com outros tipos rochosos de origens distintas.

e) Cronologia dos principais minerais paragenéticos relativamente à consolidação magmática

A formação da maioria dos “skarns” metalíferos, em contactos graníticos, ocorre para temperaturas da ordem dos 450^o a 500^oC, pelo que são considerados como “skarns” pós-magmáticos (Fonteilles, não publicado).

No entanto, existem “skarns” que apresentam mineralogias indicativas de temperaturas de formação mais elevadas. É o caso de “skarns” com mellilite, mervinite, monticelilite, etc. Estas temperaturas são da ordem das temperaturas magmáticas.

Segundo Fonteilles (não publicado), “a possibilidade de desenvolvimento de “skarns” por reação entre um encaixante e um magma granítico não é, portanto, de rejeitar, *a priori*. Este tipo de reação é proliferamente descrito na literatura Russa e, embora com menor frequência, na literatura Ocidental.” Estes seriam os “skarns” do estado magmático.

Os autores russos Pertsev (1971) e Chabinin (1973) in Fonteilles (não publicado) afirmam que os “skarns” do estado magmático se formam através da reação entre uma fase fluída libertada a partir de um líquido silicatado próximo, de composição granítica, e mármore dolomíticos.

f) Coloração das rochas metassomáticas

Apesar de simplista, esta classificação é bastante prática e útil em muitas circunstâncias. Consiste em dividir os “skarns” em “skarns” claros e “skarns” escuros, em função da coloração destas rochas.

Por norma, se a composição dos fluídos não se modificar com o decurso do tempo, e se não houver sobreposição espacial de diferentes episódios metassomáticos, os “skarns” escuros situar-se-ão a montante e os “skarns” claros a jusante.

4.4. O caso de Covas

Em Covas ocorrem “skarns” mineralizados em tungsténio, que se formaram a partir de mármore bandados e impuros. Portanto, estamos perante um “exoskarn” resultante de metassomatismo de percolação.

Na ilustração 11 é possível observar a variação da composição das granadas e piroxenas do jazigo de Covas (dados de Coelho, 1993), relativamente aos tipos de jazigo de “skarn” definidos por Meinert (1982).

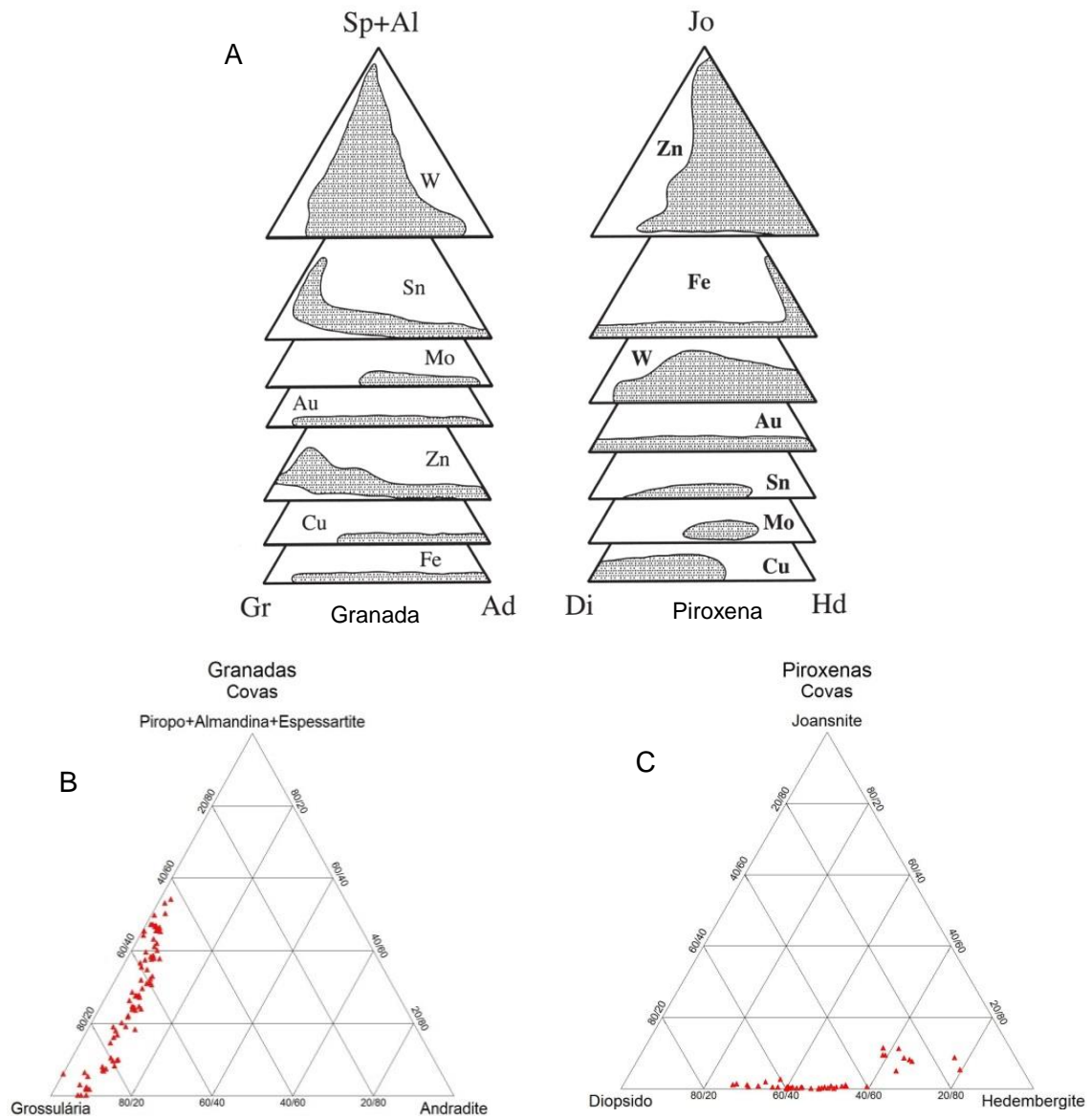


Ilustração 11: **A** - Diagramas ternários relativos à composição das piroxenas e granadas dos maiores jazigos de “skarn” do mundo (Meinert, 1982); **B** - Composição das granadas de Covas; **C** - Composição das piroxenas de Covas.

Ad=andradite, Di=diópsido, Gr=grossulária, Hd=hedembergite, Jo=joansnite, Sp+Al=piropo+lmandina+espessartite

4.4.1. Paragéneses

Os “skarns” de Covas foram alvo de vários processos consecutivos de percolação. Inicialmente estes processos atingiram temperaturas significativamente elevadas, da ordem dos 700⁰C, com a constituição de paragéneses primárias predominantemente integradas por fases anidras, descritas em Coelho *et al.* (1985).

Estes processos sucederam-se até temperaturas reduzidas, de escassas centenas de graus, terem sido atingidas, nas quais se deu a formação de paragéneses tardias tipicamente hidratadas (Coelho, 1993).

Aliando critérios petrográficos a critérios geoquímicos, Coelho (1993) identificou cinco grandes estádios de metassomatose, que incidiram sobre os mármore da séries sedimentar.

Apenas o último destes estádios foi responsável pela mineralização em tungsténio, sob a forma de scheelite no interior dos “skarns” e sob a forma de volframite nos “endoskarns” e/ou nos aplito-pegmatitos.

Na ilustração 12 apresentam-se as paragénese características de cada estádio. Uma descrição pormenorizada pode ser consultada em Coelho (1993). As paragénese separadas por setas (->) pertencem a zonas distintas do mesmo estádio metassomático.

Os sucessivos estádios estão descritos por ordem cronológica de ocorrência.

Tal como se pode observar, o sentido de circulação dos fluídos dá-se da direita para a esquerda, pelo que a jusante (esquerda no quadro) teremos a composição da rocha original e a montante (direita no quadro) teremos a composição do fluído original.

Tomemos o episódio “Ia” do estádio metassomático I, como exemplo.

Imaginemos um ponto fixo no espaço, onde observaremos a evolução do processo.

Inicialmente este ponto é composto por mármore e encontra-se em equilíbrio com o meio.

A chegada do fluído irá desestabilizá-lo, fazendo com que o sistema reaja até encontrar um novo equilíbrio. Daqui resulta a paragénese mármore + clinopiroxena.

A chegada de mais fluído a esse ponto não encontrará o mármore original, mas sim a paragénese citada anteriormente, pelo que a reação para atingir o equilíbrio irá levar à formação, neste caso, de granada.

Estádios/Episódios	Paragêneses.	<- sentido de circulação dos fluídos	Tempo ↓
Ia	Mármore	-> mármore+clinopiroxena (Cpx1) -> granada (Gr1)+Cpx1	
Ib	Gr1+Cpx1	-> idocrase (Ido1)	
II	Mármore	-> volastonite (Wo)+clinopiroxena (Cpx2)	
III	Wo+Cpx1 ou ido 1	-> idocrase (Ido2) [exoskarn]	
	Quartzo+feldspato alcalino	-> plagioclase [endoskarn]	
IVa	Ido2 ou Gr1+Cpx1	-> plagioclase+clinopiroxena (Cpx3) -> plagioclase+biotite	
	Plagioclase	-> apatite [frequente]	
IVb	ou Idocrase	-> apatite [raro]	
	Idocrase ou Mármore	-> granada (Gr2)	
Vb	Volastonite	-> fluorite+calcite+quartzo	
		Fluorite + scheelite 1	
	Plagioclase	-> escapolite [localizada]	
	Sulfuretos		

Ilustração 12: Principais paragêneses primárias dos "skarns" de Covas (Coelho, 1993).

4.4.2. Tungsténio: origem, transporte e deposição

A abundância de fluorite nas paragêneses do estágio V de metassomatose, em Covas, e a sua íntima associação paragenética à scheelite sugerem que o transporte do tungsténio em solução se efetuou sobre a forma de oxi-fluor-complexos (Coelho, 1993).

Os aspetos texturais da scheelite apontam no sentido da sua precipitação a partir do fluido por insolubilização.

Tendo em conta o papel determinante que o fluor parece ter desempenhado na constituição dos oxi-fluor-complexos, transportadores do tungsténio primário, Coelho (1993) defende que a instabilização destes complexos é a causa da precipitação da scheelite.

Segundo Ivanova (1988), “a deposição da scheelite depende da atividade de Ca^{2+} nas soluções, sendo controlada por fatores correlacionados: temperatura, pH, composição das soluções mineralizadoras.”

Coelho (1993) admite que a precipitação da scheelite a partir dos fluídos do estágio V, “cujo pH teria sido previamente controlado pelo fenómeno de alcalinização dos gresos-pelitos encaixantes, se deve ao facto de a reduzida fugacidade de CO_2 permitir o aumento da atividade de CaO para valores que induzem a instabilização dos oxi-fluor-complexos e conseqüentemente conduzam à precipitação da scheelite e da fluorite.”

Bayer (1968 in Coelho 1993) afirmava que o tungsténio existente em Covas já se encontrava no seu meio ambiente sedimentar original, onde teria sido acumulado singeneticamente por processos vulcânicos e que apenas teria experimentado deslocamentos e concentrações locais *in situ* por metamorfismo e processos metassomáticos de contacto.

Tendo em conta que houve cinco episódios metassomáticos e que apenas o último foi mineralizador, dificilmente se compreende o porquê de nenhum dos quatro primeiros estádios metassomáticos ter sido capaz de produzir mineralização, “apesar de os fluídos correspondentes terem incidido sobre substratos composicionalmente análogos e de serem enquadrados pelo mesmo encaixante. Pelo menos o fluído do estágio IV possui um quimismo semelhante ao do estágio V, isto é, alcalino e rico em alumínio, possuindo as características necessárias à solubilização do tungsténio, se este existisse nos sedimentos (Pascal, 1984 e Ivanova 1986 in Coelho, 1993).”

Daí, Coelho (1993) apontar para que os fluídos responsáveis pela mineralização dos “skarns” tiveram uma origem magmática, se não na íntegra, pelo menos predominante.

5. DADOS, MEIOS E METODOLOGIA

5.1. Dados

Conforme foi referido atempadamente, o objeto deste trabalho é o corpo 6 do jazigo tungstífero de Covas. A sua escolha foi efetuada depois de devidamente ponderados, quer o aprofundamento e o grau de detalhe que se pretendeu incutir à dissertação, quer a quantidade e a qualidade dos dados disponíveis.

A área em estudo, com cerca de 115 903 m², situa-se nas concessões de Lapa Grande e Lapa Grande nº 2 (de 1980), abrangendo quase a totalidade do corpo mineralizado “Lapa Grande” (como definido pela *Union Carbide*), tal como se pode observar na ilustração 4.

A caracterização da área em estudo (ilustração 13) teve por base informação obtida a partir de 23 sondagens de perfuração mecânica e dados cartográficos (cartas militares 14 – Caminha e 15 – Paredes de Coura, à escala 1:25 000) e geológicos de superfície.

As sondagens foram realizadas entre 1976 e 1977 pela *Union Carbide* e pela sua subsidiária *Union Carbide Geotécnica Portuguesa – Assistência Mineira, Lda*.

As descrições e os relatórios correspondentes às sondagens foram-nos facultados pela empresa acima referida e pelo Instituto Geológico Mineiro.

Apesar de as sondagens 76-31, 76-34 e 77-20 não atravessarem “skarn”, elas apresentam alguns teores de WO₃.

Tendo em consideração que com este trabalho pretendemos essencialmente modelar a mineralização no “skarn” e, sobretudo, que os teores referidos se revelam de carácter excecional, os valores acima mencionados foram excluídos inicialmente nos cálculos e nos modelos apresentados. Todavia, quantificou-se, suplementarmente, a mineralização fora do “skarn”.

Dos registos de sondagens consultados constam elementos referentes: à sua localização, orientação e profundidade; à lito-estratigrafia atravessada; aos teores de WO₃ das unidades mineralizadas; às taxas de recuperação e ao estado de degradação mecânica dos testemunhos e, ainda, algumas observações relativas a particularidades mineralógicas e estruturais.

Os teores de WO₃ do corpo apresentam um valor médio de 0.36 % e um desvio padrão consideravelmente elevado de 0.55, calculados diretamente a partir das sondagens (ilustração 14).

Os dados, os mapas e os modelos apresentados neste trabalho utilizam o *datum* WGS84, UTM (zona 29T).

Os cálculos efetuados nesta dissertação são válidos para a data da realização das sondagens. Não foram tomadas em consideração as explorações que ocorreram nesta área, após as campanhas de sondagens.

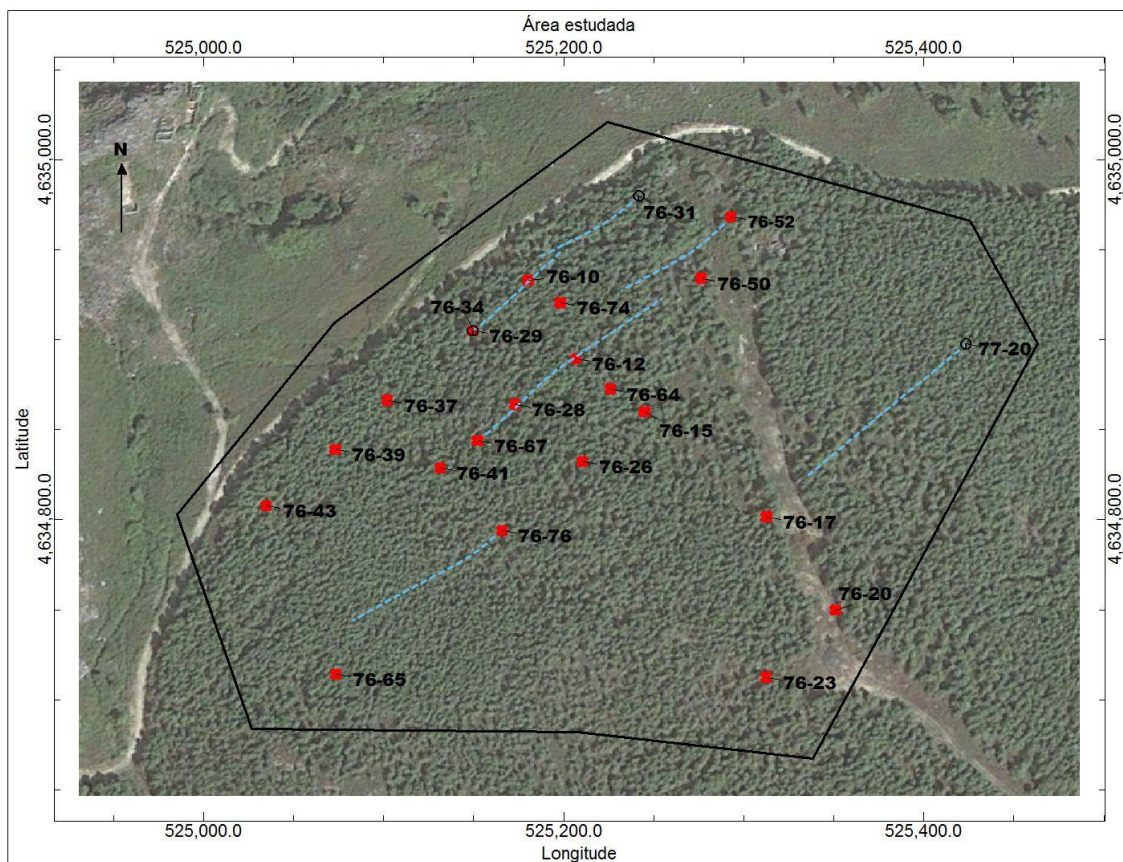


Ilustração 13: Localização da área e das sondagens estudadas. O símbolo vermelho indica a presença de “skarn” nas sondagens. Os traços das sondagens inclinadas (linhas tracejadas azuis) estão representados em projeção ortogonal. Dados implantados sobre imagem do *Google Earth™*.

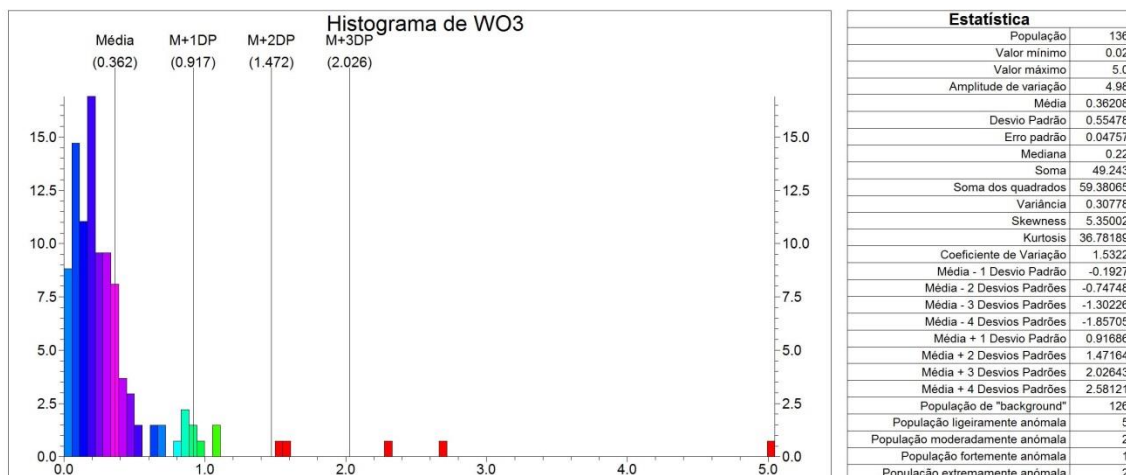


Ilustração 14: Histograma de frequências dos teores de WO_3 das sondagens em estudo.

5.2. Meios usados

A principal aplicação informática, escolhida para tratamento gráfico e para os cálculos necessários à prossecução da dissertação, foi o *RockWorks16*® da *Rockware Incorporated* (URL 11), na sequência simplesmente designado por *RockWorks16*, tendo-se recorrido a uma vasta gama de ferramentas nele disponibilizadas.

Para a recolha de pontos cotados adicionais recorreu-se à aplicação *Terrain* da *Zonum Solutions*™ (URL 12).

A partir do *Google Earth*™ (URL 13) foi possível recolhermos imagens de satélite da área em questão.

A conversão das coordenadas para WGS84 foi processada com *TatukGIS Calculator*™ (URL 14) e *RockWorks16*.

A edição de imagens *raster* foi efetuada com a aplicação *Paint.NET*© 2013 (URL 15) e a edição de imagens vetoriais 2D e 3D com os respetivos instrumentos do *Rockworks16*.

A retificação de imagens e de mapas foi realizada através de *Metacarta Rectifier*™ (URL 16).

5.3. Metodologia

Com base nos dados anteriormente mencionados, foram criados os modelos base, necessários para a avaliação dos recursos da área visada: modelo estratigráfico, modelo litológico, modelo de “skarn” e modelo de distribuição de teores de WO_3 . Este último foi complementado com o cálculo das anomalias de WO_3 em relação ao teor económico mínimo explorável (TEM).

A partir dos modelos base foi possível gerar não só o modelo de recursos de WO_3 , como também proceder-se à qualificação dos recursos, com base em distâncias de corte e em teor de corte e, ainda, à sua quantificação através de diversos mapas GT (*grade x thickness*).

A viabilidade de uma exploração depende de múltiplos fatores tais como: a espessura mínima de minério explorável, o máximo de espessura de ganga aceite, o teor mínimo aceitável, a estrutura e a profundidade do corpo mineralizado e o volume de terrenos de cobertura, entre outros.

Tendo em conta as variáveis mencionadas, reamostraram-se os teores das nossas sondagens e, ainda, se procedeu à requalificação dos recursos de WO_3 , pressupondo uma exploração por galerias.

Simulou-se, igualmente, uma exploração a céu aberto e calculou-se o volume e a massa de ganga e de minério passíveis de extração, bem como a topografia resultante.

Antes de se proceder à explanação do trabalho desenvolvido é necessário clarificar que:

- Contrariamente à nomenclatura portuguesa, o separador decimal usado neste trabalho é o “.” (ponto) e o separador das classes é a “,” (vírgula). Esta alteração foi necessária para harmonização das aplicações informáticas utilizadas;

- Todos os mapas e modelos apresentados foram gerados a partir de ficheiros vetoriais, sendo possível medir distâncias, áreas, volumes, direções e azimutes com toda a precisão;

- Para se poder representar graficamente os dados e proceder aos cálculos de volumetria e de tonelagem, foi necessário recorrer à transformação dos dados disponíveis (de distribuição naturalmente irregular) em redes bidimensionais e em malhas tridimensionais, ambas regulares. Assim:

- Na criação das redes bidimensionais foi utilizada uma matriz de dimensão de 50x38 nódulos, que corresponde a um espaçamento de 10m segundo x (*longitude*) e y (*latitude*);

- Na criação de redes tridimensionais (numéricas e booleanas) utilizou-se uma densidade de 50x38x369 nódulos, que define um espaçamento internodular vertical (z) de 0.5 m;

- A área da célula (2D) é de 100 m² e o volume do voxel (3D) é 50 m³;

- Os mapas e dos modelos apresentados foram, *a posteriori*, ajustados ao polígono que delimita a nossa área de estudo. Assim, aquando da criação daqueles mapas e modelos, o algoritmo escolhido pôde utilizar todos os dados existentes, incluindo os valores correspondentes ao exterior à fronteira do domínio geográfico considerado;

- Sempre que necessário, os modelos foram limitados a teto pela rede topográfica da zona;

- Os mapas apresentados encontram-se orientados segundo a direção N-S;

- Não se tendo tido acesso a dados de carácter económico ou técnico-mineiro, relativos à exploração real do corpo, recorreu-se a cenários hipotéticos, devidamente fundamentados, para a reclassificação e qualificação dos recursos.

5.3.1. Modelo estratigráfico

Tal como foi referido no enquadramento geológico da zona (capítulo 2.2), a estratigrafia, sentido lato, compreende, de cima para baixo: Cobertura, Gresopelitos Superiores (Sup), “Skarn”, Gresopelitos Intermédios (Interm), Quartzito e Gresopelitos Inferiores (Inf).

A volumetria de todas as unidades foi objeto de quantificação, com especial ênfase para o “skarn”, hospedeiro da mineralização. Delimitou-se a formação “skarn” através da sua isópaca, que engloba a litologia “skarn” e as restantes interestratificações a ela associadas.

O algoritmo utilizado para a geração das matrizes e dos mapas vetoriais foi o inverso da distância (anexo 1), sem busca setorial, expoente de distância=2 e número máximo de pontos=8.

5.3.2. Modelo litológico

No sentido de se salvaguardar o realismo do modelo litológico foram tomados em consideração diversos fatores, tais como a espessura das diferentes litologias e a distribuição espacial do “skarn”.

Tendo presente que as litologias variam de espessura, desde poucos centímetros a vários metros, foi definida uma elevada densidade nodular vertical (z), garantindo uma resolução adequada ao modelo.

O facto de a região estudada ter sido sujeita a diversas deformações torna a sua modelação mais complexa. Por forma a refletir essa deformação na modelação foi necessário proceder-se à interpretação estrutural das litologias, em especial a do “skarn”, recorrendo a perfis entre sondagens. A sua análise permitiu a criação de uma rede *warp* que adaptou a modelação ao estilo da deformação dominante.

Na criação do modelo litológico recorreu-se ao algoritmo *lithoblending* (anexo 1).

O modelo criado permitiu obter o mapa geológico da área estudada, diversos perfis e secções e, ainda, calcular a volumetria e a massa de cada litologia.

5.3.3. Modelo de “Skarn”

Tendo presente que um dos objetivos deste trabalho consiste no cálculo dos recursos de WO_3 na litologia “skarn”, foi necessário estudar esta rocha hospedeira.

No antiforma de Covas a rocha portadora da mineralização de tungsténio é predominantemente o “skarn”, no entanto nem todo o “skarn” se encontra mineralizado.

Considerou-se essencial calcular os seguintes parâmetros:

- Espessura e volume do terreno de cobertura do “skarn”;
- A espessura real de “skarn”;
- Volume e massa de “skarn” mineralizado e não mineralizado;
- E, ainda, as suas volumetria e massa, classificadas por cotas.

5.3.4. Modelo de distribuição dos teores de WO_3

O modelo de distribuição espacial de teores circunscreve-se aos valores existentes nos níveis de “skarn”. Nem todos os níveis são, todavia, portadores de mineralização.

Para a criação do modelo foi utilizado o algoritmo inverso da distância anisotrópico (anexo 1).

A partir do modelo de distribuição de teores pudemos criar diversos mapas estatísticos que, em cada vertical, representam: o teor mais elevado, o teor mais baixo, a soma dos teores e, ainda, a média dos teores.

Para uma apreciação mais detalhada da distribuição dos teores, procedeu-se à análise do histograma de frequências do modelo criado, e ainda, da sua distribuição por cotas classificadas.

Também se procedeu à apreciação dos teores que ocorrem fora da litologia “skarn”, apesar de estes valores não serem considerados nos objetivos principais deste trabalho.

5.3.4.1. Anomalias

Um aspeto importante da avaliação de um jazigo é a análise de anomalias. As anomalias de WO_3 foram definidas em relação ao teor económico mínimo explorável (TEM) (eq. 1).

$$(WO_3\%/TEM) - 1 \quad (eq. 1)$$

O valor recomendável para o TEM em jazigos de WO_3 de grandes dimensões, como o de Covas, é de 0.14% em peso (URL 17).

Foram gerados mapas estatísticos que, segundo a vertical, representam: a anomalia mais elevada; a anomalia média e ainda a cota mais elevada da anomalia mais elevada.

Nesta conformidade, as anomalias negativas indicam locais que não atingem o TEM e as anomalias positivas indicam locais de maior interesse económico.

5.3.5. Modelo de recursos de WO_3

O modelo de recursos em WO_3 foi obtido a partir dos modelos de distribuição espacial de $WO_3\%$ e de distribuição de peso de skarn.

Uma vez que não foram aplicados inicialmente quaisquer limites quanto aos teores e às espessuras de minério ou ganga aceites, os recursos obtidos são considerados como brutos.

5.3.5.1. Qualificação dos recursos

A qualificação dos recursos tem por objetivo agrupar os valores calculados em classes, de acordo com o grau de certeza/confiança associado a cada uma delas. Os recursos são classificados, por ordem decrescente de certeza/confiança, em medidos, indicados e inferidos.

Tal como se pode observar na ilustração 12, as sondagens utilizadas não se distribuem espacialmente de forma homogénea.

A variabilidade amostral afeta a qualidade das modelações e o grau de confiança nos resultados obtidos. Consequentemente, a definição de distâncias de corte e a definição de níveis de confiança correlativas constitui uma tarefa essencial na definição de recursos.

O recurso à variografia suportada por *kriging* revela-se fundamental na avaliação de recursos, tendo em conta que esta permite determinar em que medida existe uma correlação espacial entre os valores amostrados e a distância entre eles.

O método de *gauss* sem efeito de *nugget* foi o que apresentou uma melhor correlação entre os modelos investigados na variografia isto é leis linear, esférica, exponencial e de Gauss.

Com este modelo, a análise variográfica dos teores de WO_3 (ilustração 15) permitiu concluir que:

- Os dados são tendencialmente anisotrópicos, apresentando uma orientação preferencial NW-SE;
- Segundo o maior eixo ($N129.7^0$) os dados deixam de ser correlacionáveis a partir do 75.9 m;

- Segundo o menor eixo (N219.7^o) os dados deixam de ser correlacionáveis a partir dos 41.75 m;
- A partir dos 100 m os nossos dados deixam de ter qualquer relação entre si.

Em consonância, aplicaram-se aos recursos em bruto de “skarn” e de WO₃ as distâncias de corte de 42 m, 76 m e 100 m que correspondem, respetivamente, aos recursos medidos, indicados e inferidos.

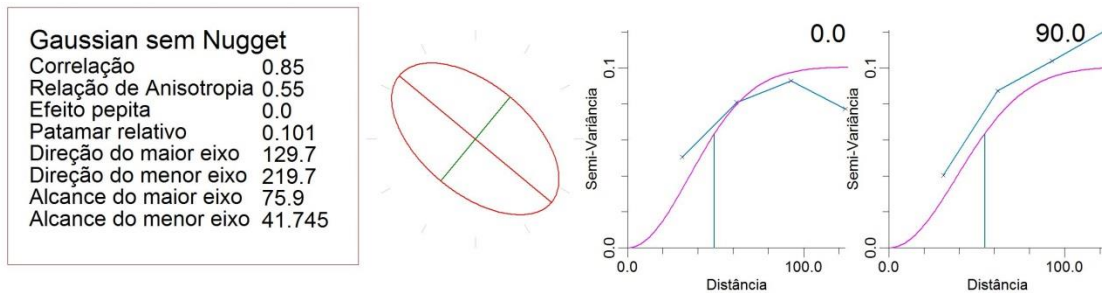


Ilustração 15: Variograma para os dados de WO₃%.

Sustentou-se anteriormente que o TEM recomendável para jazigos de grandes dimensões é de 0.14%. Em conformidade, definiu-se este valor como teor de corte.

Os recursos de “skarn” não foram alvo de nenhum teor de corte, exceto quando expressamente declarado.

A qualificação por distâncias de corte permitiu, igualmente, definir graus de confiança noutros modelos criados (estratigráfico, litológico, “skarn” e distribuição de teores).

5.3.5.2. Quantificação dos recursos

Após a qualificação dos recursos segundo os diversos graus de confiança, passou-se à sua quantificação através do cálculo dos valores de GT. Esta quantificação permitiu recalcular os valores obtidos para as diferentes classes, de forma a identificar as áreas de maior e menor interesse.

O GT consiste no produto do teor de mineralização (*grade*) pela respetiva espessura (*thickness*) (eq. 2). Os valores de GT são de grande importância na avaliação da viabilidade de um jazigo, pois permitem identificar de uma forma simples as áreas de maior interesse.

$$GT = grade \times thickness \quad (eq. 2)$$

O cálculo do GT foi realizado de duas formas:

a) Com base no modelo de teores de WO_3

Este método utiliza o somatório dos GT para cada par de coordenadas dos nódulos, isto é, calcula o GT vertical de cada nível mineralizado e procede ao seu somatório.

Utilizou-se o modelo de teores, ao qual foram retirados os valores inferiores ao TEM. Definiu-se como GT mínimo aceitável 0.14. Tendo em consideração que o TEM é de 0.14%, um GT mínimo de 0.14 implica uma espessura mínima de 1 m.

b) Com base nas sondagens

Foram gerados mapas de GT para as distâncias de corte definidas anteriormente. Valores elevados de GT tanto podem indicar zonas de elevada espessura e de baixo teor, como zonas de elevados teores e baixas espessuras.

Os dados utilizados na criação dos diversos mapas GT, para cada sondagem, foram a soma das espessuras mineralizadas e o teor médio. Os troços com teores abaixo do TEM não foram contemplados no cálculo do teor médio de cada sondagem.

Nas sondagens inclinadas calcularam-se as coordenadas do troço médio.

Tendo por base os resultados de GT obtidos definiu-se como valores baixos de GT os compreendidos entre os 0.14% e os 2%, e como valores altos de GT os superiores a 2%.

Os mapas ilustrativos criados foram:

- 1) Teores médios de WO_3
- 2) Soma das espessuras de “skarn” mineralizado
- 3) GT
- 4) GT medido (distância inferior a 42 m):
 - GT baixos: teor entre 0.14-2%
 - GT elevados: teor > 2%
 - GT baixos + elevados: teor > 0.14%
- 5) GT indicado (distância entre 42 m e 76 m):
 - GT baixos: teor entre 0.14-2%
 - GT elevados: teor > 2%
 - GT baixos + elevados: teor > 0.14%
- 6) GT medido + indicado (distância inferior a 76 m):
 - GT baixos: teor entre 0.14-2%
 - GT elevados: teor > 2%
 - GT baixos + elevados: teor > 0.14%

7) GT inferido (distância entre 76 m e 100 m):

- GT baixos: teor entre 0.14-2%
- GT elevados: teor > 2%
- GT baixos + elevados: teor > 0.14%

8) GT medido + indicado + inferido (distância inferior a 100 m):

- GT baixos: teor entre 0.14-2%
- GT elevados: teor > 2%
- GT baixos + elevados: teor > 0.14%

Neste trabalho aplicámos o método GT com três propósitos distintos. Os dois primeiros, acabados de referir, focaram-se na quantificação da importância relativa de cada área do polígono. No GT aplicado ao modelo utilizaram-se todos os troços mineralizados que cumpriam os critérios estabelecidos.

No GT aplicado às sondagens recorreu-se ao teor médio e à soma da espessura mineralizada de cada sondagem. Este método permitiu avaliar, separadamente, com um maior pormenor as zonas medidas, indicadas e inferidas.

Utilizou-se, ainda, o GT para a reamostragem das sondagens. O recurso a este GT teve o propósito de permitir a distinção dos troços de maior e de menor interesse nos *logs* das sondagens.

5.3.6. Reamostragem e Requalificação

Na indústria mineira é comum recorrer-se à reamostragem dos teores das sondagens e à requalificação dos recursos obtidos.

Reamostraram-se os teores das sondagens segundo dois métodos: o LCW e o GT. Esta reamostragem não foi utilizada para efeitos de modelação, mas sim, para ilustração nos *logs* das sondagens.

Na planificação de uma exploração existem diversos fatores que podem, ou não, determinar a sua viabilidade. Desses fatores destacam-se: a espessura mínima de minério considerada rentável de explorar; a espessura máxima de ganga interestratificada que é possível tratar e o *stripping ratio*¹².

Nesta dissertação requalificaram-se os recursos obtidos tendo por base os fatores acima mencionados.

¹² *Stripping ratio* = Espessura Ganga / Espessura Minério.

5.3.6.1. Reamostragem dos teores das sondagens

A reamostragem consiste na redefinição da importância dada aos troços em que existe mineralização, segundo diversos critérios: o TEM, a espessura mínima de “skarn” e a ganga interestratificada, entre outros. Desta forma é possível distinguir visualmente, a partir das diagrfias, os troços com maior e menor interesse segundo os critérios definidos.

a) LCW (*length composite weighting*)

Este processo consiste (eq. 3) no cálculo do quociente do somatório do produto dos teores (t) pelas suas espessuras (e), sobre a soma das espessuras. Desta forma é atribuído um maior peso aos níveis mais espessos.

$$LCW = \sum [(t_1 \times e_1) \dots (t_n \times e_n)] / \sum (e_1 \dots e_n) \quad (\text{eq. 3})$$

Dos diversos âmbitos de cálculo de LCW considerou-se aplicável:

- LCW apenas na estratigrafia “skarn”, compatível com uma exploração em galeria;
- LCW por bancadas, com um incremento de 2 m, a partir da superfície topográfica. Adequado para uma exploração a céu aberto.

b) GT

Esta reamostragem consiste na redefinição dos teores das sondagens a utilizar com base no TEM e na espessura máxima de ganga acumulada passível de explorar.

Especificamente, foram excluídos os níveis de “skarn” cujo teor era inferior ao TEM e que tinham uma espessura de ganga associada superior à definida.

Com base na avaliação da ganga interestratificada entre os diversos níveis de “skarn” do corpo em estudo, considerou-se adequada uma espessura de 5 m.

Foram, nesta conformidade, calculados os valores relativos: à espessura de mineralização; à soma dos valores de GT e ao teor médio.

5.3.6.2. Requalificação dos Recursos

Após a qualificação dos recursos, segundo o seu grau de confiança, é possível requalificá-los tendo por base critérios técnico-mineiros.

Os recursos podem ser requalificados segundo os seguintes métodos:

a) Espessura mínima de zona mineralizada (*Minimum ore zone thickness*)

Este método consiste na definição da espessura mínima contínua de “skarn” a partir da qual é rentável explorar. Desta forma, todos os níveis mineralizados cuja espessura seja inferior à definida, são requalificados como ganga (ilustração 16).

Uma vez que este método apenas avalia a zona mineralizada e não a ganga, tanto pode ser utilizado para explorações a céu aberto como em profundidade.



Ilustração 16: Esquema do método espessura mínima de zona mineralizada (adaptado de *Rockworks, Help files*).

b) Espessura mínima total mineralizada (*Minimum total ore thickness*)

Este método consiste na definição de uma espessura mínima mineralizada, não contígua, ao longo da vertical, a partir da qual é considerado rentável explorar. Deste modo, o que se toma em consideração é a espessura acumulada total, ao longo de cada coluna vertical, e não a espessura individual de cada zona mineralizada. Caso a espessura total seja inferior à estabelecida, toda a coluna é requalificada como ganga (ilustração 17).

Tendo em conta que o método funciona por colunas de “vóxeis” e não por zonas, esta reclassificação é indicada para uma exploração na vertical (poços, por exemplo).

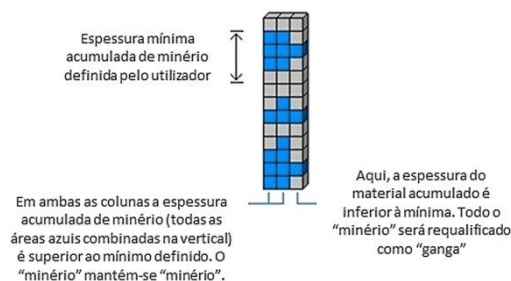


Ilustração 17: Esquema do método espessura mínima total mineralizada (adaptado de *Rockworks, Help files*).

c) Espessura máxima de ganga (*Maximum waste thickness*)

Este método permite requalificar pequenas espessuras de ganga que estejam interestratificadas entre níveis mineralizados.

Nos casos em que a espessura de ganga seja inferior à definida, essa ganga é requalificada como minério (ilustração 18).

Este método tanto pode ser utilizado para explorações a céu aberto, como para explorações em galeria.

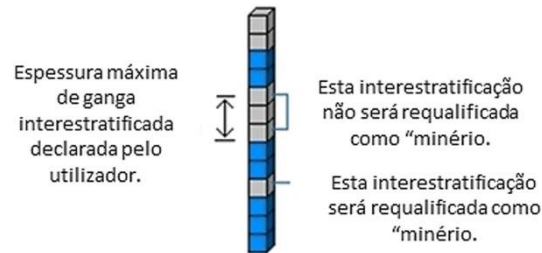


Ilustração 18: Esquema do método espessura máxima de ganga (adaptado de *Rockworks, Help files*).

d) *Stripping ratio*

O *stripping ratio* consiste na razão entre a espessura (ou volume) de cobertura e/ou ganga interestratificada e a espessura (ou volume) de minério (eq. 4).

$$\text{Stripping ratio} = \text{Espessura Ganga} / \text{Espessura Minério} \quad (\text{eq. 4})$$

Um *stripping ratio* de 2:1 indica que para se extrair 1 m de minério se aceita extrair um máximo de 2 m de ganga.

São diversos os fatores que afetam a definição do *stripping ratio*: de carácter geológico (estrutura, profundidade e espessura do jazigo, topografia); de carácter económico (preço do minério, tempo de vida da mina) e de carácter técnico (mão de obra, instalações necessárias, transportes), entre outros.

Existem três modalidades de aplicação do *stripping ratio* na requalificação de recursos:

1) Ganga total/ Minério total (*Total waste/Total ore*)

Este método consiste no cálculo da razão entre a espessura total de ganga e a espessura total de minério em cada coluna de vóxeis. Caso o valor resultante seja superior ao *stripping ratio* definido, toda a coluna é requalificada como ganga.

Tendo em conta que este método contabiliza toda a ganga (inclusive a cobertura), este método é adequado para explorações a céu aberto, em que o jazigo presumivelmente se encontra próximo da superfície.

2) Ganga contígua (Contiguous Waste)

Este processo incide sobre zonas e não sobre colunas. É considerada a espessura de ganga adjacente, acima de cada zona mineralizada, até ao próximo nível mineralizado. Caso o *stripping ratio* da zona seja superior ao definido, esta é requalificada como ganga (ilustração 19).

Este método é recomendável para explorações em profundidade, uma vez que apenas se considera como ganga a que se encontra imediatamente acima da mineralização.



Ilustração 19: Esquema do método *stripping ratio* – ganga contígua (adaptado de *Rockworks, Help files*).

3) Ganga total/Zonas (Total waste/Zones)

Ao contrário do método anterior, este contabiliza toda a ganga acima de cada zona mineralizada, independentemente de haver, ou não, outras zonas mineralizadas. Caso o *stripping ratio* seja superior ao indicado, a zona mineralizada é requalificada como ganga.

Tal como o método *Ganga total/Minério total*, este método também se adequa a explorações a céu aberto, uma vez que contabiliza toda a ganga suprajacente.

A profundidade a que ocorre o “skarn” implica um grande volume de terrenos de cobertura e limita a escolha dos métodos de requalificação a usar.

Os métodos *Ganga total/Minério total* e *Ganga total/Zonas* englobam toda a ganga acima do minério, pelo que são recomendáveis para jazigos próximos da superfície, onde seja viável uma exploração a céu aberto. Consequentemente, esta requalificação não se reveste de interesse no caso vertente.

Por outro lado, os métodos *espessura mínima de zona mineralizada*, *espessura mínima total mineralizada*, *espessura máxima de ganga* e *ganga contígua* apenas se referem ao minério em si (os dois primeiros) ou à ganga imediatamente acima do minério sendo, portanto, os mais adequados no caso do corpo em estudo.

Posta a considerável profundidade do “skarn”, assumiu-se uma requalificação dos recursos com base no pressuposto de se tratar de uma exploração por galerias.

A volumetria à qual se aplicou a requalificação é delimitada pelo teto da primeira ocorrência e pelo muro do nível mais profundo do “skarn”, não fazendo sentido englobar a ganga que se situa acima e abaixo do mesmo.

A requalificação dos recursos foi feita com base em quatro cenários hipotéticos:

Cenário 1: Só se considerou rentável explorar os níveis de “skarn” cuja espessura fosse igual ou superior a 0.7 m.

Cenário 2: Só se considerou rentável explorar zonas cuja espessura cumulativa de “skarn” fosse igual ou superior a 1 m.

Cenário 3: Aceitou-se explorar até 1 m de ganga interestratificada, contígua ao “skarn”.

Cenário 4: O *stripping ratio* para a exploração fosse de 5:1

Para a quantificação do *stripping ratio* criou-se uma secção E-W, perpendicular à estrutura, na qual se efetuaram diversas medições de espessura de “skarn” e da respetiva ganga. O valor médio do *stripping ratio* obtido foi de 5:1.

Outros critérios mineiros/financeiros poderiam ser utilizados, se estivessem disponíveis.

5.3.7. Simulação de uma exploração a céu aberto

Não obstante a assunção anterior de exploração por galerias, achou-se por bem simular uma exploração a céu aberto na área estudada.

Com esta simulação pretendeu-se calcular a volumetria da ganga e do minério extraído, modelar a topografia resultante da exploração e, ainda, gerar uma representação gráfica do WO₃ explorado.

Com base no modelo de minério extraído elaborou-se um relatório classificado por cotas para os valores de volume, massa, teores mínimo e máximo e média de WO₃.

As condições equacionadas para a simulação foram:

- restringir o domínio da pretensa exploração ao polígono limítrofe da área em estudo;

- não limitar a profundidade máxima;
- exploração por bancadas com altura máxima de 5 m;
- inclinação máxima da encosta de -45 °;
- teor mínimo: 0.14% (TEM);
- fator de conversão de densidade: 3.0 Ton/m³.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Modelo Estratigráfico

O modelo estratigráfico (ilustração 20) da área compreende, no total, um volume de 12 555 850.00 m³ e uma massa de 29 329 785.00 Ton (tabela 5).

O modelo é constituído por seis formações, das quais se destacam a Cobertura e os Gresopelitos Superiores, que correspondem, respetivamente, a 27.2% e 42% em volume do total. No seu conjunto, estas formações representam o terreno de cobertura relativo à formação “skarn”.

A formação alvo do estudo, o “skarn”, apenas representa 4.4% do volume total. Esta percentagem engloba não só o litótipo “skarn”, mas também a ganga interestratificada.

Na ilustração 21 é possível observar o enquadramento do “skarn”.

Tabela 5: Valores de volume, massa e percentagem em volume das formações existentes na área.

Formação\ Dados	Volume (m ³)	Massa (Ton)	Percentagem (%)
Cobertura	3 413 750.00	6 144 750.00	27.20
Gresopelitos Sup	5 278 850.00	13 197 125.00	42.00
Skarn	556 150.00	1 668 450.00	4.40
Gresopelitos Interm	420 650.00	1 051 625.00	3.40
Quartzito	258 550.00	698 085.00	2.10
Gresopelitos Inf	2 627 900.00	6 569 750.00	20.90
Total	12 555 850.00	29 329 785.00	100

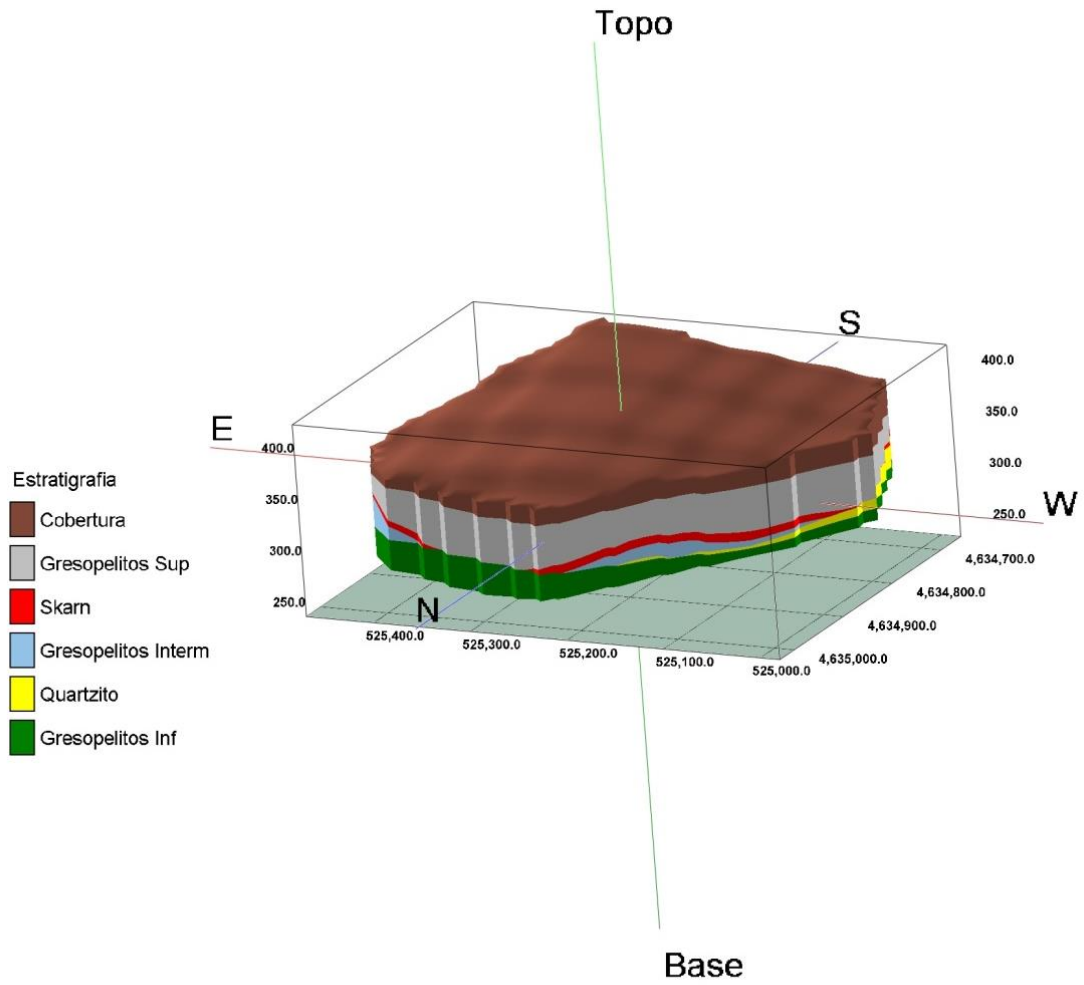


Ilustração 20: Modelo estratigráfico da área estudada.

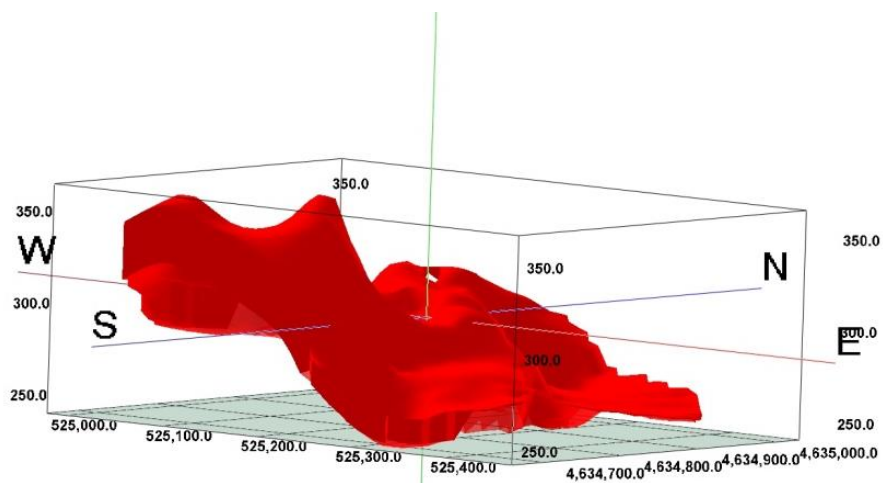


Ilustração 21: Isópaca 3D da formação "skarn", com um exagero vertical de 1.5 vezes.

6.2. Modelo Litológico

O modelo litológico (ilustração 22) possui um volume total de 16 795 250 m³ e uma massa de 44 162 237.50 Ton (tabela 6).

As diferenças entre estes valores e os apresentados para a estratigrafia (tabela 5) prendem-se subordinadamente com a utilização de diferentes algoritmos na geração dos modelos mas, sobretudo, com a utilização de uma densidade média para cada formação estratigráfica.

As litologias mais abundantes no modelo litológico são o granito e o xisto (micaxisto) com 32.8% e 40.3% em volume, respetivamente.

A litologia “skarn”, portadora da mineralização, representa apenas 2.8% do volume total do modelo.

Somente 63% da formação “skarn” correspondem à litologia “skarn”. Os restantes 37% representam a ganga interestratificada (ilustração 21 e tabela 5).

O padrão da deformação que afeta as diversas litologias é visível nas ilustrações 22, 23 e 24.

Na área estudada não aflora “skarn”, tal como se pode observar no mapa geológico (ilustração 25). As litologias aflorantes, por ordem decrescente de percentagem de volume são: granito, cobertura (resultante da meteorização das outras litologias), xisto, pegmatitos e, ainda, um pouco de lamprófiro no canto SW.

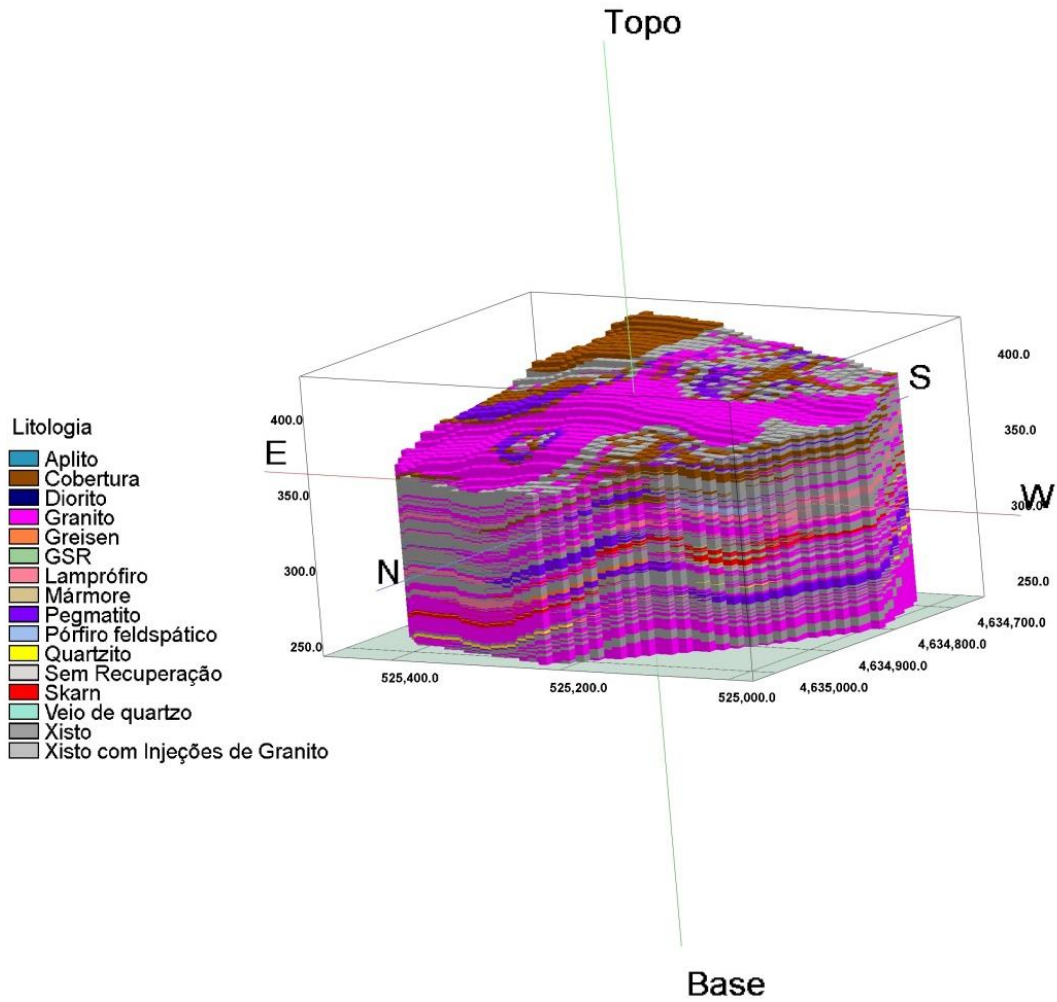


Ilustração 22: Modelo litológico da área estudada. Exagero vertical de 1.5 vezes.

Tabela 6: Valores de volume, de massa e percentagem em volume das litologias existentes na área.

Litologias\Dados	Volume (m ³)	Massa (Ton)	Percentagem de volume (%)
Aplito	21 800.00	57 770.00	0.13
Cobertura	816 500.00	1 469 700.00	4.86
Diorito	55 350.00	160 515.00	0.33
Granito	5 509 350.00	14 599 777.50	32.80
Greisen	34 350.00	90 684.00	0.21
GSR ¹³	75 800.00	219 820.00	0.45
Lamprófiro	700 750.00	1 751 875.00	4.17
Mármore	8 600.00	21 930.00	0.05
Pegmatito	2 133 100.00	5 567 391.00	12.70
Pórfiro feldspático	27 200.00	69 632.00	0.16
Quartzito	129 600.00	349 920.00	0.77
Sem Recuperação	850.00	850.00	0.01
“Skarn”	472 800.00	1 418 400.00	2.82
Veio de quartzo	12 950.00	34 317.50	0.08
Xisto	6 774 300.00	18 290 610.00	40.34
Xisto com Injeções de Granito	21 950.00	59 045.50	0.13
Total	16 795 250.00	44 162 237.50	100

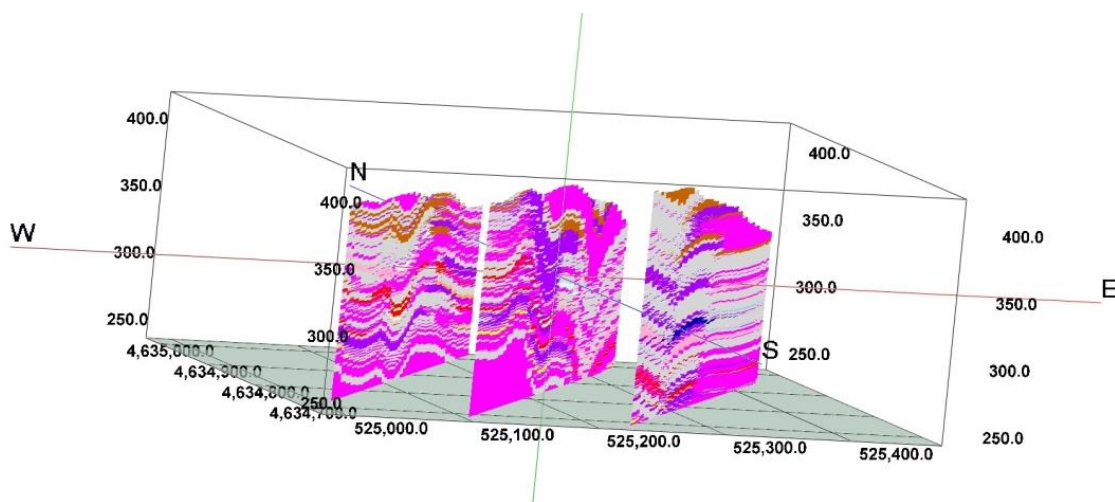


Ilustração 23: Secções com orientação SW-NE do modelo litológico.

¹³ GSR = *Green Silica Rock*, rocha metassomática silicatada composta por quartzo, piroxena verde e feldspato potássico – endoskarn (Coelho, 1993)

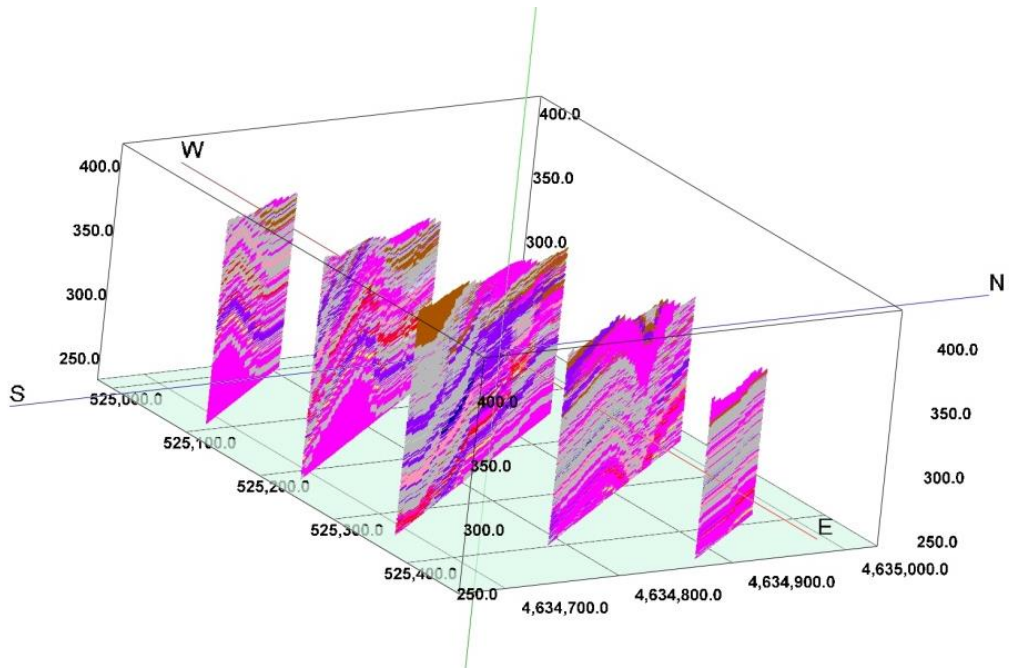


Ilustração 24: Secções com orientação SE-NW do modelo litológico.

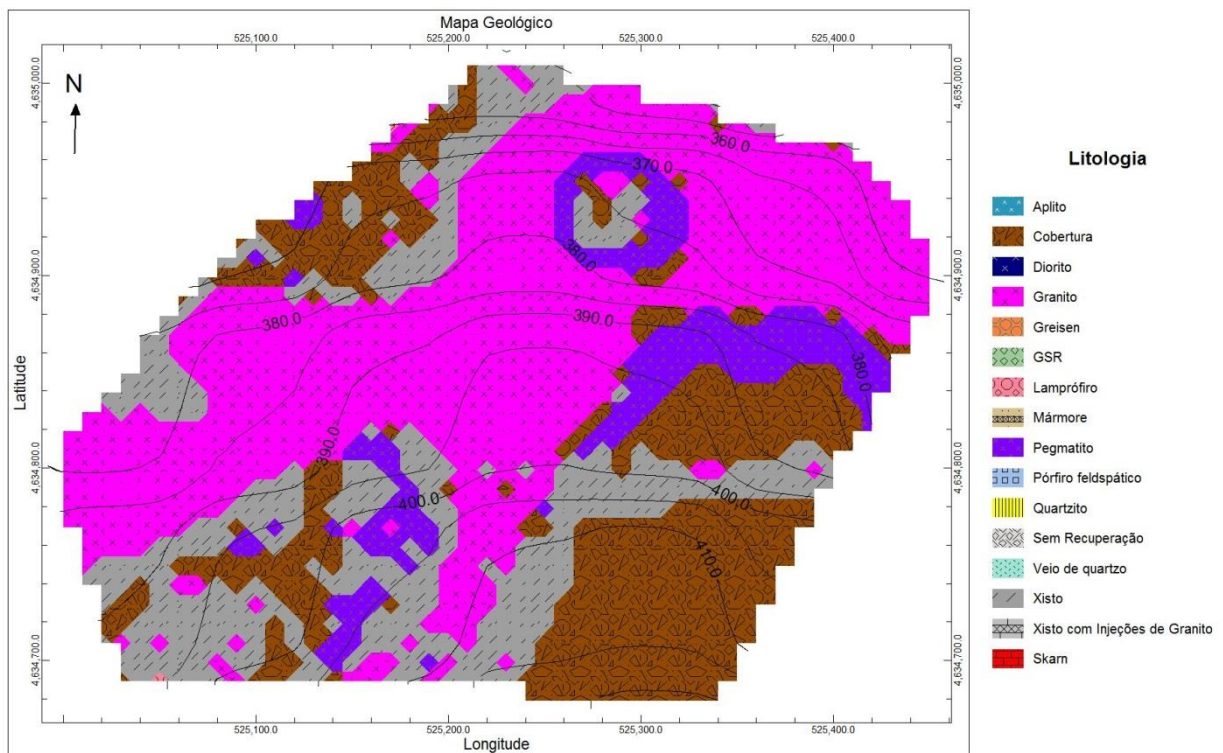


Ilustração 25: Mapa geológico da área estudada.

6.3. Modelo de “Skarn”

A litologia “skarn” (ilustração 26) distribui-se por diversos níveis.

Apesar de o “skarn” ser a rocha hospedeira da mineralização, nem todo o “skarn” é mineralizado.

84% do “skarn” apresenta mineralização, enquanto os restantes 16% são estéreis (tabela 7)

Tabela 7: Volumetria e massa de “skarn” total, mineralizado e não mineralizado.

	“Skarn” Total	“Skarn” Mineralizado	”Skarn” Não Mineralizado
Volume (m³)	472 650.00	397 650.00	75 000.00
Massa (Ton)	1 417 950.00	1 192 950.00	225 000.00

O “skarn” ocorre entre as cotas 242 m e 368 m. No anexo 2 apresenta-se um relatório, do volume, massa e percentagem de “skarn” em cada intervalo cotado (intervalos de 1 metro).

O facto de o “skarn” se encontrar dobrado, faz com que em cada nível as percentagens desta litologia sejam muito baixas, nunca ultrapassando os 5.8%.

É entre as cotas 300 m e 314 m que se encontra a maior quantidade de “skarn”, cujas percentagens variam entre os 4% e os 5.8%.

Os intervalos cotados 242-244 m, 328-331 m, 334-340 m e 351-368 m são os que apresentam as percentagens mais baixas de “skarn” (abaixo de 1%)

A espessura real de “skarn” (ilustração 27) varia entre um mínimo de 0.5 m e um máximo de 33.5 m.

O sector SW e a zona central são os domínios que possuem as maiores espessuras de “skarn”.

As sondagens 76-20 e 76-29 são as que revelam uma menor espessura de “skarn”.

As sondagens 76-31, 76-34 e 77-20 não contêm “skarn”.

Os terrenos de cobertura (ilustração 28) correspondem a um volume total de 8 692 600.00 m³ e a uma massa total de 19 341 875.00 Ton.

Segundo a vertical, a sua espessura varia entre os 46.5 m e os 170.5 m.

O terreno de cobertura é mais espesso no sector E (atingindo as maiores espessuras a SE) e menos espesso no sector W.

Uma vez que um dos objetivos principais desta dissertação é o cálculo dos recursos, na sequência daremos especial ênfase ao “skarn” mineralizado.

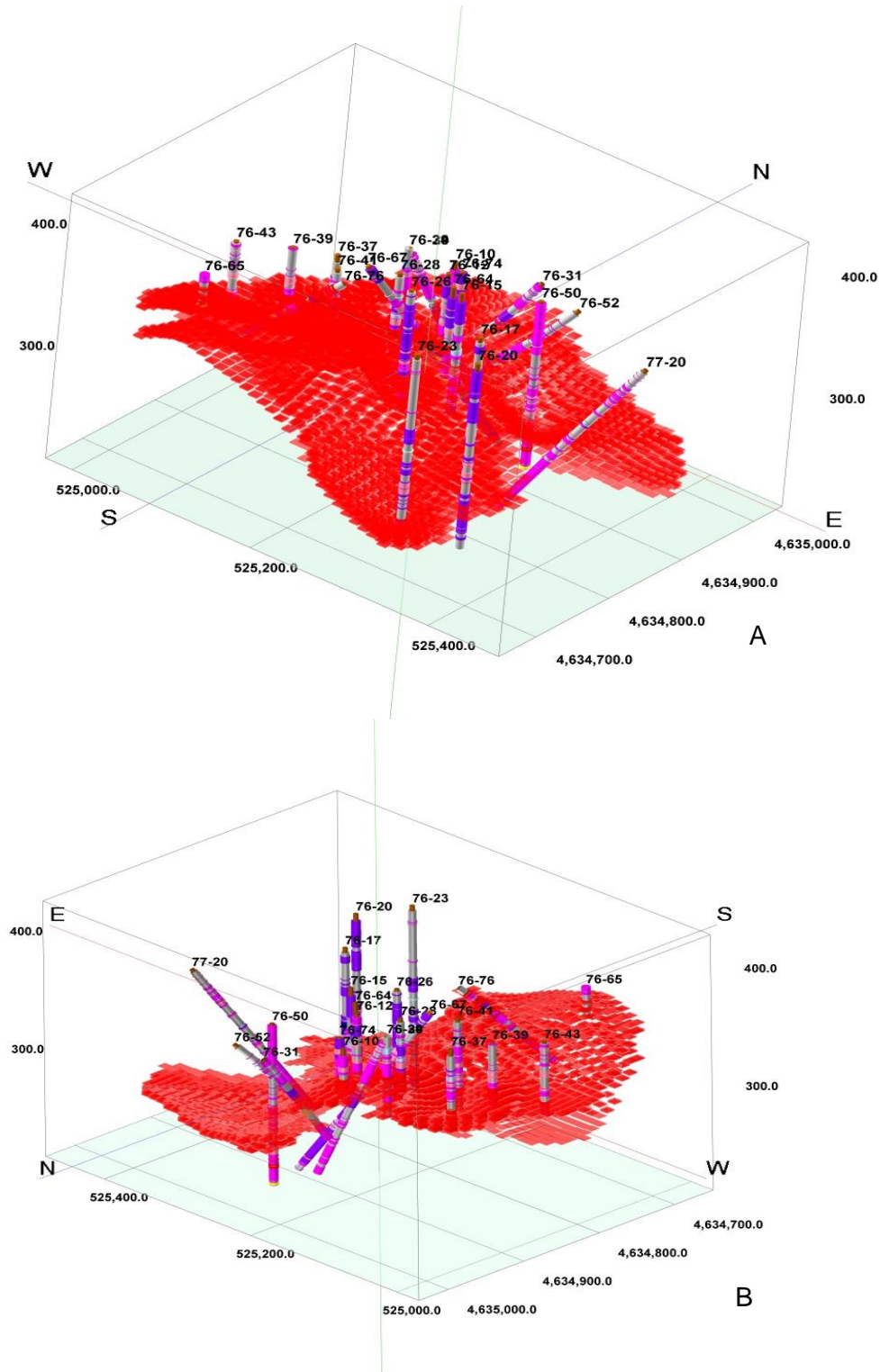


Ilustração 26: A) Modelo de “skarn” total e logs 3D com representação da litologia, observados de SE com um exagero vertical de 1.5 vezes. B) Modelo de “skarn” total e logs 3D com representação da litologia, observados de NW com um exagero vertical de 1.5 vezes. A legenda da litologia é a da ilustração 17.

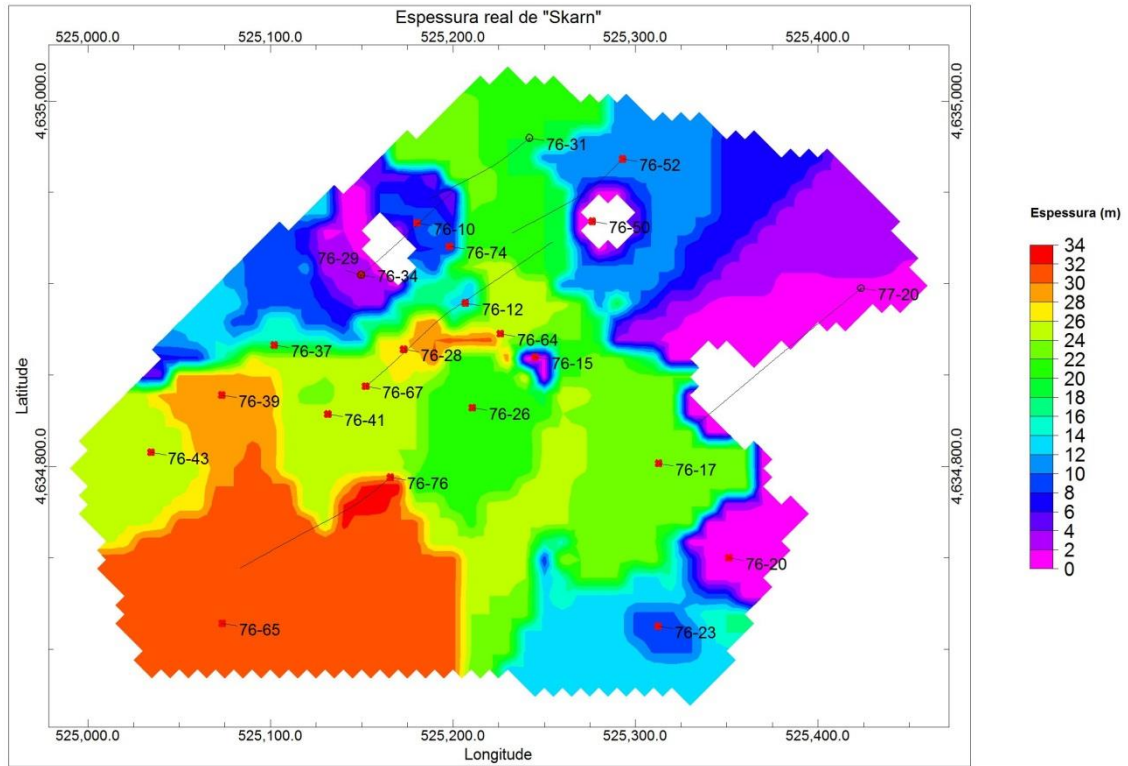


Ilustração 27: Mapa da espessura real, cumulativa, de "skarn" total.

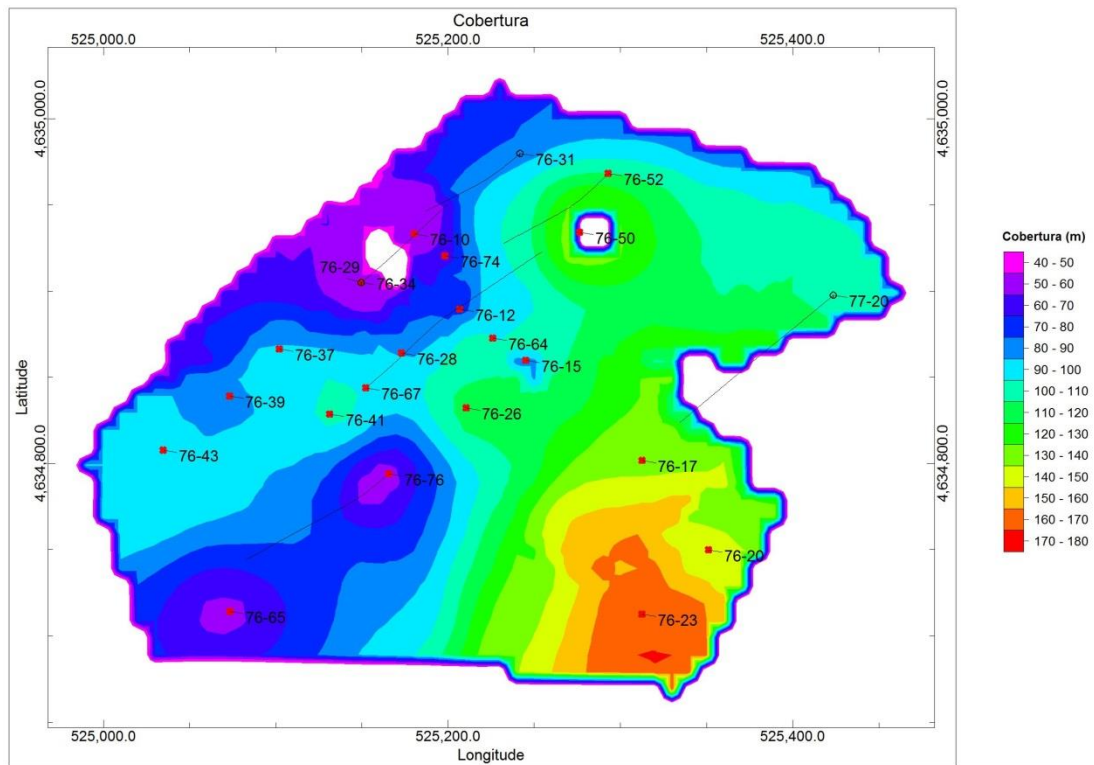


Ilustração 28: Mapa de espessura de terreno de cobertura acima da litologia "skarn".

6.4. Modelo de teores de WO_3

O “skarn” é, por excelência, a rocha portadora de mineralização em Covas, pelo que se privilegiou o estudo dos teores de WO_3 dentro dele.

Em alguns locais ocorreu remobilização de WO_3 para as litologias encaixantes.

Apesar de termos deliberadamente excluído estes teores dos principais cálculos dos recursos da área estudada, efetuou-se, no entanto, a sua caracterização.

6.4.1. Teores dentro do “skarn”

No modelo de distribuição espacial dos teores de WO_3 dentro da litologia “skarn” (ilustrações 29 e 30) os teores variam entre 0.01% e 5%.

Os teores mais elevados encontram-se na zona central e na zona SE.

Para uma análise mais detalhada dos teores em causa recorreu-se ao histograma de frequência com escala logarítmica (ilustração 29).

O modelo de teores tem uma média de aproximadamente 0.27% e um desvio padrão 0.17.

A população de background, < 0.43%, (média +/- 1 desvio padrão) corresponde a cerca de 85% da total.

Os teores acima de 1% são raros e excepcionais, tendo sido somente detetados nas sondagens 76-67 e 76-12.

Os teores mais elevados de WO_3 (ilustração 31) encontram-se, essencialmente na zona central da área (sondagens 76-67 e 76-12), com especial destaque para a sondagem 76-67 que atravessou um nível de 0.56 m de “skarn” com um teor de 5%.

A sondagem 76-67 é inclinada, daí a zona mapeada com teor mais elevado não incidir diretamente na boca da sondagem, mas sim nas coordenadas onde o teor é intersectado.

Do mapa de teores mais baixos (ilustração 32), segundo a vertical, destacam-se as sondagens 76-20 e 76-64 cujo menor teor atravessado é de 0.48% e 0.53%, respetivamente. Em geral os teores mais baixos (inferiores a 0.1%) encontram-se na zona W da área.

Os teores médios mais elevados, segundo a vertical (ilustração 33), encontram-se na zona central NW, englobando as sondagens 76-67, 76-28, 76-12, 76-64, 76-74 e 76-10.

As sondagens 76-73, 76-65, 76-29 e 76-15 são as que apresentam os teores médios mais baixos.

A soma dos teores na vertical (ilustração 34) é mais elevada na zona central, atingindo um valor máximo de 10%.

A periferia da área é a que apresenta soma de teores mais baixa.

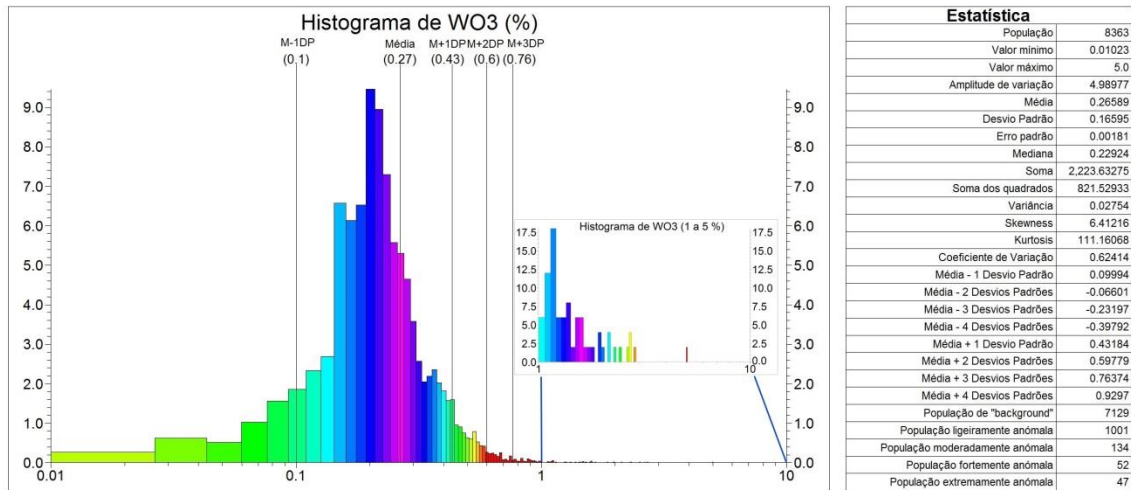


Ilustração 29: Histograma de frequências dos teores de WO₃ do modelo de distribuição, com escala logarítmica. No pormenor observam-se os teores entre 1 e 5%.

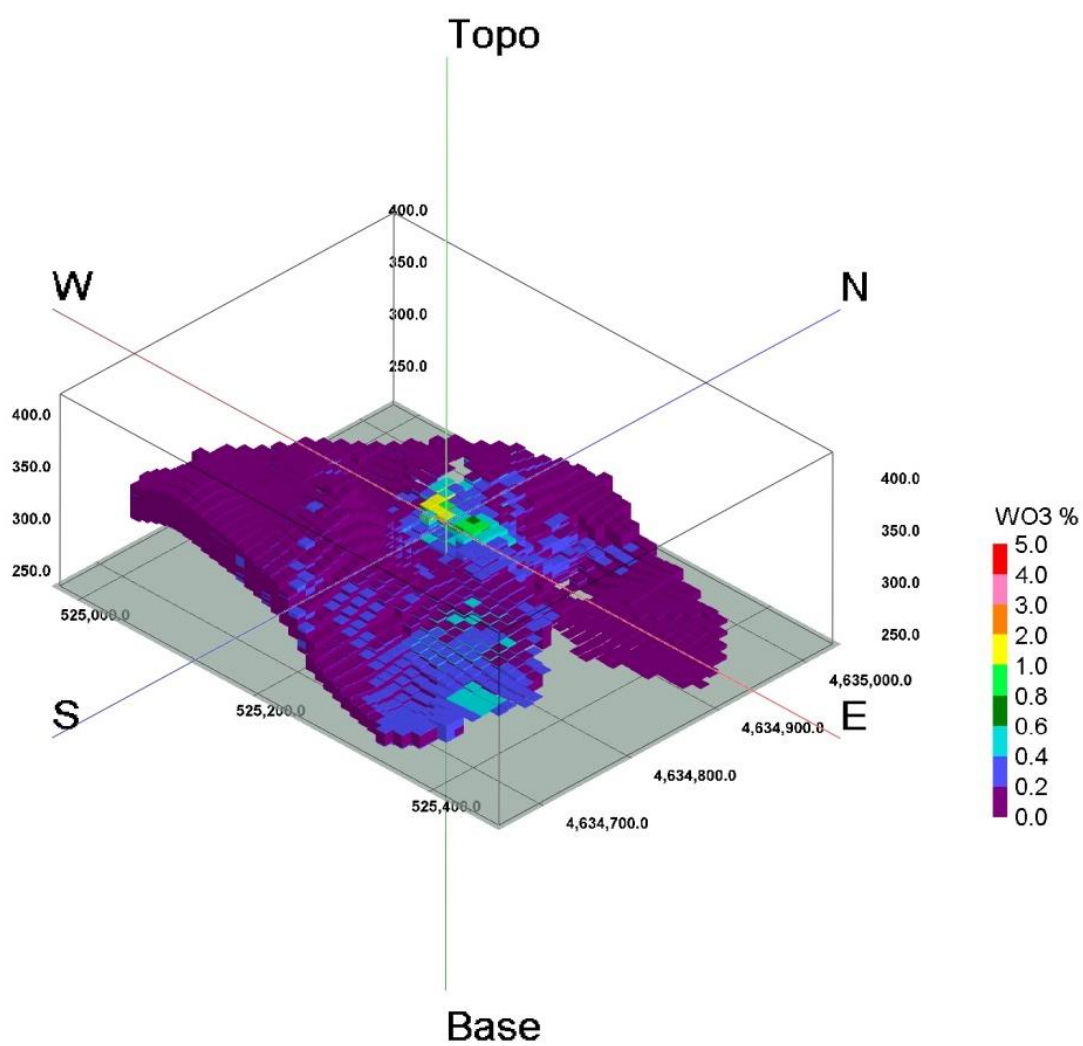


Ilustração 30: Modelo de distribuição espacial dos teores de WO₃% dentro do "skarn"

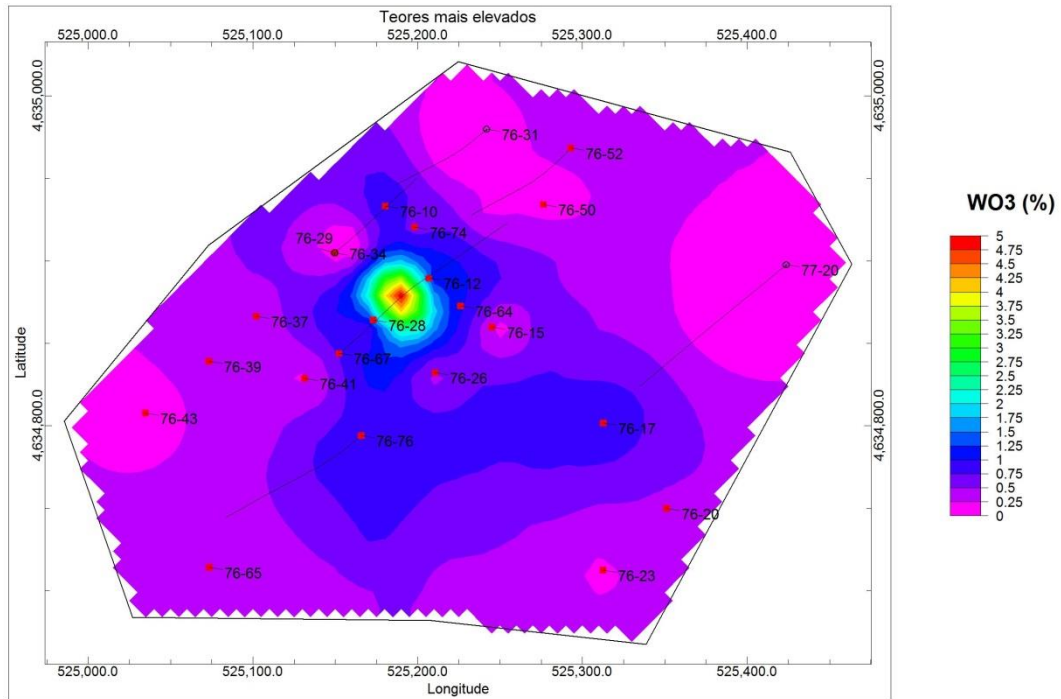


Ilustração 31: Mapa dos teores mais elevados de WO_3 dentro do "skarn", segundo a vertical.

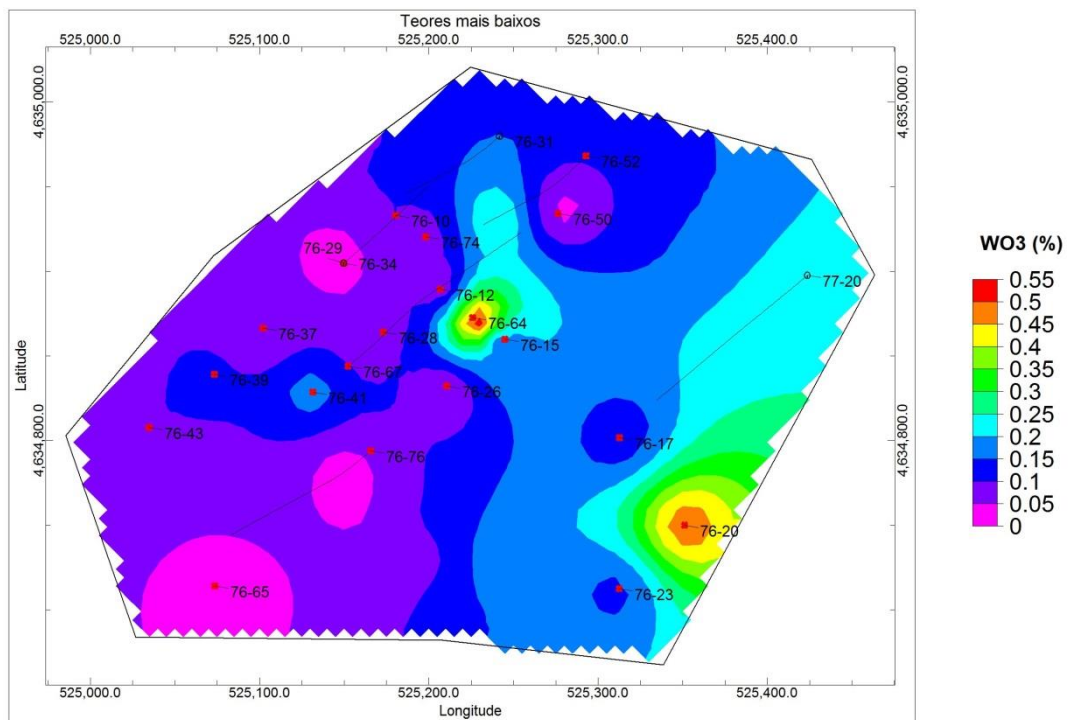


Ilustração 32: Mapa dos teores mais baixos de WO_3 dentro do "skarn", segundo a vertical.

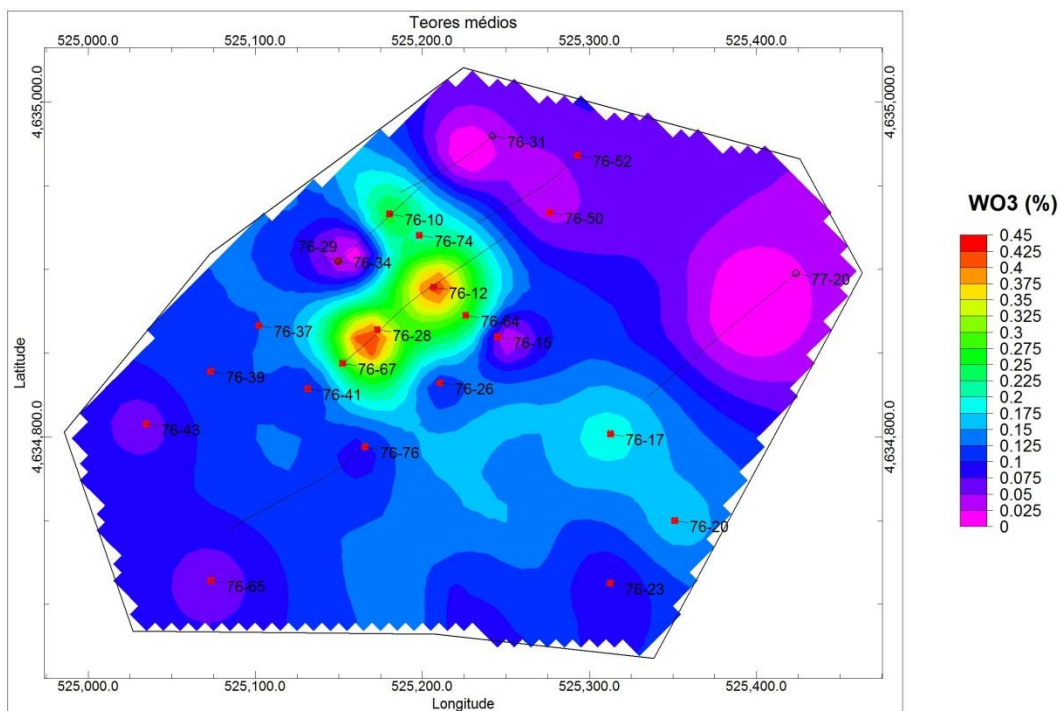


Ilustração 33: Mapa dos teores médios de WO_3 dentro do "skarn", segundo a vertical.

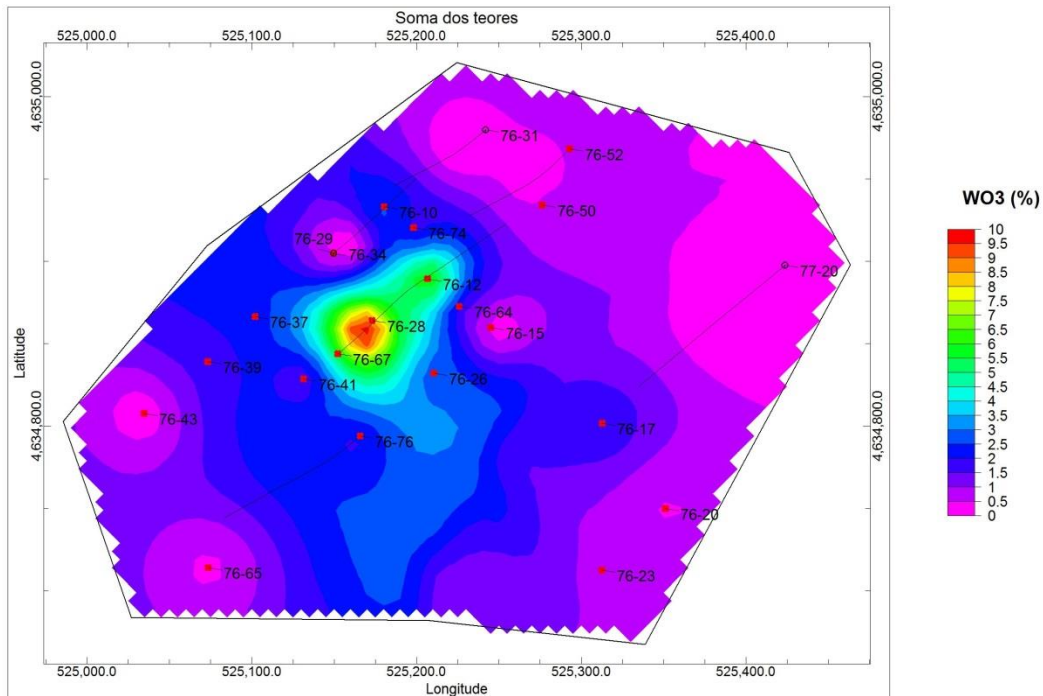


Ilustração 34: Mapa da soma dos teores de WO_3 dentro do "skarn", segundo a vertical.

6.4.2. Teores fora do “skarn”

Os teores de WO_3 existentes fora do “skarn” estão alojados nas seguintes litologias: granito, greisen, GSR, mármore, pegmatito e xisto (ilustração 35 e tabela 8).

O intervalo de variação dos teores situa-se entre os 0.01 e 1.5%.

Das litologias mencionadas, destaca-se o granito por conter a maior parte dos teores, com uma população de 41 e, ainda, por ter o teor mais elevado (1.5%).

Excetuando o greisen, todas as litologias apresentam um teor médio superior ao TEM (tabela 8).

Apesar de não termos contemplado estes valores no cálculo dos recursos, entendemos que estes teores são de considerar numa possível exploração, com especial ênfase para os que se encontram na periferia do “skarn” mineralizado.

Definiu-se como população de *background* (região a amarelo na ilustração 35) os valores situados no intervalo “média +/- 1 desvio padrão”.

Uma vez que o desvio padrão é elevado (tabela 9), quase todos os teores se encontram dentro do *background*.

Os valores anómalos que mais se destacam são:

- Valor moderadamente anómalo: sondagem 76-17, com teor 0.28% no greisein;
- Valor extremamente anómalo: sondagem 76-67, com teor 1.5% no granito.

Na tabela 8, encontra-se um resumo da tonelagem bruta dos recursos de WO_3 nas litologias onde ocorre mineralização.

No mapa de valores mais elevados (ilustração 36) observa-se que, à semelhança dos teores mais elevados dentro do “skarn” (ilustração 31), os valores mais altos se situam no centro da área, associados à sondagem 76-67.

Os teores mais baixos (ilustração 37) variam entre 0.02 e 0.15%.

A sondagem que apresenta o teor mais elevado, dos teores mais baixos, é a 76-17.

A região N/NW é a que apresenta os valores mais baixos.

Os teores médios (ilustração 38) mais baixos encontram-se nas sondagens 76-64 e 76-76, enquanto os teores médios mais elevados se situam na zona centro e na sondagem 76-50.

A ilustração 39, relativa à soma dos teores fora do “skarn”, apresenta um máximo de 1.8%.

Os valores mais elevados encontram-se no centro, mais uma vez influenciados pela sondagem 76-67 e os valores mais baixos são pertencentes às sondagens 76-64 e 76-76.

Tabela 8: Recursos brutos de WO₃ fora do “skarn”.

Litologia	Recursos de WO₃ (Ton)
Granito	196.70
Greisen	36.61
GSR	39.03
Mármore	2.17
Pegmatito	27.67
Xisto	77.99
Total	380.17

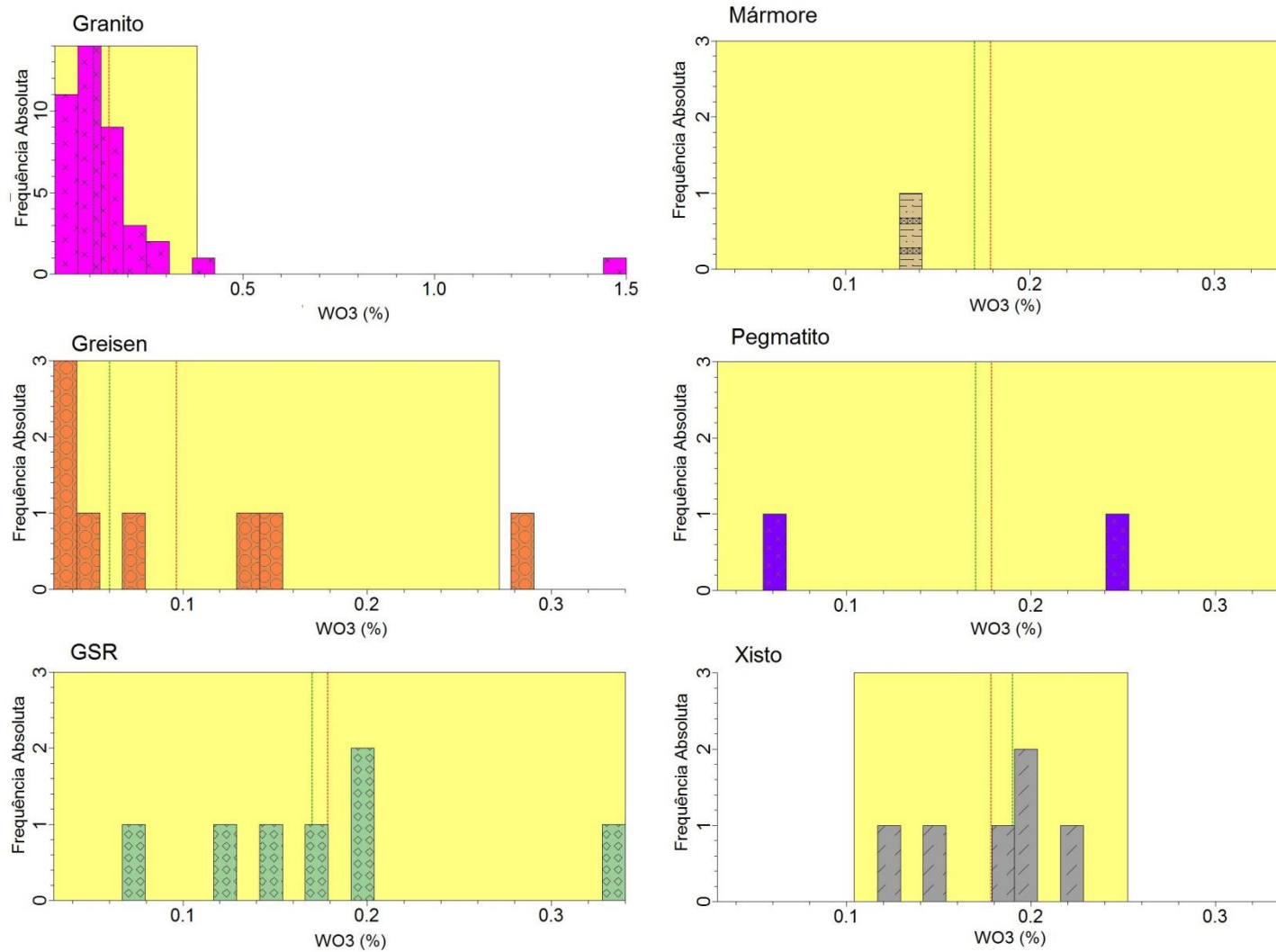


Ilustração 35: Histogramas de frequência para as litologias onde ocorrem teores fora do "skarn". A linha tracejada a vermelho indica a média, a linha tracejada a verde indica a mediana e a região a amarelo indica o "background".

Tabela 9: Resumo das estatísticas dos histogramas de frequência relativos aos teores fora do “skarn”.

Estatística	Litologias	Granito	Greisen	GSR	Mármore	Pegmatito	Xisto
População		41	8	7	7	7	6
Valor mínimo		0.01	0.03	0.07	0.07	0.07	0.12
Valor máximo		1.50	0.28	0.34	0.34	0.34	0.22
Amplitude de variação		1.49	0.25	0.27	0.27	0.27	0.10
Média		0.15	0.10	0.18	0.18	0.18	0.18
Desvio Padrão		0.23	0.09	0.08	0.08	0.08	0.04
Desvio Médio		0.10	0.07	0.06	0.06	0.06	0.03
Erro padrão		0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02
Mediana		0.11	0.06	0.17	0.17	0.17	0.19
Soma		6.19	0.77	1.25	1.25	1.25	1.07
Soma dos quadrados		3.04	0.13	0.27	0.27	0.27	0.20
Variância		0.05	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
Skewness		4.93	1.00	0.64	0.64	0.64	-0.42
Kurtosis		26.09	-0.43	-0.70	-0.70	-0.70	-1.62
Coeficiente de Variação		1.52	0.91	0.47	0.47	0.47	0.21
Média - 1 Desvio Padrão		-0.08	0.01	0.09	0.09	0.09	0.14
Média + 1 Desvio Padrão		0.38	0.18	0.26	0.26	0.26	0.22
Média - 2 Desvios Padrões		-0.31	-0.08	0.01	0.01	0.01	0.10
Média + 2 Desvios Padrões		0.61	0.27	0.35	0.35	0.35	0.25
Média - 3 Desvios Padrões		-0.54	-0.17	-0.08	-0.08	-0.08	0.07
Média + 3 Desvios Padrões		0.84	0.36	0.43	0.43	0.43	0.29
Média - 4 Desvios Padrões		-0.77	-0.25	-0.16	-0.16	-0.16	0.03
Média + 4 Desvios Padrões		1.07	0.45	0.52	0.52	0.52	0.33
População de "background"		40	7	5	5	5	4
População ligeiramente anómala		0	0	2	2	2	2
População moderadamente anómala		0	1	0	0	0	0
População fortemente anómala		0	0	0	0	0	0
População extremamente anómala		1	0	0	0	0	0

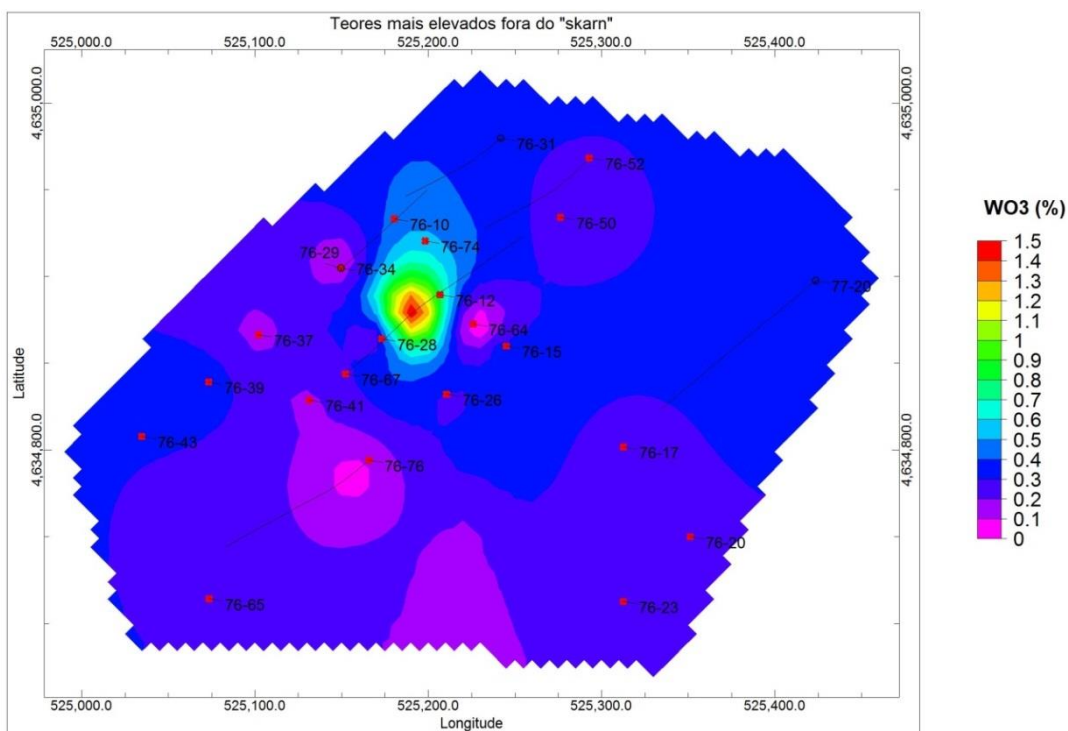


Ilustração 36: Mapa dos teores mais elevados de WO_3 , segundo a vertical, fora do "skarn".

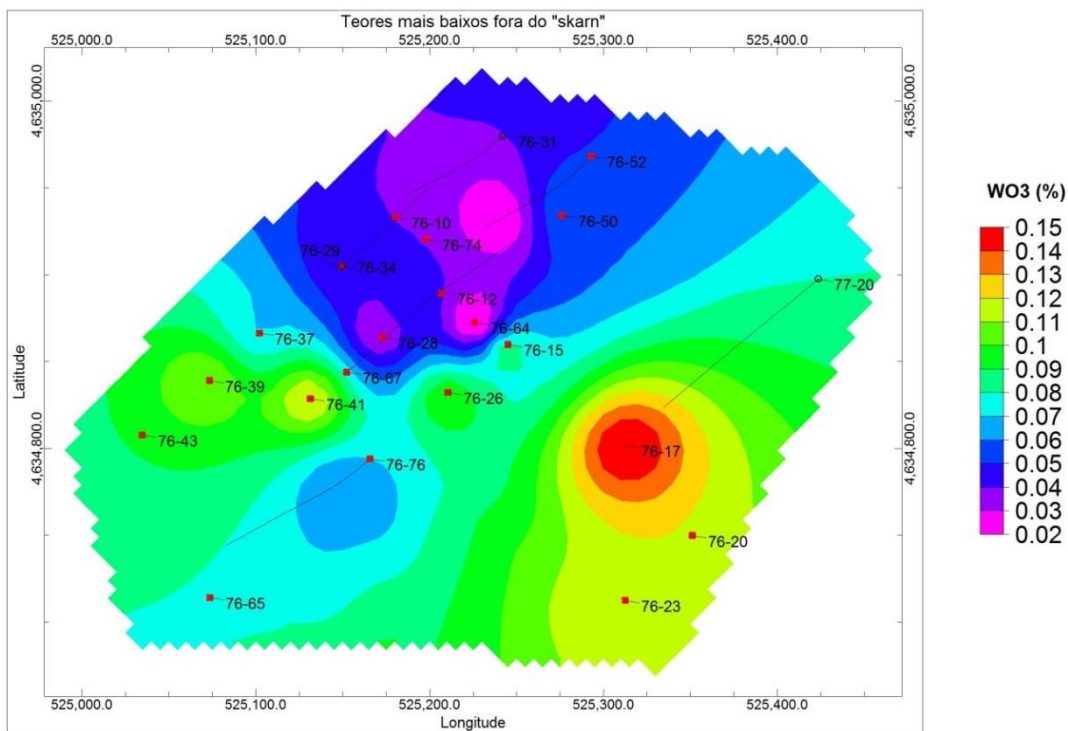


Ilustração 37: Mapa dos teores mais baixos de WO_3 , segundo a vertical, fora do "skarn".

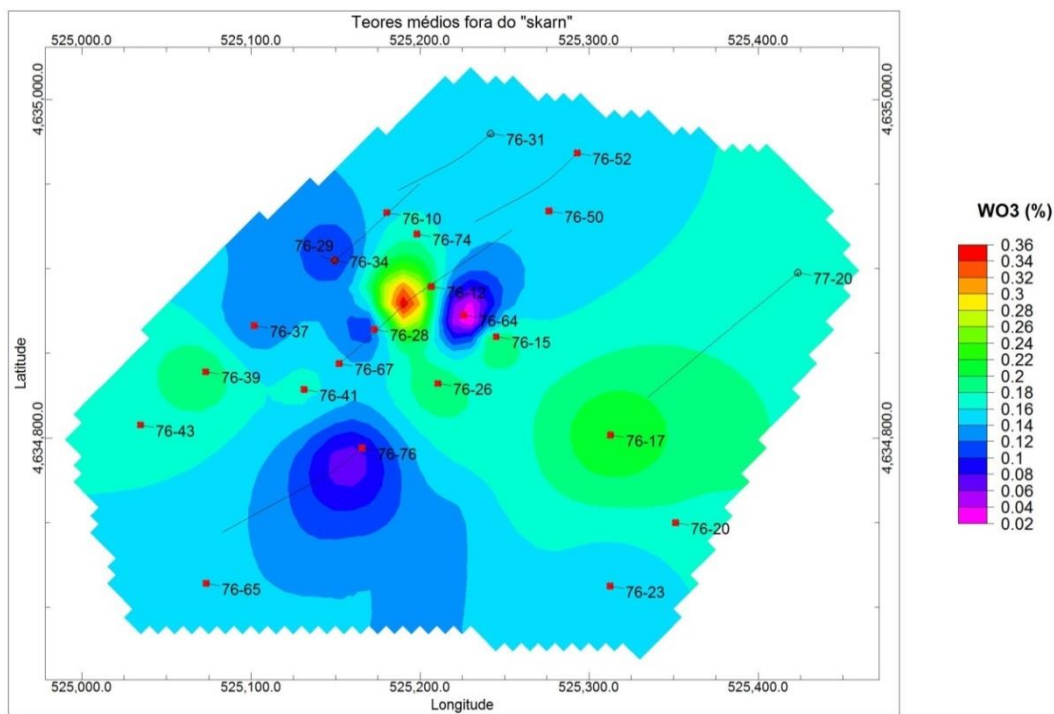


Ilustração 38: Mapa dos teores médios de WO₃, segundo a vertical, fora do "skarn".

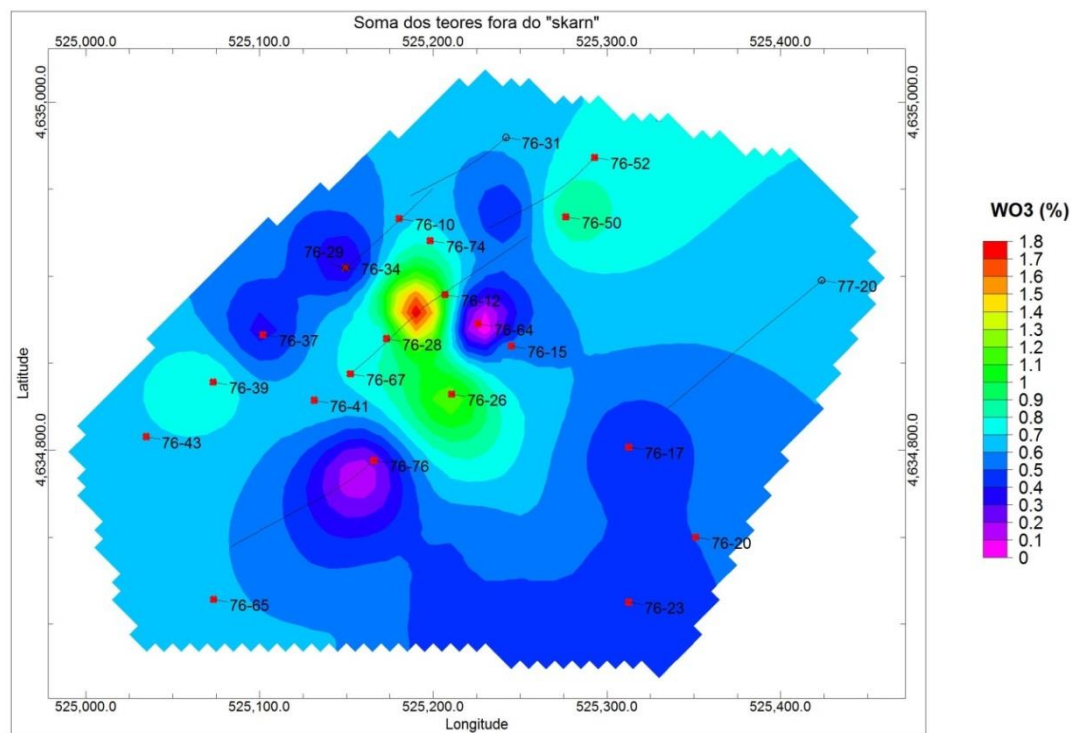


Ilustração 39: Mapa da soma dos teores de WO₃, segundo a vertical, fora do "skarn".

6.4.3. Anomalia em relação ao TEM

O modelo de anomalias (ilustração 40) reporta-se ao TEM.

As anomalias variam entre -1 e 34.7.

Todos os valores abaixo de zero indicam zonas cujos teores são inferiores a 0.14%, isto é, zonas sem interesse económico.

A priori, quanto maior for o valor da anomalia, maior será o interesse da área.

São apresentados os mapas das anomalias mais elevadas em cada vertical (ilustração 41), as cotas das anomalias mais elevadas em cada vertical (ilustração 42), as anomalias médias em cada vertical (ilustração 43) e ainda a espessura das anomalias (ilustração 44).

Como é de esperar, as anomalias mais elevadas encontram-se na zona central, englobando as sondagens 76-67, 76-12 e 76-64 (ilustração 41).

Na ilustração 42 observa-se a “topografia” correspondente às anomalias mais elevadas em cada ponto.

Na zona W as cotas são mais elevadas do que na zona E.

Destaca-se o canto SW por ter as cotas mais elevadas.

O mapa das anomalias médias (ilustração 43) evidencia que os extremos SW e NE apresentam médias negativas, ou seja, são as zonas de menor interesse económico.

A zona central e o canto SE possuem anomalias mais elevadas, o que faz destas zonas alvo de grande interesse numa possível exploração.

A ilustração 44 representa a espessura das anomalias positivas, na qual se destaca a zona central com aproximadamente 30 m de espessura.

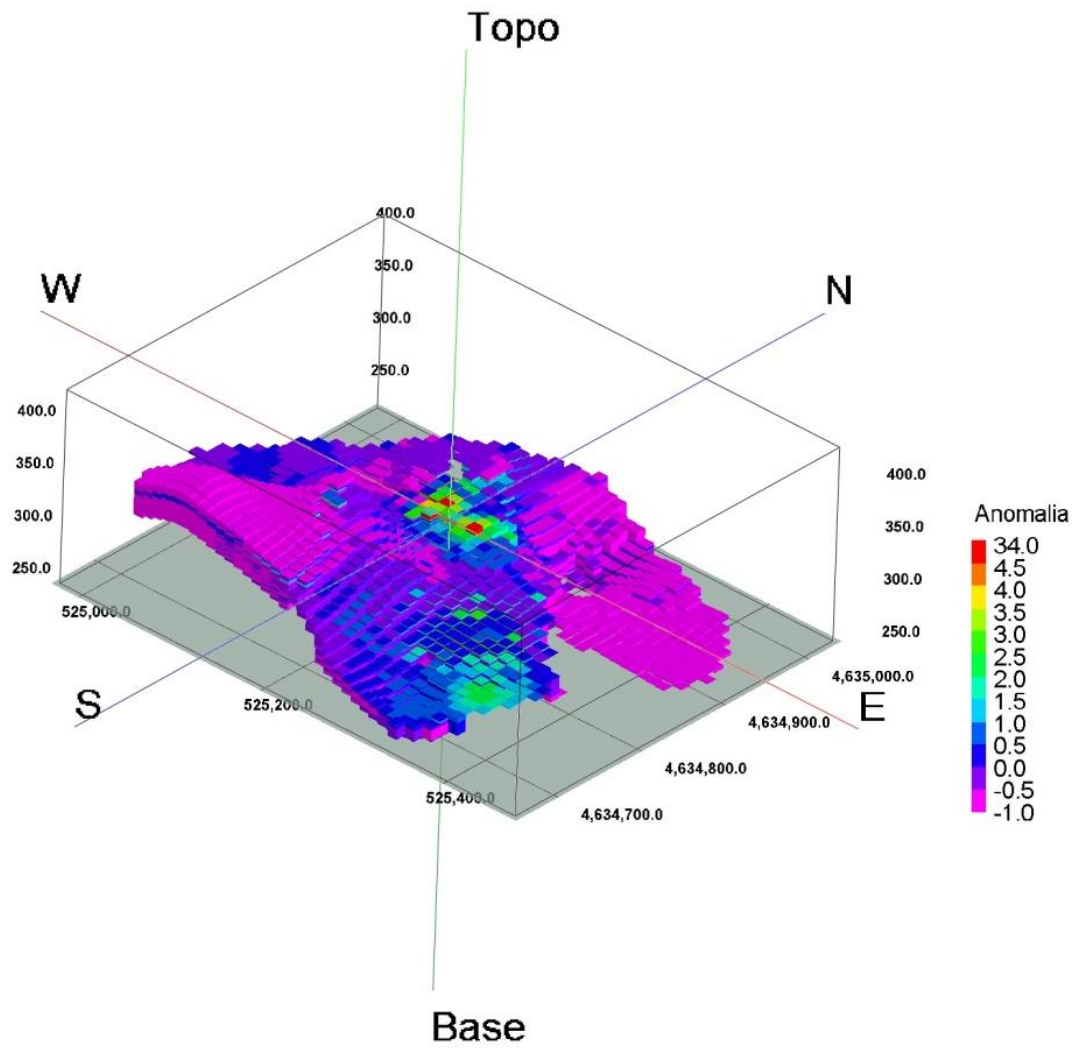


Ilustração 40: Modelo de anomalias em relação ao TEM.

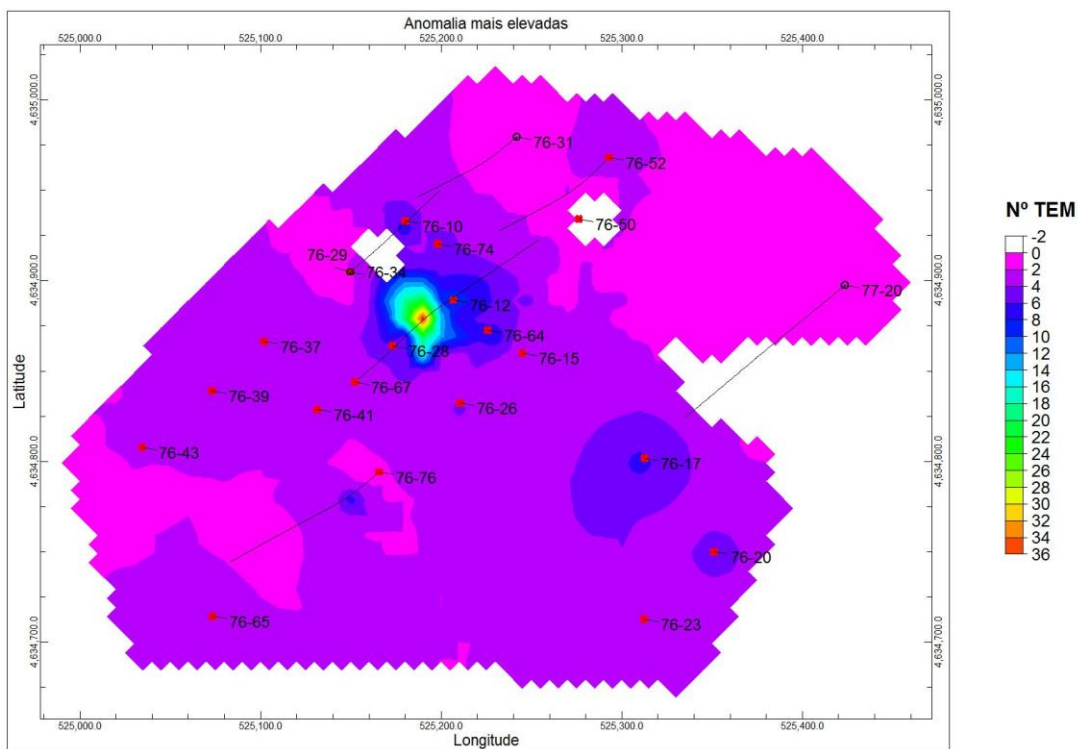


Ilustração 41: Mapa das anomalias mais elevadas em cada vertical.

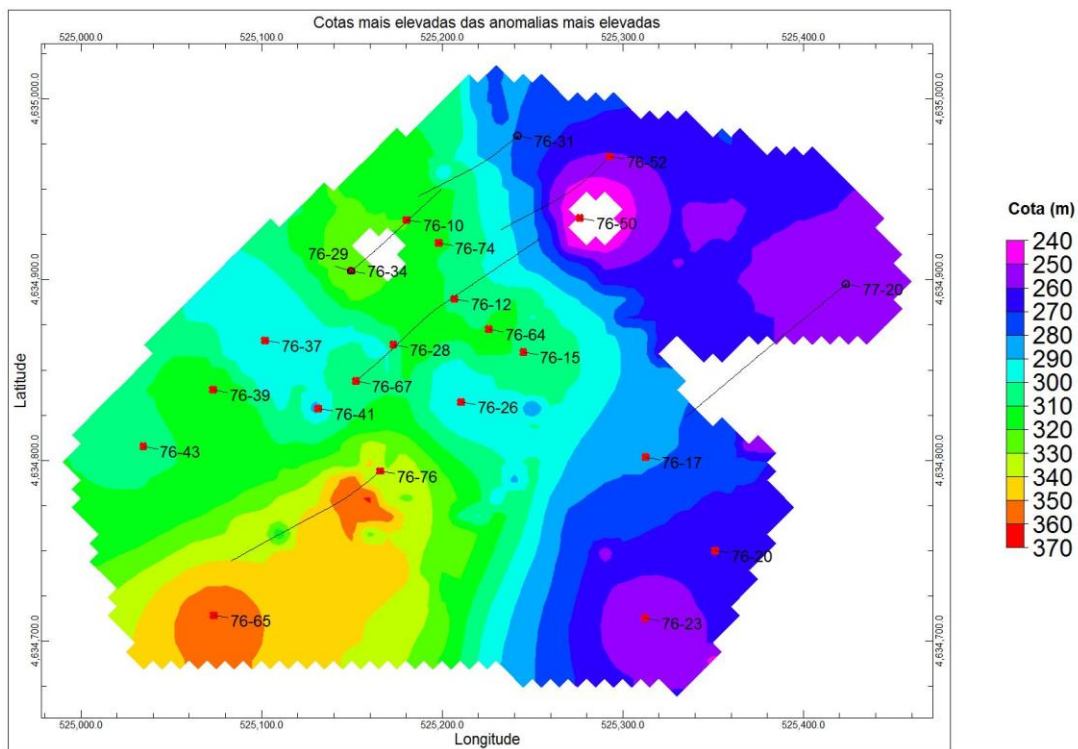


Ilustração 42: Mapa das cotas mais elevadas das anomalias mais elevadas.

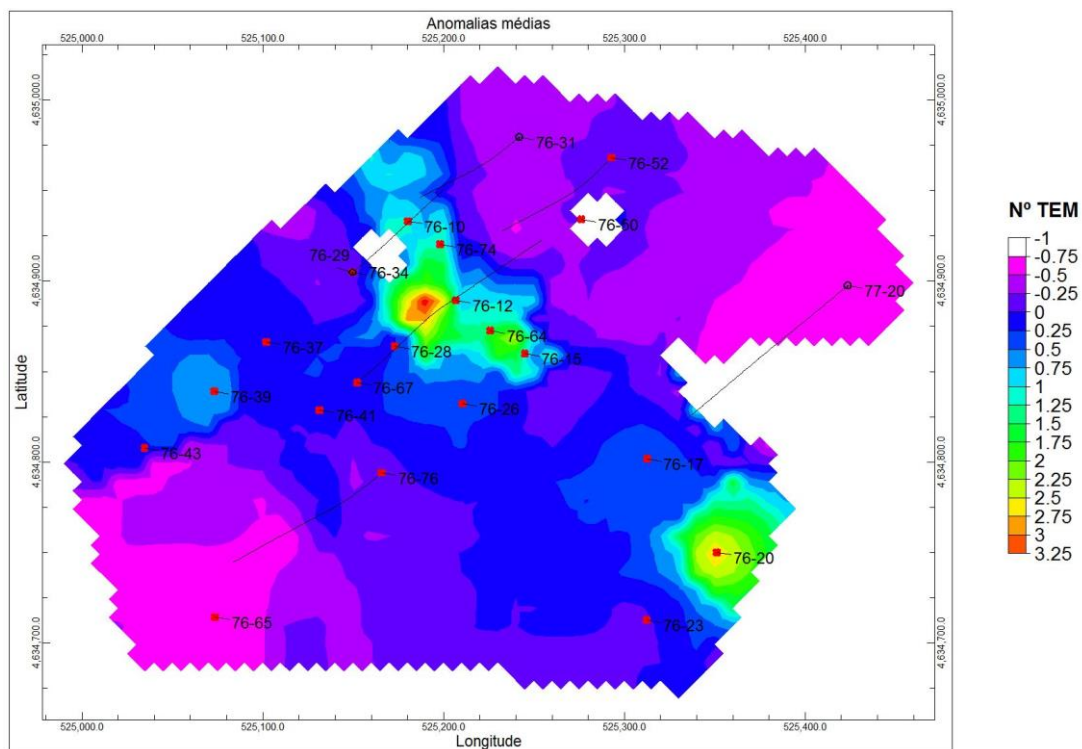


Ilustração 43: Mapa da anomalia média em cada vertical.

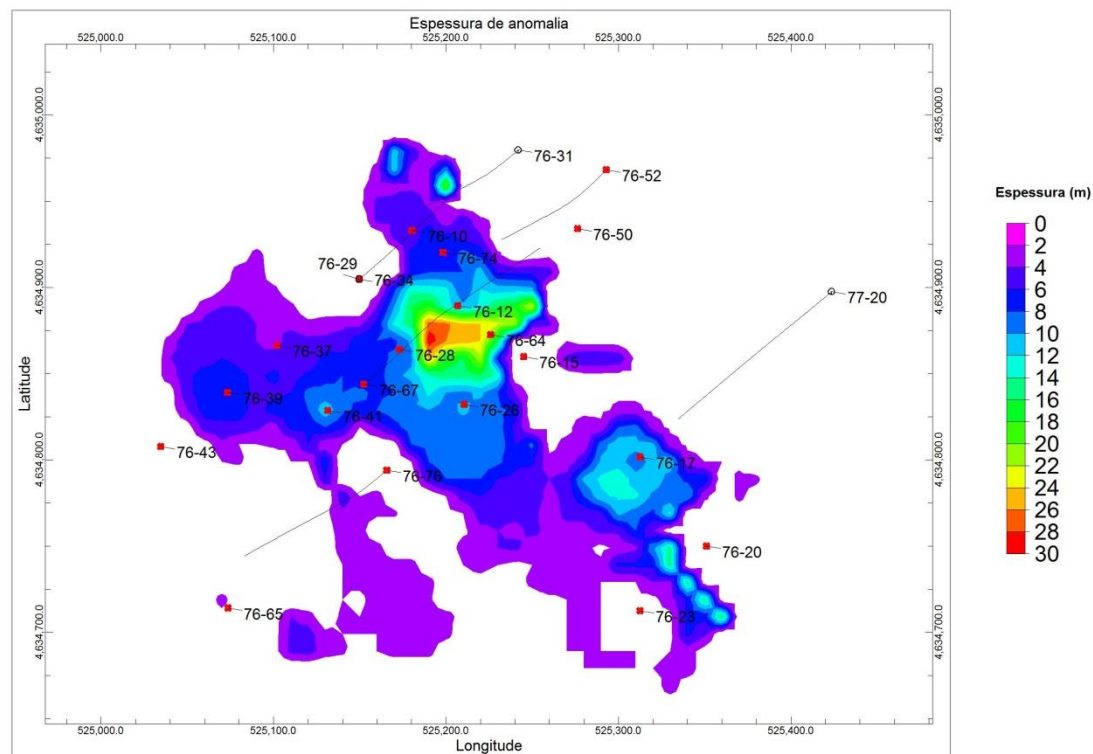


Ilustração 44: Mapa de espessuras das anomalias positivas em cada vertical.

6.5. Recursos

Os recursos de WO_3 dentro do “skarn” (ilustração 45) correspondem a uma massa total de 1 735.91 Ton.

Estes valores não foram sujeitos a qualquer limitação de teor ou distância de corte sendo, por isso, considerados como brutos.

Os valores obtidos são válidos para a data da realização das sondagens.

A distribuição espacial dos recursos é similar à distribuição dos teores de WO_3 , encontrando-se os maiores recursos na zona central (NW) e na zona SE, e os recursos mais baixos nos extremos SW e NE.

Os recursos variam entre as 0 Ton e as 7.5 Ton, por unidade de vóxel (50 m^3).

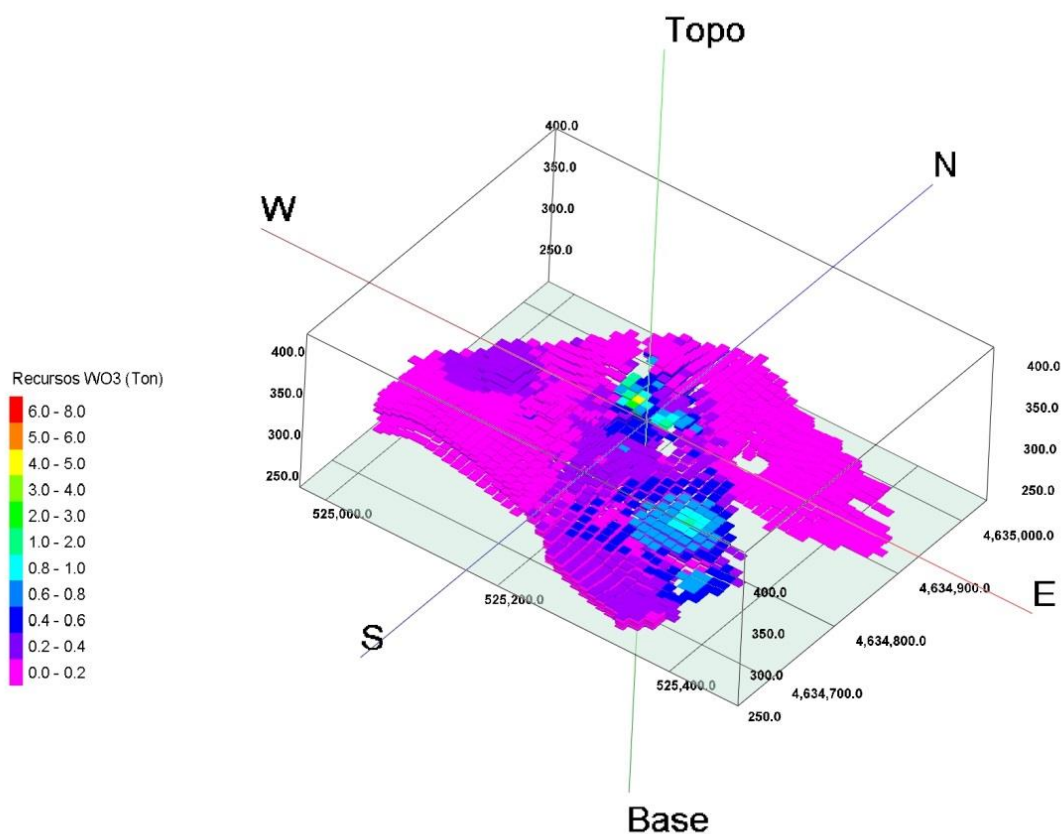


Ilustração 45: Modelo tridimensional dos recursos brutos de WO_3 existentes no seio do “skarn”.

6.5.1. Qualificação dos recursos

Após o cálculo dos recursos qualificou-se o grau de confiança dos resultados obtidos. Para tal categorizou-se os recursos em medidos, indicados e inferidos.

Esta qualificação é baseada nas distâncias de corte e no teor de corte, definidos anteriormente para o corpo em estudo. A qualificação irá incidir sobre os recursos de “skarn” e de WO₃ brutos.

Na tabela 10 são apresentados os recursos de “skarn” para as diversas distâncias de corte. Foram calculados os recursos para o “skarn” total mineralizado e para o “skarn” com teores acima de 0.14%.

Os recursos de “skarn” mineralizado (sem teor de corte) para as distâncias de corte 42 m, 76 m e 100 m correspondem, respetivamente, a aproximadamente 66%, 26% e 7% dos recursos brutos.

Tabela 10: Resultados obtidos para a massa e volume de “skarn” mineralizado, após a aplicação das distâncias de corte (DC) definidas.

Teor de Corte	Resultados	Medidos (0-42 m)	Indicados (42-76 m)	Inferidos (76-100m)	Brutos
Skarn Mineralizado	Volume (m ³)	261 550.00	103 550.00	27 500.00	397 650.00
	Massa (Ton)	784 650.00	310 650.00	82 500.00	1 192 950.00
Skarn com teor ≥ 0.14%	Volume (m ³)	130 900.00	22 400.00	3 150.00	
	Massa (Ton)	392 700.00	67 200.00	9 450.00	

Na tabela 11 são apresentados os recursos, em massa de WO₃, para as diversas distâncias de corte e de teor de corte.

Os recursos de WO₃ foram qualificados segundo o seu grau de confiança e o TEM definido (0.14%). Por outras palavras, a qualificação dos recursos apenas abrangeu os teores acima de 0.14%, para as diversas distâncias de corte.

Os valores dos recursos de WO₃, após qualificação, correspondem a aproximadamente 58%, 7% e 1% dos recursos brutos. Esta diferença é devida ao facto de a maior parte dos teores existentes na área se encontrar abaixo do TEM (ilustração 29).

Tabela 11: Resultados para os recursos de WO₃ e o respetivo teor médio, após aplicação das distâncias de corte e do teor de corte.

Dados\Recursos	Medidos (0-42 m)	Indicados (42-76 m)	Inferidos (76-100m)	Brutos
Massa (Ton)	999.10	130.10	18.58	1 735.91
Teor médio (%)	0.28	0.23	0.24	0.27

6.5.2. Quantificação dos recursos

6.5.2.1. A partir do modelo de WO_3

A ilustração 46 representa a soma do GT.

O GT é o resultado da multiplicação do teor de cada troço pela sua espessura. Este método permite distinguir rapidamente as áreas de maior interesse das de menor interesse mineiro.

Para o cálculo do GT a partir do modelo unicamente se consideraram os troços cujo teor mínimo era de 0.14% e que tinham uma espessura mínima de 1 m.

As zonas em branco correspondem a teores e/ou espessuras inferiores aos definidos.

Segundo os critérios estabelecidos estas áreas não têm interesse numa eventual exploração.

Os valores mais elevados de GT situam-se, essencialmente, na zona central e estendem-se um pouco para SE.

Estas zonas são as de maior interesse pois apresentam teores elevados e/ou espessuras elevadas.

Realçamos que o teor mínimo utilizado para este cálculo foi 0.14%, pelo que um GT elevado que resulte de uma espessura elevada terá sempre, no mínimo um teor explorável.

De acordo com o mapa de espessura cumulativa de “skarn” total (ilustração 28) a zona SW é a que apresenta as espessuras mais elevadas. No entanto, o mapa resultante da soma de GT apresenta valores muito baixos (e uma grande parte deles nulos) o que torna esta zona de pouco interesse mineiro.

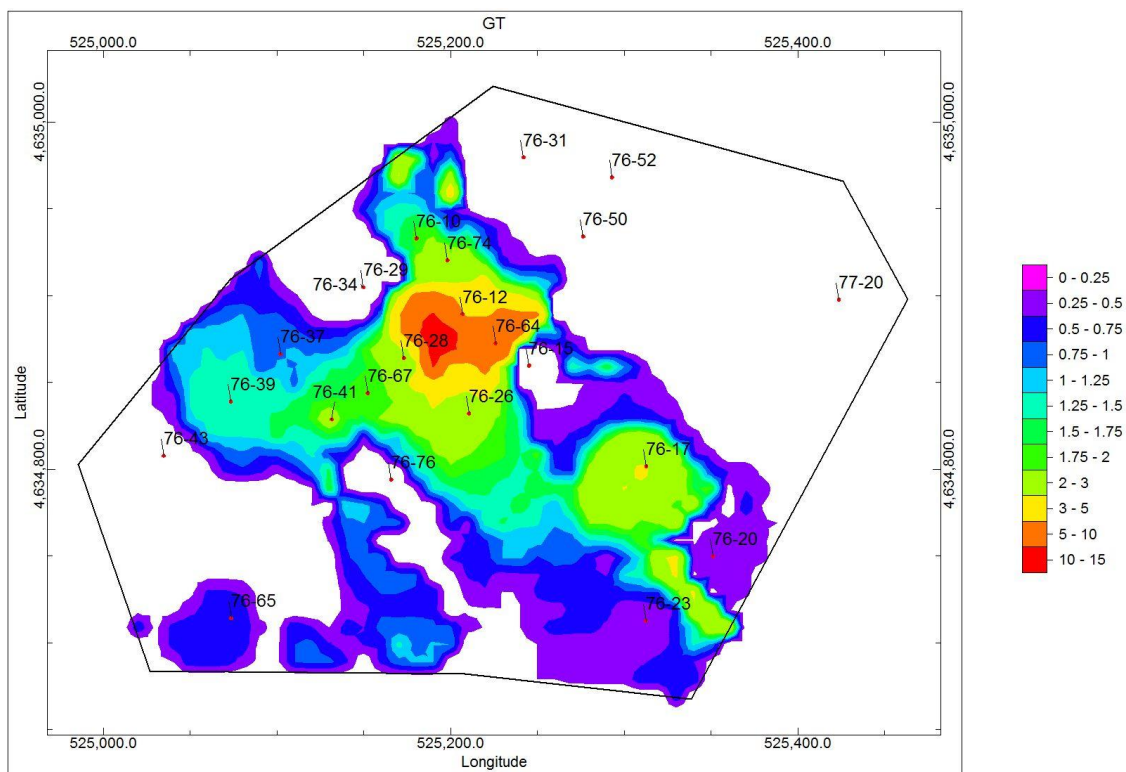


Ilustração 46: Mapa resultante da soma de GT em cada vertical, cujos teores de WO_3 são superiores ao TEM e o valor de GT é superior a 0.14.

6.5.2.2. Com base nas sondagens:

Calculou-se, ainda, o GT com base nas sondagens.

O interesse do cálculo do GT a partir das sondagens reside no facto de ser independente da “interpretação/interpolação” introduzida pelos algoritmos nos modelos.

Utilizou-se para cada sondagem o respetivo teor médio de $WO_3\%$ e a soma das suas espessuras. No entanto, só contemplámos os troços com teor mínimo de 0.14%.

Inicialmente elaboraram-se os mapas globais de teor médio, soma das espessuras e GT.

Posteriormente caracterizou-se o GT para as distintas distâncias de corte.

Tal como foi referido atempadamente, a localização das sondagens inclinadas nestes mapas não corresponde à boca da sondagem, mas sim ao ponto médio dos troços mineralizados.

a) Teores médios, Soma das espessuras e GT

O mapa dos teores médios de WO_3 (ilustração 47A) apresenta duas zonas de maior interesse:

A primeira, com valores mais elevados, encontra-se na zona central e engloba as sondagens 76-67 e 76-64 e 76-12;

A segunda zona encontra-se a SE e inclui a sondagem 76-20.

As zonas que apresentam teores mais baixos abrangem, de uma forma geral, a zona W e S.

A espessura máxima de “skarn” mineralizado, com teor acima de 0.14% (ilustração 47B) é de 17 m. Esta espessura equivale a cerca de metade da espessura real máxima de “skarn” calculada anteriormente (ilustração 28).

A zona com espessura mais elevada é a zona central (estendida para S) e engloba as sondagens 76-67, 76-28, 76-37, 76-41 e 76-76.

As zonas com espessuras mais baixas de “skarn” mineralizado situam-se no canto SW e no sector E da área.

O mapa de GT resultante (ilustração 47C) traduz o produto dos valores ilustrados nos dois mapas anteriores (ilustrações 47A e 47B).

Os valores mais elevados de GT encontram-se, essencialmente, na faixa central que varia de tonalidade de azul a vermelho. A restante área apresenta valores de GT muito baixos.

O GT permite-nos de uma forma rápida e eficaz distinguir as áreas de maior e menor interesse.

Complementarmente, a análise do mapa de GT obtido indicou que valores de GT acima de 2 são de carácter excecional, pelo que se definiu como GT elevado os valores acima deste.

Os mapas de GT obtidos a partir do modelo (ilustração 46) e a partir das sondagens (ilustração 47C) apresentam algumas diferenças. Em ambos os casos somente foram contemplados os troços com teor acima do TEM, no entanto, no primeiro caso os troços com uma espessura inferior a 1 m foram excluídos dos cálculos.

Isto justifica as áreas sem dados mapeados (a branco) da ilustração 46.

Os valores de GT mais elevados encontram-se, em ambos os casos, na zona central, reforçando a ideia de que esta deve ser a zona alvo de maior importância.

b) Mapas GT medidos (distância inferior a 42 m)

Os valores baixos de GT (entre 0.14 e 2) situam-se essencialmente nas sondagens da periferia (ilustração 48A).

Os valores elevados de GT (entre 2 e 16) situam-se na zona central, sendo a sondagem 76-67 a detentora dos valores mais elevados (ilustração 48B). Esta zona é a de maior interesse no caso de uma eventual exploração, não só por apresentar os valores mais elevados de GT, mas também por se encontrar dentro da distância de corte definida para os recursos medidos.

A ilustração 48C corresponde ao mapa de todos os GT existentes para distâncias inferiores a 42 m. Este mapa representa a área cujos valores calculados merecem o maior grau de confiança.

c) Mapas GT indicados (distância entre 42 e 76 m)

Uma vez que limitámos todos os cálculos ao interior do polígono definido, é natural que para as distâncias de corte mais elevadas, as sondagens que se encontrem na periferia da área apresentem uma menor quantidade de valores.

Os valores de GT existentes entre as distâncias de corte de 42 a 76 m variam entre os 0.4 e os 3.6 (ilustração 49C).

Os valores mais baixos de GT são os mais abundantes para este intervalo de distâncias de corte (ilustração 49A).

Apenas existem duas zonas com valores elevados de GT: uma na região N da área e outra (mais extensa) na zona S (ilustração 49B).

d) Mapas GT medidos + indicados (distância inferior a 76 m)

As áreas caracterizadas como medidas e indicadas (ilustração 50C) são as de maior interesse potencial na definição dos recursos de uma área, na eventualidade de ela apresentar viabilidade económica.

Tal como se verificou pelos mapas anteriores, os valores de GT caracterizados como baixos (ilustração 50A) encontram-se na zona W e na zona E (o extremo NE não tem “skarn”).

A zona de maior interesse é, sem dúvida, a zona que apresenta os valores mais elevados de GT, pois apresenta as espessuras e/ou os teores mais elevados (ilustração 50B).

e) Mapas GT inferidos (distância entre 76 e 100 m)

Tal como referimos na alínea precedente, os cálculos estão limitados ao interior do polígono do corpo 6. Como é de esperar, os valores acima dos 76 m ainda são em menor quantidade do que os anteriores (ilustração 51C).

Entre os 76 m e os 100 m quase só existem valores baixos de GT (ilustração 51A), não havendo valores com expressão para GT elevados (ilustração 51B).

O valor mais baixo calculado para o GT inferido é mais elevado do que o GT homólogo, calculado para os valores medidos e indicados.

No entanto, os valores situados entre os 76 m e os 100 m são os que apresentam um menor grau de confiança, pelo que no caso de uma eventual exploração, a sua importância deveria ser esclarecida.

f) Mapas GT medidos + indicados + inferidos (distância inferior a 100 m)

Os mapas englobam todos os GT calculados (ilustração 52).

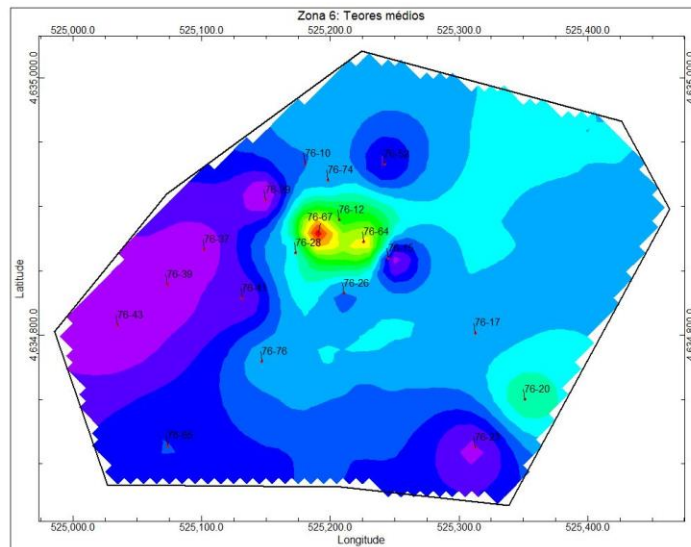
Destaca-se o extremo NE por não ter quaisquer valores de GT, devido à ausência de “skarn” na área.

Na zona S (mesmo no meio) não existem valores, pois esta área encontra-se para além dos 100 m.

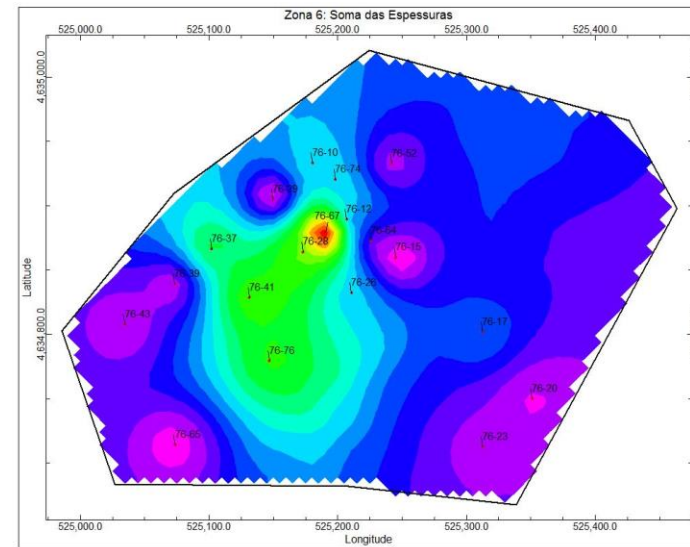
Tal como já foi referido ao longo das alíneas anteriores, os valores mais elevados de GT encontram-se na zona central, o que faz desta alvo de maior interesse (ilustração 52B).

Os valores mais baixos de GT, mas mais abundantes, encontram-se distribuídos pela zona E e W.

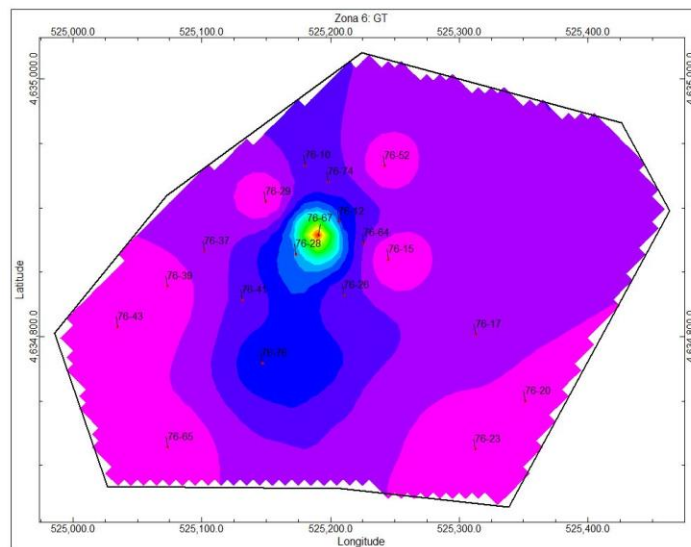
É de realçar que todas as áreas que apresentam um valor baixo de GT, apresentam, no mínimo um teor de 0.14% (ilustração 52A).



A

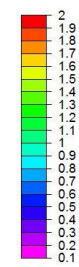
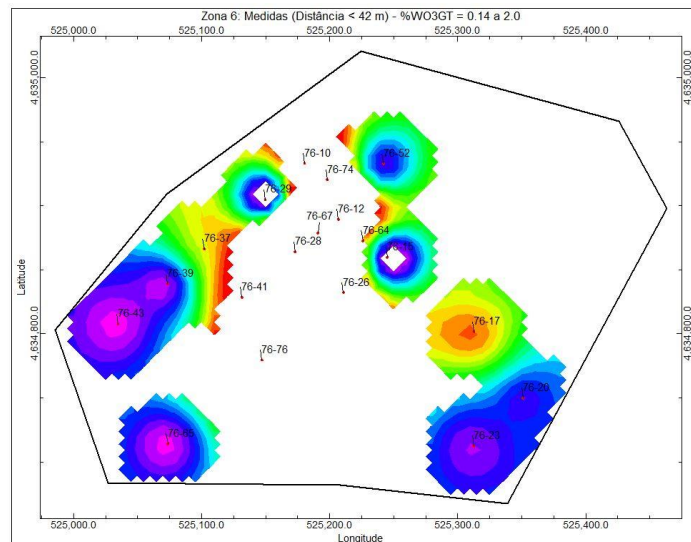


B

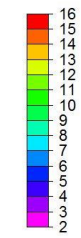
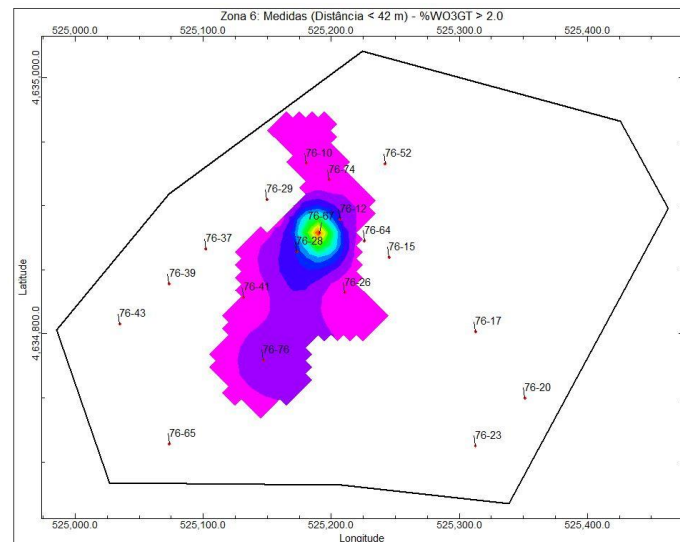


C

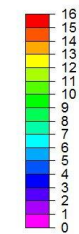
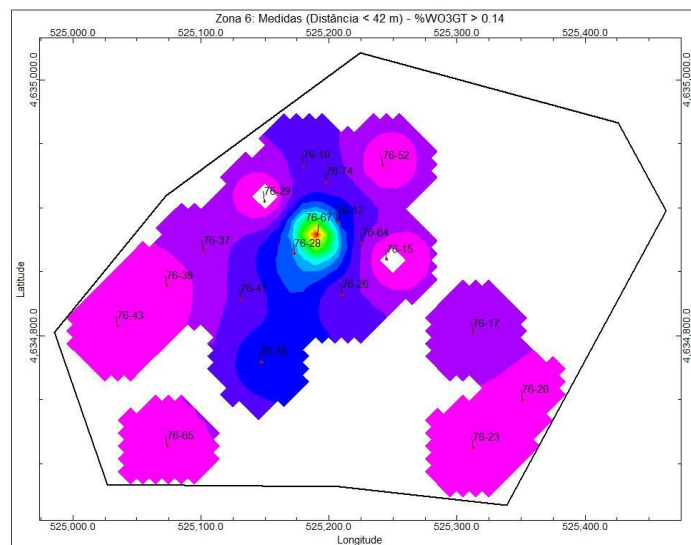
Ilustração 47: A) Mapa dos teores médios de WO_3 da área estudada; B) Mapa da soma das espessuras de "skarn" mineralizado; C) Mapa de GT.



A

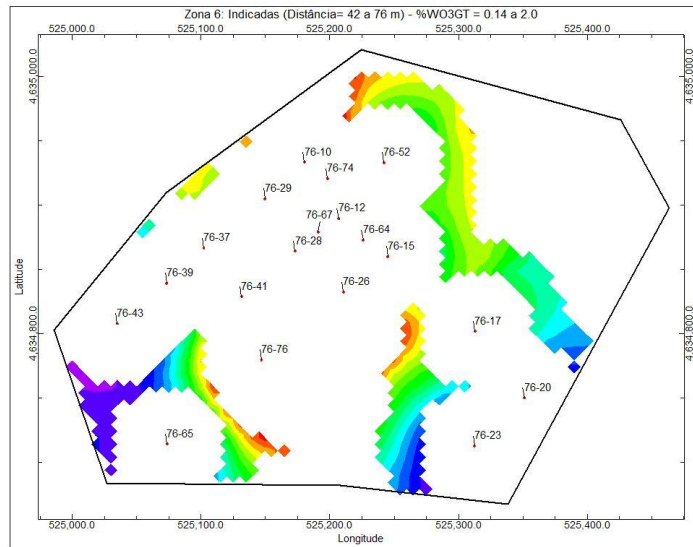


B

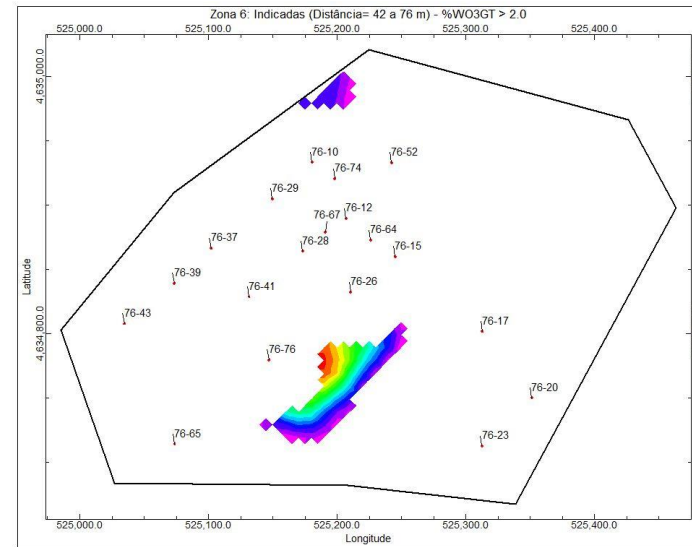


C

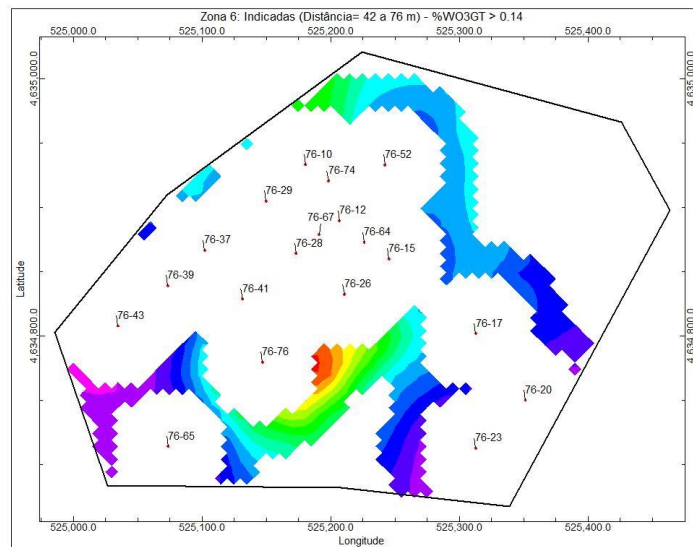
Ilustração 48: A) Mapa de GT medido (<math>< 42\text{ m}</math>) para os teores baixos ($0.14 \text{ a } 2\%$); B) Mapa de GT medido (<math>< 42\text{ m}</math>) para os teores elevados ($> 2\%$); C) Mapa de GT medido (<math>< 42\text{ m}</math>) para teores baixos e elevados ($> 0.14\%$).



A

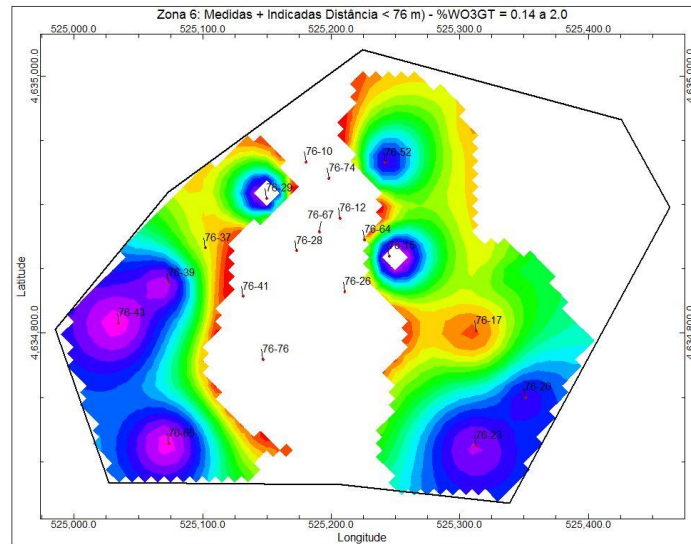


B

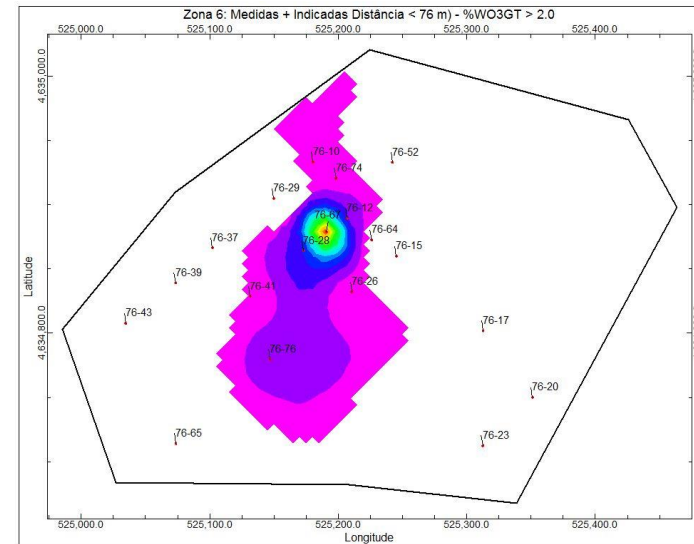


C

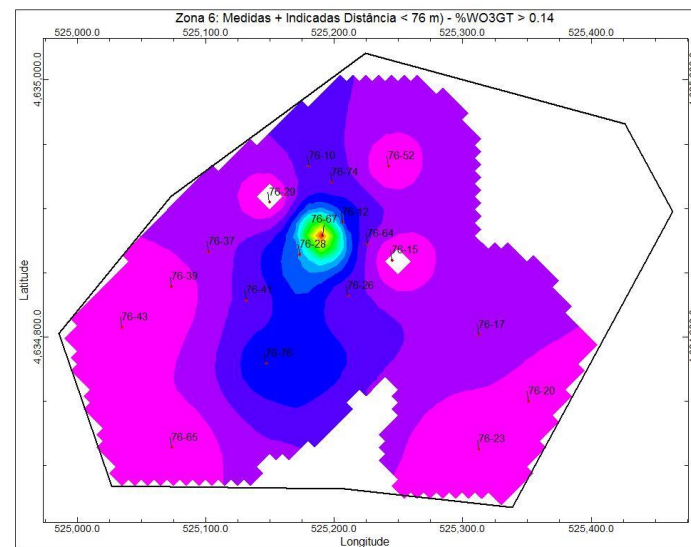
Ilustração 49: A) Mapa de GT indicado (42 a 76 m) para os teores baixos (0.14 a 2%). B) Mapa do GT indicado (42 a 76 m) para os teores elevados (>2%). C) Mapa do GT indicado (42 a 76 m) para teores baixos e elevados (>0.14%).



A

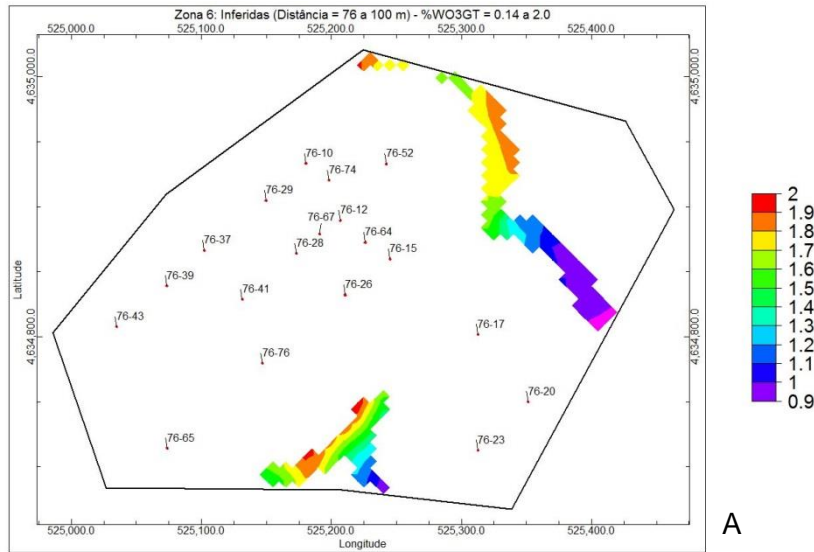


B

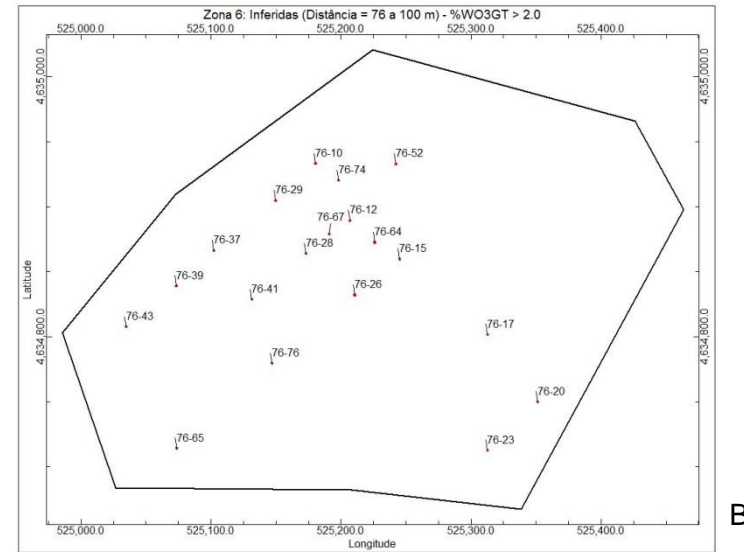


C

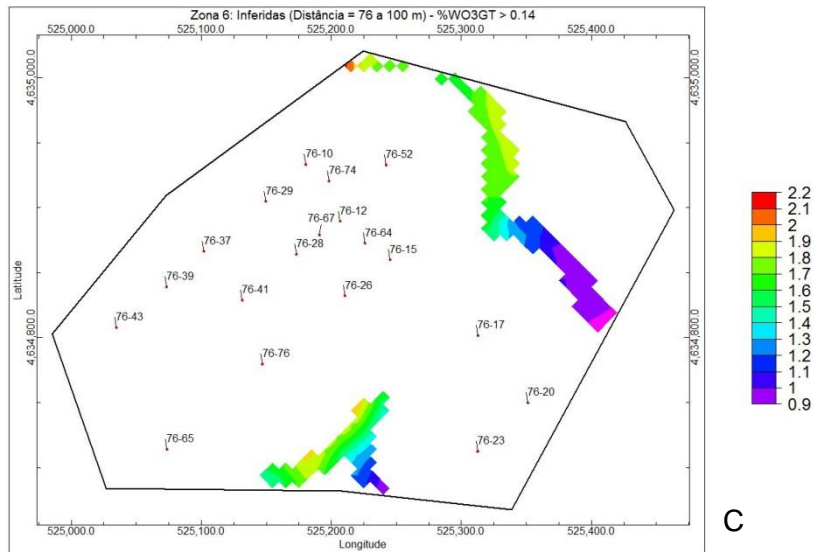
Ilustração 50: **A)** Mapa de GT medido e indicado (< 76 m) para os teores baixos (0.14 a 2%). **B)** Mapa do GT medido e indicado (< 76 m) para os teores elevados (>2%). **C)** Mapa do GT medido e indicado (< 76 m) para teores baixos e elevados (>0.14%).



A

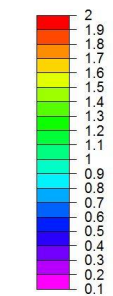
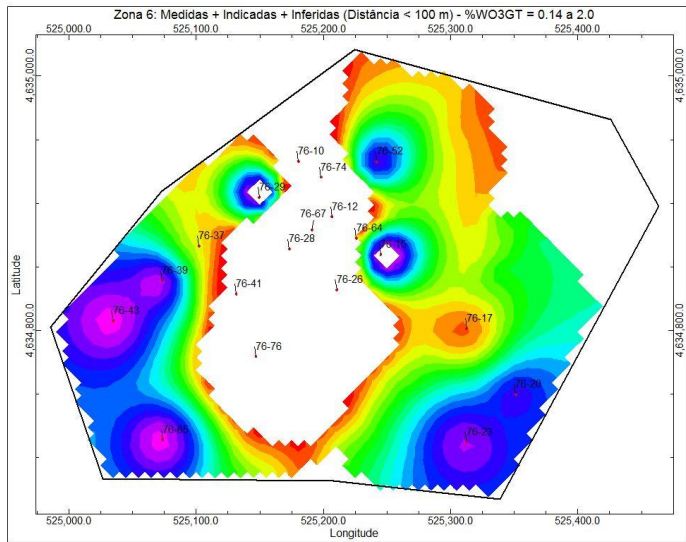


B

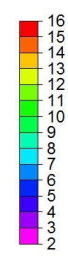
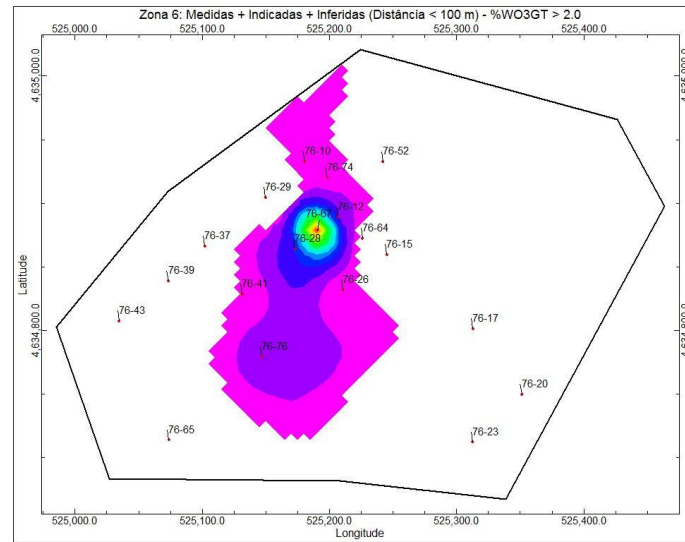


C

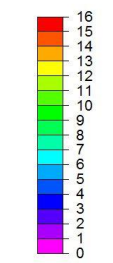
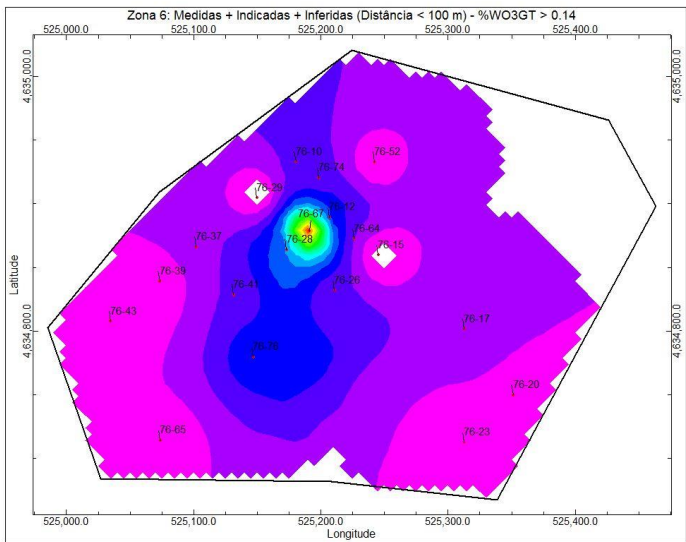
Ilustração 51: **A)** Mapa de GT inferido (76 a 100 m) para os teores baixos (0.14 a 2%). **B)** Mapa do GT inferido (76 a 100 m) para os teores elevados (>2%). **C)** Mapa do GT inferido (76 a 100 m) para teores baixos e elevados (>0.14%).



A



B



C

Ilustração 52: A) Mapa de GT medido, indicado e inferido (< 100 m) para os teores baixos (0.14 a 2%). B) Mapa do GT medido, indicado e inferido (< 100 m) para os teores elevados (>2%). C) Mapa do GT medido, indicado e inferido (< 100 m) para teores baixos e elevados (>0.14%).

6.6. Reamostragem/Requalificação

6.6.1. Reamostragem dos teores das sondagens

A reamostragem dos teores existentes nas sondagens foi efetuada recorrendo a dois métodos: LCW e GT.

O LCW consiste no quociente da soma do produto “espessura x teor” dos troços mineralizados, pela espessura total em causa.

Este método atribui mais peso aos níveis mais espessos de “skarn”.

Foram contemplados todos os troços mineralizados de “skarn”, uma vez que os valores calculados não foram utilizados para modelação.

Na ilustração 53 observam-se os histogramas resultantes do LCW criados para a formação “skarn” e para o LCW calculado por bancadas (bancadas de 2 m), a partir da superfície topográfica.

As diagrfias das restantes sondagens encontram-se no anexo 3.

Na tabela 12 encontram-se os valores de LCW para a formação “skarn”, ordenados por ordem crescente de grandeza.

Segundo este critério de reamostragem, as sondagens com mais interesse são a 76-67 e a 76-20.

As sondagens com valores de LCW abaixo de 0.1 são as de menor interesse.

Tabela 12: Resultados do LCW para a formação “skarn”. Sondagens ordenadas por ordem crescente de grandeza.

Sondagem	LCW “skarn” (%)	Sondagem	LCW “skarn” (%)
76-65	0.04	76-37	0.14
76-17	0.05	76-28	0.19
76-23	0.07	76-39	0.22
76-64	0.07	76-15	0.24
76-76	0.08	76-52	0.25
76-29	0.09	76-10	0.27
76-26	0.10	76-12	0.27
76-41	0.11	76-74	0.34
76-50	0.11	76-20	0.48
76-43	0.13	76-67	0.87

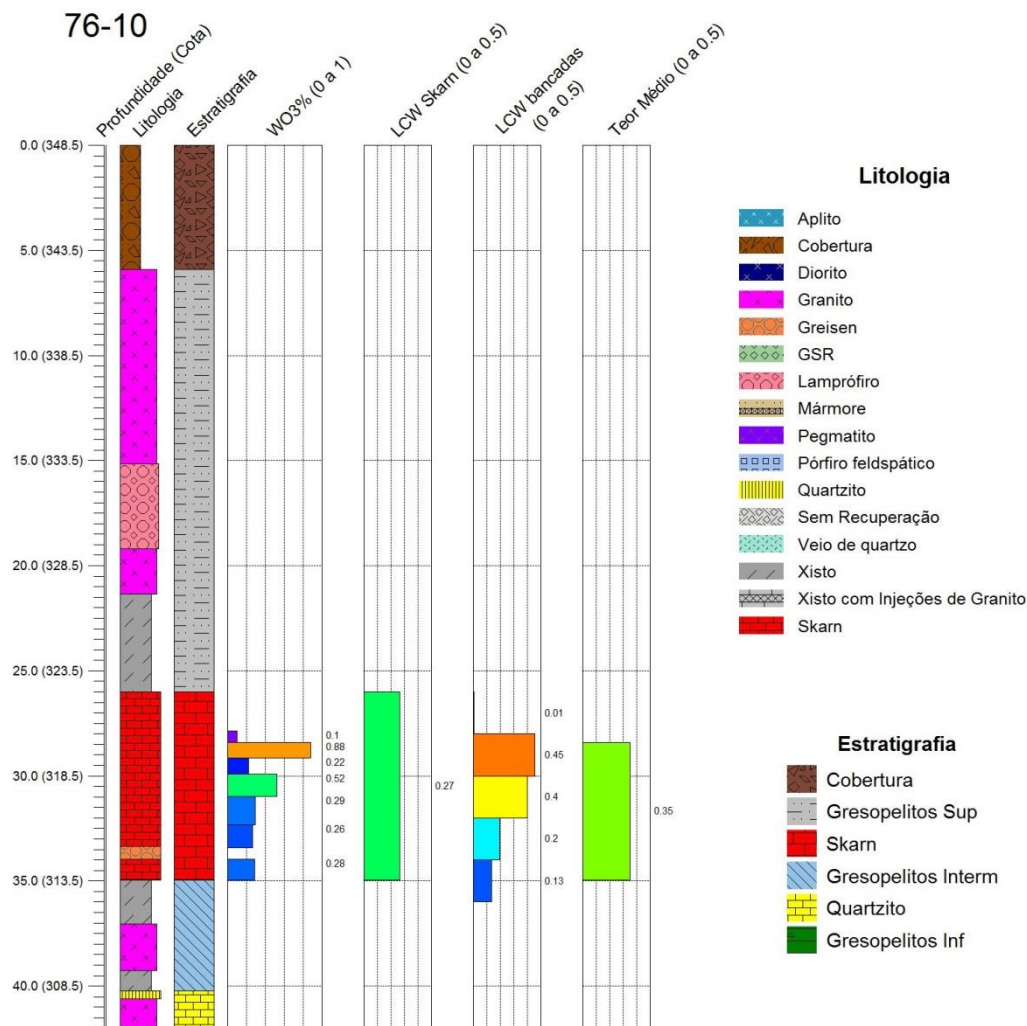


Ilustração 53: Diagrama da sondagem 76-10. Da esquerda para a direita podem observar-se: a profundidade sondada e as respetivas cotas; litologia e estratigrafia atravessadas; histograma de teores de WO_3 ; histogramas resultantes da reamostragem dos teores (LCW para a estratigrafia “skarn”, LCW por bancadas e o teor médio).

A reamostragem pelo método GT obtém-se através do produto da espessura pelo teor de cada troço mineralizado.

A partir dos valores de GT é possível gerar informação estatística: teor médio, soma de GT e espessura de mineralização para cada sondagem.

Só foram utilizados os troços com teor igual ou superior ao TEM e cuja ganga interestratificada, contígua, não ultrapassasse os 5 m.

Na tabela 13 é possível observar o teor médio e a soma das espessuras de cada sondagem.

As sondagens 76-12, 76-64 e 76-67 destacam-se por terem o teor médio mais elevado e as sondagens 76-76, 76-41, 76-28 e 76-67 por terem a soma das espessuras mais elevadas.

Tabela 13: Teor médio e Soma das Espessuras para cada sondagem, após a reamostragem GT.

Sondagem	Teor médio (%)	Soma das espessuras (m)	Sondagem	Teor médio (%)	Soma das espessuras (m)
76-10	0.35	6.55	76-39	0.17	1.32
76-12	0.57	6.12	76-41	0.20	10.50
76-15	0.18	0.24	76-43	0.16	1.00
76-17	0.38	4.81	76-52	0.25	1.83
76-20	0.48	0.90	76-64	0.72	1.92
76-23	0.19	1.51	76-65	0.30	0.58
76-26	0.33	6.47	76-67	0.89	16.98
76-28	0.41	11.08	76-74	0.37	6.50
76-29	0.15	0.81	76-76	0.38	10.15
76-37	0.17	9.08			

Tendo em conta o teor médio e a soma das espessuras de cada sondagem é possível gerar um mapa que ilustre as sondagens de maior e de menor interesse. O mapa gerado é o da ilustração 54, no qual se observa que a sondagem 76-67 é a de maior interesse, seguida pelas sondagens 76-12, 76-14, 76-26, 76-76 e 76-28 (as da zona mais central) e que as sondagens de menor interesse são as que se encontram na periferia da área.

Apesar de este mapa utilizar a mesma informação da ilustração 47C, ele não efetua extrapolações para as áreas adjacentes, cingindo-se, apenas às bocas das sondagens.

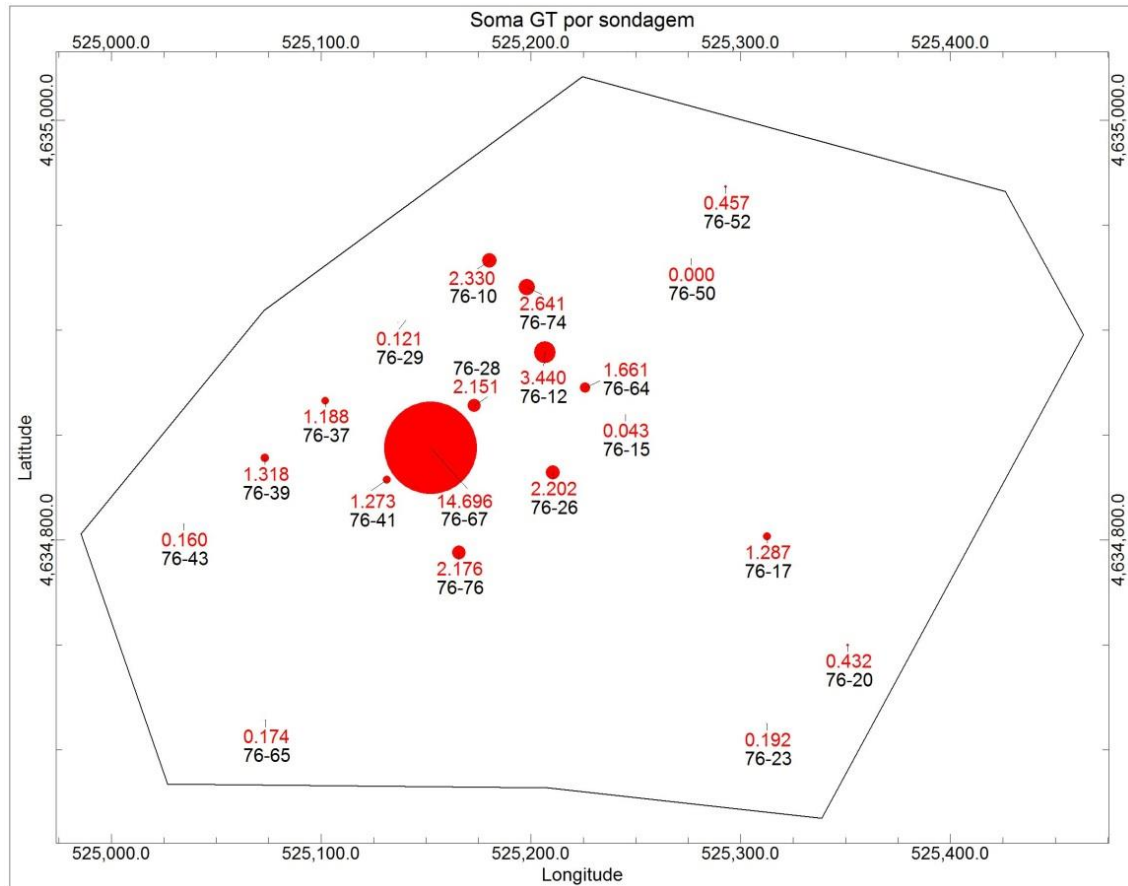


Ilustração 54: Mapa da soma de GT em cada sondagem (os caracteres a vermelho são a soma do GT e os caracteres a preto são a identificação das sondagens).

6.6.2. Requalificação dos recursos

Em conformidade com as considerações anteriormente tecidas e as justificações avançadas, decidiu-se requalificar os recursos de “skarn” mineralizado e de WO_3 segundo quatro cenários hipotéticos distintos.

Uma vez que se trata de uma requalificação, decidiu-se utilizar apenas o “skarn” mineralizado com teores acima de 0.14%, o TEM.

Esta requalificação incidiu sobre os recursos já reclassificados e não os brutos. A requalificação contemplou diversos cenários.

Os resultados obtidos, para os diferentes cenários, são o volume e a massa de “skarn” mineralizado e os recursos de WO_3 para as distâncias de corte e teor igual ou superior ao TEM.

Os valores calculados para cada cenário foram comparados aos recursos reclassificados (medidos, indicados e inferidos) calculados anteriormente, de forma a ser mais perceptível a influência de cada cenário.

No **cenário 1** utilizou-se o método da espessura mínima mineralizada.

Considerou-se rentável explorar os níveis de “skarn” cuja espessura mínima contínua, fosse no mínimo 0.7 m.

Os níveis com espessura inferior à especificada foram requalificados como ganga.

Na ilustração 55 e na tabela 14 são apresentados os resultados obtidos para este cenário.

Este processo levou à eliminação de cerca de 40% do “skarn” mineralizado em volume e massa dos recursos medidos.

Os recursos indicados e inferidos, segundo este cenário, abrangem 12% e 1.6% dos recursos reclassificados, respetivamente.

Relativamente aos recursos de WO_3 os recursos medidos, indicados e inferidos representam, respetivamente, 72%, 55% e 12% dos recursos reclassificados.

Dos resultados obtidos a partir deste cenário é importante destacar que:

- apenas foi utilizado o “skarn” com teores acima de 0.14% e com uma espessura mínima de 1 m. Como consequência, cerca de 60% dos níveis de “skarn” considerados anteriormente como recursos medidos foram requalificados como ganga;

- o decréscimo ainda mais acentuado dos recursos indicados de “skarn” e, em especial, os inferidos é indicativo de que acima da distância de corte 42 m, a maioria dos níveis de “skarn” têm um teor abaixo de 0.14% e/ou espessura inferior a 0.7 m;

- em relação aos recursos medidos, indicados e inferidos de WO_3 , conclui-se, respetivamente, que cerca de 28%, 45% e 88% dos níveis de “skarn” com teor superior ao definido não atingem a espessura mínima de 0.7 m, tendo por isso sido requalificados neste cenário.

No **cenário 2** foi utilizado o método da espessura mínima total mineralizada.

Neste método somente foi considerado rentável explorar as zonas cuja espessura cumulativa de “skarn”, segundo a vertical, fosse igual ou superior a 1 m.

A ilustração 56 e a tabela 15 ilustram os resultados obtidos neste cenário.

Os recursos de “skarn”, segundo este cenário, para as distâncias medidas, indicadas e inferidas abrangem, respetivamente, cerca de 44%, 17% e 3% dos recursos reclassificados.

Os recursos de WO_3 abrangem cerca de 83%, 82% e 21% dos recursos reclassificados.

Dos resultados obtidos, é importante destacar que:

- ao contrário do cenário 1, que apenas utiliza a espessura contínua de cada nível, este método utiliza a espessura cumulativa.

Uma vez que o “skarn” se encontra distribuído por vários níveis, é natural que os recursos obtidos neste cenário sejam superiores aos do cenário 1;

- para os recursos medidos, indicados e inferidos de WO_3 conclui-se que cerca de, respetivamente, 17%, 18% e 79% dos níveis de “skarn” com teor acima do definido não alcançam a espessura cumulativa mínima estabelecida.

No **cenário 3** utilizou-se o método de espessura máxima de ganga.

Neste método admite-se a exploração de alguma ganga interestratificada juntamente com o “skarn”.

Definiu-se como espessura máxima de ganga 1 m.

Nas zonas em que a ganga não excede a espessura definida, esta é requalificada como minério.

Os resultados deste cenário estão patentes na ilustração 57 e tabela 16.

Os recursos de “skarn” medidos, indicados e inferidos obtidos correspondem a, aproximadamente, 53%, 23% e 11% dos valores anteriormente calculados na reclassificação.

Este método somente requalifica a ganga e não altera o “skarn” já existente, sendo, portanto, de esperar que os recursos obtidos sejam superiores (ou iguais) aos requalificados homólogos.

Os recursos de WO_3 obtidos neste cenário são os mesmos obtidos nos recursos calculados anteriormente. Isto indica que todos os níveis de “skarn” com teor superior a 0.14% têm mais de 1 m de espessura de ganga adjacente.

No **cenário 4** foi utilizado o método *stripping ratio* (ganga contígua).

Esta requalificação recorre à razão entre a espessura de ganga contígua (acima de cada nível mineralizado) e a espessura desse nível.

Definiu-se, para este cenário, um *stripping ratio* de 5:1. Isto significa que se considera aceitável extrair até 5 m de ganga por cada metro de minério explorado. As zonas que ultrapassem esta razão são requalificadas como ganga.

Os resultados obtidos para este cenário encontram-se na ilustração 58 e na tabela 17.

Apenas 21% do “skarn” situado até aos 42 m (recursos medidos) cumprem o *stripping ratio* definido.

Dos recursos de “skarn” indicados e inferidos, apenas 5% e 0.36%, respetivamente, correspondem ao critério imposto.

Os recursos de WO_3 unicamente abrangem 37%, 18% e 3% dos recursos classificados como medidos, indicados e inferidos.

b) Cenário 2

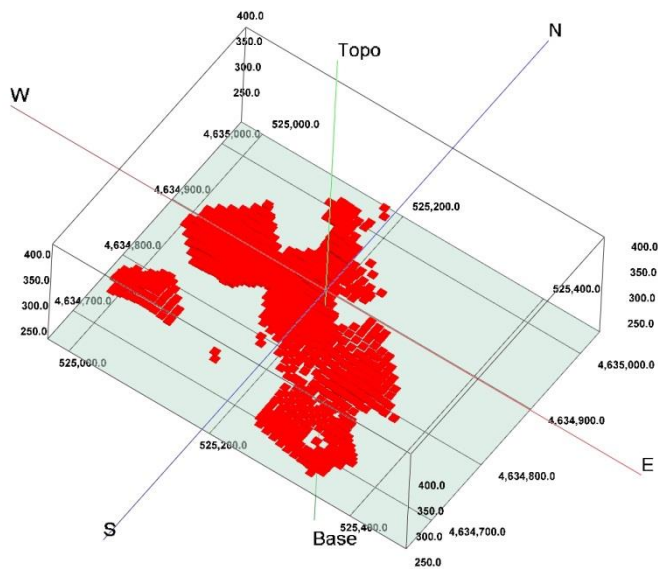


Ilustração 56: Modelo booleano do “skarn” mineralizado resultante do cenário 2. O modelo representa as zonas cuja espessura cumulativa, na vertical, é igual ou superior a 1 m.

Tabela 15: Recursos resultantes do cenário 2.

	Medidos (0-42 m)	Indicados (42-76 m)	Inferidos (76-100m)
Volume “Skarn” (m³)	117 000.00	18 300.00	800.00
Massa “Skarn” (Ton)	351 000.00	54 900.00	2 400.00
Recursos WO₃ (Ton)	826.42	106.93	3.95

c) Cenário 3

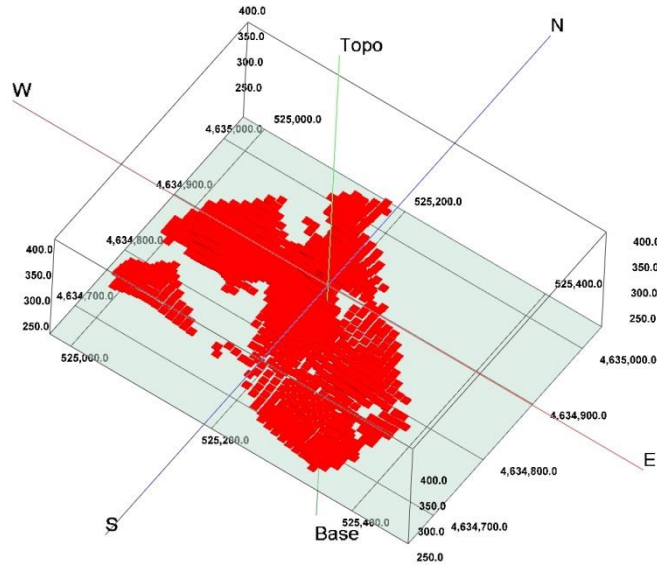


Ilustração 57: Modelo booleano do “skarn” mineralizado resultante do cenário 3. O modelo representa o “skarn” e as zonas de ganga interestratificada cujas espessuras não ultrapassam os 1 m.

Tabela 16: Recursos resultantes do cenário 3.

	Medidos (0-42 m)	Indicados (42-76 m)	Inferidos (76-100m)
Volume “Skarn” (m³)	139 550.00	23 700.00	3 150.00
Massa “Skarn” (Ton)	418 650.00	71 100.00	9 450.00
Recursos WO₃ (Ton)	999.10	130.10	18.58

d) Cenário 4

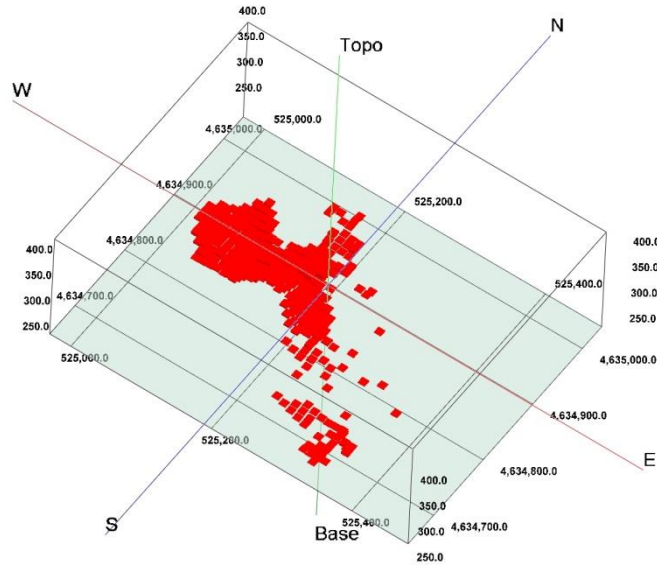


Ilustração 58: Modelo booleano do “skarn” mineralizado resultante do cenário 4. O modelo representa as zonas que obedecem a um *stripping ratio* de 5:1.

Tabela 17: Recursos resultantes do cenário 4.

	Medidos (0-42 m)	Indicados (42-76 m)	Inferidos (76-100m)
Volume “Skarn” (m³)	54 450.00	4 650.00	100.00
Massa “Skarn” (Ton)	163 350.00	13 950.00	300.00
Recursos WO₃ (Ton)	362.67	24.04	0.48

6.7. Simulação de uma exploração a céu aberto

De forma a complementarmos a avaliação dos recursos da área, realizou-se a simulação de uma exploração a céu aberto.

A exploração simulada (ilustração 59) conduz à extração de um volume e de uma massa de “skarn”, respetivamente de 198 800 m³ e 596 400.0 Ton.

O terreno de cobertura que é necessário remover para se poder retirar o minério totaliza 5 912 900 m³ correspondente à massa 17 738 700.0 Ton.

O limite de inclinação imposto para os socacos impede a extração integral do “skarn” existente, levando à exclusão de 4 439 950 m³ e 13 319 850.0 Ton de “skarn”.

O volume total de terrenos (ganga e “skarn”) a extrair na exploração seria de 6 111 700 m³, isto é, 18 335 100.0 Ton em massa.

Na ilustração 59 é possível observar o modelo da exploração resultante, bem como os teores passíveis de recuperar.

A profundidade máxima da exploração seria de 129.1 m.

A topografia resultante da área está representada na ilustração 60.

O *stripping ratio* desta simulação seria de 29.7:1. Consideramos que este valor é demasiado elevado e, por isso, uma exploração a céu aberto não nos parece viável.

Do relatório por cotas classificadas em intervalos de 5 m (tabela 18) salienta-se que:

- é entre as cotas 294-309 m que se encontram as maiores percentagens de “skarn” por nível, variando entre os 3.37% e 4.29%;
- apenas é possível extrair 20.94% de todo o “skarn” mineralizado com teores acima dos 0.14%;
- o teor máximo que se retira é de 5 % e situa-se no intervalo cotado de 314-319 m.

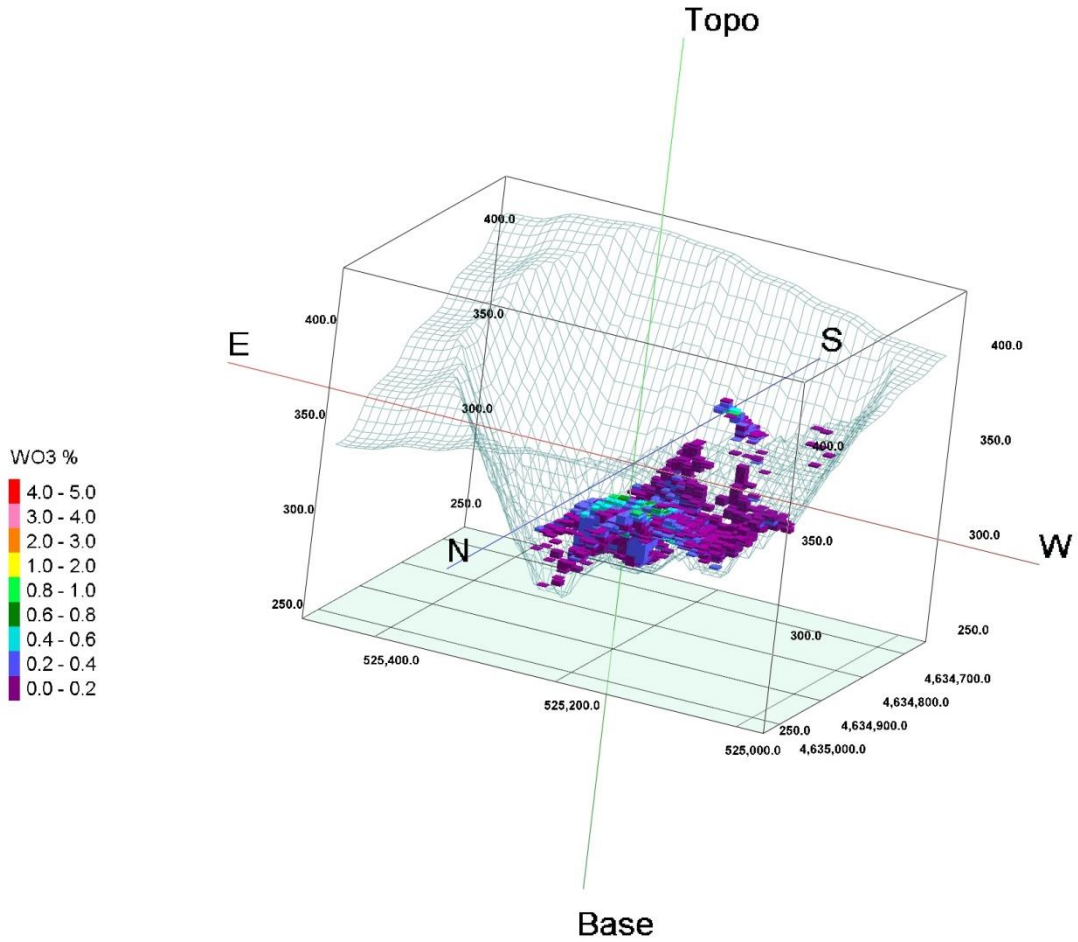


Ilustração 59: Modelo da simulação de exploração a céu aberto com um exaéreo vertical de 2 vezes. Observam-se os teores passíveis de serem extraídos e a topografia resultante.

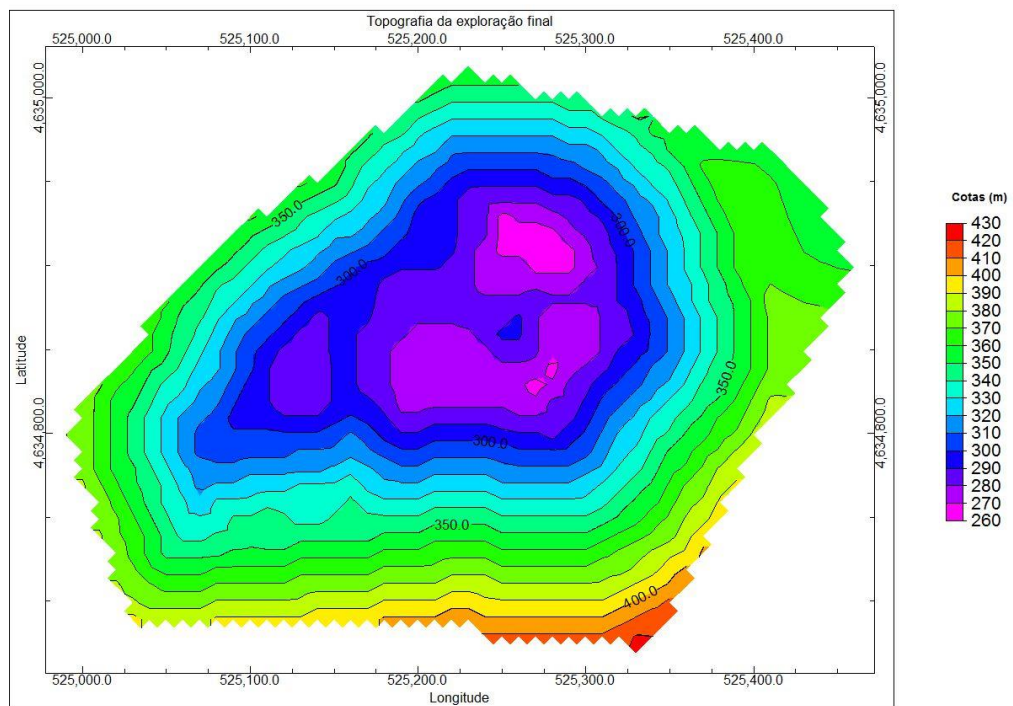


Ilustração 60: Mapa da topografia resultante da simulação da exploração a céu aberto.

Tabela 18: Relatório dos recursos de “skarn” mineralizado com teores de WO_3 de 0.14 a 5% entre as cotas 264 m e 364 m, em intervalos de 5 em 5 m. A coluna intitulada “Percentagem” refere-se à percentagem volumétrica de “skarn” em cada intervalo.

Dados / Intervalo de Cotas	Volume (m ³)	Massa (Ton)	Percentagem (%)	Teor Mínimo (WO ₃ %)	Teor Máximo (WO ₃ %)	Teor Médio (WO ₃ %)
364-359	345.27	1 035.82	0.04	0.16	0.49	0.30
359-354	900.00	2 700.00	0.09	0.15	0.83	0.38
354-349	1 585.82	4 757.47	0.17	0.17	0.40	0.25
349-344	1 754.73	5 264.18	0.18	0.14	0.37	0.24
344-339	504.73	1 514.18	0.05	0.14	0.28	0.17
339-334	1 250.00	3 750.00	0.13	0.14	0.21	0.15
334-329	2 240.55	6 721.65	0.24	0.14	0.20	0.16
329-324	2 945.27	8 835.82	0.31	0.14	0.23	0.16
324-319	4 357.47	13 072.41	0.46	0.14	1.00	0.21
319-314	13 077.13	39 231.40	1.38	0.14	5.00	0.43
314-309	30 098.78	90 296.33	3.17	0.14	2.86	0.34
309-304	35 862.19	107 586.58	3.77	0.14	0.88	0.27
304-299	40 742.53	122 227.59	4.29	0.14	1.10	0.25
299-294	31 970.89	95 912.66	3.37	0.14	0.48	0.21
294-289	17 946.50	53 839.49	1.89	0.14	0.53	0.21
289-284	7 285.06	21 855.19	0.77	0.14	0.44	0.19
284-279	4 090.55	12 271.65	0.43	0.14	0.32	0.18
279-274	1 537.81	4 613.42	0.16	0.14	0.35	0.18
274-269	254.73	764.18	0.03	0.14	0.17	0.15
269-264	50.00	150.00	0.01	0.15	0.15	0.15
Total	198 800.00	596 400.00				

7. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

As principais conclusões a realçar desta dissertação são:

1) Em relação ao jazigo de Covas:

- A zona de Covas, situada no NW de Portugal, é uma conhecida região mineira, cuja exploração remonta ao tempo dos Romanos. No período 1950-1980 esta região foi prospectada e explorada por diversas empresas, tendo sido abandonada por não ser, então, considerada economicamente viável. Recentemente, a região voltou a suscitar interesse, tendo já uma empresa obtido licença para exploração experimental;
- O jazigo tungstífero de Covas é um jazigo metassomático gerado por percolação de fluídos magmáticos que se infiltraram em mármores impuros de uma série metassedimentar Silúrica que delinea uma estrutura domada: o Domo de Covas;
- O Domo de Covas é um antifoma gerado pela fase F_{n+1} de deformação, resultante da implantação de uma massa magmática que levou a uma domação diapírica;
- A rocha metassomática mãe é um “skarn” cálcico, um granato-piroxenito, onde se insere o principal mineral hospedeiro de tungsténio: a scheelite;
- Em algumas rochas encaixantes existe mineralização resultante de reconcentração e remobilização, ocorridas durante os processos supergénicos;
- A série metassedimentar, afossilífera, é constituída por gresopelitos metamorfizados, que evidenciam uma elevada triagem sedimentar e integram, na zona do jazigo, alguns níveis com matéria orgânica;
- A sua principal mineralização é em tungsténio, embora existam indícios interessantes em estanho e em ouro. As composições das granadas e das piroxenas enquadram-no nos jazigos do tipo W-Sn;
- Foram identificados cinco estádios metassomáticos dos quais o último (V) foi responsável pela mineralização;
- O fluor parece ter sido o anfótero determinante no transporte de tungsténio, permitindo a constituição de complexos cuja desestabilização esteve na origem direta da concentração naquele metal.

2) Em relação à área estudada:

- A estratigrafia da área é composta por seis formações que, no total, compreendem um volume de 12 555 850.00 m³ e uma massa de 29 329 785.00 Ton.

Das formações existentes a de maior interesse é a formação “skarn”, a hospedeira de mineralização, que representa apenas 4.4% do volume total. Esta formação engloba não só a litologia “skarn” como, também, toda a ganga interestratificada;

- As diversas litologias existentes na área representam em volume e massa um total de 16 795 250 m³ e 44 162 237.50 Ton, respetivamente. O xisto (simplificação de micaxisto) e o granito são as litologias mais abundantes, representando 40.3% e 32.8% do volume total, respetivamente;

- A litologia “skarn”, objeto de estudo desta dissertação, representa 2.8% do volume total da área estudada, o que corresponde a um volume 472 650 m³ e uma massa de 1 417 950 Ton.

84% da litologia “skarn” está mineralizada em WO₃, sendo os restantes 16% de “skarn” estéreis;

- Nesta área o “skarn” não aflora à superfície. Sobre ele existe um grande volume de terreno de cobertura, cuja espessura varia entre os 46.5 m (a SW) e os 170.5 m (a SE).

O terreno de cobertura corresponde a um volume total de 8 692 600.00 m³ e a uma massa de 19 341 875.00 Ton;

As litologias aflorantes são: granito, cobertura (material sem recuperação e solo), xisto, pegmatito e lamprófiro;

- O “skarn” distribui-se ao longo de diversos níveis, entre as cotas 242 m e 368 m. A sua espessura acumulada, segundo a vertical, varia entre os 0.5 m (a NE e NW) e os 33.5 m (a SW);

- Os teores de WO₃ na área variam entre os 0.01% e os 5%. O teor médio é de 0.27% e o desvio padrão de 0.17. Os teores mais elevados encontram-se essencialmente na zona centro (NW) e na zona SE.

Definiu-se como teor mínimo explorável o valor de 0.14% (TEM).

Com exceção de alguns troços de “skarn” que têm teores acima de 1% (intercetados pelas sondagens 76-67 e 76-12), os níveis de “skarn” apresentam teores

que variam, essencialmente, entre os 0.01 e o 1%. Cerca de 85% dos valores correspondem à população de “background” (< 0.43%), definida pela média +/- um desvio padrão;

- O cálculo das anomalias de WO_3 em relação ao TEM identifica quais as zonas que alcançam, ou não, o valor de TEM. Nesta ótica as anomalias negativas, situadas essencialmente nos extremos NE e SW, são as zonas com menor interesse mineiro. As zonas central e SE apresentam anomalias positivas (atingindo o valor mais elevado na sondagem 76-67);

- Nas litologias granito, greisen, GSR, mármore, pegmatito e xisto ocorre, por vezes, alguma mineralização de WO_3 . Grande parte destes teores sedia-se no granito. O teor médio de cada litologia é, em geral, superior ao TEM definido.

Os recursos brutos de WO_3 fora da litologia “skarn” correspondem a 380.17 Ton.

Apesar de não termos contemplado os teores que ocorrem fora do “skarn”, nos cálculos dos recursos principais, entendemos que estes teores devem ser levados em conta numa eventual exploração;

- Os recursos brutos de “skarn” apurados, em volume e massa, foram de 397 650.00 m³ e 1 192 950.00 Ton, respetivamente. Os recursos brutos de WO_3 correspondem a 1 735.91 Ton;

- Os recursos de “skarn”, em volume e massa, foram qualificados segundo as distâncias de corte em: medidos (0 a 42 m), indicados (42 a 76 m) e inferidos (76 a 100 m). Também foram calculados os recursos de “skarn” com teor acima de 0.14% (tabela 19).

Aos recursos de WO_3 para além das distâncias de corte definidas, também foi aplicado o teor de corte de 0.14% (TEM). Os resultados obtidos encontram-se na tabela 19.

A grande diferença entre os recursos qualificados de WO_3 e os brutos é justificada pelo facto de grande parte dos níveis de “skarn” apresentarem teores inferiores a 0.14%;

Tabela 19: Resultados obtidos para os recursos de “skarn” e WO₃ após a qualificação.

Teor de Corte	Dados Recursos	Medidos (0 - 42 m)	Indicados (42 - 76 m)	Inferidos (76 - 100m)	Brutos
Skarn Mineralizado	Volume “skarn” (m ³)	261 550.00	103 550.00	27 500.00	397 650.00
	Massa “skarn” (Ton)	784 650.00	310 650.00	82 500.00	1 192 950.00
Skarn com teor ≥ 0.14%	Volume “skarn” (m ³)	130 900.00	22 400.00	3 150.00	
	Massa “skarn” (Ton)	392 700.00	67 200.00	9 450.00	
WO₃ ≥ 0.14%	Massa WO ₃ (Ton)	999.10	130.10	18.58	1 735.91
	Teor médio WO ₃ (%)	0.28	0.23	0.24	0.27

- A quantificação dos recursos da área estudada foi baseada no método GT. Este método permite distinguir as áreas de maior e menor interesse com base no produto dos teores pelas espessuras dos troços mineralizados.

O GT foi aplicado ao modelo de distribuição de teores e às sondagens utilizadas.

No primeiro caso, foi calculada a soma de GT, em cada vertical, dos troços com teor mínimo de 0.14% WO₃ e com uma espessura mínima de 1 m.

No segundo caso, utilizou-se o teor médio e a soma das espessuras para cada sondagem, tendo sido unicamente contemplados os troços com teores iguais ou superiores ao TEM.

O GT gerado a partir do modelo de teores apresenta os valores mais elevados na zona central e SE, indicando que estas áreas são as que têm troços com teores mais elevados e/ou espessuras mais possantes. Segundo este método, as regiões NE, NW e SW não têm interesse mineiro, uma vez que os troços mineralizados não cumprem os limites definidos.

Apesar de a região SW ser a que apresenta as maiores espessuras de “skarn”, os seus teores não são considerados como rentáveis.

Os mapas de GT gerados a partir das sondagens indicam, em conformidade com os valores obtidos anteriormente, que a zona central (que se estende para S/SE) é a que apresenta valores mais elevados, e por isso é a zona de maior interesse. Os valores mais baixos de GT (zonas de menor interesse) encontram-se, essencialmente, na periferia da área referida;

- A partir da reamostragem das sondagens realizada pelos métodos LCW e GT conclui-se que:

- as sondagens com teor médio mais elevado são as 76-12, 76-64 e 76-67;

- as sondagens com maiores espessuras de “skarn” mineralizado são as 76-76, 76-41, 76-28 e 76-67.

- Decidiu-se requalificar os recursos medidos, indicados e inferidos, segundo quatro cenários hipotéticos, tendo em vista uma possível exploração por galerias. Os cenários concebidos foram:

Cenário 1: Só se considera rentável explorar os níveis de “skarn” cuja espessura seja igual ou superior a 0.7 m;

Cenário 2: Só se considera rentável explorar zonas cuja espessura cumulativa de “skarn” seja igual ou superior a 1 m;

Cenário 3: Aceita-se explorar até 1 m de ganga interestratificada, contígua ao “skarn”;

Cenário 4: O stripping ratio para a exploração seja de 5:1.

Os resultados obtidos para os diferentes cenários encontram-se na tabela 20.

Tabela 20: Resultados obtidos após a requalificação dos diversos cenários.

Cenários	Resultados	Medidos (0-42m)	Indicados (42-76m)	Inferidos (76-100m)
Cenário 1	Volume “skarn” (m ³)	101 350.00	12 100.00	450.00
	Massa “skarn” (Ton)	304 050.00	36 300.00	1 350.00
	Recursos WO ₃ (Ton)	723.94	72.06	2.20
Cenário 2	Volume “skarn” (m ³)	117 000.00	18 300.00	800.00
	Massa “skarn” (Ton)	351 000.00	54 900.00	2 400.00
	Recursos WO ₃ (Ton)	826.42	106.93	3.95
Cenário 3	Volume “skarn” (m ³)	139 550.00	23 700.00	3 150.00
	Massa “skarn” (Ton)	418 650.00	71 100.00	9 450.00
	Recursos WO ₃ (Ton)	999.10	130.10	18.58
Cenário 4	Volume “skarn” (m ³)	54 450.00	4 650.00	100.00
	Massa “skarn” (Ton)	163 350.00	13 950.00	300.00
	Recursos WO ₃ (Ton)	362.67	24.04	0.48

- Para complementar a avaliação dos recursos da área, realizou-se uma simulação de uma exploração a céu aberto. Esta exploração permitiria extrair um volume de 198 800 m³ e uma massa 596 400.0 Ton de “skarn” mineralizado.

Este tipo de exploração implicaria a remoção de um volume 5 912 900 m³ e uma massa 17 738 700.0 Ton de terreno de cobertura. Esta exploração conduz a um *stripping ratio* de 29.7:1.

Na nossa opinião, esta exploração não seria rentável, tendo em conta o grande volume de terreno de cobertura a remover.

Na eventualidade da ocorrência de uma exploração nesta área, os resultados obtidos privilegiam uma exploração por galerias em detrimento de uma exploração a céu aberto.

No planeamento de uma eventual exploração por galerias, consideramos que se deve dar especial atenção ao intervalo cotado entre os 300 m e os 314 m, por ser aquele que concentra as maiores percentagens de “skarn” por nível.

Tendo em conta todos os métodos utilizados concluímos que a apetência mineira se reparte da seguinte forma:

a) Zonas com maior interesse:

O sector central (NW), que abrange as sondagens 76-67, 76-12, 76-28 e 76-76 e o sector SE, que engloba a sondagem 76-20, onde ocorrem os teores mais elevados.

O mapa de anomalias em relação ao TEM, que diferencia quais as zonas com teor superior e inferior a 0.14%, apresenta as anomalias mais elevadas nestas áreas.

Os mapas gerados para o GT (pelos diferentes métodos) confirmam que estas zonas são as de maior interesse, uma vez que apresentam os valores de GT mais altos.

b) Zonas com menor interesse:

Não foi intersectado “skarn” nas sondagens 77-20 (a NE), 76-31 (a N) e a 76-34 (a NW) pelo que estas zonas não têm interesse económico (considerando apenas os teores dentro do “skarn”).

Apesar de o sector SW apresentar a maior espessura acumulada de “skarn”, os teores desta zona são muito baixos e, em alguns, casos nulos.

As anomalias médias em relação ao TEM e os diversos mapas de GT apresentam, nas zonas mencionadas, valores muito baixos ou negativos.

3) Em relação aos cálculos reportados pela *Union Carbide*:

Consideramos pertinente tentar comparar os resultados obtidos nesta dissertação com a avaliação efetuada, nos anos oitenta, pela *Union Carbide* e a sua subsidiária portuguesa (tabela 21).

Tabela 21: Comparação dos recursos de “skarn” calculados nesta dissertação com os da *Union Carbide* (Bronkhorst 1980).

Fonte	Valores\Categoria	Recursos Medidos	Recursos Indicados	Recursos Inferidos	Total
Union Carbide	Toneladas	-	53 200.00	21 700.00	74 900
	Teor médio (%)	-	1.14	0.36	
Dissertação	Toneladas	392 700.00	67 200.00	9 450.00	469 350
	Teor médio (%)	0.28	0.23	0.24	

Os critérios utilizados nos cálculos levados a cabo pela *Union Carbide* foram:

- espessura mínima de “skarn” a explorar igual a 2.5 m;
- teor de corte igual a 0.25%;
- malha amostral de 50 x 50 m.

Os critérios utilizados nesta dissertação foram:

- não foi imposta espessura mínima de “skarn”;
- teor de corte igual a 0.14%;
- malha de 10 x 10 x 0.5 m.

A *Union Carbide* somente classificou os seus recursos (a que chamou reservas) como indicados e inferidos, não tendo seguido os critérios utilizados atualmente.

A comparação entre os resultados obtidos não é pacífica. Não é possível proceder à comparação direta entre os nossos recursos indicados e inferidos e os da *Union Carbide*, uma vez que se desconhece o limite da separação de classes por esta utilizados e pelo facto de terem sido utilizados critérios diferentes nos dois cálculos. No entanto, proceder-se-á a um balanço global.

No total, os nossos recursos de “skarn” compreendem 469 350 Ton enquanto os recursos calculados pela *Union Carbide* somente apuram 74 900 Ton, quase 1/6 dos nossos. Em nossa opinião, a diferença entre estes valores fica a dever-se a:

- a *Union Carbide* ter definido uma espessura mínima de “skarn” e um teor de corte muito elevados;
- a malha amostral utilizada pela *Union Carbide* ser demasiado espaçada, podendo ter levado à perda de detalhe e informação;
- a área por nós definida para o cálculo dos recursos ser quase o dobro da do corpo definido pela *Union Carbide*.

Somos, ainda do parecer que os nossos cálculos são mais fidedignos e detalhados do que os realizados pela *Union Carbide*. Se bem que com critérios diferentes, o facto de termos utilizado uma grande densidade de nódulos permitiu-nos criar modelos e realizar cálculos mais detalhados recorrendo a instrumentos informáticos que não existiam na altura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAYER, H., 1968. Lagerstättenkundlich – Petrographische Untersuchungen der Wolframvorkommen von Valdearcas bei Covas, Distrikt V. Castelo, NW Portugal, und ihrer Nebegesteine, Dissert. Tese, Techn. Hochschule Aachen, Essen, 229 pp.

BRAZ, E, 2001. Programa de reavaliação do setor mineral da Região Seridó – Rio Grande do Norte. Parte II: Avaliação da viabilidade do aumento das tarifas de importação para a reativação da mineração de scheelita no Rio Grande do Norte. Recife: CPRM/UFRN/SINTEC, 12p.

BRONKHORST, D., 1980. Resumo dos estudos efectuados pela Union Carbide Geotécnica Portuguesa - Assistência Mineira Lda. Na região tungstífera de Covas, Direcção-Geral de Geologia e Minas

BRONKHORST, D. & FARINHA, J., 1979. Jazigo Tungsténico de Covas. In: M.M. Andrade et al. (Editores), VI Reunião Sobre a Geologia do Oeste Peninsular, Livro Guia das Excursões Geológicas. Pul. Mus. Labor. Miner. Geol. Fac. Ciênc. Porto, 4ª Sér., 91:53-62.

BURT, D. M., 1982. Skarn Deposits – Storical Bibliographic Throw 1979. Econ. Geol., 70: 755-763

CERVEIRA, A. M., 1982. Problemática do tungsténio e da scheelite em particular. Geonovas 3, 1: 3-10.

CHABININ, L. I., 1973. Formação dos Skarn Magnesianos (em russo). Nauka Press. Moscovo

COELHO, J., PERRIN, M. & GARCIA, D., 1988. The Geological Setting of the Tungsten Skarn Ore From Covas, V. N. Cerveira (NW Portugal), Publ. Mus. Lab. Miner. Geol. Fac. Cienc. Porto, 4ª Sér., 42 pp.

COELHO, J., 1993. Os “Skarns” cálcicos, pós-magmáticos, mineralizados em scheelite do Distrito Mineiro de Covas. V. N. de Cerveira, (Norte de Portugal), Tese Doutoramento. Ed.MLMG, Fac.Ciênc.Porto, ISSN 0871-1607, vol. I & II, 570 pp.

COELHO, J. M. & CALEJO, B., 1994. O lamprófiro atípico de Cerdeirinha: Uma rocha de tendência tonalítica. Publicação do Museu e Laboratório Mineralogia e Geológico da Faculdade de Ciências do Porto, Nova Série – Nº8

COELHO, J., GARCIA, D. & FONTEILLES, M., 1985. Les Skarns a Scheelite de Covas (Minho, Nord Portugal): Petrographie e Mineralogie des Paragenèses Primaires, Comum. Serv. Geol. Portug., 71:123-138.

COELHO, J., GONÇALVES, R., PINTO, V. & CRUZ, P., 2001. Aplicações de métodos informáticos na modelização litoestratigráfica e no cálculo de reservas do jazigo tungstífero de Covas. V. N. de Cerveira - NW Portugal. Sector A. Publicações do Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências do Porto, ISSN 1645-3360

CONDE, L. N., PEREIRA, V., RIBEIRO, A. & THADEU, D., 1971. Jazigos Hipogénicos de Estanho e Volfrâmio. I CHLAGE, Madrid-Lisboa, Livro-Guia Excursão nº 7, DGGM e Ser. Geol. Portug., Lisboa, 81pp.

DIAS, G. T., 1983-85. Caracterização Geoquímica dos Complexos Graníticos de S. Ovidio, Nora e Arga (Minho, Portugal). Bol. Sol. Geol. Portug., 24:37-48.

DIAS, G. T., 1984. Granitos Hercínicos Sintectónicos da Área de Ponte de Lima (Norte de Portugal) - Evolução Geoquímica. Mem. Not., Coimbra, 98:9-33.

DIAS, G. T., 1987. Mineralogia e Petrologia de Granitos Hercínicos Associados a Mineralizações Filonianas de Sn-W (Minho, Portugal). Tese Doutoramento, Universidade do Minho, Braga, 304 pp.

DIAS, G. & BOULLIER, A. M., 1985. Évolution Tectonique, Métamorphique et Plutonique d'un Secteur de la Chaîne Hercynienne Ibérique (Ponte de Lima, Nord du Portugal), Bull. Soc. Geol., France, (8), I, Nº 3: 423-434.

EINAUDI, M. T., MEINERT, L. D. & NEWBERRY, R. J., 1981. Skarn Deposits., Economic Geology, 75th Anniversary Volume, p.317-391

EINAUDI, M. T. & BURT, D. M., 1982. Introduction – Terminology, Classification and Composition of Skarn Deposits. Econ. Geol., 77: 745-754

FARINHA, J. A., 1989. Região Mineira de Covas (Caminha), Corpo Minério da Telheira, Tonelagem, Teor, Aspectos Morfológicos e Estruturais: Ptecialidades, Direcção-Geral de Geologia e Minas, Serviço de Fomento Mineiro e Indústria Extractiva

FERREIRA, D. B., 1981. Carte Géomorphologique du Portugal. Mem. Centro Est, Geográf., Lisboa, 6:54 pp.

FERREIRA, N., IGLESIAS, M., NORONHA, F., PEREIRA, E., RIBEIRO, A. & RIBEIRO, M. L., 1988. Granitóides da Zona Centro Ibérica e seu Enquadramento Geodinâmico, In: F. Bea et al. (Editores), Geologia de los Granitoides y Rocas Asociadas dei Macico Hesperico, Libro Homenage a L, C. Garcia de Figueirola. Editorial Rueda, Madrid, pp,37-51.

FONTEILLES, M. Os Skarns (não publicado)

FONTEILLES, M., 1978. Les Mecanismes de la Metassomatose, Bull. Minéral. 101: 166-194

FONTEILLES, M. & GARCIA, D., 1985. Le Grenat Mixte Grossulaire-Almandine (Spessartite) comme Indicateur d'une Source Magmatique Proche dans les Gites de Skarns a Tungstène, C. R. Acad. Sci., Paris, (2^a Sér.), 300:807-810.

GARCIA, D., FOUILLAC, A. M. & GUY, B., 1979. Comments on the Behaviour of Geochemical Traces in Métassomatic Processes and on Their Relative Efficiency as Indicators of Magma-Derived Minéralizations (W, Sn, Ta, Mo, ...)

GOUVEIA, J. A. C., 1980. Pedido de áreas em exclusivo de pesquisa na região de Covas – Apreciação dos trabalhos da Union Carbide. Direcção-Geral de Geologia e Minas

GOVARE. N., 1984. Étude de Sections Polies du Gisement de Tungstène de Covas au Portugal. Estágio, Univ. Paris VI, Paris, 37 pp.

HINDE, C., 2008. Tungsten. Mining Journal Special Publication, 16pp

INSTITUTO GEOGRÁFICO DO EXÉRCITO, 1996 - Carta Militar de Portugal – Folha 15, Paredes de Coura. Escala 1:25.000, Série M 888, Edição 2, ISBN-972-764-899-1

INSTITUTO GEOGRÁFICO DO EXÉRCITO, 1997- Carta Militar de Portugal – Folha 14, Caminha. Escala 1:25.000, Série M 888, Edição 2, ISBN-972-764-898-3

IVANOVA, G. F., 1986. Geochemistry of Tungsten. In: A. A. Beus (Editor), Geology of Tungsten, Int. Geol. Correl. Progr. Proj. 26 “MAWAM”. UNESCO, Paris, pp. 12-43

IVANOVA, G. F., 1988. Geochemical Conditions of Formation of Various Composition Wolframites. Bull. Minéral, 111:7

JAHNS, R. H. & BURNHAM, C. W., 1969. Experimental Studies of Pegmatite Genesis: I. A Model for the Derivation and Crystallization of Granitic Pegmatites. Econ. Geol., 64: 843-864

JULIVERT, M., FONTBOTE, J., RIBEIRO, A. & CONDE, L., 1974. Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares, escala 1.000.000, Inst. Geol. Min. España, Madrid, 113 pp.

KORZHINSKII, D. S., 1970. Theory of metasomatic zoning. Oxford University Press, 162 pp.

LANG, J. R. & BAKER, T., 2001. Intrusion-related gold systems: the present level of understanding. Mineralium Deposita, 36: 477-489

MARSHALL, C. P. & FAIRBRIDGE, R. W., 1999. Encyclopedia of Geochemistry Kluwer Academic Publishers, Netherlands. 712pp.

MEINERT, L. D., 1982. Skarn, manto, and breccia pipe formation in sedimentary rocks of the Cananea mining district, Sonora, Mexico: Economic Geology, v. 77, p. 919-949

MEINERT, L. D., DIPPLE, G. M. & NICOLESCU, S., 2005. World Skarn Deposit. Society of Economic Geologists, Inc. Economic Geology 100th Anniversary Volume, p. 229-336

MINISTÉRIO DA CULTURA – Decreto nº67/97, Diário da República. I Série-B, Nº301-31-12-1997

NEIVA, J. C., 1944. Jazigos Portugueses de Cassiterite e de Volframite, Tese de Doutoramento, Univ. Porto, 251 pp.

NEIVA, J. C., 1954a. Pegmatitos com Cassiterite e Tantalito-Columbite da Cabração (Ponte do Lima-Serra de Arga), Mem. Not.,Coimbra, 36:71pp.

NEIVA, J. C., 1954b. Tantalite-Columbite de la Serra de Arga, Estud. Notas Trab. Serv. Fom. Min., Porto, 9:5-7.

NEIVA, J. C., CARNEIRO, F. S. & NEVES, J. C., 1956. Pseudomorfoses de Scheelite em Ferberite. Estud. Notas Trab. Serv. Fom. Min. Porto, 11:113-117

PASCAL, M. L., 1984. Nature et Propriétés des Espèces enSolution dans le Système $K_2O-Na_2O-SiO_2-Al_2O_3-H_2O-HCl$: Contribution Experimentale, Thèses, Paris

PERTSEV, N. N., 1971. Paragéneses de Minerais de Boro nos Skarns Magnesianos (em russo). Nauka Press, Mosvoco, 192 pp.

PITFIELD, P. & BROWN, T., 2011. Tungsten, British geological Survey, Keyworth, Nottingham, United Kingdom

PRICE, B. J., 2012. Technical (NI-43-101) Report Covas Tungsten Deposit, Covas Area, Vila Nova de Cerveira and Caminha, Blackheath Resources Inc.

RIBEIRO, A., 1974. Contibution a l'Étude Tectonique de Trás-os-Montes Oriental. Mem. Serv. Geol. Portug, 24: 168 p.

ROCKWORKS 15, 2008. Help files, RockWare ®

ROMARIZ, C., 1969. Graptólitos Silúricos do Noroeste Peninsular, *Comum. Serv. Geol. Portug.*, 53:107-155

SALEMINK, J., JONG, A. M. & OOSTEROM, M. J., 1986. Petrological and 180/160 Characteristics of "W skarn Associated" and "W-Barren" Granitoids in the (E-) Pyrénées an NW-Portugal, EEC Report, State University of Utrecht, 62 pp.

SALEMINK, J., JONG, A. M. & OOSTEROM, M. J., 1987. Lithogeochemical Parameters and Models in the Search for Tungsten Mineralization. EEC Report, State University of Utecht, 74 pp

SERVIÇOS GEOLÓGICOS DE PORTUGAL, 1962 – Carta Geológica de Portugal, Folha 1-C Caminha, Escala 1:50.000

SILVEIRA, C. S. L., 2008. O interesse do tungsténio (W) e estanho (Sn) da mina da Panasqueira, Contributo para o ensino das Ciências da Natureza. Tese de Mestrado, UTAD, Vila Real

TEIXEIRA, C., MEDEIROS, A. C. & COELHO, A. P., 1972. Carta Geológica de Portugal na escala 1/50.000, Notícia Explicativa da Folha 5-A, Viana do Castelo. *Serv. Geol. Portug.*, Lisboa, 43 pp.

TEIXEIRA, C. & TORRE DE ASSUNÇÃO, C., 1961. Notícia Explicativa da Folha 1-C, Caminha, da Carta Geológica de Portugal

THADEU, D., 1973. Les Gisements Stanno-Wolframitiques du Portugal. *Ann. Soc. Géol, Belgique*, 96:5-30.

WERNER, A. B. T., SINCLAIR, W. D. & AMEY, E. E., 1998. International Strategic Mineral Issues Summary Report – Tungsten. U. S. Geological Survey Circular 930-0, 71pp

Referências da internet:

URL 1: Report on critical raw materials for the EU: Report of the Ad hoc Working group on defining critical raw materials (consultado a 28/5/2013)

http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/files/docs/crm-report-on-critical-raw-materials_en.pdf

URL 2: Report on critical raw materials for the EU: Critical raw materials profiles (consultado a 28/5/2013)

http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/files/docs/crm-critical-material-profiles_en.pdf

URL 3: *Blackheath Resources Starts Drilling at the Covas Tungsten Project* (consultado em 15/1/2014)

www.blackheathresources.com/s/NewsReleases.asp?ReportID=549912&_Type=News-Releases&_Title=Blackheath-Resources-Starts-Drilling-at-the-Covas-Tungsten-Project

URL 4: *Blackheath Announces Award of Mining Licence for Covas Tungsten Project* (consultado em 15/1/2014)

www.blackheathresources.com/s/NewsReleases.asp?ReportID=598615&_Type=News-Releases&_Title=Blackheath-Announces-Award-of-Mining-Licence-for-Covas-Tungsten-Project

URL 5: *Blackheath Commences Phase 2 Drill Program on Covas Tungsten Project* (consultado em 15/1/2014)

www.blackheathresources.com/s/NewsReleases.asp?ReportID=605315&_Type=News-Releases&_Title=Blackheath-Commences-Phase-2-Drill-Program-on-Covas-Tungsten-Project

URL 6: Reserves and Resources (consultado em 14/05/2014)

<http://www.kinross.com/operations/reserves-and-resources.aspx>

URL 7: CRIRSCO - Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards (consultado em 14/05/2014)

<http://www.crirSCO.com/background.asp>

URL 8: Tungstênio (consultado em 1/3/2014)

https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=3977

URL 9: *Metal-pages Historical Tungsten Pricing (Annual Mean Averages)*

(consultado em 28/3/2014)

http://www.itia.info/assets/files/statistisc/web_metal-pages-2013.pdf

URL 10: Metal Prices – Tungsten (consultado em 3/6/2014)

<http://www.metal-pages.com/metalprices/tungsten>

URL 11: *RockWorks16® da Rockware Incorporated*

<http://www.rockware.com/product/overview.php?id=165>

URL 12: *Zonum Solutions – Free Software Tools* (consultado em 14/11/2013)

<http://www.zonums.com/gmaps/terrain.php?action=sample>

URL 13: *Google Earth™*

<http://www.google.com/earth/>

URL 14: *TatukGIS Calculator*

<http://www.tatukgis.com/>

URL 15: *Paint.NET© 2013*

<http://www.getpaint.net/index.html>

URL 16: *Metacarta Rectifier*

<http://labs.metacarta.com/rectifier/>

URL 17: *The Great Soviet Encyclopedia, 3rd Edition (1970-1979). © 2010 The Gale Group, Inc. All rights reserved* (consultado em 16/12/2013)

<http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/Tungsten+Ores>

Imagem da folha de rosto: Mineral scheelite

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/35/Scheelite-ss22a.jpg>

ANEXOS

Anexo 1 - Algoritmos

Inverso da distância

Este método generalista é um dos mais utilizados na geração de redes e pressupõe a dependência espacial do universo amostral. A atribuição de valores à variável é efetuada através de uma média ponderada à distância a que se encontram os diversos pontos amostrais de cada nódulo.

Inverso da distância anisotrópico

Este algoritmo é uma variante do método anterior que permite efetuar pesquisa direcional, melhorando a interpolação dos nódulos situados entre “enxames” de pontos amostrais. Revela-se particularmente útil na modelação de dados referentes a jazigos estratiformes.

Lithoblending

É utilizado exclusivamente na modelação da litologia.

Baseia-se numa pesquisa horizontal cilíndrica e centrífuga à volta de cada ponto de controlo, atribuindo a cada nódulo um litocódigo referente à litologia desse mesmo ponto.

Kriging

Implicitamente usado na variografia, este sofisticado algoritmo analisa a população amostral, por incrementos azimutais e de distância, e tenta identificar a melhor correlação entre a variabilidade dos dados função da distância para quatro leis a saber: linear, exponencial, esférica e de Gauss, todas com ou sem efeito *nugget*.

A lei de melhor ajuste é a utilizada na interpolação da rede.

Anexo 2- Tabela “Skarn”

Relatório dos recursos de “skarn” em intervalos cotados de metro a metro, entre as cotas 242 m e 368m.

A coluna intitulada “%” refere-se à percentagem volumétrica de “skarn” em cada intervalo.

Cotas (m)	Volume (m ³)	Massa (Ton)	%	Cotas (m)	Volume (m ³)	Massa (Ton)	%
368-367	45.28	135.82	0.02	325-324	2 173.63	6 520.89	1.14
367-366	100.00	300.00	0.05	324-323	2 648.02	7 944.05	1.39
366-365	50.00	150.00	0.03	323-322	3 657.47	10 972.41	1.93
365-364	290.55	871.65	0.15	322-321	3 609.45	10 828.35	1.90
364-363	245.27	735.82	0.13	321-320	3 857.47	11 572.41	2.03
363-362	350.00	1 050.00	0.18	320-319	4 485.82	13 457.47	2.36
362-361	300.00	900.00	0.16	319-318	5 216.92	15 650.76	2.75
361-360	354.73	1 064.18	0.19	318-317	5 740.55	17 221.65	3.02
360-359	495.27	1 485.82	0.26	317-316	5 187.81	15 563.42	2.73
359-358	631.09	1 893.29	0.33	316-315	6 296.04	18 888.10	3.31
358-357	1 326.37	3 979.11	0.70	315-314	7 116.92	21 350.76	3.75
357-356	1 340.55	4 021.65	0.71	314-313	7 909.45	23 728.35	4.16
356-355	878.35	2 635.06	0.46	313-312	7 554.73	22 664.18	3.98
355-354	1 140.55	3 421.65	0.60	312-311	7 966.92	23 900.76	4.19
354-353	1 576.37	4 729.11	0.83	311-310	8 952.74	26 858.23	4.71
353-352	1 781.10	5 343.29	0.94	310-309	11 117.68	33 353.04	5.85
352-351	1 854.73	5 564.18	0.98	309-308	10 730.34	32 191.01	5.65
351-350	2 100.00	6 300.00	1.11	308-307	8 508.69	25 526.07	4.48
350-349	1 971.65	5 914.94	1.04	307-306	7 564.18	22 692.53	3.98
349-348	2 450.00	7 350.00	1.29	306-305	7 809.45	23 428.35	4.11
348-347	2 187.81	6 563.42	1.15	305-304	7 931.10	23 793.29	4.17
347-346	1 640.55	4 921.65	0.86	304-303	7 695.27	23 085.82	4.05
346-345	2 040.55	6 121.65	1.07	303-302	8 535.82	25 607.47	4.49
345-344	2 752.74	8 258.23	1.45	302-301	8 109.45	24 328.35	4.27
344-343	2 292.53	6 877.59	1.21	301-300	8 154.73	24 464.18	4.29
343-342	2 540.55	7 621.65	1.34	300-299	7 411.43	22 234.30	3.90
342-341	3 071.65	9 214.94	1.62	299-298	6 473.63	19 420.89	3.41
341-340	2 487.81	7 463.42	1.31	298-297	5 842.53	17 527.59	3.08
340-339	1 814.18	5 442.53	0.96	297-296	4 728.35	14 185.06	2.49
339-338	1 890.55	5 671.65	1.00	296-295	4 650.00	13 950.00	2.45
338-337	2 050.00	6 150.00	1.08	295-294	4 047.26	12 141.77	2.13
337-336	1 883.08	5 649.24	0.99	294-293	3 078.35	9 235.06	1.62
336-335	1 200.00	3 600.00	0.63	293-292	3 345.27	10 035.82	1.76
335-334	1 731.10	5 193.29	0.91	292-291	2 864.18	8 592.53	1.51
334-333	1 990.55	5 971.65	1.05	291-290	2 423.63	7 270.89	1.28
333-332	2 200.00	6 600.00	1.16	290-289	2 898.02	8 694.05	1.53
332-331	2 040.55	6 121.65	1.07	289-288	3 681.10	11 043.29	1.94
331-330	1 868.90	5 606.71	0.98	288-287	3 726.37	11 179.12	1.96
330-329	1 718.90	5 156.71	0.91	287-286	4 176.37	12 529.12	2.20
329-328	1 771.65	5 314.94	0.93	286-285	4 542.53	13 627.59	2.39
328-327	2 200.00	6 600.00	1.16	285-284	4 271.65	12 814.94	2.25
327-326	2 035.82	6 107.47	1.07	284-283	4 333.08	12 999.24	2.28
326-325	2 300.00	6 900.00	1.21	283-282	3 881.10	11 643.29	2.04

Cotas (m)	Volume (m³)	Massa (Ton)	%	Cotas (m)	Volume (m³)	Massa (Ton)	%
282-281	4 535.82	13 607.47	2.39	261-260	6 514.18	19 542.53	3.43
281-280	4 504.73	13 514.18	2.37	260-259	7 000.00	21 000.00	3.68
280-279	4 478.35	13 435.06	2.36	259-258	7 564.94	22 694.81	3.98
279-278	3 800.00	11 400.00	2.00	258-257	6 153.21	18 459.62	3.24
278-277	3 618.90	10 856.71	1.91	257-256	5 079.12	15 237.34	2.67
277-276	3 490.55	10 471.65	1.84	256-255	4 587.81	13 763.42	2.42
276-275	3 333.08	9 999.24	1.75	255-254	4 061.43	12 184.30	2.14
275-274	2 873.63	8 620.89	1.51	254-253	4 066.92	12 200.76	2.14
274-273	3 126.37	9 379.12	1.65	253-252	4 209.45	12 628.35	2.22
273-272	3 295.27	9 885.82	1.73	252-251	3 378.35	10 135.06	1.78
272-271	3 090.55	9 271.65	1.63	251-250	3 704.73	11 114.18	1.95
271-270	3 581.10	10 743.29	1.89	250-249	3 073.63	9 220.89	1.62
270-269	3 454.73	10 364.18	1.82	249-248	2 351.98	7 055.95	1.24
269-268	3 183.08	9 549.24	1.68	248-247	2 226.37	6 679.11	1.17
268-267	3 602.74	10 808.23	1.90	247-246	2 781.10	8 343.29	1.46
267-266	3 885.82	11 657.47	2.05	246-245	2 001.98	6 005.95	1.05
266-265	3 904.73	11 714.18	2.06	245-244	1 564.18	4 692.53	0.82
265-264	4 821.65	14 464.94	2.54	244-243	1 685.82	5 057.47	0.89
264-263	6 700.76	20 102.28	3.53	243-242	780.34	2 341.01	0.75
263-262	7 816.92	23 450.76	4.11				
262-261	6 868.90	20 606.71	3.62				
Total	472 650.00	1 417 950.00					

Anexo 3 - Diagrafias

Seguidamente são apresentadas as diagrafias utilizadas na realização desta dissertação.

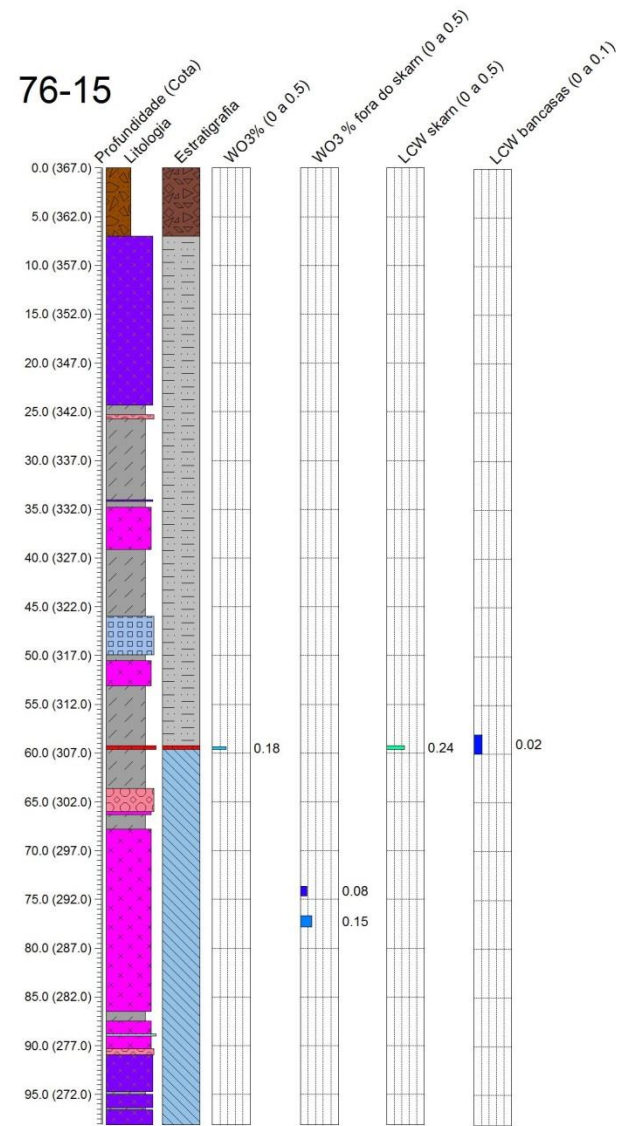
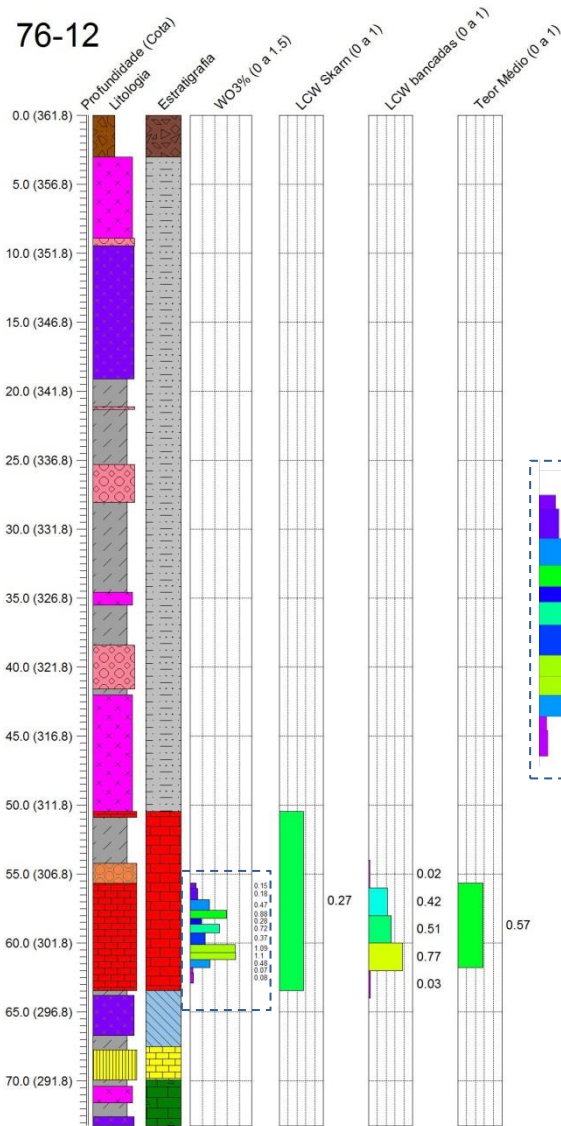
Nas diagrafias encontra-se a seguinte informação:

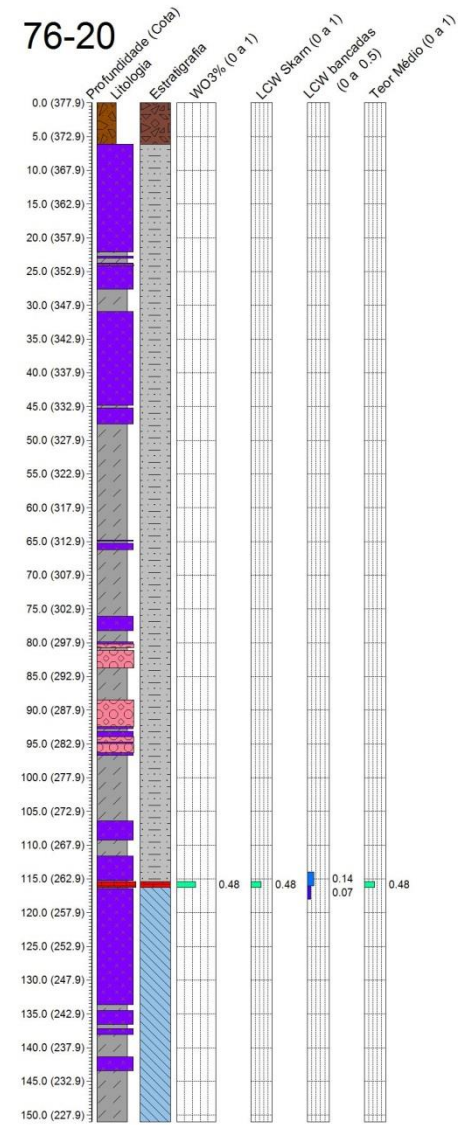
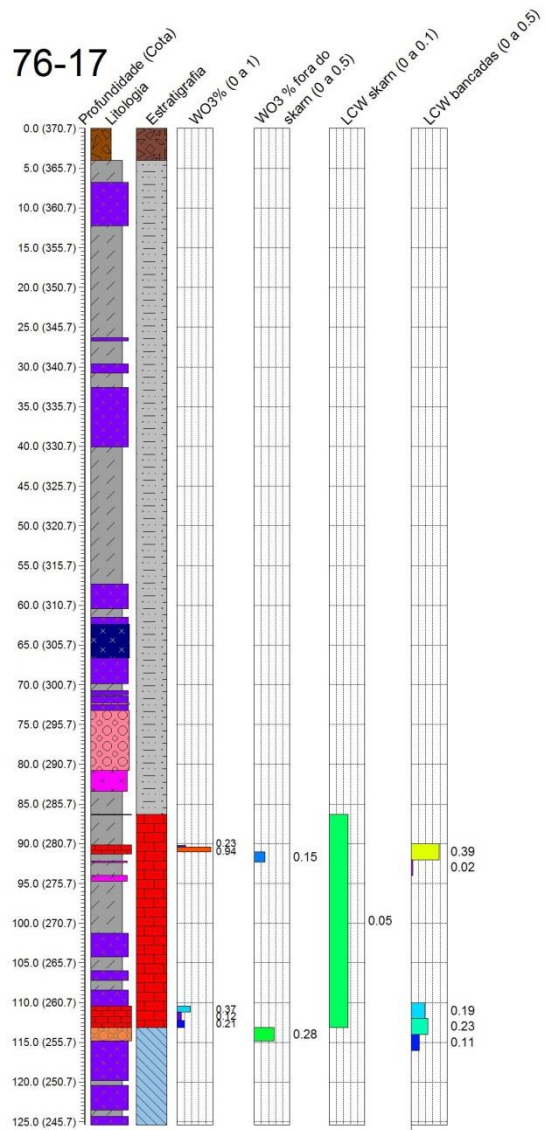
- profundidade sondada e respetivas cotas;
- litologia e estratigrafia atravessadas (ver legendas da ilustração 53) ;
- histograma de teores de WO_3 % dentro do “skarn” (para as que os têm);
- histograma de teores de WO_3 % fora do “skarn” (para as que os têm);
- histogramas resultantes da reamostragem de teores pelo método LCW na litologia e formação “skarn”;
- teor médio resultante da reamostragem de teores (apenas para as sondagens que não têm teores fora do “skarn”).

Em algumas diagrafias foi necessário ampliar-se do histograma de teores para tornar os dados mais visíveis.

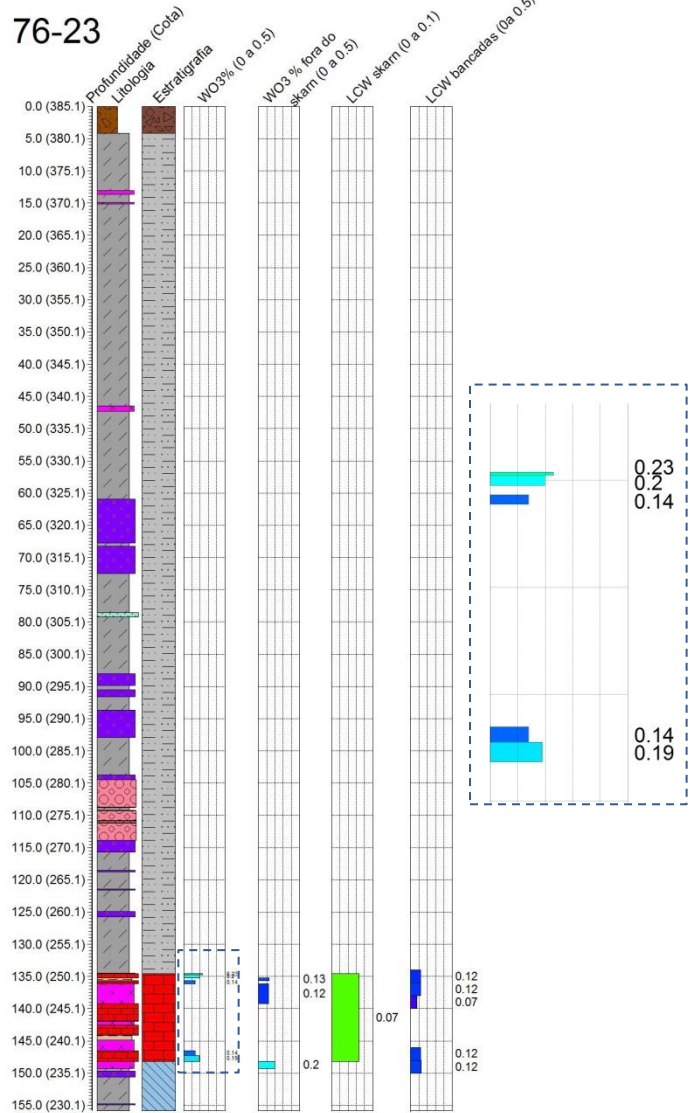
Todas as sondagens inclinadas se encontram sob o ponto de vista N320°, com exceção da sondagem 76-52 cujo ponto de vista é N315°.

A legenda da litologia e estratigrafia é a mesma da sondagem 76-10, apresentada anteriormente.





76-23



76-26

