UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

AVALIAÇÃO GEOESTATÍSTICA DO DEPÓSITO ESTANO-TUNGSTENÍFERO RELACIONADO AO MACIÇO GRANÍTICO CORREAS-RIBEIRÃO BRANCO-SP

JOSÉ MAXIMINO TADEU MIRAS FERRON

Orientador: Prof. Dr. Jorge Kazuo Yamamoto

Instituto de Geociências
BIBLIOTECA
T2886
U. S. P.

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO JULGADORA

	Nome	Assinatura
Presidente:	Prof. Dr. Jorge Kazuo Yamamoto	
Examinadores:	Prof. Dr. José Alberto Quintanilha	
	Prof. Dr. Paulo Milton Barbosa Landim	

SÃO PAULO
2000

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

AVALIAÇÃO GEOESTATÍSTICA DO DEPÓSITO ESTANO-TUNGSTENÍFERO RELACIONADO AO MACIÇO GRANÍTICO CORREAS-RIBEIRÃO BRANCO-SP

José Maximino Tadeu Miras Ferron

Instituto de Geociências
BIBLIOTECA
T2886
U. S. P.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Kazuo Yamamoto

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

DEDALUS - Acervo - IGC
30900004363

SÃO PAULO
2000

Resumo

Esta dissertação apresenta os resultados de um estudo geoestatístico realizado sobre os dados de pesquisa em um depósito estano-tungstenífero relacionado ao Maciço Granítico Correas, localizado no Município de Ribeirão Branco – SP. Este depósito mineral foi intensivamente pesquisado pela Mineração Taboca S.A., em cooperação com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Est. de São Paulo – IPT. Cerca de 5000 metros de sondagem rotativa a diamante foram realizados resultando na descoberta de seis corpos de greisens mineralizados a Sn e W. Estes corpos apresentam dimensões variando de 20 a 200 m e encontram-se próximos um do outro desenhando uma geometria altamente complexa. Esta mineralização está associada com albititos e greisens derivados de alterações tardi a pós-magmáticas associadas à cúpula granítica. Os dados de pesquisa originados das amostras coletadas ao longo de 5000 m de sondagem rotativa a diamante constituem a base de dados para este trabalho. Todos os dados disponíveis foram lançados em seções horizontais e verticais a fim de proceder à interpretação geológica que permitiu a delineação dos corpos de greisen mineralizados. Para esta interpretação foram considerados não somente os teores de Sn-W mas também as observações de campo e o modelo geológico da mineralização. Este passo deve preceder qualquer processamento posterior à medida que ela permite a separação entre minério e rejeito ou rochas hospedeiras. Assim, com o objetivo de caracterizar os corpos de greisen, foram realizadas as análises estatística e geostatística. Baseado no modelo de variograma resultante da análise geoestatística, a técnica da krigagem ordinária foi aplicada para avaliar os recursos minerais medidos do Depósito Correas. Os resultados finais desse estudo de avaliação indicam que o Depósito Correas apresenta um total de 1.472.492 t de minério com teores médios de 0,130% de Sn e 0,043% de W, os quais correspondem respectivamente a 1907 t de Sn e 631 t de W.

Abstract

This dissertation presents the results of a geostatistical study carried out on exploration data from the Sn-W deposit related to the Correas Granitic body, located in the district of Ribeirão Branco – SP. This mineral deposit was intensively explored by Mineração Taboca S.A. in cooperation with Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Est. de São Paulo – IPT. About 5000 meters of diamond drill holes have been made, which resulted in the discovery of six bodies of Sn-W mineralized greisens. These bodies present dimensions varying from 20 to 200m and are close each other drawing a highly complex geometry. The mineralization is associated with albitites and greisens derived from tardi to post-magmatic alterations associated with the granitic dome. The exploration data coming from samples gathered along 5000 m of diamond drill holes constitute the database for this research. All available data were plotted in horizontal and vertical sections in order to proceed the geological interpretation which allowed delineation of mineralized greisen bodies. For this interpretation were considered not only Sn-W grades but also the field observation and the geological model of the mineralization. This step has to precede any further processing because it allows separation between ore and waste or host rocks. Thus in order to characterize the greisen bodies statistical and geostatistical analyzes were carried out. Based on the variogram model draft in the previous analysis ordinary kriging was applied to evaluate the measured mineral resources in the Correas Deposit. The final results of this evaluation study indicate that the Correas Deposit presents a total of 1,472,492 t of ore with average grades of 0.130% of Sn and 0.043% of W, which corresponds respectively to 1907 t of Sn and 631 t of W.

Agradecimentos

À minha esposa e filhos pela paciência, finais de semanas, feriados e noites ausentes.

Ao Grupo Paranapenema S A - Mineração Taboca S A, pelo fornecimento da base de dados, *softwares*, apoio logístico e autorização para a realização deste trabalho.

Ao meu orientador, Professor Doutor Jorge Kazuo Yamamoto, pelo apoio e ensinamentos geoestatísticos.

Ao amigo Geólogo Cláudio Goraieb, do IPT, pelas discussões sobre a geologia da área.

Ao amigo Eng. De Minas Josimar S. Pires, gerente geral da Mina Pitinga – Mineração Taboca S A, pela constante ajuda na resolução de problemas geoestatísticos.

Ao amigo Geólogo Marcelo M. Rocha, doutorando do IG / USP, pelo apoio prestado.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO 1

1.1 Objetivos 2

1.2 Breve histórico sobre a área de estudo 3

1.3 Resumo das reservas / recursos minerais 3

2. ASPECTOS GERAIS DA ÁREA 4

2.1 Localização e vias de acesso 4

2.2 Fisiografia 6
2.2.1 Clima 6
2.2.2 Relevo 6
2.2.3 Hidrografia 7
2.2.4 Vegetação, ocupação do solo e aspectos sócio-econômicos 7

3. GEOLOGIA 9

3.1 Geologia regional 9

3.2 Geologia local 11

4. TRABALHOS REALIZADOS 16

4.1 Metodologia 16

4.2 Inventário de dados disponíveis 16

4.3 Base de dados 16
4.3.1 Base de dados litológicos – considerações 18
4.3.2 Análises químicas 20

4.4 Divisão da área mineralizada em sub-populações 21

4.5 Regularização das amostras 21

4.6 Delineação dos corpos de minério 22
4.6.1 Seções verticais 24
4.6.2 Seções horizontais 26
4.6.3 Comentários sobre os procedimentos adotados 26

4.7 Definição dos modelos tridimensionais de blocos 35

4.8 Estimação geoestatística e avaliação de recursos / reservas 38
4.8.1 Identificação dos dados espacialmente 38
- Estatística espacial 39
- Mapa base 39

4.8.2 Estatística básica 41
- Parâmetros estatísticos básicos (amostras brutas) 41
- Histograma dos dados globais (amostras brutas) 42
- Análise de correlação (amostras brutas) 44
- Parâmetros estatísticos básicos (amostras regularizadas) 46
- Histograma dos dados globais (amostras regularizadas) 47
- Caráter lognormal da distribuição das variáveis Sn e W (amostras regularizadas) 49
- Análise de correlação (amostras regularizadas) 51
- Coeficiente de variação (amostras regularizadas) 53
4.8.3 Seleção de teores de Sn e W das amostras regularizadas 54
4.8.4 Análise estrutural 56
- Definição dos semi-variogramas 56
- Uso de variograma lognormal 57
- Base de dados utilizada na análise variográfica 58
- Corpo 1_4 58
- Corpo 5 63
- Corpo 6 67
- Comentários sobre a análise variográfica 69
4.8.5 Parâmetros de vizinhança 70
4.8.6 Validação do modelo variográfico 70

4.9 Krigagem ordinária 74
4.9.1 Krigagem lognormal 74
- Modelo tridimensional de blocos 75
- Auréolas de krigagem (parâmetros de vizinhança) 76
- Krigagem do Corpo 1_4 78
- Krigagem do Corpo 5 80
- Krigagem do Corpo 6 82
4.9.2 Resultados da krigagem 84
- Seleções dos blocos avaliados por classe de teor 84
- Parâmetros estatísticos dos blocos krigados 86
4.9.3 Comentários sobre os cálculos de krigagem 87

4.10 Estimativa de recursos / reservas 95
4.10.1 Critério de classificação de recursos / reservas adotados no presente trabalho 96
4.10.2 Apresentação dos resultados de avaliação dos recursos minerais 97
- Recursos do Corpo 1_4 97
- Recursos do Corpo 5 99
- Recursos do Corpo 6 101
- Recursos totais dos Corpos 1_4, 5 e 6 103
4.10.3 Comentários sobre os critérios de cálculo e classificação dos recursos minerais. 103

5. CONCLUSÕES 105

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 110

Índice de Figuras

Figura 1 - Mapa de situação 5
Figura 2 - Mapa geológico e de sondagem dos corpos de minério 15
Figura 3 - Seção geológica esquemática mostrando a delimitação dos corpos de minério 28
Figura 4 - Seção geológica vertical – LS4 (Corpo 1_4) – esc. 1:625 29
Figura 5 - Seção geológica horizontal – N16 – cota 915m (Corpo _4) esc.1:2000 30
Figura 6 - Seção geológica vertical – -350LS (Corpo 5) – esc. 1:625 31
Figura 7 - Seção geológica horizontal – N13 – cota 900m (Corpo 5) – esc. 1:2000 32
Figura 8 - Seção geológica vertical – -100LS (Corpo 6) – esc. 1:625 33
Figura 9 - Seção geológica horizontal – N15 – cota 910m (Corpo 6) – esc. 1:2000 34
Figura 10 - Representação esquemática da ident. das litologias nos blocos de cubagem 36
Figura 11 - Mapa base dos furos de sondagem – por corpo de minério 40
Figura 12 - Histogramas dos dados globais - amostras brutas de Sn e W 43
Figura 13 - Gráfico de correlação - amostras brutas de Sn e W 45
Figura 14 - Histograma dos dados globais - amostras regularizadas de Sn e W 48
Figura 15 - Gráficos de probabilidade normal e lognormal – litologias GEI e GE 50
Figura 16 - Gráfico de correlação - amostras regularizadas de Sn e W 52
Figura 17 - Variogramas experimentais das variáveis Sn e W para a litologia GEI,
e os ajustes dos modelos teóricos correspondentes - Corpo 1_4 61
Figura 18 - Variogramas experimentais das variáveis Sn e W para a litologia GE,
e os ajustes dos modelos teóricos correspondentes - Corpo 1_4 62
Figura 19 - Variogramas experimentais das variáveis Sn e W para a litologia GEI,
e os ajustes dos modelos teóricos correspondentes - Corpo 5 65
Figura 20 - Variogramas experimentais das variáveis Sn e W para a litologia GE,
e os ajustes dos modelos teóricos correspondentes - Corpo 5 66
Figura 21 - Variogramas experimentais das variáveis Sn e W para a litologia
GE+GEI, e os ajustes dos modelos teóricos correspondentes - Corpo 6 68
Figura 22 - Gráficos de validação cruzada - lito GEI - variável Sn - Corpo 1_4 72
Figura 23 - Gráficos de validação cruzada - lito GEI - variável W - Corpo 1_4 73
Figura 24 - Blocos estimados por krigagem - estimativa de Sn
litologia GEI - Corpo 1_4 89
Figura 25 - Seçoes horizontais de blocos estimados por krigagem - estimativa de Sn
litologia GEI - Corpo 1_4 90
Figura 26 - Blocos estimados por krigagem - estimativa de W
litologia GEI - Corpo 1_4 91

Figura 27 - Seções horizontais de blocos estimados por krigagem - estimativa de W
litologia GEI - Corpo 1_4 92
Figura 28 - Blocos estimados por krigagem - estimativa de Sn
litologia GEI - Corpo 5 93
Figura 29 - Seções horizontais de blocos estimados por krigagem - estimativa de Sn
litologia GEI - Corpo 5 94

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Resumo dos recursos de Sn e W 4
Tabela 2 - Número de amostras por corpo de minério 22
Tabela 3 - Códigos litológicos e densidades 24
Tabela 4 - Número de seções geológicas verticais por corpo de minério 24
Tabela 5 - Número de seções geológicas horizontais por corpo de minério 26
Tabela 6 - Parâmetros de definição dos modelos de blocos 37
Tabela 7 - Estatística básica - dados globais – amostras brutas 42
Tabela 8 - Estatística básica – dados globais – amostras regularizadas 47
Tabela 9 - Coeficientes de variação de amostras brutas e regularizadas 53
Tabela 10 - Parâmetros estatísticos - Sn e W < 1.00% - independente da litologia 55
Tabela 11 - Parâmetros estatísticos - Sn e W < 1.00% - por tipo litológico (minério) 55
Tabela 12 - Base de dados utilizada na definição dos semi-variogramas 58
Tabela 13 - Parâmetros para o cálculo dos variogramas experimentais - Corpo 1_4 60
Tabela 14 - Parâmetros de ajuste dos variogramas experimentais - Corpo 1_4 60
Tabela 15 - Parâmetros para o cálculo dos variogramas experimentais - Corpo 5 63
Tabela 16 - Parâmetros de ajuste dos variogramas experimentais - Corpo 5 64
Tabela 17 - Parâmetros para o cálculo dos variogramas experimentais - Corpo 6 67
Tabela 18 - Parâmetros de ajuste dos variogramas experimentais - Corpo 6 67
Tabela 19 - Número de blocos por tipo litológico 77
Tabela 20 - Parâmetros de vizinhança utilizados na krigagem do Corpo 1_4 79
Tabela 21 - Parâmetros de vizinhança utilizados na krigagem do Corpo 5 81
Tabela 22 - Parâmetros de vizinhança utilizados na krigagem do Corpo 6 83
Tabela 23 - Parâmetros estatísticos dos blocos krigados – Corpos 1_4, 5 e 6 87
Tabela 24 - Resumo dos recursos do Corpo 1_4 – totais 98
Tabela 25 - Resultados da krigagem – por classe de teor - Corpo 1_4 98
Tabela 26 - Resumo dos recursos do Corpo 5 – totais 100
Tabela 27 - Resultados da krigagem – por classe de teor - Corpo 5 100
Tabela 28 - Resumo dos recursos do Corpo 6 – totais 102
Tabela 29 - Resultados da krigagem – por classe de teor - Corpo 6 102
Tabela 30 - Resumo total dos recursos avaliados – Corpos 1_4 + 5 + 6 103

Índice de Anexos

Anexo 1 - Fluxograma do agrupamento dos tipos litológicos - completo
Anexo 2 - Teores por tipo litológico - completo.

1. INTRODUÇÃO

Neste trabalho é apresentada a *"Avaliação Geoestatística de Depósito Estano-Tungstenífero Relacionado ao Maciço Granítico Correas – Ribeirão Branco-SP"*. Com este propósito, são aqui discutidos e avaliados os dados reais de pesquisa geológica sistemática desenvolvidos pela Mineração Taboca S.A., em parceria com o IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, na área em questão.

Este depósito está relacionado a um conjuntos de albititos e greisens derivados de alterações tardi a pós-magmáticas associadas à cúpula granítica (Maciço Granítico Correas), distribuídos em seis corpos de minério de dimensões variando de 20 a 200 m de extensão, próximos entre si, e que desenham uma geometria altamente complexa.

Os trabalhos realizados envolvem o tratamento geoestatístico completo de um conjunto de dados abrangendo desde a estatística básica, estudo estrutural (variografia) até a krigagem ordinária, chegando-se a estimativa de recursos do depósito. Os estudos geoestatísticos, variografia e krigagem de blocos, foram realizados utilizado-se o software ISATIS, versão 3.0. O banco de dados original foi elaborado no *software* ACCESS 7.0, banco de dados relacional da Microsoft. Na interpretação das seções geológicas, delineação dos corpos de minério, criação dos modelos de blocos e identificação do percentual das diferentes litologias dos blocos, foram utilizados os *softwares* da Gemcom Services, composto de 3 módulos: Pcxplor, Geomodel e PC-Mine.

No desenvolvimento do presente trabalho foi de suma importância a interpretação geológica de seções verticais e horizontais, confeccionadas a partir de informações de furos de sondagem e de mapeamento geológico de superfície e de trincheiras, que serviram de base para a delineação da geometria dos corpos avaliados.

Como resultado final apresenta-se um estudo geoestatístico para avaliação de recursos de um depósito mineral de Sn e W, de alta variabilidade e grande complexidade estrutural e genética.

1.1 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho foi a avaliação geoestatística dos recursos estano-tungsteníferos do depósito denominado Correas, utilizando-se de conceitos teóricos e fundamentos geoestatísticos, com ênfase na importância da definição e interpretação geológica dos dados de pesquisa, na obtenção de resultados confiáveis do ponto de vista prático.

Os principais tópicos abordados para se atingir os objetivos propostos foram:

⇒ Revisão bibliográfica sobre a geologia da área em estudo;

⇒ Revisão bibliográfica sobre os conceitos teóricos da aplicabilidade de geoestatística na avaliação de depósitos minerais;

⇒ Inventário das informações disponíveis e elaboração de banco de dados em meio magnético;

⇒ Interpretação geológica dos dados de pesquisa, abrangendo a elaboração de seções geológicas verticais e horizontais, estudo da distribuição dos teores no depósito e definição da geometria dos corpos de minério;

⇒ Compatibilização da interpretação geológica com o panorama da distribuição de teores, através de métodos computacionais, tendo como resultante a avaliação dos recursos minerais e o enquadramento dos mesmos conforme o grau de certeza associado.

1.2 Breve histórico sobre a área de estudo

- Em meados de 1986, com o patrocínio da Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado de São Paulo, através do Programa de Desenvolvimento de Recursos Minerais - Pró-Minério, o IPT iniciou a primeira etapa da pesquisa na área do Granito Correas, com a realização de trabalhos de prospecção e avaliação preliminar da potencialidade mineral das áreas correspondentes a cinco requerimentos de pesquisa mineral, somando 5000 hectares, nos municípios de Ribeirão Branco e Itapeva, região sul do Estado de São Paulo.

- Em Outubro de 1993, norteado por novas diretrizes administrativas, o IPT fez publicar o edital de concorrência pública nº 4067/93 para a seleção de "Empresa de Mineração, Brasileira e de Capital Nacional, para celebrar com o IPT Contrato de Colaboração para Pesquisa Complementar e Promessa de Arrendamento de Direitos Minerários para Lavra de Depósitos de Cassiterita, Wolframita e Associados".

- Em Janeiro de 1994, a empresa vencedora da concorrência pública, a Mineração Taboca S.A., empresa subsidiária do Grupo Paranapanema S.A, iniciou os trabalhos complementares de pesquisa.

- O trabalho aqui apresentado representa uma completa avaliação geoestatística da área, visando a estimativa de recursos / reservas minerais.

1.3 Resumo das reservas / recursos minerais

A classificação de reservas adotada no presente trabalho enquadra como ***Recursos Medidos e Recursos Indicados*** os bens minerais avaliados. Segundo o critério adotado, detalhado neste trabalho, *Recursos* são transformados em *Reservas*

quando se aplica a eles fatores econômicos, de mineração, metalúrgicos, mercadológicos, legais, ambientais, sociais e governamentais.

A Tabela 1 apresenta um resumo dos recursos minerais avaliados:

Tabela 1 - Resumo dos recursos de Sn e W.

Minério total (intemperizado + rocha sã) - Corpo 1_4, 5 e 6 - Recursos de Sn e W

recurso	massa (t)	conteúdo - Sn (t)	teor Sn (%)	massa (t)	conteúdo - W (t)	teor W (%)
medido	1459310.81	1894.26	0.130	1444275.76	627.27	0.043
indicado	13181.51	13.45	0.102	28216.56	4.39	0.016
total	1472492.32	1907.70	0.130	1472492.32	631.66	0.043

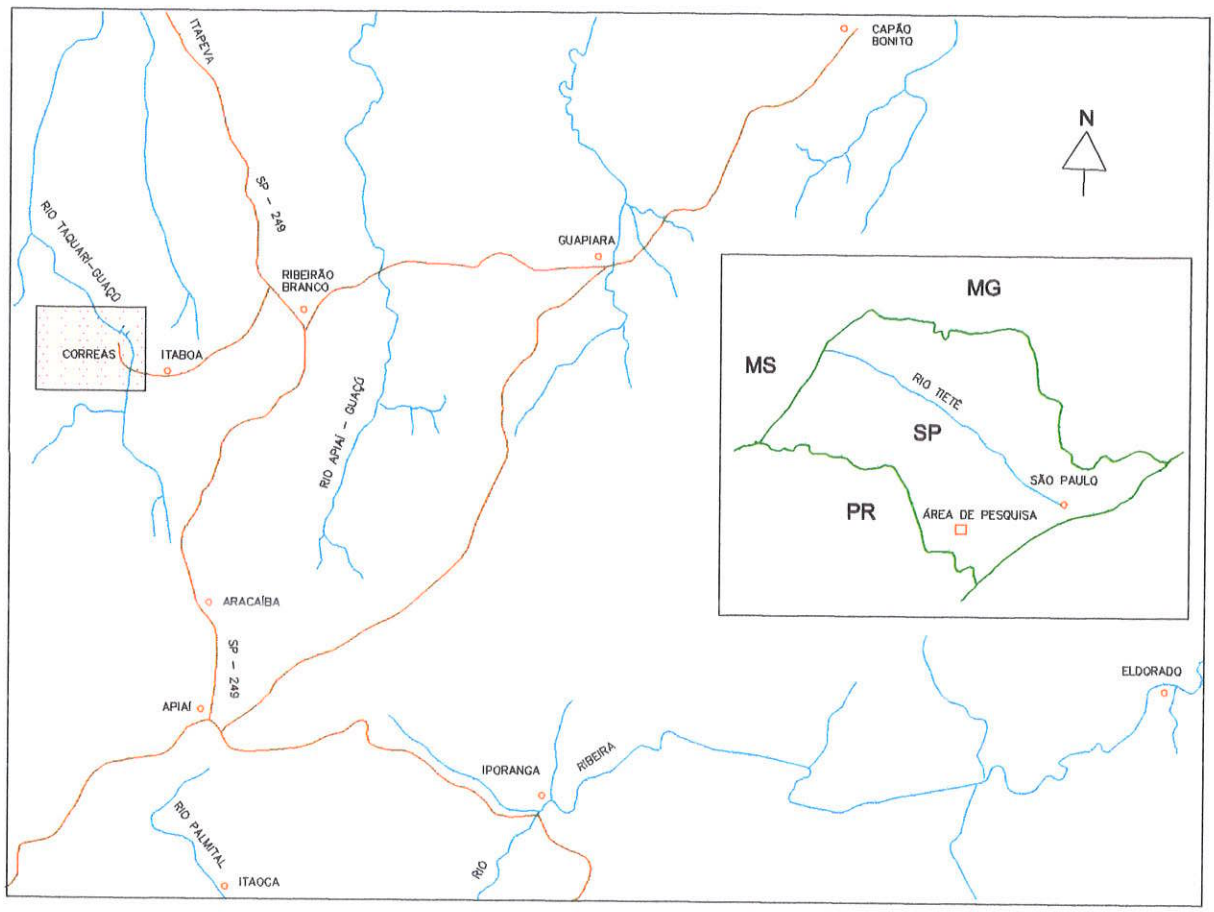
2. ASPECTOS GERAIS DA ÁREA

2.1 Localização e vias de acesso

A área do Projeto Correas localiza-se na região sul do Estado de São Paulo, entre os municípios de Ribeirão Branco e Itapeva, no distrito de Itaboa, município de Ribeirão Branco - SP, (Figura -1).

O acesso à área a partir da cidade de São Paulo, faz-se através das rodovias Presidente Castelo Branco (SP-280) até Sorocaba, seguindo-se pela rodovia Raposo Tavares (SP-270) até Itapetininga. A partir desta cidade, segue-se em direção a Capão Bonito pela SP-127, onde se pode optar por um percurso até Itapeva pela SP-258 ou até Guapiara seguindo-se pela SP-250. Desta última, é possível alcançar Ribeirão Branco pela SP-252. As cidades de Itapeva e Ribeirão Branco, se encontram interligadas pela SP-249, que dá acesso à área através de pequeno trecho de estradas vicinais. O percurso total via rodoviária desde São Paulo é de 400 km.

PROJETO CORREAS



ESC.: 1.500.000

ÁREA DE PESQUISA

DRENAGEM

CIDADE

ESTRADA

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo e vias de acesso

2.2 Fisiografia

2.2.1 Clima

O IBGE (Geografia do Brasil - Região Sudeste - 1977) classifica a região onde estão inseridas as áreas integrantes do Projeto Correas, como de clima subquente, onde a menor freqüência de temperaturas elevadas no verão e o predomínio de temperaturas amenas no inverno deve-se principalmente à influência da altitude e ao seu posicionamento ao longo da trajetória preferida pelas correntes perturbadas de origem subpolar.

As temperaturas médias regionais para esta região mostram-se inferiores a 18°C para o mês mais frio (junho ou julho) e para o mês mais quente superiores a 27°C.

Os índices pluviométricos históricos para a região indicam precipitações anuais superiores a 1500 mm.

2.2.2 Relevo

A área em questão enquadra-se, segundo dados do Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (Pró-Minério, 1981), na unidade geomorfológica denominada Planalto Atlântico, representado pelo Planalto de Guapiara.

O Planalto Atlântico engloba as regiões onde afloram rochas Pré-Cambrianas. Pela diversidade de tipos litológicos aflorantes, várias formas de relevo podem ser individualizadas, porém a forma predominante corresponde no geral a um relevo colino-montanhoso, com altitudes médias de 850 m, chegando a 1100 m aproximadamente.

No contexto das áreas integrantes do Projeto Correas como um todo, destaca-se morfologicamente na porção central do bloco de áreas, o Maciço Granítico Correas, alongado no sentido NE, representando as maiores elevações com cotas que chegam a 1040 m de altitude. As rochas encaixantes deste maciço granítico, representadas por gnaisses e quartzitos predominantemente, atingem altitudes que variam de 850 a 900 m.

2.2.3 Hidrografia

O Rio Taquari-Guaçú e seus tributários são as principais drenagens da região da área do Projeto Correas. Regionalmente o Rio Taquari-Guaçú, afluente da margem esquerda do Rio Paranapanema, na Folha de Ribeirão Branco, corta todas as seqüências de rochas Pré-Cambrianas e em sua porção Setentrional os arenitos da Formação Furnas.

As drenagens da região em geral estão em estágio de evolução juvenil, caracterizado pelo grande poder de erosão, responsável pela baixa presença de aluviões.

2.2.4 Vegetação, ocupação do solo e aspectos sócio-econômicos

A vegetação natural primitiva da região cedeu lugar, em quase sua totalidade, a áreas de reflorestamento e a atividades agro pastoris. Representantes da vegetação nativa são encontrados como restos isolados e, principalmente, ao longo de alguns canais de drenagens, e vem sendo progressivamente devastadas para a produção de carvão e madeira.

Os reflorestamentos distribuem-se por toda a região, ocupando grandes áreas, em diferentes tipos de solos. Entre os espécimes cultivados, destaca-se principalmente o "pinus" e o eucalipto, sendo o primeiro usado na fabricação de pasta de celulose para indústria de papel e o segundo para lenha.

Entre as atividades agro pastoris, destacam-se as culturas de subsistência, tais como: tomate, cebola e milho, e as pastagens. As culturas localizam-se geralmente próximos aos núcleos urbanos, onde não há uma lógica para ocupação do solo que emprega geralmente técnicas rudimentares. As atividades pastoris restringe-se normalmente às regiões menos acidentadas.

O conjunto de áreas que integram o Projeto Correas situam-se à aproximadamente 30 km da cidade de Ribeirão Branco e à 50 km de Itapeva. No extremo Leste da área DNPM 820.790/85, situa-se uma pequena vila denominada Itaboa, distrito de Ribeirão Branco.

O município de Itapeva possui aproximadamente 70000 habitantes, dos quais 40% vivem na zona urbana. A região é dotada de infra-estrutura completa de transportes e telecomunicações, contando com discagem DDD/DDI, Fax e correios.

O comércio é bastante diversificado. O município conta ainda com um hospital e vários ambulatórios, cinco escolas municipais/estaduais de primeiro e segundo graus, uma escola técnica de mineração, oito agências bancárias, e indústrias de papel/celulose, cimento Itaú e extrações de minérios não metálicos como calcário e argilas.

O município de Ribeirão Branco possui população aproximada de 20000 habitantes, dos quais 30% vivem na zona urbana. A infra-estrutura básica do município é semelhante à da vizinha cidade de Itapeva, guardadas as devidas proporções. O comércio é menos diversificado e atende a população local. Há em Ribeirão Branco duas escolas municipais/estaduais de primeiro e segundo graus, duas agências bancárias e um hospital.

A Vila de Itaboa, distrito de Ribeirão Branco, possui aproximadamente 2000 habitantes e conta com uma escola municipal e um posto bancário do Banco do Brasil. Há também um posto telefônico e um pequeno comércio local.

No tocante às vias de transporte, a área é ligada à SP-249 (rodovia asfaltada que liga Itapeva à Ribeirão Branco) por estrada cascalhada de tráfego permanente, numa distância de 20 km. O extremo NW do bloco de áreas, mais precisamente os processos DNPM 820.791/85, 820.789/85 e 820.787/85, é cortado por estrada de ferro da Fepasa, que liga-se à Itararé e por sua vez a São Paulo.

As empresas reflorestadoras que se estabeleceram na região há mais de 15 anos ocupam a maior parte da mão de obra não qualificada. Empresas mineradoras, principalmente de rochas calcárias e a agricultura ocupam outro número substancial da mão de obra local.

3. GEOLOGIA

3.1 Geologia regional

A área do Projeto Correas enquadra-se no contexto geológico regional do sudeste paulista e leste paranaense. Regionalmente distingue-se um embasamento Arqueano recoberto em diferentes áreas por supra-crustais de idade arqueano-proterozóicas e cortado por intrusões ácidas e diques básicos.

O embasamento compreende rochas de médio a alto grau metamórfico englobando rochas dos fácies anfibolito alto a granulito.

Os termos de grau metamórfico médio são representados em sua maioria por orto-gnaisses variados, bandados, porfiroblásticos e homogêneos. As seqüências do fácies granulito à anfibolito alto, englobam gnaisses charnockiticos, metabasitos e leptinitos bem como gnaisses, migmatitos e anfibolitos.

No contexto da área estudada, predominam gnaisses graníticos porfiroblásticos, e subordinadamente augen-gnaisses, milonito gnaisses porfiroblásticos e gnaisses homogêneos (IPT, 1987 e 1989).

As supra-crustais de natureza vulcano-sedimentar, de grau metamórfico médio, ocorrem como lentes ou faixas encravadas tectonicamente no embasamento arqueano. Compreendem quartzitos, filitos, quartzitos ferríferos, micaxistos, xistos hiperaluminosos, paragnaisses, xistos feldspáticos, rochas cálciossilicáticas, mármores, gonditos, metabasitos e metaultrabasitos.

As seqüências supra-crustais de natureza vulcano-sedimentar de grau metamórfico baixo à médio mostram-se como uma alternância de faixas metapsamo-pelíticas e cálciossilicatadas, com importantes zonas de metavulcânicas básicas e intermediárias, configurando ativo vulcanismo sin-sedimentar. Compreendem mica-xistos, metabasitos, anfibolitos, clorita-xistos, filitos, filitos grafitosos, calcários, quartzitos, rochas cálciossilicatadas e delgados níveis de formação ferrífera e metacherts.

As supra-crustais mais jovens, de grau metamórfico baixo, constituem-se em seqüências metapsamo-pelíticas representadas por quartzitos, meta-arcósios, filitos, mármores, cálcio-filitos e meta-conglomerados. Estas rochas têm relativa importância econômica por hospedar mineralizações de Pb (Ag) e constituir-se em uma grande fonte de rochas carbonáticas para a indústria de cimento e cal.

No domínio da área estudada, as supra-crustais englobam, em ordem decrescente de abundância, quartzitos grossos, rochas cálciossilicatadas, anfibolitos metabasíticos e metaultramafitos xistosos (IPT, 1987 e 1989).

As intrusivas granitóides têm ampla distribuição regional e ocorrem esparsamente encaixadas nas seqüências supra-crustais ou no embasamento; possuem texturas e composições variadas, sendo geralmente porfiróides, alcalinos ou sub-alcalinos.

No contexto das áreas do Projeto Correas, as intrusivas graníticas são representadas pelo Maciço Granítico Correas.

Os depósitos de elúvios e colúvio-aluvionares têm ampla distribuição regional, porém constituem depósitos de reduzida extensão em área, sem expressão econômica no contexto das áreas estudadas.

3.2 Geologia local

O Maciço Correas é um corpo granítico intrusivo, de pequena dimensão (aproximadamente 5 km^2 de área aflorante), morfologicamente dominante na área, localizado na porção sul do Estado de São Paulo, entre os municípios de Ribeirão Branco e Itapeva.

O Maciço Granítico Correas é caracterizado como um maciço fortemente diferenciado, metalogeneticamente especializado em metais raros (Sn e W). Os dados litogeoquímicos indicam altos teores de SiO_2 e K_2O e baixos teores de CaO, FeO, MgO e TiO_2, enriquecimento em elementos traço como Sn, F, Li, Cl e Rb e forte anomalia negativa do Eu (Goraieb, 1995).

As rochas graníticas do maciço apresentam composição subalcalina, ligeiramente peraluminosa, variando de monzogranitos a sienogranitos e álcali-feldspato granitos.

Regionalmente, encontra-se inserido no contexto geológico/geotectônico da Faixa Ribeira, intrudido em rochas proterozóicas de médio grau metamórfico, representadas na área por ortognaisses, rochas calciossilicáticas, xistos feldspáticos, metaultramafitos xistosos, anfibolitos e metassedimentos migmatizados (Goraieb 1995).

A ausência de foliação no maciço e seu posicionamento em relação às rochas encaixantes, indica um caráter tipicamente pós-tectônico (Goraieb 1995). Os contatos do maciço granítico com as encaixantes são de caráter discordante, controlados por falhamentos, sendo que, em alguns casos, apresenta "Brechas Silicosas". Contatos reativos com a encaixante gnáissica, geraram efeitos de greisenização nos extremos NE, NW e borda Norte do maciço.

Segundo Goraieb (1995), diferentes tipos de processos de alteração hidrotermal tardi a pós-magmáticos, afetaram tanto as rochas graníticas intrusivas como as encaixantes do maciço. Processos de microclinização, albitização e greisenização são identificados na maioria das rochas graníticas da região. Com relação às rochas encaixantes, a greisenização é o principal processo hidrotermal observado.

A greisenização atingiu grande intensidade no exocontato da extremidade NE do Maciço Correas, dando origem aos corpos de greisens mineralizados a Sn e W, constituindo um depósito mineral primário de pequeno porte, objeto deste trabalho de avaliação geoestatística de recursos/reservas minerais.

Endogreisens (mica-quartzo-greisen) ocorrem relacionados aos albita-granitos fora do contexto estudado. Os mesmos foram testados por meio de moagem e posterior concentração em bateia, que resultaram negativos.

Medidas de atitudes efetuadas nos quartzitos, em planos de acamamento, apresentaram direções divergentes, onde a NW das ocorrências de greisen, as atitudes medidas foram de N 50°-80°W; 30°-39°NE e, a SE das ocorrências foram de N 40°-60°E; 22°-35°SE, sugerindo um provável fechamento de dobra anticlinal.

As zonas de contato direto das encaixantes gnáissicas com o granito, apresentam-se relacionadas à porções centro-norte e extremidades SW e NE, sendo que nesta última, estão posicionados os corpos de exogreisens mineralizados.

No que refere-se aos litotipos gnáissicos, os quais proporcionalmente apresentam-se em menor presença em termos espaciais em relação ao contato direto com o maciço granítico, observa-se maior potencial em termos metalogenéticos, em função da maior reatividade destas rochas aluminossilicáticas.

O maciço granítico apresenta, macroscopicamente, variações texturais, contendo termos porfiríticos a porfiróides, bem como termos inequigranulares. Os termos porfiríticos caracterizam-se pela presença de cristais de feldspato alcalino e secundariamente quartzo. Em termos de coloração, apresentam caráter leucocrático,

com coloração rósea, atingindo coloração esbranquiçada nos corpos albíticos. A granulometria em geral é média a grossa, sendo que termos de granulometria fina são observados.

Granitos de composição albítica se destacam nas bordas NE e SW do maciço granítico Correas e formam quatro corpos de albita granitos. O corpo situado a nordeste é o mais expressivo e, embora não esteja mineralizado, está espacial e geneticamente associado aos greisens mineralizados a cassiterita e wolframita.

Investigações em sub-superfície por meio de furos de sondagem e também em trincheiras, detectaram a presença de auréolas pegmatóides descontínuas formadas por quartzo, feldspatos e micas, no albita-granito, em alguns pontos, próximo às ocorrências estano-tungsteníferas. Esses corpos são provavelmente originados da migração de fluídos pneumatolíticos-hidrotermais, oriundos do maciço granítico. São estéreis em Sn e W.

Os exogreisens mineralizados localizam-se próximos ao contato nordeste do maciço granítico. Foram individualizados seis corpos mineralizadas a Sn e W. Morfologicamente, apresentam-se: alongados em superfície com direção geral N60°-55°W, no caso dos Corpos 1, 2, 3 e 4; E-W no caso do corpo 5; e arredondado no caso do corpo 6. Na Figura 2, tem-se o mapa geológico e de sondagem dos corpos de minério.

Em termos metalogenéticos, apresentam-se enriquecidos em estanho, principalmente, e em wolfrâmio, secundariamente.

O albita-granito pode estar associado em alguns casos aos corpos de greisens ou encaixantes destes. Também ocorrem sob a forma de veios irregulares, os quais acompanham a foliação regional, cortando corpos de greisens e encaixante gnáissica.

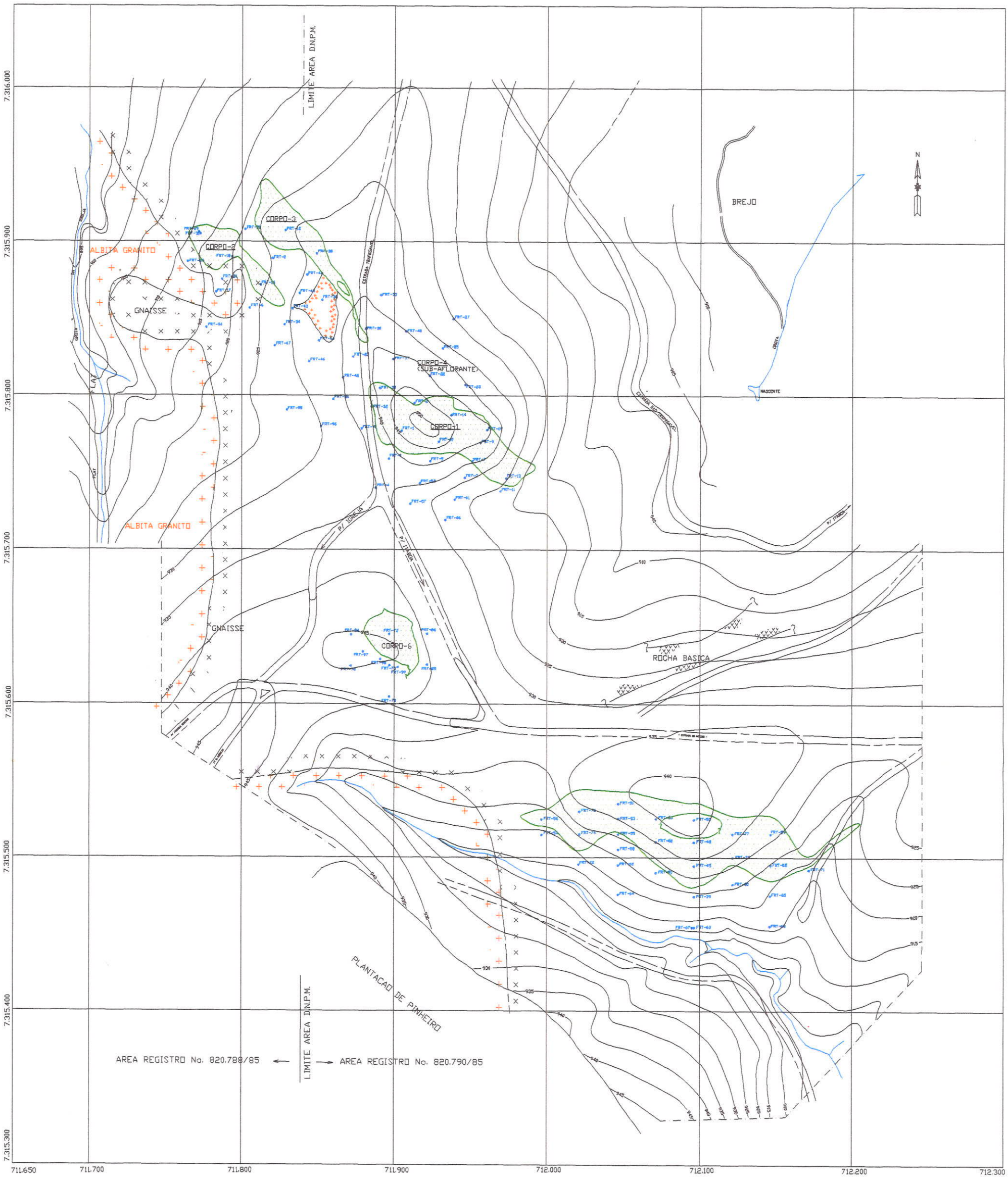
Localmente detectou-se a presença de veios e vênulas de mica-quartzo-greisen, com padrão N10°-15°E e mergulhos sub-verticais, oblíquos à direção preferencial de greisenização. Estes conjuntos apresentam-se estéreis a fracamente mineralizados,

com extensão longitudinal de aproximadamente 250 metros e 45 a 50 metros de largura.

Rochas de composição básica, provavelmente diques de diabásio, foram detectados localmente, apresentando morfologia geralmente alongada e direção geral N 50°E, concordante com feições tectônicas existentes na área, tais como as brechas silicosas.

Os depósitos aluvionares existentes na área são de pequeno porte e em sua maioria estéreis, exceto as drenagens sob influência dos corpos de greisen, que cobre a extremidade NE dos maciço granítico, as quais apresentam anomalias estaníferas com pequena dispersão, onde somente tem-se concentrações anômalas nas proximidades da área fonte.

Segundo Goraieb (1995), as características do Maciço Correas e a natureza da mineralização sugerem uma intrusão em níveis crustais elevados, apresentando um *"trend"* de fracionamento em direção a fácies mais evoluida (muscovita-albita granito a topázio). É provável que a pré-concentração de voláteis durante os estágios magmáticos/tardi-magmático tenha favorecido o enriquecimento do magma residual em elementos metálicos. Uma possível coexistência da fase fluida com o magma residual rico em Na e F, contribuiu para o estabelecimento de um importante estágio de concentração hidrotermal. A migração dos fluidos enriquecidos através de descontinuidades estruturais resultou na alteração pervasiva de zonas de baixa permeabilidade da rocha encaixante. Extensiva alteração hidrotermal fissural também se faz presente, originada por fraturamentos resultantes de alta pressão hidráulica e/ou componentes tectônicos.



Fonte: Mineração Taboca S.A. (Relatório Interno)

LEGENDA

- FRT-28 — FURO DE SONDAGEM ROTATIVA
- DRENAGEM
- CURVA DE NIVEL
- CAMINHO

GEOLOGIA

- ROCHA BÁSICA
- GRANITO
- ALBITA GRANITO
- GNAISSE
- CORPO MINERALIZADO
- CONTATO GEOLOGICO

MINERAÇÃO TABOCA S.A.

Figura 2 – Mapa Geológico e de Sondagem – Corpos 1_4, 5 e 6

LOCAL	DISTRITO	MUNICIPIO	ESTADO
BAIRRO CORREAS	ITABOA	RIBEIRÃO BRANCO	SÃO PAULO
MINERIO	**ÁREA**	**ESCALA**	**DATA**
Sn e W	820.788/85 e 820.790/85	1:2500	NOV/1999

4. TRABALHOS REALIZADOS

4.1 Metodologia

Diversas etapas concorreram para a realização do presente trabalho. Apresenta-se adiante uma breve descrição de cada uma das etapas desenvolvidas.

As etapas envolveram: revisão bibliográfica; inventário de dados disponíveis, organização dos dados e elaboração de banco de dados em meio magnético; delineação dos corpos de minério através da interpretação geológica de seções verticais e horizontais; avaliação geoestatística das reservas; interpretação dos resultados e conclusões; redação da dissertação.

4.2 Inventário de dados disponíveis

Inicialmente fez-se um levantamento e cadastramento geral dos relatórios internos, mapas e perfis existentes, boletins de descrição de testemunhos de sondagem e trincheiras, boletins de resultados analíticos, dados de levantamentos topográficos, e outras informações úteis à base de dados para a elaboração de um banco de dados em meio magnético. No presente trabalho considerou-se apenas os resultados analíticos dos furos de sondagem. As informações de trincheiras foram preciosas no auxílio da interpretação da geometria dos corpos de minério na elaboração do modelo litológico da jazida.

4.3 Base de dados

A base de dados utilizada neste trabalho contou com um conjunto de dados, como segue:

a) Dados de sondagem rotativa a diamante:

Logs de sondagem, resultados de análises químicas, dados de coordenadas e desvios de furos (todos os dados foram inicialmente obtidos em papel). Os testemunhos ficaram disponíveis para checagem de descrições e para dirimir possíveis dúvidas;

b) Dados topográficos:

Mapas planialtimétricos e perfis de sondagem (parte dos dados foram obtidos em papel e parte em meio magnético);

c) Dados de densidade das rochas:

Conjunto de dados de diversas medições de densidades em diversos litotipos (dados originais em planilhas eletrônicas);

d) Dados de geologia:

Relatórios Internos e publicações diversas sobre o tema (mapas geológicos de detalhe e semi-detalhe disponíveis parte em papel e parte em meio magnético).

Todas as informações de sondagem disponíveis foram organizadas em banco de dados em meio magnético de modo a permitir facilmente a migração dos dados nos formatos adequados, para os *softwares* de geoestatística e avaliação de reservas utilizados.

Utilizou-se inicialmente o banco de dados Access, da Microsoft, do tipo relacional de excelente qualidade e relativa facilidade operacional, para centralizar todas as informações do Projeto. No Access, os dados foram organizados em tabelas como segue:

- Tabela: *Header* (número do furo, coordenadas x, y, z e profundidade do furo);
- Tabela: *Survey* (azimute e inclinação do furo);
- Tabela *Lithology* (códigos litológicos);
- Tabela: *Assays* (resultados de análises químicas).

A partir deste banco de dados original, transferiu-se todas as tabelas para o banco de dados Pcxplor, da *Gemcom Services*, onde foi feita uma *checagem* dos dados através do processo *"validate drillhole data"* e, em seguida, a composição entre tabelas visando obter-se uma tabela única com intervalos e respectivas amostras com resultados de análise e litologia, bem como as coordenadas x, y e z de cada amostra. Para isso foi utilizado o processo *"composite - by merging intervals from two tables"*. Só então foi exportada esta tabela única no formato ASCII. Esta tabela foi então aberta no Excel, onde foi dado o formato final para a importação pelo software Isatis, onde foi feito todo o tratamento geoestatístico dos dados. Este procedimento foi necessário porque os intervalos amostrados e analisados (tabela *assays*) não são necessariamente, os mesmos intervalos das descrições litológicas (tabela *lithology*).

Todas as amostras do Projeto foram analisadas para Sn via absorção atômica e fluorescência de raios X, e para W somente via fluorescência de raios X. Estas amostras foram denominadas, para efeito de tratamento de dados, como SnAA, SnRX e WRX, respectivamente. No presente trabalho foram consideradas somente as análises SnRX (Sn) e WRX (W).

4.3.1 Base de dados litológicos – considerações

Observa-se neste depósito uma grande complexidade estrutural e larga gama de tipos litológicos descritos, bem como de teores, denotando à jazida uma grande variabilidade natural. Desta forma, pode-se ter lado a lado valores de teores extremamente discrepantes em intervalos muito pequenos (< 1,00 m). Os teores muito altos ou muito baixos aparentemente nem sempre relacionam-se a um mesmo tipo litológico.

A descrição litológica original dos testemunhos de sondagem gerou um grande número de variáveis litológicas, graças à riqueza de detalhes observada e ao minucioso critério utilizado na descrição dos mesmos. Esses dados foram reagrupados em 39 tipos litológicos (vide Anexo 1 – Fluxograma do agrupamento dos tipos litológicos – completo), com o objetivo inicial de se conhecer a distribuição dos teores por litologia.

Visando definir-se as correlações entre tipos litológicos e escala de teores, fez-se no Isatis uma seleção por tipo litológico resumido, definindo-se a estatística básica para cada seleção. Este procedimento permitiu definir, como era de se esperar, os greisens como o litotipo de mais alto teor médio. A tabela de teores médios por tipo litológico pode ser observada no Anexo 2 – Teores por tipo litológico - completo.

A grande variação de litologias, no entanto, inviabilizou a separação de amostras por tipo litológico em número suficiente para o objetivo de avaliação de reservas por métodos geoestatísticos, uma vez que o número de amostras por litotipo mostrou-se bastante pequena, principalmente após a regularização das mesmas.

Procurou-se então um novo agrupamento de litologias, visando aumentar o número de amostras por tipo litológico de forma que se conseguisse individualizar corpos com características semelhantes tratáveis sob o ponto de vista geoestatístico, e ao mesmo tempo dar-se uma conotação mais prática ao depósito no que concerne a possibilidades de lavra futura. Assim, reagrupou-se as amostras em 4 tipos principais (GEI, GE, GNI e GN), considerados na avaliação, cuja descrição será feita mais adiante.

4.3.2 Análises químicas

As análises químicas dos testemunhos de sondagem foram realizadas nos laboratórios da Mineração Taboca S A – Grupo Paranapanema S A, na Mina Pitinga – AM e na extinta Escola Técnica de Mineração de Manaus – AM.

Utilizou-se nas análises quantitativas de estanho (Sn) e wolfrâmio (W) o Espectrofotômetro de Absorção Atômica VARIAN 1475/GEMINI, e o Espectrofotômetro de Fluorescência de Raios X – RIGAKU.

4.4 Divisão da área mineralizada em sub-populações

Este depósito, exaustivamente pesquisado, reúne seis corpos de minério formados por exo-greisens com encaixantes gnáissica, granítica e cálciossilicática, de alta complexidade em termos litológico e de distribuição de teores, bem como a correlação entre estes, dada a alta variabilidade dos valores das variáveis avaliadas.

Uma das maiores dificuldades na geoestatística aplicada é a definição de um variograma único para todo o campo geométrico que se pretende tratar, ou a partição do espaço considerado em zonas disjuntas de tal forma a prevalecer em cada uma delas a estacionaridade (Valente, 1982).

No caso da existência de campos distintos de mineralização, caracterizada pela heterogeneidade macroscópica da jazida, definida pelas condições físico-químicas e morfológicas, ou seja, relações entre os atributos da mineralização que depende da gênese do depósito, limita-se as fronteiras de tais campos e ensaia-se esquemas intrínsicos específicos para cada um deles (Valente, 1982).

Com base nestes conceitos e, em função da localização geográfica dos corpos de minério, sua proximidade física, e também em função de seu comportamento geo-estrutural, foi possível a separação do campo geométrico das variáveis regionalizadas em estudo (Sn e W) em três espaços geométricos distintos de atuação, desta forma, estes foram reagrupados em apenas 3 corpos para efeito de tratamento geoestatístico de dados e avaliação de recursos/reservas. Estes corpos são ***Corpo 1_4*** (união dos corpos 1, 2, 3 e 4), ***Corpo 5*** e ***Corpo 6.***

4.5 Regularização das amostras

Foi utilizada a regularização ao longo de fatias de espessura constante (Garcia, 1988), iguais a metade da alturas das bancadas propostas, ou seja, 2,5 m. Optou-se pela metade das bancadas devido ao pequeno número de amostras por corpo de minério, conseguidas com a regularização a 5,0 m (altura da bancada). Com este

artifício, ganhou-se no número de amostras, mas perdeu-se com aumento da variabilidade, uma vez que esta é inversamente proporcional ao suporte, como será visto adiante.

O número total de amostras brutas que foi submetido a regularização foi de 10730, correspondentes a 92 furos de sondagem. No processo de regularização utilizou-se como critério de suporte o valor de 2,5 m, admitindo-se como valor mínimo 0,50 m para os intervalos extremos dos furos.

Após a regularização, o conjunto de 10730 amostras foi reduzido a 1744, sendo 423 amostras classificadas como minério intemperizado (GEI), outras 260 foram classificadas como minério em rocha sã (GE). Também, um total de 574 amostras foram classificadas como encaixante estéril intemperizada (GNI) e 487 como encaixante estéril em rocha sã (GN).

Na Tabela 2, tem-se um resumo da base de dados regularizada utilizada na avaliação dos recursos/reservas de Sn e W.

Tabela 2 - Número de amostras por corpo de minério.

Corpo	Num. furos	Metros perf.	Am. brutas (total)	Am. regul. (total)	Am. regu (GEI)	Am. regu (GE)
1_4	54	3013.49	6279	1067	240	148
5	28	1261.38	3006	462	138	103
6	10	566.43	1445	213	45	9
total	92	4841.30	10730	1742	423	260

Mais adiante, será retomado o assunto, onde serão apresentados os parâmetros estatísticos das amostras regularizadas, bem como explicados os critérios adotados para o agrupamento das litologias.

4.6 Delineação dos corpos de minério

A análise e interpretação de dados de pesquisa disponíveis permitem determinar a forma, os limites e as dimensões de um depósito. Os limites primários de um depósito

são estabelecidos pela litologia, acamamento, estruturas e variações bruscas no teor, enquanto os limites secundários estão relacionados a variações graduais nos teores, e limites irregulares dos contornos da mineralização. (Vallée & Côte 1992 *apud* Yamamoto & Rocha 1996).

A interpretação geológica dos corpos de minério é de fundamental importância na avaliação de recursos/reservas. A adoção desta técnica evita a extrapolação de teores a blocos além dos limites do corpo de minério, fato que pode ocorrer quando se usa somente informações das amplitudes dos variogramas na definição dos raios de busca na interpolação, neste caso pode ocorrer super avaliação dos recursos/reservas determinados.

A seguir, descreve-se a metodologia utilizada na definição dos contornos dos corpos de minério/estéril.

O procedimento consistiu inicialmente na interpretação e digitalização de seções geológicas verticais dos corpos de minério; em seguida, interpretação e digitalização de seções geológicas horizontais dos mesmos.

A partir das seções geológicas horizontais, foram criados volumes correspondentes a altura das bancadas (5,0 m); estes volumes foram discretizados em blocos, cujos percentuais litológicos foram definidos pela sobreposição destes aos polígonos que definem os litotipos nas seções.

Utilizou-se nesta etapa o *software* gráfico Geomodel, que interage com o banco de dados de furos de sondagem, Pcxplor, permitindo que se visualize na tela do computador as seções verticais com os respectivos teores e litologia por intervalo, e ao mesmo tempo se digitalize, em tela ou com o auxílio de mesa digitalizadora, os polígonos de interesse.

Todas as seções geológicas, tanto verticais como horizontais foram interpretadas com o uso do *software* Geomodel. Utilizou-se os códigos litológicos

constantes na Tabela 3, para a definição dos polígonos interpretados tanto nas seções verticais como nas seções horizontais:

Tabela 3 - Códigos litológicos e densidades.

Código litológico	Descrição da litologia	Densidade média adotada
GEI	Greisen intemperizado (Minério)	1.85
GE	Greisen rocha sã (Minério)	2.79
GNI	Gnaisses + Granitos + Cálciossilicatadas encaixantes - intemperizadas (Estéril)	1.56
GN	Gnaisses + Granitos + Cálciossilicatadas - encaixantes rocha sã (Estéril)	2.62

A seguir, tem-se passo a passo o procedimento utilizado na interpretação geológica das seções verticais e horizontais.

4.6.1 Seções verticais

Inicialmente, foi feita a interpretação geológica de seções verticais de sondagem, a partir das informações das litologias representadas nos furos. Foram interpretados um total de 25 seções verticais (Tabela 4).

Tabela 4 - Número de seções geológicas verticais por corpo de minério.

Corpo	Seções verticais	Espaçamento entre seções
1_4	11	25m
5	8	25m
6	6	12,5m e 25m
total	25	

Para cada seção vertical, interpretou-se os polígonos que encerram predominantemente greisens dos vários tipos, bem como encaixantes greisenizadas associadas. Esses contornos ao mesmo tempo que delimitam os corpos de greisens e encaixantes greisenizadas, também são os polígonos delimitadores das rochas encaixantes não greisenizadas. Os contatos entre saprolito e rocha sã foram traçados com bastante precisão, dada a densa malha de sondagem utilizada.

Na interpretação do comportamento da distribuição dos teores, foi utilizado o seguinte procedimento: Inicialmente, para todos os perfis, projetou-se as curvas de isovalores das seções verticais. Observou-se que a curva de 0,050 % Sn era a curva que melhor se adaptava ao contorno definido pelos greisens e encaixantes greisenizadas associadas, sendo que fora do domínio destas litologias, os teores caem bruscamente, mantendo um *background* em torno de 0,020 % Sn, muito próximo do limite de detecção do método analítico utilizado. Eventualmente, encontra-se porções isoladas fora do corpo principal delimitado, representadas por intervalos de teores acima de 0,050 % Sn. Esses pontos, por se tratarem de pontos isolados, sem representação na massa de minério principal, nem continuidade com o mesmo, não foram considerados como pertencentes ao corpo de minério. Por outro lado, valores isolados, inferiores a 0,050 % Sn, também são encontrados no interior do polígono delimitador do corpo principal. Esses valores foram considerados na avaliação.

Uma vez feita esta constatação, definiu-se, para cada seção vertical, um polígono com intervalos de teores predominantemente maiores ou iguais a 0,050 % Sn. Observou-se que a grande maioria dos greisens e encaixantes greisenizadas plotam internamente a este polígono nas diversas seções estudadas.

Os polígonos tanto de teores como de litologia, via-de-regra, se sobrepuseram evidenciando a boa correlação entre os greisens e teores mais elevados.

Tendo-se estes dois polígonos como base (litologia e teores >= 0,050 % Sn), desenhou-se um terceiro polígono abrangendo os dois primeiros, ou seja, a superfície envoltória dos dois primeiros, que foi definido como ***Minério (Intemperizado = GEI e Rocha Sã = GE)***; a parte envolvente, onde predominavam litologias gnáissicas, graníticas e calciossilicatadas, com teores predominantemente abaixo de 0,050 % Sn, foi denominada encaixante ***Estéril (Intemperizado = GN e Rocha Sã = GNI)***.

4.6.2 Seções horizontais

Uma vez interpretadas as seções geológicas verticais, gerou-se, a partir destas, com o auxílio do *software* Geomodel seções geológicas horizontais espaçadas de 5 em 5 metros, iguais a altura das bancadas.

Desta forma foram geradas um total de 53 seções horizontais conforme a Tabela 5.

Tabela 5 - Número de seções geológicas horizontais por corpo de minério.

Corpo	Seções horizontais	Espaçamento entre seções
1_4	19	5m
5	21	5m
6	13	5m
total	53	

O Geomodel permite que os contatos litológicos definidos em cada seção vertical sejam projetados nas seções horizontais geradas. A partir daí é feita manualmente a interpretação dos polígonos de contornos das litologias nos planos horizontais, ou diretamente na tela do computador ou com o auxílio de mesa digitalizadora. Neste procedimento foi considerado o meio de cada bancada para a interpretação geológica.

4.6.3 Comentários sobre os procedimentos adotados

O procedimento adotado na interpretação das seções geológicas verticais, onde o polígono delimitador do minério foi traçado a partir da envoltória de dois outros polígonos definidos – o primeiro pelos greisens e encaixantes greisenizadas, e o segundo pelos teores superiores a 0,050 % Sn – levou-nos a definição de minério, tanto litologias greisenizadas como, também, eventuais litologias não greisenizadas mas portadoras de teores superiores a 0,050 % Sn, ocorrentes na circunvizinhança do corpo de greisen principal.

Este critério adotado garantiu que se englobasse todas as possibilidades de mineralização envolvidas, garantindo que todos greisens e encaixantes greisenizadas fossem avaliados, assim como zonas de borda com altos teores em litologias não greisenizadas.

No procedimento de krigagem, como será visto adiante, utilizou-se apenas amostras pertencentes ao corpo definido pela superfície envoltória que englobou os dois polígonos, o qual se definiu como minério.

Os blocos de cubagem krigados, pertencentes a zona de borda do corpo de minério definido pelo critério acima, quando internos ao primeiro polígono e externos ao segundo, ou seja, localizados em zonas de baixos teores dentro do corpo de minério, receberam teores baixos na interpolação; logo trata-se de blocos krigados mas com teores possivelmente abaixo do teor de corte econômico.

Os blocos krigados pelos critérios acima definidos, mas localizados apenas nas zonas internas ao segundo polígono (teores acima de 0,050 % Sn), localizados na periferia do corpo de minério, receberam teores compatíveis com as amostras circunvizinhas que participaram da interpolação, resultando em teores possivelmente acima do teor de corte econômico.

Ressalta-se que ambos os casos descritos ocorrem muito pouco, uma vez que, como já foi mencionado, na maioria dos casos os polígonos delimitadores dos greisens e rochas greisenizadas (primerio polígono) sobrepõe-se ao polígono delimitador dos teores acima de 0,050 % Sn (segundo polígono).

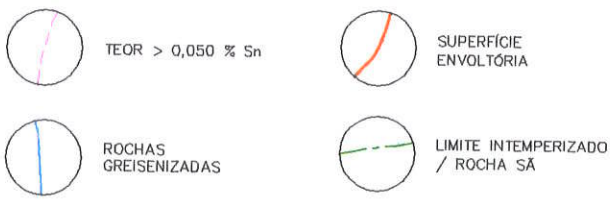
A Figura 3 apresenta uma seção esquemática de sondagem mostrando os critérios adotados na definição dos corpos de minério.

As Figuras 4 a 9 mostram, a título ilustrativo, as seções LS4 e Nível 16 (cota 915m) do Corpo 1_4, –350LS e Nível 13 (Cota 900m) do Corpo 5 e –100LS e Nível 15 (Cota 910m) do corpo 6.

PROJETO CORREAS

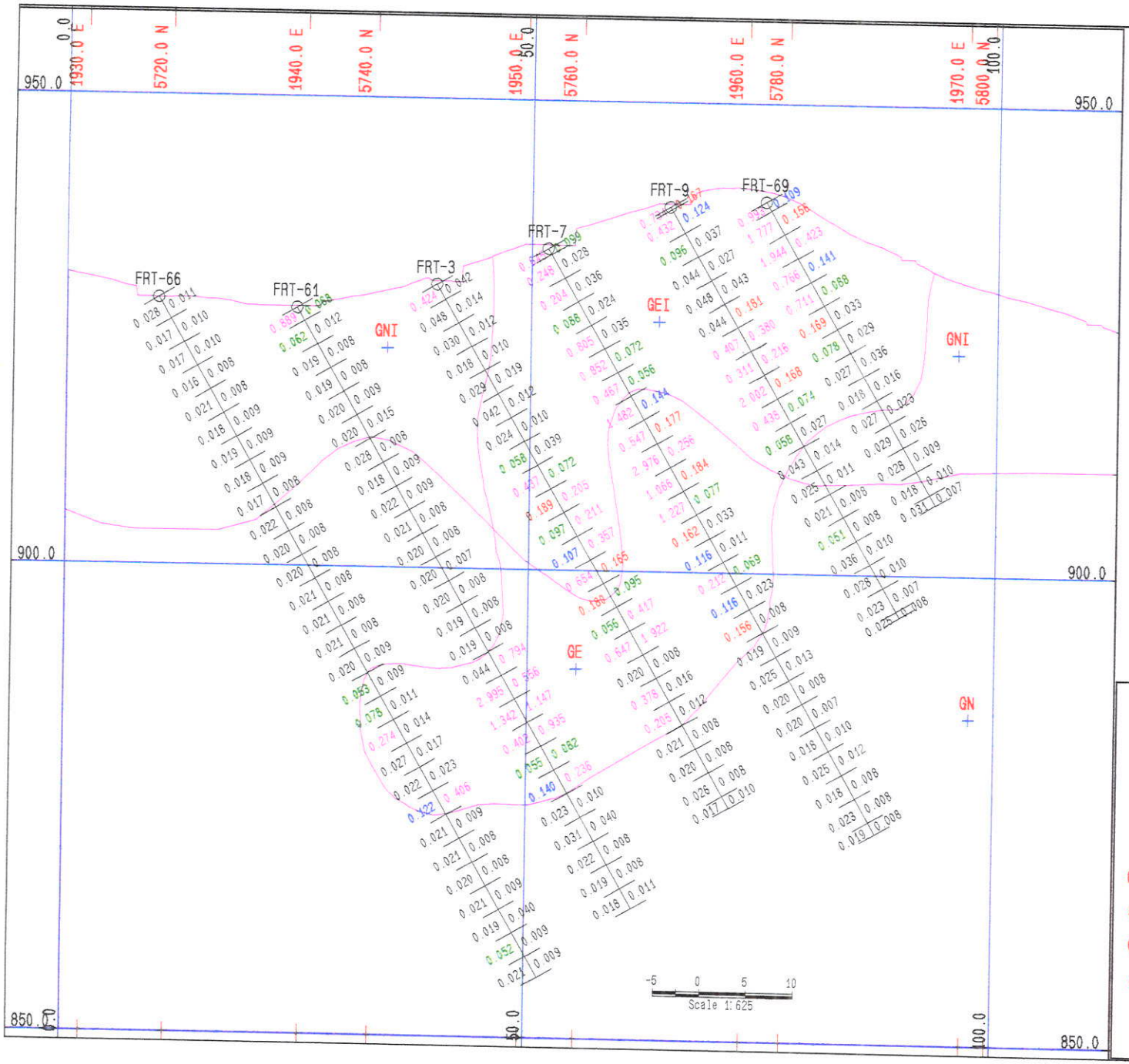
SEÇÃO ESQUEMÁTICA DE SONDAGEM

LEGENDA



ESCALA 1:750

Figura 3 - Seção esquemática de sondagem mostrando a delimitação dos corpos de minério



CORPO 1-4

SECAO = LS4

Figura 4

PROJETO CORREAS

SECOES VERTICAIS DE SONDAGEM

LEGENDA

GNI + ROCHA INTEMP. ENC. - ESTERIL

GN + ROCHA SA ENCAIXANTE - ESTERIL

GEI + GREISEN INTEMPERIZADO - MINERIO

GE + GREISEN ROCHA SA - MINERIO

TEOR= SWRX (Lado Esquerdo)

TEOR= WRX (Lado Direito)

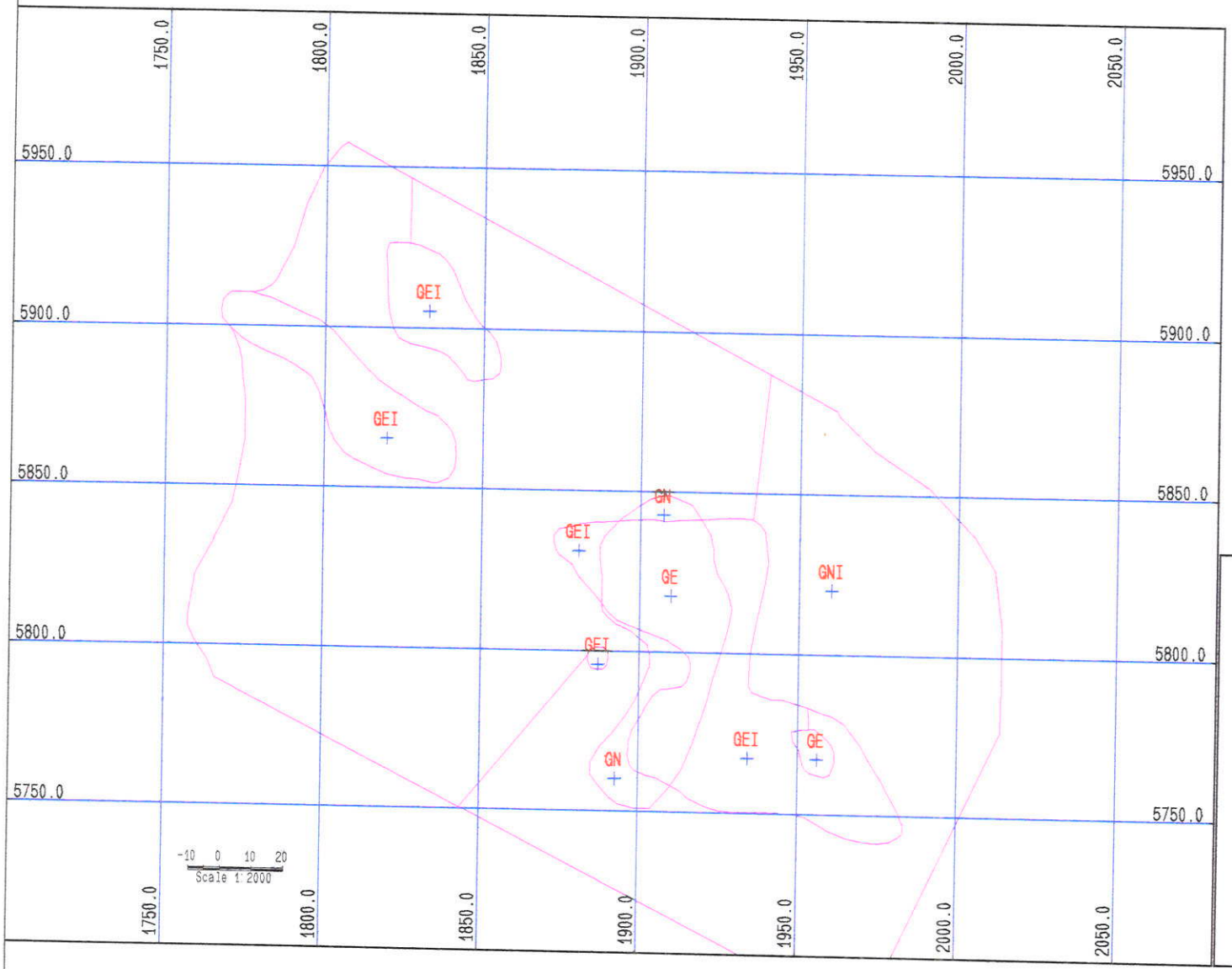
<= 0.050%

0.050 a 0.100%

0.100 a 0.150%

0.150 a 0.200%

>= 0.200%



CORPO 1-4

NIVEL N16 - COTA 915m

Figura 5

PROJETO CORREAS

SECOES HORIZONTAIS - GEOLOGICAS

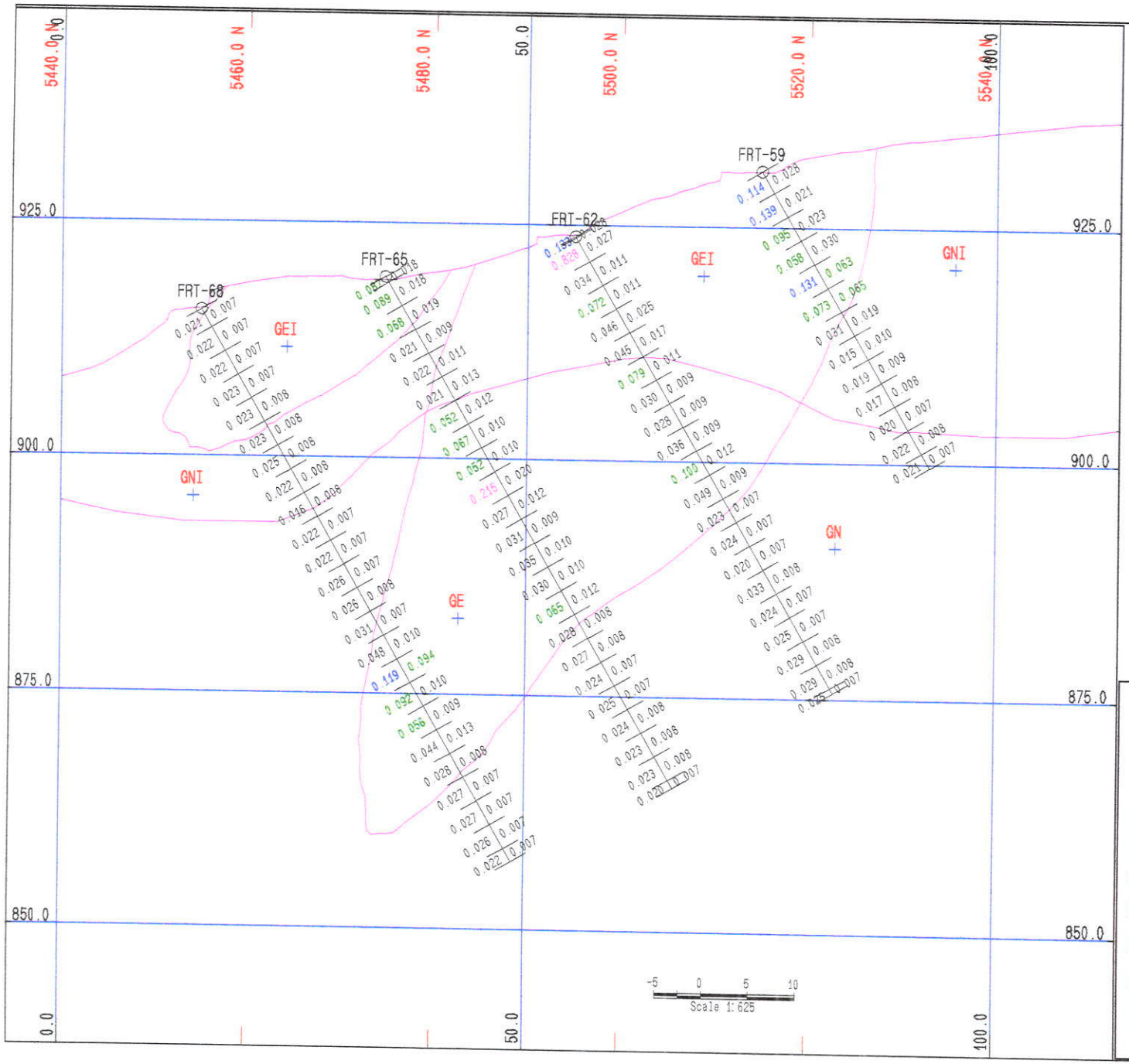
LEGENDA

GNI + ROCHA INTEMP. ENC. - ESTERIL

GN + ROCHA SA ENCAIXANTE - ESTERIL

GEI + GREISEN INTEMPERIZADO - MINERIO

GE + GREISEN ROCHA SA - MINERIO



CORPO 5

SECAO = -350LS

Figura 6

PROJETO CORREAS

SECOES VERTICAIS DE SONDAGEM

LEGENDA

GNI + ROCHA INTEMP. ENC. - ESTERIL

GN + ROCHA SA ENCAIXANTE - ESTERIL

GEI + GREISEN INTEMPERIZADO - MINERIO

GE + GREISEN ROCHA SA - MINERIO

TEOR= SNRX (Lado Esquerdo)

TEOR= WRX (Lado Direito)

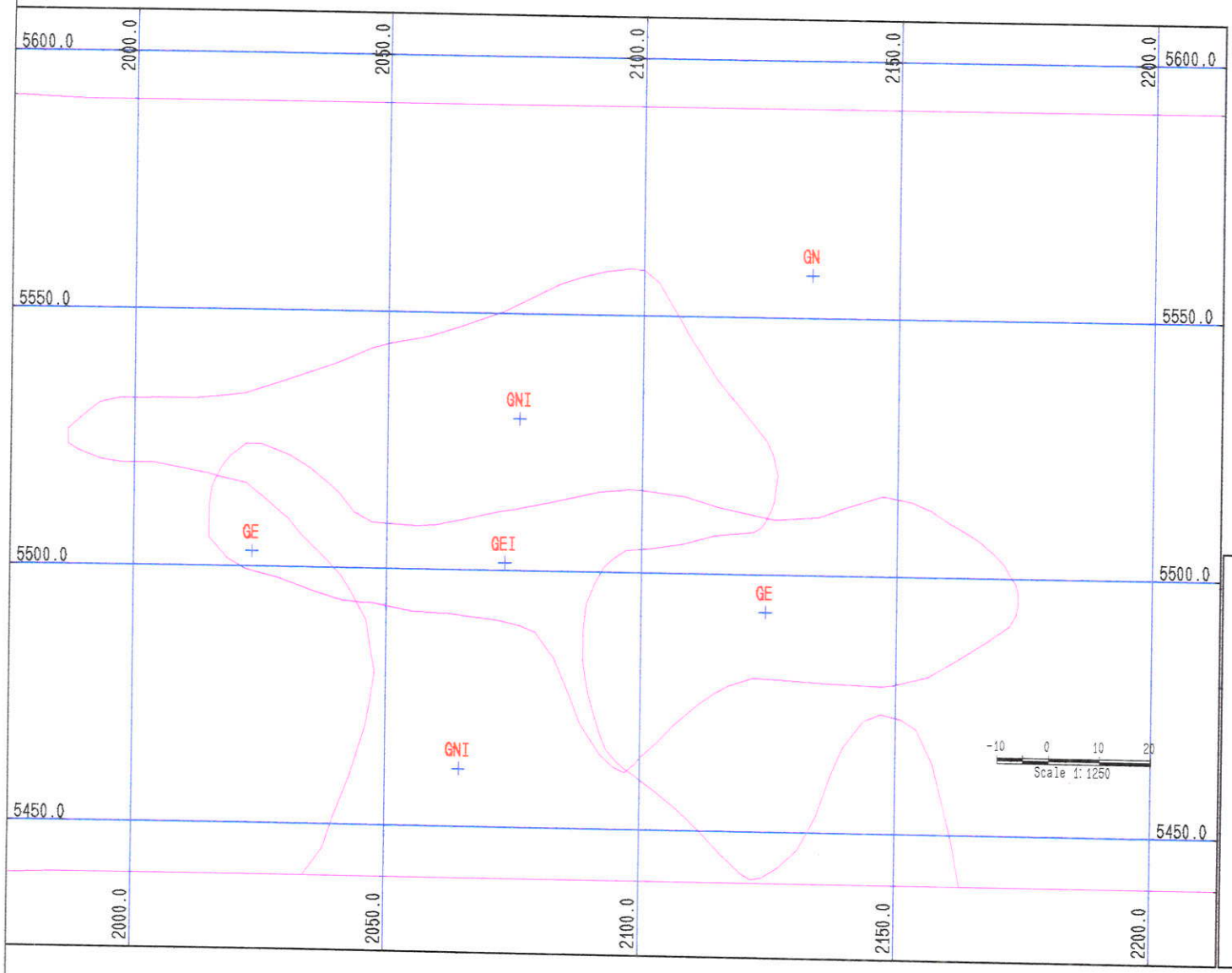
<= 0.050%

0.050 a 0.100%

0.100 a 0.150%

0.150 a 0.200%

>= 0.200%



CORPO 5

NIVEL N13 - COTA 900m

Figura 7

PROJETO CORREAS

SECOES HORIZONTAIS - GEOLOGICAS

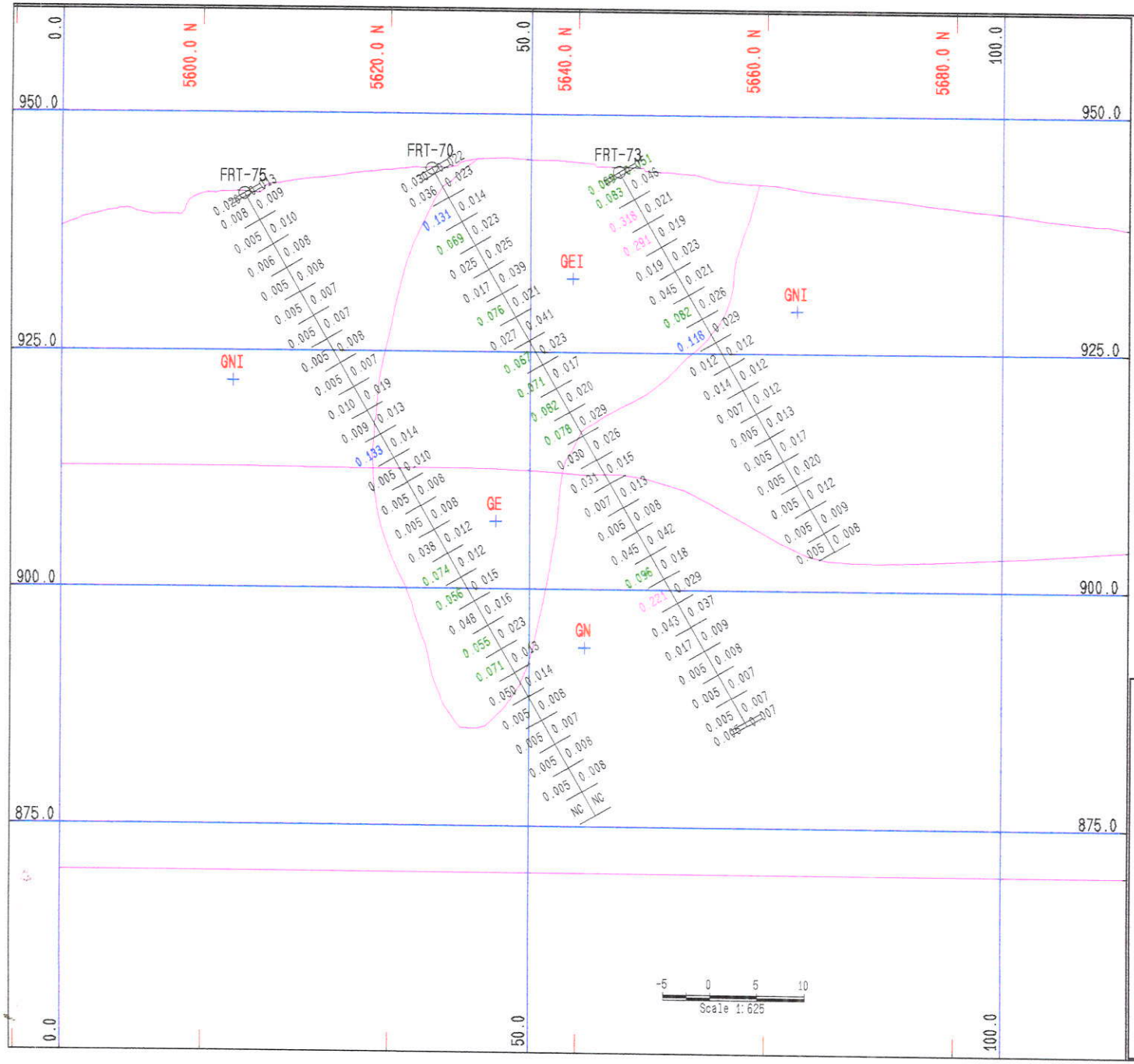
LEGENDA

GNI + ROCHA INTEMP. ENC. - ESTERIL

GN + ROCHA SA ENCAIXANTE - ESTERIL

GEI + GREISEN INTEMPERIZADO - MINERIO

GE + GREISEN ROCHA SA - MINERIO



CORPO 6

SECAO = -100LS

Figura 8

PROJETO CORREAS

SECOES VERTICAIS DE SONDAGEM

LEGENDA

GNI + ROCHA INTEMP. ENC. - ESTERIL

GN + ROCHA SA ENCAIXANTE - ESTERIL

GEI + GREISEN INTEMPERIZADO - MINERIO

GE + GREISEN ROCHA SA - MINERIO

TEOR= SNRX (Lado Esquerdo)

TEOR= WRX (Lado Direito)

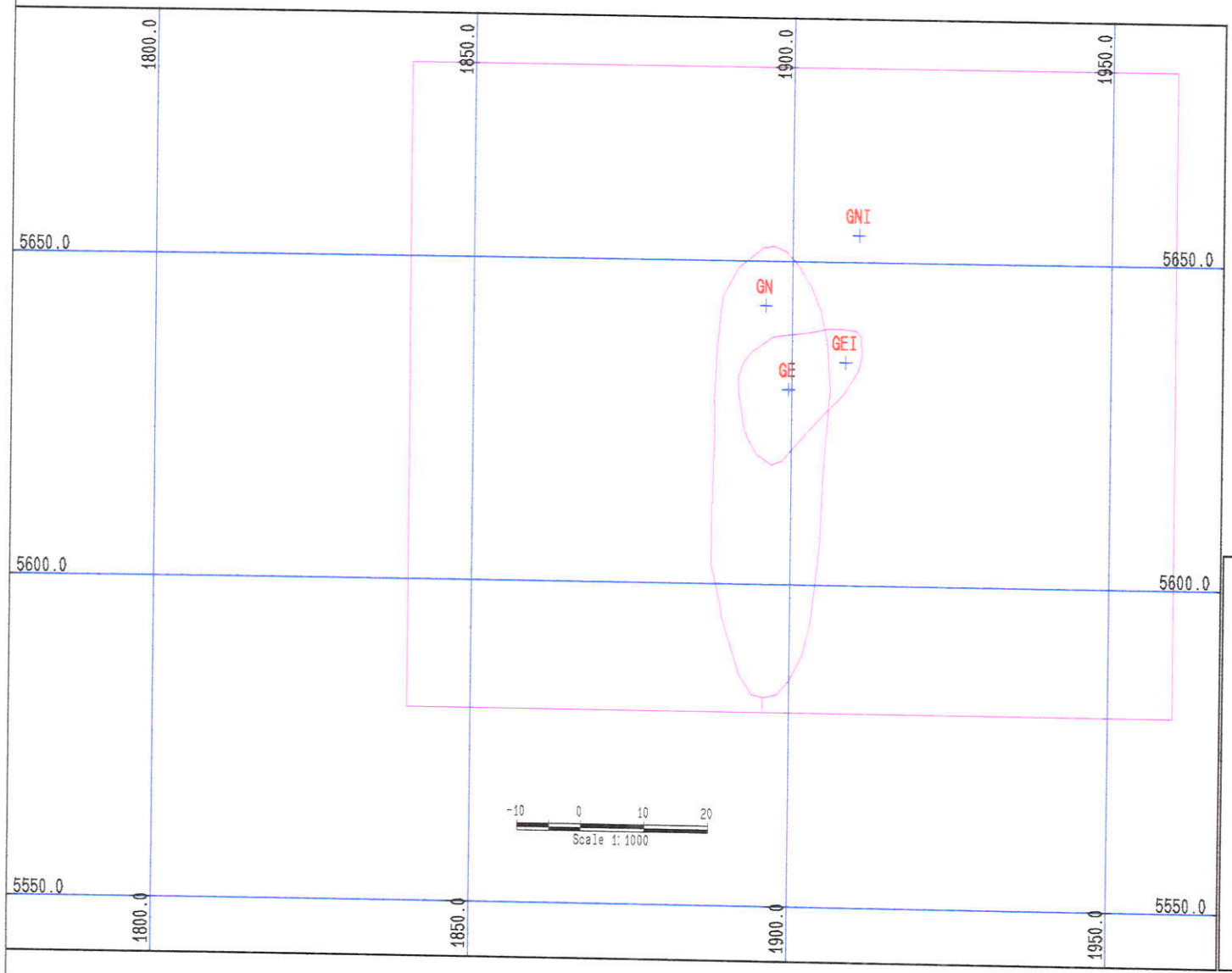
<= 0.050%

0.050 a 0.100%

0.100 a 0.150%

0.150 a 0.200%

>= 0.200%



CORPO 6

NIVEL N15 - COTA 910m

Figura 9

PROJETO CORREAS

SECOES HORIZONTAIS - GEOLOGICAS

LEGENDA

GNI + ROCHA INTEMP. ENC. - ESTERIL

GN + ROCHA SA ENCAIXANTE - ESTERIL

GEI + GREISEN INTEMPERIZADO - MINERIO

GE + GREISEN ROCHA SA - MINERIO

4.7 Definição dos modelos tridimensionais de blocos

Segundo Yamamoto & Rocha (1996), o cálculo de recursos/reservas por métodos computacionais é feito a partir da subdivisão do depósito em pequenos blocos de cubagem, cujas dimensões devem ser compatíveis com a densidade de pontos de amostragem utilizada. Deve-se adotar como dimensões dos blocos até, no mínimo, a metade do espaçamento médio dos pontos de amostragem. A este conjunto de blocos de cubagem denomina-se modelo tridimensional de blocos.

Na área estudada, foi utilizada na fase de pesquisa, uma malha de sondagem de 25 m entre seções e 15 a 20 m entre furos nas seções. As amostras foram coletadas, em média, a intervalos inferiores a 1,00 m, e regularizadas em suportes de 2,50 m. Com base nestes dados, adotou-se para os 3 modelos de blocos as dimensões de 12,5 x 12,5 x 5,0 m para cada bloco.

O modelo tridimensional de blocos georeferenciados criado, deve envolver toda a massa do depósito mineral que se pretende avaliar. Procedimentos matemáticos de interpolação determinam os teores dos blocos constituintes do depósito.

Descreve-se a seguir a sistemática adotada na definição dos modelos de blocos utilizados nas operações de krigagem ordinária empregados na interpolação dos blocos de cubagem do depósito, que serão vistos adiante.

Os polígonos das litologias, definidos no *software* Geomodel, foram exportados para o *software* PC-Mine, onde foram gerados os modelos de blocos tridimensionais, três modelos ao todo. Para cada bloco, dos modelos criados, foi atribuída a litologia correspondente, com o respectivo percentual por tipo litológico, a partir da sobreposição automática com os polígonos litológicos definidos nas seções horizontais já descritas.

O procedimento de identificação das litologias dos blocos consiste em se sobrepor, para cada nível (bancos) do modelo de blocos, os polígonos importados do Geomodel, com as litologias lá identificadas. Como os polígonos foram definidos

exatamente para cotas correspondentes aos meios das bancadas do modelo de blocos, o algorítmo permite a sobreposição e a individualização, para cada bloco, das litologias e seus respectivos percentuais, considerando-se o meio da bancada e projetando-se essa sobreposição até os limites inferior e superior de cada bancada ou seja 2,5 m para cima e 2,5 m para baixo do nível que se está considerando. A Figura 10 abaixo mostra esquematicamente o procedimento utilizado.

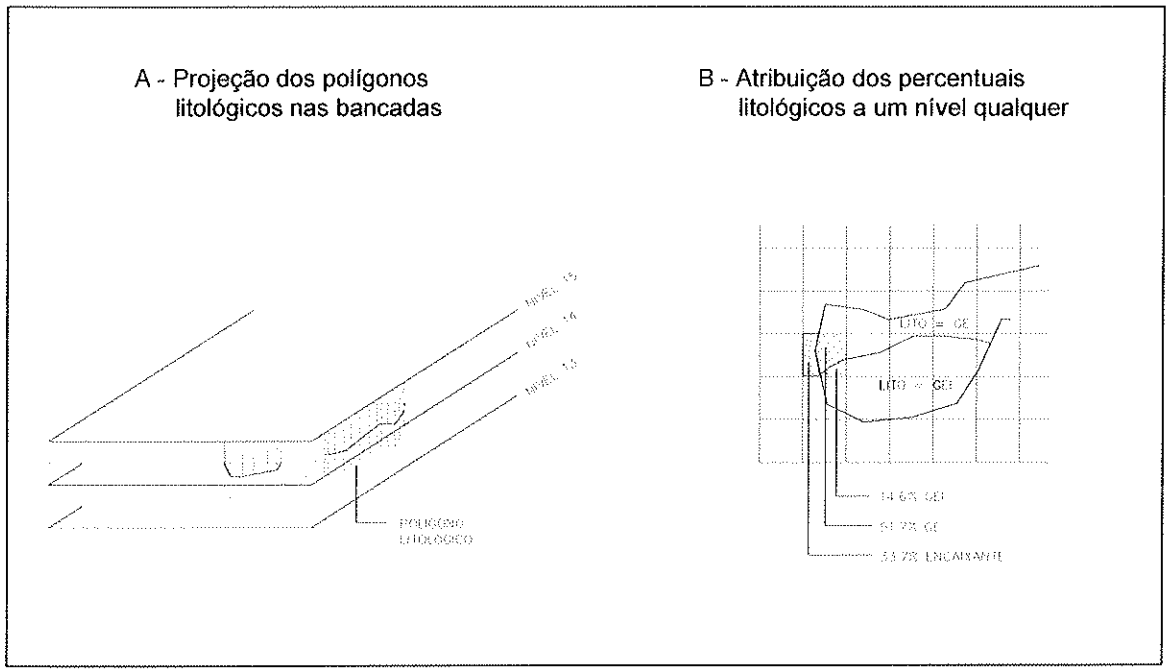


Figura 10 - Representação esquemática da identificação das litologias nos blocos de cubagem

Nos modelos de blocos criados, a atribuição dos percentuais litológicos para cada bloco, feito a partir da sobreposição com os polígonos identificadores destas litologias, resultou em um refinado procedimento que permitiu a qualificação e quantificação exata dos diferentes materiais e, por conseqüência, a quantificação precisa dos bens minerais avaliados, como será visto adiante.

Deve-se ressaltar que os modelos de blocos tridimensionais foram definidos no *software* PC-Mine, uma vez que o *software* de geoestatística utilizado, o Isatis, não possui este recurso.

Conforme já mencionado, foi utilizado um modelo de blocos para cada corpo de minério devido às suas características peculiares no que diz respeito à localização geográfica, orientação estrutural e dimensões.

A Tabela 6, apresenta os parâmetros utilizados na definição dos modelos de blocos para cada corpo de minério: Corpo 1_4, Corpo 5 e Corpo 6.

Tabela - 6 – Parâmetros de definição dos modelos de blocos.

Corpo	Xmin (m)	Xmax (m)	Ymin (m)	Ymax (m)	Zmin (m)	Zmax (m)	Colunas	Linhas	Níveis	nº blocos	Dimensão	Rotação
1_4	1652.00	2286.20	5613.71	6032.56	840.00	950.00	28	23	23	14812	12.5x12.5x12.5m	35°
5	1956.25	2243.75	5406.25	5593.75	840.00	950.00	24	16	23	8832	12.5x12.5x12.5m	0°
6	1806.25	1993.75	5566.25	5716.25	840.00	950.00	16	13	23	4784	12.5x12.5x12.5m	0°

Para o Corpo 1_4, a malha de sondagem utilizada foi composta de linhas com azimute de 25° espaçadas de 25 m entre si e furos sobre estas linhas espaçados de 20 m entre si e inclinados, na sua maioria, a 60° na direção N25°E. As análises variográficas realizadas para este corpo, resultaram na definição de anisotropia com eixo maior a 135° de azimute e eixo menor a 35° de azimute. Com base nessas informações, é que se procedeu a rotação deste modelo de blocos em 35° , ou seja, a rotação foi feita de modo a coincidir os eixos do modelo de blocos com os eixos de anisotropia do depósito.

Para o Corpo 5, a malha de sondagem utilizada na pesquisa foi a mesma do corpo 4, ou seja, linhas a cada 25 m dispostas na direção N-S, com furos espaçados a cada 20 m e inclinados a 60° para Sul. As análises variográficas realizadas neste corpo, revelaram anisotropia concordante com a malha de sondagem adotada, ou seja eixo maior no azimute 90° e eixo menor no azimute 0°. Assim, neste corpo não houve necessidade de proceder a rotação do modelo de blocos.

Para o Corpo 6, a malha de sondagem utilizada na pesquisa foi de aproximadamente 12,5 m entre linhas e 12,5 m entre furos, inclinados a 60° para Norte ou verticais. Os ensaios variográficos não revelaram anisotropia para este corpo, e, portanto, não havendo a necessidade de rotacionar o modelo de blocos.

Após as etapas que se seguiram, desde a criação do modelo de blocos (rotacionados ou não) até a identificação dos percentuais litológicos por bloco, foi gerado, para cada modelo (Corpos 1_4, 5 e 6), um arquivo ASC II, contendo além das informações de percentuais litológicos, as coordenadas dos centros de massa de cada bloco. Estes arquivos foram manuseados no Excel a fim de se dar o formato de entrada no Isatis, para onde foram importados.

Os procedimentos seguintes no uso destes modelos de blocos, envolvendo a etapa de krigagem, realizada no Isatis, será visto mais adiante.

4.8 Estimação geoestatística e avaliação de recursos / reservas

No tratamento estatístico e geoestatístico dos dados de pesquisa, foi usado o *software* Isatis 3.0. A fim de se cumprir as etapas que se sucedem num trabalho desta natureza foram executados os seguintes passos:

- ⇒ estudo da continuidade espacial dos dados;
- ⇒ estatística clássica;
- ⇒ regularização das amostras;
- ⇒ análise estrutural;
- ⇒ validação cruzada dos modelos selecionados;
- ⇒ avaliação da jazida utilizando Krigagem Ordinária de Blocos;
- ⇒ quantificação de recursos/reservas.

Descreve-se a seguir cada uma destas etapas:

4.8.1 Identificação dos dados espacialmente

Usando-se como ferramentas básicas o conhecimento geológico específico das variáveis de interesse, mapa base e análise de seções e perfis, procurou-se delimitar as zonas de interesse e verificar-se o comportamento espacial das variáveis.

- **Estatística espacial**

Enfoca a elaboração de funções que retratam o comportamento estatístico das variáveis em função das coordenadas, através da correlação das variáveis com as suas coordenadas, elaboração de mapas base com valores proporcionais ao atributo e mapas de isovalores.

- **Mapa base**

A simples plotagem 2D e 3D dos dados possibilitou a visualização de 3 regiões principais de interesse, onde concentram-se os dados de pesquisa (furos de sondagem). Estas áreas correspondem geologicamente e geograficamente à zona de ocorrência dos corpos 1, 2, 3 e 4 que, devido a proximidade física e similaridade geoestrutural, foram agrupados em corpo 1_4 correspondendo a primeira área de interesse; o corpo 5 e o corpo 6 correspondem respectivamente à segunda e terceira áreas de interesse.

Assim, nesta primeira análise já pode-se contemplar a necessidade de tratamento estatístico e geoestatístico individualizado das 3 regiões, para tanto, após as etapas de estatística básica e regularização dos dados, este conjunto geral de dados foi submetido a *seleções* de modo a criar-se 3 arquivos diferentes que foram tratados separadamente.

O mapa base dos furos de sondagem com a identificação das três áreas de interesse pode ser visto na figura 11.

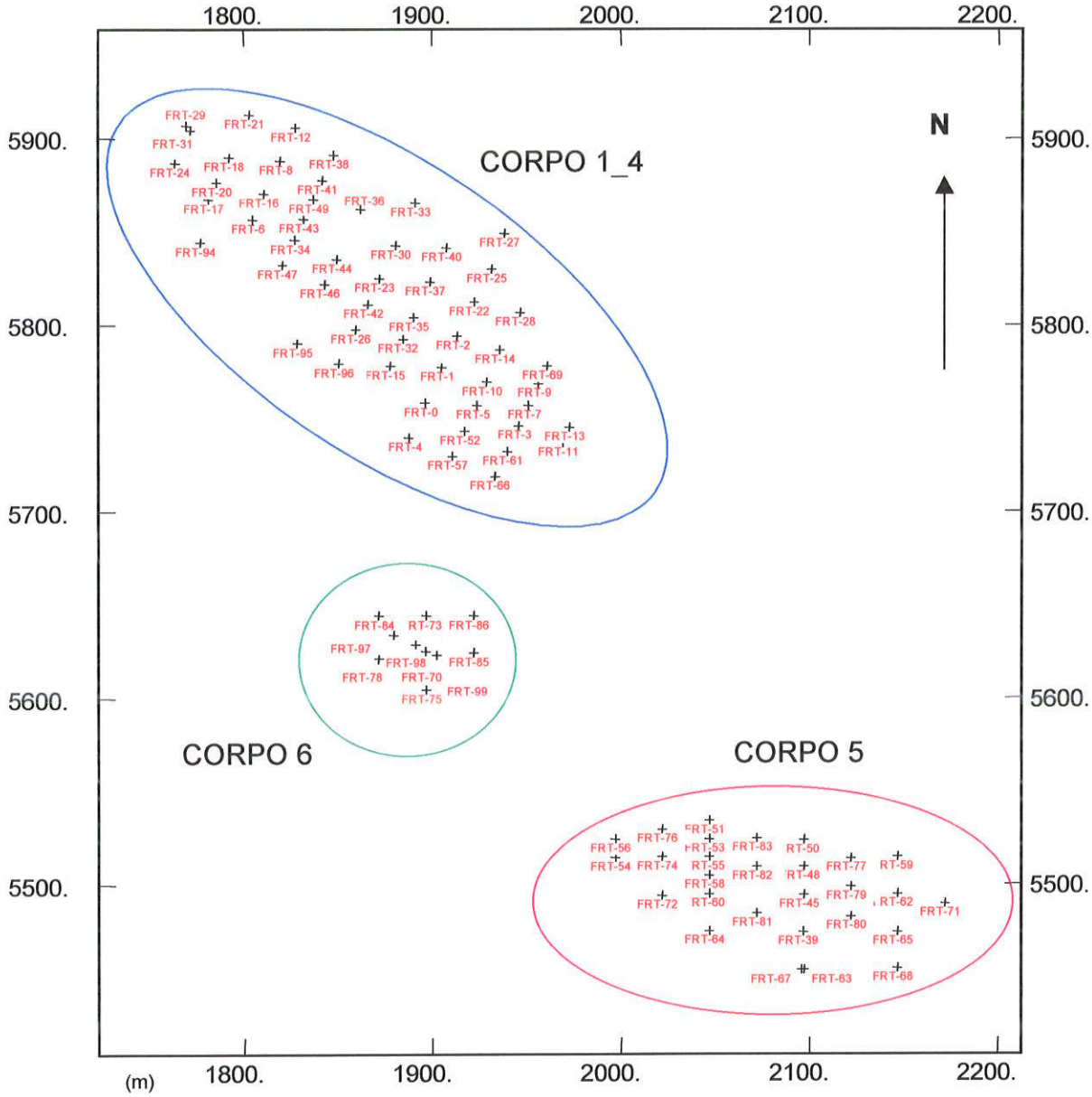


Figura 11 - Mapa base dos furos de sondagem

4.8.2 Estatística básica

Um conjunto de dados, quando organizados, representa mais claramente as características da distribuição.

Uma das maneiras mais comuns de se apresentar uma série de dados é através da tabela de freqüências e seus gráficos correspondentes como o histograma, curvas de freqüência acumulada, etc. Pode-se também checar graficamente o caráter da distribuição, se normal ou lognormal.

Uma vez esboçado gráfica e numericamente a distribuição de freqüências, busca-se parâmetros estatísticos que descrevem numericamente esta distribuição, através de medidas de tendência central como média, mediana, moda. As medidas de dispersão, variância, desvio padrão e coeficiente de variação também são parâmetros importantes que juntos espelham a qualidade dos dados a serem utilizados na avaliação geoestatística.

A definição de um bom modelo teórico de distribuição, por si só, não garante uma boa estimativa (Isaaks & Srivastava, 1989).

- Parâmetros estatísticos básicos (amostras brutas)

Apresenta-se na Tabela 7, o resumo de dados estatísticos das amostras brutas, independente do tipo litológico, por corpo de minério (1_4, 5, 6) e total.

Os sumários estatísticos levando-se em conta os tipos litológicos serão vistos adiante.

Tabela 7 – Estatística básica - dados globais – amostras brutas.

ESTATÍSTICA BÁSICA DOS DADOS BRUTOS - POR CORPO E TOTAL
(Independente da litologia)

Corpo 1_4

variável	n amostras	mínimo (%)	máximo (%)	média (%)	desv.pad. (%)	varian. (%)	assimetria	curtose	CV
SnRX	6279	0.000	32.780	0.147	0.769	0.591	19.83	632.95	5.25
WRX	6278	0.000	23.370	0.049	0.500	0.250	33.24	1373.36	10.22

Corpo 5

variável	n amostras	mínimo (%)	máximo (%)	média (%)	desv.pad. (%)	varian. (%)	assimetria	curtose	CV
SnRX	3006	0.000	2.860	0.044	0.126	0.016	12.36	219.55	2.87
WRX	3005	0.000	4.530	0.012	0.089	0.008	43.79	2184.48	7.67

Corpo 6

variável	n amostras	mínimo (%)	máximo (%)	média (%)	desv.pad. (%)	varian. (%)	assimetria	curtose	CV
SnRX	1445	0.000	1.540	0.031	0.101	0.010	8.04	87.66	3.27
WRX	1444	0.000	1.840	0.015	0.074	0.005	16.13	331.23	4.78

Amostras totais - brutas

variável	n amostras	mínimo (%)	máximo (%)	média (%)	desv.pad. (%)	varian. (%)	assimetria	curtose	CV
SnRX	10730	0.000	32.780	0.102	0.595	0.354	25.23	1037.44	5.83
WRX	10727	0.000	23.370	0.034	0.387	0.150	42.31	2253.04	11.38

CV = Coeficiente de Variação = desv.pad / média

Os parâmetros estatísticos básicos do conjunto global de amostras brutas, mostra ampla variação de teores, com valores médios bastante baixos em relação aos valores mínimos e máximos de cada variável. Valores de desvio padrão e variância bastante elevados conferindo às populações valores de CV extremamente altos. Apresentam, como era esperado, assimetria fortemente positiva, típico de depósitos desta natureza.

Tais características observadas nesta população bruta de valores, confirmam a necessidade de tratamento prévio das amostras antes de sua utilização na avaliação das reservas, o que inclui desde a regularização das amostras até o corte de valores extremamente elevados, antes da etapa de análise estrutural.

- Histograma dos dados globais (amostras brutas)

Elaborou-se para o arquivo de dados globais – amostras brutas, o histograma para as variáveis SnRX e WRX. Pode-se concluir que tratam-se de populações que apresentam distribuições log-normais, leptocúrticas e com assimetria positiva, características típicas de depósitos desta natureza. Os histogramas podem ser observados na Figura 12, nos *slides* da seqüência A a J.

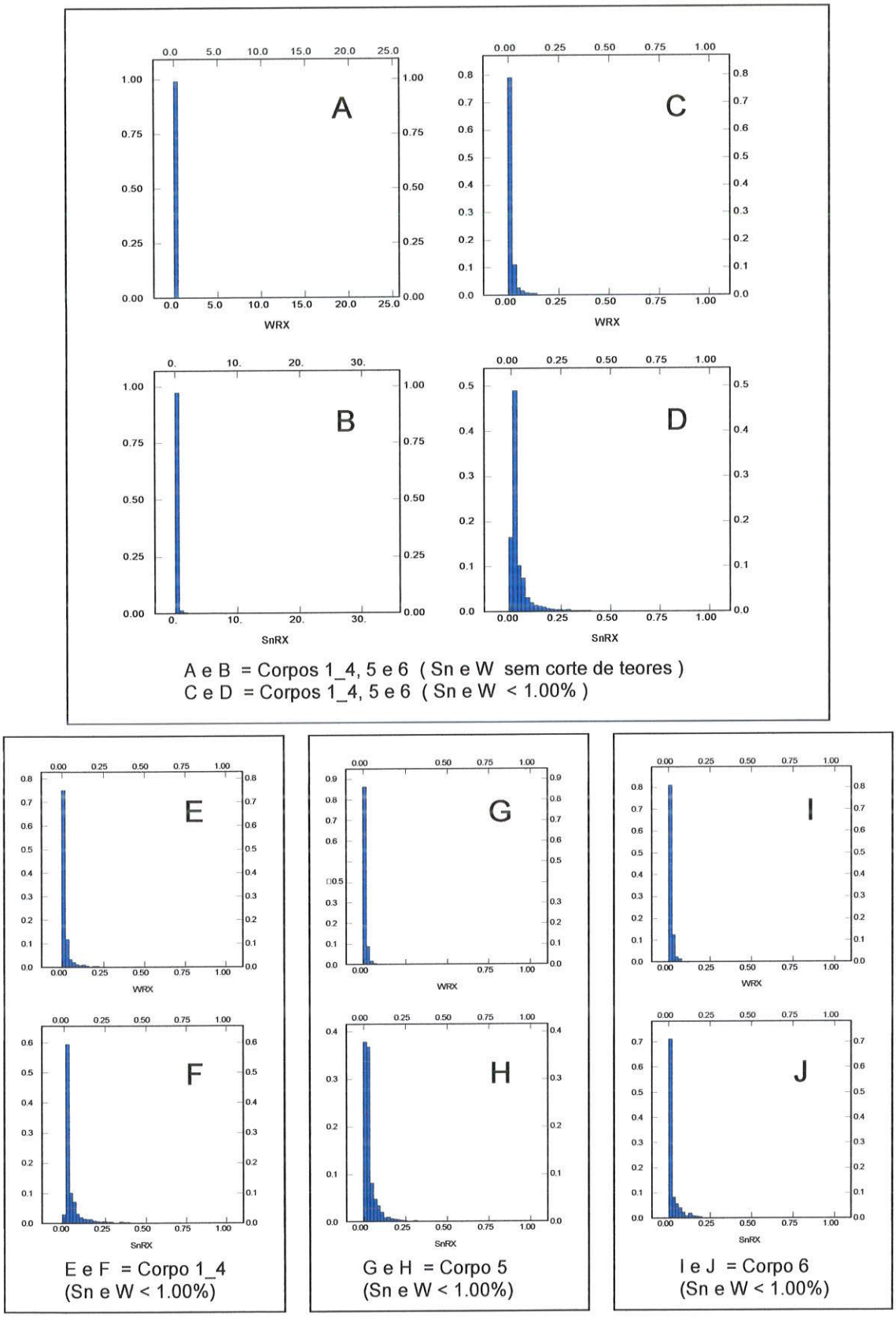


Figura 12 - Histogramas das amostras brutas

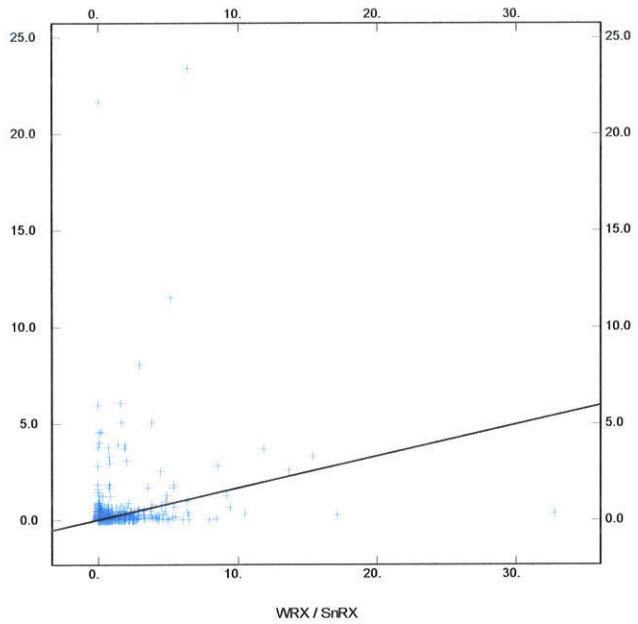
- Análise de correlação (amostras brutas)

Das 10730 amostras coletadas nos 92 furos de sondagem, 10730 foram analisadas para Sn e 10727 para W, ambas pelo método de fluorescência de raios X.

A análise de correlação entre 10726 amostras brutas com teores de Sn e W mostrou um fator de correlação de apenas 0,252, denotando a baixa correlação entre as mesmas.

O baixo valor de correlação encontrado sugere que as afinidades genéticas entre ambas as variáveis não são tão acentuadas como se esperava, ou seja, valores elevados de Sn em uma determinada amostra, não necessariamente representa valores elevados de W na mesma amostra, indicando a necessidade de tratamento estatístico e geoestatístico separado para as mesmas.

A Figura 13 apresenta o gráfico de correlação e os respectivos parâmetros estatísticos.



Parâmetros Estatísticos da Correlação
Amostras Brutas

n = 10726
correlação = 0.253

	x	y
mínimo	0.000	0.000
máximo	32.779	23.370
média	0.102	0.340
variância	0.3545	0.1497

Equação: $y = 0.16.X + 0.02$

Figura 13 - Gráfico de correlação Sn e W - amostras brutas

- Parâmetros estatísticos básicos (amostras regularizadas)

A regularização é uma fase essencial na avaliação de dados 3D. O conceito geral é de que as operações geoestatísticas irão considerar cada dado com a mesma importância, isto é, não faz sentido se todos os dados não representarem a mesma quantia de material.

Então, se os dados estão medidos em tamanhos de suportes diferentes, que é o nosso caso, é essencial que se converta as informações em intervalos de mesma dimensão. Em nosso caso, como já foi visto, atribuiu-se a esta dimensão a altura correspondente a 2,5 m, equivalente a metade da altura de um banco (bloco de krigagem).

Esta operação consiste na criação de uma réplica dos dados iniciais, divididos em intervalos fixos determinados. No Isatis, este processo permite que se defina variáveis numéricas (teores SnRX e WRX) e apenas uma variável alfanumérica, no caso a variável litologia.

Após a regularização dos 92 furos (total de 10730 amostras), obteve-se um total de 1744 amostras.

Pode-se observar através dos parâmetros estatísticos básicos do conjunto global de amostras regularizadas, que os valores médios das variáveis seguem muito baixos em relação aos mínimos e máximos correspondentes. Os valores de variância e desvio padrão ainda permanecem muito elevados. O CV, que em geral qualifica a variabilidade dos depósitos minerais, mostra valores muito altos, comprovando a alta variabilidade natural deste depósito. Tais fatores apontam para a necessidade de cortes de teores excessivamente altos a fim de dar consistência a análise estrutural, minimizando o efeito pepita.

Os valores de assimetria fortemente positiva sugerem cuidados na escolha da melhor distribuição teórica que se ajusta a esta distribuição amostral, de modo que a

partir desta distribuição teórica possam ser feitas inferências em relação à distribuição verdadeira.

Na Tabela 8 tem-se o resumo dos dados estatísticos das amostras regularizados relativos aos corpos 1_4, 5, 6 e total.

Tabela 8 – Estatística básica – dados globais – amostras regularizadas.

ESTATÍSTICA BÁSICA DOS DADOS REGULARIZADOS - POR CORPO E TOTAL
(Independente da litologia)

Corpo 1_4

variável	n amostras	mínimo (%)	máximo (%)	média (%)	desv.pad. (%)	varian. (%)	assimetria	curtose	CV
SnRX	1067	0.000	5.480	0.139	0.427	0.1824	7.24	68.97	3.08
WRX	1067	0.000	2.429	0.039	0.147	0.0215	9.88	128.40	3.79

Corpo 5

variável	n amostras	mínimo (%)	máximo (%)	média (%)	desv.pad. (%)	varian. (%)	assimetria	curtose	CV
SnRX	462	0.000	0.710	0.046	0.076	0.0058	4.87	34.17	1.64
WRX	461	0.000	0.972	0.013	0.056	0.0031	14.13	223.56	4.45

Corpo 6

variável	n amostras	mínimo (%)	máximo (%)	média (%)	desv.pad. (%)	varian. (%)	assimetria	curtose	CV
SnRX	213	0.000	0.403	0.025	0.050	0.0025	3.63	21.52	2.02
WRX	213	0.000	0.366	0.011	0.030	0.0009	8.65	92.62	2.66

Amostras totais - regularizadas

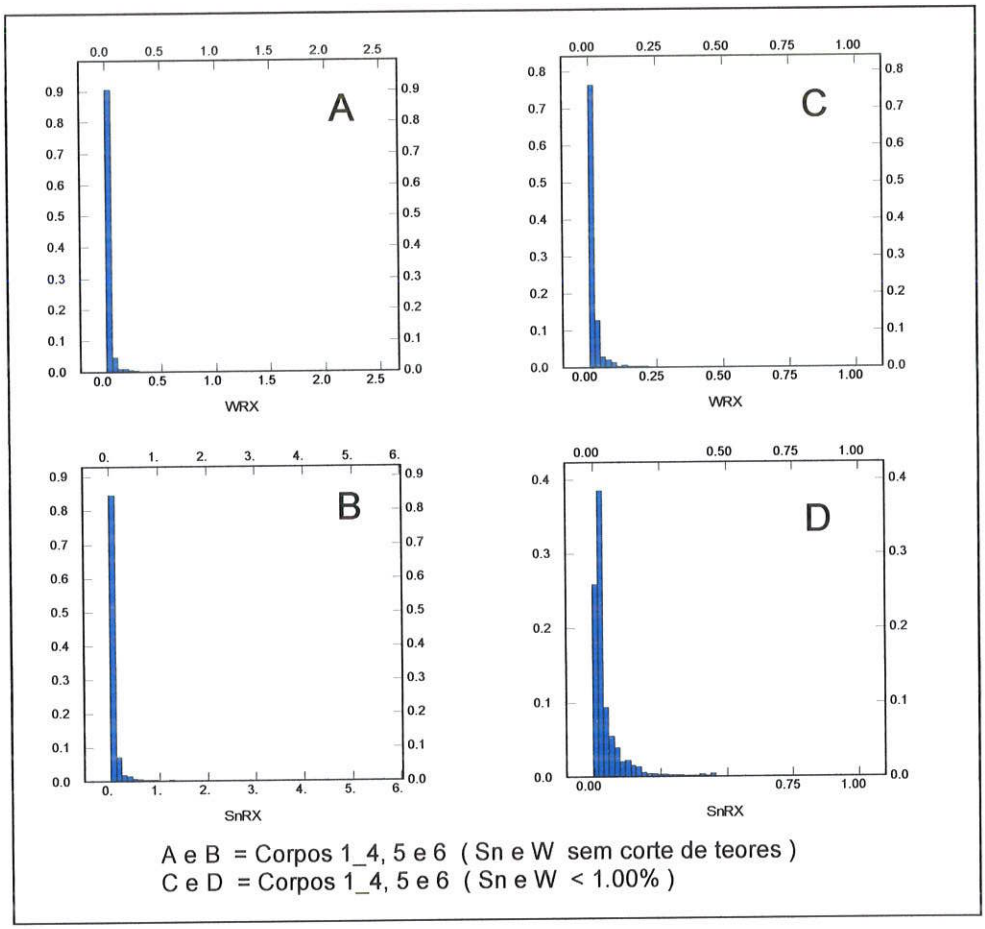
variável	n amostras	mínimo (%)	máximo (%)	média (%)	desv.pad. (%)	varian. (%)	assimetria	curtose	CV
SnRX	1742	0.000	5.480	0.100	0.340	0.1159	9.09	108.61	3.39
WRX	1741	0.000	2.429	0.028	0.120	0.0143	11.80	184.93	4.21

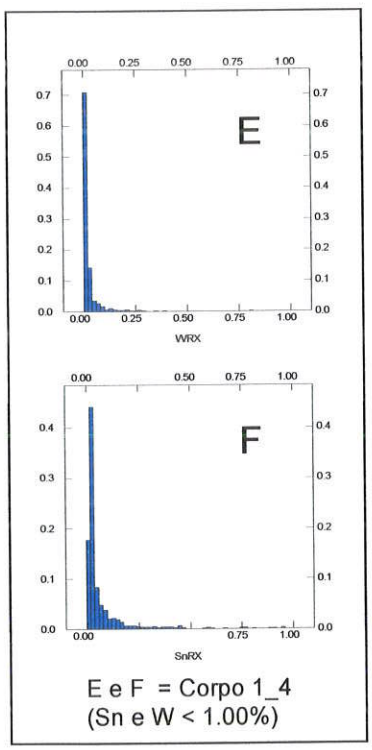
CV = Coeficiente de Variação = desv.pad / média

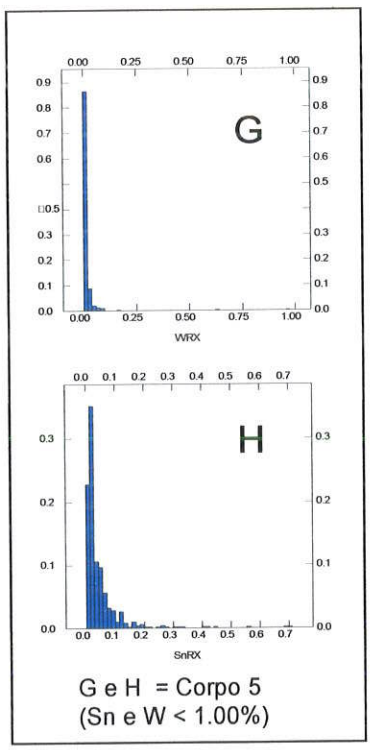
- Histograma dos dados globais (amostras regularizadas)

Como nos histogramas dos dados globais das amostras brutas, pode-se observar as mesmas características como distribuições log-normais mostrando curvas leptocúrticas e assimetria positiva, confirmando a necessidade de se cortar os altos teores para a análise estrutural.

Na Figura 14 tem-se os histogramas correspondentes a este universo amostral.







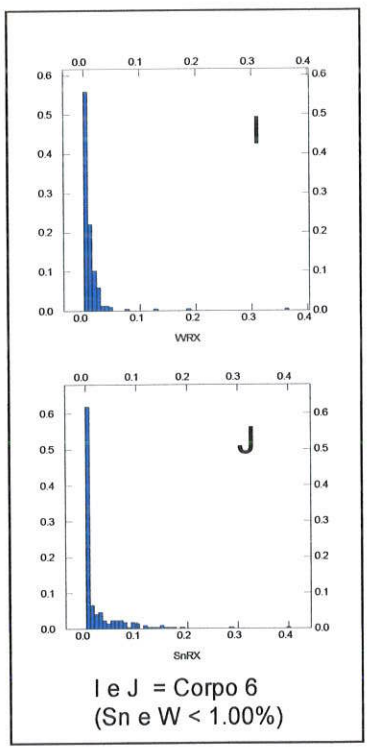


Figura 14 - Histogramas das amostras regularizadas

- Caráter lognormal da distribuição das variáveis Sn e W (amostras regularizadas)

A variável é distribuída lognormalmente se a distribuição de seu logaritmo é normal (Isaaks & Srivastava, 1989). Na utilização de um gráfico de distribuição tipo x-y com o uso de escala logarítmica no eixo x e freqüência acumulada no eixo y, os pontos desenharão uma linha aproximadamente reta se a distribuição for lognormal e curva se a distribuição for normal.

Segundo Guerra (1988), uma distribuição é dita lognormal bi-paramétrica se os logaritmos dos valores seguem uma distribuição normal. Porém pode ocorrer, entretanto, que ao se aplicar o logaritmo aos valores observados, o resultado não seja uma distribuição simétrica e consequentemente não seja lognormal. Já ao se trabalhar com o logaritmo dos valores mais uma constante de aditividade β, o resultado é uma distribuição normal. Neste caso, diz-se que a distribuição é lognormal tri-paramétrica uma vez que ela fica caracterizada por 3 parâmetros (média, variância e constante de aditividade β). Este tipo de distribuição é freqüente em jazidas de alta variabilidade. O valor de β, é definido de forma interativa, isto é, procura-se um valor que satisfaça a condição de que a distribuição dos valores observados mais a constante seja simétrica.

No caso presente, o algoritmo utilizado pelo *software* Isatis, permite que o usuário defina o valor da constante de aditividade β e, graficamente, se representa os logaritmos das variáveis ($\mathrm{Ln}\ (z + \beta)$) contra a distribuição gaussiana teórica. Caso a distribuição seja lognormal os valores alinham-se segundo uma reta.

Desta forma demonstra-se a o caráter lognormal da distribuição das variáveis através dos gráficos de probabilidade observados nas Figuras 15.

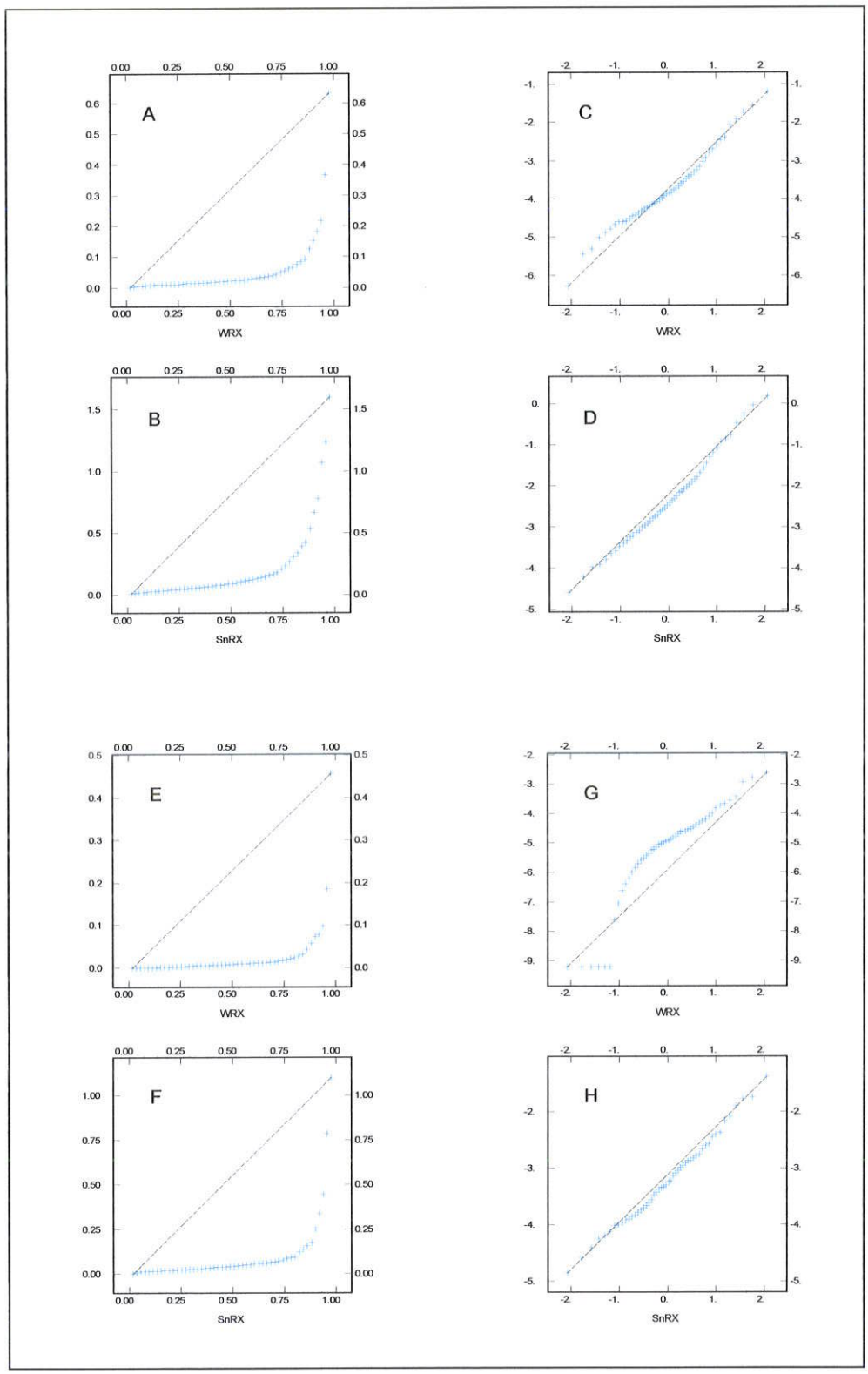


Figura 15 - Gráficos de probabilidades para as variáveis Sn e W
litologia GEI = Normal (A - B) e Lognormal (C - D)
litologia GE = Normal (E - F) e Lognormal (G - H)

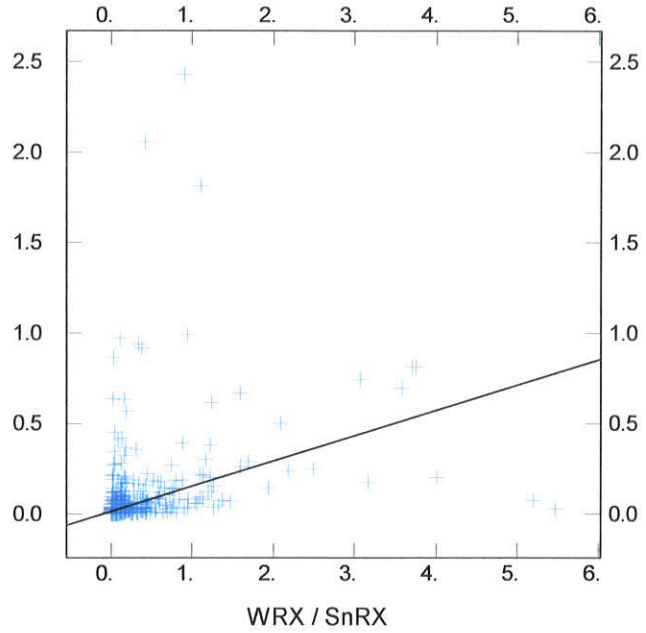
- Análise de correlação (amostras regularizadas)

Procedeu-se a análise de correlação entre as amostras regularizadas, tendo-se como objetivos principais, definir o grau de correlação existente entre as variáveis Sn e W.

A análise de correlação entre as amostras regularizadas mostrou um baixo fator de correlação igual a 0,396, embora, como era de se esperar, ligeiramente maior do que no caso das amostras brutas (0,253). Os valores de CV do W indicam, quando comparados com os valores do Sn, tratar-se de mineralização bem mais errática, o que em parte pode justificar a baixa correlação encontrada.

Este baixo valor encontrado reflete as condições físico-químicas e genéticas peculiares à formação do depósito. Esta constatação indica a necessidade de tratamento estatístico e geoestatístico separado para as variáveis Sn e W e mostra que não é possível o uso de cokrigagem para a avaliação desta jazida.

O Gráfico de correlação, juntamente com os parâmetros estatísticos podem ser vistos na Figura 16.



Parâmetros Estatísticos da Correlação
Amostras Regularizadas

n = 1741
correlação = 0.396

	x	y
mínimo	0.000	0.000
máximo	5.480	2.429
média	0.100	0.028
variância	0.1159	0.0143

Equação: $y = 0.16.X + 0.02$

Figura 16 - Gráfico de correlação Sn e W - amostras regularizadas

- Coeficiente de variação (amostras regularizadas)

O coeficiente de variação é uma medida de dispersão, obtida pela divisão do desvio padrão pela média ($CV = S / \bar{X}$).

Segundo Yamamoto (1992), como o coeficiente de variação é um número adimensional, freqüentemente é utilizado para comparar a dispersão relativa de valores em torno da média entre diferentes distribuições. O CV é também utilizado como uma maneira prática de saber se os dados devem ser tratados pela teoria lognormal ou normal; segundo alguns autores, o número limite situa-se por volta de 1.20, acima do qual as populações de valores devem ser tratadas de forma lognormal, pois há uma grande dispersão de valores.

Os coeficientes de variação calculados para os 3 corpos individualmente mostram valores bastante elevados, como pode ser visto no quadro a seguir, denotando uma grande variabilidade para o depósito, antecipando dificuldades na avaliação geoestatística do mesmo, e sugerindo o tratamento de dados segundo a teoria lognormal.

A Tabela 9 sintetiza os valores encontrados para as amostras brutas e regularizadas.

Tabela 9 – Coeficientes de variação de amostras brutas e regularizadas

Coeficiente de variação (CV)

Corpo	amostras brutas		amostras regularizadas	
	Sn	W	Sn	W
1_4	5.25	10.22	3.08	3.79
5	2.87	7.67	1.64	4.45
6	3.27	4.78	2.02	2.66
total	5.83	11.38	3.39	4.21

Como pode-se verificar, a dispersão das amostras regularizadas é bem menor que das amostras brutas. Na realidade, a regularização não modifica a média amostral, mas a dispersão diminui tanto quanto o intervalo regularizado aumenta, conforme prevê o Teorema do Limite Central (Barnes, 1980).

4.8.3 Seleção de teores de Sn e W das amostras regularizadas

Os histogramas de teores regularizados de Sn e W mostraram caudas bastante afinaladas, com poucos valores excessivamente altos, denotando a característica lognormal da distribuição dos valores para ambas as variáveis.

Com base nestes dados, e também nos demais parâmetros estatísticos, como o CV muito alto, optou-se pelo corte dos valores extremos, acima de 1,00% de Sn e W. Pode-se observar, no entanto, que apenas o corpo 1_4 foi afetado pelo corte. Os demais corpos não sofreram esta influência, uma vez que os valores máximos das amostras regularizadas são inferiores a este valor.

Observa-se que, mesmo após o corte dos teores elevados, os valores de variabilidade são bastante altos quando trata-se de toda a população, independente do tipo litológico. No entanto, após as seleções das sub populações por tipo litológico e por corpo de minério, tem-se uma substancial redução da variabilidade, permanecendo esta no entanto, ainda muito elevada, conforme pode-se observar os valores das CV, na maioria superiores a 1,00. Esta redução da variabilidade nas sub populações (por tipo litológico) ocorre devido a diminuição do espectro da variação de teores na população considerada.

Desta forma, procedeu-se a análise estrutural do depósito utilizando-se esta nova base de dados Sn < 1,00% e W < 1,00%.

Na Tabela 10 tem-se os parâmetros estatísticos correspondentes, independentes da litologia, enquanto na Tabela 11 tem-se os valores equivalentes por tipo litológico e por corpo de minério.

Tabela 10 – Parâmetros estatísticos - Sn e W < 1,00% - independente da litologia.

ESTATÍSTICA BÁSICA DOS DADOS REGULARIZADOS - POR CORPO E TOTAL - para teores de Sn e W menores 1.000%
(Independente da litologia)

C4_amreg

variável	n amostras	mínimo (%)	máximo (%)	média (%)	desv.pad. (%)	variância (%)	CV
SnRX	1034	0.000	0.957	0.078	0.145	0.2107	1.86
WRX	1064	0.000	0.993	0.033	0.097	0.0094	2.95

C5_amreg

variável	n amostras	mínimo (%)	máximo (%)	média (%)	desv.pad. (%)	variância (%)	CV
SnRX	462	0.000	0.710	0.047	0.076	0.0058	1.63
WRX	461	0.000	0.972	0.013	0.056	0.0031	4.45

C6_amreg

variável	n amostras	mínimo (%)	máximo (%)	média (%)	desv.pad. (%)	variância (%)	CV
SnRX	213	0.000	0.403	0.025	0.050	0.0025	2.02
WRX	213	0.000	0.366	0.011	0.030	0.0009	2.66

amostras totais - regularizadas

variável	n amostras	mínimo (%)	máximo (%)	média (%)	desv.pad. (%)	variância (%)	CV
SnRX	1709	0.000	0.957	0.063	0.123	0.0150	1.94
WRX	1738	0.000	0.993	0.025	0.082	0.0068	3.30

Tabela 11 – Parâmetros estatísticos - Sn e W < 1,00% - por tipo litológico (minério).

ESTATÍSTICA BÁSICA DOS DADOS REGULARIZADOS - POR CORPO e POR TIPO LITOLÓGICO (MINÉRIO)
Para teores de Sn e W < 1.00%

(Litologia GEI - minério intemperizado)

Corpo	litologia	variável	n. amostras	mínimo (%)	máximo (%)	média (%)	desv. pad. (%)	variância (%)	CV
C1_4	GEI	SnRX	214	0.010	0.957	0.204	0.216	0.0465	1.06
C1_4	GEI	WRX	239	0.002	0.993	0.087	0.157	0.0247	1.80

(Litologia GEI - minério intemperizado)

Corpo	litologia	variável	n. amostras	mínimo (%)	máximo (%)	média (%)	desv. pad. (%)	variância (%)	CV
C5	GEI	SnRX	138	0.000	0.710	0.089	0.107	0.0114	1.21
C5	GEI	WRX	138	0.000	0.972	0.032	0.098	0.0096	3.03

(Litologia GEI + GE - minério intemperizado + rocha sã)

Corpo	litologia	variável	n. amostras	mínimo (%)	máximo (%)	média (%)	desv. pad. (%)	variância (%)	CV
C6	GEI + GE	SnRX	54	0.000	0.403	0.077	0.072	0.0052	0.94
C6	GEI + GE	WRX	54	0.000	0.366	0.031	0.055	0.0030	1.74

(Litologia GE - minério rocha sã)

Corpo	litologia	variável	n. amostras	mínimo (%)	máximo (%)	média (%)	desv. pad. (%)	variância (%)	CV
C1_4	GE	SnRX	142	0.010	0.915	0.117	0.183	0.0333	1.55
C1_4	GE	WRX	146	0.000	0.868	0.048	0.121	0.0147	2.51

(Litologia GE - minério rocha sã)

Corpo	litologia	variável	n. amostras	mínimo (%)	máximo (%)	média (%)	desv. pad. (%)	variância (%)	CV
C5	GE	SnRX	103	0.000	0.276	0.045	0.042	0.0018	0.95
C5	GE	WRX	103	0.000	0.078	0.007	0.013	0.0002	1.85

(Litologia GEI + GE - minério intemperizado + rocha sã)

Corpo	litologia	variável	n. amostras	mínimo (%)	máximo (%)	média (%)	desv. pad. (%)	variância (%)	CV
C6	GEI + GE	SnRX	54	0.000	0.403	0.077	0.072	0.0052	0.94
C6	GEI + GE	WRX	54	0.000	0.366	0.031	0.055	0.0030	1.74

Obs: Para o Corpo 6, foram utilizadas as litologias GE e GEI somadas devido ao pequeno número de amostras

4.8.4 Análise estrutural

A análise estrutural realizada teve por objetivo discernir os principais traços do modelo de variabilidade. A partir da construção de semi-variogramas em direções diversas, procurou-se compreender o arranjo espacial dos dados e verificar-se a continuidade espacial das variáveis considerando-se as análises de anisotropia e o ajuste global das mesmas.

Inicialmente optou-se por trabalhar os dados considerando-se cada corpo de minério individualmente (corpos: 1_4, 5 e 6) . Para cada corpo, realizou-se estudos da continuidade estrutural das amostras relativas a cada um dos universos – *Minério Intemperizado (GEI) e Minério Rocha Sã (GE)* – individualmente.

- Definição dos semi-variogramas

Os dados de cada corpo de minério (1_4, 5 e 6) foram trabalhados individualmente visando-se o estudo da continuidade espacial das amostras relativas a cada um desses universos.

Procedeu-se para os 3 casos a elaboração de variogramas completos (*variogram-map)* com o objetivo de se confirmar a existência de anisotropia geométrica, já esperada em função das características estruturais do depósito.

Em seguida, elaborou-se os semi-variogramas *omnidirecionais*, e os semi-variogramas individuais em direções diversas para cada caso.

Foi utilizado inicialmente, para cada corpo, por tipo de minério, os dados regularizados totais, sem os cortes de teores de Sn e W acima de 1,0%. Em seguida foram utilizadas as mesmas bases de dados com teores inferiores a 1,0%, o que mostrou melhor o caráter regionalizado das variáveis.

Devido ao reduzido número de amostras por tipo litológico, constatou-se que, em todos os casos analisados, a separação dos corpos de minério em dois conjuntos litológicos (GE e GEI) prejudicou um pouco a construção dos semi-variogramas. A distribuição espacial das amostras também ficou prejudicada devido a irregularidade dos corpos de minério e a topografia levemente acidentada.

Estes fatos, no entanto, não impediram que se conseguisse identificar a continuidade estrutural dos corpos através da construção dos semi-variogramas nas direções adequadas para os corpos 1_4 e 5. No entanto, o corpo 6, por não se obter um número razoável de amostras individualmente, houve a necessidade de se tratar as amostras GE e GEI como um única população de valores na busca da estrutura das variáveis em estudo.

- **Uso de variograma lognormal**

Em alguns casos onde a variabilidade é muito elevada, é conveniente o seu estudo a partir de uma variável transformada, por exemplo: $Y(x) = \log Z(x)$ (Journel & Huijbregts, 1978). No presente trabalho, onde os teores tanto de Sn como de W variam amplamente, utilizou-se a expressão acima.

Quando $Z(x)$ é lognormal, $Y(x) = \log Z(x)$ tem distribuição normal, logo, o estimador $Z^*(x_o)$ pode ser derivado de uma combinação linear, que é a Krigagem Lognormal, que será utilizada e discutida mais adiante.

A análise variográfica foi feita individualmente para os corpos 1_4, 5 e 6. Várias tentativas foram feitas inicialmente com o uso dos valores normais dos teores e também com o logaritmo destes, sendo que a função que melhor capturou as estruturas foi a função semi-variograma com o uso dos logaritmos das variáveis (Sn e W) em todos os corpos de minério estudados.

Portanto, no presente estudo, após a constatação do caráter lognormal da distribuição das variáveis, decidiu-se pelo uso da variável transformada para a construção dos semi-variogramas.

Este procedimento permitiu uma melhor definição dos semi-variogramas, conforme pode ser visto nos tópicos seguintes.

- Base de dados utilizada na análise variográfica

A Tabela 12 mostra o número de amostras por corpo de minério, utilizadas no tratamento geoestatístico e definição dos semi-variogramas. No caso do corpo 6 utilizou-se o somatório das amostras das litologias GE e GEI devido ao reduzido número das mesmas.

Tabela 12 - Base de dados utilizada na definição dos semi-variogramas

Corpo	Amostras regularizadas (GE)	Amostras regularizadas (GEI)
1_4	240	148
5	138	103
6 *	45	9
total	423	260

* No caso do corpo 6 foram utilizadas as amostras GE + GEI = 54

- Corpo 1_4

A análise dos dados de pesquisa, mapas geoestruturais e perfis de sondagem, sugeriu a existência de anisotropia estrutural para o depósito em questão (Corpo 1_4), o que é evidenciado por um alongamento do corpo de minério na direção de azimute 115° e mergulho médio de 70° SW.

Em função desses dados estruturais e das informações obtidas nos semi-variogramas ensaiados optou-se, após várias tentativas, pelas direções: D1 = direção de menor variabilidade com Azimute 125°, D2 = direção de variabilidade intermediária com Azimute 35° e D3 = direção vertical - inclinação 90° - como o eixo de maior variabilidade, resultando esta na melhor estruturação possível para o depósito.

Ainda assim, o melhor variograma conseguido foi na direção vertical, mostrando, que apesar da malha de sondagem 25 x 20m ser bastante densa, a variabilidade do depósito é ainda bastante grande para este diâmetro amostral (BW = 5,0 cm).

A seguir são apresentados os parâmetros adotados na execução dos variogramas experimentais bem como nos ajustes do variogramas para as variáveis SnRX (Sn) e WRX (W), por tipo litológico GEI e GE. São apresentados também os variogramas ajustados das mesmas variáveis.

As Tabelas 13 e 14 mostram, respectivamente, os parâmetros adotados para o cálculo dos variogramas experimentais e os parâmetros de ajuste desses variogramas. As Figuras 17 e 18 apresentam os variogramas experimentais das variáveis Sn e W para as litologias GEI e GE e seus respectivos modelos teóricos ajustados.

Tabela - 13 – Parâmetros para o cálculo dos variogramas experimentais – Corpo 1_4.

PARÂMETROS PARA O CÁLCULO DO VARIOGRAMA EXPERIMENTAL
CORPO 1_4 - LITOLOGIA GEI e GE - VARIÁVEIS Sn e W

corpo	litologia	variável	direção	mergulho	tol. angular	passo (m)	tol. passo	nº de passos
C1_4	GEI	SNRX	125º	0º	20º	25.0	50%	8
			35º	0º	45º	15.0	50%	10
			0º	90º	45º	2.5	50%	10

corpo	litologia	variável	direção	mergulho	tol. angular	passo (m)	tol. passo	nº de passos
C1_4	GE	SNRX	125º	0º	15º	25.0	50%	8
			35º	0º	45º	14.0	50%	6
			0º	90º	35º	2.5	50%	10

corpo	litologia	variável	direção	mergulho	tol. angular	passo (m)	tol. passo	nº de passos
C1_4	GEI	WRX	125º	0º	30º	20.0	50%	9
			35º	0º	35º	20.0	50%	10
			0º	90º	45º	2.5	50%	9

corpo	litologia	variável	direção	mergulho	tol. angular	passo (m)	tol. passo	nº de passos
C1_4	GE	WRX	125º	0º	35º	25.0	50%	8
			35º	0º	45º	10.0	50%	10
			0º	90º	30º	2.5	50%	10

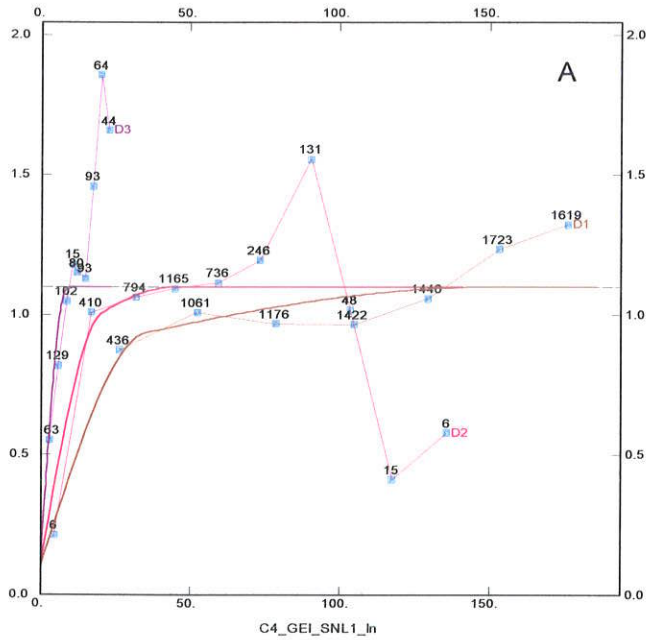
Tabela - 14 – Parâmetros de ajuste dos variogramas experimentais - Corpo 1_4.

Corpo 1_4 parâmetros do ajuste	variavel = Sn - litologia GEI				
S1 = Efeito Pepita = 0.10					
	direção =	125º	35º	90º	patamar
S2 = Modelo Esférico -	amplitude (m) =	20	35	8	0.75
S3 = Modelo Esférico -	amplitude (m) =	150	45	10	0.25

Corpo 1_4 Parâmetros do Ajuste	variavel = Sn - litologia GE				
S1 = Efeito Pepita = 0.10					
	direção =	125º	35º	90º	patamar
S2 = Modelo Esférico -	amplitude (m) =	50	25	10	0.94
S3 = Modelo Esférico -	amplitude (m) =	50	20	1002	0.20

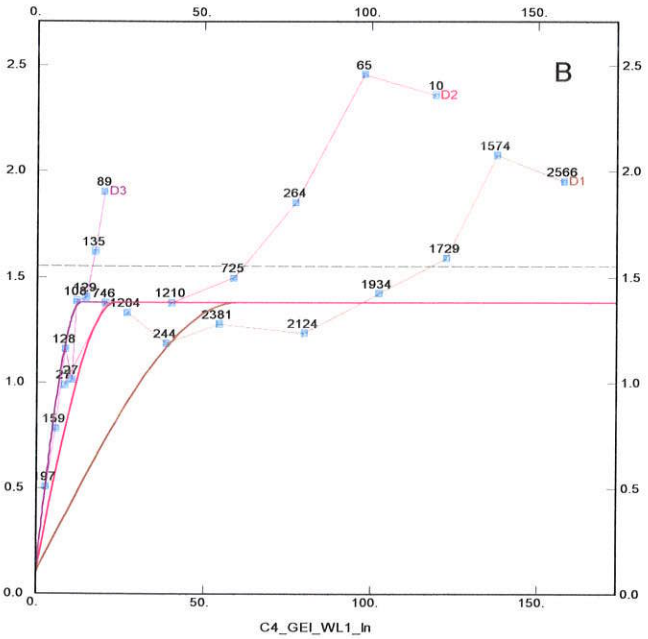
Corpo 1_4 Parâmetros do Ajuste	variavel = W - litologia GEI				
S1 = Efeito Pepita = 0.10					
	direção =	125º	35º	90º	patamar
S2 = Modelo Esférico -	amplitude (m) =	60	23	13	1.28

Corpo 1_4 Parâmetros do Ajuste	variavel = W - litologia GE				
S1 = Efeito Pepita = 0.10					
	direção =	125º	35º	90º	patamar
S2 = Modelo Esférico -	amplitude (m) =	50	25	13	1.50
S3 = Modelo Esférico -	amplitude (m) =	50	25	20	0.20



Corpo 1_4 Parâmetros do Ajuste	Variavel = Sn - Litologia GEI				
S1 = Efeito Pepita = 0.10					
	Direção =	125	35	90	patamar
S2 = Modelo Esférico -	Amplitude =	20	35	8	0.75
S3 = Modelo Esférico -	Amplitude =	150	45	10	0.25

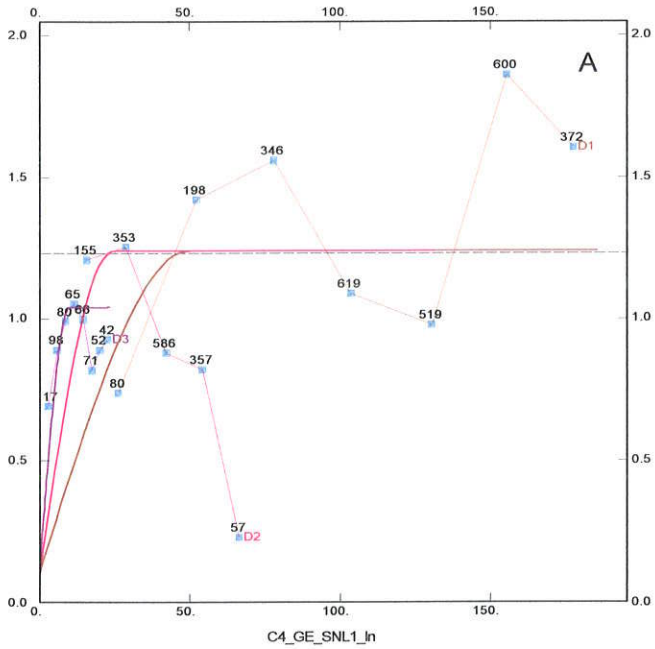
Parâmetros do Variograma			
Direção =	125	35	90
Mergulho =	0	0	90
Tol. Angular =	20º	45º	45º
Passo =	25.0	15.0	2.5
Tol. Passo =	50%	50%	50%
N. Passos =	8	10	10



Corpo 1_4 Parâmetros do Ajuste	Variavel = W - Litologia GEI				
S1 = Efeito Pepita = 0.10					
	Direção =	125	35	90	patamar
S2 = Modelo Esférico -	Amplitude =	60	23	13	1.28

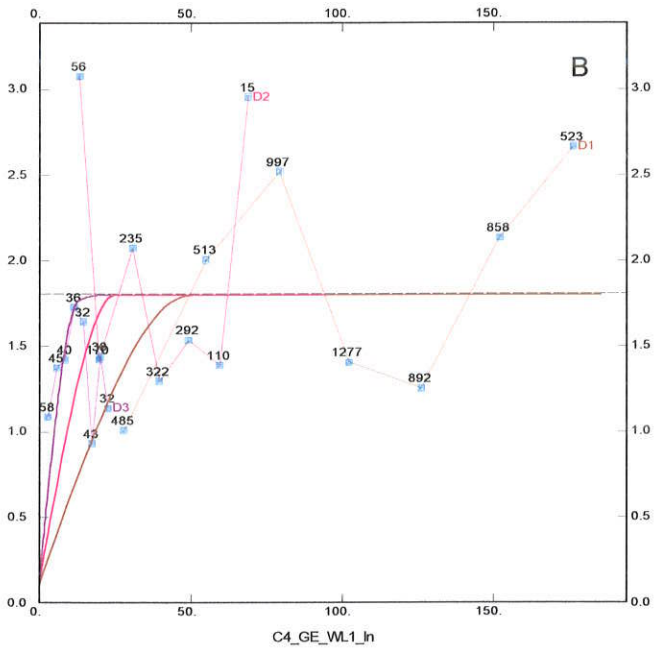
Parâmetros do Variograma			
Direção =	125	35	90
Mergulho =	0	0	90
Tol. Angular =	30º	35º	45º
Passo =	20.0	20.0	2.5
Tol. Passo =	50%	50%	50%
N. Passos =	9	10	9

Figura 17 - Corpo 1_4 - Ajuste variográfico - litologia GEI - Sn (A) e W (B)



Corpo 1_4 Parâmetros do Ajuste		Variavel = Sn - Litologia GE			
S1 = Efeito Pepita = 0.10					
	Direção =	125	35	90	patamar
S2 = Modelo Esférico -	Amplitude =	50	25	10	0.94
S3 = Modelo Esférico -	Amplitude =	50	20	1002	0.20

Parâmetros do Variograma			
Direção =	125	35	90
Mergulho =	0	0	90
Tol. Angular =	15º	45º	35º
Passo =	25.0	14.0	2.5
Tol. Passo =	50%	50%	50%
N. Passos =	8	6	10



Corpo 1_4 Parâmetros do Ajuste		Variavel = W - Litologia GE			
S1 = Efeito Pepita = 0.10					
	Direção =	125	35	90	patamar
S2 = Modelo Esférico -	Amplitude =	50	25	13	1.50
S3 = Modelo Esférico -	Amplitude =	50	25	20	0.20

Parâmetros do Variograma			
Direção =	125	35	90
Mergulho =	0	0	90
Tol. Angular =	35º	45º	30º
Passo =	25.0	10.0	2.5
Tol. Passo =	50%	50%	50%
N. Passos =	8	10	10

Figura 18 - Corpo 1_4 - Ajuste variográfico - litologia GE - Sn (A) e W (B)

- Corpo 5

Este corpo de minério apresenta orientação geoestrutural no sentido E-W, com mergulho acentuado para Sul, sugerindo forte anisotropia.

Vários ensaios foram realizados na busca da melhor estruturação para o depósito. Em função dos dados estruturais e das informações obtidas no variograma completo e no semi-variograma *omnidirecional*, confirmou-se a existência da anisotropia, com eixo maior na direção E-W (D1), eixo intermediário na direção N-S (D2) e eixo de menor na direção vertical (D3). Procedeu-se então a elaboração dos semi-variogramas nas direções principais de anisotropia.

As Tabelas 15 e 16 mostram, respectivamente, os parâmetros adotados para o cálculo dos variogramas experimentais e os parâmetros de ajustes desses variogramas. Os variogramas experimentais das variáveis Sn e W para as litologias GEI e GE e seus respectivos modelos teóricos ajustados encontram-se, respectivamente, nas Figuras 19 e 20.

Tabela 15 – Parâmetros para o cálculo dos variogramas experimentais - Corpo 5.

PARÂMETROS PARA O CÁLCULO DO VARIOGRAMA EXPERIMENTAL
CORPO 5 - LITOLOGIA GEI e GE - VARIÁVEIS Sn e W

corpo	litologia	variável	direção	mergulho	tol. angular	passo (m)	tol. passo	nº de passos
C 5	GEI	SNRX	90º	0º	15º	24.0	50%	7
			0º	0º	35º	19.0	50%	10
			0º	90º	45º	2.5	50%	20

corpo	litologia	variável	direção	mergulho	tol. angular	passo (m)	tol. passo	nº de passos
C 5	GE	SNRX	90º	0º	45º	25.0	50%	8
			0º	0º	45º	22.0	50%	10
			0º	90º	45º	2.5	50%	10

corpo	litologia	variável	direção	mergulho	tol. angular	passo (m)	tol. passo	nº de passos
C 5	GEI	WRX	90º	0º	25º	25.0	50%	10
			0º	0º	45º	15.0	50%	6
			0º	90º	40º	2.5	50%	10

corpo	litologia	variável	direção	mergulho	tol. angular	passo (m)	tol. passo	nº de passos
C 5	GE	WRX	90º	0º	19º	25.0	50%	6
			0º	0º	45º	17.0	50%	10
			0º	90º	30º	2.5	50%	10

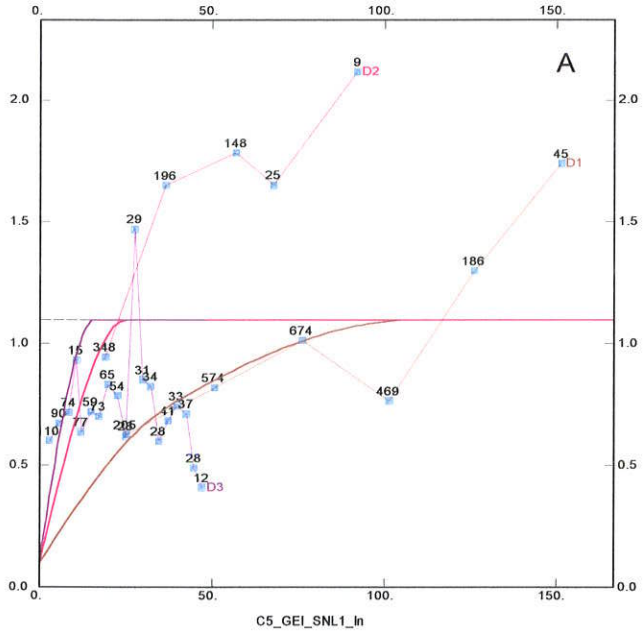
Tabela - 16 – Parâmetros de ajuste dos variogramas experimentais - Corpo 5.

Corpo 5	parâmetros do ajuste	variavel = Sn - litologia GEI			
S1 = Efeito Pepita = 0.10					
	direção =	90°	0°	0°	patamar
S2 = Modelo Esférico -	amplitude (m) =	40	25	16	0.10
S3 = Modelo Esférico -	amplitude (m) =	40	25	16	0.20
S4 = Modelo Esférico -	amplitude (m) =	110	25	16	0.70

Corpo 5	parâmetros do ajuste	variavel = Sn - litologia GE			
S1 = Efeito Pepita = 0.10					
	direção =	90°	0°	0°	patamar
S2 = Modelo Esférico -	amplitude (m) =	70	27	8	0.10
S3 = Modelo Esférico -	amplitude (m) =	70	27	8	0.10
S4 = Modelo Esférico -	amplitude (m) =	70	27	8	0.21

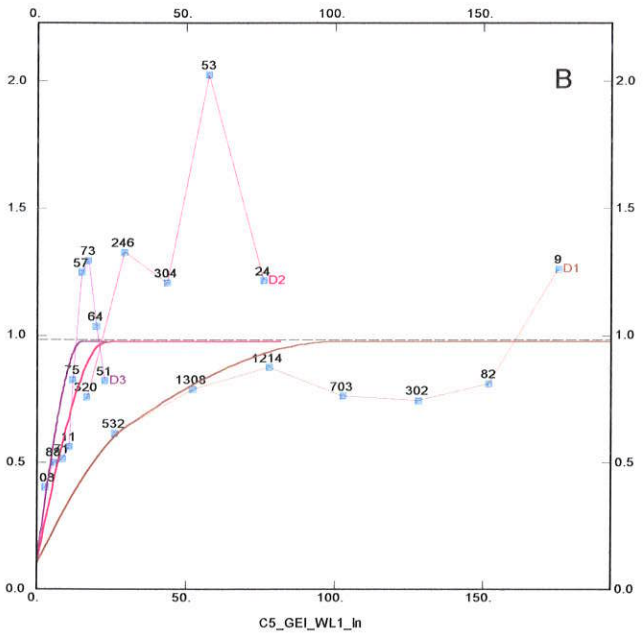
Corpo 5	parâmetros do ajuste	variavel = W - litologia GEI			
S1 = Efeito Pepita = 0.10					
	direção =	90°	0°	0°	patamar
S2 = Modelo Esférico -	amplitude (m) =	30	25	15	0.10
S3 = Modelo Esférico -	amplitude (m) =	30	25	15	0.18
S4 = Modelo Esférico -	amplitude (m) =	100	22	15	0.60

Corpo 5	parâmetros do ajuste	variavel = W - litologia GE			
S1 = Efeito Pepita = 0.10					
	direção =	90°	0°	0°	patamar
S2 = Modelo Esférico -	amplitude (m) =	30	22	18	0.25
S3 = Modelo Esférico -	amplitude (m) =	30	22	18	0.30
S4 = Modelo Esférico -	amplitude (m) =	60	22	18	0.48



Corpo 5	Parâmetros do Ajuste	Variavel = Sn - Litologia GEI			
S1 = Efeito Pepita = 0.10					
	Direção =	90	0	0	patamar
S2 = Modelo Esférico -	Amplitude =	40	25	16	0.10
S3 = Modelo Esférico -	Amplitude =	40	25	16	0.20
S4 = Modelo Esférico -	Amplitude =	110	25	16	0.70

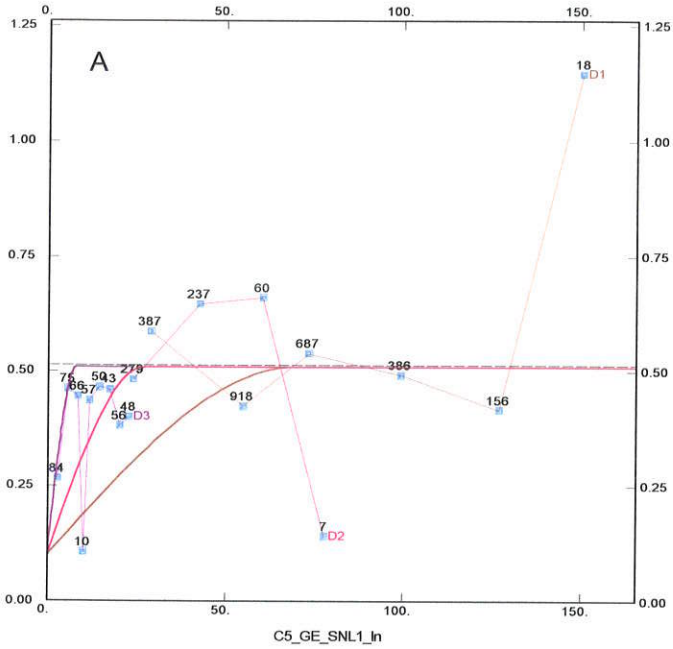
Parâmetros do Variograma			
Direção =	90	0	0
Mergulho =	0	0	90
Tol. Angular =	15º	35º	45º
Passo =	24.0	19.0	2.5
Tol. Passo =	50%	50%	50%
N. Passos =	7	10	20



Corpo 5	Parâmetros do Ajuste	Variavel = W - Litologia GEI			
S1 = Efeito Pepita = 0.10					
	Direção =	90	0	0	patamar
S2 = Modelo Esférico -	Amplitude =	30	25	15	0.10
S3 = Modelo Esférico -	Amplitude =	30	25	15	0.18
S4 = Modelo Esférico -	Amplitude =	100	22	15	0.60

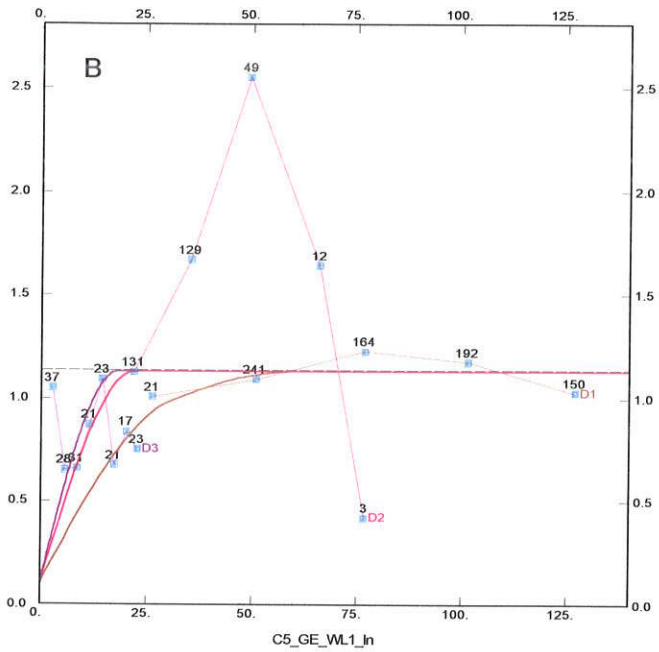
Parâmetros do Variograma			
Direção =	90	0	0
Mergulho =	0	0	90
Tol. Angular =	25º	45º	40º
Passo =	25.0	15.0	2.5
Tol. Passo =	50%	50%	50%
N. Passos =	10	6	10

Figura 19 - Corpo 5 - Ajuste variográfico - litologia GEI - Sn (A) e W (B)



Corpo 5	Parâmetros do Ajuste	Variavel = Sn - Litologia GE			
S1 = Efeito Pepita = 0.10					
	Direção =	90	0	0	patamar
S2 = Modelo Esférico -	Amplitude =	70	27	8	0.10
S3 = Modelo Esférico -	Amplitude =	70	27	8	0.10
S4 = Modelo Esférico -	Amplitude =	70	27	8	0.21

Parâmetros do Variograma			
Direção =	90	0	0
Mergulho =	0	0	90
Tol. Angular =	45º	45º	45º
Passo =	25.0	22.0	2.5
Tol. Passo =	50%	50%	50%
N. Passos =	8	10	10



Corpo 5	Parâmetros do Ajuste	Variavel = W - Litologia GE			
S1 = Efeito Pepita = 0.10					
	Direção =	90	0	0	patamar
S2 = Modelo Esférico -	Amplitude =	30	22	18	0.25
S3 = Modelo Esférico -	Amplitude =	30	22	18	0.30
S4 = Modelo Esférico -	Amplitude =	60	22	18	0.48

Parâmetros do Variograma			
Direção =	90	0	0
Mergulho =	0	0	90
Tol. Angular =	19º	45º	30º
Passo =	25.0	17.0	2.5
Tol. Passo =	50%	50%	50%
N. Passos =	6	10	10

Figura 20 - Corpo 5 - Ajuste variográfico - litologia GE - Sn (A) e W (B)

- Corpo 6

Este Corpo possui formato aproximadamente arredondado, em planta, desenhando aproximadamente a figura de um cone invertido em 3D.

Com era de se esperar, a pequena dimensão do corpo, o seu formato e o número reduzido de amostras, resultaram em semi-variogramas globais para as variáveis Sn e W. Neste caso, devido ao reduzido número de amostras para cada tipo litológico, decidiu-se pela utilização da soma das amostras dos litotipos GEI e GE para o estudo variográfico.

As Tabelas 17 e 18 apresentam, respectivamente, os parâmetros de cálculo dos variogramas experimentais e os parâmetros de ajuste dos mesmos. Os variogramas experimentais das variáveis Sn e W para as litologias GEI + GE (juntas) e seus respectivos modelos teóricos ajustados encontram-se ilustrados na Figura 21.

Tabela 17 – Parâmetros para o cálculo dos variogramas experimentais - Corpo 6.

PARÂMETROS PARA O CÁLCULO DO VARIOGRAMA EXPERIMENTAL
CORPO 6 - LITOLOGIA GEI e GE - VARIÁVEIS Sn e W

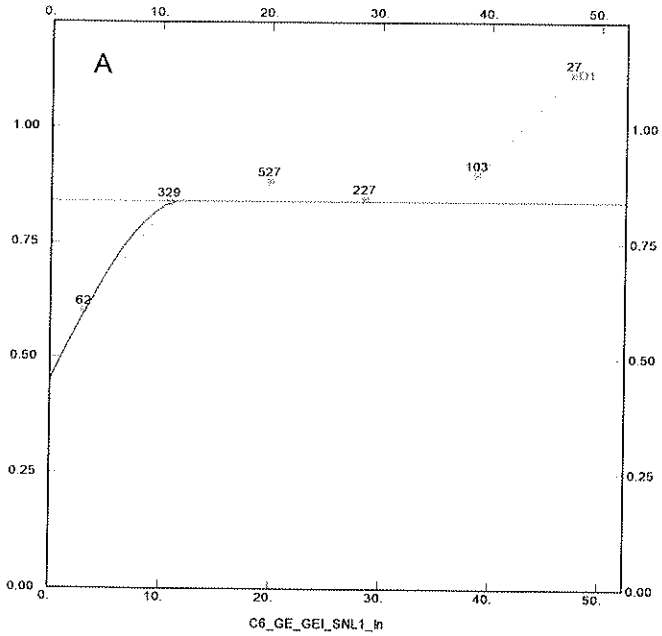
corpo	litologia	variável	direção	mergulho	tol. angular	passo (m)	tol. passo	nº de passos
C 6	GEI + GE	SNRX	90º	0º	90º	10.0	50%	10

corpo	litologia	variável	direção	mergulho	tol. angular	passo (m)	tol. passo	nº de passos
C 6	GEI + GE	WRX	90º	0º	90º	12.5	50%	10

Tabela 18 – Parâmetros de ajuste dos variogramas experimentais - Corpo 6.

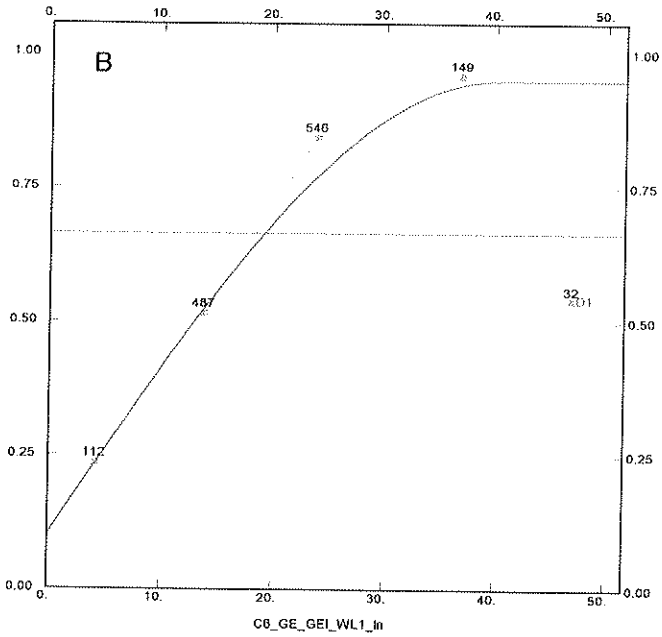
Corpo 6	parâmetros do ajuste		variavel = Sn - litologia GEI + GE	
S1 = Efeito Pepita = 0.45				
		direção =	global	patamar
S2 = Modelo Esférico -		amplitude (m) =	12	0.39

Corpo 6	parâmetros do ajuste		variavel = W - litologia GEI + GE	
S1 = Efeito Pepita = 0.10				
		direção =	global	patamar
S2 = Modelo Esférico -		amplitude (m) =	40	0.85



Corpo 6	Parâmetros do Ajuste	Variavel = Sn - Litologia GEI + GE	
S1 = Efeito Pepita = 0.45			
	Direção =	Global	patamar
S2 = Modelo Esférico -	Amplitude =	12	0.39

Parâmetros do Variograma	
Direção =	Global
Mergulho =	0
Tol. Angular =	90º
Passo =	10.0
Tol. Passo =	50%
N. Passos =	10



Corpo 6	Parâmetros do Ajuste	Variavel = W - Litologia GEI + GE	
S1 = Efeito Pepita = 0.1			
	Direção =	Global	patamar
S2 = Modelo Esférico -	Amplitude =	40	0.85

Parâmetros do Variograma	
Direção =	Global
Mergulho =	0
Tol. Angular =	90º
Passo =	12.5
Tol. Passo =	50%
N. Passos =	10

Figura 21 - Corpo 6 - Ajuste variográfico - litologia GE + GEI - Sn (A) e W (B)

- Comentários sobre a análise variográfica

Na análise variográfica, foi de fundamental importância a interpretação geológica prévia das seções de sondagem, a delineação da geometria dos corpos de minério e a compreensão de seu arranjo estrutural. O domínio prévio dessas informações forneceu subsídios a cerca das possibilidades da existência de anisotropia e suas possíveis direções preferenciais, de forma que os resultados encontrados na análise variográfica vieram confirmar esta expectativa.

Na busca da melhor estruturação possível para cada caso estudado, tomou-se o devido cuidado de se remover valores anômalos (> 1,00 % Sn), trabalhando-se sempre com variabilidades controladas. Este artifício foi de grande importância na definição dos semi-variogramas, sobretudo no caso do corpo 1_4, onde os valores anômalos são maiores.

Além disso, de igual importância, foi o uso dos logaritmos das variáveis na construção dos semi-variogramas. Artifício recomendado nos casos de jazidas de alta variabilidade, onde os valores das variáveis apresentam distribuição lognormal, como em nosso caso.

4.8.5 Parâmetros de vizinhança

No procedimento de interpolação por krigagem há necessidade que se defina os parâmetros de vizinhança de busca de amostras, ou seja, define-se o número de amostras de furos vizinhos que entrarão no cálculo de estimativa dos blocos.

Segundo Yamamoto (1992), este número de amostras de furos vizinhos não deve ser excessivamente pequeno, com o risco da interpolação resultar em valor semelhante ou muito correlacionado ao do ponto mais próximo, e nem excessivamente grande, com o risco da interpolação resultar num valor bastante suavizado semelhante ao teor médio do depósito.

No caso em estudo foi utilizado o procedimento sugerido por Yamamoto (1992) – a subdivisão por setor – que consiste na subdivisão da região em torno do ponto a ser interpolado, em ângulos sólidos de 90° cada, para depois procurar-se os pontos mais próximos dentro de cada setor evitando-se uma amostragem concentrada em um ou poucos furos de sondagem.

Os parâmetros de vizinhança utilizados na validação do modelo variográfico, serão posteriormente utilizados na krigagem ordinária. No capítulo correspondente será explicado o procedimento adotado de krigagem em auréolas, que nada mais é do que a variação dos parâmetros de vizinhança em auréolas de busca em regiões sucessivamente maiores, tendo-se por base a amplitude do variograma correspondente.

4.8.6 Validação do modelo variográfico

A validação cruzada consiste num procedimento matemático adotado para se verificar a qualidade do modelo de continuidade espacial adotado. Baseia-se no descarte temporário de uma amostra conhecida e em seu lugar estima-se um valor, por krigagem, utilizando-se as amostras circunvizinhas, o que é feito para cada amostra do

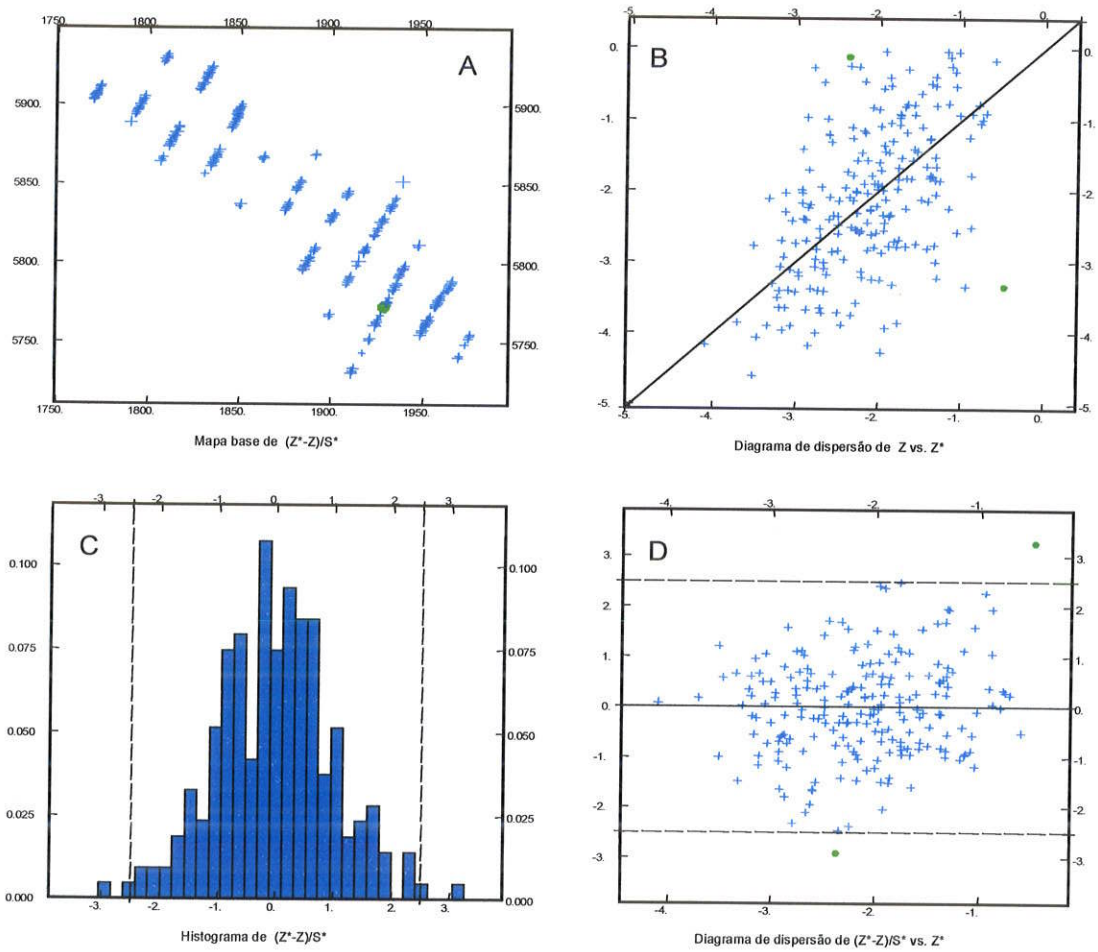
conjunto. O objetivo é verificar a adequabilidade do modelo de ajuste variográfico que se pretende adotar na estimativa de blocos por krigagem.

A validação cruzada foi realizada para as duas variáveis Sn e W, para os três corpos de minério estudados. Para tanto, considerou-se somente os parâmetros de vizinhança correspondentes a primeira auréola de krigagem, para cada tipo litológico (GEI e GE), uma vez que estas, na maioria dos casos, correspondeu a quase totalidade das amostras krigadas.

Apresenta-se, a título ilustrativo, o resultado da validação cruzada das variáveis Sn e W, para a minério intemperizado do corpo 1_4. As Figuras 22 e 23 mostram uma série de quatro *slides* (A a D) representando, respectivamente, o mapa base dos valores envolvidos na validação cruzada (A), o gráfico de dispersão Z x Z* (B), o histograma dos erros padronizados (Z* - Z) / S* e o diagrama de dispersão do erro padronizado vs o Z*. Para cada caso, apresenta-se também os dados estatísticos correspondentes, evidenciando a média e a variância do erro de estimativa, bem como do erro estandardizado.

Em todos os casos analisados, pode-se observar que os valores médios dos erros situam-se, de uma forma geral próximos de zero, mostrando serem estas alternativas razoáveis de ajuste para os modelos variográficos, embora pode-se prever, desde já, dificuldades na estimativa, uma vez que os valores de variância são relativamente altos em todos os casos, sobretudo na variável W.

Nos gráficos apresentados, bem como nos dados estatísticos correspondentes, destacam-se os valores robustos, ou seja, aqueles compreendidos no intervalo de confiança de 95% da distribuição normal. Vê-se também que, nos casos da variável W, as diferenças são via-de-regra maiores, com um maior número de valores enquadrados além do intervalo de confiança, sugerindo dificuldades ainda maiores na avaliação deste.

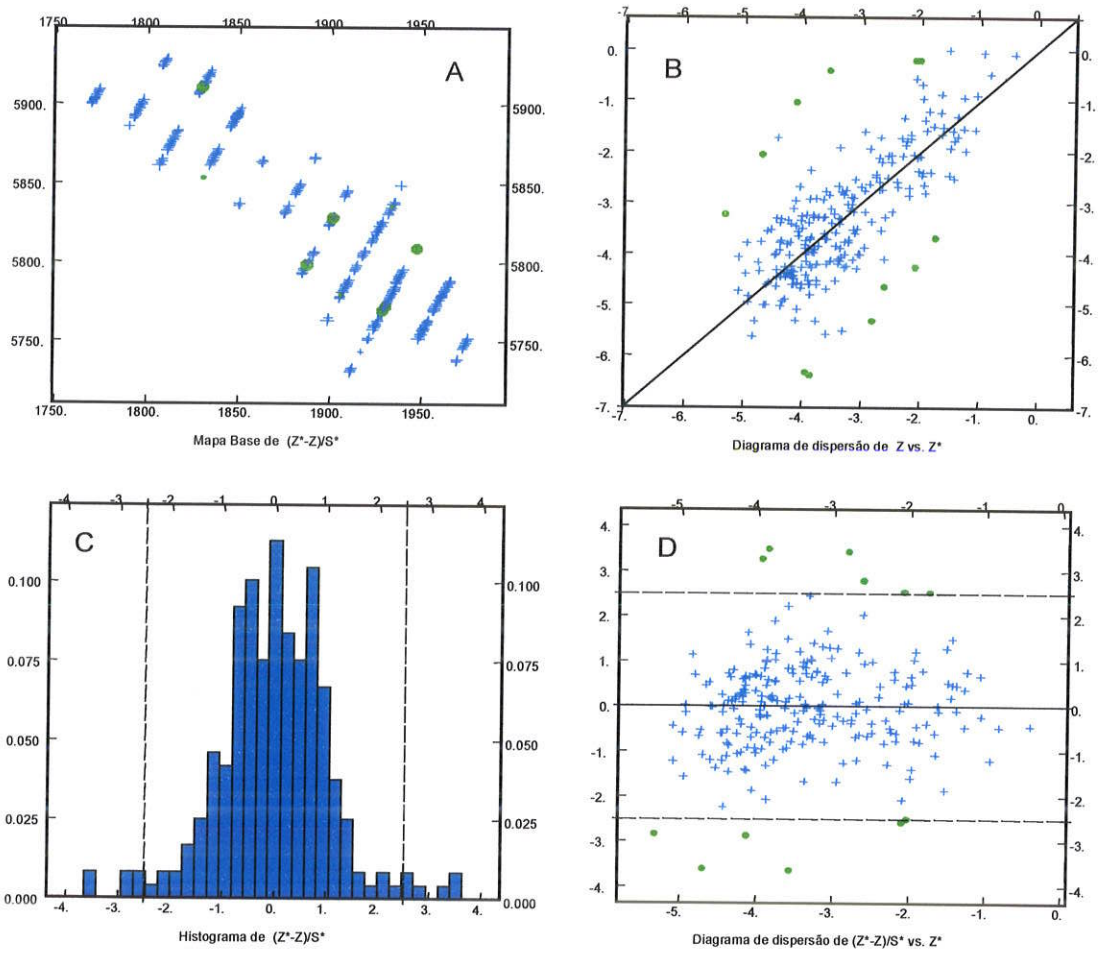


VALIDAÇÃO CRUZADA (Estatística)
Variavel = Sn Litologia = GEI

Estatística	Baseado em 214 dados		Baseado em 212 dados robustos (*)	
	Média	Variância	Média	Variância
Erro	-0.020	0.823	-0.023	0.768
Erro Estandartizado	-0.008	1.006	-0.010	0.925

(*) o dado é robusto quando o seu erro estandardizado situa-se entre -2.5 e 2.5, ou seja, 95% de confiança numa distribuição normal.

Figura 22 - Corpo 1_4 = Validação Cruzada - Sn - Litologia GEI



VALIDAÇÃO CRUZADA (Estatística) Variavel = W Litologia = GEI				
Estatística	Baseado em 239 dados		Baseado em 227 dados robustos (*)	
	Média	Variância	Média	Variância
Erro	-0.015	0.727	-0.011	0.463
Erro Estandartizado	-0.006	1.159	-0.006	0.732

(*) o dado é robusto quando o seu erro estandardizado situa-se entre -2.5 e 2.5, ou seja, 95% de confiança numa distribuição normal.

Figura 23 - Corpo 1_4 = Validação Cruzada - W - Litologia GEI

4.9 Krigagem ordinária

A krigagem ordinária é um método de estimativa linear não tendencioso que procura minimizar a variância do erro de estimativa. A avaliação de reservas em blocos é realizada através da krigagem de pontos discretizados em um *grid* no interior dos blocos.

Uma vez ajustados os modelos variográficos dos logaritmos das variáveis Sn e W, procedeu-se a interpolação dos valores através de krigagem lognormal.

4.9.1 Krigagem lognormal

O princípio consiste em estimar a variável Z, a partir de:

$$Y = ln\ (Z + ß)$$

Onde: $ß$ é um fator que torna Y uma variável positiva.

Usando-se o variograma da variável Y, pode-se estimar o valor de Y^* em qualquer ponto do espaço como uma combinação linear de pontos Y_α.

$$Y^* = \sum \lambda_\alpha Y_\alpha.$$

E também a correspondente variância de krigagem σ^2_Y. O sistema de krigagem pode ser calculado tanto no caso de sistema estritamente estacionário ou no caso intrínsico, introduzindo-se o parâmetro de lagrange μ.

A estimativa e a correspondente variância de estimativa não é feita simplesmente tomando-se o inverso dos logaritmos. Na krigagem ordinária por bloco é considerada a fórmula que envolve o valor da média da variável original (denominada m_z) e a variância de dispersão do logaritmo da variável (denominada S^2_Y). A variância relativa de estimativa corresponde a: σ^2_z / m^2_z.

Na estimativa de blocos tem-se:

$$Z^* = \exp \left[Y^* + \frac{\sigma^2_Y}{2} - \frac{\gamma VV}{2} - \mu \right] - \beta$$

$$\sigma^2_z = m^2_z \, e^{(S^2_Y - \gamma_W)} \left[1 + e^{(\mu - \sigma^2_Y)} (e^{\mu} - 2) \right]$$

- Modelo tridimensional de blocos

Os modelos de blocos para os 3 corpos de minério avaliados foram definidos no *software* PC-Mine, conforme referido anteriormente.

Os parâmetros utilizados nesta definição para os corpos de minério: Corpo 1_4, Corpo 5 e Corpo 6, são apresentados na Tabela 6.

Para cada bloco de cada modelo adotado foram atribuídos os percentuais das litologias correspondentes, a partir da sobreposição com os polígonos litológicos definidos nas seções horizontais.

Foi utilizado um modelo de blocos para cada corpo de minério devido às suas características peculiares no que diz respeito a localização geográfica, orientação estrutural e dimensões.

Para todos os corpos, a avaliação de recursos/reservas foi realizada através do método geoestatístico - krigagem ordinária lognormal, em blocos de 12,5 x 12,5 x 5 m^3. Apenas no caso específico do Corpo 1_4 foi foi feita rotação do modelo de blocos para enquadramento dos eixos de anisotropia. Através deste processo foram avaliadas as reserva Sn e W em de minério intemperizado e rocha sã.

- Auréolas de krigagem (parâmetros de vizinhança)

Como recurso adicional aos parâmetros de vizinhança, utilizou-se como sistemática no procedimento de krigagem, a definição de auréolas de krigagem, que nada mais são do que etapas sucessivas de krigagem seletiva de blocos dada pela variação dos parâmetros de vizinhança. Obviamente os blocos krigados na primeira auréola não são krigados na segunda e assim sucessivamente. Nos três corpos de minério foi utilizada esta sistemática, cujos parâmetros são vistos adiante.

A krigagem foi realizada obedecendo-se os blocos identificados com os tipos litológicos minério GE e GEI, separadamente, para todos os corpos. No corpo 6, como pôde ser visto no capítulo de análise variográfica, a definição do modelo variográfico foi feita com base na soma das amostras correspondentes aos tipos GE e GEI, uma vez que não foi possível obter-se variogramas individuais para GE e GEI devido ao pequeno número de amostras e a dimensão reduzida do corpo. Porém, a krigagem foi realizada individualmente por tipo litológico, utilizando-se um modelo variográfico único.

Para a krigagem de cada conjunto de blocos GE e GEI, de cada corpo de minério, utilizou-se o conjunto de amostras regularizadas de cada corpo, identificadas com as litologias correspondentes.

Em todos os casos procurou-se utilizar na direção vertical o valor do raio de busca bem pequeno, procurando-se com isso que na avaliação de um determinado banco fosse utilizado no máximo amostras dos bancos vizinhos superior e inferior;

embora, a amplitude dos variogramas na vertical, em alguns casos, autorizasse a utilização de raios de busca maiores nesta direção.

Nas direções horizontais de anisotropia procurou-se utilizar um raio de busca que fosse até, no máximo, a amplitude do variograma nas direções correspondentes. Nos casos em que ainda assim não foram krigados todos os blocos, utilizou-se raios de busca maiores, ou maior número mínimo de amostras por setor.

O uso desta técnica possibilitou o enquadramento dos recursos minerais avaliados segundo os critérios que serão vistos adiante.

O procedimento de krigagem deu-se indidualmente para as variáveis Sn e W.

O modelo de blocos importado do PC-Mine foi submedito ao processo de seleções no *software* Isatis, com o objetivo de se identificar as litologias de cada bloco. Para isso selecionou-se os blocos que apresentam > 0% de litologia: GE, GEI, GN e GNI. A litologia dos blocos foi definida conforme a Tabela 19.

Tabela - 19 – Número de blocos por tipo litológico.

Corpo 1_4

litologia	descrição	nº de blocos
GEI	minério intemperizado	621
GE	minério rocha sã	381
GNI	encaixante intemperizada	1638
GN	encaixante rocha sã	3734
total de blocos do modelo: 14812		

- Krigagem do Corpo 1_4

Uma vez definidos os blocos que apresentam litologias dos tipos GEI e GE, estes foram krigados separadamente utilizando-se, respectivamente, o universo de amostras de mesma classificação litológica dentro dos parâmetros de vizinhança definidos.

Na Tabela 20 são apresentados os parâmetros de vizinhança utilizados na krigagem das variáveis Sn e W, para os tipos litológicos GEI e GE, bem como o número de blocos lidos e blocos krigados.

Tabela - 20 – Parâmetros de vizinhança utilizados na krigagem do Corpo 1_4.

Corpo 1_4 - parâmetros de vizinhança na krigagem

Krigagem dos blocos de litologia GEI (minério intemperizado) – variável: Sn

direção do variograma	amplitude do variograma (m)	1º auréola (m)	2º auréola (m)	3º auréola (m)
direção = Az 125º	50	50	75	75
direção = Az 35º	25	25	37.5	37.5
direção = Vertical	10	10	15	20
nº de setores angulares		4	4	4
nº mínimo de amostras		3	3	3
nº ótimo de am. por setor		6	6	6
blocos lidos		621	10	1
blocos krigados		611	9	1

Krigagem dos blocos de litologia GE (minério rocha sã) – variável: Sn

direção do variograma	amplitude do variograma (m)	1º auréola (m)	2º auréola (m)
direção = Az 125º	50	50	75
direção = Az 35º	25	25	37.5
direção = Vertical	10	10	15
nº de setores angulares		4	4
nº mínimo de amostras		3	3
nº ótimo de am. por setor		6	6
blocos lidos		381	1
blocos krigados		380	1

Krigagem dos blocos de litologia GEI (minério intemperizado) – variável: W

direção do variograma	amplitude do variograma (m)	1º auréola (m)	2º auréola (m)
direção = Az 125º	50	50	75
direção = Az 35º	25	25	37.5
direção = Vertical	10	10	15
nº de setores angulares		4	4
nº mínimo de amostras		3	3
nº ótimo de am. por setor		6	6
blocos lidos		621	10
blocos krigados		611	10

Krigagem dos blocos de litologia GE (minério rocha sã) – variável: W

direção do variograma	amplitude do variograma (m)	1º auréola (m)	2º auréola (m)
direção = Az 125º	50	50	75
direção = Az 35º	25	25	37.5
direção = Vertical	10	10	15
nº de setores angulares		4	4
nº mínimo de amostras		3	3
nº ótimo de am. por setor		6	6
blocos lidos		381	5
blocos krigados		376	5

- Krigagem do Corpo 5

Como no caso anterior, o procedimento de krigagem deu-se individualmente para as variáveis Sn e W. Os blocos de cubagem foram selecionados por tipos litológico e classificados conforme a Tabela 19.

Procedeu-se a krigagem dos blocos definidos como minério GE ou GEI. Para tanto, foi utilizado o conjunto de amostras de mesma classificação litológica, de acordo com os parâmetros de vizinhança definidos na Tabela 21. Nesta tabela tem-se o número de blocos lidos e blocos krigados.

Tabela - 21 – Parâmetros de vizinhança utilizados na krigagem do Corpo 5.

Corpo 5 - parâmetros de vizinhança na krigagem

Krigagem dos blocos de litologia GEI (minério intemperizado) – variável: Sn

direção do variograma	amplitude do variograma (m)	1º auréola (m)	2º auréola (m)	3º auréola (m)
direção = Az 90º	75	50	75	75
direção = Az 0º	25	25	25	25
direção = vertical	15	10	15	15
nº de setores angulares		4	4	4
nº mínimo de amostras		3	3	1
nº ótimo de am. por setor		6	6	6
blocos lidos		399	15	1
blocos krigados		384	14	1

Krigagem dos blocos de litologia GE (minério rocha sã) – variável: Sn

direção do variograma	amplitude do variograma (m)	1º auréola (m)	2º auréola (m)
direção = Az 90º	75	50	75
direção = Az 0º	25	25	25
direção = vertical	10	10	15
nº de setores angulares		4	4
nº mínimo de amostras		3	3
nº ótimo de am. por setor		6	6
blocos lidos		342	8
blocos krigados		334	8

Krigagem dos blocos de litologia GEI (minério intemperizado) – variável: W

direção do variograma	amplitude do variograma (m)	1º auréola (m)	2º auréola (m)	3º auréola (m)
direção = Az 90º	75	50	75	75
direção = Az 0º	25	25	25	25
direção = vertical	10	10	15	15
nº de setores angulares		4	4	4
nº mínimo de amostras		3	3	1
nº ótimo de am. por setor		6	6	6
blocos lidos		399	24	6
blocos krigados		375	18	6

Krigagem dos blocos de litologia GE (minério rocha sã) – variável: W

direção do variograma	amplitude do variograma (m)	1º auréola (m)	2º auréola (m)	3º auréola (m)
direção = Az 90º	50	50	75	75
direção = Az 0º	25	25	25	25
direção = vertical	10	10	15	15
nº de setores angulares		4	4	4
nº mínimo de amostras		3	3	1
nº ótimo de am. por setor		6	6	6
blocos lidos		342	31	8
blocos krigados		311	23	8

- Krigagem do Corpo 6

No presente caso, devido as dimensões reduzidas do corpo de minério e o baixo número de amostras optou-se pelo tratamento conjunto dos litotipos GEI e GE para efeito de ajuste variográfico. No entanto, a krigagem foi realizada individualmente para cada litotipo e utilizando-se as amostras igualmente identificadas, exatamente como foi feito nos corpos 1_4 e 5.

A classificação dos blocos em tipos litológicos é apresentada na Tabela 19.

Na Tabela 22 são apresentados os parâmetros de vizinhança utilizados na krigagem das variáveis Sn e W, para os tipos litológicos GEI e GE, bem como o número de blocos lidos e blocos krigados.

Tabela - 22 – Parâmetros de vizinhança utilizados na krigagem do Corpo 6.

Corpo 6 - parâmetros de vizinhança na krigagem

Krigagem dos blocos de litologia GEI (minério intemperizado) – variável: Sn

direção do variograma	amplitude do variograma (m)	1º auréola (m)	2º auréola (m)
direção = Az 90º	12.5	12.5	25
direção = Az 0º	12.5	12.5	25
direção = vertical	12.5	10	12.5
nº de setores angulares		4	4
nº mínimo de amostras		3	3
nº ótimo de am. por setor		6	6
blocos lidos		67	28
blocos krigados		39	28

Krigagem dos blocos de litologia GE (minério rocha sã) – variável: Sn

direção do variograma	amplitude do variograma (m)	1º auréola (m)	2º auréola (m)
direção = Az 90º	12.5	12.5	25
direção = Az 0º	12.5	12.5	25
direção = vertical	12.5	10	12.5
nº de setores angulares		4	4
nº mínimo de amostras		3	3
nº ótimo de am. por setor		6	6
blocos lidos		21	8
blocos krigados		13	8

Krigagem dos blocos de litologia GEI (minério intemperizado) – variável: W

direção do variograma	amplitude do variograma (m)	1º auréola (m)	2º auréola (m)
direção = Az 90º	35	12.5	25
direção = Az 0º	35	12.5	25
direção = vertical	35	10	12.5
nº de setores angulares		4	4
nº mínimo de amostras		3	3
nº ótimo de am. por setor		6	6
blocos lidos		67	28
blocos krigados		39	28

Krigagem dos blocos de litologia GE (minério rocha sã) – variável: W

direção do variograma	amplitude do variograma (m)	1º auréola (m)	2º auréola (m)
direção = Az 90º	35	12.5	25
direção = Az 0º	35	12.5	25
direção = vertical	35	10	12.5
nº de setores angulares		4	4
nº mínimo de amostras		3	3
nº ótimo de am. por setor		6	6
blocos lidos		21	5
blocos krigados		16	5

4.9.2 Resultados da krigagem

Após a realização dos cálculos de krigagem, fez-se, também no Isatis, os cálculos da massa e conteúdo metálico Sn e W para cada corpo de minério avaliado.

O procedimento consistiu nos seguintes cálculos:

V1 = ((12,5 * 12,5 * 5 * V5) * V2) / 100

V3 = (V1 * V4) / 100

Onde:

V1 = massa do bloco considerado
V2 = percentagem, no bloco, do tipo litológico considerado (GEI ou GE)
V3 = conteúdo metálico (Sn ou W) conforme o caso
V4 = teor estimado (Sn* ou W*) conforme o caso
V5 = densidade média do minério (GEI = 1.85 e GE = 2.79)

Este procedimento foi utilizado para todos os corpos de minério. Feito isto, executou-se uma seqüência de seleções de blocos avaliados de acordo com faixas de teores definidos, como será visto no próximo tópico.

- Seleções dos blocos avaliados por classe de teor

Uma vez calculados a massa e o conteúdo metálico de Sn e W para cada bloco avaliado, realizou-se, ainda no Isatis, a seleção dos blocos avaliados por faixa de teor. Este procedimento consistiu em selecionar para cada variável e para cada tipo litológico (GEI ou GE), os blocos compreendidos nas faixas de teores 0, 0,05, 0,08 e 0,10 % Sn. Para cada bloco selecionado, identificou-se também a auréola de krigagem

utilizada na avaliação do mesmo, que deverá servir de base para a classificação dos recursos/reservas.

A classificação dos blocos por faixa de teores foi feita com base nos teores de Sn por se tratar do elemento principal. Uma vez selecionado o bloco com base na faixa de teor definida, os teores de W, bem como a auréola correspondente à krigagem, também foram identificados.

- *Teor de corte 0% Sn* = todos os blocos definidos como minério e avaliados, independente do teor de corte;

- *Teor de corte 0,05% Sn* = todos os blocos definidos como minério e avaliados com teores iguais ou superiores a 0,05% de Sn e independentemente dos teores de W;

- *Teor de corte 0,08% Sn* = todos os blocos definidos como minério e avaliados com teores iguais ou superiores a 0,08% de Sn e independentemente dos teores de W;

- *Teor de corte 0,10% Sn* = todos os blocos definidos como minério e avaliados com teores iguais ou superiores a 0,10% de Sn e independentemente dos teores de W;

Foram escolhidas em princípio estas 4 faixas de teores apenas para que se pudesse contemplar a variação dos recursos em função dos mesmos.

Pôde-se notar que, via-de-regra, quando as amostras de Sn foram avaliadas na 1° auréola, as amostras de W também o foram. O mesmo foi observado para as auréolas 2 e 3. Este fato pode ser notado nas tabelas resumo que se apresenta adiante.

Após as seleções, essas informações foram exportadas a partir do Isatis, em formato ASC II. Para cada corpo foram exportados 8 arquivos, sendo 4 correspondentes às faixas de teor da litologia GEI e 4 correspondentes às faixas de teor da litologia GE. Para cada bloco foram registradas as seguintes informações: número do bloco, coordenadas x, y e z, percentagem do tipo litológico no bloco, teor estimado de Sn para o bloco (Sn*), desvio padrão da estimativa de Sn (SdSn*) para o bloco, massa do bloco, conteúdo metálico de Sn do bloco, auréola de krigagem de Sn, teor estimado de W para o bloco (W*), desvio padrão da estimativa de W (SdW*) para o bloco, conteúdo metálico de W do bloco, auréola de krigagem de W.

As Figuras 24 a 29 apresentam, a título ilustrativo, uma série de imagens em 2D e 3D com os resultados obtidos na krigagem.

As tabelas contendo os valores obtidos por classe de teor e por tipo de minério, dos três corpos avaliados, são apresentados mais adiante.

- Parâmetros estatísticos dos blocos krigados

Observa-se uma redução substancial do coeficiente de variação dos blocos krigados, quando comparados com os CV´s das amostras regularizadas usadas como base para a krigagem.

Este fato era de se esperar em função do aumento do suporte, uma vez que [$\mathbf{S^2.V = C}$], ou seja, o produto da variância pelo volume estimado é igual a uma constante. Neste caso, como aumentamos o valor de V, automaticamente o valor da variância é decresce.

A Tabela 23 apresenta os parâmetros estatísticos dos blocos krigados. Nos corpos maiores, observa-se que os teores médios de Sn e W são maiores no minério intemperizado.

Tabela 23 – parâmetros estatísticos dos blocos krigados – Corpos 1_4, 5 e 6

Parâmetros estatísticos dos blocos krigados

Corpo 1_4

variável	litologia	núm. de amostras	mínimo (%)	máximo (%)	média (%)	desv. padrão (%)	variância (%)	CV
Sn*C4gei	GEI	621	0.029	0.845	0.232	0.1533	0.02351	0.66
W*C4gei	GEI	621	0.010	0.650	0.075	0.0801	0.00642	1.07

variável	litologia	núm. de amostras	mínimo (%)	máximo (%)	média (%)	desv. padrão (%)	variância (%)	CV
Sn*C4ge	GE	381	0.020	0.980	0.109	0.1194	0.01426	1.09
W*C4ge	GE	381	0.002	0.337	0.042	0.0516	0.00266	1.22

Corpo 5

variável	litologia	núm. de amostras	mínimo (%)	máximo (%)	média (%)	desv. padrão (%)	variância (%)	CV
Sn*C5gei	GEI	399	0.010	0.257	0.079	0.0476	0.00227	0.60
W*C5gei	GEI	399	0.001	0.220	0.024	0.0248	0.00061	1.03

variável	litologia	núm. de amostras	mínimo (%)	máximo (%)	média (%)	desv. padrão (%)	variância (%)	CV
Sn*C5ge	GE	342	0.010	0.114	0.046	0.0188	0.00035	0.41
W*C5ge	GE	342	0.000	0.022	0.006	0.0037	0.00001	0.60

Corpo 6

variável	litologia	núm. de amostras	mínimo (%)	máximo (%)	média (%)	desv. padrão (%)	variância (%)	CV
Sn*C6gei	GEI	67	0.035	0.171	0.081	0.0285	0.00081	0.35
W*C6gei	GEI	67	0.008	0.100	0.031	0.0186	0.00035	0.61

variável	litologia	núm. de amostras	mínimo (%)	máximo (%)	média (%)	desv. padrão (%)	variância (%)	CV
Sn*C6ge	GE	21	0.057	0.094	0.082	0.0094	0.00009	0.12
W*C6ge	GE	21	0.005	0.018	0.011	0.0041	0.00002	0.37

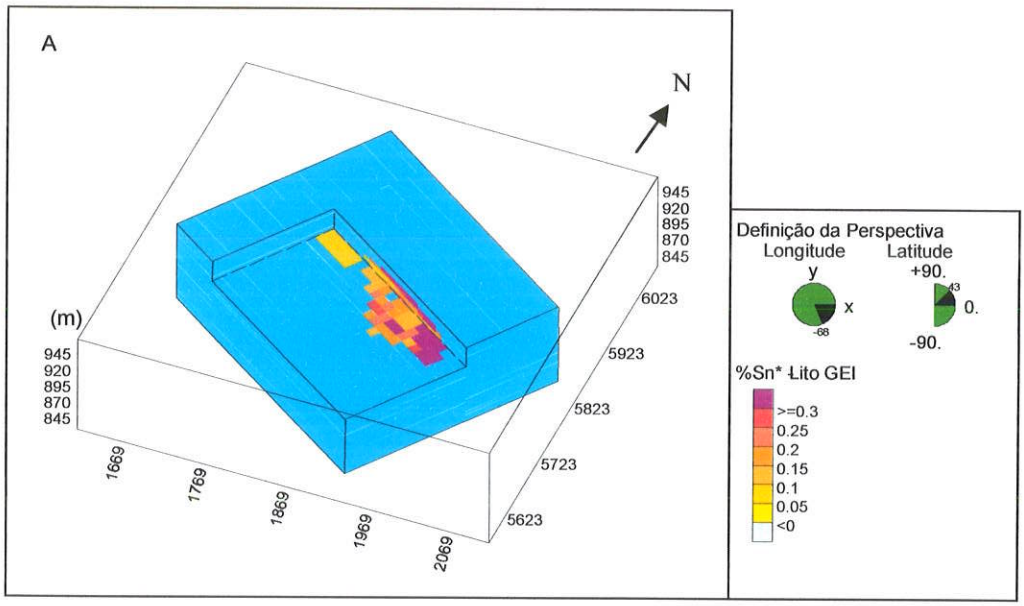
4.9.3 Comentários sobre os cálculos de krigagem

Apesar de ser esta uma jazida de pequeno porte, de altíssima variabilidade natural, e com grandes complicações estruturais e genéticas, pode-se dizer que obteve-se resultados satisfatórios e confiáveis na krigagem.

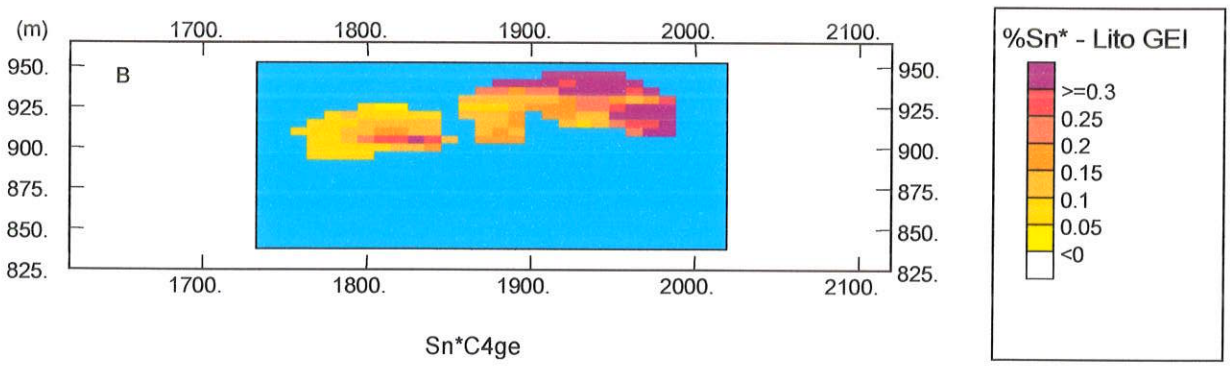
Esses resultados somente foram alcançados graças aos cuidados tomados desde a interpretação geológica dos corpos de minério e a delineação da geometria dos mesmos; a análise e interpretação dos resultados da estatística básica; o corte de valores anômalos visando minimizar o efeito pepita; o uso do logaritmo das variáveis na construção dos variogramas; e por fim a o cálculo da krigagem lognormal, processada

separadamente por tipo de minério, utilizando-se somente amostras pertencentes ao respectivo universo amostral, e realizada em auréolas sucessivas retratando a precisão da estimativa feita.

Todos esses fatores somados resultaram em êxito, que dificilmente seriam obtidos, sem que antes um número incansável de alternativas fossem testadas.

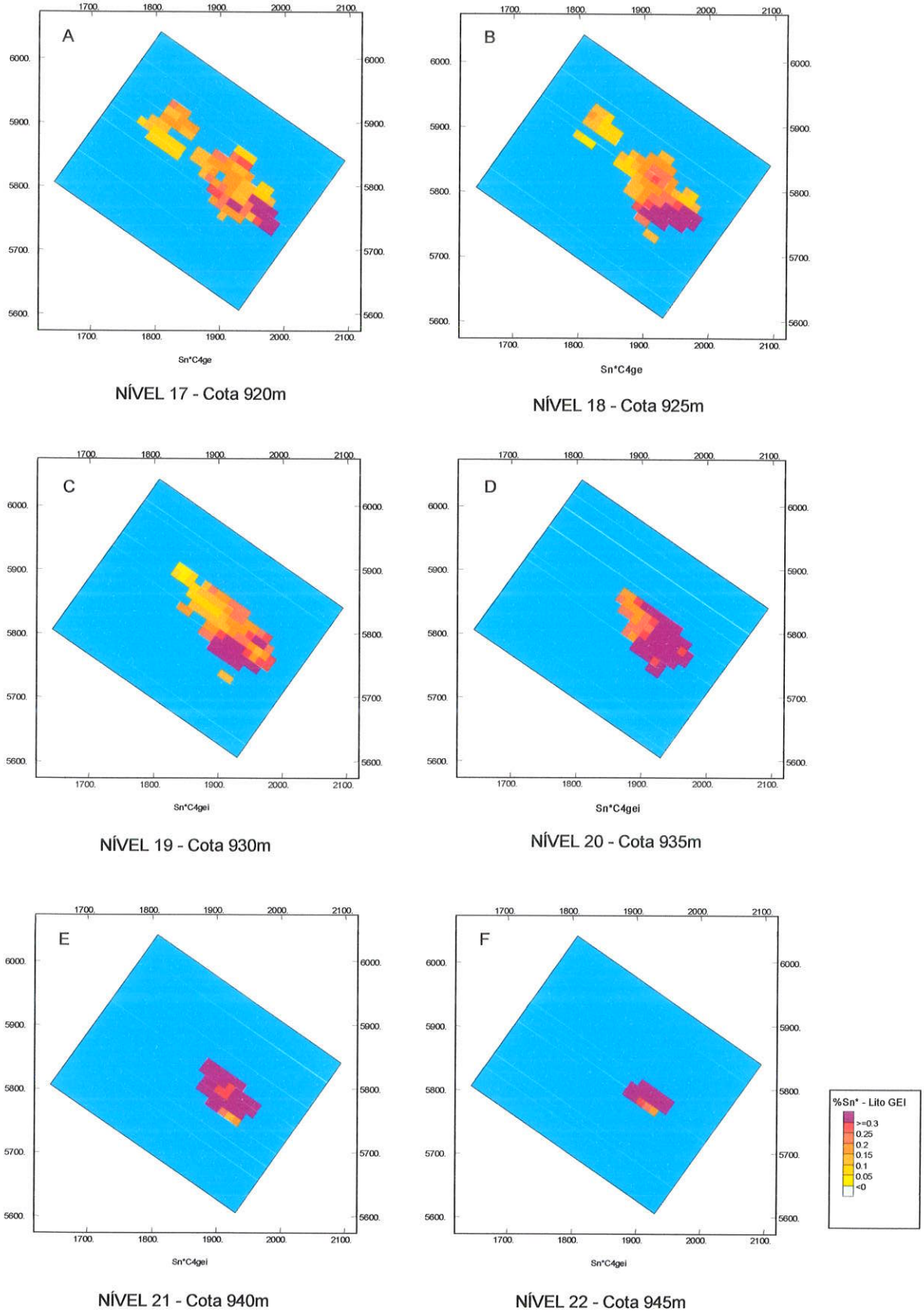


Corpo 1_4 - Bloco diagrama
estimativa de Sn - litologia gei
x=6, y=13, z=17



Corpo 1_4 - Seção vertical (x-z) - y=13
estimativa de Sn - litologia gei

Figura 24 - Blocos estimados por krigagem - estimativa de Sn
litologia GEI - Corpo 1_4



NÍVEL 17 - Cota 920m

NÍVEL 18 - Cota 925m

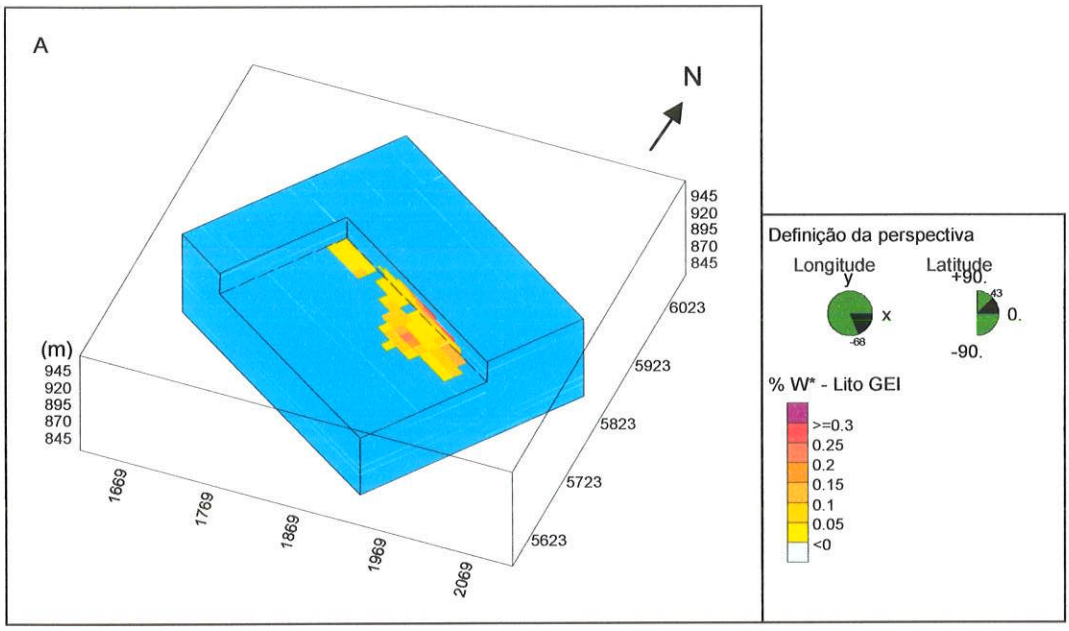
NÍVEL 19 - Cota 930m

NÍVEL 20 - Cota 935m

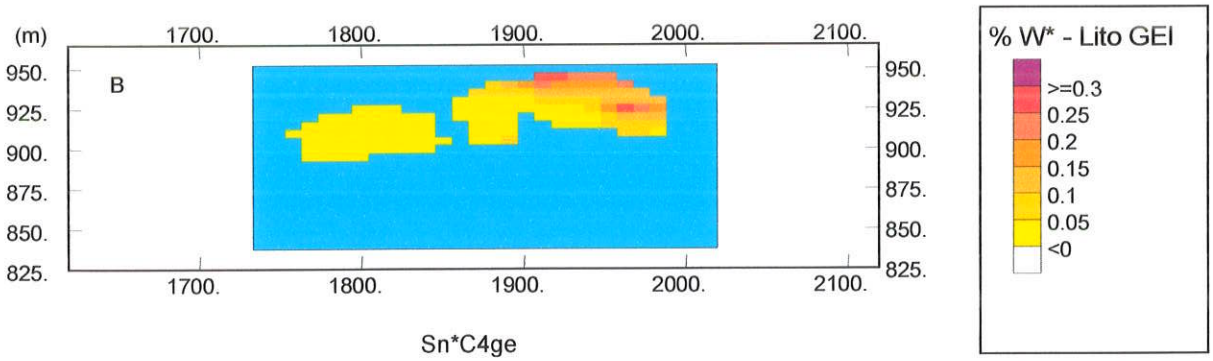
NÍVEL 21 - Cota 940m

NÍVEL 22 - Cota 945m

Figura 25 - Seções Horizontais de blocos estimados por krigagem estimativa de Sn - litologia GEI - Corpo 1_4

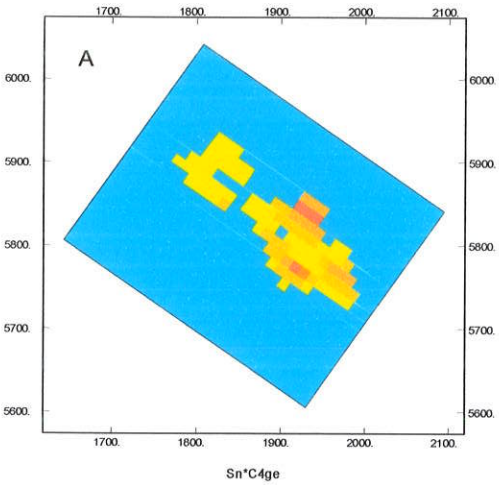


Corpo 1_4 - Bloco diagrama
estimativa de W - litologia gei
x=6, y=13, z=14

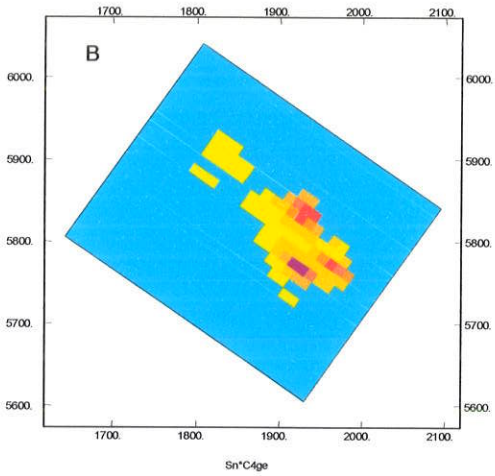


Corpo 1_4 - Seção vertical (x-z) - y=13
estimativa de W - litologia gei

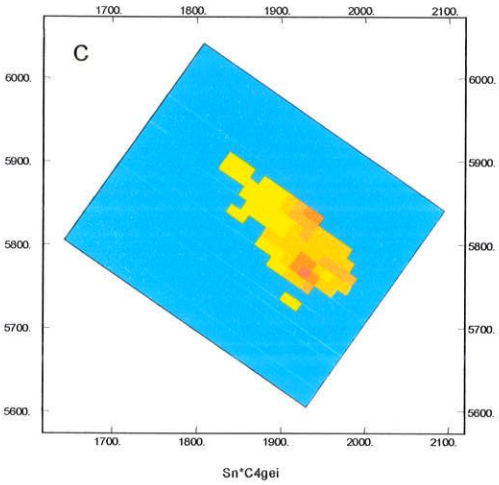
Figura 26 - Blocos estimados por krigagem - estimativa de W litologia GEI - Corpo 1_4



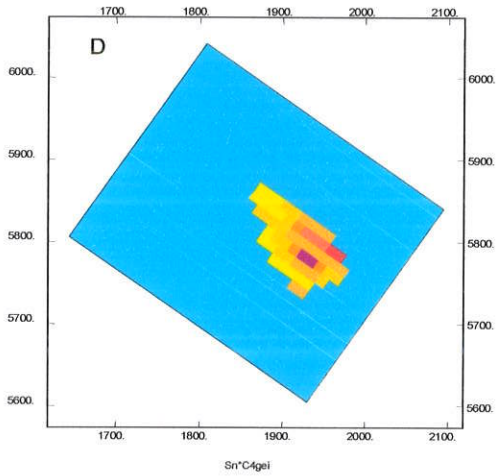
NÍVEL 17 - Cota 920m



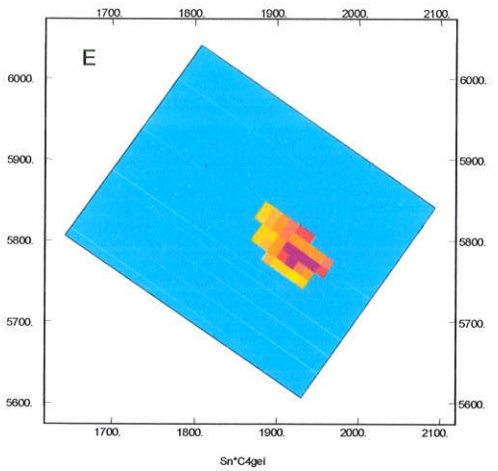
NÍVEL 18 - Cota 925m



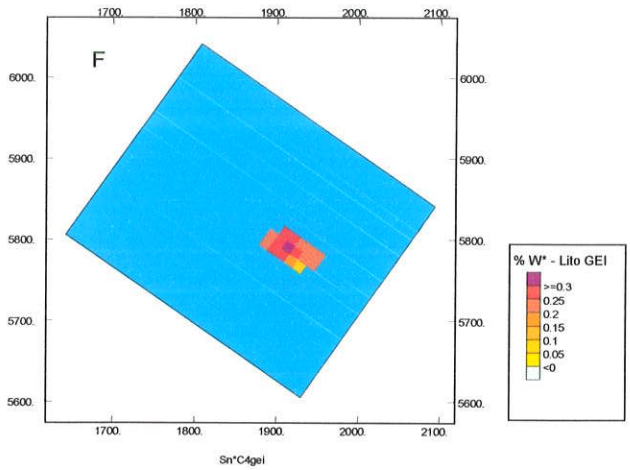
NÍVEL 19 - Cota 930m



NÍVEL 20 - Cota 935m

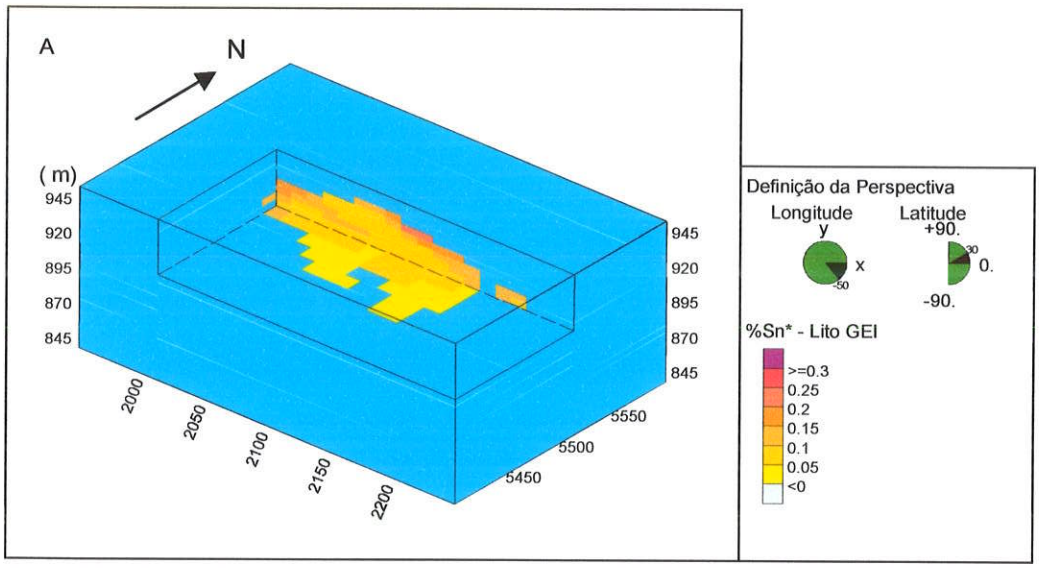


NÍVEL 21 - Cota 940m

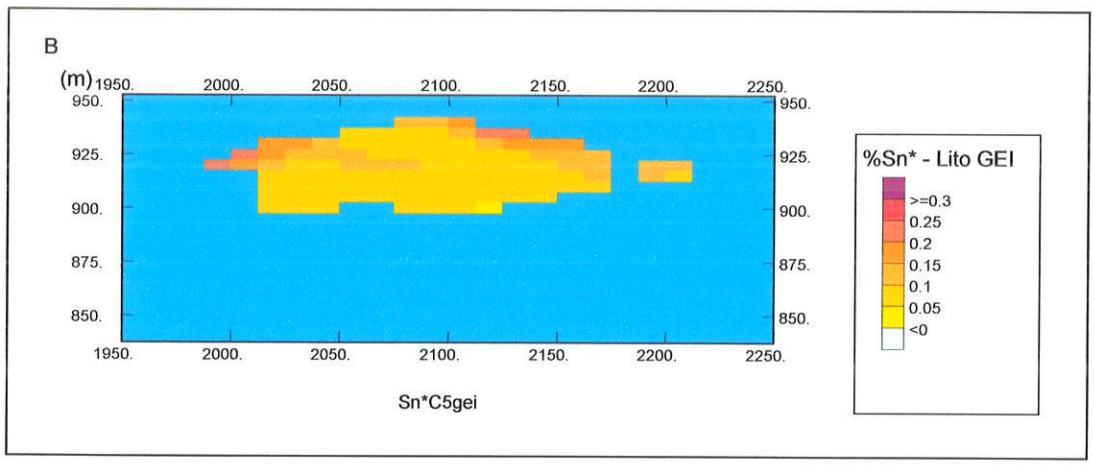


NÍVEL 22 - Cota 945m

Figura 27 - Seções Horizontais de blocos estimados por krigagem estimativa de W - litologia GEI - Corpo 1_4



Corpo 5 - Bloco diagrama
estimativa de Sn - litologia gei
x=5, y=9, z=15



Corpo 5 - Seção vertical (x-z) - y=9
estimativa de Sn - litologia gei

Figura 28 - Blocos estimados por krigagem - estimativa de Sn litologia GEI - Corpo 5

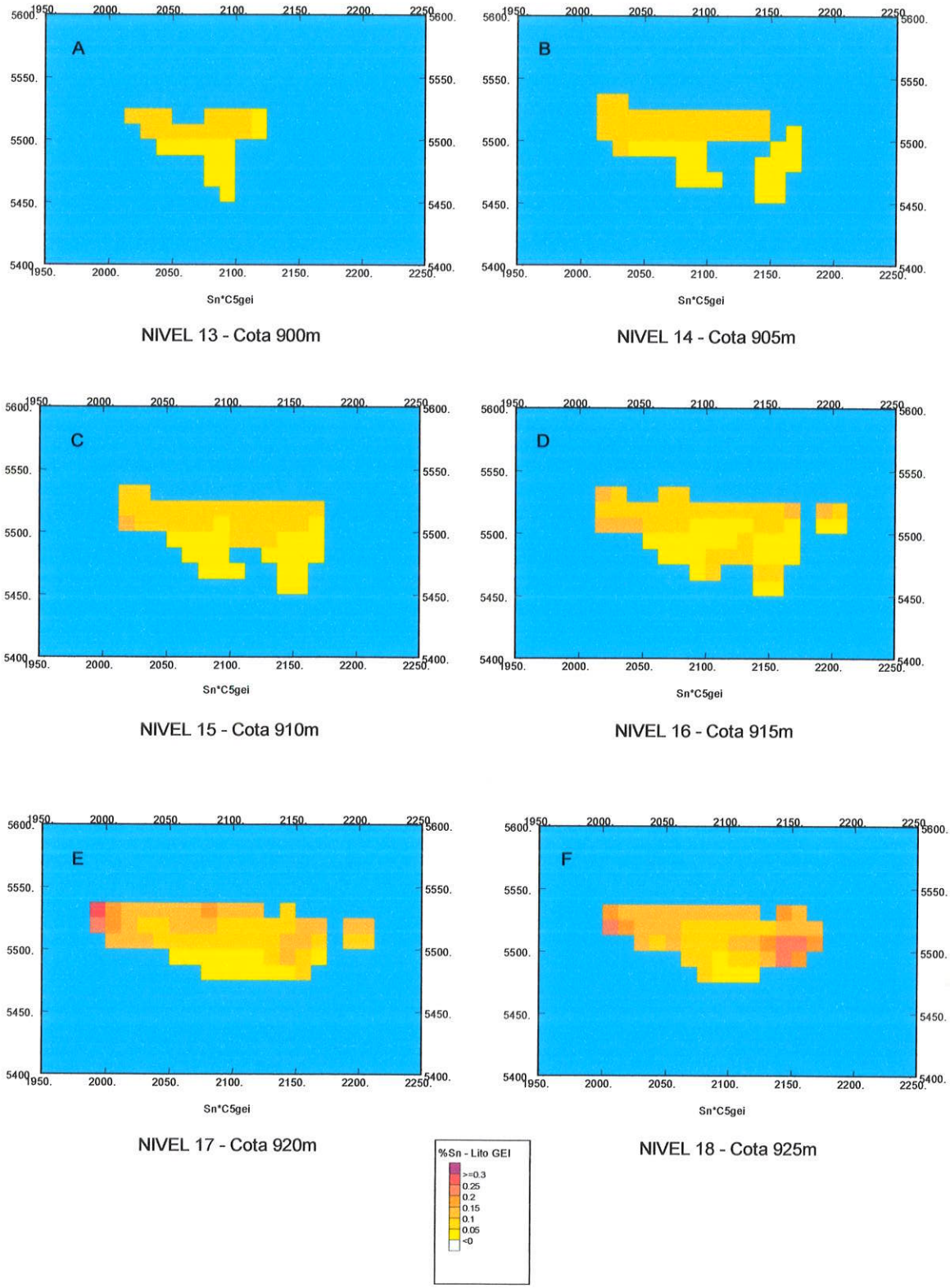


Figura 29 - Seções horizontais de blocos estimados por krigagem estimativa de Sn - litologia GEI - Corpo 5

4.10 Estimativa de recursos / reservas

Um dos conceitos mais adotados atualmente em todo o mundo, relativo a classificação de reservas, é o utilizado pelo Código Australiano para Comunicação de Recursos Minerais Identificados e Reservas Minerais (AIMM 1996 *apud* Yamamoto & Rocha 1996).

Segundo os critérios Australianos, os depósitos minerais podem ser classificados em *Recursos Minerais Inferidos, Indicados e Medidos e Reservas Minerais Prováveis e Provadas.* As estimativas de *Reservas Minerais* são derivadas de estimativas de *Recursos Minerais* modificadas por fatores econômicos, de mineração, metalúrgicos, mercadológicos, legais, ambientais, sociais e governamentais. A escolha da categoria depende da quantidade e qualidade dos dados disponíveis e o nível de confiança que está associado àqueles dados. Em outras palavras, uma *Reserva Mineral* é definida como parte de Recursos Minerais Medidos ou Indicados que poderia ser lavrada.

Segundo Yamamoto & Rocha (1996), a classificação de reservas minerais, em termos de teores e tonelagens, deve ser acompanhada de uma medida do grau de confiabilidade associado às mesmas, e recomendam a utilização de métodos geoestatísticos para avaliação de recursos/reservas, pois fazem melhor uso das informações disponíveis. Assim, segundo estes autores, o bloco de cubagem pode ser classificado como recurso medido ou reserva provada se o mesmo for avaliado com no mínimo uma amostra em seu interior e três a quatro dentro da amplitude do variograma. Contudo, para classe de recurso indicado ou reserva provável, pode-se avaliar o bloco com no mínimo três a quatro amostras situadas na amplitude do variograma (blocos situados nestas condições situam-se geralmente na borda do corpo de minério).

Para o propósito de classificação e enquadramento dos recursos e reservas do depósito Correas, foram utilizados conceitos e procedimentos baseados nos critérios de classificação de reservas do Código Australiano, associados aos critérios propostos por Yamamoto & Rocha (1996) com pequenas adaptações feitas pelo autor.

4.10.1 Critério de classificação de recursos / reservas adotados no presente trabalho

Foram elaborados procedimentos geométricos que incorporam a associação da distribuição espacial das amostras utilizadas na estimativa com parâmetros técnicos extraídos dos variogramas a partir dos seguintes conceitos:

Recursos Medidos = Blocos de cubagem avaliados com no mínimo 3 amostras na amplitude do variograma, e inscrito dentro do espaço tridimensional definido geologicamente como minério, correspondente ao tipo que está sendo avaliado.

Recursos Indicados = Blocos de cubagem avaliados com no mínimo 3 amostras a 1,5 vezes a amplitude do variograma, porém inscrito dentro do espaço tridimensional definido geologicamente como minério, correspondente ao tipo que está sendo avaliado.

Recursos Inferidos = Blocos de cubagem avaliados com no mínimo 1 amostra a 1,5 vezes a amplitude do variograma, porém inscrito dentro do espaço tridimensional definido geologicamente como minério, correspondente ao tipo que está sendo avaliado.

Reservas Medidas e Indicadas = Correspondem diretamente às categorias acima, considerados os fatores econômicos, de mineração, metalúrgicos, mercadológicos, legais, ambientais, sociais e governamentais.

O objetivo inicial proposto pelo presente trabalho, no que concerne a "Avaliação Geoestatística de Reservas Estano-Tungsteníferas do depósito Correas", dentro do critério adotado, baseado no Código Australiano e não no Código Brasileiro de Mineração, passa a ser compreendido como "Avaliação Geoestatística de Recursos Estano-Tungsteníferos do Depósito Correas", uma vez que foge do escopo deste a utilização de critérios econômico, técnico-metalúrgicos e outros.

4.10.2 Apresentação dos resultados de avaliação dos recursos minerais

A seguir são apresentados os resultados da avaliação dos recursos minerais, por categoria, por corpo de minério e total.

- Recursos do Corpo 1_4

Na primeira auréola de krigagem todos os blocos foram avaliados com no mínimo 3 amostras compreendidas na amplitude do variograma, portanto, os valores correspondentes são classificados como Recursos Medidos, conforme critérios já descritos. Na segunda e terceira auréolas, os blocos foram avaliados também com um mínimo de 3 amostras, e até a 1,5 vezes a amplitude do variograma, o que os classifica como Recursos Indicados, segundo o critério aqui adotado.

A Tabela 24 apresenta um quadro resumo dos recursos avaliados no Corpo 1_4. A Tabela 25 apresenta os mesmos resultados agrupados por classe de teor, e por tipo de minério.

Tabela 24 – Resumo dos recursos do Corpo 1_4 – totais.

Corpo 1_4

Minério intemperizado - Corpo 1_4 - recursos de Sn e W

recurso	massa (t)	conteúdo Sn (t)	teor Sn (%)	massa (t)	conteúdo W (t)	teor W (%)
medido	430232.24	1086.92	0.253	430232.24	373.06	0.087
indicado	4609.10	7.72	0.168	4609.10	2.39	0.052
total	434841.34	1094.64	0.252	434841.34	375.45	0.086

Minério rocha sã - Corpo 1_4 - recursos de Sn e W

recurso	massa (t)	conteúdo Sn (t)	teor Sn (%)	massa (t)	conteúdo W (t)	teor W (%)
medido	339536.68	367.27	0.108	338775.75	147.67	0.044
indicado	146.04	NE	NE	906.97	0.15	0.016
total	339682.72	367.27	0.108	339682.72	147.82	0.044

Tabela - 25 – Resultados da krigagem do Corpo 1_4 – por classe de teor.

PROJETO CORREAS
AVALIAÇÃO DE RESERVAS DEPÓSITO ESTANO-TUNGSTENÍFERO
KRIGAGEM DE BLOCOS 12.5x12.5x5m
Modelamento Geológico = Geomodel
Identificação da Litologia = PC-MINE
Krigagem = ISATIS
Corpo 1_4

Recursos por teor de corte - minério intemperizado - Corpo 1_4 (C4 - Sn-W - gei)

teor de corte	auréola de krig.	recurso	massa (t)	conteúdo Sn (t)	teor Sn (%)	massa (t)	conteúdo W (t)	teor W (%)
0.00 % Sn	50m	medido	430232.24	1086.92	0.253	430232.24	373.06	0.087
	75m	indicado	4609.10	7.72	0.168	4609.10	2.39	0.052
	total		434841.34	1094.64	0.252	434841.34	375.45	0.086
teor de corte	auréola de krig.	recurso	massa (t)	conteúdo Sn (t)	teor Sn (%)	massa (t)	conteúdo W (t)	teor W (%)
0.05 % Sn	50m	medido	427217.32	1085.77	0.254	427217.32	372.60	0.087
	75m	indicado	4609.10	7.72	0.168	4609.10	2.39	0.052
	total		431826.42	1093.49	0.253	431826.42	374.99	0.087
teor de corte	auréola de krig.	recurso	massa (t)	conteúdo Sn (t)	teor Sn (%)	massa (t)	conteúdo W (t)	teor W (%)
0.08 % Sn	50m	medido	397696.38	1066.55	0.268	397696.38	364.85	0.092
	75m	indicado	4609.10	7.72	0.168	4609.10	2.39	0.052
	total		402305.48	1074.27	0.267	402305.48	367.24	0.091
teor de corte	auréola de krig.	recurso	massa (t)	conteúdo Sn (t)	teor Sn (%)	massa (t)	conteúdo W (t)	teor W (%)
0.10 % Sn	50m	medido	366124.83	1037.92	0.283	366124.83	355.40	0.097
	75m	indicado	4609.10	7.72	0.168	4609.10	2.39	0.052
	total		370733.93	1045.64	0.282	370733.93	357.79	0.097

Recurso por teor de corte - minério rocha sã - Corpo 1_4 (C4 - Sn-W - ge)

teor de corte	auréola de krig.	recurso	massa (t)	conteúdo Sn (t)	teor Sn (%)	massa (t)	conteúdo W (t)	teor W (%)
0.00 % Sn	50m	medido	339536.68	367.27	0.108	338775.75	147.67	0.044
	75m	indicado	146.04	NE	NE	906.97	0.15	0.016
	total		339682.72	367.27	0.108	339682.72	147.82	0.044
teor de corte	auréola de krig.	recurso	massa (t)	conteúdo Sn (t)	teor Sn (%)	massa (t)	conteúdo W (t)	teor W (%)
0.05 % Sn	50m	medido	248773.62	333.94	0.134	248012.69	130.04	0.052
	75m	indicado	146.04	NE	NE	906.97	0.15	0.016
	total		248773.62	333.94	0.134	248919.66	130.19	0.052
teor de corte	auréola de krig.	recurso	massa (t)	conteúdo Sn (t)	teor Sn (%)	massa (t)	conteúdo W (t)	teor W (%)
0.08 % Sn	50m	medido	158236.59	275.05	0.174	158236.59	98.74	0.062
	75m	indicado	146.04	NE	NE	146.04	0.06	0.044
	total		158382.63	275.05	0.174	158382.63	98.80	0.062
teor de corte	auréola de krig.	recurso	massa (t)	conteúdo Sn (t)	teor Sn (%)	massa (t)	conteúdo W (t)	teor W (%)
0.10 % Sn	50m	medido	135828.75	255.30	0.188	135828.75	88.16	0.065
	75m	indicado	146.04	NE	NE	146.04	0.06	0.044
	total		135974.79	255.30	0.188	135974.79	88.22	0.065

- Recursos do Corpo 5

Na avaliação do corpo 5, considerou-se na primeira auréola de krigagem um mínimo de 3 amostras e um raio de busca inferior a amplitude do variograma, ou seja, considerou-se 50 m enquanto a amplitude do variograma foi de 75m (na direção 90º). Ainda assim, 96% dos blocos foram estimados para Sn e 90% dos blocos foram estimados para W nesta condição. Na segunda e terceira auréolas de krigagem, considerou-se respectivamente 3 e 1 amostras como número mínimo permitido e pequenas alterações foram feitas no raio de busca das auréolas apenas no eixo Z, nos demais eixos usou-se os limites dos variogramas.

Este procedimento, permitiu enquadrar os recursos aqui estimados em Recursos Medidos e Indicados, como pode-se ver nas Tabelas 26 (resumo) e 27 (por classe de teor e tipo de minério).

Tabela - 26 – Resumo dos recursos do Corpo 5 – totais.

Corpo 5

Minério Intemperizado - Corpo 5 - recursos de Sn e W

recurso	massa (t)	conteúdo Sn (t)	teor Sn (%)	massa (t)	conteúdo W (t)	teor W (%)
medido	296311.03	236.94	0.080	296311.03	71.68	0.024
indicado	2709.53	1.97	0.073	2709.53	0.51	0.019
total	299020.56	238.91	0.080	299020.56	72.19	0.024

Minério rocha sã - Corpo 5 - recursos de Sn e W

recurso	massa (t)	conteúdo Sn (t)	teor Sn (%)	massa (t)	conteúdo W (t)	teor W (%)
medido	353365.05	169.88	0.048	338616.42	24.38	0.007
indicado	1553.46	0.57	0.037	16302.10	0.47	0.003
total	354918.52	170.46	0.048	354918.52	24.85	0.007

Tabela - 27 – Resultados da krigagem do Corpo 5 – por classe de teor.

PROJETO CORREAS
AVALIAÇÃO DE RESERVAS DEPÓSITO ESTANO-TUNGSTENÍFERO
KRIGAGEM DE BLOCOS 12.5x12.5x5m
Modelamento Geológico = Geomodel
Identificação da Litologia = PC-MINE
Krigagem = ISATIS
Corpo 5

Recursos por teor de corte - minério intemperizado - Corpo 5 (C5 - Sn-W - gei)

teor de corte	auréola de krig.	recurso	massa (t)	conteúdo Sn (t)	teor Sn (%)	massa (t)	conteúdo W (t)	teor W (%)
0.00%Sn	50m	medido	296311.03	236.94	0.080	296311.03	71.68	0.024
	75m	indicado	2709.53	1.97	0.073	2709.53	0.51	0.019
	total		299020.56	238.91	0.080	299020.56	72.19	0.024
teor de corte	auréola de krig.	recurso	massa (t)	conteúdo Sn (t)	teor Sn (%)	massa (t)	conteúdo W (t)	teor W (%)
0.05%Sn	50m	medido	222533.61	211.68	0.095	222533.61	61.76	0.028
	75m	indicado	1478.84	1.53	0.104	1478.84	0.43	0.029
	total		224012.45	213.21	0.095	224012.45	62.19	0.028
teor de corte	auréola de krig.	recurso	massa (t)	conteúdo Sn (t)	teor Sn (%)	massa (t)	conteúdo W (t)	teor W (%)
0.08%Sn	50m	medido	122936.11	148.41	0.121	122936.11	43.99	0.036
	75m	indicado	1440.83	1.51	0.105	1440.83	0.42	0.029
	total		124376.95	149.92	0.121	124376.95	44.41	0.036
teor de corte	auréola de krig.	recurso	massa (t)	conteúdo Sn (t)	teor Sn (%)	massa (t)	conteúdo W (t)	teor W (%)
0.10%Sn	50m	medido	80217.45	110.76	0.138	80217.45	29.80	0.037
	75m	indicado	889.88	1.01	0.113	889.88	0.27	0.031
	total		81107.32	111.77	0.138	81107.32	30.08	0.037

Recurso por teor de corte - minério rocha sã - Corpo 5 (C5 - Sn-W - ge)

teor de corte	auréola de krig.	recurso	massa (t)	conteúdo Sn (t)	teor Sn (%)	massa (t)	conteúdo W (t)	teor W (%)
0.00%Sn	50m	medido	353365.05	169.88	0.048	338616.42	24.38	0.007
	75m	indicado	1553.46	0.57	0.037	16302.10	0.47	0.003
	total		354918.52	170.46	0.048	354918.52	24.85	0.007
teor de corte	auréola de krig.	recurso	massa (t)	conteúdo Sn (t)	teor Sn (%)	massa (t)	conteúdo W (t)	teor W (%)
0.05%Sn	50m	medido	158017.75	102.00	0.065	158017.75	13.65	0.009
	75m	indicado	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000
	total		158017.75	102.00	0.065	158017.75	13.65	0.009
teor de corte	auréola de krig.	recurso	massa (t)	conteúdo Sn (t)	teor Sn (%)	massa (t)	conteúdo W (t)	teor W (%)
0.08%Sn	50m	medido	19732.93	17.42	0.088	19732.93	2.39	0.012
	75m	indicado	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000
	total		19732.93	17.42	0.088	19732.93	2.39	0.012
teor de corte	auréola de krig.	recurso	massa (t)	conteúdo Sn (t)	teor Sn (%)	massa (t)	conteúdo W (t)	teor W (%)
0.10%Sn	50m	medido	3563.14	3.99	0.112	3563.14	0.24	0.007
	75m	indicado	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000
	total		3563.14	3.99	0.112	3563.14	0.24	0.007

T 2386

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - UFC
- BIBLIOTECA

- Recursos do Corpo 6

Na avaliação do Corpo 6 usou-se variogramas conjunto de GEI e GE, ou seja, os minérios intemperizado e rocha sã geraram um único modelo variográfico para Sn e outro para W. Estes variogramas foram ajustados de forma global e tiveram amplitudes respectivamente 12,5 e 35 m.

Na krigagem, usou-se em todos os casos um mínimo de 3 amostras para avaliação dos blocos. No caso da avaliação do Sn, usou-se duas auréolas, sendo a primeira igual a amplitude do variograma e a segunda igual a 2 vezes a primeira. Em ambos os casos, todos os blocos avaliados foram definidos, segundos critérios geológicos, como minério.

No caso do W, usou-se também um mínimo de 3 amostras para avaliação dos blocos. As duas auréolas utilizadas foram inferiores a amplitude do variograma. Como neste caso usou-se um variograma global com amplitude muito superior a amplitude obtida no variograma do Sn, optou-se por considerar os valores obtidos nesta segunda auréola como recurso indicado.

A Tabela 28 apresenta um resumo das reservas, enquanto a Tabela 29 apresenta os mesmos valores agrupados por classe de teor, e por tipo de minério.

Tabela - 28 – Resumo das recursos do Corpo 6 – totais.

Corpo 6

Minério intemperizado - Corpo 6 - recursos de Sn e W

recurso	massa (t)	conteúdo Sn (t)	teor Sn (%)	massa (t)	conteúdo W (t)	teor W (%)
medido	33231.49	28.19	0.085	33231.49	9.81	0.030
indicado	3461.96	2.62	0.076	3461.96	0.99	0.029
total	36693.45	30.80	0.084	36693.45	10.80	0.029

Minério rocha sã - Corpo 6 - recursos de Sn e W

recurso	massa (t)	conteúdo Sn (t)	teor Sn (%)	massa (t)	conteúdo W (t)	teor W (%)
medido	6634.31	5.06	0.076	7108.83	0.67	0.009
indicado	701.42	0.57	0.081	226.91	0.03	0.014
total	7335.74	5.62	0.077	7335.74	0.70	0.010

Tabela - 29 – Resultados da krigagem do corpo 6 – por classe de teor.

PROJETO CORREAS
AVALIAÇÃO DE RESERVAS DEPÓSITO ESTANO-TUNGSTENÍFERO
KRIGAGEM DE BLOCOS 12.5x12.5x5m
Modelamento Geológico = Geomodel
Identificação da Litologia = PC-MINE
Krigagem = ISATIS
Corpo 6

Recursos por teor de corte - minério intemperizado - Corpo 6 (C6 - Sn-W - gei)

teor de corte	auréola de krig.	recurso	massa (t)	conteúdo Sn (t)	teor Sn (%)	massa (t)	conteúdo W (t)	teor W (%)
0.00%Sn	12.2	medido	33231.49	28.19	0.085	33231.49	9.81	0.030
	25	indicado	3461.96	2.62	0.076	3461.96	0.99	0.029
	total	total	36693.45	30.80	0.084	36693.45	10.80	0.029
teor de corte	**auréola de krig.**	**recurso**	**massa (t)**	**conteúdo Sn (t)**	**teor Sn (%)**	**massa (t)**	**conteúdo W (t)**	**teor W (%)**
0.06%Sn	12.2	medido	31713.91	27.53	0.087	31713.91	9.32	0.029
	25	indicado	2878.92	2.36	0.082	2878.92	0.84	0.029
	total	total	34592.83	29.89	0.086	34592.83	10.16	0.029
teor de corte	**auréola de krig.**	**recurso**	**massa (t)**	**conteúdo Sn (t)**	**teor Sn (%)**	**massa (t)**	**conteúdo W (t)**	**teor W (%)**
0.08%Sn	12.2	medido	18458.09	18.93	0.103	18458.09	6.07	0.033
	25	indicado	1496.33	1.49	0.099	1496.33	0.50	0.033
	total	total	19954.42	20.42	0.102	19954.42	6.56	0.033
teor de corte	**auréola de krig.**	**recurso**	**massa (t)**	**conteúdo Sn (t)**	**teor Sn (%)**	**massa (t)**	**conteúdo W (t)**	**teor W (%)**
0.10%Sn	12.2	medido	5917.25	7.70	0.130	5917.25	2.95	0.050
	25	indicado	632.04	0.76	0.120	632.04	0.28	0.044
	total	total	6549.29	8.46	0.129	6549.29	3.23	0.049

Recurso por teor de corte - minério rocha sã - Corpo 6 (C6 - Sn-W - ge)

teor de corte	auréola de krig.	recurso	massa (t)	conteúdo Sn (t)	teor Sn (%)	massa (t)	conteúdo W (t)	teor W (%)
0.00%Sn	12.2	medido	6634.31	5.06	0.076	7108.83	0.67	0.009
	25	indicado	701.42	0.57	0.081	226.91	0.03	0.014
	total	total	7335.74	5.62	0.077	7335.74	0.70	0.010
teor de corte	**auréola de krig.**	**recurso**	**massa (t)**	**conteúdo Sn (t)**	**teor Sn (%)**	**massa (t)**	**conteúdo W (t)**	**teor W (%)**
0.05%Sn	12.2	medido	6634.31	5.06	0.076	7108.83	0.67	0.009
	25	indicado	701.42	0.57	0.081	226.91	0.03	0.014
	total	total	7335.74	5.62	0.077	7335.74	0.70	0.010
teor de corte	**auréola de krig.**	**recurso**	**massa (t)**	**conteúdo Sn (t)**	**teor Sn (%)**	**massa (t)**	**conteúdo W (t)**	**teor W (%)**
0.08%Sn	12.2	medido	3905.78	3.39	0.087	4115.69	0.45	0.011
	25	indicado	279.00	0.24	0.084	69.10	0.01	0.016
	total	total	4184.78	3.63	0.087	4184.78	0.46	0.011
teor de corte	**auréola de krig.**	**recurso**	**massa (t)**	**conteúdo Sn (t)**	**teor Sn (%)**	**massa (t)**	**conteúdo W (t)**	**teor W (%)**
0.10%Sn	12.2	medido	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000
	25	indicado	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000
	total	total	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000

- **Recursos totais dos Corpos 1_4, 5 e 6**

A Tabela 30 apresenta o resumo geral dos recursos avaliados. Estes recursos são enquadrados em Medido e Indicado conforme critérios já vistos.

Tabela – 30 – Resumo Total dos Recursos Avaliados – Corpos 1_4 + 5 + 6.

Total Corpo 1_4, 5 e 6.

Minério intemperizado - Corpo 1_4, 5 e 6 - recursos de Sn e W

recurso	massa (t)	conteúdo Sn (t)	teor Sn (%)	massa (t)	conteúdo W (t)	teor W (%)
medido	759774.77	1352.05	0.178	759774.77	454.55	0.060
indicado	10780.59	12.31	0.114	10780.59	3.89	0.036
total	770555.35	1364.35	0.177	770555.35	458.44	0.059

Minério rocha sã - Corpo 1_4, 5 e 6 - recursos de Sn e W

recurso	massa (t)	conteúdo Sn (t)	teor Sn (%)	massa (t)	conteúdo W (t)	teor W (%)
medido	699536.05	542.21	0.078	684501.00	172.72	0.025
indicado	2400.93	1.14	0.047	17435.97	0.50	0.003
total	701936.97	543.35	0.077	701936.97	173.22	0.025

Minério total (intemperizado + rocha sã) - Corpo 1_4, 5 e 6 - recursos de Sn e W

recurso	massa (t)	conteúdo Sn (t)	teor Sn (%)	massa (t)	conteúdo W (t)	teor W (%)
medido	1459310.81	1894.26	0.130	1444275.76	627.27	0.043
indicado	13181.51	13.45	0.102	28216.56	4.39	0.016
total	1472492.32	1907.70	0.130	1472492.32	631.66	0.043

4.10.3 Comentários sobre os critérios de cálculo e classificação dos recursos minerais.

O procedimento de krigagem adotado, como descrito anteriormente, garantiu que se obtivesse um alto índice de blocos avaliados já na primeira auréola de krigagem, sobretudo nos dois corpos de minério maiores, garantindo o enquadramento dos mesmos como recursos medidos.

Na avaliação do corpo 1_4, constatou-se que para um teor de corte de 0 % Sn, 99 % dos blocos da porção intemperizada e 100 % dos blocos correspondentes a rocha sã, foram avaliados para Sn e W na primeira auréola de krigagem. Ao se considerar o teor de corte de 0,050 % Sn, constatou-se que 99 % dos blocos foram avaliados para

Sn e W no nível intemperizado e na porção da rocha sã 73 % dos blocos foram avaliados para os mesmos elementos. Estes fatos mostram que a jazida está bem pesquisada, ou seja, a malha de sondagem (amostragem) empregada foi suficientemente densa, e que os maiores teores estão concentrados no na porção intemperizada do depósito.

No corpo 5, para um teor de corte de 0 % Sn, na primeira auréola de krigagem, foram avaliados 99% dos blocos para Sn e W do material intemperizado, 100 % dos blocos para Sn e 95 % para o W na porção de rocha sã. Por outro lado, quando empregou-se o teor de corte de 0,050 % Sn, na mesma auréola de krigagem, foram avaliados 75 % dos blocos para Sn e W do material intemperizado e apenas 45 % dos blocos da rocha sã para os mesmos elementos. Este fato mostra que o corpo 5 é bem mais pobre do que o corpo 1_4, sobretudo na porção de rocha sã. No entanto, também neste caso, pode-se concluir que a malha de sondagem foi suficientemente densa.

O corpo 6, apesar de muito pequeno, foi bem avaliado. Para um teor de corte de 0 % de Sn, 91 % dos blocos da porção intemperizada do depósito foram avaliados para Sn e W. Na porção de rocha sã, e 90 % dos blocos foram avaliados para Sn e 97 % dos mesmos para W. Quando se utilizou um teor de corte de 0,050 % Sn, constatou-se que 95 % dos blocos da porção intemperizada foram avaliados para Sn e W e 100 % dos mesmos na porção correspondente a rocha sã foram avaliados para os mesmos elementos.

5. Conclusões

O presente trabalho teve como objetivo principal a avaliação geoestatística dos recursos minerais do depósito estano-tungstenífero de Correas, utilizando-se de conceitos teóricos e fundamentos geoestatísticos com ênfase na importância da definição dos corpos de minério, a partir da interpretação geológica de dados de pesquisa, dando-se assim, uma conotação prática ao depósito no que se refere a possibilidade de lavra futura.

Utilizou-se na realização deste objetivo, um conjunto de dados reais de pesquisa geológica sistemática, que foram tratados em *softwares* de última geração, com todo o rigor técnico-científico, levando-se em conta, ao mesmo tempo, os objetivos práticos que cercam um trabalho desta natureza, à luz do empreendimento mineiro.

Trata-se de um depósito mineral formado por pequenos corpos de greisens mineralizados a Sn e W, caracterizado por apresentar grande variabilidade natural e alta complexidade genética e geoestrutural.

A interpretação geológica dos corpos de minério a partir dos dados de pesquisa, foi fundamental na avaliação precisa dos recursos minerais do depósito Correas. O critério adotado na delineação dos corpos de minério garantiu que se abordasse todas as possibilidades de mineralização envolvidas, desde greisens e encaixantes greisenizadas até zonas de borda com altos teores, em litologias não greisenizadas. A adoção deste procedimento evita a extrapolação de teores a blocos além dos limites do corpo de minério, fato que pode ocorrer quando se usa somente informações das amplitudes dos variogramas na definição dos raios de busca na interpolação.

A grande diversidade de tipos litológicos descritas inicialmente, representados por 39 diferentes litotipos, a alta variabilidade de teores, e a dimensão reduzida dos corpos de minério, exigiu o reagrupamento das litologias em apenas 4 tipos. Além disso, os seis corpos de minério definidos originalmente, foram reagrupados em

apenas três tipos para efeito de tratamento geoestatístico e avaliação de recursos minerais, devido a sua proximidade física e comportamento geoestrutural.

O tratamento estatístico básico realizado nas populações de amostras brutas e regularizadas, mostrou ampla variação nos valores das variáveis, com valores médios bastante baixos em relação aos mínimos e máximos correspondentes. Os histogramas de distribuição dessas variáveis apresentam distribuições lognormais, leptocúrticas e assimetrias fortemente positivas. A variância e desvio padrão bastante elevados atestam a alta variabilidade natural do depósito. A constatação dessas características sugeriu o corte de valores excessivamente altos a fim de se dar consistência a análise estrutural, minimizando o efeito pepita.

As análises de correlação realizadas tanto no conjunto de amostras brutas como regularizadas entre as variáveis Sn e W, mostram valores de 0,253 e 0,396 respectivamente. Esses valores baixos encontrados refletem as condições físico-químicas e genéticas peculiares à formação do depósito. Esta constatação indica a necessidade de tratamento estatístico e geoestatístico separado para as variáveis Sn e W e mostra que não é possível o uso de cokrigagem para a avaliação desta jazida.

Os coeficientes de variação (CV) calculados para os três corpos de minério mostraram-se bastante elevados, comprovando a grande variabilidade do depósito, antecipando dificuldades na avaliação geoestatística do mesmo, e sugerindo o tratamento de dados segundo a teoria lognormal. Os altos valores de CV do W indicam, quando comparados com os valores do Sn, tratar-se de mineralização bem mais errática, o que em parte pode justificar a baixa correlação encontrada.

Na análise variográfica, foi de suma importância o domínio das informações da geologia do depósito, suas direções estruturais preferenciais e a geometria dos corpos de minério. Esses fatores foram de grande valia na busca das direções preferenciais de anisotropia do depósito. Além disso, o uso de variabilidades controladas definido pelo corte de valores excessivamente elevados e o emprego de variogramas lognormais garantiram resultados que confirmaram a continuidade estrutural das variáveis em estudo.

A validação cruzada, efetuada para as variáveis Sn e W nos três corpos de minério, apresentou valores médios dos erros, de uma forma geral, muito próximos de zero, mostrando que as alternativas adotadas para o ajuste dos modelos variográficos, são bastante razoáveis.

Nos modelos de blocos utilizados na krigagem, foram definidos, para cada bloco, a partir da sobreposição destes com os polígonos identificadores das diferentes litologias, os percentuais litológicos dos mesmos, Este procedimento conferiu grande confiabilidade aos resultados obtidos, garantindo a quantificação precisa dos bens minerais avaliados.

Os resultados obtidos na krigagem lognormal efetuada foram considerados bons e com boa consistência, apesar das dificuldades encontradas relacionadas à variabilidade excessivamente alta do depósito. Foi fundamental nestes cálculos o processamento em separado, por tipo de minério, e o uso do universo de amostras correspondente. Além disso, a realização da krigagem em auréolas sucessivas, permitiu o enquadramento dos recursos minerais segundo a precisão da estimativa feita.

No procedimento do cálculo de krigagem em auréolas sucessivas, variando-se os valores de vizinhança conforme os parâmetros obtidos nos variogramas correspondentes, obteve-se um alto índice de blocos krigados, acima de 90 %, já na primeira auréola de krigagem. Este resultado atesta a qualidade dos parâmetros obtidos na análise estrutural, bem como garante a consistência dos resultados obtidos.

Na classificação dos recursos minerais avaliados, utilizou-se conceitos e procedimentos baseados nos critérios de classificação de reservas do Código Australiano, associado aos critérios propostos por Yamamoto & Rocha (1996) com adaptações feitas pelo autor. Para tanto, utilizou-se basicamente informações extraídas dos variogramas, associadas a parâmetros geométricos definidos pelos corpos de minério e a distribuição espacial das amostras utilizadas na estimativa. Este procedimento permitiu o enquadramento dos recursos minerais em medidos e indicados.

Os trabalhos realizados levaram a definição de recursos minerais avaliados em 1.472.492 t de minério com 0,130% de Sn e 0,043% W, correspondendo respectivamente a 1.907 t de Sn e 631 t de W.

Recentemente a Paranapanema S A, elaborou estudo de aproveitamento econômico do depósito em questão, visando a implantação de uma mina a céu aberto no depósito Correas, e concluiu pela inviabilidade econômica do empreendimento. No estudo em questão, foram considerados recursos medidos na mesma ordem de grandeza dos aqui apresentados, sendo que deste montante, apenas cerca de 50 % foram convertidos em reservas medidas.

Nos estudos realizados pela Paranapanema, foram considerados todos os fatores técnico-econômicos importantes, como gastos com energia, materiais, infra-estrutura, mão-de-obra, custos da lavra, beneficiamento, transporte, investimentos em equipamentos e materias, tributos, depreciação, *overhead*, etc. Além disso, foram consideradas as alternativas de lavra própria e terceirizada, bem como beneficiamento parcial na mina e na unidade metalúrgica do Grupo em Pirapora do Bom Jesus – SP. Em todos os casos avaliados, a taxa interna de retorno foi negativa.

A Paranapanema é uma das maiores produtoras mundiais de Sn, e a maior empresa do ramo do Brasil. A empresa produziu, somente em sua unidade produtora na mina Pitinga situada na amazônia, 8810 t de Sn em 1999, e 64418 t Sn de 1993 a 1998, além de outros produtos como columbita e tantalita. Possui reservas primárias medidas de Sn avaliadas em 164 milhões de toneladas de minério em rocha sã, correspondendo a 231240 t de Sn contido, 10 milhões de t de minério intemperizado com teor de 0,175 % Sn, além das reservas aluvionares e coluvionares.

Os recursos minerais avaliados para todo o depósito de Correas, correspondem ao minério lavrado em aproximadamente 2 meses na mina de Pitinga. Talvez por ser a Paranapanema uma empresa de grande porte, o pequeno empreendimento Correas não se mostrou viável para ela. No entanto, é possível que pequenas empresas ou cooperativas organizadas de produtores, tornem o negócio viável econômica e tecnicamente.

Tem-se, portanto, no âmbito deste trabalho, um conjunto consubstanciado de dados, indispensáveis à elaboração de estudos de viabilidade econômica, que certamente deverá transformar parte dos recursos avaliados em reservas minerais. Por outro lado, as informações relativas a alta variabilidade do depósito deverão auxiliar na tomada de decisão quanto aos rumos do empreendimento mineiro.

Esses fatos, como foi dito, dão a este trabalho um caráter bastante prático enquanto grandemente embasado em conceitos teóricos.

6. Referências Bibliográficas

BARNES, M. P., (1980) – **Computer Assisted Mineral Appraisal and Feasibility** – New York, Soc. Min. Eng. 167p.

GARCIA GUERRA, P. A., (1988) - **Geoestatística Operacional** - Ministério das Minas e Energia - Departamento Nacional da Produção Mineral - Brasília - DF.

GORAIEB L. C., (1995) - **Aspectos Geológicos e Metalogenéticos do Maciço Correas** - Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia - Universidade de São Paulo - USP, Instituto de Geociências - São Paulo - SP.

IPT, (1987) - **Avaliação da Potencialidade Mineral da Área do Bairro dos Correas, Município de Ribeirão Branco - São Paulo**. Relatório IPT nº 25.356.

IPT, (1989) - **Avaliação da Potencialidade Mineral da Área do Granito Correas - SP**. Relatório IPT nº 27.629.

IPT, (1990) - **Geoquímica Regional das Folhas: Guapiara, Iporanga, Gruta do Diabo, Araçaiba e Barra do Chapeu**. Relatório IPT nº 26.631.

ISAAKS, E. H. & SRIVASTAVA, R.M., (1989) - **Applied Geostatistics**. Oxford University Press. New York. USA.

JOURNEL A . G. & HUIJBREGTS C. J., (1978) – **Mining Geostatistics**. London Academic Press. 600p.

LANDIM, P. M. B., 1997 - **Análise Estatística de Dados Geológicos**. São Paulo, Editora UNESP. 226p.

SÃO PAULO, SECRETARIA DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA – **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**, escala 1:1.000.000. São Paulo, 1981. 2v. (mapa e texto explicativo).

VALENTE J. M. G. P., (1982) – **Geomatemática – Lições de Geoestatística – Volumes III a VI.** – Edição da Fundação Gorceix – Ouro Preto – MG.

YAMAMOTO J. K., & BITTENCOURT J. S., (1992) - **Avaliação de Jazidas** - São Paulo, Instituto de Geociências – USP. 116p.

YAMAMOTO J. K. & ROCHA, M. M., (1996) – **Revisão e Recomendações Para o Cálculo e Classificação de Reservas Minerais** – Revista Brasileira de Geociências, pg. 243-254.

ANEXOS

ANEXO-1

PROJETO CORREAS

FLUXOGRAMA DO AGRUPAMENTO DOS TIPOS LITOLÓGICOS

	Nº	litotipo (a)				litotipo (b)	Nº
GNAISSE	1	GNI	GNAISSE	INTEMPERIZADO		GNI	1
				SÃ		GNS	2
	2	GNS	GNAISSE GREISENIZADO	INTEMPERIZADO		GNIG	3
				SÃ		GNSG	4
CALCIOSSILICATICA	3	CSI	CÁLCIOSSILICÁTICA	INTEMPERIZADO		CSI	5
				SÃ		CSS	6
	4	CSS	CÁLCIOSSILICÁTICA GREISENIZADA	INTEMPERIZADO		CSIG	7
				SÃ		CSSG	8
GRANITO	5	AGI	ALBITA GRANITO	ALBITA GRANITO	INTEMPERIZADO	AGI	9
					SÃ	AGS	10
	6	AGS		ALBITA GRANITO GREISENIZADO	INTEMPERIZADO	AGIG	11
					SÃ	AGSG	12
	7	BGI	BIOTITA GRANITO	BIOTITA GRANITO	INTEMPERIZADO	BGI	13
					SÃ	BGS	14
	8	BGS		BIOTITA GRANITO GREISENIZADO	INTEMPERIZADO	BGIG	15
					SÃ	BGSG	16
GREISENS	9	GEI	QUARTZO GREISEN			QG	17
			QUARTZO TOPÁZIO GREISEN			QTG	18
			QUARTZO MICA GREISEN			QMG	19
			QUARTZO TOPÁZIO MICA GREISEN			QTMG	20
			QUARTZO MICA TOPÁZIO GREISEN			QMTG	21
	10	GES	MICA GREISEN			MG	22
			MICA QUARTZO GREISEN			MQG	23
			MICA QUARTZO GREISEN (SEGREGAÇÕES)			SEG	24
			MICA QUARTZO TOPÁZIO GREISEN			MQTG	25
			TOPÁZIO QUARTZO GREISEN			TQG	26
			TOPÁZIO QUARTZO MICA GREISEN			TQMG	27
			GREISENS À TOPÁZIO +/- QZ/MICA			GT	28
VEIOS DE QUARTZO	11	QZI	QUARTZO VEIO	VEIO QUARTZO LEITOSO		VQL	29
	12	QZS		VEIO QUARTZO COM SULFETOS		VQS	30
				VEIO QUARTZO COM ÓXIDOS		VQX	31
PEGMATITOS	13	PGI	STOCK SCHEIDER		INTEMPERIZADO	SCI	32
					SÃ	SCS	33
	14	PGS	TARDIO (FRATURAS)	MINERALIZADO	INTEMPERIZADO	PMI	34
					SÃ	PMS	35
				NÃO MINERALIZADO	INTEMPERIZADO	PI	36
					SÃ	PS	37
ELÚVIO / COLÚVIO	15	EC				EC	38
AUSENCIA DE DESC. LITOLÓGICA	16	ND				ND	39

litotipo (a) = Agrupamento Maior (16 tipos litológicos)
litotipo (b) = Desdobramento dos Tipos Litológicos (39 tipos litológicos)
obs: I = intemperizado, S= rocha sã

ANEXO - 2

PROJETO CORREAS
TEORES POR TIPO LITOLÓGICO
(Agrupamento Maior - *Litotipo a - resumido*)

litotipo (a)	parâmetros	SnAA	SnRX	WRX
AGI	n	390	442	441
	média	0.029	0.028	0.011
	desvP	0.062	0.062	0.009
AGS	n	605	818	818
	média	0.015	0.018	0.009
	desvP	0.046	0.038	0.012
BGI	n	108	138	138
	média	0.018	0.016	0.009
	desvP	0.021	0.010	0.004
BGS	n	214	322	322
	média	0.017	0.018	0.008
	desvP	0.033	0.030	0.006
CSI	n	278	327	327
	média	0.069	0.058	0.021
	desvP	0.115	0.121	0.034
CSS	n	430	514	514
	média	0.022	0.025	0.009
	desvP	0.025	0.024	0.010
EC	n	108	138	138
	média	0.491	0.405	0.072
	desvP	0.581	0.566	0.122
GES	n	1831	2163	2164
(GEI + GES	média	0.287	0.280	0.095
	desvP	0.848	0.960	0.675
GNI	n	3205	4312	4309
	média	0.088	0.075	0.028
	desvP	0.382	0.396	0.141
GNS	n	1759	2126	2126
	média	0.043	0.043	0.013
	desvP	0.231	0.235	0.030
ND	n	196	254	254
	média	0.164	0.142	0.118
	desvP	0.296	0.285	1.356
PGI	n	2	4	4
	média	0.009	0.009	0.008
	desvP	0.011	0.008	0.001
PGS	n	234	278	278
	média	0.021	0.025	0.009
	desvP	0.056	0.054	0.009
QZS	n	186	205	205
(QZI + QZS	média	0.393	0.496	0.204
	desvP	1.558	2.563	0.792