UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**AVALIAÇÃO DAS RESERVAS DE Pb-Zn-Ag DO
DEPÓSITO DE CANOAS, MUNICÍPIO DE
ADRIANÓPOLIS, PR**

Rita Parisi Conde

Orientador: Prof. Dr. Jorge Kazuo Yamamoto

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

SÃO PAULO
1994

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC

30900004814

**AVALIAÇÃO DAS RESERVAS DE Pb-Zn-Ag DO
DEPÓSITO DE CANOAS, MUNICÍPIO DE
ADRIANÓPOLIS, PR**

Rita Parisi Conde

Orientador: Prof. Dr. Jorge Kazuo Yamamoto

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO JULGADORA

	nome	ass.
Presidente:	Dr. J.K.Yamamoto
Examinadores:	Dr. H.Born
	Dr. S.B.Suslick

SÃO PAULO
1994

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**AVALIAÇÃO DAS RESERVAS DE Pb-Zn-Ag DO
DEPÓSITO DE CANOAS, MUNICÍPIO DE
ADRIANÓPOLIS, PR**

Rita Parisi Conde

Orientador: Prof. Dr. Jorge Kazuo Yamamoto

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

SÃO PAULO
1994

Aos meus pais

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVOS	2
2. CLASSIFICAÇÃO DE RESERVAS E RECURSOS MINERAIS	3
3. ANÁLISE DOS DADOS	12
3.1. COMPOSIÇÃO DE AMOSTRAS DE FUROS DE SONDAAGEM	12
3.2. ANÁLISE EXPLORATÓRIA	14
3.3. ESTATÍSTICA CLÁSSICA	16
3.3.1. DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIAS	16
3.3.2. REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE UMA DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA	17
3.3.3. DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIAS TEÓRICAS	17
3.3.4. TESTES DE ADERÊNCIA DE DISTRIBUIÇÕES DE FREQUÊNCIA	19
3.3.5. PARÂMETROS ESTATÍSTICOS	22
3.4. CORRELAÇÃO E REGRESSÃO LINEAR	24
4. MÉTODOS CLÁSSICOS	28
4.1. PRINCÍPIOS DE INTERPRETAÇÃO	28
4.2. MÉTODOS DE CÁLCULO	30
4.2.1. MÉTODO DOS BLOCOS GEOLÓGICOS	30
4.2.2. MÉTODO DOS BLOCOS DE LAVRA	31
4.2.3. MÉTODO DOS PERFIS	33
4.2.3.1. PERFIS PADRÃO	35
4.2.3.2. PERFIS LINEARES	41
4.2.3.3. ISOLINHAS	43
4.2.4. MÉTODOS ANALÍTICOS	44
4.2.4.1. POLÍGONOS	44
4.2.4.2. TRIÂNGULOS	46
5. MÉTODOS COMPUTACIONAIS	48
5.1. MÉTODO DA PONDERAÇÃO PELO INVERSO DA POTÊNCIA DA DISTANCIA (IPD)	48
5.2. MÉTODOS GEOESTATÍSTICOS	51
5.2.1. VARIÁVEIS REGIONALIZADAS	53
5.2.2. VARIOGRAMA	54
5.2.3. MODELOS TEÓRICOS DE VARIOGRAMAS	59
5.2.4. KRIGAGEM	59
6. DEPÓSITO DE CANOAS	65
6.1. LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO	65
6.2. ASPECTOS FISIOGRAFICOS	65
6.3. GEOLOGIA REGIONAL	68
6.4. GEOLOGIA LOCAL	72
6.5. MODELO CONCEITUAL DO DEPÓSITO	79

7. INVENTÁRIO DOS DADOS DA PESQUISA MINERAL	85
7.1. TRABALHOS DE PESQUISA EXECUTADOS	86
7.1.1. LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO	86
7.1.2. MAPEAMENTO GEOLÓGICO	86
7.1.3. GEOQUÍMICA E GEOFÍSICA TERRESTRE	87
7.1.4. ESCAVAÇÕES	89
7.1.5. SONDAGEM	89
7.2. DESCRIÇÃO DOS FUROS DE SONDAGEM	92
7.3. TÉCNICAS DE AMOSTRAGEM DOS FUROS DE SONDAGEM	92
7.4. TÉCNICAS DE ANÁLISE QUÍMICA	97
7.5. DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DO MINÉRIO	99
7.6. CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DO MINÉRIO	99
7.7. ENSAIOS DE BENEFICIAMENTO	100
7.8. PROCESSO DE LAVRA DO MINÉRIO	100
7.9. ANÁLISE DOS DADOS INVENTARIADOS	103
8. ANÁLISE DOS DADOS DA MINA DE CANOAS 2	106
8.1. DEFINIÇÃO DA ÁREA DE INTERESSE	106
8.2. COMPOSIÇÃO DE AMOSTRAS DE FUROS DE SONDAGEM	108
8.3. ANÁLISE EXPLORATÓRIA	109
8.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS ORIGINAIS E COMPOSTOS	111
8.4.1. CHUMBO	111
8.4.2. ZINCO	114
8.4.3. PRATA	116
8.5. TESTES DE ADERÊNCIA	120
8.6. CORRELAÇÃO E REGRESSÃO DOS ELEMENTOS Pb,Zn E Ag	121
8.7. MAPAS DE CONTORNO DE ISOVALORES	126
9. CÁLCULO DE RESERVAS PELOS MÉTODOS CLÁSSICOS	130
9.1. MÉTODO DOS PERFIS PADRÃO	130
9.2. MÉTODO DOS PERFIS LINEARES	133
9.3. MÉTODO DOS POLÍGONOS	133
9.4. MÉTODO DOS TRIÂNGULOS	133
9.5. ANÁLISE DOS RESULTADOS	137
10. CÁLCULO DE RESERVAS PELOS MÉTODOS COMPUTACIONAIS	141
10.1. MÉTODO DO INVERSO DA POTÊNCIA DA DISTÂNCIA (IPD)	141
10.2. MÉTODOS GEOESTATÍSTICOS	143
10.3. ANÁLISE DOS RESULTADOS	149
11. MÉTODOS CLÁSSICOS X MÉTODOS COMPUTACIONAIS	156
12. CONSIDERAÇÕES FINAIS	161
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	163

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

	pág.
1 - Categorias de reservas, segundo Hancock et al. (1987).	4
2 - Cálculo da composição por bancadas, segundo Yamamoto & Betencourt (1992).	13
3 - Cálculo da composição por litologia, segundo Yamamoto & Betencourt (1992).	13
4 - Cálculo da composição por elevações, segundo Yamamoto & Betencourt (1992).	14
5 - Representação de um desenho esquemático com os pontos e as regiões correspondentes (Dachs, 1978).	15
6 - Gráfico da distribuição normal ou Curva de Gauss.	18
7 - Curvas de distribuição lognormal com a e C iguais a zero e três valores de b2, segundo Aitchison & Brown (1957 apud Kock & Link, 1971).	19
8 - Teste K-S para testar o ajuste da distribuição observada (linha fina) em relação ao modelo teórico (linha grossa). Ambas são plotadas na mesma curva acumulativa (Davis, 1986).	21
9 - Desenho mostrando alguns exemplos de arranjos de pontos de dados e seus respectivos coeficientes e correlação (Yamamoto, 1992).	26
10 - Diagramas de dispersão, da esquerda para a direita, originalmente com coeficiente de correlação iguais a -1, 0, +1, que foram alterados para -0,56, 0,29 e 0,56 com a introdução de um único ponto anômalo (asterisco) aos conjuntos de dados originais (mais) (Yamamoto, 1992).	27
11 - Interpretação analítica de valores, entre duas estações adjacentes, pelo princípio das mudanças graduais, segundo Popoff (1966).	28
12 - Interpretação de valores, entre dois furos em uma seção, segundo o princípio dos pontos mais próximos (Popoff, 1966).	29
13 - Princípio da generalização, segundo Popoff (1966).	30
14 - Esquema mostrando a subdivisão em blocos, segundo suas características geológicas (Popoff, 1966).	31
15 - Cálculo de reservas em blocos de lavra, delimitados por trabalhos subterrâneos (chaminés e galerias), segundo Popoff (1966).	32
16 - Layout dos blocos de acordo com o método dos perfis padrão, segundo Conde & Yamamoto (1994).	34
17 - Layout dos blocos de acordo com o método dos perfis lineares, segundo Conde & Yamamoto (1994).	34
18 - Formulário de áreas de polígonos regulares.	36
19 - Formulário de volumes de sólidos.	37
20 - Regra de Simpson para determinação de áreas, segundo Popoff (1966).	39
21 - Cálculo de volumes pelo método dos perfis padrão para seções não paralelas. (A) Representação gráfica de um corpo mineral cortado por seções não paralelas; (B) Plano de construção de perpendiculares h1 e h2 do centro de gravidade de uma seção a outra (Popoff, 1966).	40
22 - Cálculo de volumes para seções não paralelas pelo método dos perfis lineares (Popoff, 1966).	42
23 - Método das Isolinhas; mapa de isoteores (a); cálculo do teor médio do depósito, através da ponderação das áreas pelas linhas de isoteores (b), segundo Popoff (1966).	44
24 - Método dos polígonos; vista dos polígonos e respectivos prismas (Guerra, 1988).	45
25 - A "Divisão de Dirichlet", segundo Pettinatt (1983 apud Yamamoto & Bettencourt, 1992).	46
26 - A "Triangularização de Delaunay", segundo Pettinati (1983 apud Yamamoto & Bettencourt, 1992).	47
27 - Efeito da potência da distância na interpolação de teores entre dois pontos adjacentes de amostragem, segundo Barnes (1980).	49
28 - Desenho mostrando a sequência de operações para avaliação de blocos pelo método IQD aperfeiçoado. Discretização de um bloco em oito sub-blocos e 4 amostras vizinhas (A); cálculo dos ponderadores IQD por sub-bloco (B); cálculo dos ponderadores IQD para todos os sub-blocos (C); composição de teores dos sub-blocos para estimação do teor médio do bloco, segundo Yamamoto (1992a).	51
29 - Esquema de formação dos pares de ponto para elaboração do semi-variograma.	56

30 - Esquema de obtenção de valores para semi-variograma a partir de rede irregular (Landim, 1985)	56
31 - Variograma típico e suas propriedades (Yamamoto & Bettencourt, 1992).	57
32 - Anisotropias: (A) geométrica; e (B) zonal, segundo (Yamamoto & Bettencourt, 1992).	58
33 - Modelos de variogramas teóricos mais comuns na natureza.	60
34 - Significado dos termos da equação 51, segundo Brooker (1979).	64
35 - Mapa de localização e vias de acesso do Depósito de Canoas.	66
36 - Distribuição das unidades litoestratigráficas nas porções sul paulista e leste paranaense, segundo Campanha et al. (1987).	70
37 - Mapa geológico da área do Depósito de Canoas, segundo Plumbum S.A. (1992).	76
38 - Perfil esquemático do Depósito de Canoas, segundo Prominer (1991a,b).	77
39 - Perfil SW-NE da Mina de Canoas 2 com destaque para o pacote de anfibolito encaixado nos xistos e o nível magnético indicado pela presença de magnetita (Plumbum S.A., 1992).	78
40 - Modelo hipotético de um depósito de sulfeto sedimentar exalativo, segundo Large (1981).	84
41 - Fluxograma de amostragem e análise química para Chumbo e Zinco realizado na Plumbum S.A..	98
42 - Mapa de localização dos furos de sondagem da Mina de Canoas 2 e definição da área de interesse.	107
43 - Exemplo esquemático de cálculo de composição de furo de sondagem por litologia.	108
44 - Histogramas das distribuições de frequência dos teores de chumbo (a) e de seus logaritmos (b) do conjunto de dados originais; curvas acumulativas em escala de probabilidade aritmética da distribuição de teores de chumbo (c) e seus logaritmos (d) para o conjunto de dados originais. O desenho esquemático do Pb é representado em (e) (Pontos cheios - pontos soltos; pontos vazios - pontos externos; $\bar{x}$ - média; 1 ^o traço horizontal - 1 ^o quartil; 2 ^o traço horizontal - 2 ^o quartil (mediana); 3 ^o traço horizontal - 3 ^o quartil;	112
45 - Histograma das distribuições de frequência dos teores de chumbo (a) e curva acumulativa em escala de probabilidade aritmética da distribuição de teores de chumbo (b), ambos para o conjunto de dados compostos.	114
46 - Histogramas das distribuições de frequência dos teores de zinco (a) e de seus logaritmos (b) do conjunto de dados originais; curvas acumulativas em escala de probabilidade aritmética da distribuição de teores de zinco (c) e seus logaritmos (d) para o conjunto de dados originais. O desenho esquemático do Zn é representado em (e) (Pontos cheios - pontos soltos; pontos vazios - pontos externos; $\bar{x}$ - média; 1 ^o traço horizontal - 1 ^o quartil; 2 ^o traço horizontal - 2 ^o quartil (mediana); 3 ^o traço horizontal - 3 ^o quartil).	115
47 - Histograma das distribuições de frequências dos teores de zinco (a) e curva acumulativa em escala de probabilidade aritmética da distribuição de teores de zinco (b), ambos para o conjunto de dados compostos.	117
48 - Histogramas das distribuições de frequência dos teores de prata (a) e de seus logaritmos (b) do conjunto de dados originais; curvas acumulativas em escala de probabilidade aritmética da distribuição de teores de prata (c) e seus logaritmos (d) para o conjunto de dados originais. O desenho esquemático da Ag é representado em (e) (Pontos cheios - pontos soltos; pontos vazios - pontos externos; $\bar{x}$ - média; 1 ^o traço horizontal - 1 ^o quartil; 2 ^o traço horizontal - 2 ^o quartil (mediana); 3 ^o traço horizontal - 3 ^o quartil).	118
49 - Histograma das distribuições de frequência dos teores de prata (a) e curva acumulativa em escala de probabilidade aritmética da distribuição de teores de prata (b) ambos para o conjunto de dados compostos.	119
50 - Diagrama de dispersão do par Pb x Zn.	122
51 - Diagrama de dispersão do par Pb x Ag.	122
52 - Diagrama de dispersão do par Zn x Ag.	123
53 - Diagrama de dispersão do par Pb x Ag sem os valores anômalos.	124
54 - Diagrama de dispersão do par Zn x Ag sem os valores anômalos.	124
55 - Reta de regressão para o par Pb x Zn.	125
56 - Reta de regressão para o par Pb x Ag.	126
57 - Mapa de isoteores de Pb (expresso em %) para a área de interesse da Mina de Canoas 2 (Pb+Zn $\geq$ 5%).	127

58 - Mapa de isóteores de Zn (expresso em %) para a área de interesse da Mina de Canoas 2 (Pb+Zn $\geq$ 5%).	128
59 - Mapa de isóteores de Ag (expresso em ppm) para a área de interesse da Mina de Canoas 2 (Pb+Zn $\geq$ 5%).	128
60 - Mapa de isópacas (expresso em m) para a área de interesse da Mina de Canoas 2 (Pb+Zn $\geq$ 5%).	129
61 - Seções geológicas e blocos construídos no método dos perfis padrão para a Mina de Canoas 2 para teor de corte Pb+Zn $\geq$ 1%.	131
62 - Exemplo no cálculo da área da Seção S8 para Pb+Zn $\geq$ 5% e Pb+Zn $\geq$ 1%.	132
63 - Seções geológicas e blocos construídos no método dos perfis lineares para a Mina de Canoas..	134
64 - Método dos polígonos. Rede de polígonos construídas através dos furos de sondagem realizados na Mina de Canoas 2 para teor de corte Pb+Zn $\geq$ 1%.	135
65 - Blocos triangulares gerados pela utilização do método dos triângulos para teor de corte Pb+Zn $\geq$ 1% na Mina de Canoas 2.	136
66 - Curvas das reservas medidas de chumbo (a), zinco (c) e prata (e) e dos teores médios de chumbo (b), zinco (d) e prata (f) para diferentes métodos clássicos e teores de corte simulados de Pb+Zn (%).	138
67 - Configuração dos blocos calculados pelos métodos computacionais (IQD e krigagem) para a Mina de Canoas 2. A fronteira convexa foi estabelecida para teor de corte Pb+Zn $\geq$ 1%.	142
68 - Semivariograma obtido para chumbo, na direção 50 ⁰ (janela 20 ⁰), ajustado pelo modelo teórico esférico.	144
69 - Semivariograma obtido para zinco, na direção 50 ⁰ (janela 20 ⁰), ajustado pelo modelo teórico esférico.	144
70 - Semivariograma obtido para prata, na direção 50 ⁰ (janela 20 ⁰), ajustado pelo modelo teórico esférico.	145
71 - Histogramas das variâncias de krigagem (a, b, c) e das variâncias de interpolação (d, e, f), respectivamente, para os elementos Pb, Zn e Ag, no teor de corte simulado de Pb+Zn $\geq$ 5% para a Mina de Canoas 2.	148
72 - Classificação de reservas de chumbo, zinco e prata da Mina de Canoas 2 segundo a variância de krigagem e a variância de interpolação.	150
73 - Categorias de reservas para o chumbo, zinco e prata segundo os limites adotados pela ONU utilizando a variância de krigagem para a Mina de Canoas 2 (teor de corte simulado de Pb+Zn $\geq$ 5%).	151
74 - Categorias de reservas para o chumbo, zinco e prata segundo os limites adotados pela ONU utilizando a variância de interpolação para a Mina de Canoas 2 (teor de corte simulado de Pb+Zn $\geq$ 5%).	152
75 - Curvas das reservas medidas de chumbo (a), zinco (c) e prata (e) e dos teores médios de chumbo (b), zinco (d) e prata (f) para IPD e krigagem ordinária segundo diferentes teores de corte simulados de Pb+Zn (%).	153
76 - Histogramas das distribuições de frequência dos teores de Pb, Zn e Ag calculadas pelo IPD (a, b, c) e KO (d, e, f) para o teor de corte de Pb+Zn $\geq$ 5% para a Mina de Canoas 2.	155

QUADROS

I - Quadro de McKelvey para classificação de recursos e reservas (Annels, 1991).	7
II - Classificação da USBM/USGS para identificação de recursos minerais e reservas.	7
III - Classificação AIMM/AMIC para identificação de recursos minerais e reservas.	7
IV - Classificações geoestatísticas de reservas (extraído de Yamamoto & Bettencourt, 1992).	10
V - Classificação de reservas minerais baseada em parâmetros geoestatísticos e econômicos (Wober & Morgan, 1973).	11
VI - Comparação entre os métodos clássicos x métodos computacionais	155

TABELAS

1 - Teores médios dos furos de sondagem fora da área de interesse.	106
2 - Teores médios compostos para teor de corte Pb+Zn $\geq$ 5%.	109
3 - Representação de ramo e folhas para o elemento chumbo (%) da Mina de Canoas 2.	110
4 - Representação de ramo e folhas para o elemento zinco (%) da Mina de Canoas 2.	110
5 - Representação de ramo e folhas para o elemento prata (ppm) da Mina de Canoas 2.	110
6 - Parâmetros estatísticos de Pb, Zn e Ag para a área de interesse da Mina de Canoas 2.	111
7 - Parâmetros estatísticos da distribuição de chumbo no conjunto de dados originais.	111
8 - Distribuição de frequências dos teores de chumbo no conjunto de dados originais.	111
9 - Parâmetros estatísticos da distribuição de chumbo no conjunto de dados compostos.	113
10 - Distribuição de frequências dos teores de chumbo no conjunto de dados compostos.	113
11 - Parâmetros estatísticos da distribuição de zinco no conjunto de dados originais.	114
12 - Distribuição de frequências dos teores de zinco no conjunto de dados originais.	114
13 - Parâmetros estatísticos da distribuição de zinco no conjunto de dados compostos.	116
14 - Distribuição de frequências dos teores de zinco no conjunto de dados compostos.	116
15 - Parâmetros estatísticos da distribuição de prata no conjunto de dados originais.	117
16 - Distribuição de frequências dos teores de prata no conjunto de dados originais.	117
17 - Parâmetros estatísticos da distribuição de prata no conjunto de dados compostos.	119
18 - Distribuição de frequências dos teores de prata no conjunto de dados compostos.	119
19 - K-S estatístico e K-S crítico para os dados da Mina de Canoas 2.	120
20 - Resultados obtidos para o teste X^2 para os dados da Mina de Canoas 2, a nível de significância 1% e $v=6$.	120
21 - Medidas de correlação para os pares de variáveis aleatórias definidas para a Mina de Canoas 2.	121
22 - Medidas de correlação para os pares de variáveis aleatórias Pb x Ag e Zn x Ag sem os valores anômalos, para a Mina de Canoas 2.	123
23 - Coeficientes a e b das retas ajustadas as correlações Pb x Zn e Pb x Ag.	125
24 - Reserva medida calculada pelo método dos perfis padrão segundo diferentes teores de corte (TCS - teor de corte simulado).	139
25 - Reserva medida calculada pelo método dos perfis lineares segundo diferentes teores de corte (TCS - teor de corte simulado).	139
26 - Reserva medida calculada pelo método dos polígonos segundo diferentes teores de corte (TCS - teor de corte simulado).	139
27 - Reserva medida calculada pelo método dos triângulos segundo diferentes teores de corte (TCS - teor de corte simulado).	140
28 - Reservas medidas calculadas pelo IPD de Pb, Zn e Ag segundo diferentes teores de corte (TCS - teor de corte simulado de Pb+Zn; NBE - número de blocos estimados).	143
29 - Dados do semivariograma obtido para chumbo (direção 50^0 - janela 20^0)	143
30 - Dados do semivariograma obtido para zinco (direção 50^0 - janela 20^0)	143
31 - Dados do semivariograma obtido para prata (direção 50^0 - janela 20^0)	145
32 - Parâmetros obtidos no modelamento dos semivariogramas de Pb, Zn e Ag para a direção 50^0 (janela de 20^0) e intervalo (h) 50 m.	145
33 - Reservas medidas calculadas pela krigagem ordinária de Pb, Zn e Ag segundo diferentes teores de corte (TCS - teor de corte simulado de Pb+Zn; NBE - número de blocos estimados).	146
34 - Variância de krigagem média dos blocos e variância de interpolação dos blocos para o domínio do depósito obtidas para o teor de corte simulado de Pb+Zn $\geq$ 5% para a Mina de Canoas 2. T_m (teor médio) e S^2 (variância) são parâmetros estatísticos obtidos da estatística de todos os blocos. Os $\gamma(h)$ max são obtidos dos semivariogramas para a distância de busca de 100m.	147
35 - Teor médio e variância estatística calculados para os blocos estimados por IPD e KO para teor de corte Pb+Zn $\geq$ 5% na Mina de Canoas 2.	150
36 - Áreas calculadas em planta para os métodos clássicos e computacionais para teor de corte simulado de Pb+Zn $\geq$ 5% na Mina de Canoas 2.	153

37 - Resultados obtidos na comparação dos métodos clássicos x métodos computacionais através do uso do fator DR e do erro relativo (ER) para o elemento chumbo e teor de corte simulado de Pb+Zn $\geq$ 5%. (Mc = métodos clássicos; PP = perfis padrão; PL = perfis lineares; POL. = polígonos; Δ s = triângulos; IPD = inverso da potência da distância; KO = krigagem ordinária; DR = diferença de reserva; ER = erro relativo)	153
38 - Resultados obtidos na comparação dos métodos clássicos x métodos computacionais através do uso do fator DR e do erro relativo (ER) para o elemento zinco e teor de corte simulado de Pb+Zn $\geq$ 5%. (Mc = métodos clássicos; PP = perfis padrão; PL = perfis lineares; POL. = polígonos; Δ s = triângulos; IPD = inverso da potência da distância; KO = krigagem ordinária; DR = diferença de reserva; ER = erro relativo).	153
39 - Resultados obtidos na comparação dos métodos clássicos x métodos computacionais através do uso do fator DR e do erro relativo (ER) para o elemento prata e teor de corte simulado de Pb+Zn $\geq$ 5%. (Mc = métodos clássicos; PP = perfis padrão; PL = perfis lineares; POL. = polígonos; Δ s = triângulos; IPD = inverso da potência da distância; KO = krigagem ordinária; DR = diferença de reserva; ER = erro relativo).	154

FOTOS

1 - Vista geral do vale do Ribeirão Canoas, Adrianópolis (PR).	67
2 - Quartzito superior (QTZs), principal guia prospectivo regional.	75
3 - Boca da Mina de Canoas 2. Unidade mais superior do pacote das rochas encaixantes da mineralização (da base para o topo): anfibólio-biotita-xisto; intercalação de anfibolito; e mica-xisto com granada.	75
4 - Aspecto bandado do minério da pilha de desmonte, intercalação de níveis de metachert, barita e lâminas monominerálicas de sulfetos (gn, sph).	81
5 - Frente de desmonte da Mina de Canoas 2. Zona mineralizada apresenta aspecto bandado: camadas brancas são barita e camadas mais amarronzadas são metachert; os sulfetos estão disseminados nos níveis mais escuros.	81
6 - Minério da pilha de desmonte, com grande concentração de galena (sulfeto cinza).	82
7 - Minério da pilha de desmonte; o sulfeto de cor cinza é a galena, e o de cor marrom é a esfalerita; a ganga é representada por grandes cristais de piroxênio (diopsídio) de cor verde.	82
8 - Malhas de linhas de amostragem geoquímica transversais ao vale do Ribeirão Canoas.	88
9 - Campanha de sondagem (sonda Boyles); ao fundo boca da Mina de Canoas 2.	91
10 - Anfibólio-quartzo-biotita-xisto com magnetita (rocha magnética) cortado por intrusão de rocha escura afanítica (furo FSC-39).	93
11 - Muscovita-quartzo-biotita-xisto com granadas de até 1 cm (furo FSC-39).	93
12 - Anfibolito de cor verde de textura fanerítica fina (furo FSC-39).	94
13 - Muscovita-biotita-quartzo-xisto com magnetita - trecho magnético (furo FSC-40).	94
14 - Arquivo de testemunhos de furos de sondagem da Plumbum S.A..	95
15 - Britador de mandíbula do setor de amostragem da Plumbum S.A..	95
16 - Estufa do setor de amostragem da Plumbum S.A..	96
17 - Moinho de Renard (setor de amostragem da Plumbum S.A.).	96
18 - Processo de flotação seletiva com dois circuitos em série (à direita - Zn; à esquerda - Pb).	101
19 - Concentrado de Pb obtido do beneficiamento do minério de Canoas.	101
20 - Bacia de decantação. Ao fundo observa-se uma área recuperada com o plantio de gramíneas.	102
21 - Vista geral da boca da Mina de Canoas 2.	104
22 - Pilares de sustentação deixados no interior da Mina de Canoas 1 pelo método de lavra subterrânea por câmeras e pilares.	104

ANEXO

1 - Dados de furos de sondagem da Mina de Canoas 2.

ABSTRACT

Ore reserve estimation is a technical procedure which attempts to evaluate a mineral deposit and provide the necessary information regarding economical feasibility, planning, and ore processing.

Basically, the ore reserve estimation methods are the classical and computational methods which utilize different principles of interpretation and mathematical interpolation functions. Both try to establish the best estimation of the interest variable in points which were not sampled.

These different ore reserve estimation methods were applied to the lead-zinc deposit of Canoas, municipality of Adrianopolis, state of Paraná, southern Brazil.

The Canoas deposit is represented by a long lenticular stratiform body; the mineralization occurs in sulphide disseminations (galena, sphalerite, pyrite) in carbonate rocks. This deposit is divided into two parts (Canoas 1 and Canoas 2) separated by erosion. The data set used for ore reserve estimation in Canoas 2 was taken from the data inventory of mineral exploration and characterized during the data analysis phase. Classical methods employing cross-sections, polygons, and triangles were used, while computational methods included inverse of weighting distance and ordinary kriging.

The ore reserve estimation methods applied in this case did not present significant differences in ore reserves or average grades. The differences that were observed between these methods can be attributed to differences in the size of the computed areas. This relative similarity of the results is a function of deposit type (stratiform) and the regular thickness, grade, and sampling.

RESUMO

A avaliação das reservas de um depósito mineral é um procedimento que tem por objetivo estimar a quantidade e qualidade do minério, dando subsídios aos estudos econômicos, de planejamento de lavra e beneficiamento.

Existem diversos métodos de avaliação de reservas, que podem ser divididos em dois grupos principais: métodos clássicos e métodos computacionais. Esses métodos utilizam-se de diferentes princípios de interpretação, e técnicas matemáticas de interpolação, que devem permitir uma melhor estimativa de valores de variáveis de interesse, em pontos não amostrados da pesquisa mineral.

Esses diferentes métodos de cálculo foram aplicados no estudo de um caso no Depósito de Canoas, município de Adrianópolis (PR).

O Depósito de Canoas é representado por um corpo lenticular, alongado, do tipo estratiforme; a mineralização ocorre sob a forma de disseminações de sulfetos (galena, esfalerita, pirita) em rochas carbonáticas. Este depósito é compartimentado em dois corpos (Canoas 1 e Canoas 2) por uma erosão na sua porção média sendo que, para fins de avaliação de reservas foram utilizados os dados referentes a Canoas 2, levantados durante o inventário dos dados da pesquisa mineral e caracterizados durante a etapa de análise de dados. Os métodos clássicos utilizados foram perfis padrão, perfis lineares, polígonos e triângulos e, os computacionais, foram inverso da potência da distância (IPD) e krigagem ordinária (KO).

Os resultados obtidos para a Mina de Canoas 2 indicam que os métodos aplicados não apresentam diferenças significativas na avaliação das reservas medidas ou teores médios. As diferenças obtidas, entre estes métodos, podem ser atribuídas às diferenças de áreas entre os métodos considerados. Esta relativa similaridade dos resultados é função do tipo de depósito (estratiforme), espessura e teores regulares, e amostragem (malha regular).

A utilização de um método de avaliação de reservas que produza resultados de qualidade deve ser função dos aspectos geológicos dos depósitos e da determinação de medidas de erros associados às estimativas.

Na impossibilidade da utilização da KO (não obtenção de variogramas significativos), é possível a utilização do IPD seguido dos métodos clássicos, uma vez que dependendo do tipo de depósito, estes podem produzir boas estimativas.

AGRADECIMENTOS

Nossos mais sinceros agradecimentos são dirigidos às pessoas e entidades abaixo relacionadas, pela valiosa colaboração prestada à realização deste trabalho.

Ao Professor Doutor Jorge Kazuo Yamamoto, meu amigo e orientador, pela paciência, dedicação e inteligência com que orientou este trabalho e deu subsídios para meu ingresso na vida profissional.

À PLUMBUM Mineração e Metalurgia S.A., pela acolhida fornecida durante nossa permanência na Mina de Canoas, pela cessão de testemunhos, mapas e perfis de sondagem, e pelas importantes informações transmitidas pelos geólogos Adalberto Scortegna, Gerson C. Venusso e Normando Queiroga e engenheiro de minas Wilson Leite. Em especial ao Normando pelo processamento e discussão dos dados reproduzidos neste trabalho.

Ao Professor Doutor João Baptista Moreschi pela atenção e discussões geológicas que se mostraram muito proveitosas.

À Nice F.P. Conde e ao geólogo Afonso C. Ianhez pela revisão e sugestões ao texto.

Ao Instituto de Geociências da USP, que proporcionou todos os recursos necessários para realização deste trabalho.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo suporte financeiro indispensável à realização desta pesquisa.

À todos os colegas do Curso de Pós-Graduação do IG-USP (Tarcísio, Kau, Fernando, Paulo, Roberto, Rinaldo, Jamile, Fábio, Ana Maria, Pedro, Lucy, Mirim, Annabel) pela amizade e companheirismo desmonstrados, que fizeram com que este trabalho se tornasse mais fácil e divertido.

Finalmente, à minha super amiga e também colega de pós-graduação Elizete D. Salvador (Xhó) pelos sete anos da mais feliz convivência geológica !

1. INTRODUÇÃO

A avaliação de reservas quantifica e qualifica o corpo mineral em estudo, além de constituir suporte a todos os trabalhos posteriores, com as consequências econômicas e técnicas.

A avaliação de reservas é função de vários fatores, dentre os quais destacam-se: conhecimento do depósito; exatidão das medidas dos atributos (teor, espessura, densidade); validade científica das hipóteses adotadas em relação ao comportamento dos atributos; delimitação precisa das interfaces estéril/minério; cálculo preciso dos valores médios dos atributos; e método de cálculo. Este último item é de grande importância e vai ser função da configuração geométrica do depósito, do método de lavra e da densidade de informações. Assim, a escolha do método de cálculo condiciona a exatidão da estimativa de reservas.

Os métodos para avaliação de reservas foram constantemente aperfeiçoados para gerarem resultados mais precisos e confiáveis. Este aperfeiçoamento foi resultado da crescente escassez de jazidas minerais ricas, ao grande investimento necessário à abertura de novas minas, bem como, do aparecimento de computadores que permitiram o fácil manuseio de grande volume de dados, de maneira confiável.

Estes métodos procuram determinar, conforme seus critérios, os valores dos atributos que, aplicados às equações básicas de reservas, fornecem o valor da reserva do depósito. As principais equações básicas são: $R = V.D.T = A.E.D.T$ (1). Onde: R é a reserva em peso; V é o volume; D é a densidade aparente; T é o teor em porcentagem; A é a área superficial; E é a espessura.

Segundo Yamamoto & Bettencourt (1992), existem diversos métodos de avaliação de reservas, que podem ser divididos em dois grupos principais: métodos clássicos e métodos computacionais. Esses métodos utilizam-se de diferentes princípios de interpretação e técnicas matemáticas de interpolação, que devem permitir uma melhor estimativa de valores, de variáveis de interesse, em pontos não amostrados da pesquisa mineral.

Os métodos clássicos, baseados na geometria Euclideana, foram desenvolvidos e utilizados desde os primórdios da mineração, e tiveram seu auge na época pré-computacional. Esses métodos baseiam-se, fundamentalmente, nos princípios de interpretação de variáveis entre dois pontos adjacentes de amostragem. Segundo Popoff (1966), nesta classe encontram-se o método dos blocos geológicos; o método dos blocos de lavra; o método dos perfis; e os métodos analíticos.

Os métodos computacionais, para avaliação de reservas são a ponderação pelo inverso da potência e os geoestatísticos; esses métodos são assim denominados por dependerem da utilização de computadores para a resolução de seus algoritmos.

O método da ponderação pelo inverso da potência da distância foi, efetivamente, o primeiro a ser desenvolvido para utilização em computadores, já que envolve operações aritméticas difíceis de serem processadas manualmente; este método é baseado no fato de que

teores de amostras de furos vizinhos, em relação a um determinado ponto ou bloco do depósito, são proporcionais ao inverso das respectivas distâncias elevadas a uma potência das mesmas.

Os métodos geoestatísticos foram desenvolvidos na década de 70 e são, genericamente, denominados de krigagem. Tais métodos são baseados na Teoria das Variáveis Regionalizadas. As técnicas geoestatísticas de estimação são baseadas no estudo da variabilidade espacial do corpo mineral, como reflexo de um variograma, e permitem o cálculo de uma medida de erro associada com a estimativa, chamada variância de estimação. A aplicação da krigagem depende da obtenção satisfatória de variogramas representativos da jazida, que por sua vez, é função não só do comportamento espacial da variável em estudo, mas sobretudo, da quantidade de informações.

1.1. OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo a avaliação das reservas de chumbo-zinco-prata do Depósito de Canoas, município de Adrianópolis, PR. Para isso, realizou-se uma revisão dos métodos de estimação (métodos clássicos e computacionais), que poderá indicar o mais adequado para a avaliação de teor e tonelagem de Pb-Zn-Ag do referido depósito. Os métodos escolhidos foram então aplicados sobre os dados do inventário mineral do Depósito de Canoas, comparando-se os resultados. O trabalho de avaliação de reservas foi feito com base no modelo geológico do depósito, obtido a partir dos testemunhos de sondagens, afloramentos, frentes de lavra, e da consulta a bibliografia especializada.

Pelo fato da Mina de Canoas 2 apresentar dados de pesquisa mais recentes, bem como uma melhor caracterização geológica e amostragem, procedeu-se ao tratamento de seus dados, para fins desta dissertação.

Assim, realizou-se uma revisão teórica das principais metodologias empregadas nos métodos de avaliação de reservas, a fim de indicar, ao final do estudo, o(s) melhor(es) método(s) a ser empregado, considerando a qualidade e quantidade dos dados disponíveis do Depósito de Canoas. Para atingir o objetivo proposto, as principais etapas desenvolvidas foram:

- (1) Revisão bibliográfica dos seguintes tópicos :
 - Classificação de reservas e recursos minerais;
 - Estatística clássica;
 - Métodos clássicos;
 - Métodos computacionais.
- (2) Análise estatística dos elementos Pb, Zn e Ag;
- (3) Avaliação das reservas pelos métodos clássicos (perfis padrão, perfis lineares, polígonos e triângulos);
- (3) Avaliação das reservas pelos métodos computacionais (IPD e krigagem);
- (4) Análise e comparação dos resultados obtidos;

2. CLASSIFICAÇÃO DE RESERVAS E RECURSOS MINERAIS

Hancock et al. (1987) descrevem os princípios aplicados pela Pancontinental Mining na definição de suas reservas, de acordo com o estágio de pesquisa, segundo três categorias: Reservas Geológicas *in Situ*, Reservas Lavráveis e Reservas Compatibilizadas por Estimativa de Produção.

A divisão das reservas nestas três categorias, segundo Hancock et al. (1987), satisfaz o princípio de clareza para relatórios públicos e providencia uma prática classificação para geólogos e engenheiros de minas, baseando-se nos três maiores estágios de cálculo (Figura 1), quais sejam:

- cálculos iniciais de reservas *in situ* com parâmetros estáticos, mas sem limites impostos por um específico plano de lavra, ou estudo econômico (Reserva Geológica "In Situ");
- aquela parte da Reserva Geológica considerada minerável com um específico plano de lavra (Reserva Minerável);
- Reservas Mineráveis julgadas por recuperação antecipada e diluição (Reserva Compatibilizada).

As Reservas Geológicas *In Situ* englobam todo o minério potencialmente aproveitável, determinadas a partir de interpretações geológicas das informações de pesquisa e sem aplicação dos parâmetros básicos para planejamento da mina. Segundo Hancock et al. (1987), as reservas geológicas são determinadas no estágio inicial da pesquisa, quando o conhecimento da mineralização for suficiente para fazer uma interpretação razoável da geologia, e também que os dados levantados permitam obter estimativas quantitativas.

Reservas Lavráveis referem-se àquela parte da reserva geológica que pode ser extraída sob um plano específico de lavra, cujas condições econômicas são para lavra a céu aberto:

- ângulo final da cava;
- relação máxima estéril/minério;
- altura e largura das bancadas;
- largura das rampas de produção, etc;

e, para lavra subterrânea:

- inclinação das rampas;
- distância entre os níveis principais;
- ângulo de drenagem, etc;

bem como o teor de equilíbrio econômico (teor que torna um determinado bloco do depósito economicamente aproveitável) e o teor de corte para ambos os casos.

A última categoria, Reserva Compatibilizada, é a melhor estimativa de reservas, pois foi ajustada com os parâmetros da produção, que são o: ganho por diluição e perda de minério. O ganho por diluição corresponde ao material estéril, ou não aproveitável, despachado à usina de concentração, que dilui o teor do minério. Já a perda de minério, ocorre quando o material estéril

despachado à pilha de rejeito, ainda contenha algum minério, ou quando o minério por algum motivo, não foi lavrado.

Embora várias tentativas tenham sido feitas, na última década, para classificar as reservas, nenhuma classificação, até agora, teve aceitação internacional. O problema está na tentativa de planejar um sistema que seja aceito para todas as partes referentes à avaliação, lavra e financiamento de projetos mineiros. Além disso, é complicado criar classificações que sejam aplicáveis a todos os tipos de recursos minerais, incluindo óleo e gás, minerais industriais, metais e carvão. Muito frequentemente, uma classificação boa para depósitos de metais não pode ser utilizada para todo o espectro listado acima.

Segundo Annels (1991), nos últimos anos tem havido uma grande relutância, especialmente na América do Norte, em usar o termo "ore-reserve" (reserva mineral), a tendência de que estas duas palavras devam ser separadas e definidas isoladamente vem aumentando. O termo "ore" (minério) vem sendo usado para descrever um material no solo (rocha) que pode ser lavrado por um específico método, e que é viável economicamente nos presentes custos e preços. É muito perigoso tentar definir rigorosamente o termo minério, por ser muito subjetivo e baseado no seu valor econômico, no momento da lavra. Quanto ao termo "reserve" (reserva), é proposto

que deva ser usado para definir uma quantidade de material passível de lavra, com base em estudos econômicos e planejamento mineiro; entretanto, por mais que esta definição seja eventualmente aceita, é possível incluir em uma categoria de reserva, aquelas estimadas durante a fase de pesquisa de um depósito mineral avaliado. Vale a pena considerar o uso do termo reserva, para material que possui critérios físicos e químicos e que é tecnicamente minerável, mas que não é, necessariamente, economicamente minerável no presente. Reservas deveriam, então, representar parte de reservas bases, que são economicamente mineráveis sob específicas condições. Outra divisão deveria ser então feita com base na densidade de amostragem, ou sondagem e na segurança (confiança) de uma reserva estimada (ambos teor e tonelagem).

São resumidas abaixo, algumas destas suposições utilizadas na reclassificação de um recurso mineral, bem como de sua reserva e plano de lavra (Annels, 1991):

- que exista mercado para o produto;
- que o local do depósito seja tal que o custo de transporte não seja proibitivo e problemas ambientais não devam produzir uma elevada carga financeira;
- que a composição física, metalúrgica e química do depósito sejam tais que a recuperação metalúrgica seja aceitável e que o produto encontre as especificações dos usuários;
- que a amostragem e sondagens sejam suficientes para permitir, ao geólogo, calcular suas estimativas confiáveis ou, no mínimo, façam uma estimativa realista, baseada em experiências passadas;
- que a demanda e o preço do metal ou mineral seja constante e que os fatores econômicos, políticos, fiscais e ambientais não mudem drasticamente, antecipando a vida da mina.

Definições de recursos minerais e reservas possíveis para depósitos metalíferos tem sido fornecidas por diferentes instituições. dentre as quais :

- (a) The Association of Professional Engineers of Province of Ontario (APEO) - 1976;
- (b) The US Bureau of Mines (USBM) e US Geological Survey (USGS) - 1980;
- (c) The Australasian Institution of Mining and Metallurgy (AIMM) and Australian Mining Industry Council (AMIC) - 1989.

Estas classificações serão revisadas e comparadas a seguir, incluindo também as definições utilizadas oficialmente no Brasil pelo DNPM e as classificações geoestatísticas.

APEO

Em 1976 a APEO propôs uma simplificação do conjunto de definições para reservas. Esta reconhece Reservas Geológicas como o material *in situ*, calculado de dados de amostragem que não levam em conta diluição de lavra ou método; Reservas In Situ, que são aquelas que podem ser lavradas, mas que não tem, ainda, comprovada sua viabilidade por um método de lavra

específico, ou sob condições econômicas específicas; Reservas Lavráveis que são comprovadamente lavráveis em relação a um plano de lavra.

USBM/USGS

Esta classificação é amplamente baseada na proposta de McKelvey de 1972, que está resumida no Quadro I; este mostra como recursos e reservas podem ser categorizados, dependendo do aumento do conhecimento geológico da mineralização e no aumento possível da recuperação econômica. A classificação da USBM/USGS (Quadro II) tem sido bem aceita internacionalmente, mas a atual tendência é a utilização da classificação da AIMM/AMIC (Annels, 1991).

Recursos, na classificação USBM/USGS, incluem minerais que não foram descobertos, mas considerados provavelmente presentes no terreno geológico, mais os minerais que tenham sido localizados e amostrados, mas que, sob condições econômicas/ políticas/ técnicas presentes, não são comercialmente viáveis no momento. Recursos podem ser subdivididos em duas categorias principais, quais sejam: recursos subeconômicos identificados (materiais que não podem ser classificados como reservas, mas que poderão tornar-se com mudanças econômicas e legais) e, recursos não descobertos (no caso da pesquisa confirmar sua existência em boa quantidade e qualidade, poderão ser reclassificados como reservas ou recursos subeconômicos identificados).

Reservas, por outro lado, são minerais identificados por amostragem e que são potencialmente econômicos e lavráveis; elas são subdivididas em três categorias principais: medida, indicada e inferida, com base no grau de amostragem e confiança nas tonelagens e teores estimados.

Reserva medida (Provada) é minério com tonelagem computada a partir de dimensões reveladas em afloramentos, trincheiras ou furos de sondagem, onde o teor é resultado de amostragem detalhada; os sítios de inspeção e amostragem são pouco espaçados e o caráter geológico é tão bem definido, que o tamanho, forma e conteúdo mineral são bem estabelecidos. Os cálculos de tonelagem e teor possuem precisão com limites que não devem diferir de 20 % dos valores reais.

Reserva Indicada (Provável) é minério onde tonelagem e teor são computados parcialmente de medidas específicas, amostras, dados de produção e, parcialmente, da projeção para uma distância razoável de uma evidência geológica; os sítios disponíveis para inspeção, medida e amostragem são também amplamente espaçados, para esboçar o minério completamente.

Reserva Inferida (Possível) refere-se às estimativas quantitativas baseadas, largamente, no conhecimento das características geológicas do depósito, com nenhuma, ou poucas amostras; as

estimativas são baseadas na aceitação da continuidade ou na repetição das evidências geológicas, que podem incluir comparação com depósitos similares.

Quadro I - Quadro de McKelvey para classificação de recursos e reservas (Annels, 1991).

← AUMENTO DA CERTEZA DA EXISTÊNCIA (SEGURANÇA GEOLÓGICA)

	DEPÓSITOS IDENTIFICADOS			DEPÓSITOS NÃO-DESCOBERTOS
	MEDIDOS	INDICADOS	INFERIDOS	
ECONÔMICO		RECURSOS RECUPERÁVEIS		RECURSOS NÃO-CONHECIDOS
		RESERVAS		
SUBECONÔMICO		RECURSOS CONDICIONAIS		

Quadro II - Classificação da USBM/USGS para identificação de recursos minerais e reservas

RECURSOS TOTAIS

	Identificados			Não-Descobertos	
	Demonstrada		Inferida	Hipotéticos	Especulativos
	Medida	Indicada		(distritos conhecidos)	(distritos não-descobertos)
	Reservas				
Paramarginal	Recursos				
Submarginal					

← AUMENTO DA CONFIANÇA GEOLÓGICA

Quadro III-Classificação AIMM/AMIC para identificação de recursos minerais e reservas

Recursos Minerais Identificados (<i>In Situ</i>)	Reservas Minerais (minerável)
Inferida	
Indicada	↔ Provável
	Considerando fatores: econômicos, mineiros, meta- lúrgicos, ambientais, sociais e governamentais
Medida	↔ Provada

AIMM/AMIC

Segundo esta classificação são considerados dois grupos principais: recursos e reservas.

Recurso é uma ocorrência mineral *in situ*, quantificada com base em dados geológicos e num teor de corte geológico. Neste grupo são reconhecidas as seguintes categorias: Inferida - estimativa inferida de evidências geocientíficas, furos de sondagem, trincheiras, ou outros processos de amostragem que são suficientes para permitir uma sistemática estimação; Indicada - estimativa feita a partir de furos de sondagem, trincheiras, ou outros processos de amostragem amplamente espaçados, mas suficientemente próximos, para assegurar continuidade e dar uma razoável indicação do depósito, e onde dados geocientíficos são conhecidos com razoável nível de confiabilidade; Medida - estimativa feita através de processos de amostragem espaçados, próximos o suficiente para confirmar a continuidade, e onde dados geocientíficos são conhecidos confiavelmente.

O termo Reserva significa parte de um recurso medido ou indicado, que pode ser lavrado incluindo diluição, e na qual o valor, ou utilidade mineral, pode ser recuperada economicamente sobre condições realisticamente assumidas no tempo. Dentro deste grupo estão as reservas: Provável (reservas declaradas em termos de tonelagem/volumes lavráveis, e teores onde as condições são tantas, que o minério provavelmente será confirmado, mas onde o recurso *in situ* identificado, tenha sido categorizado como indicado, e não tenha sido definido com precisão necessária para a categoria medida; reservas de minério provável incluem minério que tenha sido amostrado em um modelo espaçado o suficiente, para assegurar continuidade); Provaso (reservas que são declaradas em termos de tonelagem/volumes lavráveis e teores em que recursos identificados *in situ* tenham sido definidos em três dimensões por escavação ou sondagem, e onde os fatores geológicos que limitam o corpo mineralizado são conhecidos com suficiente confiança e é categorizado como um recurso medido)(Quadro III).

Código de Mineração Brasileiro

Segundo o regulamento do código de mineração brasileiro (DNPM, 1987) considera-se :

I - Reserva Medida : a tonelagem de minério computado pelas dimensões reveladas em afloramentos, trincheiras, galerias, trabalhos subterrâneos e sondagens, e na qual o teor é determinado pelos resultados de amostragem pormenorizada, devendo os pontos de inspeção, amostragem e medida estar tão proximadamente espaçados, e o caráter geológico tão bem definido, que as dimensões, a forma, e o teor da substância mineral possam ser perfeitamente estabelecidos. A tonelagem e o teor computados devem ser rigorosamente determinados dentro dos limites estabelecidos, os quais não devem apresentar variação superior, ou inferior a 20% da quantidade verdadeira;

II - Reserva Indicada : a tonelagem e o teor do minério computados parcialmente de medidas e amostras específicas, ou de dados da produção, e parcialmente por extrapolação até distância razoável com base em evidências geológicas;

III - Reserva Inferida : estimativa feita com base no conhecimento dos caracteres geológicos do depósito mineral, havendo pouco ou nenhum trabalho de pesquisa, ou seja, proporciona uma idéia da potencialidade do depósito.

Classificações Geoestatísticas

As principais classificações de reservas adotadas no mundo estão baseadas principalmente na confiança geológica e viabilidade econômica; tais classificações usam o grau de certeza de reservas como fator discriminante entre as várias classes, entretanto, nenhum desses esquemas mostram claramente como se calcula o erro associado a uma dada estimativa. Como consequência da dificuldade em quantificar o erro de estimação, o geólogo irá utilizar uma área de influência subjetiva (distância), em torno dos furos de sondagem, como um critério para discriminação entre reservas provada e provável (Froidevaux, 1982 apud Yamamoto & Bettencourt, 1992).

Assim, as classificações existentes e aceitas, inclusive no Brasil, baseiam-se mais em aspectos qualitativos que em medidas reais de dispersão dos valores obtidos.

Classificações de reservas baseadas em medidas reais de dispersão são mais confiáveis, pois refletem a quantidade e qualidade das informações utilizadas na avaliação de reservas; tais classificações foram genericamente denominadas de "classificações geoestatísticas de reservas", pois são baseadas na variância de krigagem (Yamamoto & Bettencourt, 1992).

O Quadro IV apresenta as propostas de classificações de reservas atualmente existentes, extraídas de Yamamoto & Bettencourt (1992).

Segundo Royle (1977), blocos de reservas de altas categorias de certeza estão situados dentro do domínio de amostragem no corpo de minério e por isso apresentam baixos valores de variância de krigagem. Por outro lado, ainda segundo aquele autor, os blocos periféricos ao domínio de amostragem, apresentarão altas variâncias de krigagem, além de apresentarem outra fonte de incerteza que é a definição do limite minério/estéril na borda do corpo de minério.

Recentemente, Wober & Morgan (1993) propuseram uma classificação de reservas minerais baseadas em parâmetros econômicos e geoestatísticos. Esta classificação pode ser utilizada como uma ferramenta de comunicação para investidores, banqueiros e analistas financeiros verificarem o grau de risco associado com uma específica classe de reservas minerais.

Segundo estes autores, a definição de várias classes propostas implicam nas seguintes características:

- volume de produção anual;
- expectativas econômicas;
- tonelagem para alcançar o investimento do capital;
- margens determinadas geoestatisticamente dos erros das estimativas para tonelagem e teor dos volumes da produção anual, a um nível específico de confiança. Os níveis de confiança propostos para a classificação são baseados na suposição de que os erros de estimação são normalmente distribuídos, isto é, seguem uma distribuição gaussiana.

As definições propostas para as várias classes de reservas minerais estão no Quadro V.

É preciso ressaltar que as classificações geoestatísticas das reservas se, por um lado, eliminam a subjetividade das classificações tradicionais, por outro lado, as variâncias de krigagem calculadas em função do variograma médio da jazida, podem refletir apenas variâncias médias globais da jazida, e jamais as variações locais, de vital importância para o planejamento da lavra; em outras palavras, a variância de krigagem não consegue reconhecer blocos de alta variabilidade, daqueles de baixa variabilidade, pois trabalha somente com a disposição espacial das amostras e com um modelo de variograma médio da jazida (Yamamoto & Bettencourt, 1992).

Quadro IV - Classificações geoestatísticas de reservas (extraído de Yamamoto & Bettencourt, 1992).

Proposta	Provada	Provável	Possível	Inferida	Hipotética	Especul.
ONU	Medida	Indicada		Inferida		
	Erro: < 20% Conf. 95%	Erro: 20 - 50 % Conf. 95%		Erro: > 50% Conf. 95%		
Diehl & David (1982)2	A	B	C1	C2	D1	D2
	Erro: 10% Conf.>80%	Erro: 20% Conf. 60-80	Erro: 40% Conf. 40-60	Erro: 60% Conf. 20-40	Erro: Var. Conf. 10-20%	Erro: Var. Conf.<10
Wellmer (1983)	Provada	Provável	Poss.I	Poss. II	Não Class.	
	Erro: 10% Conf. 90%	Erro: 20% Conf. 90%	Erro: 30% Conf. 90%	Erro: 50% Conf. 90%	Erro: > 50% conf. 90%	

Quadro V - Classificação de reservas minerais baseada em parâmetros geoestatísticos e econômicos (Wober & Morgan, 1993).

Classes convencionais	Classes propostas	Unidades de estimação	Soma de Unidades	Nível de confiança	Erro $\pm$?	Expectativa econômica
Provada	Classe A	Volume de produção anual	Capital restituído	95 %	10	Satisfeito por baixo
	Classe B	Volume de produção anual	Capital restituído	84 %	10-15	Limite de erro
Provável	Classe C	Global	Capital restituído	95 %	10-15	Erro
	Classe D	Global	Capital restituído 80 %	84 %	15-20	Dentro da amplitude do erro
Inferida	Classe E	Estimação fora dos limites das Classes A-D			Dados amplamente espaçados - continuidade geológica	
Potencial	Classe F	Estimação - Ordem de magnitude			Presença e dimensão de ambiente geológico	

3. ANÁLISE DOS DADOS

O primeiro passo em qualquer avaliação de reservas deve ser o estabelecimento de algumas características básicas do conjunto de dados, que podem ser obtidas através da aplicação de uma análise estatística aos dados disponíveis com o mesmo suporte. Desta forma, é possível determinar o tipo de distribuição que melhor representa as variáveis em estudo, e caracterizar seu comportamento no depósito.

3.1. COMPOSIÇÃO DE AMOSTRAS DE FUROS DE SONDAGEM

Muitas vezes o intervalo de trabalho na fase de avaliação de reservas não é o mesmo que o intervalo de amostragem nos furos de sondagem. Além disso, as amostras coletadas nos furos de sondagem podem variar bastante em tamanho, comprimento e peso.

Assim, a composição de amostras pelo agrupamento delas para o intervalo de trabalho, definido segundo a característica que se quer analisar, produzirá dados mais homogêneos e, portanto, com maior facilidade de interpretação (Yamamoto & Bettencourt, 1992).

Segundo Barnes (1980), o objetivo de se fazer composições de amostras é de obter amostras representativas de uma unidade mineralógica particular, ou unidade de mineração, as quais podem ser aplicadas, por meio de alguma função de extensão, para estimar o teor ou valor de um volume muito maior da mesma unidade.

O resultado da composição de amostras de furos de sondagem é expresso como média ponderada do teor pelas espessuras selecionadas para o intervalo de trabalho, segundo a equação abaixo:

$$t_c = \frac{\sum_{i=1}^n t_i e_i}{\sum_{i=1}^n e_i} \quad (2)$$

onde : t_c é o teor composto

t_i é o teor do i-ésimo trecho

e_i é a espessura do i-ésimo trecho

n é o número de trechos para compor o intervalo de trabalho

A obtenção dos melhores intervalos de composição para avaliação de reservas de uma jazida irá depender do tipo de depósito mineral. Os três tipos de composições em amostras de furos de sondagem para o intervalo de trabalho são:

(1) bancadas: indicado para avaliação de reservas em depósitos, cuja lavra seja a céu aberto; a composição por bancadas é feita aplicando-se a equação 2, onde as espessuras foram determinadas a partir de diferenças de profundidade (Figura 2);

(2) tipos litológicos: indicado para depósitos estratiformes, ou localizados em veios; a composição permite obter teores representativos conforme as espessuras dos tipos litológicos reconhecidos nos furos de sondagem, ou nas seções geológicas (Figura 3);

(3) elevações: permite obter composições de amostras para alguns intervalos de elevações, selecionados segundo as características geológicas, mineralógicas ou estruturais do depósito; no cálculo da composição por elevações, utiliza-se as próprias cotas para determinação das espessuras da equação 2 (Figura 4).

CALCULO DO COMPOSITE POR BANCADA		
PB0	FURO	
P0	J1	C1 = T1
PB1	P1	$C2 = \frac{(P1 - PB1) \cdot T1 + (PB2 - P1) \cdot T2}{(P1 - PB1) + (PB2 - P1)}$
	J2	
PB2	P2	$C3 = \frac{(P2 - PB2) \cdot T2 + (PB3 - P2) \cdot T3}{(P2 - PB2) + (PB3 - P2)}$
	J3	
PB3	P3	$C4 = \frac{(P3 - PB3) \cdot T3 + (P4 - P3) \cdot T4 + (PB4 - P4) \cdot T5}{(P3 - PB3) + (P4 - P3) + (PB4 - P4)}$
	J4	
PB4	P4	
	J5	$C5 = \frac{(P5 - PB4) \cdot T5 + (PB5 - P5) \cdot T6}{(P5 - PB4) + (PB5 - P5)}$
PB5	P5	
	J6	C6 = T6
PB6	P6	

Figura 2- Cálculo da composição por bancadas, segundo Yamamoto & Bettencourt (1992).

CALCULO DO COMPOSITE POR LITOLOGIA		
FURO		
E1	J1	SOLO CL1 = T1
E2	J2	ROCHA ALTERADA CL2 = T2
E3	J3	ROCHA MINERALIZADA $CL3 = \frac{(T3 \cdot E3 + T4 \cdot E4 + T5 \cdot E5)}{(E3 + E4 + E5)}$
E4	J4	
E5	J5	
E6	J6	ESTERIL CL4 = T6

Figura 3- Cálculo da composição por litologia, segundo Yamamoto & Bettencourt (1992).

CÁLCULO DO COMPOSITE POR ELEVACOES		
EL0	FURO	
	CF0	J1
	CF1	J2
EL1	CF2	J3
EL2	CF3	J4
	CF4	J5
EL3	CF5	J6
EL4		

$C1 = \frac{(CF0 - CF1) \cdot T1 + (CF1 - EL1) \cdot T2}{(CF0 - CF1) + (CF1 - EL1)}$
$C2 = \frac{(EL1 - CF2) \cdot T2 + (CF2 - EL2) \cdot T3}{(EL1 - CF2) + (CF2 - EL2)}$
$C3 = \frac{(EL2 - CF3) \cdot T3 + (CF3 - CF4) \cdot T4 + (CF4 - CF5) \cdot T5}{(EL2 - CF3) + (CF3 - CF4) + (CF4 - CF5)}$
$C4 = T6$

Figura 4- Cálculo da composição por elevações, segundo Yamamoto & Bettencourt (1992).

3.2. ANÁLISE EXPLORATÓRIA

A análise exploratória consiste numa fase preliminar de busca de indicações de possíveis modelos a serem utilizados. As técnicas servem também para detectar se as suposições feitas sobre o comportamento probabilístico das variáveis consideradas são satisfeitas, pelo menos com certa aproximação (Dachs, 1978).

Desta forma, as técnicas exploratórias são ferramentas que permitem indicar de que forma as variáveis devem ser incluídas no modelo de regressão, o que ajudará na detecção da presença de valores anômalos, ou na presença de afastamentos importantes da suposição de normalidade.

Ramo e folhas

Gráficos, que permitam dar uma idéia da forma da distribuição da variável em consideração, são tão importantes quanto parâmetros estatísticos do conjunto de dados.

A fim de sumarizar o comportamento de um conjunto de dados, inicialmente deve-se dispô-los de forma ordenada e que permita visualizar o comportamento desse conjunto.

Um procedimento alternativo, para resumir um conjunto de valores com o objetivo de se obter uma idéia da forma da sua distribuição, é o ramo e folhas. Uma vantagem do ramo e folhas sobre o histograma é que não perdemos informação sobre os dados em si.

Existem várias maneiras de representar o ramo e folhas, mas a idéia básica é dividir cada observação em duas partes: a primeira (o ramo) é colocada à esquerda de uma linha vertical e, a segunda (a folha) é colocada à direita (Bussab & Morettin, 1986).

Desenho esquemático

O desenho esquemático permite visualizar os parâmetros estatísticos: mediana, 1^o quartil, 3^o quartil; além dos valores extremos do conjunto de dados.

A Figura 5 representa um desenho esquemático com os pontos e as regiões correspondentes; no retângulo central estão representados os quartis (juntas) e a mediana. A partir do retângulo, para cima e para baixo, seguem linhas pontilhadas que continuam até encontrar um valor extremo, ou um comprimento dj - diferença de juntas - se o extremo correspondente está a mais de uma dj da junta respectiva. Pontos que estão a mais de uma dj da junta correspondente e até uma dj e meia são chamados pontos extremos, enquanto que pontos que estão a mais de uma dj e meia da respectiva junta, são chamados pontos soltos (Dachs, 1978). O número de amostras, n , deve ser representado na largura do retângulo.

Figura 5 - Representação de uma desenho esquemático com os pontos e as regiões correspondentes (Dachs, 1978).

O desenho esquemático dá uma idéia da posição, dispersão, assimetria, caudas e dados discrepantes (Bussab & Morettin, 1986).

Segundo Dachs(1978), uma das grandes utilidades desta representação é ajudar na comparação de diferentes conjuntos de valores.

3.3. ESTATÍSTICA CLÁSSICA

A análise estatística do conjunto de dados de um depósito mineral fornece, de maneira rápida e prática, uma caracterização inicial da população amostrada, através de uma primeira aproximação de sua média e variância, ou seja, o teor médio e variabilidade natural do depósito.

Barnes (1980) ressalta que os métodos estatísticos são usados para fins descritivos, e para organização e sumarização dos dados quantitativos ou numéricos.

A estatística clássica é baseada no estudo das variáveis aleatórias ou independentes, ou seja, variáveis que podem tomar valores diferentes em diferentes lugares de observação mostrando, desta forma, uma determinada independência de um lugar a outro (Guerra, 1988).

Desta forma, a estatística clássica trata teor ou espessura de uma jazida como variáveis aleatórias, o que, claramente, não é verdade. Estes parâmetros variam de forma contínua ou descontínua de um ponto a outro, de acordo com a presença ou ausência de um fenômeno natural (Guerra, 1988).

A estatística clássica não leva em conta a dependência espacial das amostras, uma vez que, duas amostras coletadas em locais próximos apresentam maior probabilidade de terem valores similares do que se fossem coletadas em locais distantes. Assim, segundo Yamamoto (1992), o objetivo da aplicação dos métodos estatísticos é a análise de dados, importante etapa que antecede o trabalho de avaliação de reservas.

Desta maneira, serão abordados, a seguir, os principais conceitos básicos da Estatística Clássica.

3.3.1. DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIAS

A compreensão de um grande número de observações pela leitura de uma listagem de observações individuais é muito difícil e, desta forma, para facilitar a sua compreensão, estes números devem ser organizados em tabelas, através da classificação ou agrupamento conforme intervalos de valores preestabelecidos. Assim, o objetivo da distribuição de frequências é de resumir a informação numérica (Kock & Link, 1971).

Os dados obtidos são tabulados em categorias de valores; as diferentes categorias são as classes e, o tamanho destas, é o intervalo da classe. O número de valores que ocorre em cada classe é denominado frequência absoluta, e o arranjo dos valores e suas respectivas frequências é a distribuição de frequências.

A escolha dos intervalos é arbitrária e depende da familiaridade do pesquisador com os dados. Entretanto, deve-se observar que, com um número pequeno de classes, perde-se informação e, com um número grande, o objetivo de resumir ficará prejudicado (Bussab, 1980).

3.3.2. REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE UMA DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIAS

A representação gráfica da distribuição de frequências permite uma melhor visualização do conjunto de dados amostrados já que, geralmente, é mais fácil olhar uma figura que ler uma tabela, bem como ter uma idéia do valor mais provável (o que ocorre com maior frequência) e da dispersão associada.

Segundo Kock & Link (1971), o histograma é a representação de uma série contínua de retângulos na qual a largura da base corresponde ao intervalo da tabela de frequência (todos são iguais se a largura dos intervalos são iguais) e que a altura corresponde ao número de observações de cada intervalo. A altura pode ser expressa pela frequência absoluta ou pela frequência relativa (porcentagem).

As curvas acumulativas são construídas através dos valores de frequências acumuladas nos pontos médios das distintas classes; a observação deste gráfico indica quantos elementos, ou que porcentagem deles, estão abaixo de um certo valor.

3.3.3. DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIAS TEÓRICAS

Unindo-se os pontos médios dos retângulos de um histograma obtém-se uma curva de distribuição de frequências empírica, ou seja, uma curva representada por uma função onde não se conhece suas expressões matemáticas e propriedades.

Essas distribuições empíricas devem ser aproximadas para distribuições teóricas conhecidas, uma vez que estas podem ser manipuladas matematicamente para se conhecer suas características.

A mais importante distribuição de frequência teórica é a distribuição normal, chamada também curva normal ou distribuição de Gauss. Esta distribuição representa a maioria das distribuições de frequências de variáveis aleatórias encontradas na natureza (Yamamoto, 1992).

A função densidade de probabilidade que descreve a forma da curva é dado por:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-1/2(x-\mu)^2}{\sigma^2}} \quad (3)$$

onde : $f(x)$ é a função densidade de probabilidade;

σ é o desvio padrão;

μ é a média.

Este tipo de distribuição caracteriza-se por uma curva simétrica na forma de um sino, que tem como parâmetros: média (μ) e variância (σ). As áreas sob a curva normal, ou seja, as

integrais da função densidade de probabilidade definem algumas propriedades importantes (Figura 6):

- 68 % dos valores caem dentro do intervalo $\mu \pm \sigma$;
- 95 % dos valores caem dentro do intervalo $\mu \pm 2\sigma$;
- 99,7 % dos valores caem dentro do intervalo $\mu \pm 3\sigma$.

Figura 6 - Gráfico da distribuição normal ou Curva de Gauss.

Outra importante distribuição de frequências é a lognormal, que caracteriza-se pelo fato de que os logaritmos dos valores observados obedecem uma distribuição normal (Kock & Link, 1971).

Os valores da variável (não seus logaritmos) distribuem-se segundo uma curva continua assimétrica positiva, onde ocorrem uma grande quantidade de valores baixos e uns poucos valores altos. A distribuição lognormal é o tipo geralmente encontrado em problemas de avaliação de jazidas, especialmente em casos de metais raros (Yamamoto, 1992).

A função densidade de probabilidade é definida pela seguinte expressão analítica:

$$f(x) = \frac{1}{x\beta\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2\beta^2}(\ln x - \alpha)^2} \quad (4)$$

onde : α é a média dos logaritmos de x ;

β é o desvio padrão dos logaritmos de x .

Como a distribuição normal, a distribuição lognormal depende dos valores dos parâmetros α e β , média e variância respectivamente. O grau de assimetria depende somente do valor β , a variância dos logaritmos das observações (Kock & Link, 1971) (Figura 7).

3.3.4 TESTES DE ADERÊNCIA DE DISTRIBUIÇÕES DE FREQUÊNCIAS

Obtida uma representação gráfica de uma distribuição de frequências, do conjunto de dados em estudo, deve-se escolher qual a distribuição teórica mais representativa da distribuição observada.

O ajuste da distribuição teórica à distribuição observada pode ser feita através da reta de Henry, que apresenta um caráter subjetivo de ajuste; já os testes Kolgomorov-Smirnov e Chi-quadrado permitem uma melhor caracterização das distribuições de frequências observadas.

Reta de Henry

Este método gráfico consiste em desenhar em um papel aritmético-probabilístico, a função da distribuição de densidade acumulada; se esta função se alinhar em torno de uma linha reta, significa que a distribuição é normal. Para testar se a curva é lognormal, se utiliza um papel logarítmico-probabilístico (Guerra, 1988).

Teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S)

Este método é independente do tipo de distribuição e dos parâmetros das amostras, testando, assim, se duas amostras provêm da mesma população (Guerra, 1988).

A Figura 8 ilustra como utilizar o teste K-S; plota-se o modelo teórico e o observado num mesmo gráfico de curva acumulada. Determina-se, então, a maior diferença entre as duas curvas, isto é, o valor estatístico de K-S; este valor estatístico é comparado com o valor crítico de K-S indicado em tabelas padronizadas.

Geralmente, o teste K-S é usado quando o modelo hipotético pode ser completamente especificado. Isto é, os parâmetros da distribuição são conhecidos (ou assumidos) de informações próprias da população. Uma variação deste teste, entretanto, permite o uso do teste K-S para aferir o ajuste a uma população de distribuição normal, com média e variância não especificadas; para isto, os dados da frequência observada devem ser convertidos para uma forma padronizada pela transformação Z_i :

$$Z_i = \frac{x_i - \bar{X}}{S} \quad (5)$$

onde: Z_i é a variável padronizada;

x_i é valor da variável estudada;

$\bar{X}$ é a média do conjunto de dados;

S é o desvio padrão do conjunto de dados em estudo.

A média e variância do conjunto de dados são encontradas da maneira usual. A distribuição normal padronizada é obtida através de tabelas padronizadas, onde os resultados foram obtidos a partir da distribuição normal reduzida com média 0 e variância 1. A distribuição normal e os valores de Z_i são, então, plotados no gráfico da curva acumulativa, e verifica-se a máxima diferença absoluta entre as curvas, K-S estatístico. Este valor, comparado com o K-S crítico, determina se a hipótese (distribuição normal) é aceita ou rejeitada (Davis, 1986).

Teste Chi-Quadrado (χ^2)

Distingue-se do método anterior por ser um teste paramétrico e também pelo fato de supor uma distribuição normal ou lognormal (Guerra, 1988).

Inicialmente, cada amostra da população é padronizada para a forma normal conforme a equação 5, calculando-se então, o somatório dos quadrados das diferenças entre as frequências

dos valores observados $[f(0)_i]$ e as frequências dos valores teóricos $[f(t)_i]$, dividindo-se esta diferença pela frequência teórica conforme a equação a seguir:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \left\{ \frac{[f(0)_i - f(t)_i]^2}{f(t)_i} \right\} \quad (6)$$

onde : $f(t)$ é obtido em tabelas padronizadas;

k é igual ao número de intervalos de classe, calculado segundo o critério de Sturges:

$$k = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{1 + 3,322 \log(n)} \quad (7)$$

onde : $x_{\max}$ = valor máximo da variável no conjunto de dados;

$x_{\min}$ = valor mínimo da variável no conjunto de dados;

n = número total de observações da variável estudada.

O teste é realizado a níveis de significância de 1 e 5 %. Se o valor calculado de χ^2 for maior que $\chi^2_{0,95}$ ou $\chi^2_{0,99}$ para $k-3$ graus de liberdade, a hipótese é rejeitada. Os valores $\chi^2_{0,95}$ ou $\chi^2_{0,99}$ são obtidos em tabelas padronizadas.

Deve-se ressaltar que o número de graus de liberdade (ν) é igual ao número de intervalos menos 3, ou seja, $\nu = k-3$, devido ao fato de já terem sido perdidos 3 graus com a média, variância e o teste χ^2 (Guerra, 1988).

Figura 8- Teste K-S para testar o ajuste da distribuição observada (linha fina) em relação ao modelo teórico (linha grossa). Ambas são plotadas na mesma curva acumulativa (Davis, 1986).

3.3.5. PARÂMETROS ESTATÍSTICOS

A redução dos dados, através da distribuição de frequências, fornece muito mais informações sobre o comportamento da variável, do que a própria série original de dados. Entretanto, é possível extrair alguns parâmetros estatísticos, que sejam representativos de todo o conjunto e capazes de resumir mais ainda esses dados.

Esses parâmetros estatísticos são: média, variância, desvio padrão, coeficiente de variação, assimetria e curtose, estes parâmetros caracterizam, numericamente, a distribuição de frequências e, assim, descrevem bem o conjunto de dados em estudo.

MÉDIA ($\bar{X}$) ou esperança matemática é o valor médio da variável em estudo; é obtida pelo somatório de todos os valores de x , obtidos na amostragem divididos pelo total de amostras.

$$E[x] = \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (8)$$

onde: $\bar{X}$ é a média aritmética das amostras;

x_i são os valores da variável $\bar{X}$;

n é o número de elementos do conjunto.

No caso de distribuições lognormais a média dos logaritmos é dada por :

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(x_i) \quad (9)$$

onde: $\bar{Y}$ é a média dos logaritmos das amostras;

x_i são os valores da variável $\bar{X}$;

n é o número de elementos do conjunto.

VARIÂNCIA (S^2) é uma medida da dispersão, já que fornece uma noção de quão dispersos estão os valores x_i em relação ao seu valor médio $\bar{X}$. Ela é obtida a partir de :

$$Var[x] = S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2 \quad (10)$$

$$S^2 = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n (x_i)^2 - n(\bar{X})^2 \right] \quad (11)$$

$$S^2 = E[x^2] - \bar{X}^2 \quad (12)$$

onde : $\bar{X}$ é a média aritmética das amostras;
 x_i são os valores da variável $\bar{X}$;
 n é o número de elementos do conjunto.

Segundo Yamamoto (1992), a equação acima freqüentemente aparece com denominador igual a $(n-1)$ ao invés de (n) , para se obter um estimador não enviesado da variância amostral. Quando n for muito grande (>40), a variância amostral (S^2) aproxima-se da variância populacional (σ^2), o que equivale a fazer a divisão da soma dos quadrados por n .

Para distribuições lognormais, a variância é calculada da seguinte maneira:

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [\ln(x_i) - \bar{Y}]^2 \quad (13)$$

onde: $\bar{Y}$ é a média dos logaritmos das amostras;
 x_i são os valores da variável $\bar{X}$;
 n é o número de elementos do conjunto.

DESVIO PADRÃO (S) é definido como a raiz quadrada da variância e, portanto, tem a mesma unidade da média. O desvio padrão é dado por:

$$S = \sqrt{S^2} \quad (14)$$

O cálculo do desvio padrão é usado para se obter o grau de confiança do valor médio estimado (Guerra, 1988).

COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (CV) trata-se de uma medida relativa de dispersão. Por ser um parâmetro adimensional é útil para a comparação do grau de concentração em torno da média de conjunto de dados distintos. É dado por:

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} \quad (15)$$

onde: S é o desvio padrão
 $\bar{X}$ é a média aritmética das amostras

ASSIMETRIA (As) é a medida do desvio ou afastamento da simetria de uma distribuição (Spiegel, 1976). Quando a cauda da distribuição estiver à direita, diz-se que a distribuição tem assimetria positiva e quando estiver à esquerda, diz-se que a distribuição tem assimetria negativa.

$$As = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^3 / S^3 \quad (16)$$

CURTOSE (K) é o grau de achatamento de uma distribuição em relação à distribuição normal (Spiegel, 1976).

$$K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^4 / S^4 \quad (17)$$

Tanto a média como o desvio padrão podem não ser medidas adequadas para representar um conjunto de dados, uma vez que são influenciadas, de forma exagerada, por valores extremos. Além disso, apenas estes dois parâmetros não dão idéia da assimetria da distribuição dos valores (Bussab & Moretti, 1986).

A fim de contornar estes fatos, Tukey (1977) sugere a utilização das seguintes medidas:

- (i) mediana, Md ;
- (ii) os extremos: o maior e menor valor do conjunto de dados;
- (iii) os quartis (juntas): o 1º quartil é o valor que deixa um quarto dos valores abaixo e três quartos acima dele; o 3º quartil ou junta é o valor que deixa três quartos dos dados abaixo e um quarto acima dele. O 2º quartil é a mediana.

Estas medidas são chamadas de estatísticas de ordem e são medidas resistentes de posição de uma distribuição, ou seja, é pouco afetada por mudanças de uma pequena porção de dados (Bussab & Moretti, 1986).

A informação contida nestas medidas pode ser traduzida graficamente através do desenho esquemático, ilustrado na Figura 5 (item 3.2.).

3.4. CORRELAÇÃO E REGRESSÃO LINEAR

Na estimativa de depósitos minerais e no controle de teores de lavra, muitas vezes é necessário analisar simultaneamente duas variáveis, ou seja, caracterizar as correlações entre diferentes conjuntos de amostras.

Segundo Guerra (1988), uma análise de correlação não permite fazer previsões, porém é útil para identificar as variáveis que poderiam funcionar como previsoras.

O estudo do grau de dependência entre duas variáveis aleatórias X e Y, pode ser feito por meio de medidas que caracterizam essa relação mútua, como a covariância e coeficiente de correlação. Além destas medidas, pode-se ter uma descrição funcional, por meio da equação da reta, que é obtida por uma regressão linear simples de uma variável aleatória Y em função de X (Yamamoto, 1992).

O coeficiente de correlação expressa o grau de dependência mútua entre duas variáveis aleatórias X e Y e é dado por:

$$\rho_{XY} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\text{Var}[X]\text{Var}[Y]}} \quad (18)$$

onde: n = número de amostras;

$\bar{X}, \bar{Y}$ são os valores médios das variáveis X e Y estudadas;

$\text{Var}[X]$ e $\text{Var}[Y]$ são as variâncias de X e Y.

Chama-se covariância de X e Y ($\text{Cov}[X, Y]$) a esperança matemática do produto dos desvios das variáveis aleatórias em torno de suas respectivas médias, representada na prática por:

$$\text{Cov}[X, Y] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i y_i - \bar{X}\bar{Y} \quad (19)$$

Logo o coeficiente de correlação entre X e Y pode ser expresso por:

$$\rho_{XY} = \frac{\text{Cov}[X, Y]}{\sqrt{\text{Var}[X]\text{Var}[Y]}} \quad (20)$$

Por definição, o coeficiente de correlação ρ_{XY} é um número entre -1 e +1 (Guerra, 1988):

- se $\rho_{XY} = +1$ significa que existe uma relação funcional perfeita entre X e Y. Se X aumenta Y também aumenta;
- se $\rho_{XY} = -1$ há também uma relação funcional perfeita porém se X aumenta, Y diminui;
- se $\rho_{XY} = 0$ não existe relação entre as duas variáveis. Isto é, não é possível prever o comportamento de X a partir de Y ou vice-versa.

Qualquer outro valor de ρ_{XY} entre -1 e +1 significa que existe uma "correlação", que depende evidentemente da proximidade entre os valores citados (Figura 9).

Segundo Yamamoto(1992), os números por si só nem sempre são de fácil interpretação devido às específicas distribuições de frequências das variáveis aleatórias em estudo. Assim,

utiliza-se o diagrama de dispersão (gráfico cartesiano entre duas variáveis aleatórias, em que uma delas é colocada no eixo das abscissas e a outra no eixo das ordenadas) para auxiliar a interpretação dos valores numéricos da Cov e coeficiente de correlação obtidos, os quais nem sempre serão estatisticamente significantes, devido a presença de valores anômalos, característica de distribuições de frequências lognormais.

Como exemplo da influência de valores erráticos na correlação, observe a Figura 10, extraída de Yamamoto (1992); nesta figura, os conjuntos de dados originais, com coeficientes de correlação iguais a -1, 0,+1, foram alterados com a introdução de um ponto anômalo aos mesmos, resultando em coeficientes de correlação iguais a -0,56, 0,20 e 0,56, respectivamente.

Dispondo-se apenas da informação numérica do coeficiente de correlação, dificilmente, o ponto anômalo introduzido no conjunto de dados originais seria identificado e, conseqüentemente, os valores obtidos seriam admitidos como verdadeiros.

Determinada a relação existente entre duas variáveis aleatórias X e Y, é possível utilizar a variável X para prever o valor da variável Y, conforme a seguinte equação da reta:

$$\bar{Y} = a + b\bar{X} \quad (21)$$

onde: $\bar{Y}$ é o valor estimado de Y;

$\bar{X}$ é o valor experimental de X;

a é o ponto de intersecção da reta com o eixo da ordenada;

b é o coeficiente angular da reta.

A equação da reta é frequentemente ajustada pelo método dos mínimos quadrados, segundo a qual a reta a ser adotada deverá ser aquela que torna mínima a soma dos quadrados das distâncias (erros) da reta aos pontos experimentais.

4. MÉTODOS CLÁSSICOS

4.1. PRINCÍPIOS DE INTERPRETAÇÃO

Segundo Popoff (1966), os métodos clássicos baseiam-se, fundamentalmente, nos princípios de interpretação de variáveis entre dois pontos adjacentes de amostragem. Esses pontos determinam a construção de blocos aos quais são atribuídos teores para o cálculo de reservas. Os princípios de interpretação são divididos em: analíticos, natural ou intrínseco e empírico. O grupo analítico inclui o princípio das mudanças graduais e o princípio dos pontos mais próximos. Critérios geológicos, tecnológicos e econômicos fazem parte do grupo natural ou intrínseco, enquanto que o princípio da generalização faz parte do grupo empírico.

A aplicação de princípios de interpretação analíticos e naturais são limitados para condições específicas, necessárias e suficientes para certos tipos e tamanhos de depósito, e para certas categorias de recursos minerais.

PRINCÍPIO DAS MUDANÇAS GRADUAIS

Todos os elementos de um corpo mineral podem ser expressos numericamente por mudanças graduais e contínuas ao longo de uma reta, conectando dois pontos de amostragem adjacentes.

Por exemplo, considerando dois furos A e B, com espessuras e_1 e e_2 , a espessura e_c do ponto C, na linha AB, pode ser encontrada analiticamente, ou graficamente, utilizando a regra de semelhanças de triângulos (Figura 11).

Figura 11 - Interpretação analítica de valores entre duas estações, pelo princípio das mudanças graduais, segundo Popoff (1966).

$$\frac{A_1 C_2}{A_1 B_2} = \frac{C_1 C_2}{B_2 B_1} = \frac{e_c - e_1}{e_2 - e_1} \quad (22)$$

$$A_1 C_2 = AC \quad \text{e} \quad A_1 B_2 = AB \Rightarrow AC = \frac{(e_c - e_1)}{(e_2 - e_1)} AB$$

para determinar a espessura e_c para um dado ponto C

$$\frac{C_1 C_2}{B_1 B_2} = \frac{A_1 C_2}{A_1 B_2} \quad \text{ou} \quad \frac{(e_c - e_1)}{(e_2 - e_1)} = \frac{AC}{AB} \quad (23)$$

$$e_c - e_1 = \frac{AC}{AB} (e_2 - e_1) \Rightarrow e_c = \frac{AC}{AB} (e_2 - e_1) + e_1$$

PRINCÍPIO DOS PONTOS MAIS PRÓXIMOS

O valor de qualquer ponto entre dois pontos de amostragem é considerado constante e igual ao valor do ponto de amostragem mais próximo.

Em um caso genérico de dois furos A e B com espessuras e_1 e e_2 , qualquer ponto na linha AB, exceto X, está dentro da influência das estações A ou B; assim, quando um ponto estiver mais próximo de A, será atribuído espessura e_1 e quando estiver mais próximo de B, espessura e_2 . Ao ponto médio X é atribuído a espessura média de e_1 e e_2 (Figura 12).

PRINCÍPIO DA GENERALIZAÇÃO

É utilizado freqüentemente nas fases iniciais da pesquisa mineral e, em contraste com os outros princípios de interpretação, descritos anteriormente, esta regra apresenta características subjetivas. Consiste na extensão de atributos conhecidos para pontos de amostragem, segundo critérios geológicos, experiência profissional ou semelhança com outros depósitos.

Por exemplo, considerando-se a Figura 12, porém com o conhecimento adicional de que existe uma falha no ponto F, tem-se uma nova configuração representada na Figura 13, onde pode-se verificar que a espessura e_1 do ponto A é estendida até o limite da falha F.

4.2. MÉTODOS DE CÁLCULO

Numerosos métodos de cálculo de reservas são descritos na literatura, sendo que alguns apresentam apenas pequenas modificações em relação aos outros. Assim, Popoff (1966) classificou os métodos clássicos em quatro grupos:

- método dos blocos geológicos;
- método dos blocos de lavra;
- método dos perfis;
- métodos analíticos.

4.2.1. MÉTODO DOS BLOCOS GEOLÓGICOS

O método dos blocos geológicos é utilizado, freqüentemente, para estimativa da potencialidade de um corpo mineral. Em termos de reservas, produz resultados inferidos, a não

ser que exista minério à vista, e a amostragem siga padrão regular de distribuição, e se proceda a medidas diretas de espessura (Grossi Sad, 1975).

Neste método as áreas são delimitadas pela geologia e, em parte, pela lavra e critérios econômicos, utilizando o princípio da generalização. Segundo Yamamoto & Bettencourt (1992), o método faz uso dos fatores médios e estatísticos para o cálculo de reservas em blocos ou do depósito todo (Figura 14). Os fatores médios são as médias aritméticas dos atributos. Aplicando-se as médias dos atributos nas equações básicas de reservas, obtém-se a reserva procurada.

Figura 14 - Esquema mostrando a subdivisão em blocos, segundo suas características geológicas (Popoff, 1966).

4.2.2. MÉTODO DOS BLOCOS DE LAVRA

Este método é utilizado na estimativa de reservas nos estágios finais de exploração, quando os blocos de lavra estiverem delineados por escavações em três ou quatro faces.

Segundo Popoff (1966), a reserva do depósito é determinada pela acumulação das reservas parciais obtidas nos blocos individuais de lavra. Esses blocos de lavra são delimitados por trabalhos de pesquisa (galerias, trincheiras, travessas, etc) e freqüentemente delimitam blocos com forma de paralelepípedo, cujo volume é determinado multiplicando-se a área da seção retangular pela espessura média (Figura 15). Os valores de teor e espessuras, determinadas ao longo das escavações subterrâneas de pesquisa, são compostos para um único valor médio e a extensão destes valores médios é feita com base no princípio dos pontos mais próximos.

Por exemplo, na Figura 15, os teores médios parciais t_1 , t_2 , t_3 , e t_4 são estendidos às áreas a_1 , a_2 , a_3 e a_4 , respectivamente.

As reservas parciais são obtidas determinando-se o volume do bloco como:

$$Vb = (a_1 + a_2 + a_3 + a_4) \cdot e_m \quad (24)$$

e o teor médio do bloco, como média ponderada pelas áreas de influência:

$$T_m = \frac{a_1 t_1 + \dots + a_4 t_4}{a_1 + \dots + a_4} \quad (25)$$

que substituídos na equação 25, juntamente com a densidade do minério, fornecerão as reservas parciais.

Se o bloco a ser determinado é delimitado por apenas 3 faces, a estrutura das fórmulas permanece a mesma, mas retira-se o último componente do numerador e denominador.

Figura 15 - Cálculo de reservas em blocos de lavra, delimitados por trabalhos subterrâneos (chaminés e galerias), segundo Popoff (1966).

4.2.3.MÉTODO DOS PERFIS

O passo inicial para aplicação do método dos perfis é dividir o corpo mineral em blocos, pela construção de seções geológicas em intervalos ao longo de linhas transversais. O intervalo entre as seções pode ser constante ou variar segundo a densidade dos dados geológicos, entretanto, quando isso acontecer, as fórmulas para o cálculo das reservas são mais complexas. Dependendo do modo de construção dos blocos, existem três tipos de métodos dos perfis:

- Método dos perfis padrão: é baseado no princípio das mudanças graduais. Cada bloco interno é confinado por duas seções de amostragem e por uma superfície lateral irregular, e cada bloco final por uma única seção amostrada (Figura 16);

- Método dos perfis lineares: baseado no princípio dos pontos mais próximos. Cada bloco é definido por uma seção na porção central, e é delimitado pelas meias-distâncias entre seções adjacentes (Figura 17);

- Método das isolinhas: calcula as reservas considerando que os valores do atributo variam gradual e continuamente, dentro da fronteira de dados.

Segundo Popoff (1966), para se ter maior precisão dos resultados com este método, é indicado que:

- (a) exista um número suficiente de trabalhos no depósito mineral (corpo) e um adequado número de observações e amostras de cada seção, para representar a qualidade da matéria prima mineral;
- (b) os trabalhos estejam sobre ou próximo das seções;
- (c) todos os trabalhos estejam distribuídos mais ou menos iguais entre as seções;
- (d) empregado na avaliação de corpos bem definidos e grandes, em que as espessuras e teores possuam suaves variações.

Figura 16 - Layout dos blocos de acordo com o método dos perfis padrão, segundo Conde & Yamamoto (1994).

Figura 17 - Layout dos blocos de acordo do método dos perfis lineares, segundo Conde & Yamamoto (1994).

4.2.3.1. PERFIS PADRÃO

Os procedimentos usuais para o cálculo de reservas por este método são:

- (a) determinar as áreas de todas as seções;
- (b) calcular os teores médios para cada seção pelo princípio das mudanças graduais;
- (c) calcular o volume e as tonelagens de minério e metal para cada bloco; e
- (d) calcular o volume (tonelagem) da reserva mineral como somatória dos volumes (tonelagens) dos blocos individuais.

CÁLCULO DE VOLUME PARA SEÇÕES PARALELAS

A configuração das áreas e o formato lateral dos blocos são usualmente irregulares. Assim, para calcular o volume de um sólido geométrico, as áreas são consideradas como sendo círculos de igual tamanho ou figuras poligonais e as superfícies laterais de blocos são desconsideradas. A aplicação de diversas fórmulas para cálculos geométricos, depende do lay-out das seções, da apreciação da forma e tamanho dos corpos mineralizados, da distância entre as mesmas, etc (Guerra, 1988) (Figuras 18 e 19).

A seguir serão apresentadas algumas fórmulas para o cálculo de volumes apresentadas por Popoff (1966).

1. Fórmula do prisma ou área-média

O volume entre duas seções paralelas com áreas S_1 e S_2 , e uma distância perpendicular L entre elas é:

$$V = \frac{(S_1 + S_2)}{2} L \quad (26)$$

Esta fórmula é precisa quando as áreas das seções consecutivas forem aproximadamente iguais. Quando as seções tem espaçamento igual, o volume do corpo é:

$$V = \frac{A_1 + A_2}{2} d + \frac{A_2 + A_3}{2} d + \dots + \frac{A_{n-1} + A_n}{2} d$$

$$V = (A_1 + 2A_2 + 2A_3 + \dots + 2A_{n-1} + A_n) \cdot d/2 \quad (27)$$

Figura 18 - Formulário de áreas de Polígonos Regulares

Triângulo

Quadrado

Retângulo

Paralelograma

Losango

Trapezóio

Trapezóide

Círculo

Setor Circular

Fórmula Geral para Polígonos Regulares

$$S = p \cdot a$$

$$\text{onde: } p = \frac{n \cdot L}{2}$$

a é a apótema;
n é o n. de lados do polígono.

Figura 19 - Formulário de volume de sólidos

Prisma

$$V = A_b \cdot h$$

Tronco do Prisma

Quando seccionamos um prisma por um plano não paralelo às bases, determinamos um sólido chamado tronco do prisma.

O volume é calculado multiplicando a média aritmética das medidas das arestas pela área da seção reta do prisma originário do tronco.

$$V = A_b \cdot (a_1 + a_2 + a_3 + a_4) / 4$$

Pirâmide

O volume da pirâmide é igual a um terço do volume do prisma.

$$V_{pi} = \frac{1}{3} A_b \cdot h$$

Tronco da Pirâmide

$$V = \frac{1}{3} h (A_B + A_b + \sqrt{A_B A_b})$$

onde: A_b é a área da base menor;
 A_B é a área da base maior.
 h é a altura.

Cilindros

$$V = A_b \cdot h$$

Tronco de Cilindro Reto

$$V = A_b \cdot h \quad \text{ou} \quad V = \pi r^2 \cdot e$$

onde: e é a medida do segmento do eixo

Cone

Todo cone é equivalente a uma pirâmide de base circular.

$$V = \frac{1}{3} A_b \cdot h$$

Sendo $A_b = \pi r^2$ temos

$$V = \frac{1}{3} \pi r^2 h$$

Tronco de cone (Fórmula de Frustum)

$$V = \frac{1}{3} h (A_b + A_B + \sqrt{A_b A_B})$$

Se as seções são espaçadas irregularmente a fórmula para o volume total do corpo é:

$$V = \frac{A_1 + A_2}{2} d_1 + \frac{A_2 + A_3}{2} d_2 + \dots + \frac{A_{n-1} + A_n}{2} d_n \quad (28)$$

2. Fórmulas de cone e sólidos em forma de cunha

Blocos da extremidade de corpos minerais, em forma de lentes, podem ser convertidos em cone ou cunha com grandes áreas S em uma seção. Se o bloco é unido por uma linha, o volume é computado por:

$$V = \frac{S}{2} L \quad (29)$$

Esta fórmula, entretanto, é precisa somente quando a base é retangular e as faces laterais são triângulos isósceles e trapezóides

Se o bloco é unido por um ponto, o volume é computado pela fórmula do cone:

$$V = \frac{S}{3} L \quad (30)$$

3. Fórmula da pirâmide truncada ou de Frustum

Quando S_1 e S_2 variam de tamanho, mas são similares em forma utiliza-se a seguinte fórmula para o cálculo do volume do bloco:

$$V = \frac{L}{3} (S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 S_2}) \quad (31)$$

Na prática, esta fórmula é evitada devido a complicações envolvendo o cálculo de raiz quadrada e, em certos casos, é menos precisa que a fórmula do prisma.

4. Fórmula prismoidal

Muitos corpos minerais tem superfícies laterais irregulares, que podem ter uma profunda influência na precisão do cálculo do volume. A fórmula prismoidal é baseada na hipótese que

superfícies irregulares, curvadas ou deformadas podem ser substituídas por planos triangulares, trapezóides, ou paralelogramas limitados por linhas retas; para isto, constrói-se uma seção geológica auxiliar exatamente no plano médio entre duas seções; tal seção é interpolativa e interpretativa.

$$V = (S_1 + 4M + S_2)L/6 \quad (32)$$

onde: M é a área de uma seção plano-paralela auxiliar e na metade entre as seções S_1 e S_2 .

A construção desta seção auxiliar é baseada na interpolação de seções longitudinais e transversais e pela interpretação geológica do corpo mineral. Somente em casos excepcionais é M a média de S_1 e S_2 .

A fórmula prismoidal é derivada da regra de Simpson para áreas irregulares. Esta regra assume que os limites das curvas de cada segmento são parábolas passando por pontos consecutivos (Figura 20).

CÁLCULO DE VOLUME PARA SEÇÕES NÃO PARALELAS

Segundo Popoff (1966), seções construídas, ao longo de linhas de pesquisa, podem convergir e divergir devido às mudanças no comportamento e na direção estrutural do corpo

mineral. Os ângulos entre as seções e as linhas de pesquisa podem variar de oblíquo a obtuso, dependendo da variação da direção (Figura 21).

Quando o ângulo entre as seções é inferior a 10 graus, a seguinte fórmula permite calcular o volume do bloco:

$$V = \frac{(S_1 + S_2)}{2} \frac{(h_1 + h_2)}{2} \quad (33)$$

onde: S_1 e S_2 são as áreas de um corpo mineral na seções;

h_1 e h_2 são os comprimentos de linhas perpendiculares que ligam o centro de gravidade de uma seção a outra.

Na prática, o cálculo de reservas, pela fórmula anterior, desvia-se levemente do computado pela fórmula da área-média (ou fórmula do prisma) e, em muitos casos, o uso desta fórmula para um bloco entre seções com um ângulo de intersecção menor que 10 graus, não é necessário.

Quando o ângulo de divergência entre as seções é maior que 10 graus, introduz-se o fator de correção $\alpha / \text{sen}\alpha$, gerando a seguinte fórmula:

$$V = \frac{\alpha}{\text{sen}\alpha} \frac{(S_1 + S_2)}{2} \frac{(h_1 + h_2)}{2} \quad (34)$$

onde: o ângulo entre as seções é expresso em radianos.

Esta fórmula e a anterior são consideradas precisas, quando o tamanho das áreas das seções não diferem mais que 4 ou 6 vezes. Além disso, alguns pesquisadores consideram estas fórmulas precisas, somente no caso de um fragmento de corpos na forma de anéis, com o centro coincidindo com intersecções de seções, e que seu uso conduzem a um erro sistemático, mais freqüentemente, aumentando que diminuindo os resultados.

As fórmulas necessitam da localização dos centros de gravidade de cada área, que é dificultada em figuras com geometria complexa. O melhor procedimento para encontrar o centro de gravidade de uma área é o método gráfico.

O cálculo de volumes e tonelagem de seções paralelas, pelas fórmulas de seções não paralelas, podem mostrar apreciáveis diferenças, entretanto, variações no teor médio são relativamente pequenas.

4.2.3.2. PERFIS LINEARES

É muito semelhante ao método anterior, sendo que a única diferença é a de considerar como bloco, o volume compreendido na semi-distância entre seções.

Assim sendo, os atributos de cada seção são considerados até a meia-distância da seção mais próxima. Os passos para o cálculo de reservas por este método são os seguintes:

- (a) cálculo do teor médio da seção, que neste caso, pode ser determinado como média dos teores médios dos furos ponderados pelas respectivas espessuras;
- (b) o teor médio do bloco é o teor médio da seção;
- (c) cálculo da espessura média, como média das espessuras dos furos;

- (d) o volume é obtido multiplicando-se a espessura média pelo comprimento, que é igual à soma das meias distâncias entre seções adjacentes, e pela largura, que igual à largura da seção central;
- (e) cálculo das reservas dos blocos individuais utilizando a equação 1;e
- (f) cálculo da reserva da jazida pela somatória das reservas dos blocos.

Segundo Popoff (1966), este método pode ser usado também quando um bloco está entre seções não paralelas. Por exemplo, na Figura 22 verifica-se que o bloco de minério 2, para a área de influência A_2 , da seção 2-2', está entre as seções não paralelas 1-1' e 3-3'. Este bloco de minério pode ser encontrado pela bissetriz dos ângulos α e β com as seções auxiliares e-e' e e1-e1'. O cálculo desta reserva é feito pelas seguintes fórmulas:

$$Q_2 = q_2(A_2^I + A_2^{II}) \quad (35)$$

$$P_2 = p_2(A_2^I + A_2^{II}) \quad (36)$$

onde : $A_2^I + A_2^{II} = A_2$ (área de influência da seção 2-2');

q_2 são reservas de minério linear, determinadas na seção 2-2 pela divisão
reservas de seções no comprimento do corpo ao longo da seção;

p_2 são reservas de metal linear.

Figura 22 - Cálculo do volume para seções não paralelas pelo método dos perfis lineares (Popoff, 1966).

4.2.3.3. ISOLINHAS

Isolinhas são curvas que ligam pontos de igual valor. A isolinha mais comum é a curva de nível que representa o relevo em mapa topográfico.

Na avaliação de reservas, as isolinhas mais utilizadas são de isoteores (mesmos intervalos de teores), isópacas (mesmas espessuras), isoacumulações (mesmas acumulações, ou seja, o produto da espessura pelo teor).

Popoff (1966) recomenda utilizar este método para o cálculo de volumes e de reservas de água, gás natural e óleo. Entretanto, este método pode ser aplicado para o cálculo de volumes e teores médios associados a blocos de mineração, para fins de planejamento de produção.

Segundo Guerra (1988), o cálculo de reservas pelo método das isolinhas deve seguir os seguintes passos:

- (a) traçar uma linha reta para obter um conjunto de valores interpolados, os quais variam gradativamente e continuamente;
- (b) ligar os pontos de igual valor (Figura 23a);
- (c) determinar as áreas delimitadas pelas isolinhas com a utilização de planímetro;
- (d) o teor médio do depósito mineral é calculado como a ponderação das áreas delimitadas pelas linhas de isoteores (Figura 23b), ou seja:

$$t_m = \frac{t_0 A_0 + \frac{t}{2}(A_0 + 2A_1 + 2A_2 + \dots + A_n)}{A_0} \quad (37)$$

onde: t_m é o teor ponderado;

t_0 é o teor inferior ;

t é o intervalo de teor constante entre as linhas;

A_0 é a área do corpo mineral delimitada pela isolinha t_0 ;

A_1 é a área do corpo mineral com teor maior t_0+t .

- (e) calcular o volume multiplicando a área (A_0) pela espessura média;

(f) a tonelagem do depósito será obtida através da multiplicação do volume do minério pela densidade (equação 1).

Este método é apropriado para depósitos onde há uma regularidade nas variações de espessura e teor. A maior vantagem do método é a sua forma de apresentação através de mapa, pois permite observar as variações de teores e espessuras do depósito (Guerra, 1988).

4.2.4. MÉTODOS ANALÍTICOS

Os métodos analíticos avaliam as reservas por meio da divisão do corpo mineral em blocos de formas geométricas simples, como prismas de seções triangulares ou poligonais. Desta forma, estes métodos não levam muito em consideração a geologia e características minerais, uma vez que não refletem a forma e variações do depósito.

4.2.4.1. POLÍGONOS

O método dos polígonos é baseado no princípio dos pontos mais próximos. Aplicando-se este princípio aos pontos de dados distribuídos em uma área, obtém-se uma rede de polígonos, cujos lados encontram-se à meia distância entre duas estações adjacentes de amostragem (Figura 24).

Várias configurações de redes de polígonos podem ser feitas por diferentes pessoas, assim utiliza-se o método de Divisão de Dirichlet para evitar interpretações subjetivas. A Divisão de Dirichlet é obtida através da construção de um polígono convexo em torno de cada ponto de amostragem, de tal forma que, dois polígonos contíguos, possuam em comum uma única aresta, que é equidistante dos pontos internos aos referidos polígonos (Figura 25) (Pettinati, 1983 apud Yamamoto & Bettencout, 1992).

O cálculo de reservas dentro dos polígonos é obtida através das seguintes etapas:

- (a) determina-se a área do polígono através de fórmulas clássicas;
- (b) o volume de cada polígono é determinado pela multiplicação da área do polígono pela espessura mineralizada do furo;
- (c) o teor do bloco (polígono) é igual ao teor médio do furo;
- (d) calcula-se a reserva do bloco substituindo-se os valores de volume, teor e densidade na equação fundamental; e
- (e) a reserva do depósito é a soma das reservas dos blocos (polígonos).

Segundo Guerra (1988), este método fornece resultados bastante satisfatórios quando existe continuidade da mineralização com variações graduais, malha regular e inúmeros trabalhos. Entretanto, quando as informações de pesquisa são irregulares e conseqüentemente as dimensões dos polígonos são variadas, qualquer polígono muito grande, gerado por amostras isoladas, que tiver um valor de variável fortemente modificada em relação aos outros, influenciará muito na avaliação final.

Figura 24 - Método dos polígonos. Vista dos polígonos e respectivos prismas (Guerra, 1988).

Figura 25 - A "Divisão de Dirichlet", segundo Pettinati (1983 apud Yamamoto & Bettencourt, 1992).

4.2.4.2. TRIÂNGULOS

Este método é baseado no princípio das mudanças graduais entre duas estações adjacentes que, sucessivamente unidas, geram uma malha triangular (Yamamoto & Bettencourt, 1992).

Como no método dos polígonos, a malha triangular deve ser gerada por critérios não subjetivos. Assim, inicialmente utiliza-se a Divisão de Dirichlet para gerar uma malha de polígonos, todos os pontos contíguos são unidos por segmentos de retas, dando origem a uma malha triangularizada (Yamamoto & Bettencourt, 1992) (Figura 26).

Obtida a subdivisão em blocos triangulares calcula-se a reserva conforme segue:

- (a) determina-se o volume de cada bloco triangular através da multiplicação da área da seção triangular pela espessura média dos furos, o que corresponderia calcular o volume de um prisma triangular;
- (b) determina-se o teor médio dos furos;
- (c) calcula-se a reserva do bloco aplicando-se os valores de volume, teor e densidade a equação fundamental; e
- (d) a reserva do depósito é igual à soma das reservas dos blocos triangulares.

Segundo Guerra (1988), este método apresenta bons resultados quando aplicado em corpos grandes, sedimentares, e depósitos disseminados em geral, quando avaliados por malha regular.

Figura 26 - A "Triangularização de Delaunay", segundo Pettinati (1983 apud Yamamoto & Bettencourt, 1992)

5. MÉTODOS COMPUTACIONAIS

Os métodos computacionais para avaliação de reservas são: a ponderação pelo inverso da potência da distância e os geoestatísticos. Esses métodos são assim denominados, por dependerem da utilização de computadores na resolução de seus algoritmos.

O método ponderação pelo inverso da potência foi efetivamente o primeiro desenvolvido para ser utilizado em computadores, já que envolve operações aritméticas difíceis de serem processadas manualmente.

Os métodos geoestatísticos foram desenvolvidos na década de 70 e são genericamente denominados de krigagem. Tais métodos são baseados na Teoria das Variáveis Regionalizadas.

5.1. MÉTODO DA PONDERAÇÃO PELO INVERSO DA POTÊNCIA DA DISTÂNCIA (IPD)

Segundo Yamamoto & Bettencourt (1992), este método foi, seguramente, o primeiro método analítico para interpolação de valores de variáveis de interesse em pontos não amostrados. É amplamente utilizado para interpolação de malhas regulares, para fins de contorno automático de dados geológicos. Mais recentemente, tem-se observado também que os programas comerciais de avaliação de reservas têm incluído o método da ponderação pelo inverso da potência, juntamente com a krigagem ordinária como método para avaliação de reservas.

Este método é baseado no fato que teores de amostras de furos vizinhos em relação a um determinado ponto ou bloco do depósito, são proporcionais ao inverso das respectivas distâncias elevadas a uma potência. Assim, para efeitos de avaliação de reservas, o teor médio (ou qualquer outra variável) de um bloco é calculado por interpolação, a partir dos valores obtidos na sua vizinhança. Portanto, amostras de furos próximos contribuirão com grande peso, em detrimento das amostras de furos distantes, que contribuirão com peso pequeno. A equação geral para se interpolar o teor de um ponto ou bloco do depósito no sistema de coordenadas (x, y, z) é:

$$T = \frac{\sum_{i=1}^n T_i w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (38)$$

onde: T_i é o teor da i-ésima amostra localizada no ponto (x_i, y_i, z_i) ;

w_i é o ponderador igual ao inverso de uma potência da distância entre a i-ésima amostra e o ponto a ser interpolado;

n é o número de pontos do subconjunto.

O ponderador w_i é calculado como:

$$w_i = \frac{1}{d_i^p} \quad (39)$$

onde: p é a potência;

d_i é a distância entre a i -ésima amostra de coordenadas (x_i, y_i, z_i) e o ponto a ser estimado com coordenadas (x, y, z) .

A distância d_i é calculada como:

$$d_i = [(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2]^{1/2} \quad (40)$$

Portanto, a primeira decisão a se tomar é a escolha da potência. Sabe-se que potência baixa tende a suavizar os valores extremos, enquanto que, elevada, tende a realçá-los.

A Figura 27, reproduzida de Barnes (1980), ilustra como atua a potência da distância na interpolação de teores entre dois pontos adjacentes de amostragem. Pode-se observar que com o aumento da potência da distância, a interpolação de teores entre dois pontos passa do princípio das mudanças graduais ($p=1$) para o princípio dos pontos mais próximos ($p > 10$). Assim, Yamamoto & Bettencourt (1992) sugerem o uso de uma potência igual a dois, pois esta produz uma interpolação intermediária entre os princípios das mudanças graduais e dos pontos mais próximos.

Figura 27 - Efeito da potência da distância na interpolação de teores entre dois pontos adjacentes de amostragem, segundo Barnes (1980).

Com relação ao número de amostras de furos vizinhos, Yamamoto & Bettencourt (1992) recomendam não utilizar um número excessivamente pequeno, com o risco da interpolação resultar em valor semelhante ao ponto mais próximo e, nem excessivamente grande, com o risco da interpolação resultar num valor bastante suavizado, semelhante ao teor médio do depósito. Esses autores recomendam a utilização de 4 a 8 amostras, com a ressalva que as distâncias envolvidas sejam analisadas amostra a amostra, evitando assim a utilização de amostras muito distantes do ponto a ser interpolado, visto que pouco contribuirão na interpolação, mesmo que exista alguma correlação geológica.

A ponderação pelo inverso da potência pode ser utilizada tanto para estimar pontos, como blocos, para fins de avaliação de reservas.

Na avaliação de pontos, os blocos de lavra ou de cubagem são estimados em relação ao centro dos mesmos, o que causa um problema, pois a característica encontrada no centro do bloco é estendida para todo o domínio, acompanhada de um erro de estimativa proporcional ao tamanho do bloco. Além disso, em um caso particular de uma malha regular de sondagem, com blocos de lavra centrados nos furos de sondagem, o resultado não irá diferir daquele da aplicação do método dos polígonos, com o mesmo problema de superavaliação de reservas, quando os teores são altos e na subestimação, quando os teores são baixos.

Por esses motivos, Yamamoto (1992a) aperfeiçoou a aplicação do IPD para avaliação de blocos. A avaliação do bloco é obtida como média das estimativas pontuais em sub-blocos, o que permite fazer a avaliação direta do bloco aplicando-se os ponderadores médios IPD nas amostras de furos vizinhos ao bloco, conforme a seguinte equação:

$$T = \sum_{i=1}^n T_i w_i \quad (41)$$

onde: w_i é o ponderador IPD médio entre a i -ésima amostra e todos os sub-blocos.

O teor médio do bloco é obtido multiplicando-se os ponderadores médios na equação 45. Esta operação equivale a calcular, individualmente, os teores dos sub-blocos e determina o teor médio do bloco como média aritmética daqueles.

A Figura 28, representa a sequência de operações envolvidas na avaliação de blocos pelo método IPD aperfeiçoado para blocos, de Yamamoto (1992a).

Figura 28 - Desenho mostrando a sequência de operações para avaliação de blocos pelo método IQD aperfeiçoado. Discretização de um bloco em oito sub-blocos e 4 amostras vizinhas (A); cálculo dos ponderados IQD por sub-bloco (B); cálculo dos ponderadores IQD para todos os sub-blocos (C); composição de teores dos sub-blocos para estimação do teor médio do bloco, segundo Yamamoto (1992a).

5.2. MÉTODOS GEOESTATÍSTICOS

Os métodos geoestatísticos de avaliação de reservas, ou simplesmente geoestatística, foram desenvolvidos graças aos estudos do engenheiro de minas Georges Matheron na França no final da década de 50 e início da década de 60. Estes métodos estão fundamentados na Teoria das

Variáveis Regionalizadas, que foi formalizada por Matheron, a partir de estudos práticos desenvolvidos por Daniel G. Krige no cálculo de reservas nas minas de ouro do Rand na África do Sul.

A geoestatística é a aplicação de métodos matemáticos e estatísticos a problemas da Ciência da Terra e pode ser utilizada em diversas áreas como: geologia pura (análise de elementos traços em rochas metamórficas), em pesquisa mineral (análise de dados geoquímicos de pesquisa), para traduzir a geologia para modelos usados em engenharia, determinação do tipo de amostragem, estimação espacial e temporal, simulação, bem como, na análise de riscos e quantificação de reservas.

O procedimento para utilização da geoestatística na estimação de reservas de um depósito mineral pode ser dividido em duas partes (Clark, 1979): (1) investigação e modelamento de uma estrutura física e estatística de um corpo mineral através da construção de semi-variograma; (2) processo de estimação - krigagem - que depende inteiramente dos semi-variogramas construídos na etapa anterior.

O cálculo de um teor médio para um bloco da jazida, a partir dos dados de teores obtidos nas amostras coletadas ao longo dos furos de sondagem é um problema de estimação, que usa as informações dos pontos vizinhos, considerando não somente os valores de teor, mas também a posição espacial relativa dos mesmos. A krigagem proporciona uma estimação linear ótima, bem como o cálculo da variância de krigagem, ou seja, o erro associado à mesma (Yamamoto & Bettencourt, 1992).

Como todas as técnicas estatísticas, a geoestatística é baseada em conceitos probabilísticos. As técnicas da estatística clássica assumem que todas as amostras são aleatórias e independentes de uma distribuição de probabilidade simples - esta suposição é chamada estacionariedade. Sua aplicação não envolve qualquer conhecimento da posição atual das amostras ou do relacionamento entre amostras, que pode ser uma informação extremamente valiosa no quadro global do depósito (Clark, 1979).

Ainda segundo esta autora, a geoestatística assume que a distribuição das diferenças nos teores entre dois pontos amostrados é a mesma para todo o depósito, e que isto depende somente da distância entre eles e da orientação dos pontos. Em outras palavras, diferenças nos teores devem ser consistentes, não constantes, para o depósito - hipótese intrínseca ou quase-estacionariedade.

Segundo Royle (1979), os principais argumentos para o uso dos métodos geoestatísticos seriam:

- A geoestatística é completamente baseada na prática de boa avaliação fundamentada em uma teoria racional, em vez de uma avaliação mineira intuitiva praticada anteriormente;
- Reconhecimento do fato que a variação total é parte aleatória, e parte espacial, conduzindo a estimativas que não são enviesadas, e que tem pequenos erros de estimação;

- A geoestatística explica porque alguns tipos tradicionais de estimador, como o método dos polígonos, produzem estimativas enviesadas; estes enviesamentos podem ser removidos pelo uso de outros tipos de estimadores (krigagem).

Quanto às dificuldades matemáticas da geoestatística, elas certamente existem a um nível teórico e em sofisticadas aplicações, entretanto, uma avaliação de reservas pode ser realizada por um profissional com conhecimentos matemáticos básicos.

A utilização da geoestatística não pode substituir bons dados e informações adicionais, nem o julgamento preciso de um profissional que conheça a natureza geológica/tecnológica do depósito; desta forma, a geoestatística não pode ser utilizada como uma "caixa preta" e com a ilusão que irá economizar tempo de trabalho.

5.2.1. VARIÁVEIS REGIONALIZADAS

Assuma que os seguintes conjuntos de números representem os valores de duas séries de amostras em diferentes corpos de minérios:

$$\begin{array}{cccccccccc} 1 & 7 & 3 & 6 & 2 & 9 & 4 & 8 & 5 & \bar{X} = 5 & \sigma^2 = 6.7 \\ 1 & 3 & 5 & 7 & 9 & 8 & 6 & 4 & 2 & \bar{X} = 5 & \sigma^2 = 6.7 \end{array}$$

Apesar de representarem mesma média e variância são, obviamente, de dois tipos de mineralização distintas. A primeira série é mais errática que a segunda; em outras palavras, se um geólogo contasse que a média e a variância da porcentagem do conteúdo metal das amostras são 5,0 e 6,7, respectivamente, não daria idéia, do comportamento da mineralização (Royle, 1979).

Portanto, a aplicação de parâmetros estatísticos, neste caso, é de pouca utilidade, e não consegue distinguir os dois conjuntos, uma vez que a estatística clássica baseia-se nos princípios da independência entre amostras e de que os eventos podem ser repetidos indefinidamente. Amostras obtidas de um depósito mineral estão de certa forma relacionadas entre si e, não é possível repetir os eventos, isto é, não existe forma de local indefinidamente um furo no exato ponto onde foi realizado. Assim, a introdução do conceito de variáveis regionalizadas pela geoestatística, tenta resolver estes tipos de problemas.

As variáveis regionalizadas dispõem de um aspecto aleatório (amostras de um corpo mineralizado separadas por grande distância) e, para pontos distanciados de um certo vetor h , observa-se estrutura entre as amostras. Assim, seja $z(x)$ o valor da variável do ponto (x) . O problema é representar a variabilidade da função $z(x)$ quando x varia. A solução dada pela geoestatística consiste em interpretar cada valor $z(x_i)$ como uma realização particular de uma função aleatória $z(x)$ no ponto x_i (Érrico, 1984).

Assim, pode-se definir variável regionalizada como qualquer função numérica com uma distribuição espacial, que varia de um lugar a outro com continuidade aparente, mas cujas

variações não podem ser representadas por uma função determinística (Blais & Carlier, 1968 apud Olea, 1975).

Em geologia, todas as observações quantitativas feitas em duas ou três dimensões (área ou volume), sejam elas geoquímicas, geofísicas, sedimentológicas, estruturais, etc., podem ser consideradas como exemplos de variáveis regionalizadas.

As principais características de uma variável regionalizada são (Olea, 1975 e 1977);

- localização: uma variável regionalizada é numericamente definida pelo valor de uma função, cujos argumentos contêm as coordenadas geográficas, onde as observações foram feitas, bem como as características da amostra como tamanho, forma e orientação;
- anisotropia: algumas variáveis regionalizadas são anisótropicas, quando apresentam variações graduais numa direção e rápida, ou irregular, na outra;
- continuidade: a variação espacial de uma variável regionalizada pode ser, dependendo do fenômeno, grande ou pequena, mas deve existir uma continuidade ponto a ponto. A continuidade da variável regionalizada, medida pela correlação espacial da mesma, pode ser expressa matematicamente por meio do variograma.

5.2.2. VARIOGRAMA

O variograma é a ferramenta básica, que permite descrever quantitativamente a variação no espaço de um fenômeno regionalizado (Huijbregts, 1975). ou ainda, é uma função que expressa o grau de continuidade de uma variável regionalizada.

A natureza estrutural de um conjunto de dados (assumido pela variável regionalizada) é definida a partir da comparação de valores tomados simultaneamente em dois pontos, segundo uma determinada direção.

Normalmente, pontos mais próximos estarão mais correlacionados, que pontos mais distantes. Em termos de geoestatística, se os pontos são muito correlacionados, a variância da distribuição das diferenças será menor e, vice-versa. Assim, esta variância é uma medida da influência de amostras em áreas da vizinhança dentro do depósito. Esta variância é denominada variograma, desde que sua representação usual é um gráfico de variância vs. distância h . É denominada matematicamente por $2\gamma(h)$ e $\gamma(h)$ é chamado semivariograma, embora muitos autores o denominem simplesmente de variograma (Clark, 1979).

A função variograma $2\gamma(h)$ é definida como sendo a esperança matemática do quadrado da diferença entre os valores de pontos no espaço, separados por uma distância h (Figura 29), conforme a seguinte equação:

$$2\gamma(h) = E\{[Z(x+h) - Z(x)]^2\} \quad (42)$$

ou em termos computacionais:

$$2\gamma(h) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [Z(x+h) - Z(x)]^2 \quad (43)$$

onde: $2\gamma(h)$ é a função variograma;

n é o número de pares de pontos separados por uma distância h ;

$z(x+h)$ é o valor da variável regionalizada no ponto $(x+h)$;

$z(x)$ é o valor da variável regionalizada no ponto x .

A função variograma $2\gamma(h)$ pode ser expressa em termos de variância $C(0)$ e da covariância $C(h)$:

$$\gamma(h) = C(0) - C(h) \quad (44)$$

Segundo Clark (1979), uma restrição teórica nas distâncias entre pontos, usados no variograma, é um quarto da extensão total da informação da amostra mas, na prática, metade é geralmente usada. Outro aspecto a ser observado é que quando a distância aumenta entre pares de pontos, poucos pares entram nos cálculos; isto implica que pontos num gráfico próximo à origem (pequenas distâncias) são mais confiáveis que aqueles em grandes distâncias, uma importante consideração quando se interpreta um variograma.

Ainda conforme o autora acima, um ponto importante que deve ser verificado é o intervalo de amostragem, já que muitas vezes intervalos de amostragens grandes não são capazes de determinar as estruturas do depósito. Entretanto, isto não implica que as amostras devem ser tomadas mais próximas possíveis, mas sim, que o intervalo de amostragem deve ser mantido na mente, quando um variograma for interpretado. Em depósitos que são essencialmente em duas dimensões, como depósitos de veios ou depósitos sedimentares com espessura razoavelmente constante, o procedimento ideal é coletar amostras em uma malha quadrada ou retangular. Vários semivariogramas podem então ser construídos, um em cada uma das várias direções, justamente para se conhecer a estrutura da mineralização. Então, deve ser decidido se estas diferenças são de natureza deposicional do minério ou se elas são, puramente, variações estatísticas, resultado de um baixo número de amostras.

Semivariogramas, em diferentes direções, podem dar valiosas informações sobre a continuidade ou ausência de variação ao longo do depósito. Na prática, amostras regulares são raramente obtidas em todas as direções de interesse.

Segundo Landim (1985), para dados que estão irregularmente distribuídos no espaço bi-dimensional não é possível, em princípio, encontrar pares de amostras suficientes com exatamente o mesmo espaçamento h para o cálculo do semivariograma $\gamma(h)$ em determinada direção, como feito com dados em malha regular. Para contornar essa situação define-se então uma distância de tolerância Δh para o espaçamento h entre os pares de amostras de um ângulo de tolerância $\Delta\alpha$ para a direção considerada. Assim, para o cálculo do semivariograma de uma distribuição irregular de pontos, ao longo de uma determinada direção α , considera-se todas as amostras que se encontram no ângulo $\alpha \pm \Delta\alpha$, e em seguida classifica-se os pares de amostras em classes de distância $h \pm \Delta h$, $2h \pm \Delta h$, ... onde h é a distância básica. As direções consideradas e seus respectivos ângulos de tolerância devem cobrir toda a área (Figura 30)

A interpretação do variograma permite obter parâmetros que descrevem o comportamento espacial das variáveis regionalizadas. As principais propriedades do variograma, que podem ser vistas na Figura 31, são:

- amplitude: é a distância a partir da qual as amostras passam a ser independentes. A amplitude (a) é a distância que separa o campo estruturado (amostras correlacionadas) do campo aleatório (amostras independentes).
- patamar: é o valor no qual o variograma estabiliza-se no campo aleatório e é numericamente igual à variância da variável regionalizada;

Figura 31 - Variograma típico e suas propriedades (Yamamoto & Bettencourt, 1992).

Figura 32- Anisotropias; (A): geométrica e (B): zonal, segundo Yamamoto & Bettencourt (1992).

- efeito pepita: é o valor da função variograma na origem ($h=0$). Teoricamente esse valor deveria ser zero, pois duas amostras tomadas no mesmo ponto ($h=0$) deveriam ter os mesmos valores; entretanto, quando não é assim, atribui-se a erros de amostragem e/ou análise. Contudo, o efeito pepita deve estar associado à variabilidade natural do depósito, aumentando, conforme aumenta o coeficiente de variação, até o limite do efeito pepita puro. O efeito pepita também é chamado de variância aleatória.

- variância espacial: é a diferença entre a variância *a priori* e o efeito pepita.

- anisotropia: os variogramas determinados ao longo de diferentes direções da jazida podem mostrar variações diferentes, como mostram os desenhos da Figura 32, indicando que a jazida apresenta uma anisotropia. A anisotropia pode ser geométrica (Figura 32a), quando a amplitude varia conforme as direções, mas sob um patamar constante, e zonal (Figura 32b) quando tanto a amplitude como o patamar variam de acordo com as direções, ou seja, quando resultam em variogramas diferentes.

O cálculo de um variograma tem sido descrito como o primeiro passo no processo de estimação geoestatística.; na realidade, é o mais importante passo, porque o modelo escolhido será usado na krigagem e influenciará todos os resultados e conclusões. Neste estágio, o geólogo ou engenheiro deve decidir se usa ou não geoestatística na estimação.

5.2.3. MODELOS TEÓRICOS DE VARIOGRAMAS

Embora um variograma experimental (calculado) possa ajudar na determinação da estrutura de um depósito e no comportamento das variações de teores, este é puramente uma técnica de resumir dados - descrevendo o comportamento dos valores das amostras. Conclusões sobre todo o depósito, se estas são desejadas, devem ser produzidas por um processo de inferência semelhante à construção de um histograma com o conjunto de dados e seu ajuste a uma distribuição de frequências conhecida, por exemplo, normal ou lognormal (Clark, 1979).

Assim, se um variograma for construído, este deverá ser correlacionado com algum modelo teórico, através do ajuste a uma função matemática, conhecido como ajuste de modelos teóricos em geoestatística, que é, geralmente, feito de maneira interativa com um programa de computador (Yamamoto, 1992).

Os modelos teóricos para variogramas podem ser divididos em dois grupos: aqueles em que o variograma teórico $\gamma(h)$ aumenta quando a distância aumenta (modelos sem patamar); e aqueles que em um primeiro momento aumentam e então tendem a nivelar num valor constante γ (modelos com patamar)

As equações dos modelos teóricos mais comuns e seus respectivos variogramas são apresentados na Figura 33.

Ajustado o modelo teórico ao variograma experimental, tem-se todas as informações necessárias para se proceder à krigagem, ou seja, à estimação de um valor da variável de interesse em um ponto ou bloco do depósito não amostrado.

5.2.4. KRIGAGEM

Técnicas de estimação, como o IPD, usam um ponderador médio de valores de amostras para estimar blocos de um depósito. Os ponderadores são uma função do bloco e da geometria da amostra e de algumas idéias da variação no depósito mineral, mas eles não fazem referência para a particular variabilidade do corpo mineral em estudo. Mais ainda, essas técnicas não permitem uma determinação da confiabilidade das estimações (Brooker, 1979).

Ainda segundo este autor, técnicas geoestatísticas de estimação - baseadas no estudo da variabilidade espacial do corpo mineral como reflexo de um variograma - são superiores porque permitem o cálculo de uma medida de erro associada com a estimativa, chamada variância de estimação. É também possível descobrir para um dado bloco a configuração de dados que minimize esta variância de estimação. Este procedimento, que produz o melhor estimador linear não enviesado, é conhecido como krigagem.

A essência de qualquer bom procedimento de estimação não é simplesmente produzir um número (teor (%), espessura (m)) para um bloco, mas também dar uma idéia da quantidade em que o real número pode variar desta estimação.

MODELOS COM PATAMAR

- ESFÉRICO

(comportamento "linear" na origem)

$$\gamma(h) = C \left[\frac{3}{2} \frac{|h|}{a} - \frac{1}{2} \frac{|h|^3}{a^3} \right] + C_0; h \leq a$$

$$\gamma(h) = C + C_0; h > a$$

- EXPONENCIAL

(comportamento "linear" na origem)

$$\gamma(h) = C[1 - e^{-h/a}] + C_0; h \leq a$$

$$\gamma(h) = C + C_0; h > a$$

- GAUSS

(comportamento "parabólico" na origem)

$$\gamma(h) = C[1 - e^{-h^2/a^2}] + C_0$$

MODELOS SEM PATAMAR

- LINEAR

(fenômeno não estacionário)

$$\gamma(h) = C_0 + p|h|$$

- POTENCIAIS

(caso geral para Θ=1; linear)

$$\gamma(h) = C_0 + p|h|^\Theta$$

- LOGARÍTMICO

(De Wijs)

$$\gamma(h) = A \log|h| + C_0$$

$$De Wijs = 3\alpha \ln|h|$$

Figura 33 - Modelos de variogramas mais comuns na natureza.

A krigagem é um método que permite estimar o valor desconhecido Z_v associado a um ponto, área ou volume, a partir de um conjunto de n dados $[Z(x), i=1, n]$ disponíveis.

O estimador Z^*v poderá ser obtido como uma combinação linear dos dados disponíveis, conforme a equação:

$$Z^*v = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (45)$$

Os ponderadores ($\lambda_i, i=1, n$) são obtidos da resolução de um sistema linear de equações, denominado sistema de krigagem, que é construído para que a estimação não seja enviezada e, também, com mínima variância de estimação.

Segundo Journel & Huijbregts (1978), para que o estimador Z^*v não seja enviezado, basta garantir que:

$$E[Z_v - Z^*v] = 0 \quad (46)$$

fazendo que $E[Z_v] = m$ e tendo que:

$$E[Z^*v] = E\left[\sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)\right] = \sum_{i=1}^n \lambda_i E[Z(x_i)] \quad (47)$$

$$E[Z^*v] = m \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (48)$$

assim, a condição de não enviezamento Z^*v fica:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (49)$$

Como toda a estimação, a krigagem procura fazer estimações com mínima variância. A variância de estimação ou variância de krigagem é dada pela seguinte equação:

$$\sigma_F^2 = E[(Z_v - Z^*v)^2] \quad (50)$$

que desenvolvida matematicamente origina:

$$\sigma_F^2 = C(V, V) - 2 \sum_a \lambda_a C(V, v_a) + \sum_a \sum_\beta \lambda_a \lambda_\beta C(v_a, v_\beta) \quad (51)$$

onde: $C(V,V)$ é o valor médio da função covariância entre todos os pares de pontos dentro do volume V ;

$C(V,v \alpha)$ é o valor médio da função covariância entre uma amostra $v \alpha$ e todo o volume V , assim calculada para todas as amostras;

$C(v \alpha, v \beta)$ é o valor médio da função covariância entre todos os pares possíveis de amostras $v \alpha$ e $v \beta$.

O significado de cada um dos termos da equação 51 pode ser melhor entendido observando-se a Figura 34.

O objetivo da krigagem é buscar a melhor estimacão, ou seja, encontrar o conjunto de ponderadores com mínima variância de estimacão ou de krigagem. Trata-se, portanto, de encontrar o mínimo da função variância de estimacão (equação 51).

A aplicacão da krigagem depende da obtençã satisfatória de variogramas representativos da jazida, que por sua vez sã função nã só do comportamento espacial da variável em estudo, mas sobretudo, da quantidade de informacões (Yamamoto & Bettencourt, 1992).

Os procedimentos para realizar estimacão pelo método de krigagem podem ser resumidos como se segue (Brooker, 1979):

- 1) estudo estrutural para determinacão do variograma;
- 2) seleçã de amostras para serem utilizadas na avaliaçã de um bloco;
- 3) cálculo do $\bar{\gamma}$ do sistema de equaçõs de krigagem;
- 4) soluçã do sistema de equaçõs para conseguir os melhores ponderadores; e
- 5) uso destes resultados para calcular o bloco a ser estimado e variância de estimacão associada.

Segundo Yamamoto (1991), a variância de krigagem calculada pela equação 51 é independente dos valores das amostras utilizadas, dependendo tã somente da função semivariograma encontrada no depõsito. Desta forma, se a mesma disposiçã de amostras for utilizada na interpolaçã de dois pontos diferentes, as variâncias de krigagem sãõ exatamente as mesmas, independente dos teores encontrados nas amostras das vizinhanças utilizadas. Assim, a variância de krigagem mede apenas a configuraçã espacial dos dados e nã pode ser usado para medir o nível de confiabilidade de reservas, para fins de sua classificaçã.

Pelos motivos acima citados, Yamamoto (1991) propõe a utilizaçã da variância de interpolaçã. Esse parâmetro estima o erro de interpolaçã provável, em função da disposiçã espacial dos pontos de dados utilizados e da dispersã dos valores dos mesmos em relaçã ao valor interpolado. A variância de interpolaçã é calculada por:

$$\varepsilon^2 = \sum_{i=1}^n \lambda_i (T_i - T)^2 \quad (52)$$

onde : λ_i é o ponderador do i-ésimo valor;

T_i é o valor de um ponto de dado;

T é o valor interpolado;

A base para a composição de médias e variâncias dos blocos para o domínio do depósito, está fundamentada no fato de que após a lavra de todos os blocos do depósito, o teor médio lavrado, descontado dos efeitos de estimação e extensão, será igual à média dos teores dos blocos. Desta forma, a variância do depósito é igual àquela calculada como se todos os blocos apresentassem teores iguais ao teor médio do depósito. O teor médio é calculado como:

$$T_D = \sum_{i=1}^{NB} \frac{T_{Bi}}{NB} \quad (53)$$

e a variância associada como:

$$\varepsilon_D^2 = \sum_{i=1}^{NB} \frac{\varepsilon_{Bi}^2}{NB} + \sum_{i=1}^{NB} (T_{Bi} - T_D)^2 \quad (54)$$

Figura 34 - Significado dos termos da equação (51). segundo Brooker (1979).

6. DEPÓSITO DE CANOAS

6.1. LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

O Depósito de Canoas, delimitado pelos paralelos 24° 35' e 24° 50' de latitude sul e pelos meridianos 48° 55' e 49° 00' de longitude oeste, localiza-se no município de Adrianópolis, no Estado do Paraná (Figura 35).

O acesso rodoviário a área, a partir da cidade de São Paulo, pode ser feito por meio das rodovias Presidente Castelo Branco (SP-280) ou Raposo Tavares (SP-270) até Itapetininga. Daí, segue-se pela SP-127, até Capão Bonito, onde toma-se a SP-250, até Ribeira, que faz divisa com Adrianópolis, totalizando aproximadamente 380 km de estradas asfaltadas.

O acesso, a partir de Adrianópolis, se faz inicialmente pela estrada para Panela de Brejaúvas, até a localidade de Barra Grande; desta, toma-se a estrada que margeia o Ribeirão Grande até o local conhecido como Bela Vista (ou Armstrong); daí, toma-se à esquerda, a estrada para a localidade de Canoas. A área do Depósito de Canoas tem início a cerca de 5 km a sul desta.

Cerca de 10 km a sul da mina de Canoas situa-se a mina Perau e a 30 km a nordeste a usina metalúrgica de Panelas, importantes localidades na região.

6.2. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

A região apresenta um relevo acentuado, com desníveis superiores a 500 m. As drenagens encaixam-se, via de regra, em vales tipo "V" profundos, com vertentes abruptas. No depósito, as altitudes variam de aproximadamente 350 m a 620 m acima do nível do mar. As maiores altitudes são sustentadas por cristas quartzíticas, geralmente orientadas segundo NNE-SSW (Prominer, 1991a,b).

A drenagem principal da região é o Ribeirão Canoas, afluente da margem direita do Ribeirão Grande; este, corre a oeste no sentido SW-NE, juntando-se ao Rio Ribeira do Iguape na localidade de Barra Grande. O Ribeirão Canoas corta a área do depósito na porção centro-oeste no sentido SSW-NNE. O Córrego do Pinheirinho, tributário da margem direita do Rio Canoas, tem todo o seu curso inserido no depósito, correndo no sentido SE-NW (Foto 1).

Os cursos d'água são perenes na região, consistindo numa rede de drenagem densa, com farto suprimento de água em qualquer época do ano.

A vegetação original da região é Mata Atlântica, densa e exuberante, mas encontra-se quase que totalmente devastada, estando preservada em raros topos de elevações ou ao longo de poucas drenagens, de modo descontínuo. A mata foi substituída principalmente por pastagens, ocorrendo secundariamente, a agricultura de subsistência. Nas clareiras abandonadas, a vegetação

Figura 35 - Mapa de localização e vias de acesso do Depósito de Canoas.

Foto 1 - Vista geral do vale do Ribeirão Canoas, Adrianópolis (PR).

original não se recompôs, predominando uma vegetação arbustiva densa (samambaias).

A região possui um clima que se caracteriza por apresentar duas estações bem definidas. O inverno é frio, com temperaturas mínimas próximas a 0°C; no verão, quente e úmido, a temperatura chega aos 38°C. As chuvas ocorrem o ano todo, com uma maior concentração no verão.

Devido às condições climáticas da região, o manto de intemperismo é muito espesso, podendo atingir 6 m, com média em torno de 2 m. Devido às litologias predominantes, os solos argilosos são os de maior expressão (Prominer, 1991a,b). A espessa cobertura dos solos torna raros os afloramentos rochosos, geralmente restritos a cortes de estrada e aos vales, ao longo de drenagens.

6.3. GEOLOGIA REGIONAL

O Depósito de Canoas, município de Adrianópolis (PR), situa-se na região denominada Vale do Ribeira, que abrange porções dos estados de São Paulo e Paraná.

O Vale do Ribeira, segundo Campanha et al. (1987), corresponde a Faixa de Dobramentos Apiaí, sendo limitada a NW-W pelo Maciço de Guaxupé, a S-SE pelo Maciço de Joinville, a W e a SW é recoberta pelas rochas sedimentares da Bacia do Paraná, e para NE transiciona para terrenos de médio e alto grau, tornando-se difícil separar as rochas supracrustais de seu embasamento retrabalhado.

Segundo esse autor, essa faixa é caracterizada pela grande área de exposição de rochas granitóides sin a tardi-tectônicas, bem como uma densa rede de zonas de cisalhamento transcorrente, com atividade final tardi-brasiliana. A correlação entre os diversos blocos é dificultada devido aos grandes rejeitos e deformações provocadas por essas zonas de cisalhamento.

A elaboração de unidades lito-estratigráficas em terrenos pré-cambrianos complexos, como os da região, tem se mostrado muito problemática e está basicamente ligado à caracterização de uma cronologia de eventos que tenham conduzido à sua evolução. Assim, todas essas unidades devem passar por processos de revisão no que diz respeito ao posicionamento geocronológico, estratigráfico e tectônico (Chiodi Filho, 1984).

Segundo Campanha (1991), a geologia da região, numa visão ampla, é caracterizada por um conjunto de rochas supracrustais, de grau metamórfico baixo a médio, classicamente denominado de Grupo Açungui. O embasamento dessas supracrustais é constituído por um conjunto de rochas gnáissico-migmatíticas, com alguns núcleos charnockíticos maiores, e intercalações variadas de metassedimentos. Embora a grande maioria dos autores concorde com a existência deste embasamento gnáissico-migmatítico para as supra-crustais, não há acordo sobre os limites precisos destes, já que muitos descrevem passagens transicionais por metamorfismo e anatexia entre ambos.

Na distribuição geográfica das unidades adota-se os critérios seguidos por Campanha et al. (1987), apresentados na Figura 36.

As rochas tidas como mais antigas e, portanto, caracterizadas como o embasamento para a área, são denominadas como Complexo Metamórfico Apiaí-Mirim, e envolvem apenas rochas existentes a noroeste do Lineamento Lancinha-Itapeúna-Cubatão, no Estado de São Paulo. Os diversos litotipos deste complexo podem ser separados em dois conjuntos: para e ortoderivados.

O conjunto de rochas paraderivadas abrange restritas porções de área na região entre Apiaí, Itapeva e Capão Bonito, e envolve biotita gnaisses laminados a porfiroblásticos, por vezes bandados, gnaisses bandados parcialmente migmatizados, xistos diversos, mais ou menos quartzosos e feldspáticos, e quartzitos, ora mais puros, ora mais micáceos, de granulação fina a média; ocorrências mais restritas de anfibolitos também são citadas.

O conjunto de rochas ortoderivadas, que mostra maior área de exposição que o anterior envolve, basicamente, ortognaisses e granitos gnaissicos, constituindo-se principalmente nos tipos litológicos principais do Complexo Metamórfico Apiaí-Mirim. Em geral são rochas de granulação média a grossa, inequigranulares, com matriz cinza, gnaissificada, com quartzo, feldspato cinza, biotita e hornblenda, na qual se destacam megacristais de K-feldspato.

As unidades metassedimentares da área, consideradas como supracrustais, já foram admitidas dentre as mais diversas denominações estratigráficas, entretanto, aqui serão tratadas como pertencentes ao Grupo Açungui.

As diversas unidades do Grupo Açungui são a seguir descritas segundo sua disposição de sudeste para noroeste (Figura 36).

Inicialmente, ocorre uma seqüência de rochas carbonáticas, de natureza dolomítica, bordejando o Lineamento Lancinha-Itapeúna-Cubatão, em seu flanco sul, e corresponde basicamente a uma seqüência de plataforma de águas rasas e litorâneas, com alternância de pacotes carbonáticos, psamíticos e pelíticos denominada Formação Capiiru. Os mármore desta formação são predominantemente dolomíticos, maciços e silicosos, destacando-se pela presença de estromatólitos. Possivelmente, possui uma estratigrafia interna original ainda em parte preservada e mostra, localmente, relações de aloctonia, em relação ao embasamento, sendo suas seqüências basais fortemente afetadas por empurrões (Campanha et al., 1987).

A seguir, aparece a Formação Perau, que ocupa extensa faixa de direção NE, entre o Lineamento Lancinha-Itapeúna-Cubatão, a sudeste, e o Lineamento da Figueira e a Formação Iporanga, a noroeste. É composta predominantemente por metapelitos finos (ardósias, filitos, xistos) com grande número de intercalações de metabásicas e metavulcânicas. Subordinadamente ocorrem quartzitos, carbonatos, pelitos, mármore e metaconglomerados oligomíticos. Entre os diversos outros tipos de intercalações litológicas, destacam-se, como indicadores

Figura 36 - Distribuição das unidades litostratigráficas nas porções sul paulista e leste paranaense, segundo Campanha et al., 1987).

paleoambientais, pequenas formações ferríferas, camadas de metacherts e depósitos sulfetados (Campanha et al., 1987).

A Formação Iporanga ocorre numa estreita faixa acompanhando o Lineamento da Figueira, de NE para SW, sendo truncada pelo Lineamento Ribeira, só reaparecendo alguns quilômetros a sudoeste, já então numa faixa de maior largura. Caracteriza-se pela ocorrência de níveis e lentes de metabrechas e metaconglomerados polimíticos, com matriz lamítica, em meio a metapelitos predominantes. Segundo Campanha et al. (1987), a caoticidade dos depósitos, a presença de clastos de diversos tamanhos e tipos litológicos, e a matriz predominantemente argilosa, sugerem origem por corridas de lama em meio aquático.

Após esta formação ocorre uma seqüência plataformar de águas rasas, não litorâneas constituída por espessos pacotes de rochas carbonáticas e psamopelíticas, de baixo grau metamórfico, com padrão estrutural relativamente simples, cujo empilhamento estratigráfico original encontra-se ainda preservado, e situa-se entre o Lineamento Figueira, a sudeste, e as falhas Quarenta Oitava e do Espírito Santo a noroeste. Esta seqüência é denominada, segundo Campanha et al. (1987), de Subgrupo Lajeado. A noroeste desta última, aparece uma seqüência carbonática impura associada com xistos, metacherts e metavulcânicas intermediárias a básicas, consideradas em Campanha et al. (1987) como Formação Água Clara. Em contato com esta formação ocorre um conjunto orto-gnaissico, associado a migmatitos e rochas graníticas de composição granodiorítica, incluído dentro do Complexo Apiaí-Mirim (Chiodi Filho, 1984).

A noroeste do Complexo Apiaí-Mirim aparece um pacote de rochas carbonáticas intercaladas por rochas psamíticas e pelíticas, que representam uma seqüência plataformar, de águas rasas, com padrão estrutural relativamente simples, grau metamórfico baixo a incipiente, denominadas Grupo Itaiacoca (Campanha et al., 1987).

Distribuído amplamente em toda área, em forma de maciços extensos (batólitos) e corpos menores ("stocks") de tamanhos variados, ocorre o Complexo Granítico Três Córregos: sob esta designação estão englobadas rochas granitóides porfiróides, consideradas pós-tectônicas, as quais foram denominadas de Barra do Chapéu, Saival, Paiol da Telha e vários corpos menores. Este complexo é caracterizado por rochas de granulação média, textura porfiróide, com megacristais comumente de feldspato alcalino, matriz no geral granular-hipidiomórfica, com quantidades variáveis de máficos, que conferem à rocha coloração cinza, mesocrática (Almeida, 1989).

Finalmente, na área do embasamento cristalino, ao sul do Estado de São Paulo e a leste do Paraná, são reconhecidas quatro unidades interpretadas como seqüências molássicas. Apenas duas delas, o Grupo Castro e a Formação Camarinha, estão na área da Faixa de Dobramentos Apiaí; as outras duas, as formações Guaratubinha e Quatis, situam-se a sudeste do Lineamento Lancinha-Itapeúna-Cubatão. Estas unidades correspondem a pequenas bacias com seqüências sedimentares e/ou vulcano-sedimentares, não metamorfizadas ou de baixo grau metamórfico, com sedimentos imaturos e pouco deformados, cuja deformação é resultado de tectônica de basculamentos devido mais a falhas que dobramentos (Campanha et al., 1987). A deposição é condicionada pelas zonas

de cisalhamento transcorrentes existentes.

Segundo Gimenez Filho (1991), os dados geocronológicos, disponíveis para as unidades da porção sudoeste da Faixa Apiaí, tanto metassedimentares quanto ígneas ou ortoderivadas, são bastantes precários.

Tassinari et al. (1990) realizaram determinações da composição isotópica de Pb em amostras de galena e determinações das razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, em concentrados de barita e calcita de mineralizações das formações Perau e Votuverava (incluindo o Subgrupo Lajeado), e interpretaram-nas juntamente com dados da literatura. Os depósitos selecionados foram incluídos em jazimentos do tipo "Perau" (minas Perau, Água Clara, Canoas e Pretinhos) e do tipo "Panelas" (minas Rocha, Furnas, Barrinha e Tigre) e situam-se, respectivamente, na Formação Perau e na Formação Votuverava (e Subgrupo Lajeado) (Fleischer, 1976).

Os depósitos tipo Perau foram considerados menos radiogênicos, singenéticos e com idades entre 1,7 e 1,5 Ga, enquanto que os jazimentos do tipo Panelas são mais radiogênicos e formados por processos de remobilização de Pb crustal, entre 1,3 e 1,1 Ga. Estes dados são interpretados como época de deposição das seqüências litológicas (entre 1,7 e 1,5 Ga) e de atuação de um evento metamórfico entre 1,3 e 1,1 Ga. Concluindo, aqueles autores consideram que as seqüências metamórficas da Faixa de Dobramentos Apiaí foram depositadas entre 1,8 e 1,5 Ga e sofreram metamorfismo entre 1,3 e 1,0 Ga, com superimposição de um evento metamórfico, pelo menos termal, no Proterozóico Superior, em torno de 700 Ma.

Em adição às determinações radiométricas realizadas para os metassedimentos da Faixa, podem ser citados os estudos de formações estromatolíticas efetuados por Fairchild (1982) em "calcários" do Grupo Itaiacoca que sugerem, embora não comprovem, uma possível idade entre 850 e 1700 Ma para a unidade.

Os dados geocronológicos, para as rochas granitóides da área, também são escassos, entretanto existem idades K-Ar de 604 ± 14 Ma (Salamuni & Bigarella, 1967) e 510 ± 15 Ma (Cordani & Bittencourt, 1967) para amostras do Granito Três Córregos.

6.4. GEOLOGIA LOCAL

A jazida de Canoas é representada por um corpo lenticular, alongado na direção NE-SW, com dimensões aproximadas de 1km de extensão (mínima) x 150 m de largura (máxima) e 6,5 m de espessura (máxima). Aproximadamente na porção central, o corpo é interrompido por uma erosão que o divide em dois setores denominados: Canoas 1 (SW do Córrego Pinheirinho) e Canoas 2 (NE do Córrego Pinheirinho) (Figura 37).

As principais litologias presentes no depósito são: quartzitos, xistos anfibolíticos, rochas cálcio-silicáticas, anfibolitos e quartzo-mica-xistos. Ocorrem ainda pequenos diques de rocha básica, principalmente meta-diabásios (Figura 38).

Segundo Daitx & Venusso (1992), na área ocorre um pacote de rochas metavulcano sedimentares, composto pelas seguintes unidades, da base para o topo:

Unidade 1: Feldspato-biotita-xistos (FBX), com espessura superior a 160 m e mineralogia à base de quartzo-biotita-plagioclásio (K-feldspato, muscovita e hornblenda);

Unidade 2 : Quartzitos inferiores (QTZi), constituída por quartzitos, localmente micáceos e/ou feldspáticos e enriquecidos em carbonatos em seu topo; a espessura desta unidade varia entre 50 e 10 m.

Unidade 3: Biotita-anfibólio-xistos e anfibolitos inferiores (BAXi), com espessura ao redor de uma centena de metros, e composta de rochas anfibolíticas e/ou biotita-anfibólio-xistos, localmente bastante deformados e hidrotermalizados.

Unidade 4: Quartzitos superiores (QTZs), principal guia prospectivo regional, com espessura entre 25 e 30 m; é formado por quartzitos, localmente enriquecidos em sericita, tremolita e carbonato (Foto 2).

Unidade 5: Sequência metapelítico-carbonática (SPCA), encaixante dos corpos sulfetados; apresenta litotipos com tremolita, diopsídio e micas (flogopita, biotita, sericita); apresenta-se lenticularizada, com espessura máxima so redor de 20 m, junto à área mineralizada.

Unidade 6: Biotita e/ou anfibólio-xistos "magnéticos" (BAXMt), igualmente lenticularizada nas áreas mineralizadas (entre 0 e 15m); compõe-se de estratos alternados de biotita e/ou anfibólio-xistos, geralmente com magnetita, sob a forma de porfiroblastos ou leitos mineralizados bandados.

Unidade 7 : Sequência metapelítico-aluminosa (QMX), com intercalações de anfibolitos (Figura 39) e anfibólio-xistos (ANF), e cuja espessura ultrapassa a 300 m na área do depósito. É constituída quase que exclusivamente por quartzo-biotita-muscovita-xistos com porfiroblastos de granada, estauroлита e magnetita e por anfibolitos e anfibólio-xistos (Foto 3).

Estudos mineralógicos e petrológicos, em seções polidas do depósito, segundo Marchetto (1991), indicaram que:

- a pirita aparece em cristais euhedrais e subeuhedrais, sendo substituída por todos os outros sulfetos;
- a esfalerita e galena formam cristais anedrais, onde a galena substitui tanto a pirita quanto a esfalerita;
- a pirrotita parece ter cristalizado posteriormente à pirita, esfalerita e galena e aparece substituindo estes sulfetos;
- a marcassita aparece como alteração tanto da pirita quanto da pirrotita.

Assim, com base nestas relações texturais a sequência paragenética proposta é:
pirita -> esfalerita -> galena -> pirrotita -> marcassita

Esta seqüência de rochas metassedimentares apresenta metamorfismo variando de fácies xisto verde a anfibolito baixo (Marchetto, 1991).

Com base nas sondagens realizadas pela Plumbum S.A. no corpo Canoas-2, Daitx (1992) teceu algumas considerações sobre o depósito:

- o corpo mineralizado apresenta um zoneamento tipológico dos minérios ao longo da extensão da jazida;
- diminuição ou quase desaparecimento dos leitos baritíferos, predominantes na porção SW da jazida, e gradativamente menos expressivos na extensão NE do corpo;
- gradual desaparecimento dos níveis de metachert marrom (que acompanham os leitos baritíferos), os quais apresentam espessura métrica na porção SW, e alcançam poucos centímetros na extremidade NE da jazida;
- inversamente à barita e metachert, há de SW para NE um contínuo aumento na espessura e participação do minério sulfetado do tipo "infiltrado" (ou minério silicático), que corresponde a leitos milimétricos e/ou filmes de sulfetos dispostos paralelamente à foliação de (quartzo feldspato) biotita-xistos e/ou de rochas cálcio-silicáticas; e
- presença de níveis decimétricos a métricos extremamente ricos em pirita (com quartzo subordinado), na porção centro-nordeste da jazida.

Ainda segundo esse autor, as unidades litológicas na área do depósito de Canoas apresentam um caráter monótono do empilhamento estrutural em função de seu posicionamento no flanco do Antiforme Canoas.

Segundo Prominer (1991a,b), o Anticlinal Perau-Canoas apresenta eixo com direção NNE-SSW, mergulhando para NE e coincidindo aproximadamente com o vale do Ribeirão Canoas. As camadas apresentam, no seu flanco leste, mergulhos da ordem de 15 - 20 graus, enquanto que no flanco oeste os mergulhos são mais acentuados em torno de 30 graus.

Em alguns locais, principalmente nos quartzo-mica-xistos, é possível verificar a existência de dobras recumbentes assimétricas, de dimensões centimétricas, sendo observadas crenulações resultantes da intersecção da foliação plano axial destas dobras com a xistosidade, evidenciando pelo menos duas fases distintas de dobramentos (Prominer, 1991a,b).

As rochas apresentam-se intensamente fraturadas, com uma direção preferencial das estruturas NE-SW. Há evidências de falhamentos associados, porém ainda não se encontram bem delineados, principalmente devido à escassez de afloramentos e ao nível de intemperismo.

Foto 2 - Quartzito superior (QTZs), principal guia prospectivo regional.

Foto 3 - Boca da Mina de Canoas 2. Unidade mais superior do pacote das rochas encaixantes da mineralização (da base para o topo): anfibólio-biotita-xisto; intercalação de anfibolito; e mica-xisto com granada.

Figura 37 - Mapa geológico da área do Depósito de Canoas, segundo Plumbum (1992).

Figura 39 - Perfil SW-NE da Mina de Canoas 2, com destaque para o pacote de anfibolito, encaixado nos xistos e o nível magnético indicado pela presença de magnetitas, segundo Plumbum (1992).

6.5. MODELO CONCEITUAL DO DEPÓSITO

Os jazimentos de Pb do Vale do Ribeira podem ser separados em dois tipos principais de mineralizações: Pannels e Perau. O tipo Pannels caracteriza uma mineralização plumbo-argentífera filoneana, em calcários de idade pré-cambriana superior, por remobilização de um estoque metálico pré-existente devido a diferentes processos mobilizadores; o tipo Perau é uma mineralização plumbo-baritífera, com Cu subordinado, estratiforme, encaixada em seqüências vulcano-sedimentares dobradas e metamorfizadas do Pré-Cambriano Médio (Fleischer, 1976).

Daitx (1985), complementando as idéias de Fleischer (1976), considera os depósitos tipo Pannels como mineralizações epigenéticas, em corpos discordantes, com forte controle estrutural e litológico, encaixando-se em rochas carbonáticas da Formação Votuverava (Grupo Açungui). Os depósitos tipo Perau, por outro lado, caracterizam-se por apresentar mineralizações associadas a formações ferríferas e/ou corpos de barita, dispondo-se ao longo de um bem determinado horizonte litoestratigráfico, junto à porção basal da Formação Perau.

As mineralizações de Pb tipo Pannels são observadas nas minas de Pannels, Rocha, Barrinha, Furnas, Paqueiro e Aberto do Leão todas atualmente paralizadas; estes depósitos, segundo Daitx (1985), apresentam como características principais:

- minério formado quase que totalmente por galena e pirita, com altos teores de prata (1 - 3 kg Ag/t);
- corpos mineralizados (veios, lentes), em maioria, discordantes das rochas encaixantes;
- controle estrutural e litológico marcante na distribuição dos corpos de minério, sendo particulares para cada depósito.

Segundo Tassinari et al.(1990), os jazimentos do tipo Pannels apresentam composições isotópicas de Sr com valores variando de 0,710 a 0,717, sugerindo como fonte das mineralizações níveis crustais elevados relacionados, provavelmente, às rochas metassedimentares. Os valores obtidos para a composição isotópica de Pb também indicam que diversas fontes crustais formaram a solução mineralizante, possivelmente, durante processos de remobilização provocados por ação dos eventos metamórficos regionais entre 1,4 e 1,1 Ga.

Estes estudos geocronológicos vem confirmar o caráter epigenético das mineralizações tipo Pannels, ou seja, estes jazimentos formaram-se posteriormente à deposição das rochas carbonáticas, bem como, indicar que a fonte das mineralizações de Pb foi a própria seqüência metassedimentar.

Os depósitos do tipo Perau (mina do Perau, Canoas, Água Clara) ocorrem nas porções inferiores da Formação Perau, ou unidades correlacionáveis (Formação Água Clara).

Os depósitos são caracterizados por uma seqüência metassedimentar composta por uma unidade quartzítica (basal), uma unidade carbonática (rochas cálcio-silicáticas que hospedam a mineralização) e uma unidade vulcano-sedimentar (superior, composta por quartzo-mica-xistos e anfíbolitos).

O minério ocorre na forma maciça, brechada e disseminada, com predomínio de galena, pirita e esfalerita; secundariamente aparecem calcopirita, pirrotita e marcassita; a ganga é composta de barita, "metachert", calcita, dolomita e quartzo (Daitx, 1985).

As mineralizações sin-sedimentares marinhas devem possuir $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ iniciais correlatas com a composição isotópica de Sr, na água do mar, na época de deposição. Esta afirmação confirma-se nos jazimentos tipo Perau, que possuem composição isotópica inicial de Sr das rochas carbonáticas similares, a composição isotópica de Sr da água do mar no período de formação das mineralizações. Isto implica admitir uma formação singenética para os depósitos tipo Perau (Tassinari et al., 1990).

O depósito de Canoas apresenta mineralização em rochas cálcio-silicáticas, carbonático - baritíferas e em menor escala, metapelíticas, contendo proporções variáveis de sulfetos, formando minérios do tipo disseminado e maciço (raros). Segundo Daitx & Venusso (1992), o minério carbonático-baritífero apresenta, ou estrutura bandada (alternância de leitos ricos e pobres em sulfetos) ou brechada (geralmente com fragmentos de metachert); o minério cálcio-silicático é predominantemente bandado, com os sulfetos dispondo-se preferencialmente em determinados leitos, ao longo da foliação (Fotos 4 e 5).

Os principais sulfetos são galena e esfalerita; em menores proporções aparecem pirita, pirrotita e, como minerais traços, ocorrem a marcassita e calcopirita (Foto 6 e 7). O minério apresenta teor médio de 6 % Pb+Zn e 60 g/t Ag. Na capa do minério ocorrem leitos decimétricos de formação ferrífera a magnetita.

O zoneamento dos elementos no depósito não está muito claro entretanto, considerando que a mina do Perau está no mesmo horizonte estratigráfico do depósito, tem-se uma distribuição Cu -> Pb -> Zn no alinhamento Perau-Canoas sendo que, na mina do Perau, existe maior quantidade de Cu e Pb, e na mina de Canoas, quantidades semelhantes de Pb e Zn e pobre em Cu. Sondagens recentes da Plumbum S.A., na direção NE da jazida de Canoas, mostram um enriquecimento em Zn e empobrecimento de Pb.

Suas características geológicas e a posição estratigráfica permitem classificá-lo como sendo do Tipo Perau.

Existe uma ampla bibliografia a respeito dos depósitos de sulfetos maciços de metal base, principalmente devido à grande importância econômica destes depósitos, na obtenção dos metais de Pb, Zn e Cu e diversos subprodutos como a prata e o ouro.

Do ponto de vista científico, problemas relativos a caracterização e gênese destes depósitos tem atraído a atenção dos geocientistas mais que para qualquer outro tipo de depósito. Com isto, nos últimos 25 anos, muitos artigos sobre estes depósitos foram publicados.

Na tentativa de melhor entendê-los, estes depósitos tem sido classificados de diferentes maneiras: de acordo com as rochas hospedeiras da mineralização, associação dos metais base,

Foto 4 - Aspecto bandado do minério da pilha de desmonte, intercalação de níveis de metachert, barita e lâminas monominerálicas de sulfetos (gn, sph).

Foto 5 - Frente de desmonte da Mina de Canoas 2. Zona mineralizada apresenta aspecto bandado. Camadas brancas são barita e camadas mais amarronzadas são metachert. Os sulfetos estão disseminados nos níveis mais escuros.

Foto 6 - Minério da pilha de desmonte com grande concentração de galena (sulfeto cinza).

Foto 7 - Minério da pilha de desmonte. O sulfeto de cor cinza é a galena, e o de cor marrom é a esfalerita. A ganga é representada por grandes cristais de piroxênio (diopsídio) de cor verde.

formato da mineralização, características genéticas, ou ambiente tectônico.

Foram consideradas, na revisão das classificações destes depósitos, as referências tidas como mais didáticas e divulgadas, como as de Hutchinson (1973), Hutchinson (1980), Klau & Large (1980) e Dardenne (1988).

Com base nestas referências sobre os depósitos de sulfetos maciços de metal base e nas características do Depósito de Canoas, verificou-se que este depósito apresenta maiores similaridades com os depósitos sedimentares exalativos. Entretanto, deve-se ter em mente que estas classificações não apresentam severos limites, visto que diversos autores também o consideram tipo vulcanogênico distal.

Estudos realizados por Daitx et al. (1992) indicam a ocorrência de fragmentos de rochas vulcânicas (traquitos) em posição adjacente (pacote de sericita-xistos carbonosos) e sotoposta (pacote carbonático) aos corpos sulfetados. A análise química destes fragmentos confirmam o caráter altamente potássico destas rochas, e seus baixos teores em sódio e cálcio, e intermediários em sílica. Em termos de posicionamento geotectônico parecem corresponder a rochas vulcânicas intraplaca, continentais, provavelmente associadas ao rifteamento inicial da "bacia Perau". Esse evento distensivo criaria os canais para ascensão das soluções metalíferas geradoras da jazida Perau, possibilitando sua disposição no fundo marinho, bacias restritas e redutoras (definidas por pelitos tufáceos e carbonosos) em período de calma tectônica, após o principal episódio explosivo. É provável que grande parte das rochas quartzo-sericíticas, adjacentes às mineralizações, sejam rochas vulcânicas e/ou vulcanogênicas tectonicamente deformadas. O zoneamento metálico ("stockwork" de cobre na base), sobreposto por lente de sulfeto maciço (Pb), sucedida por barita (Pb-Zn) e por formação ferífera à magnetita, lembra o esquema tradicional para depósitos proximais.

Entretanto, analisando-se as principais características definidas por Large (1981) para depósitos exalativos sedimentares, e as do Depósito de Canoas, verifica-se em comum as seguintes características:

- a camada mineralizada apresenta forma tabular, com espessura máxima de 6,5 m, e dimensão de 100 m, ou seja, um depósito de pequeno porte;
- mineralogia simples dos sulfetos: pirita, galena, esfalerita e em menor quantidade calcopirita;
- a prata é obtida como sub-produto;
- a barita e "metachert" acompanham a mineralização;
- os sulfetos estratiformes são concordantes com a seqüência metassedimentar do Proterozóico Médio (1,7 - 1,6 Ga).
- o jazimento apresenta as razões isotópicas de Pb e Sr pouco radiogênicas e mais homogêneas para a mineralização.

Segundo Daitx (1992), o zoneamento mostrado pela jazida Canoas é muito semelhante com aquele descrito na literatura mundial para depósitos exalativos, representando variações nas

porções distais do(s) foco(s) exalativo(s) (zona da barita+chert) para porções mais distais próximas (minério piritoso e/ou silicoso).

Além disso, Daitx et al.(1992a) registraram a presença de um "envelope" de rochas turmalíníferas ao redor dos corpos sulfetados das jazidas de Perau e Canoas, sugerindo que o elemento boro estava presente em quantidades anômalas à época de deposição dos horizontes mineralizados. A composição química das turmalinas investigadas - composições intermediárias na série dravita a chorlita, ora mais ferrífera ora mais magnesianas - assemelha-se às quantidades de turmalinas de outros depósitos mundiais de sulfeto do tipo exalativo, sendo mais uma evidência favorável a esse modelo genético para as mineralizações investigadas.

Assim, provavelmente, a mineralização teria se formado por descargas de metais de soluções hidrotermais, durante a deposição dos sedimentos em sub-bacia, controlada por um "trend" estrutural NE-SW e com características físico-químicas adequadas à precipitação dos sulfetos associados a barita (Figura 40).

Figura 40 - Modelo Hipotético de um depósito de sulfetos sedimentar exalativo, segundo Large (1981).

7. INVENTÁRIO DOS DADOS DA PESQUISA MINERAL

A determinação da viabilidade econômica de um empreendimento mineiro é estabelecida fundamentalmente a partir da avaliação do depósito, ou seja, por meio do cálculo de suas reservas, onde procura-se a melhor estimativa de teor e tonelagem dos blocos que compõem o corpo de minério, bem como, a determinação do erro provável destas estimativas a um certo nível de confiança. A relevância dessas estimativas depende da qualidade, quantidade e distribuição das amostras e regularidade do corpo do minério.

Assim, todo o trabalho de avaliação de reservas, de um depósito mineral deve ter início com a organização dos dados levantados na pesquisa mineral - inventário mineral.

Os resultados obtidos numa avaliação de jazida devem ser confiáveis, devido ao investimento de grande magnitude necessário para implementação de uma mineração. Deste modo, a avaliação de reservas deve ser baseada em informações coerentes e de boa qualidade.

O inventário dos dados de pesquisa mineral foi realizado através da observação de alguns parâmetros, segundo Handley et al. (1987) como :

- densidade de dados : verificar se a densidade de amostras é suficiente ou não para garantir a continuidade da mineralização;
- exatidão da localização dos pontos de dados : certificar-se da posição da amostra e seu efeito no cálculo de reservas. A localização de amostras no depósito reflete-se diretamente na geometria do bloco de cubagem e conseqüentemente, nas reservas obtidas;
- técnicas de sondagem: verificar se o tipo de sondagem utilizado é adequado ou não para uma amostragem confiável;
- técnicas de amostragem: verificar como foi feita a amostragem, a preparação, e qual a quantidade analisada,
- recuperação do testemunho na zona mineralizada: verificar como foi determinada a porcentagem e com que frequência;
- densidade, peso específico ou fator tonelagem: é o dado cuja obtenção é mais difícil, especialmente em material friável ou alterado, e de maior importância, pois o erro na sua determinação reflete na mesma proporção nas reservas calculadas.
- qualidade das análises: verificar se os resultados são precisos ou imprecisos por enriquecimento ou pura aleatoriedade;
- recuperação da usina de beneficiamento: visa conhecer o fator de recuperação na planta de beneficiamento, pois nem todo metal dosado em amostras pode ser liberado por processos técnica e economicamente viáveis;

Estes dados foram coletados em relatórios internos e arquivos dos escritórios na Plumbum S.A. em Panelas de Brejaúvas (Adrianópolis - PR), bem como através de anotações e informações verbais com os funcionários da empresa ligadas diretamente as atividades de mineração (geólogos, técnicos de geologia, engenheiro químico e engenheiro de minas).

Além disso, foram realizados trabalhos de campo no Depósito de Canoas com a visita das minas de Canoas 1 (em fase final de lavra) e Canoas 2 (em início), o que permitiu a observação da geologia do depósito e acompanhamento da lavra.

Nos laboratórios de Amostragem e Análise Química verificou-se as metodologias empregadas na amostragem e análise química.

Finalmente, acompanhou-se os procedimentos realizados na usina de beneficiamento (obtenção dos concentrados de Pb e Zn) e na metalurgia (obtenção de Pb e Ag).

7.1. TRABALHOS DE PESQUISA EXECUTADOS

A descoberta do Depósito de Canoas ocorreu no período de 1979-1981, durante o detalhamento de áreas anômalas, detectadas por geoquímica de sedimentos de corrente e solos, na localidade de Canoas e região circunvizinha.

Os trabalhos de pesquisa, que culminaram na descoberta do Depósito de Canoas, constaram de levantamento topográfico, mapeamento geológico, geoquímica de sedimento de corrente e de solo, geofísica terrestre, sondagens, abertura de trincheiras e abertura de galeria de pesquisa no corpo mineral encontrado.

A seguir serão descritos rapidamente as metodologias e os resultados dos trabalhos que foram utilizados direta ou indiretamente para a avaliação das reservas do depósito.

7.1.1. LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO

Na área foram abertas picadas de topografia na direção N-S, com espaçamento de 50 m, totalizando aproximadamente 32.000 m em linhas. A partir destas picadas, levantou-se a topografia na escala 1:5.000. Em áreas restritas ao corpo mineralizado foram realizados ainda levantamentos na escala 1:1.000 que visaram o detalhamento para o mapeamento geológico, correta locação de furos de sondagem e a locação dos trabalhos posteriores.

7.1.2. MAPEAMENTO GEOLÓGICO

O mapeamento geológico foi realizado em duas etapas principais. Na primeira, executou-se uma interpretação de fotografias aéreas, na escala 1:25.000, além da integração de mapas geológicos regionais existentes. Na segunda etapa foram realizados os trabalhos de campo que visaram delimitar com precisão, as unidades litológicas reconhecidas como as mais favoráveis direta ou indiretamente à ocorrência de mineralizações na área. Para os trabalhos de campo foram utilizadas as picadas abertas para topografia, caminhamentos ao longo das drenagens e cortes de estrada. Ainda foram coletadas amostras de rocha para descrição petrológica. Utilizando esta metodologia foram confeccionados mapas geológicos na escala 1:25.000 e 1:5.000.

7.1.3. GEOQUÍMICA E GEOFÍSICA TERRESTRE

Na área foram realizados estudos de geoquímica de sedimentos de corrente e de solo (Foto 8).

Para a geoquímica de sedimentos de corrente foram coletadas amostras nos leitos dos córregos que drenam a área. O espaçamento entre as amostras foi de 250 m, em média, onde foram coletadas em média 400 g de material peneirado (- 15 mesh), resultando aproximadamente 5,5 amostras/km², que foram analisadas para Pb, Zn e Cu pela Geolab (BH). Os resultados das análises não revelaram valores verdadeiramente anômalos para Pb, Zn ou Cu (Prominer, 1991a,b).

A amostragem para a geoquímica de solo cobriu praticamente toda a área, utilizando-se uma malha de linhas transversais e eqüidistantes a aproximadamente 150 m. Coletou-se amostras a cada 50 m sobre estas linhas dando uma densidade média de 129 amostras/km². As amostras foram coletadas no início do horizonte B, a aproximadamente 0,70 m de profundidade. O peso de cada amostra foi em torno de 500 g e as amostras eram constituídas predominantemente de solo argiloso vermelho escuro. Estas amostras foram analisadas pelo Geolab (BH) e pelo laboratório da Plumbum S.A..

Através dos resultados destas análises foi possível estabelecer:

- para o Zn um "background" de 47 ppm, limiar de 270 ppm e valores acima de 646 ppm foram considerados anomalias francas;

- para o Pb foi determinado o "background" de 31 ppm, limiar de 231 ppm e valores acima de 633 ppm foram considerados anomalias francas;

- para o Cu não foram definidas anomalias que despertassem a atenção.

Assim, segundo Prominer (1991a,b), duas faixas anômalas podem ser definidas, uma com padrão NE-SW, nas proximidades do Córrego Salvador, e outra com padrão NW-SE, nas proximidades do Córrego Casa Branca.

Os trabalhos de geofísica terrestre foram executados pela CPRM, através de contrato com a Plumbum S.A..

O projeto foi dividido em duas áreas I e II, com um total de 30 km lineares sobre 17 linhas topográficas. O método aplicado foi o da Polarização Induzida (IP) no domínio da fase, que mede o ângulo de fase entre a voltagem medida no terreno e a corrente primária aplicada. Este método baseia-se no princípio de que toda onda quadrada, forma de corrente usada em IP, contém a onda fundamental e todos os seus harmônicos ímpares (1,3,5), tendo cada um deles uma amplitude

Foto 8 - Malhas de linhas de geoquímica transversais ao vale do Ribeirão Canoas.

inversamente proporcional à sua ordem. Os resultados foram apresentados sob o perfil topográfico de cada linha e na forma de pseudo-seções, onde são representados os resultados obtidos de resistividade aparente (Ohm.m), efeito frequência (%) e RPS ("Relative Phase Shift").

As anomalias encontradas, nesta campanha de geofísica terrestre, estão relacionadas aos níveis de quartzito que ocorrem abaixo da mineralização.

A avaliação geofísica captou apenas informações abaixo de 150 m de profundidade, considerando-se que até o momento não foi encontrada a mineralização abaixo de 70 m de profundidade, os resultados geofísicos apenas conduzem a inferência da continuidade do pacote de quartzitos (Prominer, 1991a,b).

7.1.4. ESCAVAÇÕES

A partir das anomalias detectadas pelos trabalhos de geoquímica, iniciou-se a abertura de trincheiras e poços para um estudo mais detalhado. Assim, procurou-se expor da melhor maneira possível as rochas para a realização de uma amostragem de canal. Devido ao profundo nível intemperizado em alguns casos não se atingiu a rocha sã.

Foram abertas aproximadamente 15 trincheiras com extensões variáveis de 25 a 135 m de comprimento, estas foram amostradas e analisadas para Pb e Zn quando atravessaram a mineralização. Através das análises, pode-se caracterizar valores anômalos para os teores de Pb e Zn. Entretanto, a experiência tem mostrado que as trincheiras escavadas dentro do halo de anomalia geoquímica em solos não são muito eficazes na detecção da mineralização propriamente dita, visto que os tais halos podem, em consequência da topografia acidentada, estar deslocados (Prominer, 1991a,b).

Terminada a fase inicial de escavações, procedeu-se a abertura de uma galeria de pesquisa que possibilitasse o estudo direto da mineralização no setor SW. Esta galeria permitiu a caracterização de estruturas, da geometria e da espessura do minério, bem como o estabelecimento de teores através de amostragem de canal ao longo da mesma, fragilidade das rochas encaixantes, e falhas geológicas que possam existir.

Finalmente, a galeria de pesquisa permitiu a retirada de volumes suficientes de minério para a caracterização tecnológica e ensaios de beneficiamento (Prominer, 1991a,b).

7.1.5. SONDAGEM

Os primeiros furos de sondagem na área do atual Depósito de Canoas datam de 1979 e estão registrados em um caderno de controle que apresenta datas, locais e análises químicas de Pb, Zn e Ag das zonas consideradas mineralizadas. Estas sondagens, devido a uma malha muito espaçada, atravessaram apenas porções marginais do depósito. Assim, estes resultados pouco expressivos na época motivaram a paralização dos trabalhos de pesquisa por acreditar-se na

inexistência de um depósito na área.

A partir de 1988, estes dados foram reestudados e incrementados. Os furos anteriores ao 29 (com exceção do 18 ao 25 que não eram na área) foram reamostrados e reanalisados. Em seguida iniciou-se uma nova campanha de sondagem - segunda fase.

Verificou-se uma grande discrepância dos dados dos furos de sondagem anteriores a 1988 e os dados apresentados na segunda fase. Como da equipe atual do Departamento de Geologia não resta ninguém que tenha participado da primeira fase de levantamentos da área de Canoas, optou-se pela utilização dos dados obtidos na segunda etapa de trabalho.

Os furos 29 a 39 foram realizados pela empresa contratada GEOSOL. Os trabalhos de sondagem do furo 40 em diante foram executados com equipamento próprio da Plumbum S.A., constando de:

- uma sonda marca Maquesonda, modelo Mach-700;
- uma sonda marca Boyles, modelo BBS1A com motor e caixa de marchas marca GM e sistema de avanço hidráulico (Foto 9);
- uma sonda marca Longyear, modelo Tristl, com motor marca Agrale;

A maioria dos furos foram iniciados com diâmetro NX passando a BX ao atingir a rocha sã, sendo utilizados barriletes do tipo duplo livre.

Devido ao baixo grau de mergulho das camadas, os furos foram verticais (com exceção do furo 5 que foi executado com inclinação de 75° para o rumo SW), sendo a profundidade média 57,2 m. O furo 28 foi o mais raso com 15 m, enquanto que o furo 83 foi o mais profundo atingindo 163,30 m. A maioria dos furos foram concluídos no pacote de quartzito superior, acima do qual está o corpo mineralizado.

Canoas 1 apresenta em seu corpo um total de 44 furos de sondagem enquanto que em Canoas 2 na primeira fase foram somente executados os furos 4 e 14, o restante dos furos (45) foram realizados na segunda fase com sondas da própria Plumbum S.A. e com intervalos amostrados de 0,5 m.

No depósito de Canoas 1 a malha é aleatória, enquanto que em Canoas 2, aproveitando-se da experiência adquirida em Canoas 1, optou-se por uma malha losangular 50 x 50 m com adensamento em determinados locais (25 x 25 m).

O total perfurado, considerando-se todos os furos foi aproximadamente 5.148,84 m, com 3.652,58 m recuperados, o que corresponde a uma recuperação de 70 %. Esta baixa recuperação deve-se ao alto grau de intemperismo nos níveis superiores e ao forte fraturamento das rochas. Entretanto, nos trechos de rocha sã a recuperação chega a 95 %.

Foto 9 - Campanha de sondagem (sonda Boyles), ao fundo boca da Mina de Canoas 2.

7.2. DESCRIÇÃO DOS FUROS DE SONDAGEM

Durante os trabalhos de campo realizados no Depósito de Canoas, foram descritos 20 furos de sondagem da área da Mina de Canoas 1 que permitissem definir o corpo mineralizado e apenas um furo de sondagem da Mina de Canoas 2 para verificar que este corpo tratava-se da continuação de Canoas 1. Para a descrição dos testemunhos dos furos de sondagem utilizou-se uma lupa binocular marca Zeiss, imã, lupa manual (10 x) e ácido clorídrico (10 %).

A descrição destes testemunhos selecionados permitiu a caracterização litoestratigráfica do Depósito de Canoas, bem como a definição da zona mineralizada através da observação de seus sulfetos disseminados (galena, esfalerita e pirita) e da ganga associada (barita, "metachert", calcita, dolomita, quartzo). A distribuição dos sulfetos e ganga ao longo do corpo é errática, ou seja, alguns furos de sondagem apresentam em seus testemunhos predominância do Zn enquanto que outros os teores são maiores para o Pb (Fotos 10, 11, 12 e 13).

Verificou-se também que a recuperação dos testemunhos na zona mineralizada é freqüentemente 95 %, ou seja, uma boa recuperação e que as rochas encaixantes apresentavam uma boa resistência mecânica.

7.3. TÉCNICAS DE AMOSTRAGEM DOS FUROS DE SONDAGEM

No Departamento de Geologia são descritos os furos de sondagem e confeccionados os seus respectivos logs pelo geólogo encarregado. Então, verifica-se quais são os intervalos macroscopicamente interessantes para a amostragem, ou seja, determina-se a zona mineralizada pela presença de sulfetos disseminados (galena, esfalerita e pirita).

Estes intervalos são marcados nas caixas de testemunhos e em seguida estes testemunhos são serrados ao meio por uma serra diamantada pelo técnico responsável. Metade retorna a caixa obedecendo sua sequência original e é armazenado num arquivo de testemunhos de sondagem (Foto 14). A outra metade, devidamente colocada em sacos plásticos etiquetados, vai para o Setor de Amostragem e em seguida para a análise química no Laboratório de Análise Química, ambos na Plumbum S.A..

No Setor de Amostragem, a amostra é britada em britador de mandíbula onde reduz-se sua granulometria a 1/4 (3/8") (Foto 15), e então colocada para secar em uma estufa a aproximadamente 180°C (Foto 16). Depois de seca a amostra é homogeneizada e enquarteada (Enquarteador de Jones), onde obtém-se aproximadamente 500 g, dependendo do volume total da amostra. Metade da amostra é arquivada e a outra continua no processo. Depois disto, a amostra vai para a moagem a granulometria < 80 # em moinho de panela (Moinho Renard), é peneirada e novamente rehomogeneizado (Foto 17). Aproximadamente 100 g são enviadas ao Laboratório de Análise Química.

Foto 10 - Anfibólio-quartzo-biotita-xisto com magnetita (rocha magnética) cortado por intrusão de rocha escura afanítica (furo FSC-39).

Foto 11 - Muscovita-quartzo-biotita-xisto com granadas de até 1 cm (furo FSC-39).

Foto 12 - Anfibolito de cor verde de textura fanerítica fina (furo FSC-39).

Foto 13 - Muscovita-biotita-quartzo-xisto com magnetita - trecho magnético (furo FSC-40).

Foto 14 - Arquivo de testemunhos de furos de sondagem da Plumbum S.A..

Foto 15 - Britador de mandíbula do setor de amostragem da Plumbum S.A..

Foto 16 - Estufa do setor de amostragem da Plumbum S.A..

Foto 17 - Moinho de Renard (setor de amostragem da Plumbum S.A).

7.4. TÉCNICAS DE ANÁLISE QUÍMICA

Com as amostras devidamente identificadas enviadas do Setor de Amostragem são realizados ensaios para determinação de Pb, Zn e Ag no Laboratório de Análise Química (Figura 41).

Para a análise de Pb e Zn pesa-se 1,0000 g de amostra. Então adiciona-se 50 ml de HNO_3 (50 % V/V) e leva-se ao aquecimento em chapa elétrica até a dissolução total. Após este ataque, esfriar e filtrar para balão volumétrico de 200 ml. Por espectrofotometria de absorção atômica são analisados os elementos químicos Pb e Zn e obtidos resultados em % ou ppm.

Segundo Trescases (1984), a espectrometria de absorção atômica é baseada na absorção, por átomos, da energia de uma radiação do elemento característico. Esta técnica analítica usa a propriedade do átomo de emissão espectral.

O fenômeno de emissão espectral é explicado pela estrutura dos átomos. Um átomo é composto de um núcleo central e de elétrons periféricos distribuídos, segundo o modelo de Bohr, em diferentes camadas ou orbitais. Na ausência de excitação externa, o átomo é dito no estado neutro ou normal. Se um aporte de energia é fornecido a esse átomo neutro, os elétrons mudam de órbitas afastando-se do núcleo: o átomo passa ao estado excitado. O estado excitado é instável e os elétrons voltam a suas órbitas iniciais, restituindo o suplemento de energia absorvida. Esta liberação de energia se dá sob a forma de radiação eletromagnética (linha espectral) de frequência proporcional à quantidade de energia absorvida/liberada. A raia que corresponde à transmissão eletrônica voltando ao nível mais baixo de energia (elétron neutro) é chamada de raia de ressonância.

Basicamente, um aparelho de absorção atômica é composto de quatro partes principais. As radiações de ressonância são produzidas em lâmpadas de cátodo oco (fonte de emissão). O feixe energético paralelo emitido atravessa a amostra solubilizada e nebulizada na chama de um queimador alimentado por gases carburantes e comburentes (dispositivo de atomização). A radiação de ressonância, parcialmente absorvida, é isolada por um monocromador (prisma), e finalmente um dispositivo eletrônico recebe a radiação transmitida e compara as intensidades inicial e final. Depois de amplificado, o sinal elétrico é lido ou registrado graficamente (Trescases, 1984).

Para a Ag, utiliza-se o método "fire-assay". O processo de análise inicia-se com o peso de 25 g da amostra em cadinho de argila. A esta amostra são adicionados os seguintes fundentes: 60 g de NaCO_3 ; 60 g PbO ; 25 g SiO_2 ; 35 g borax; e 3 g de farinha de trigo. Esta mistura é homogeneizada e levada à fusão a temperatura de 1050 °C por 45 minutos.

Após a fusão da amostra, vaza-se em coquilha de ferro para separar escória do botão de Pb contendo Ag. O botão de Pb é copelado a temperatura de 850 - 900 °C, onde 95 % PbO é absorvido pela copela e 5 % volatiliza-se, ficando sobre a copela minúsculo botão de prata. O botão de Ag é limpo e pesado.

Para calcular o teor de Ag, é necessário uma correção em relação do teor de Ag contido em 60 g de PbO. Portanto, o cálculo de Ag é:

$$\% Ag = \left(\frac{PAg - PAg(PbO)}{P.A.} \right) * 100 \quad (55)$$

onde : %Ag é a porcentagem de prata;
 PAg é o peso de prata ;
 PbO é o peso de óxido de chumbo;
 P.A. é o peso atômico da prata.

Segundo a engenheira química responsável do laboratório, não são realizados intercâmbios com outros laboratórios para verificar a exatidão das análises por considerar este tipo de intercâmbio muito difícil. O laboratório também não realiza sistema de duplicatas para verificar a reprodutividade dos resultados, entretanto com a implantação pela empresa do Sistema de Qualidade Total, esta prática será adotada nos próximos meses.

7.5. DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DO MINÉRIO

A densidade (d) é um número que expressa a razão entre o peso da substância e o peso de um volume igual de água a 4°C. Assim, a densidade é função de como os componentes desta substância estão arrançados entre si (Klein & Hurlbert Jr., 1985).

O minério do Depósito de Canoas, através da observação dos furos de sondagem e da galeria de pesquisa, apresenta-se compacto, não poroso, sem cavidades, ou seja, é um minério homogêneo.

Por estas características, a densidade do minério do Depósito de Canoas pode ser facilmente determinada e é considerada constante para todo o depósito.

A determinação da densidade do minério é feita através de um ensaio simples. Inicialmente, pesa-se o bloco de minério no ar (W_a), depois introduz-se o bloco de minério num recipiente com água e pesa-se novamente (W_w), nestas condições o peso é menor porque transborda água por uma força equivalente ao peso de água substituído. Então, $W_a - W_w =$ peso perdido aparente da água ou peso de um volume igual de água. Assim, $d = W_a / (W_a - W_w)$ (56).

O minério do Depósito de Canoas apresenta densidade 3.15 t/m³.

A determinação da densidade do minério no Depósito de Canoas é realizado esporadicamente, entretanto com a implantação do Sistema de Qualidade Total na Plumbum S.A., o engenheiro de minas responsável pretende fazer este tipo de caracterização mensalmente.

7.6. CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DO MINÉRIO

Através de uma precisa caracterização tecnológica do minério é possível obter-se subsídios e orientações para os procedimentos a serem adotados na concentração mineral. Para caracterização do minério de Canoas foram coletadas amostras de canaletas nas paredes da galeria de pesquisa realizada no depósito mineral. Estas amostras, devidamente preparadas, foram submetidas aos processos normais de caracterização tecnológica: análises químicas; análises granulométricas; análises químicas das frações granulométricas; análises mineralógicas; determinação do grau e malhas de liberação dos minerais úteis.

Estas determinações, segundo Leite (1990), permitiram concluir que :

- o minério analisado apresentou 10,5 % S, 6 % Pb+Zn e 60 g/t de prata;
- o minério é essencialmente constituído por barita e ganga leve (anfíbólio, talco, clorita, mica, calcita, dolomita e quartzo). O mineral de chumbo é a galena e de zinco é a esfalerita;
- o grau de liberação da ordem de 90 % para a galena e esfalerita é obtido no material acumulado abaixo de 65 malhas Tyler (0,210 mm);
- não foi detectado nenhum mineral típico de prata. No entanto, verifica-se que a tendência geral da prata é acompanhar preferencialmente o chumbo.

Esta caracterização tecnológica foi realizada pela Paulo Abib Engenharia S/A.

7.7. ENSAIOS DE BENEFICIAMENTO

A partir das informações obtidas pela caracterização tecnológica do minério, verificou-se que o processo mais indicado para a separação dos minerais de chumbo e zinco entre si e dos minerais de ganga é a flotação diferencial e seletiva (Leite, 1990), que consiste em:

- cominuição até a liberação mineral necessária;
- separação por flotação diferencial, baseada nas diferentes propriedades hidrofóbicas e hidrofílicas minerais criadas e/ou realçadas por reagentes de ação seletiva, que possibilitam a aderência do mineral a separar em uma corrente ascendente de bolhas da polpa que segue o fluxo da corrente em direção horizontal (Foto 18);
- separação sólido/líquido dos concentrados obtidos (Foto 19);
- deposição de rejeitos em bacia de decantação (Foto 20)

Assim, a planta de concentração utilizando o processo de flotação seletiva apresenta dois circuitos em série, um para concentração do Pb e outro para o Zn.

7.8. PROCESSO DE LAVRA DO MINÉRIO

Os corpos mineralizados de Canoas 1 e Canoas 2 foram delimitados através dos furos de sondagem, poços e trincheiras determinou-se o plano de lavra.

Como se tratavam de corpos quase horizontais com eixo principal de direção N 60° E com mergulho preferencial da camada para N (variável de 1° até 21°) e teores baixos de Pb e Zn, optou-se pelo método de lavra subterrânea por câmaras e pilares inclinados. Somente foi extraída a zona mineralizada, pois qualquer retirada de estéril inviabilizaria a lavra economicamente.

As galerias tiveram avanços (1,5 m) deixando no teto a camada estéril enquanto que a camada mineralizada que por ventura existir no piso será abatida na fase final da mina, ou seja,

Foto 18 - Processo de flotação seletiva com dois circuitos em série (à direita - Zn, à esquerda - Pb).

Foto 19 - Concentrado de Pb obtido do beneficiamento do minério de Canoas.

Foto 20 -Bacia de decantação. Ao fundo observa-se uma área recuperada com o plantio de gramíneas.

após os desmontes a fim de que o piso também fique em camada estéril.

Foram deixados pilares de sustentação cujas dimensões e espaçamento em função da resistência das rochas encaixantes. A recuperação da lavra foi de 85 % (Fotos 21 e 22).

A lavra propriamente dita inicia-se com a furação da frente de desmonte para colocação dos explosivos, explosão, tempo de ventilação para renovação do ar no interior da mina (grande quantidade de gases nocivos devido aos explosivos), remoção de pedras fraturadas que não caíram com a explosão, retirada do minério com pá carregadeira, e finalmente transporte por caminhão a usina de concentração em Painéis de Brejaúvas.

A Mina de Canoas 2 está atualmente em lavra, enquanto que a Mina de Canoas 1 já foi inteiramente lavrada.

Segundo o engenheiro de minas responsável, na lavra em Canoas 1, não foram executados ensaios geomecânicos, o desenvolvimento de galerias foi realizado com base em pesquisa bibliográfica (casos semelhantes) e experiência profissional. Já em Canoas 2, pretende-se utilizar a experiência adquirida em Canoas 1 e ainda realizar ensaios geomecânicos.

7.9. ANÁLISE DOS DADOS INVENTARIADOS

A partir da revisão das características geológicas regionais, da observação da geologia local, e do levantamento do inventário de dados da pesquisa mineral do Depósito de Canoas, foi possível estabelecer um modelo conceitual do depósito, ou seja, caracterizar sua configuração geométrica, o padrão de distribuição dos teores de Pb e Zn, a espessura da camada mineralizada, bem como a possível gênese para a mineralização.

Além disso, verificou-se a metodologia e exatidão na obtenção dos dados, como: densidade de informações; localização dos furos de sondagem; amostragem; análise química; densidade do minério; e recuperação no beneficiamento.

Resumidamente, pode-se citar como principais dados levantados sobre o Depósito de Canoas:

(1) a mineralização é representada por um corpo lenticular alongado na direção NE-SW, com dimensões aproximadas de 1 km (extensão mínima) x 150 m (largura) e 6,75 m de espessura máxima;

(2) as principais litologias presentes no depósito são da base para o topo: quartzito inferior; anfíbólio-quartzo-xisto; quartzito superior; rochas cálcio-silicáticas; muscovita-quartzo-biotita-xisto; anfíbolitos; e diques de rochas básicas;

(3) a mineralização é estratiforme e ocorre na forma de disseminações de sulfetos (galena, esfalerita) nas rochas cálcio-silicáticas (Formação Perau). A ganga associada é metachert, barita, quartzo, calcita e dolomita;

Foto 21 - Vista geral da boca da Mina de Canoas 2.

Foto 22 - Pilares de sustentação deixados no interior da Mina de Canoas 1 pelo método de lavra subterrânea por câmaras e pilares.

- (4) o minério apresenta teor médio de 6 % Pb+Zn e 60 g/t Ag;
- (5) possivelmente este depósito é do tipo sedimentar exalativo;
- (6) os furos de sondagem apresentaram exatidão na sua localização graças ao levantamento topográfico executado à escala 1:5000 e em área restritas ao corpo mineralizado à escala 1:1000;
- (7) a recuperação dos testemunhos dos furos de sondagem na zona mineralizada é freqüentemente 95 %;
- (8) a densidade do minério é facilmente determinado pois este não é friável ($d = 3,15 \text{ t/m}^3$);
- (9) a técnica de sondagem é rotativa a diamante realizada com equipamento próprio da Plumbum por técnicos especializados;
- (10) a técnica de amostragem dos testemunhos é executada seguindo uma metodologia precisa;
- (11) análise química: metodologia é seguida corretamente, entretanto, a sua qualidade é discutível, visto que não são realizados procedimentos para verificação de sua exatidão (intercâmbios com outros laboratórios) e reprodutividade (sistema de duplicatas); entretanto, o controle realizado através da análise química do material beneficiado comprova a validade das análises químicas realizadas;
- (12) recuperação na usina de beneficiamento é boa, Pb - 80 % e Zn - 75 %;
- (13) a densidade dos dados é suficiente para garantir a continuidade da mineralização, ou seja, as malhas de sondagem em Canoas 1 e 2 possibilitam uma boa definição dos limites do corpo mineralizado. Assim, este adensamento de dados é suficiente para a avaliação de reservas dos depósitos.

8. ANÁLISE DOS DADOS DA MINA DE CANOAS 2

Com base no inventário dos dados da pesquisa feito no Depósito de Canoas verifica-se que Canoas 2 apresenta em seu corpo um total de 47 furos de sondagem rotativa a diamante, orientados na direção NE-SW conforme o mapa de localização dos furos de sondagem (Figura 42). Estes 47 furos de sondagem foram descritos macroscopicamente e os intervalos considerados potenciais foram analisados quimicamente, totalizando 404 amostras analisadas para chumbo, zinco e prata. (Anexo 1)

8.1. DEFINIÇÃO DA ÁREA DE INTERESSE

Dos 47 furos de sondagem citados acima, 8 furos (fsc- 77, 83, 85, 93, 94, 95, 96, 97) estão fora dos limites do depósito e correspondem ao início de nova fase de pesquisa para verificação da continuidade da mineralização. Os furos fsc-4, 14, 66, 68, 72, 82 foram considerados estéreis já na descrição macroscópica dos testemunhos; 6 furos (fsc-49, 55, 67, 70, 87, 91) analisados quimicamente apresentaram-se estéreis ($Pb+Zn < 5\%$). Assim, somente 27 furos foram considerados positivos (fsc- 51, 53, 54, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 73, 75, 76, 78, 79, 80, 81, 84, 86, 88, 89, 90, 92, 98), ou seja, as análises químicas dos trechos mineralizados apresentaram teor $Pb+Zn \geq 5\%$ (Figura 42).

A execução destas sondagens permitiu determinar o comportamento do corpo mineralizado. Entretanto, para fins de avaliação de reservas torna-se necessário delimitar uma área de interesse, dentro da qual se possa fazer as estimativas necessárias com segurança, principalmente quanto à continuidade da mineralização (Yamamoto, 1991).

A área de interesse foi delimitada pela fronteira entre os furos positivos e negativos. Assim, a análise dos dados e avaliação de reservas será realizada com base nos 27 furos de sondagem positivos, citados acima.

Os teores médios de chumbo, zinco e prata ponderados pela espessura dos furos eliminados indicam o baixo conteúdo metálico bem como os limites da zona mineralizada (Tabela 1).

Tabela 1 - Teores médios dos furos fora da área de interesse.

FUROS	TEORES		MÉDIOS
	Pb(%)	Zn(%)	Pb+Zn(%)
49	1,40	2,62	4,02
55	1,51	1,55	3,06
67	2,03	1,43	3,46
70	1,94	2,52	4,46
87	1,64	1,47	3,11
91	0,07	0,04	0,11

Figura 42 - Mapa de localização dos furos de sondagem da Mina de Canoas 2 e definição da área de interesse.

3.2. COMPOSIÇÃO DE AMOSTRAS DE FUROS DE SONDAGEM

Na composição de amostras de furos de sondagem utilizou-se a composição por litologia.

Como o depósito de Canoas é do tipo estratiforme e a sua lavra realizada pelo método de câmaras e pilares, ou seja, só é lavrada a zona mineralizada procedeu-se a composição de amostras de furos de sondagem através do tipo litológico com a composição das amostras do furo somente na zona mineralizada ($Pb+Zn \geq 5\%$). Além disso, os resultados obtidos por esta composição foram utilizados para os cálculos envolvidos nos métodos clássicos, com a finalidade de redução de dados e principalmente porque os métodos clássicos necessitam de fatores médios para cálculos de áreas e teores.

Os 27 furos de sondagem, considerados potenciais, apresentam regularidade na amostragem, ou seja, intervalos amostrados de 0,5 em 0,5 m. As únicas exceções encontradas foram nos furos fsc- 56, 80, 88 e 89 que apresentaram alguns intervalos de amostragem de 0,3, 0,4 e 0,6 m.

Esta composição é obtida pela ponderação do teor pela espessura (equação 2) e pretende diminuir um erro de extensão ou de estimativa.

Para ilustração deste procedimento reproduz-se na Figura 43 o furo fsc-76, com os respectivos teores obtidos na sondagem e, ao lado, os cálculos envolvidos, além do teor médio composto. A Tabela 2 apresenta todos os teores compostos de chumbo, zinco expresso em porcentagem e prata em g/ton.

Tabela 2 - Teores médios compostos para teor de corte Pb+Zn $\geq$ 5%.

FUROS	TEORES MÉDIOS		
	Pb(%)	Zn(%)	Ag(g/ton)
51	7,45	6,39	26,30
53	5,18	5,59	50,50
54	3,02	3,24	54,45
56	3,21	2,65	47,44
57	3,31	4,66	73,00
58	2,86	3,16	54,15
59	3,34	2,71	42,14
60	4,03	4,28	64,87
61	2,46	3,33	49,15
62	2,81	2,90	36,43
63	3,83	4,36	44,33
64	3,40	3,75	40,50
65	3,07	3,73	53,60
73	3,43	3,75	78,00
75	3,51	4,59	55,50
76	4,89	4,20	66,92
78	2,67	2,44	37,87
79	4,51	2,70	58,00
80	0,85	5,43	46,00
81	3,19	3,27	42,56
84	3,32	3,34	27,50
86	3,93	4,61	61,38
88	5,10	5,83	13,00
89	2,59	4,66	53,83
90	3,82	2,14	43,68
92	4,81	4,39	47,00
98	1,67	6,47	53,00

8.3. ANÁLISE EXPLORATÓRIA

A análise exploratória foi aplicada ao conjunto de dados originais, ou seja, não compostos, referentes aos 27 furos de sondagem pertencentes a área de interesse da Mina de Canoas 2.

A representação através do ramo e folhas para os elementos Pb, Zn e Ag é apresentado nas Tabelas 3, 4 e 5, respectivamente.

A análise do ramo e folhas indica que para:

Chumbo

- um valor destacado (14,0);
- outros valores destacados são 9,2 e 10,1;
- os valores estão concentrados entre 0 e 7;
- um valor típico para esse conjunto de dados poderia ser 2, ou seja, 2%;
- existe uma ssimetria em direção a valores grandes.

Zinco

- valores concentrados entre 0 e 5;
- valor mais ou menos típico para esse conjunto de dados poderia ser 2, isto é, 2%;
- leve assimetria em direção a valores grandes.

Prata

- valor típico é aproximadamente 4, isto é, 40 ppm;
- distribuição simétrica, com destaque para os valores baixos 8 e 9.

Tabela 3 - Representação de ramo e folhas para o elemento Pb da Mina de Canoas 2 em %.

0	3 4 4 5 5 5 5 6 6 7 7 8 8 8
1	0 0 0 1 2 2 3 3 3 4 5 6 6 6 6 6 7 7 8 8 8 8 9
2	0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 3 4 4 4 4 4 5 6 6 6 7 7 7 7 8 8 8 8 8 9 9
3	0 0 0 2 2 2 3 3 3 3 3 4 5 6 6 7 7 7 8 8 8 9 9
4	0 1 1 1 1 1 2 2 3 3 3 4 4 5 7 7 8 8 9
5	0 0 0 1 1 1 2 3 5 6 6 7 8 8 8
6	2 3 3 4 5 6 6 8
7	0 3 5 6 7
8	
9	2
10	1
11	
12	
13	
14	0

Tabela 4 - Representação de ramo e folhas para o elemento Zn da Mina de Canoas 2. em %.

0	0 3 4 5 5 7 7 7 7 7 7 8 8 9
1	1 1 1 1 2 2 2 2 2 3 3 3 4 4 4 5 5 5 5 7 7 8 8 8 9 9
2	0 0 1 1 2 2 3 4 4 4 5 6 6 6 6 7 7 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9
3	0 0 0 1 2 2 3 3 3 3 4 4 4 4 5 5 6 7 7 7 7 8 9
4	1 2 2 3 3 3 4 4 5 5 6 6 6 6 7 7 8 9 9
5	1 2 2 2 4 5 6 6 6 7 7 7 7 8 8 8
6	1 3 4 4 4 7 7
7	0 2 2 3 6 7 8
8	5 5
9	0 1 4 9

Tabela 5 - Representação de ramo e folhas para o elemento Ag da Mina de Canoas 2 em ppm.

0	8 9
1	0 0 0 1 1 1 1 2 3 3 3 3 4 4 5 6 6 7 7 7 7
2	0 1 4 4 4 5 5 5 6 7 9 9 9
3	1 1 1 1 1 1 2 2 3 4 4 5 6 6 7 9
4	0 1 2 3 3 3 4 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 7 7 8 8 9 9 9
5	0 1 3 3 3 3 4 5 5 5 6 6 7 7 8 8 9
6	0 2 3 4 4 5 5 5 5 6 7 8 9 9 9 9 9
7	1 2 2 2 3 3 3 4 5 7 7 8 9
8	1 2 2 3 3 4 5 8 9 9
9	0 1 2 4 4 4 5 6 6 7 9

Os desenhos esquemáticos para Pb, Zn e Ag deste conjunto de dados são apresentados nas Figuras 44, 45 e 46 e parâmetros estatísticos calculados na Tabela 6. Esses dados serão discutidos em conjunto com a análise estatística dos dados.

Tabela 6 - Parâmetros estatísticos de Pb, Zn e Ag para a área de interesse da Mina de Canoas 2.

Parâmetros Estatísticos	Chumbo	Zinco	Prata
Valor mínimo	0,37	0,044	8,00
1 ^o quartil	1,878	1,855	29,50
2 ^o quartil - mediana	3,030	3,280	48,00
3 ^o quartil	4,497	4,955	69,00
Valor máximo	14,020	9,970	99,00
Média	3,43	3,62	49,68

8.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS ORIGINAIS E COMPOSTOS

A fim de conhecer as distribuições dos teores de chumbo, zinco e prata, bem como suas características estatísticas, procedeu-se à análise estatística dos dados originais e compostos. Além disso, analisou-se o tipo de comportamento produzido após a composição por litologia no conjunto de dados.

8.4.1. CHUMBO

Os parâmetros estatísticos para o conjunto de dados originais calculados para os teores de chumbo e seus logaritmos encontram-se na Tabela 7, a distribuição de frequências dos teores na Tabela 8.

Tabela 7 - Parâmetros estatísticos da distribuição de chumbo no conjunto de dados originais.

Parâmetros Estatísticos	Normal	Lognormal
Média	3,44	1,38
Variância	4,60	0,23
Desvio Padrão	2,14	0,48
Assimetria	0,01	-0,001
Curtose	0,04	0,02
Coefficiente de variação	0,62	0,35
Número de amostras	145	145

Tabela 8 - Distribuição de frequências dos teores de chumbo nos dados originais.

Classes	F. Num.	F. Porc.	F. Acu.
0.00 - 1.50	24	16,55	16,55
1.50 - 3.00	48	33,10	49,66
3.00 - 4.50	36	24,83	74,48
4.50 - 6.00	21	14,48	88,97
6.00 - 7.50	10	6,90	95,86
7.50 - 9.00	3	2,07	97,93
9.00 - 10.50	2	1,38	99,31
10.50 - 12.00	0	0,00	99,31
12.00 - 13.50	0	0,00	99,31
13.50 - 15.00	1	0,69	100,00

As representações gráficas das distribuições de freqüências obtidas encontram-se na Figura 44.

Figura 44 - Histogramas das distribuições de freqüências dos teores de chumbo (a) e seus logaritmos (b) do conjunto de dados originais; curvas acumulativas em escala de probabilidade aritmética da distribuição de teores de chumbo (c) e seus logaritmos (d) para o conjunto de dados originais. O desenho esquemático do Pb é representado em (e) (Pontos cheios - pontos soltos; pontos vazios - pontos externos; X - média; 1^o traço horizontal - 1^o quartil; 2^o traço horizontal - 2^o quartil(mediana); 3^o traço horizontal - 3^o quartil).

Analisando-se os parâmetros estatísticos e a distribuição de frequências dos teores de chumbo para o conjunto de dados originais, verifica-se que esta tende a lognormal, com média igual a 3,44 e variância 4,60. O coeficiente de variação (0,62) indica alta dispersão dos valores. A caracterização desta distribuição como assimétrica baseou-se principalmente, na forma da curva do histograma (Figura 44a), bem como na transformação logarítmica dos teores de chumbo que a tornou simétrica. A análise do Desenho Esquemático (DE) do Pb indica que existem pontos soltos e externos, que assim como no ramo e folhas, tornam a distribuição assimétrica para valores altos.

Os parâmetros estatísticos para os teores de chumbo compostos por litologia estão apresentados na Tabela 9; a distribuição de frequências para os teores compostos na Tabela 10; o histograma na Figura 45; e a curva acumulativa na Figura 46.

Comparando-se os resultados da Tabela 7 com os da Tabela 9, verifica-se que a composição das amostras por litologia introduziu uma normalização dos dados, através da diminuição da variância e coeficiente de variação, com praticamente a mesma média.

Tabela 9 - Parâmetros estatísticos da distribuição de chumbo no conjunto de dados compostos.

Parâmetros Estatísticos	Normal	Lognormal
Média	3,57	1,48
Variância	1,57	0,08
Desvio Padrão	1,25	0,28
Assimetria	0,03	-0,02
Curtose	0,18	0,17
Coeficiente de variação	0,35	0,19
Número de amostras	27	27

Tabela 10 - Distribuição de frequências dos teores de chumbo para os dados compostos.

Classes	F.Num.	F.Porc.	F.Acu
0.00 - 1.50	1	3,70	3,70
1.50 - 3.00	6	22,22	25,93
3.00 - 4.50	14	51,85	77,78
4.50 - 6.00	5	18,52	96,30
6.00 - 7.50	1	3,70	100,00
7.50 - 9.00	0	0,00	100,00
9.00 - 10.50	0	0,00	100,00
10.50 - 12.00	0	0,00	100,00
12.00 - 13.50	0	0,00	100,00
13.50 - 15.00	0	0,00	100,00

Os parâmetros estatísticos da Tabela 9 indicam uma distribuição simétrica com média=3,57 e variância = 1,57. O coeficiente de variação é 0,35, mostrando uma pequena dispersão dos valores.

Comparando-se os histogramas da Figura 44a e 45a, verifica-se que a composição de amostras produziu uma distribuição mais simétrica, bem como a curva acumulativa dos teores de chumbo compostos (Figura 45b) definiram uma reta mais precisa que a Figura 44c.

A composição dos dados por litologia não causa grandes modificações nas distribuições de frequências de dados, indicando que esses dados são confiáveis para fins de avaliação de reservas. Segundo Yamamoto (1991), se a composição de amostras tivesse produzido uma suavização grande, as reservas avaliadas com base nestes dados não seriam confiáveis.

Figura 45 - Histograma das distribuições de freqüências dos teores de chumbo (a) e curva acumulativa em escala de probabilidade aritmética da distribuição de teores de chumbo ambos para o conjunto de dados compostos (b).

8.4.2. ZINCO

Repetindo-se o mesmo procedimento para os teores de zinco originais, obteve-se os parâmetros estatísticos listados na Tabela 11; a distribuição de freqüência dos teores de zinco na Tabela 12; os histograma e as curvas acumulativas na Figura 46.

Tabela 11 - Parâmetros estatísticos da distribuição de zinco no conjunto de dados originais.

Parâmetros Estatísticos	Normal	Lognormal
Média	3,62	1,41
Variância	4,80	0,25
Desvio Padrão	2,21	0,50
Assimetria	0,005	-0,002
Curtose	0,02	0,02
Coefficiente de variação	0,61	0,36
Número de amostras	145	145

Tabela 12 - Distribuição de freqüências dos teores de zinco para os dados originais.

Classes	F. Num.	F. Porc.	F. Acu
0.00 - 1.00	14	9,66	9,66
1.00 - 2.00	26	17,93	27,59
2.00 - 3.00	27	18,62	46,21
3.00 - 4.00	23	15,86	62,07
4.00 - 5.00	19	13,10	75,17
5.00 - 6.00	16	11,03	86,21
6.00 - 7.00	7	4,83	91,03
7.00 - 8.00	7	4,83	95,86
8.00 - 9.00	2	1,38	97,40
9.00 - 10.00	4	2,76	100,00

Figura 46 - Histogramas das distribuições de freqüências dos teores de zinco (a) e seus logaritmos (b) do conjunto de dados originais; curvas acumulativas em escala de probabilidade aritmética da distribuição de teores de zinco (c) e seus logaritmos (d) para o conjunto de dados originais. O desenho esquemático do Zn é representado em (e) (Pontos cheios - pontos soltos; pontos vazios - pontos externos; $\bar{X}$ - média; 1^o traço horizontal - 1^o quartil; 2^o traço horizontal - 2^o quartil(mediana); 3^o traço horizontal - 3^o quartil).

Do mesmo modo que o chumbo, o zinco apresenta características de distribuição de frequência aproximadamente lognormal. Sua média é 3,62, variância 4,89 e coeficiente de variação igual a 0,61. O histograma da distribuição de frequências dos teores de zinco apresenta assimetria positiva, enquanto que sua curva acumulativa em escala logarítmica aproxima-se de uma reta, e o DE do Zn apresenta comportamento levemente assimétrico, para valores altos indicados pelos pontos externos e um ponto solto.

Os parâmetros estatísticos para os teores de zinco compostos por litologia estão listados na Tabela 13; a distribuição de frequências para os teores compostos na Tabela 14, e o histograma e curva acumulativa apresentados na Figura 47.

Verifica-se que a média foi ligeiramente alterada de 3,62 para 4,02 (11%), enquanto que a variância caiu de 4,89 para 1,41, devido a suavização introduzida pela composição de amostras por litologia. Como a média composta é cerca de 11% maior que a média dos dados originais, mas com variância bem menor, a composição foi considerada satisfatória para fins do presente estudo.

Tabela 13 - Parâmetros estatísticos da distribuição de zinco no conjunto de dados compostos.

Parâmetros Estatísticos	Normal	Lognormal
Média	4,02	1,58
Variância	1,41	0,06
Desvio Padrão	1,19	0,23
Assimetria	0,02	0,002
Curtose	0,08	0,07
Coeficiente de variação	0,29	0,15
Número de amostras	27	27

Tabela 14- Distribuição de frequências dos teores de zinco para os dados compostos.

Classes	F.Num.	F.Porc.	F.Acu
0.00 - 1.00	0	0,00	0,00
1.00 - 2.00	0	0,00	0,00
2.00 - 3.00	6	22,22	22,22
3.00 - 4.00	8	29,63	51,85
4.00 - 5.00	8	29,63	81,48
5.00 - 6.00	3	11,11	92,59
6.00 - 7.00	2	7,14	100,00
7.00 - 8.00	0	0,00	100,00
8.00 - 9.00	0	0,00	100,00
9.00 - 10.00	0	0,00	100,00

8.4.3. PRATA

Repetindo o processamento para os teores de prata dos dados originais, obteve-se os parâmetros estatísticos listados na Tabela 15; as distribuições de frequências dos teores de prata na Tabela 16, e suas representações gráficas no histograma da Figura 45 e curva acumulativa da Figura 46.

Verifica-se que a distribuição dos teores de prata é normal com média = 49,68, variância = 630,88 e coeficiente de variação = 0,50. O histograma da distribuição de frequências dos teores

de prata tem forma característica de sino achatado, enquanto que sua curva acumulativa em escala de probabilidade aritmética aproxima-se de uma reta, que seria a representação de uma distribuição normal e seu DE apresenta comportamento simétrico sem a presença de pontos externos ou soltos.

Figura 47 - Histograma das distribuições de freqüências dos teores de zinco (a) e curva acumulativa em escala de probabilidade aritmética da distribuição de teores de zinco ambos para o conjunto de dados compostos (b).

Tabela 15 - Parâmetros estatísticos da distribuição de prata no conjunto de dados originais.

Parâmetros Estatísticos	Normal	Lognormal
Média	49,68	3,77
Variância	630,88	0,38
Desvio Padrão	25,12	0,32
Assimetria	0,00	-0,005
Curtose	0,01	0,02
Coefficiente de variação	0,51	0,16
Número de amostras	145	145

Tabela 16 - Distribuição de freqüências dos teores de prata para os dados originais.

Classes	F.Num.	F.Porc.	F.Acu
0.00 - 10.00	2	1,38	1,38
10.00 - 20.00	21	14,48	15,86
20.00 - 30.00	13	8,97	24,83
30.00 - 40.00	16	11,03	35,86
40.00 - 50.00	25	17,24	53,10
50.00 - 60.00	17	11,72	64,83
60.00 - 70.00	17	11,72	76,55
70.00 - 80.00	13	8,97	85,52
80.00 - 90.00	10	6,90	92,41
90.00 - 100.00	11	7,59	100,00

Figura 48 - Histograma das distribuições de frequências dos teores de prata (a); curva acumulativa em escala de probabilidade aritmética da distribuição de teores de prata (b) para o conjunto de dados originais. O desenho esquemático da Ag é representado em (c) (Pontos cheios - pontos soltos; pontos vazios - pontos externos; $\bar{x}$ - média; 1^o traço horizontal - 1^o quartil; 2^o traço horizontal - 2^o quartil (mediana); 3^o traço horizontal - 3^o quartil).

Os parâmetros estatísticos para os teores de prata compostos por litologia são apresentados na Tabela 17; as distribuições de frequências para os teores compostos e seus logaritmos nas Tabelas 18; o histograma e a curva acumulativa na Figura 49.

Tabela 17 - Parâmetros estatísticos da distribuição de prata no conjunto de dados compostos.

Parâmetros Estatísticos	Normal	Lognormal
Média	48,74	3,86
Variância	188,48	0,12
Desvio Padrão	13,73	0,34
Assimetria	-0,02	-0,06
Curtose	0,12	0,24
Coefficiente de variação	0,28	0,09
Número de amostras	27	27

Tabela 18 - Distribuição de frequências dos teores de prata para os dados compostos.

Classes	F.Num.	F.Porc.	F.Acu
0.00 - 10.00	0	0,00	0,00
10.00 - 20.00	1	3,70	3,70
20.00 - 30.00	2	7,41	11,11
30.00 - 40.00	2	7,41	18,52
40.00 - 50.00	9	33,33	51,85
50.00 - 60.00	8	29,63	81,48
60.00 - 70.00	3	11,11	92,59
70.00 - 80.00	2	7,41	100,00
80.00 - 90.00	0	0,00	100,00
90.00 - 100.00	0	0,00	100,00

Verifica-se que o comportamento desta distribuição segue o padrão da distribuição normal, ou seja, a distribuição de frequências tem forma característica de sino e curva acumulativa em escala de probabilidade aritmética aproxima-se de uma reta.

Comparando-se os resultados obtidos com os teores de prata originais, nota-se que a composição dos dados acentuou as características já observadas nos teores originais de prata, através da melhor definição da curva da distribuição de frequências (forma de sino) e da curva acumulativa (reta), resultado da diminuição da variância (de 630,88 para 188,48) e coeficiente de variação (de 0,51 para 0,28).

8.5. TESTES DE ADERÊNCIA

Os testes de distribuição foram aplicados às distribuições de frequência do conjunto de dados originais referentes a 27 furos de sondagem pertencentes a área de interesse da Mina de Canoas 2.

As distribuições de frequências do Pb, Zn e Ag foram aproximadas pela Reta de Henry. O Pb e Zn apresentam comportamento levemente assimétrico, aproximando-se de distribuições lognormais, entretanto, não típicas. Já a Ag apresenta distribuição de frequência simétrica, tendendo a normal.

Aplicou-se os testes K-S e χ^2 ao conjunto de dados a fim de verificar as hipóteses já levantadas.

A Tabela 19 apresenta os resultados resumidos obtidos para o teste K-S, para nível de significância de $\alpha = 0,01$, enquanto que a Tabela 20 apresenta os resultados obtidos para o teste χ^2 para nível de significância 1% e $\nu = 6$.

Tabela 19 - K-S estatístico e K-S crítico para os dados da Mina de Canoas 2.

ELEMENTOS	K-S ESTATÍSTICO	K-S CRÍTICO
CHUMBO	0,115	0,14
ZINCO	0,088	0,14
PRATA	0,064	0,14

Tabela 20 - Resultados obtidos para o teste χ^2 para os dados da Mina de Canoas 2 a nível de significância 1% e $\nu = 6$.

ELEMENTOS	χ^2	$\chi^2_{0,95}$
CHUMBO	16,81	10,08
ZINCO	16,81	16,38
PRATA	16,81	22,04

Através dos resultados do teste K-S, verifica-se que os valores dos K-S estatísticos dos elementos Pb, Zn e Ag são menores que o valor crítico de K-S (0,14). Desta forma, não se pode rejeitar a hipótese nula de que as amostras foram coletadas de uma população com distribuição normal.

Para o teste do χ^2 , verificou-se que o Pb e Zn apresentam $\chi^2 < \chi^2_{0,99}$, isto significa que a hipótese é aceita, ou seja, é possível ajustar uma distribuição normal à distribuição observada. Para a Ag acontece ao contrário, ou seja, a hipótese é rejeitada.

Levando em consideração todos os dados até agora apresentados, pode-se concluir que o Pb e Zn, apesar de apresentarem leve assimetria positiva, apresentam distribuição normal. Quanto a Ag, esta foi caracterizada sem problemas ao longo da pesquisa como uma distribuição simétrica; provavelmente, o resultado obtido no teste χ^2 demonstra a presença de anomalias nos extremos da distribuição distorcendo os resultados obtidos.

8.6. CORRELAÇÃO E REGRESSÃO DOS ELEMENTOS Pb, Zn E Ag

Foram utilizadas para o estudo da correlação dos elementos Pb, Zn e Ag da Mina de Canoas 2, os dados originais, ou seja, não compostos referentes a 27 furos de sondagem definidos na área de interesse.

As três variáveis - Pb, Zn e Ag - foram combinadas entre si, resultando nos seguintes pares de variáveis: Pb x Zn; Pb x Ag; e Zn x Ag. Posteriormente, foram calculadas as covariâncias e coeficientes de correlação, cujos valores foram analisados sobre os respectivos diagramas de dispersão.

Na Tabela 21 são apresentadas as medidas de correlação e nas Figuras 50, 51 e 52 os diagramas de dispersão para esses pares de variáveis aleatórias.

Tabela 21 - Medidas de correlação para os pares de variáveis aleatórias definidas para a Mina de Canoas 2

Medidas de Correlação	Pb x Zn	Pb x Ag	Zn x Ag
Covariância	3,01	8,42	10,62
Coefficiente de correlação	0,65	0,16	0,19

Analisando-se as medidas de correlação dos pares de variáveis aleatórias, verifica-se que somente o par Pb x Zn apresenta uma boa correlação (coeficiente de correlação = 0,65). Os pares Pb x Ag e Zn x Ag apresentam correlação muito baixa, indicada pelos coeficientes de correlação 0,16 e 0,19, respectivamente.

Figura 50 - Diagrama de dispersão do par Pb X Zn.

Figura 51 - Diagrama de dispersão para o par Pb X Ag.

Figura 52 - Diagrama de dispersão para o par Zn x Ag.

Entretanto, ao analisar-se os diagramas de dispersão dos pares das variáveis aleatórias verifica-se a presença de valores anômalos nos diagramas do Pb x Ag e Zn x Ag, indicando que estes não são representativos da distribuição em estudo. Por este motivo, foram recalculadas as medidas de correlação e os diagramas de dispersão para os pares Pb x Ag e Zn x Ag retirando-se os valores considerados anômalos.

Os resultados obtidos para os pares Pb x Ag e Zn x Ag sem os valores anômalos encontram-se na Tabela 22.

Tabela 22 - Medidas de correlação para os pares de variáveis aleatórias Pb x Ag e Zn x Ag sem os valores anômalos para a Mina de Canoas 2

Medidas de Correlação	Pb x Ag	Zn x Ag
Covariância	25,78	24,18
Coefficiente de correlação	0,68	0,52

Os diagramas de dispersão também foram redesenhados sem os valores anômalos, como estão mostrados nas Figuras 53 e 54.

Comparando-se os resultados, observa-se também que a correlação Pb x Ag é boa (coeficiente de correlação = 0,68) indicando que a correlação estava mascarada pelos valores anômalos. O par Zn x Ag não apresenta correlação significativa (coeficiente de correlação = 0,52), entretanto apresenta-se estatisticamente representativa do conjunto de dados em estudo, devido a retirada dos valores anômalos.

A regressão linear foi somente calculada para os pares de variáveis Pb x Zn e Pb x Ag, que apresentaram correlações significativas. Os coeficientes das retas ajustadas encontram-se listadas na Tabela 23. As retas de regressão encontram-se representadas graficamente nas Figuras 55 e 56.

Tabela 23 - Coeficientes a e b das retas ajustadas as correlações Pb x Zn e Pb x Ag.

Variáveis	a	b
Pb x Zn	1,41	0,66
Pb x Ag	24,85	9,82

Figura 55 - Reta de regressão para o par Pb x Zn.

Figura 56 - Reta de regressão para o par Pb x Ag.

8.7. MAPAS DE CONTORNO DE ISOVALORES

A fim de complementar as informações já obtidas nesta análise de dados, procedeu-se o estudo da distribuição espacial dos elementos Pb, Zn e Ag na Mina de Canoas 2.

Este estudo utilizou-se dos mapas de contorno dos isoteores dos elementos, que foram obtidos para os teores de $Pb+Zn \geq 5\%$ (área de interesse) compostos por litologia. Este conjunto de dados foi processado por um programa de computação para traçado automático de mapas de contorno que se utiliza do método inverso da potência da distância para interpolação dos dados.

Os mapas de contorno de isoteores de chumbo, zinco e prata para a Mina de Canoas 2 são apresentados nas Figuras 57, 58 e 59, respectivamente.

A observação destes mapas mostra a orientação da mineralização segundo a direção NE, que é compatível com o modelo geológico da jazida apresentado.

O chumbo (Figura 57) apresenta um comportamento semelhante ao do zinco (Figura 58), ou seja, suas curvas de isoteores seguem o mesmo padrão e aproximadamente os mesmos valores. Além disso, percebe-se claramente no setor SW um núcleo mais mineralizado com teores superiores a 3%. Na porção central (maior área), ocorre teores entre 3 e 4%. Entretanto, na

porção NE para sul ocorre a uma área com baixos teores de chumbo (2 e 3%) e altos teores de zinco (5 e 6%).

A análise do mapa de isoteores de prata (Figura 59) indica um núcleo mineralizado na porção SW (semelhante ao observado para o chumbo), sendo que na porção central e NE os teores variam basicamente entre 40 e 60 ppm.

Como uma informação extra, foram calculados os parâmetros estatísticos da espessura e processado o mapa de contorno de isópacas (Figura 60) para a área de interesse da Mina de Canoas 2. Verifica-se que a espessura média é 2,72 m com variância 3,68. Quase 50 % dos valores estão entre 0,40 e 1,60 m indicando que as espessuras apresentam um comportamento regular. Considerando-se o mapa de contorno verifica-se que as maiores espessuras estão na porção central do corpo onde atingem mais de 6 metros. Do centro para as bordas e para as porções NE e SW a espessura da zona mineralizada vai diminuindo até alcançar isópacas menores que 1 metro.

9. CÁLCULO DE RESERVAS PELOS MÉTODOS CLÁSSICOS

A partir do conhecimento da geologia, da configuração geométrica e do padrão de distribuição das variáveis do depósito foi possível iniciar a fase de avaliação de reservas.

A fim de realizar uma comparação entre métodos clássicos procedeu-se o cálculo de reservas medidas, segundo os critérios definidos pelo código de mineração brasileiro, através dos métodos de perfis padrão, perfis lineares, polígonos e triângulos. A escolha destes métodos foi em função da disposição dos furos de sondagem, do tipo de depósito, bem como, por serem os métodos clássicos mais utilizados.

O procedimento utilizado para o cálculo das reservas em cada método segue o que foi definido no Capítulo 4 (Métodos Clássicos de Avaliação de Reservas).

O cálculo das reservas pelos quatro métodos clássicos citados foi realizado para teores corte de $Pb+Zn \geq 1\%$ até $Pb+Zn \geq 8\%$, assim os valores de reservas medidas obtidos poderão ser apresentados em curvas e comparados. Para isso, calculou-se a espessura e a composição por litologia para todos estes teores de corte.

Desta forma, muitos furos anteriormente considerados negativos, pois não apresentavam $Pb+Zn \geq 5\%$, foram incluídos nos cálculos.

Para ilustração dos passos de cálculo de reservas medidas por estes métodos clássicos utilizar-se-á o teor de corte $Pb+Zn \geq 5\%$, ou seja, o teor que caracteriza a zona mineralizada.

9.1. MÉTODO DOS PERFIS PADRÃO

Construiu-se seções geológicas verticais transversais (normais) à direção do corpo mineral, ou seja, seções NW. A direção é constante e portanto, as seções são paralelas entre si. Além disso, o espaçamento é de aproximadamente 45 m. Para o teor $Pb+Zn \geq 1\%$ a $Pb+Zn \geq 6\%$ foram construídas 9 seções, resultando 8 blocos. Para $Pb+Zn \geq 7\%$ e 8% apenas 8 seções foram utilizados, resultando 7 blocos (Figura 61).

Posteriormente, foram calculadas as áreas e os teores médios das seções. As áreas das seções foram calculadas de modo gráfico em papel milimetrado (Figura 62) e os teores médios como média ponderada dos teores pela espessura.

A área e o teor médio de cada bloco é a média aritmética dos valores das duas seções.

No cálculo de volumes destas seções paralelas foi utilizada a fórmula do prisma ou área-média (equação 26), uma vez que as áreas são aproximadamente iguais.

Finalmente, a reserva medida de cada bloco é calculada pela equação 1, usando-se como densidade do minério $3,15 \text{ t/m}^3$. A reserva medida total do depósito é a soma das reservas de todos os blocos.

Figura 61 - Seções geológicas e blocos construídos no método dos perfis padrão para a Mina de Canoas 2 para teor de corte $Pb+Zn \geq 1\%$.

9.2. MÉTODO DOS PERFIS LINEARES

Utilizou-se os mesmos procedimentos para construção de seções geológicas, cálculo de áreas e cálculo de teor médio por seção do método dos perfis padrão. Entretanto, o volume dos blocos compreende agora as semi-distâncias entre seções.

Para teores $Pb+Zn \geq 1\%$ a 6% obteve-se 9 blocos enquanto que para $Pb+Zn \geq 7\%$ e 8% , 8 blocos (Figura 63). O teor médio da seção é o teor médio do bloco e a largura dos blocos foi calculada no ponto central da seção.

A reserva medida de cada bloco é calculada pela equação fundamental (1) e a reserva medida do depósito é a soma das reservas dos blocos.

9.3. MÉTODO DOS POLÍGONOS

A partir dos furos de sondagem construiu-se uma rede de polígonos, cujos lados encontram-se à meia distância entre dois furos adjacentes (Princípio dos pontos mais próximos) através da Divisão de Dirichlet.

Para o teor de corte $Pb+Zn > 1\%$ obteve-se 32 polígonos e para o teor de corte $Pb+Zn \geq 5\%$, 27 polígonos. Os polígonos foram numerados conforme o número do seu furo central (Figura 64).

Inicialmente, calcula-se a área da base de cada polígono. Esta área e a espessura da zona mineralizada será função do teor de corte especificado, resultando em diferentes configurações da rede de polígonos.

O volume do polígono é calculado pela multiplicação da área da base do polígono pela espessura da zona mineralizada.

O teor médio do polígono é igual ao teor médio composto do furo.

A reserva medida de cada polígono é calculada pela equação 1 e a soma das reservas medidas de todos os polígonos será a reserva medida do depósito.

9.4. MÉTODO DOS TRIÂNGULOS

A partir da rede de polígonos construída no método dos polígonos (Divisão de Dirichlet) une-se todos os pontos centrais destes polígonos dando origem a uma malha triangularizada.

Obteve-se 39 blocos triangulares para teor de corte $Pb+Zn \geq 1\%$ e 29 blocos para teor $Pb+Zn \geq 5\%$ (Figura 65).

Figura 64 - Método dos polígonos. Rede de polígonos construídas através dos furos de sondagem realizados na Mina de Canoas 2 para teor de corte $Pb+Zn \geq 1\%$.

Figura 65 - Blocos triangulares gerados pela utilização do método dos triângulos para teor de corte $Pb+Zn \geq 1\%$ na Mina de Canoas 2.

Em cada bloco triangular determina-se a área da seção. A espessura média do bloco triangular é a média aritmética das espessuras dos furos. Multiplicando-se a área da seção triangular pela espessura média dos furos obtém-se o volume de cada bloco triangular.

O teor médio do bloco triangular é a média aritmética dos teores dos furos ponderados pelas espessuras.

A reserva medida do bloco é calculada aplicando-se os valores de volume, teor e densidade na equação 1. A soma das reservas dos blocos triangulares é a reserva medida do depósito.

9.5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

O arranjo dos furos de sondagem permitiu a construção de seções e polígonos aproximadamente regulares.

A obtenção de seções para o cálculo de áreas no método dos perfis padrão e lineares permitiu representar a geologia e a forma do depósito, entretanto, conhece-se bem o que ocorre na seção e pouco entre elas. Em função da densidade dos furos de sondagem, não é possível construir mais seções, o que daria maior precisão a esses métodos.

O método dos polígonos e dos triângulos não retrata a forma do depósito e seriam necessários maior número de trabalhos (em malha regular) para obter maior precisão no resultado nesses métodos.

No método dos polígonos, como no método dos perfis, quanto maior a densidade de informações menor o erro de extensão, ou seja, neste método ocorre enviezamento pela extensão das características do furo do polígono para toda a sua área de influência.

A figura 66 apresenta as curvas obtidas para as reservas medidas e para os teores médios de chumbo, zinco e prata para diferentes teores de corte da Mina de Canoas 2. A análise destas curvas indica que esses métodos clássicos produzem resultados muito próximos entre si, o que pode ser resultado do tipo de depósito (sedimentar, lenticular) e da espessura e teores regulares. Entretanto, por limitações dos próprios métodos clássicos não é possível avaliar o erro cometido na estimativa das reservas. Além disso, pode-se notar que os resultados do método dos perfis lineares para teores de corte simulado de Pb+Zn (%) baixos (1,2 e 3) destacam-se dos demais métodos, mostrando neste caso uma tendência de subestimação das reservas (Figura 66a, 66c e 66e). Outra característica que pode ser observada é a tendência do método dos polígonos a apresentar teores médios baixos para teores de corte baixos e teores médios altos para teores de corte altos (Figura 66f)

Nas Tabelas 24, 25, 26 e 27 são apresentados os resultados finais do cálculo de reservas segundo diferentes métodos clássicos e teores de corte.

Figura 66 - Curvas das reservas medidas de chumbo (a), zinco (c) e prata (e) e dos teores médios de chumbo (b), zinco (d) e prata (f) para diferentes métodos clássicos e teores de corte simulados de Pb+Zn (%).

Tabela 24 - Reserva medida calculada pelo método dos perfis padrão segundo diferentes teores de corte (TCS - teor de corte simulado).

		TEOR MÉDIO			RESERVA MEDIDA		
TCS	MINÉRIO (t)	Pb (%)	Zn (%)	Ag (ppm)	CHUMBO (t)	ZINCO (t)	PRATA (kg)
1	659816,30	2,23	2,23	36,20	14690,40	14786,99	24373,73
2	570641,56	2,54	2,59	40,02	14457,60	14791,10	23273,14
3	501232,45	2,74	2,81	42,70	13660,95	14113,15	21700,67
4	356883,31	3,25	3,36	47,67	11281,78	11812,55	17114,68
5	300393,65	3,49	3,63	49,34	10110,04	10792,26	15014,09
6	223612,71	4,05	4,34	51,52	8385,72	9297,06	11757,37
7	134757,00	4,76	5,17	53,69	5743,10	6731,27	7485,03
8	84127,64	5,21	5,84	50,96	4098,41	4841,45	4645,17

Tabela 25 - Reserva medida calculada pelo método dos perfis lineares segundo diferentes teores de corte (TCS - teor de corte simulado).

		TEOR MÉDIO			RESERVA MEDIDA		
TCS	MINÉRIO (t)	Pb (%)	Zn (%)	Ag (ppm)	CHUMBO (t)	ZINCO (t)	PRATA (kg)
1	636393,08	2,28	2,25	35,46	13974,21	14252,05	24307,67
2	554932,67	2,62	2,63	39,71	13820,54	14304,58	23336,93
3	486862,80	2,86	2,88	42,61	13100,10	13755,07	21749,56
4	348659,86	3,42	3,48	47,94	10889,13	11559,28	17081,67
5	292154,63	3,68	3,74	49,45	9875,18	10667,45	15024,11
6	215514,65	4,36	4,48	50,95	7887,42	8868,73	11677,53
7	128297,93	5,00	5,23	52,92	5481,00	6622,31	7469,86
8	80153,33	5,41	5,88	49,66	3890,92	4778,04	4875,23

Tabela 26 - Reserva medida calculada pelo método dos polígonos segundo diferentes teores de corte (TCS - teor de corte simulado).

		TEOR MÉDIO			RESERVA MEDIDA		
TCS	MINÉRIO (t)	Pb (%)	Zn (%)	Ag (ppm)	CHUMBO (t)	ZINCO (t)	PRATA (kg)
1	680414,10	2,23	2,19	35,17	15221,92	15318,95	25432,49
2	587182,21	2,62	2,71	37,68	14648,84	14930,32	24132,52
3	519995,07	2,78	2,97	41,05	13909,53	14388,76	22494,23
4	344844,99	3,25	3,65	46,16	10681,89	11090,96	16554,77
5	288311,15	3,57	4,02	48,93	9502,61	10000,34	14410,04
6	216508,01	4,26	4,56	50,71	7745,69	8508,22	11500,75
7	132604,61	4,93	4,74	51,90	5554,05	6512,56	7764,57
8	87797,27	5,32	5,87	50,89	4153,47	4876,18	5245,58

Tabela 27 - Reserva medida calculada pelo método dos triângulos segundo diferentes teores de corte (TCS - teor de corte simulado).

		TEOR MÉDIO			RESERVA		
TCS	MINÉRIO (t)	Pb (%)	Zn (%)	Ag (ppm)	CHUMBO (t)	ZINCO (t)	PRATA (kg)
1	668956,92	2,35	2,34	38,04	15126,16	15195,05	24971,15
2	573462,93	2,59	2,62	41,34	14499,91	14842,23	23682,48
3	514671,22	2,74	2,79	43,45	13887,13	14300,21	22256,47
4	344914,12	3,19	3,24	47,77	10813,87	11119,32	16611,23
5	293651,27	3,42	3,48	49,72	9720,49	10045,48	14613,97
6	217276,86	3,86	4,02	52,90	7866,88	8527,27	11547,48
7	127316,87	4,99	5,30	56,81	5440,15	6306,13	7455,84
8	81645,35	5,44	5,81	55,42	3915,33	4531,17	4907,91

10. CÁLCULO DE RESERVAS PELOS MÉTODOS COMPUTACIONAIS

Utilizando-se a metodologia descrita no Capítulo 5 aplicou-se os métodos computacionais para avaliação das reservas de Pb, Zn e Ag da Mina de Canoas 2.

Inicialmente, dividiu-se a área da Mina de Canoas 2 em blocos de tamanho 25 x 25 m. A dimensão do bloco foi determinada em função da distância entre os furos de sondagem, já que os blocos devem ser estimados por pontos no máximo até 3 a 4 vezes o lado do bloco.

A área foi delimitada pelas seguintes coordenadas UTM:

$x_{\min} = 706880;$

$x_{\max} = 707230;$

$y_{\min} = 7256130;$

$y_{\max} = 7256455;$

que determinaram, em função do tamanho do bloco, 14 blocos na direção N-S e 13 blocos na direção E-W, totalizando 182 blocos.

Da mesma forma que nos métodos clássicos, foram estabelecidos diferentes teores de corte ($Pb+Zn \geq 1\%$ até $Pb+Zn \geq 8\%$). Assim, conforme o teor de corte adotado, foi estabelecida uma fronteira convexa que represente o corpo mineralizado e o limite da reserva medida segundo DNPM (1987).

A Figura 67 apresenta a configuração dos blocos, bem como a fronteira convexa estabelecida para teor de corte $Pb+Zn \geq 1\%$.

Para cada bloco foram determinadas as variáveis Pb, Zn, Ag e espessura, calculadas pela interpolação (IPD ou krigagem ordinária) a partir dos furos de sondagem compostos por litologia.

De posse dos resultados, foram calculadas as reservas por bloco para Pb, Zn e Ag utilizando a equação fundamental (1). As reservas totais de Pb, Zn e Ag, para cada teor de corte, foram obtidas como somatório das reservas dos blocos.

10.1. MÉTODO DO INVERSO DA POTÊNCIA DA DISTÂNCIA (IPD)

Este método foi aplicado com potência igual a 2.

Os parâmetros adotados na interpolação foram: dois furos mais próximos por quadrante ou no mínimo 3 furos mais próximos; e distância máxima de busca 100 m.

O bloco original foi discretizado em 4 sub-blocos a fim de utilizar o método IPD aperfeiçoado proposto por Yamamoto (1992).

As reservas medidas calculadas pelo IPD de Pb, Zn e Ag segundo diferentes teores de corte são apresentadas na Tabela 28.

Figura 67 - Configuração dos blocos calculados pelos métodos computacionais (IQD e krigagem) para a Mina de Canoas 2. A fronteira convexa foi estabelecida para teor de corte $Pb+Zn \geq 1\%$.

Tabela 28 - Reservas medidas calculadas pelo IPD de Pb, Zn e Ag segundo diferentes teores de corte (TCS - teor de corte simulado de Pb+Zn; NBE - número de blocos estimados).

TCS	NBE	MINÉRIO (t)	TEOR MÉDIO			ESPESS MÉDIA (m)	RESERVA		
			Pb (%)	Zn (%)	Ag (ppm)		CHUMBO (t)	ZINCO (t)	PRATA (kg)
1	72	788130	2,3	2,67	37,27	5,56	17930,75	17868,36	29690,7
2	72	664807,5	2,64	2,71	39,64	4,69	17119,85	17696,33	27162,26
3	72	592515	2,78	2,94	42,36	4,19	16240,73	17193,41	25791,65
4	64	435960	3,24	3,57	47,01	3,47	13890,25	15042,53	20918,68
5	60	367368,75	3,45	3,82	49,14	3,11	12371,6	13478,48	18315,68
6	60	275231,35	4,14	4,44	52,23	2,33	10719,24	11706,67	14707,25
7	59	180042,19	4,77	5,08	53,79	1,55	7955,66	8909,94	10025,01
8	53	129386,25	5,29	5,74	52,81	1,24	6491,9	7251,6	7217,39

10.2. MÉTODOS GEOESTATÍSTICOS

Seguindo o procedimento descrito por Clark (1979), construiu-se semivariogramas em diferentes direções e intervalos (h) e posteriormente, com os semivariogramas modelados, estimou-se as reservas de Pb, Zn e Ag da Mina de Canoas 2 utilizando a krigagem ordinária.

Os semivariogramas foram obtidos a partir dos dados dos furos de sondagem compostos de 0,5 em 0,5 m (composição por bancada), já que os dados compostos por litologia não permitiram a construção de semivariogramas consistentes.

Conforme o modelo geológico da jazida foram calculados semivariogramas nas direções 50° (janela 20°) e 140° (janela de 25°) e utilizadas as distâncias (h) de 25, 50, 100 metros.

Utilizando-se destes parâmetros, apenas a direção 50° com distância de 50 m permitiu a obtenção de semivariogramas passíveis de modelamento.

As Figuras 68, 69 e 70 apresentam os semivariogramas obtidos para Pb, Zn e Ag, respectivamente; e as Tabelas 29, 30 e 31 os dados referentes a esses semivariogramas.

Tabela 29 - Dados do semivariograma obtido para chumbo (direção 50° - janela 20°)

h	N.pares	Gama(h)
44,58	195	2,41
93,24	1203	2,43
139,08	3750	2,88
185,33	3364	3,28
231,91	4286	3,23
279,37	3961	3,73
326,44	2976	3,60
368,81	650	3,94

Tabela 30 - Dados do semivariograma obtido para zinco (direção 50° - janela 20°)

h	N.pares	Gama(h)
44,58	182	3,48
93,23	1106	3,15
139,10	3648	4,10
185,31	3295	4,12
231,95	4148	4,34
279,49	3889	4,56
325,51	2954	4,29
368,81	650	4,97

Figura 70 - Semivariograma obtido para prata na direção 50° (janela 20°) ajustado pelo modelo teórico esférico.

Tabela 31 - Dados do semivariograma obtido para prata (direção 50° - janela 20°)

h	N.pares	Gama(h)
44,58	168	656,43
93,46	998	546,86
138,92	3074	686,01
185,36	2800	756,32
232,06	3591	739,03
279,56	3158	731,89
325,84	2188	709,82
368,61	320	669,16

No ajuste dos modelos teóricos aos semivariogramas experimentais foram desconsiderados os primeiros pontos ($h = 44,58$ m), por apresentarem pequeno número de pares de pontos. Os semivariogramas foram ajustados ao modelo teórico esférico, obtendo assim, os seguintes parâmetros (Tabela 32):

Tabela 32 - Parâmetros obtidos no modelamento dos semivariogramas de Pb, Zn e Ag para a direção 50⁰(janela de 20⁰) e intervalo (h) 50 m.

ELEMENTO	Efeito pepita (Co)	Amplitude (a)	C (var.espacial)
Chumbo	0.60	240.00	2.80
Zinco	1.00	200.00	3.30
Prata	172.00	182.00	560.00

A partir dos parâmetros obtidos do modelamento dos semivariogramas e na configuração dos blocos de cubagem descritos anteriormente, calculou-se as reservas medidas da Mina de Canoas 2, para os diferentes teores de corte, aplicando a krigagem ordinária e considerando-se a jazida isotrópica, pois o semivariograma da direção transversal (140⁰) não foi consistente.

Os parâmetros utilizados na interpolação foram iguais aos adotados pelo IPD, ou seja: 2 furos mais próximos por quadrante ou no mínimo 3 furos mais próximos; distância máxima de busca 100 m; e o bloco original foi discretizado em 4 sub-blocos.

Como não foi calculado o semivariograma para a variável espessura, foram utilizadas as espessuras interpoladas pelo IPD para o cálculo das reservas por bloco. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 33.

Tabela 33 - Reservas medidas calculadas pela krigagem ordinária de Pb, Zn e Ag segundo diferentes teores de corte (TCS - teor de corte simulado de Pb+Zn; NBE - número de blocos estimados).

TCS	NBE	MINÉRIO (t)	TEOR MÉDIO			ESPESS MÉDIA (m)	RESERVA		
			Pb (%)	Zn (%)	Ag (ppm)		CHUMBO (t)	ZINCO (t)	MEDIDA PRATA (kg)
1	72	788130	2,4	2,35	37,79	5,56	18465,02	18340,19	30273,28
2	72	664807,5	2,77	2,83	40,12	4,69	17729,49	18300,34	27659,95
3	72	593932,5	2,9	3,03	42,41	4,19	16618,55	17494,41	25929,15
4	64	437220	3,3	3,6	46,69	3,47	14052,27	15055,29	20862,33
5	60	367368,75	3,48	3,85	49,17	3,11	12431,3	13658,15	18390,32
6	60	275269,84	4,08	4,4	51,9	2,33	10610,39	11661,43	14685,74
7	59	180042,19	4,68	5,07	54,01	1,55	7916,26	8865,69	10006,76
8	53	129386,25	5,29	5,74	52,81	1,24	6436,8	7189,47	7346,09

Na sequência, calculou-se a variância de krigagem para os diferentes teores de corte simulados e verificou-se que estes apresentavam os mesmos resultados, o que vem a confirmar que a variância de krigagem considera tão somente a disposição espacial dos dados, ou seja, é independente dos valores específicos das amostras utilizadas. Finalmente, determinou-se a variância de interpolação para o depósito (equação 54) proposta por Yamamoto (1991). A Tabela

34 apresenta uma comparação dos resultados obtidos para o teor de corte simulado de Pb+Zn $\geq 5\%$ para a Mina de Canoas 2.

Tabela 34 - Variância de krigagem média dos blocos e variância de interpolação dos blocos para o domínio do depósito obtidos para o teor de corte simulado de Pb+Zn $\geq 5\%$ para a Mina de Canoas 2. T_m (teor médio) e S^2 (variância) são parâmetros estatísticos obtidos da estatística de todos os blocos. Os $\gamma(h)$ max são obtidos dos semivariogramas para a distância de busca de 100m.

Elementos	T_m	S^2	$\gamma(h)$ max	Variância de krigagem	Variância de interpolação
Pb (%)	3,48	0,60	2,30	0,11 (%) ²	0,80 (%) ²
Zn (%)	3,85	0,55	3,32	0,16 (%) ²	0,84 (%) ²
Ag (ppm)	49,17	66,11	593,05	29,55 (ppm) ²	127,14 (ppm) ²

Analisando-se a Tabela 34, verifica-se que as variâncias de krigagem para todos os elementos foram bem menores que aquelas encontradas pela variância de interpolação. Além disso, comparando-se as variâncias de krigagem com os $\gamma(h)$ max também nota-se que as primeiras ficaram muito abaixo dos segundos que seriam os máximos valores de variância para distância máxima de busca de 100m. Já os valores da variância de interpolação aproximam-se mais dos $\gamma(h)$ max, isto indica mais uma vez que a variância de interpolação mede a dispersão local dos dados bem como a configuração dos dados em torno do ponto ou bloco estimado.

A Figura 71 apresenta os histogramas das variâncias de krigagem e das variâncias de interpolação obtidos para os elementos Pb, Zn e Ag no teor de corte simulado de Pb+Zn $\geq 5\%$ para a Mina de Canoas 2. A análise destes histogramas e dos parâmetros estatísticos obtidos demonstra que a variância de krigagem apresenta curvas mais simétricas, ou seja, com menor dispersão e coeficiente de variação que as da variância de interpolação. Desta forma, a utilização do parâmetro variância de krigagem pode apresentar resultados menos reais do que os encontrados pela variância de interpolação.

A partir das medidas de dispersão, variância de krigagem e variância de interpolação, procedeu-se a classificação das reservas quanto ao nível de incerteza das estimativas, conforme os limites adotados pela ONU (Quadro IV - Capítulo 2).

Os erros a 95% de confiabilidade foram calculados, conforme Valente (1980), pela seguinte equação :

Figura 71 - Histogramas das variâncias de krigagem (a, b, c) e das variâncias de interpolação (d, e, f), respectivamente para os elementos Pb, Zn e Ag no teor de corte simulado de $\text{Pb} + \text{Zn} \geq 5\%$ para a Mina de Canoas 2.

$$\text{ERRO} = 2 \cdot E_B / T_B \quad (57)$$

onde: E_B é a raiz quadrada da variância de krigagem ou de interpolação do bloco B;
 T_B é o teor médio do bloco.

A Figura 72 apresenta as classificações de reservas obtidas, utilizando a variância de krigagem e a variância de interpolação para teor de corte Pb+Zn $\geq 5\%$. A análise desta figura, indica uma tendência da variância de krigagem de adotar um quadro de reservas mais otimista que o fornecido pela variância de interpolação, já que a primeira classifica suas reservas apenas como medida e indicada.

As Figuras 73 e 74 apresentam para o Pb, Zn e Ag os blocos com as reservas classificadas pela variância de krigagem e variância de interpolação, respectivamente.

Classificações de reservas, como empregada acima, só refletem medidas de dispersão, ou seja, variabilidade, úteis ao planejamento de lavra já que indicam blocos a serem selecionados para o desmonte e blendagem do minério no seu tratamento (Yamamoto, 1991).

Uma classificação de reservas mais robusta, deve ser baseada não apenas numa medida de dispersão, seja ela, variância de krigagem ou de interpolação, mas também, na variabilidade natural do depósito, densidade de informações e parâmetros econômicos.

10.3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Comparando-se os resultados das Tabelas 28 e 33, verifica-se que os valores da reserva medida e teor médio para chumbo, zinco e prata calculados pelo IPD e krigagem ordinária estão muito próximos. Isto também pode ser observado na Figura 75, que apresenta as reservas medidas e os teores médios das variáveis em forma de gráficos muitas vezes com sobreposição de curvas, tal a proximidade de valores.

Essa proximidade dos resultados, confirma modelamento satisfatório dos semivariogramas ao modelo teórico esférico, ou seja, que os parâmetros utilizados pela KO são confiáveis.

A Figura 76 apresenta os histogramas das distribuições de frequências dos teores obtidos por bloco estimado pelo IPD e KO e a Tabela 35 apresenta os parâmetros estatísticos associados. A análise dos parâmetros estatísticos e da forma dos histogramas indica mais uma vez que os resultados obtidos por esses métodos estão muito próximos.

Estes métodos foram calculados para os diferentes teores de corte utilizando-se a mesma área, ou seja, configuração de blocos. Além disso, usando-se a mesma espessura média por bloco para ambos os métodos obteve-se o mesmo volume de minério. Estes fatores contribuíram bastante na semelhança entre os resultados. Outros aspectos a serem observados são que os blocos foram estimados a partir de malha de sondagem regular, bem como o comportamento da

mineralização segue um padrão uniforme, o que condiciona o não aparecimento de valores discrepantes.

CATEGORIAS DE RESERVAS

VARIANCIA DE INTERPOLACAO - CHUMBO

[illegible]

CATEGORIAS DE RESERVA:

VARIANCIA DE INTERPOLACAO - ZINCO

[illegible]

CATEGORIAS DE RESERVAS

VARIANCA DE INTERPOLACAO - PRATA

[illegible]

LEGENDA:

Reserva Medida: erros < 20%

Reserva Indicada: erros entre 20 - 50%

Reserva Inferida: erros > 50%

0.05 Erro

Figura 74 - Categorias de reservas para o chumbo, zinco e prata segundo os limites adotados pela ONU utilizando a variância de interpolação para a Mina de Canoas 2 (teor de corte simulado de Pb+Zn $\geq 5\%$).

Figura 75 - Curvas das reservas medidas de chumbo (a), zinco (c) e prata (e) e dos teores médios de chumbo (b), zinco (d) e prata (f) para IPD e Krigagem ordinária segundo diferentes teores de corte simulados de Pb+Zn (%).

Ao estimar um bloco, supõe-se que não usando apenas amostras internas a ele é possível evitar sub e superestimativas de reservas, comuns em métodos clássicos. Além disso, por não ocorrer amostras no centro dos blocos, não aconteceram problemas de estimativas enviesadas de blocos, uma vez que foram consideradas na ponderação amostras vizinhas ao bloco.

A utilização da KO, neste sentido, mostra-se como o melhor método a ser utilizado uma vez que, consegue caracterizar espacialmente a estrutura da mineralização (variograma) fornecendo estimativas mais precisas, bem como, o erro associado a esta, o que vem a ser fundamental na fase de planejamento de lavra.

Tabela 35 - Teor médio e variância estatística calculados para os blocos estimados por IPD e KO para teor de corte $Pb+Zn \geq 5\%$ na Mina de Canoas 2.

Elemento	IPD		KO	
	Tm	S ²	Tm	S ²
Pb (%)	3,45	0,59	3,48	0,60
Zn (%)	3,82	0,55	3,85	0,55
Ag (ppm)	48,89	66,33	49,17	66,11

Figura 76 - Histogramas das distribuições de frequências dos teores de Pb, Zn e Ag calculadas pelo IPD (a, b, c) e KO (d, e, f) para o teor de corte de $Pb+Zn \geq 5\%$ para a Mina de Canoas 2.

11. MÉTODOS CLÁSSICOS X MÉTODOS COMPUTACIONAIS

Calculadas as reservas medidas e os teores médios segundo diferentes teores de corte simulados (Pb+Zn) da Mina de Canoas 2 pelos métodos clássicos e computacionais a próxima etapa é determinar como comportam-se esses resultados. Entretanto, é difícil determinar o melhor método, uma vez que não existem parâmetros comparativos entre eles.

Os dados de tonelagens e teores lavrados levantados durante o inventário dos dados não permitiram a comparação com os dados calculados neste trabalho, pois apresentavam-se misturados, ou seja, dados de produção de Canoas 1 (naquela época em lavra) e Canoas 2.

Desta forma, as tentativas empreendidas para compará-los foi o cálculo das diferenças de áreas associadas e qualitativamente uma revisão das principais características quanto a vantagens e desvantagens para utilização destes métodos.

Para a comparação quantitativa entre os métodos, calculou-se a reserva atribuída à diferença de áreas dos métodos computacionais e clássicos, visto que as reservas dos métodos computacionais foram sistematicamente superiores às reservas determinadas pelos métodos clássicos, devido, principalmente, às maiores áreas dos métodos computacionais em relação às dos clássicos (Tabela 36). Esta diferença de reserva (DR), foi calculada como:

$$DR = (A_{\text{comput}} - A_{\text{clássico}}) * e_m * t_m * d \quad (58)$$

onde : $A_{\text{clássico}}$ = área do método clássico;

A_{comput} = área do método computacional;

e_m = espessura média obtida pelos dados compostos por litologia;

t_m = teor médio obtida pelos dados compostos por litologia;

d = densidade do minério;

Somando-se a quantidade DR à reserva dos métodos clássicos, pode-se, agora, compará-la com as reservas dos métodos computacionais, por meio do erro relativo (ER). Se denominarmos RC, a reserva do método clássico corrigida pela diferença de reserva, isto é, $(RC = RM_c + DR)$, o erro relativo será expresso como:

$$ER = ((RC - RM_{\text{Comp}}) / RM_{\text{Comp}}) * 100 \quad (59)$$

onde : RM_{Comp} = reserva medida dos métodos computacionais.

Utilizou-se apenas os dados referentes ao teor de corte simulado de Pb+Zn $\geq 5\%$. As Tabelas 37, 38 e 39 apresentam os resultados obtidos para Pb, Zn e Ag, respectivamente.

Tabela 36 - Áreas calculadas em planta para os métodos clássicos e computacionais para teor de corte simulado de Pb+Zn $\geq 5\%$ na Mina de Canoas 2.

MÉTODOS	ÁREAS (m ²)
P.PADRÃO	29074,00
P.LINEARES	29001,75
POLÍGONOS	29190,00
TRIÂNGULOS	26759,5
IPD / KO	37500,00

Tabela 37 - Resultados obtidos na comparação dos métodos clássicos x métodos computacionais através do uso do fator DR e do erro relativo (ER) para o elemento chumbo e teor de corte simulado de Pb+Zn $\geq 5\%$. (Mc = métodos clássicos; PP = perfis padrão; PL = perfis lineares; POL. = polígonos; Δs = triângulos; IPD = inverso da potência da distância; KO = krigagem ordinária; DR = diferença de reserva; ER = erro relativo).

					ER(%)	
Mc	RM(t)	MComp	RM(t)	DR	IPD	KO
PP	10110,04	IPD	12371,60	2529,94	2,17	1,68
PL	9875,18	KO	12431,30	2551,64	0,45	0,04
POL.	9502,61			2430,00	3,55	4,01
Δs	9720,49			3224,00	4,63	4,13

Tabela 38 - Resultados obtidos na comparação dos métodos clássicos x métodos computacionais através do uso do fator DR e do erro relativo (ER) para o elemento zinco e teor de corte simulado de Pb+Zn $\geq 5\%$. (Mc = métodos clássicos; PP = perfis padrão; PL = perfis lineares; POL. = polígonos; Δs = triângulos; IPD = inverso da potência da distância; KO = krigagem ordinária; DR = diferença de reserva; ER = erro relativo).

					ER(%)	
Mc	RM(t)	MComp	RM(t)	DR	IPD	KO
PP	10792,26	IPD	12478,48	2848,84	9,32	0,12
PL	10667,45	KO	13658,15	2873,28	8,51	0,86
POL.	10000,34			2810,64	2,66	6,20
Δ	10045,48			3631,39	9,60	0,14

Tabela 39 - Resultados obtidos na comparação dos métodos clássicos x métodos computacionais através do uso do fator DR e do erro relativo (ER) para o elemento prata e teor de corte simulado de Pb+Zn $\geq 5\%$. (Mc = métodos clássicos; PP = perfis padrão; PL = perfis lineares; POL. = polígonos; Δ s = triângulos; IPD = inverso da potência da distância; KO = krigagem ordinária; DR = diferença de reserva; ER = erro relativo).

					ER (%)	
Mc	RM(kg)	MComp	RM(kg)	DR	IPD	KO
PP	15014,09	IPD	18315,68	3454,76	0,84	0,43
PL	15024,11	KO	18390,32	3484,38	1,05	0,64
POL.	14410,04			3408,43	2,71	3,11
Δ	14613,97			4403,73	3,83	3,41

A análise dos resultados indica que as diferenças obtidas entre as reservas medidas calculadas pelos métodos clássicos e computacionais são reflexo em grande parte da diferença das áreas computadas. É claro, que aliada a estas diferenças de áreas estão os diferentes princípios de interpretação e as técnicas matemáticas de interpolação utilizadas pelos métodos, bem como os erros e arredondamentos associados.

Desta forma, a similaridade observada nos resultados obtidos entre os métodos é função da regularidade do corpo (depósito estratiforme) e dos teores e espessura regulares. Além disso, a amostragem realizada (malha losangular) permitiu a definição da jazida e de dados suficientes para utilização satisfatória em diferentes métodos de avaliação de reservas.

As principais características, vantagens e desvantagens na utilização dos diferentes métodos são apresentadas no Quadro VI.

A avaliação de reservas é feita através da divisão do depósito em blocos. Nos métodos clássicos estes blocos são definidos em função da disposição das informações de pesquisa, ou seja, tem a geometria variável de acordo com a localização espacial dos furos de sondagem. Já nos métodos computacionais a geometria dos blocos de cubagem é dependente do tipo de reserva que se quer determinar, podendo ser geológica, lavrável ou para estimativa de produção (Yamamoto & Bettencourt, 1992).

Assim, os métodos clássicos determinam blocos de cubagem de grandes dimensões enquanto que os métodos computacionais fazem blocos de pequena dimensão que acaba por minimizar o erro de estimativa já que diminui a generalização dos atributos.

Os métodos clássicos são fáceis de entender e implementar manualmente, além disso, permitem a tomada de decisões a curto prazo, especialmente em trabalhos de pesquisa. Por outro lado, a incerteza em relação aos teores é alta e não apresentam medidas de erros associados.

O método dos polígonos é o mais fácil de calcular, seguido pelo método dos perfis padrão e lineares onde a parte mais trabalhosa é a construção das seções, o método dos triângulos leva mais tempo devido a ponderação dos teores e espessuras de cada bloco.

Quadro VI - Comparação entre os métodos clássicos x métodos computacionais.

MÉTODOS DE CÁLCULO	DESCRIÇÃO	PRINCÍPIOS DE INTERPRETAÇÃO/ TÉCNICAS DE INTERPOLAÇÃO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
PERFIS PADRÃO (PP) / PERFIS LINEARES (PL)	Dividi-se o corpo mineralizado em blocos pela construção de seções geológicas em intervalos ao longo de linhas transversais, sendo que nos PP cada bloco é confinado por seções de amostragem e por uma superfície irregular e nos PL cada bloco é definido por uma seção na porção central e é delimitado por uma distância igual a meia distância entre seções adjacentes.	PP - mudanças graduais; PL - pontos mais próximos.	<ul style="list-style-type: none"> - a construção das seções ao longo do corpo permite visualizar a forma e o comportamento do depósito; - a aplicação das fórmulas é simples, entretanto, depende da variabilidade e formato das seções; - os resultados são mais precisos quando a amostragem é realizada nas seções ou próximo a elas e tem espaçamento regular; - quando o topo e a base do corpo mineralizado estão bem definidos, com dimensões médias a grandes, apresentando espessuras e teores regulares o método mostra bons resultados; 	<ul style="list-style-type: none"> - apresenta resultados insatisfatórios para depósitos com teores e espessuras irregulares, entretanto, se houverem amostragens estratégicas é possível avaliar as reservas; - extrapola-se o conhecimento obtido nas seções para o que ocorre entre as seções; - para seções não paralelas o cálculo das reservas é mais complicado e implica em várias correções que podem resultar em erros;
POLÍGONOS	Área do corpo mineralizado é dividida em uma rede de polígonos - Divisão de Dirichlet - cujos lados encontram-se à meia distância entre duas estações adjacentes de amostragem.	Pontos mais próximos	<ul style="list-style-type: none"> - fácil de entender e fazer manualmente; - fornece bons resultados para corpos regulares, tabulares (camadas, veios), grande lentes, de preferência horizontalizados, com variáveis regulares, malha regular e inúmeros trabalhos; - cada polígono é calculado individualmente, sendo possível adicionar reservas de novos blocos, sem reavaliar as anteriores; 	<ul style="list-style-type: none"> - não se sabe qual a real forma do depósito; - na construção dos polígonos não é levada nenhuma consideração geológica; - não se deve usá-lo em depósitos com furos não correlacionados, corpos pequenos e distribuição errática; - os furos das bordas produzem polígonos abertos; - enfiamento se houver um valor alto ou baixo desproporcional a média do depósito; - estimativas descontínuas de região para região; - não tira proveito das informações disponíveis, aproveitando somente dados disponíveis no interior do bloco; - para depósitos irregulares deve-se usar grande número de amostras para avaliações aceitáveis;
TRIÂNGULOS	Área do corpo mineralizado é dividida em uma malha triangular segundo a Triangularização de Delaunay.	Mudanças graduais	<ul style="list-style-type: none"> - é fácil de entender e implementar manualmente; - fornece estimativas precisas para grandes corpos sedimentares e depósitos disseminados; - os resultados dos cálculos podem ser bastante precisos quando os triângulos são equiláteros; 	<ul style="list-style-type: none"> - não refletem a forma do depósito; - método basicamente analítico, não leva em conta nenhum aspecto geológico na construção dos triângulos; - é difícil conciliar os limites do depósito com os limites da linha que limita externamente os triângulos; - ao construir os prismas triangulares mascar-se a distribuição das espessuras e teores, o que implica que este método é impreciso na avaliação de depósitos irregulares; - um furo pode participar de avaliação de vários blocos se estiver no interior do corpo, enquanto que os da periferia participam apenas em dois, isto pode ter grande influência no caso de variações muito grandes;
INVERSO DA POTÊNCIA DA DISTÂNCIA (IPD)	Corpo mineralizado é dividido em blocos de igual tamanho que são avaliados segundo o inverso da potência da distância das amostras vizinhas, ou seja, amostras próximas contribuirão mais na estimativa que amostras mais distantes.	Variáveis de amostras de furos vizinhos em relação a um determinado ponto ou bloco são proporcionais ao inverso da distância elevada a uma potência.	<ul style="list-style-type: none"> - fácil de entender e relativamente simples de calcular pela implementação de um programa de computador; - fornece resultados mais precisos que os métodos clássicos; - não apenas amostras internas ao bloco intervêm na estimativa, mas também amostras externas evitando assim problemas de sub ou sobrestimação; 	<ul style="list-style-type: none"> - procedimento matemático que não considera aspectos geológicos; - não leva em conta a forma e o tamanho do bloco a ser estimado, bem como as anisotropias do corpo; - problemas se o ponto estimado coincide com os pontos de dados (ponderador infinito = método dos polígonos);
KRIGAGEM ORDINÁRIA (KO)	Corpo mineralizado é dividido em blocos de igual tamanho que são avaliados por ponderadores obtidos da resolução de um sistema linear de equações com mínima variância associada.	Estimação de um valor desconhecido Z^* associado a um ponto, área ou volume a partir de um conjunto de n dados, considerando não somente os valores da variável mas também a posição espacial relativa dos mesmos.	<ul style="list-style-type: none"> - avalia a variabilidade espacial e dados redundantes; - é consistente e permite caracterizar os limites de confiança para as estimativas; - depósitos bem amostrados permitem a produção de um modelo matemático capaz de descrever a natureza do fenômeno (variogramas); 	<ul style="list-style-type: none"> - não é fácil de entender; - necessita de vários parâmetros; - necessita de cálculo intensivo e disponibilidade de tempo; - é necessário um grande volume de dados; - a utilização KO depende da obtenção de variogramas representativos, que nem sempre é possível uma vez que depende da amostragem realizada;

O tempo de execução do IPD e KO é relativo ao números de furos incluídos na ponderação bem como na discretização dos blocos. KO foi o método mais complexo utilizado e leva maior tempo de processamento que o IPD, primeiro na obtenção de variogramas experimentais e depois devido a quantidade de n equações simultâneas para resolver (onde n é o número de furos incluídos na krigagem de um bloco).,

Entre os métodos computacionais aplicados ao depósito, devido o suficiente número de furos de sondagem em malha regular, o IPD pode ser uma boa escolha já que envolve menor tempo de computação que a KO, bem como não necessita da obtenção de variogramas experimentais que consomem tempo.

A KO utilizada com parâmetros adequadamente testados e suficiente amostragem, é capaz de produzir modelos matemáticos que descrevam a natureza da mineralização do depósito em avaliação, estimativas mais precisas e principalmente, o erro associado a esta estimativa. Além disso, os blocos de cubagem gerados permitem uma melhor integração com as informações necessárias ao estudo econômico e planejamento de lavra. Entretanto, quando não for possível aplicar este método, o IPD seguido dos métodos clássicos podem ser utilizados e, no caso do depósito em estudo, produzir resultados finais de boa qualidade

12. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A viabilidade econômica de um empreendimento mineiro é estabelecida fundamentalmente pelo cálculo das reservas e das considerações de lavra e beneficiamento dos minerais. Entretanto, fatores físicos, políticos, econômicos e mercadológicos são igualmente importantes.

A importância da avaliação das reservas tem sido reconhecida desde o passado. Empresas mineradoras, obviamente, necessitam de estimativas de reservas precisas, desde que a qualidade da estimativa pode diretamente afetar a lucratividade da empresa.

Assim, com o crescimento da falta de recursos naturais e aumento de grandes investimentos para abertura de novas minas, a necessidade de estimativas de reservas precisas tornam-se quase críticas.

O objetivo deste estudo foi a comparação entre os métodos clássicos e computacionais uma vez que indiscriminadamente os primeiros tem sido descartados sem ao menos verificar sua aplicabilidade. Desta forma, é esperado que os resultados deste trabalho possam contribuir para o entendimento das propriedades e méritos de todos esses métodos.

A avaliação das reservas de um depósito mineral deve ser fundamentada em informações precisas e de boa qualidade. Assim, os dados devem ser organizados e verificados durante a fase do inventário dos dados. Posteriormente, a fim de reduzir, estudar e interpretar os dados realiza-se a análise dos dados.

Verificou-se, através da etapa de análise dos dados, que as variáveis (Pb, Zn, Ag e espessura) do Depósito de Canoas apresentam-se regulares ao longo do corpo e, principalmente, que os dados gerados pela composição por litologia utilizada no cálculo das reservas são confiáveis.

O inventário e análise dos dados são etapas importantes que devem ser realizadas coerentemente, uma vez que preparam os dados para serem utilizados nos cálculos das reservas por qualquer que seja o método.

A quantificação de uma jazida mineral, não é determinada de forma exata, uma vez que envolve a incerteza associada à natureza do fenômeno geológico que originou o depósito, bem como as técnicas empregadas para seu cálculo.

Em geral, não existe regras de que método de cálculo para avaliação de reservas usar em um particular depósito mineral. Entretanto, o conhecimento da geologia, da configuração geométrica, do padrão da distribuição das variáveis e o tipo de amostragem do depósito são dados fundamentais na fase de avaliação de reservas e podem ajudar na indicação de quais métodos de cálculo utilizar.

A comparação numérica entre os métodos clássicos e computacionais, aplicados à Mina de Canoas 2, revelou que os erros relativos foram inferiores a 10%, mostrando claramente que em depósitos estratiformes com baixo coeficiente de variação, as diferenças entre os métodos são atribuídas basicamente às diferenças de áreas utilizadas pelos mesmos.

Deve-se ter em mente que todos os métodos são mais precisos se a geologia estiver incluída no modelo do bloco de um depósito, especialmente ao longo de contatos entre zonas estéreis e mineralizadas, uma vez que evitará erros óbvios de extensão, como um teor alto para um bloco em zona estéril. Isto também enfatiza a necessidade da checagem dos resultados de qualquer avaliação de reservas nas várias etapas de cálculo.

A utilização de técnicas matemáticas mais sofisticadas e da computação permitiu maior eficiência na manipulação de grande volumes de dados usados na avaliação de reservas. Entretanto, não são capazes de substituir a experiência do geólogo/engenheiro (em pesquisa mineral) na interpretação geológica que conduzirá à determinação do modelo geológico, da distribuição das variáveis e na previsão da potencialidade dos depósitos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AITCHISON, J. & BROWN, J.A.C. - 1957. The lognormal distribution. with special reference ti its uses in economics. Apud: KOCK Jr, G.S. & LINK, R.F.- 1971. Statistical analysis of geological data
- ALMEIDA, M.A. de - 1989 - Geologia da Formação Água Clara na Região de Araçuaia - SP. Dissertação de Mestrado. IGUSP, 184p. (inédito).
- ANNELS, A.E. - 1991. Mineral Deposit Evaluation - A practical aproach. Chapman & Hall - London. 436p.
- BARNES, R.J. - 1980. The variogram sill and sample variance. Math. Geol., 23(4):673-678.
- BLAIS, R.A. & CARLIER, P.A. - 1968. Aplications of geoststistics in ore valuation. Apud: OLEA, R.A.- 1975. Optimum mapping techniques using regionalized variable theory.
- BROOKER, P.I. - 1979. Kriging. Eng.&Min.J., 180(9):148-153.
- BUSSAB, W. de O. - 1980. Curso Básico de Estatística. 75p. (inédito)
- BUSSAB, W de O. & MORATTIN, P.A. - 1986. Estatística básica - Métodos quantitativos. 3.ed. São Paulo. Atual Editora Ltda. 321p.
- CAMPANHA, G.A. de C. - 1991. Tectônica Proterozóica no Alto e Médio Vale do Ribeira, Estados de São Paulo e Paraná. Tese de Doutorado. IGUSP. 296p. (inédito).
- CAMPANHA, G.A. da C.; BISTRICHI, C.A.; ALMEIDA, M.A. de - 1987 - Considerações sobre a organização litoestratigráfica e evolução tectônica da Faixa de Dobramentos Apiaí. In: Simp. Sul-Bras. Geol.3, Curitiba, 1987. Atas... Curitiba, SBG, v.2:725-742.
- CHIODI FILHO, C. - 1984 - Contribuição à geologia sul paulista e leste paranaense. Grupos Açungui e Setuva. In: Congresso Brasileiro de Geologia. 33, Rio de Janeiro. 1984. Anais... Rio de Janeiro. SBG. v.5, p.2394-2406.
- CLARK, I. - 1979. The semivariogram - part I. Engineering & Mining Journal. 180(7):90-94p.
- CLARK, I. - 1979a. The semivariogram - part II. Engineering & Mining Journal. 180(8):92-97p.
- CONDE, R.P & YAMAMOTO, J.K - 1994. Avaliação de reservas de recursos não-metálicos: Métodos Clássicos. In: Workshop: Recursos MInerais Não-Metálicos para o Estado de São Paulo. São Paulo. 1994. Resumos expandidos... São Paulo. SBG. p.73-75.
- CORDANI, U.G. & BITTENCOURT, J. - 1967. Determinações de idades potássio/argônio em rochas do Grupo Açungui. In: Congresso Brasileiro de Geologia. 21, Curitiba. 1967. Anais... Curitiba, SBG. p.218-233.
- DACHS, J.N.W. - 1978. Análise de Dados e Regressão. Apostila de curso. Departamento de Estatística. IMECC - UNICAMP. 125p. (inédito).
- DAITX, E.C. - 1992. Modelo Exploratório para jazimentos sulfetados da Formação Perau, no Vale do Ribeira - PR e SP. IGCE/UNESP. 25p. (inédito).
- DAITX, E.C. - 1985. O estágio atual do conhecimento sobre as mineralizações de Pb-Ag-(Zn) do vale do Ribeira (SP e PR). Tema de exame de qualificação. 62p. (inédito).
- DAITX, E.C. & VENUSSO, G.C. - 1992. Geologia preliminar da jazida Canoas (Pb-Zn-Ag-Ba), vale do Ribeira. PR. In: Congresso Brasileiro de Geologia. 37, São Paulo. 1992. Anais... São Paulo. SBG. v.1., p.256-257.

- DAITX, E.C.; BETTENCOURT, J.S. & ZANARDO, A. - 1992. Metatufos traquíticos na área da mina Perau (Vale do Ribeira, PR): significado geológico e importância na gênese dos corpos sulfetados (Pb-Zn-Cu-Ag-Ba). In: Congresso Brasileiro de Geologia, 37, São Paulo, 1992. Anais...São Paulo, SBG. v.1., p255-256.
- DAITX, E.C. ; OLIVEIRA, M.A.F.de; GARCIA, L.R.A.; CRVALHO, S.G.de & SILVA, V.R. da - 1992a . Rochas turmaliníferas na área das jazidas Perau e Canoas (Vale do Ribeira, PR) e suas relações com os corpos mineralizados (Pb-Zn-Ag-Ba).In: Congresso Brasileiro de Geologia, 37, São Paulo, 1992. Anais...São Paulo, SBG, v.1., p256-257.
- DARDANNE, M.A. - 1988 . Geologia do Chumbo e Zinco. In: Principais Depósitos Minerais do Brasil, C.Schobbenhaus(Coord.), Dep.Nac.Prod.Min., Brasília, v.3, p. 83-90.
- DAVIS, J.C. - 1986. Statistics and Data Analysis in Geology. 2ed. 645 p.
- DNPM (DEP.NAC.PESQ.MIN.) - 1987. Código de mineração e legislação correlativa. Ed.Rev. por Humberto de Carvalho Matos - Brasília; Divisão de Fomento da Produção Mineral. 1987. 333p.
- ÉRRICO, J.C.D. - 1984. Planejamento de Lavra - Uso do Computador e Geostatística. Apostila do curso IBRAM (instituto Brasileiro de Mineração). Belo Horizonte (MG). 110p.
- FAIRCHILD,T.R. - 1982. New stromatolites from the Upper Precambrian Açungui Group, Eastern Paraná, Brazil and their potential stratigraphic use. Boletim IG, São Paulo, IGUSP 13:43-50.
- FLEISHER,R. - 1976. A pesquisa de chumbo no Brasil. In: Congresso Brasileiro de Geologia. 29. Ouro Preto, SBG. Anais...Ouro Preto, v.1. p.19-32.
- FROIDEVAUX, R. - 1982. Geostatistics and ore classification. Apud: Yamamoto, J.K. & Bettencourt, J.S. - 1992. Avaliação de Jazidas.
- GIMENEZ FILHO, A. - 1991. Geocronologia da Suíte Granítica Três Córregos e do Complexo Metamórfico Apiai-Mirim, a nordeste de Apiai - SP - Implicações na Evolução da Faixa Apiai. Exame de Qualificação. IGUSP. 55p. (inédito).
- GROSSI SAD. J.H. - 1975. Quantificação de reservas minerais . Princípios e métodos. Seminário sobre avaliação econômica de jazidas. Brasília - PLANFAP. DNPM. 107p.
- GUERRA, P.A.G. - 1988. Geostatística Operacional. DNPM, Brasília. 145p.
- HANCOCK, M.C.; GOODAY, P.E. & BRECH, G.E. - 1987. Ore Reserve Sytems - Principles and Practice. In:Resources and Reserves Symposium. Sydney, 1987. Proceedings...Sydney. The Australasium Institute of Mining and Metallurgy. p.137-147.
- HANDLEY,G.A.; LEWIS,R.W. & WILSON,I. - 1987. The collection and management of ore reserve estimation data. In: Resources and Reserves Symposium. Sydney, 1987. Proceedings...of Sydney. The Australasian Institute of Mining and Metallurgy. p.27-30.
- HUIJBREGTS, C.J. - 1975. Regionalized variables and quantitative analysis of spatial data. In:Display and analysis of spatial data. DAVIS, J.C. & McCULLAGH, M.J. (ed) New York. John Wiley. p.38-53.
- HUTCHINSON,R.W. - 1980. Vulcanogenic sulfide deposits and their metallogenic significance. Econ.Geol. 68: 1223-1246. Lancaster, Pa.
- HUTCHINSON,R.W. - 1973. Massive base metal sulphide deposits as guides to tectonic evolution. In: The Continental Crust and Its Mineral Deposits. D.W.Strangway (Ed.). Geological Association of Canada Special Paper 20, p.659-684.
- JOURNEL, A.G. & HUIJBREGTS, C.J. - 1978. Mining geostatistics London. Academic Press. 600p.

- KLAU, W. & LARGE, D.E. - 1980. Submarine exhalative Cu-Pb-Zn deposits - A discussion of their classification and metallogenesis. Geol. Jb., D40: 13-58. Hannover.
- KLEIN, C. & HURBERT Jr, C.S. - 1985. Manual of Mineralogy (after James D. Dana). John Wiley & Sons, Inc. 596p.
- KOCK Jr, G.S. & LINK, R.F. - 1971. Statistical analysis of geological data. New York, Dover Publ. Vol I, 375p.
- LANDIM, P.M.B. - 1985. Introdução a Geoestatística. Laboratório de Geomatematica. Publicação Didática n.3. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Campus de Rio Claro. UNESP. 69p.(inédito).
- LARGE, D.E. - 1981. Sediment-hosted submarine exhalative lead-zinc deposits. A review of their geological characteristics and genesis. In: Handbook of Strata-bound and stratiform ore deposits. K.H.Wolff (Ed.). Elsevier, vol.9, p. 469-507.
- LEITE, W.de S. - 1990. Relatório de Beneficiamento do Minério do Processo MME-DNPM - 2.D, n.820.962/84. Paraná. PLUMBUM MINERAÇÃO E METALURGIA S.A. 10 p.(Relatório Interno).
- MARCHETTO, C.M.L. - 1991. Estudo petrológico. Paraná. PLUMBUM MINERAÇÃO E METALURGIA S.A. 32p. (Relatório Interno).
- OLEA, R.A. - 1977. Measuring spatial dependence with semivariograms. Kansas, Kansas Geological Survey, 29p. (Series on Spatial Analysis, 3).
- OLEA, R.A. - 1975. Optimum mapping techniques using regionalized variable theory. Kansas, Kansas Geological Survey, 137p. (Series on Spatial Analysis, 2).
- PETTINATI, F. - 1983. Modelamento digital e representação gráfica de superfícies. Apud: YAMAMOTO, J.K. & BETTENCOURT, J.S. - 1992. Avaliação de jazidas.
- PLUMBUM S.A. - 1992. Mapa geológico e perfis da área do Depósito de Canoas. 30p. (Relatório Interno).
- POPOFF, C.C. - 1966. Computing reserves of mineral deposits: principles and conventional methods. Washington, Bureau of Mines. 113p. (I.C. 8283).
- PROMINER - 1991a. Projeto Canoas. São Paulo. PROMINER. 2v. 55p. (Relatório Final de Pesquisa Mineral - Processo DNPM n.820.962/84).
- PROMINER - 1991b. Projeto Canoas. São Paulo. PROMINER. 2v. 63p. (Relatório Final de Pesquisa Mineral - Processo DNPM n.820.660/87 e 820.122/88).
- ROYLE, A.G. - 1979. Why geostatistics?. Engineering & Mining Journal 180(5): 92-101.
- ROYLE, A.G. - 1977. How to use geostatistics for ore classification. Word Min. p.52-55.
- SALAMUNI, R. & BIGARELLA, J.J. - 1967. Contribuição à geologia do Grupo Açungui. Curitiba. UFPR/Instituto de Geologia. 26p. (Boletim. Geologia. 23).
- TASSINARI, C.C.G.; BAUBOUR, A.P.; DAITX, E.C. & SATO, K. - 1990. Aplicação dos isótopos de Pb e Sr na determinação da natureza das fontes das mineralizações de chumbo do Vale do Ribeira - SP e PR. In: Congresso Brasileiro de Geologia. 36. Natal. 1990. Anais... Natal. SGB. v.3. p.1254-1266.
- TRESCASES, J.J. - 1984. Análise química por espectrometria de absorção atômica. In: Técnicas Analíticas Instrumentais Aplicadas à Geologia. C.B.Gomes (Coord.). Ed. Edgar Blücher. São Paulo. p.46-82.
- TUKEY, J.W. - 1977. Exploration Data Analysis. Reading. Addison. Wesley. Massachusetts. 1977.

- VALENTE, J. - 1980. Avaliação geoestatística com parametrização da jazida fosfática de Anitápolis. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 31, Camburiú, 1980. Anais... Camburiú, SGB, v.2. p.1243-1257.
- YAMAMOTO, J.K. - 1992. Geoestatística aplicada. Apostila do curso de pós-graduação. 182p.(inédito).
- YAMAMOTO, J.K. - 1992a. O método da ponderação pelo inverso da potência da distância aperfeiçoado para avaliação de blocos (no prelo).
- YAMAMOTO, J.K. - 1991. Comparação de métodos computacionais para avaliação de reservas: um estudo de caso na Jazida de cobre de Chapada, GO. São Paulo. 175p. (Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Geociências - USP) (inédito).
- YAMAMOTO, J.K. & BETTENCOURT, J. - 1992. Avaliação de Reservas. Apostila do curso de pós-graduação. 113p.(inédito)
- WOBER, H.H. & MORGAN, P.J. - 1993. Classification of ore reserves based on geostatistical and economic parameters. CIM Bulletin. 966(86):73-76.

ANEXO 1

FURO	NORTE	ESTE	COTA	DIR.	MERG.	PROF.MÁX.
FSC-49	706926.20	7256243.50	488.67	0.0	-90.0	33.50
FURO	DE	PARA	Pb(%)	Zn(%)	Ag (ppm)	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA
FSC-49	0.00	22.00	0.000	0.000	0.000	QUARTZO M. BIOTITA XISTO
FSC-49	22.00	22.50	0.230	0.770	17.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-49	22.50	23.00	0.620	0.800	18.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-49	23.00	23.50	1.400	2.620	49.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-49	23.50	24.00	1.130	1.230	25.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-49	24.00	24.50	1.390	1.220	27.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-49	24.50	25.00	1.200	0.690	22.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-49	25.00	25.50	0.920	0.380	14.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-49	25.50	26.00	0.038	0.018	3.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-49	26.00	26.50	0.035	0.180	0.900	CALCIOSILICÁTICA
FSC-49	26.50	32.50	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-49	32.50	33.50	0.000	0.000	0.000	QUARTZITO
FSC-51	706911.56	7256182.80	500.31	0.0	-90.0	32.00
FSC-51	0.00	21.00	0.000	0.000	0.000	QUARTZO M. BIOTITA XISTO
FSC-51	21.00	24.00	0.000	0.000	0.000	ANFIBOLIO BIOTITA XISTO
FSC-51	24.00	24.50	6.210	6.480	13.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-51	24.50	25.00	14.020	9.480	17.900	ZONA MINERALIZADA
FSC-51	25.00	25.50	2.120	3.200	48.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-51	25.50	26.00	0.930	0.640	17.000	ANFIBOLIO BIOTITA XISTO
FSC-51	26.00	26.50	0.019	0.043	1.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-51	26.50	30.50	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-51	30.50	32.00	0.000	0.000	0.000	QUARTZITO
FSC-53	706963.50	7256180.84	515.64	0.0	-90.0	47.50
FSC-53	0.00	8.00	0.000	0.000	0.000	QUARTZO M. BIOTITA XISTO
FSC-53	8.00	15.80	0.000	0.000	0.000	ANFIBOLITO
FSC-53	15.80	28.00	0.000	0.000	0.000	QUARTZO M. BIOTITA XISTO
FSC-53	28.00	32.50	0.000	0.000	0.000	BIOTITA ANFIBOLIO XISTO
FSC-53	32.50	33.00	0.046	0.370	2.000	BIOTITA ANFIBOLIO XISTO
FSC-53	33.00	33.50	0.240	0.180	9.000	BIOTITA ANFIBOLIO XISTO
FSC-53	33.50	34.00	1.860	2.580	42.000	BIOTITA ANFIBOLIO XISTO
FSC-53	34.00	34.50	2.450	2.740	78.000	BIOTITA ANFIBOLIO XISTO
FSC-53	34.50	35.00	1.040	1.460	87.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-53	35.00	35.50	0.550	0.320	34.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-53	35.50	36.00	1.330	0.052	62.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-53	36.00	36.50	0.041	0.014	5.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-53	36.50	37.00	0.530	0.320	25.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-53	37.00	37.50	1.850	1.420	66.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-53	37.50	38.00	0.970	0.100	33.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-53	38.00	38.50	1.060	1.670	24.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-53	38.50	39.00	7.790	8.580	69.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-53	39.00	39.50	2.560	2.590	32.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-53	39.50	40.00	1.430	1.130	5.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-53	40.00	40.50	0.230	0.084	22.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-53	40.50	46.00	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-53	46.00	47.50	0.000	0.000	0.000	QUARTZITO

FSC-54	707012.86	7256184.20528.53	0.0	-90.0	64.20	
FSC-54	0.00	33.20	0.000	0.000	0.000	QUARTZO B. MUSCOVITA XISTO
FSC-54	33.20	34.00	0.000	0.000	0.000	ANFIBOLITO
FSC-54	34.00	51.00	0.000	0.000	0.000	ANFIBOLIO Q. BIOTITA XISTO
FSC-54	51.00	51.50	0.900	0.230	16.000	ANFIBOLIO Q. BIOTITA XISTO
FSC-54	51.50	52.00	1.370	1.490	19.000	ANFIBOLIO Q. BIOTITA XISTO
FSC-54	52.00	52.50	4.930	1.570	97.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-54	52.50	53.00	1.610	1.270	69.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-54	53.00	53.50	5.810	3.740	24.500	ZONA MINERALIZADA
FSC-54	53.50	54.00	0.640	0.740	13.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-54	54.00	54.50	2.150	3.019	45.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-54	54.50	55.00	4.150	5.880	72.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-54	55.00	55.50	3.200	7.740	83.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-54	55.50	56.00	1.350	2.600	31.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-54	56.00	56.50	2.034	2.980	45.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-54	56.50	57.00	4.320	2.830	65.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-54	57.00	57.50	0.280	0.250	8.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-54	57.50	62.75	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-54	62.75	64.20	0.000	0.000	0.000	QUARTZITO
FSC-55	707066.83	7256178.45544.17	0.0	-90.0	78.30	
FSC-55	0.00	46.50	0.000	0.000	0.000	QUARTZO B. MUSCOVITA XISTO
FSC-55	46.50	54.70	0.000	0.000	0.000	BIOTITA Q. ANFIBOLIO XISTO
FSC-55	54.70	55.20	0.110	0.048	7.000	BIOTITA Q. ANFIBOLIO XISTO
FSC-55	55.20	55.70	1.510	1.550	22.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-55	55.70	56.20	0.240	0.380	8.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-55	56.20	56.70	0.230	0.780	10.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-55	56.70	57.20	0.720	0.950	19.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-55	57.20	57.70	0.038	0.018	8.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-55	57.70	58.20	0.073	0.021	8.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-55	58.20	58.70	0.860	0.017	17.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-55	58.70	59.20	0.340	0.010	9.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-55	59.20	77.70	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-55	77.70	78.30	0.000	0.000	0.000	QUARTZITO
FSC-56	706991.18	7256221.71514.31	0.0	-90.0	54.00	
FSC-56	0.00	36.10	0.000	0.000	0.000	QUARTZO M. BIOTITA XISTO
FSC-56	36.10	41.90	0.000	0.000	0.000	BIOTITA A.Q.(MUSC.) XISTO
FSC-56	41.90	42.50	3.300	3.740	65.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-56	42.50	43.00	0.520	0.580	14.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-56	43.00	43.50	2.490	2.140	46.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-56	43.50	44.00	3.600	2.690	56.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-56	44.00	44.50	0.780	1.130	24.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-56	44.50	45.00	1.280	0.350	34.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-56	45.00	45.50	4.120	2.790	46.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-56	45.50	46.00	4.730	4.320	17.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-56	46.00	46.50	6.640	5.630	63.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-56	46.50	47.00	4.820	4.320	75.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-56	47.00	47.50	3.650	1.950	91.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-56	47.50	48.00	1.480	0.750	18.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-56	48.00	48.50	1.000	0.860	13.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-56	48.50	49.00	0.072	0.084	3.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-56	49.00	52.40	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-56	52.40	54.00	0.000	0.000	0.000	QUARTZITO

FSC-57	707043.46	7256223.00533.25	0.0	-90.0	77.46	
FSC-57	0.00	31.00	0.000	0.000	0.000	QUARTZO B. MUSCOVITA XISTO
FSC-57	31.00	39.00	0.000	0.000	0.000	ANFIBOLITO
FSC-57	39.00	47.40	0.000	0.000	0.000	ANFIBOLIO B. QUARTZO XISTO
FSC-57	47.40	58.50	0.000	0.000	0.000	ANFIBOLIO B. QUARTZO XISTO
FSC-57	58.50	59.00	1.100	1.380	29.000	ANFIBOLIO B. QUARTZO XISTO
FSC-57	59.00	59.50	2.300	1.250	56.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-57	59.50	60.00	0.510	0.190	19.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-57	60.00	60.50	0.360	0.060	8.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-57	60.50	61.00	0.130	0.021	5.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-57	61.00	61.50	0.057	0.017	5.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-57	61.50	62.00	1.630	0.600	63.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-57	62.00	62.50	1.170	1.280	35.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-57	62.50	63.00	0.037	0.021	51.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-57	63.00	63.50	1.540	1.810	8.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-57	63.50	64.00	0.180	0.072	16.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-57	64.00	64.50	1.470	3.330	48.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-57	64.50	65.00	0.360	2.280	27.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-57	65.00	65.50	3.310	4.660	73.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-57	65.50	66.00	0.310	0.830	47.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-57	66.00	66.50	2.630	2.400	64.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-57	66.50	67.00	0.910	0.290	16.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-57	67.00	67.50	0.038	0.019	1.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-57	67.50	68.00	0.019	0.011	1.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-57	68.00	74.75	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-57	74.75	77.46	0.000	0.000	0.000	QUARTZITO

FSC-58	707019.73	7256267.56510.36	0.0	-90.0	55.20	
FSC-58	0.00	27.20	0.000	0.000	0.000	QUARTZO B. (MUSC.) XISTO
FSC-58	27.20	40.00	0.000	0.000	0.000	QUARTZO B. ANFIBOLIO XISTO
FSC-58	40.00	40.50	3.280	4.620	89.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-58	40.50	41.00	1.090	3.280	31.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-58	41.00	41.50	2.810	5.190	53.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-58	41.50	42.00	4.140	4.510	78.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-58	42.00	42.50	5.150	5.500	89.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-58	42.50	43.00	2.890	1.850	55.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-58	43.00	43.50	0.560	0.900	34.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-58	43.50	44.00	1.060	0.740	24.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-58	44.00	44.50	5.120	2.790	51.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-58	44.50	45.00	3.030	4.830	94.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-58	45.00	45.50	2.200	3.180	25.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-58	45.50	46.00	2.820	1.200	31.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-58	46.00	46.50	3.050	2.390	50.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-58	46.50	47.00	1.540	0.270	17.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-58	47.00	47.50	0.170	0.035	7.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-58	47.50	53.00	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-58	53.00	55.20	0.000	0.000	0.000	QUARTZITO

FSC-59	707099.80	7256308.94493.97	0.0	-90.0	45.20	
FSC-59	0.00	20.00	0.000	0.000	0.000	QUARTZO B. MUSCOVITA XISTO
FSC-59	20.00	28.00	0.000	0.000	0.000	ANFIBOLIO B. QUARTZO XISTO
FSC-59	28.00	28.50	0.970	0.980	41.000	ANFIBOLIO B. QUARTZO XISTO
FSC-59	28.50	29.00	1.860	2.050	33.800	ZONA MINERALIZADA
FSC-59	29.00	29.50	10.150	6.760	43.100	ZONA MINERALIZADA
FSC-59	29.50	30.00	1.800	1.240	20.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-59	30.00	30.50	0.760	1.440	35.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-59	30.50	31.00	1.720	0.830	33.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-59	31.00	31.50	0.370	1.440	11.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-59	31.50	32.00	1.310	0.440	44.000	CALCIOSILICÁTICA

FSC-59	32.00	32.50	4.180	5.730	68.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-59	32.50	33.00	6.380	3.800	83.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-59	33.00	33.50	2.090	1.770	22.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-59	33.50	34.00	1.720	3.180	22.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-59	34.00	34.50	1.400	1.940	13.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-59	34.50	35.00	0.560	0.022	7.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-59	35.00	44.15	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-59	44.15	45.00	0.000	0.000	0.000	QUARTZITO
FSC-60	707048.27	7256311.71492.84	0.0	-90.0	39.10	
FSC-60	0.00	17.70	0.000	0.000	0.000	QUARTZO B.M.MAGNETITA XISTO
FSC-60	17.70	25.00	0.000	0.000	0.000	ANFIBOLIO Q.B.(MUSC.) XISTO
FSC-60	25.00	25.50	3.700	7.070	74.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-60	25.50	26.00	4.460	5.250	77.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-60	26.00	26.50	4.110	5.620	73.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-60	26.50	27.00	5.590	6.160	96.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-60	27.00	27.50	6.550	6.790	99.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-60	27.50	28.00	3.460	3.380	94.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-60	28.00	28.50	1.580	1.870	11.800	ZONA MINERALIZADA
FSC-60	28.50	29.00	5.330	3.490	42.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-60	29.00	29.50	2.180	1.450	46.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-60	29.50	30.00	3.350	1.790	36.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-60	30.00	30.50	1.580	1.710	32.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-60	30.50	31.00	0.930	0.220	24.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-60	31.00	38.30	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-60	38.30	39.10	0.000	0.000	0.000	QUARTZITO
FSC-61	706939.84	7256225.13494.30	0.0	-90.0	32.00	
FSC-61	0.00	15.00	0.000	0.000	0.000	QUARTZO M. BIOTITA XISTO
FSC-61	15.00	21.50	0.000	0.000	0.000	ANFIBOLIO B.(MUSC.) XISTO
FSC-61	21.50	22.00	0.039	0.051	16.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-61	22.00	22.50	3.230	7.370	53.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-61	22.50	23.00	1.900	2.250	41.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-61	23.00	23.50	2.810	2.920	43.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-61	23.50	24.00	1.850	1.560	53.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-61	24.00	24.50	0.520	0.760	31.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-61	24.50	25.00	2.760	3.940	49.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-61	25.00	25.50	4.210	4.480	58.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-61	25.50	26.00	3.540	0.620	41.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-61	26.00	26.50	2.420	1.210	44.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-61	26.50	27.00	0.022	0.015	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-61	27.00	27.50	0.012	0.011	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-61	27.50	30.90	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-61	30.90	32.00	0.000	0.000	0.000	QUARTZITO
FSC-62	707072.26	7256266.79500.76	0.0	-90.0	48.89	
FSC-62	0.00	17.00	0.000	0.000	0.000	QUARTZO B. M. GRANADA XISTO
FSC-62	17.00	26.50	0.000	0.000	0.000	ANFIBOLIO B. QUARTZO XISTO
FSC-62	26.50	27.00	1.710	2.700	37.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-62	27.00	27.50	6.660	6.110	10.400	ZONA MINERALIZADA
FSC-62	27.50	28.00	1.070	1.120	18.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-62	28.00	28.50	0.440	1.120	13.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-62	28.50	29.00	0.880	1.280	6.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-62	29.00	29.50	0.970	0.680	16.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-62	29.50	30.00	0.490	0.370	8.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-62	30.00	30.50	0.690	0.590	11.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-62	30.50	31.00	0.900	0.330	33.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-62	31.00	31.50	0.840	0.530	21.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-62	31.50	32.00	2.600	4.240	11.300	ZONA MINERALIZADA

FSC-62	32.00	32.50	1.100	1.140	29.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-62	32.50	33.00	4.730	3.330	69.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-62	33.00	33.50	1.570	1.640	29.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-62	33.50	34.00	2.000	2.550	37.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-62	34.00	34.50	1.380	1.420	30.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-62	34.50	35.00	0.220	0.094	6.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-62	35.00	35.50	0.880	0.630	15.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-62	35.50	36.00	1.210	0.600	14.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-62	36.00	46.80	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-62	46.80	48.89	0.000	0.000	0.000	QUARTZITO
FSC-63	706967.60	7256267.00	502.20	0.0	-90.0	43.50
FSC-63	0.00	16.00	0.000	0.000	0.000	QUARTZO M. B. GRANADA XISTC
FSC-63	16.00	28.70	0.000	0.000	0.000	QUARTZO A.B.E.(FLOG.) XISTO
FSC-63	28.70	30.00	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-63	30.00	30.50	0.078	0.046	8.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-63	30.50	31.00	0.046	0.039	3.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-63	31.00	31.50	5.740	9.047	16.600	ZONA MINERALIZADA
FSC-63	31.50	32.00	4.300	4.910	84.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-63	32.00	32.50	7.590	7.830	15.600	ZONA MINERALIZADA
FSC-63	32.50	33.00	2.760	3.720	95.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-63	33.00	33.50	0.410	5.270	8.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-63	33.50	34.00	2.810	5.730	85.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-63	34.00	34.50	2.480	8.590	48.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-63	34.50	35.00	2.140	1.260	45.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-63	35.00	35.50	2.091	0.770	31.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-63	35.50	36.00	6.800	0.700	13.400	ZONA MINERALIZADA
FSC-63	36.00	36.50	5.016	0.044	46.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-63	36.50	37.00	3.260	0.056	50.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-63	37.00	37.50	0.290	0.012	26.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-63	37.50	38.00	0.790	0.024	5.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-63	38.00	42.30	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-63	42.30	43.50	0.000	0.000	0.000	QUARTZITO
FSC-64	707123.91	7256264.43	513.53	0.0	-90.0	54.50
FSC-64	0.00	11.50	0.000	0.000	0.000	QUARTZO M.(BIOT.) GRAN.XISTC
FSC-64	11.50	14.00	0.000	0.000	0.000	ANFIBOLITO
FSC-64	14.00	39.00	0.000	0.000	0.000	QUARTZO A.B.(FLOG:EPID)XISTO
FSC-64	39.00	39.50	1.024	1.370	28.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-64	39.50	40.00	2.940	3.680	59.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-64	40.00	40.50	1.240	1.092	46.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-64	40.50	41.00	0.580	0.018	12.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-64	41.00	41.50	0.079	0.170	4.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-64	41.50	42.00	0.870	0.160	14.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-64	42.00	42.50	0.770	0.500	24.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-64	42.50	43.00	0.044	0.026	2.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-64	43.00	43.50	2.900	2.870	45.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-64	43.50	44.00	3.900	4.620	36.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-64	44.00	44.50	1.340	0.270	24.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-64	44.50	45.00	2.540	2.120	47.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-64	45.00	45.50	0.160	0.100	8.000	CALCOSSILICATADO
FSC-64	45.50	53.30	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-64	53.30	54.50	0.000	0.000	0.000	QUARTZITO
FSC-65	707076.24	7256352.87	483.69	0.0	-90.0	44.90
FSC-65	0.00	27.40	0.000	0.000	0.000	QUARTZO A.B.(FLOG:EPID)XISTO
FSC-65	27.40	29.50	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-65	29.50	30.00	2.240	4.970	60.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-65	30.00	30.50	1.870	2.840	27.000	ZONA MINERALIZADA

FSC-65	30.50	31.00	5.090	6.400	11.200	ZONA MINERALIZADA
FSC-65	31.00	31.50	4.380	4.630	79.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-65	31.50	32.00	3.510	3.370	94.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-65	32.00	32.50	1.400	1.350	49.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-65	32.50	33.00	3.060	2.490	55.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-65	33.00	33.50	1.520	0.160	63.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-65	33.50	34.00	1.800	1.570	89.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-65	34.00	34.50	1.790	0.770	22.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-65	34.50	35.00	0.350	0.210	23.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-65	35.00	35.50	1.330	0.230	26.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-65	35.50	36.00	0.020	0.016	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-65	36.00	43.40	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-65	43.40	44.90	0.000	0.000	0.000	QUARTZITO
FSC-66	706886.46	7256139.49	493.23	0.0	-90.0	19.30
FSC-66	0.00	18.00	0.000	0.000	0.000	SOLO
FSC-66	18.00	19.30	0.000	0.000	0.000	QUARTZITO
FSC-67	706888.34	7256226.36	488.29	0.0	-90.0	30.75
FSC-67	0.00	14.00	0.000	0.000	0.000	QUARTZO MICA XISTO
FSC-67	14.00	18.50	0.000	0.000	0.000	QUARTZO ANFIBOLIO MICA XIST
FSC-67	18.52	25.50	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-67	25.50	26.00	2.030	1.430	17.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-67	26.00	26.50	0.770	0.530	13.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-67	26.50	27.00	0.096	0.015	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-67	27.00	27.50	0.027	0.018	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-67	27.50	28.00	0.041	0.014	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-67	28.00	30.15	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-67	30.15	30.75	0.000	0.000	0.000	QUARTZITO
FSC-68	706879.48	7256182.41	491.00	0.0	-90.0	31.95
FSC-68	0.00	24.50	0.000	0.000	0.000	FRAGMENTOS DE MICA XISTO
FSC-68	24.50	31.00	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-68	31.00	31.95	0.000	0.000	0.000	QUARTZITO
FSC-70	706936.22	7256137.76	508.44	0.0	-90.0	32.28
FSC-70	0.00	12.00	0.000	0.000	0.000	QUARTZO M. BIOTITA XISTO
FSC-70	12.00	21.00	0.000	0.000	0.000	QUARTZO B. ANFIBOLIO XISTO
FSC-70	21.00	24.00	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-70	24.00	24.82	1.940	2.520	40.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-70	24.82	25.64	0.480	0.650	12.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-70	25.64	26.00	1.400	2.330	18.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-70	26.00	26.50	0.030	0.030	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-70	26.50	27.00	0.140	0.010	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-70	27.00	31.20	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-70	31.20	32.28	0.000	0.000	0.000	QUARTZITO
FSC-72	706947.88	7256116.62	514.17	0.0	-90.0	34.30
FSC-72	0.00	14.00	0.000	0.000	0.000	QUARTZO M. BIOTITA XISTO
FSC-72	14.00	21.00	0.000	0.000	0.000	LAMPROFIRO COM CALCITA
FSC-72	21.00	33.85	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-72	33.85	34.30	0.000	0.000	0.000	QUARTZITO
FSC-73	706975.26	7256159.28	527.07	0.0	-90.0	56.90
FSC-73	0.00	18.50	0.000	0.000	0.000	QUARTZO M. B. GRANADA XISTO
FSC-73	18.52	24.50	0.000	0.000	0.000	ANFIBOLITO
FSC-73	24.50	43.00	0.000	0.000	0.000	QUARTZO B. A. (EPID.) XISTO
FSC-73	43.00	43.50	1.750	1.320	29.000	QUARTZO B. A. (EPID.) XISTO
FSC-73	43.50	44.00	0.210	0.420	6.000	QUARTZO B. A. (EPID.) XISTO

FSC-73	44.00	44.50	1.050	0.052	27.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-73	44.50	45.00	0.880	0.680	19.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-73	45.00	45.50	2.370	4.440	58.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-73	45.50	46.00	4.490	3.060	88.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-73	46.00	46.50	2.230	0.780	40.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-73	46.50	47.00	2.000	0.400	39.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-73	47.00	47.50	2.540	2.500	48.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-73	47.50	48.00	1.290	2.090	24.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-73	48.00	48.50	1.670	1.970	37.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-73	48.50	49.00	0.820	1.630	20.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-73	49.00	49.50	3.720	3.590	54.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-73	49.50	50.00	2.480	0.700	29.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-73	50.00	50.50	0.020	0.009	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-73	50.50	56.00	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-73	56.00	56.90	0.000	0.000	0.000	QUARTZITO
FSC-75	706986.24	7256136.26533.14	0.0	-90.0	60.50	
FSC-75	0.00	26.00	0.000	0.000	0.000	QUARTZO M. BIOTITA XISTO
FSC-75	26.00	30.50	0.000	0.000	0.000	ANFIBOLITO
FSC-75	30.53	38.50	0.000	0.000	0.000	QUARTZO B. MUSCOVITA XISTO
FSC-75	38.50	48.50	0.000	0.000	0.000	QUARTZO B. A.(EPIDOTO) XISTO
FSC-75	48.50	49.00	0.260	0.450	5.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-75	49.00	49.50	0.580	0.900	11.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-75	49.50	50.00	1.600	3.140	30.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-75	50.00	50.50	4.220	5.810	66.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-75	50.50	51.00	2.790	3.370	45.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-75	51.00	51.50	0.830	0.760	11.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-75	51.50	52.00	0.780	0.480	7.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-75	52.00	59.60	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-75	59.60	60.50	0.000	0.000	0.000	QUARTZITO
FSC-76	707207.92	7256393.03486.89	0.0	-90.0	61.40	
FSC-76	0.00	32.00	0.000	0.000	0.000	QUARTZO B. MUSCOVITA XISTO
FSC-76	32.00	42.50	0.000	0.000	0.000	QUARTZO B. ANF. EPID. XISTO
FSC-76	42.50	43.00	0.013	0.024	4.000	QUARTZO B. ANF. EPID. XISTO
FSC-76	43.00	43.50	0.110	0.060	3.000	QUARTZO B. ANF. EPID. XISTO
FSC-76	43.50	44.00	2.830	3.430	55.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-76	44.00	44.50	3.800	3.550	77.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-76	44.50	45.00	5.650	4.710	96.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-76	45.00	45.50	7.670	6.380	16.600	ZONA MINERALIZADA
FSC-76	45.50	46.00	4.500	2.920	90.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-76	46.00	46.50	0.890	1.660	28.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-76	46.50	47.00	0.920	0.860	15.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-76	47.00	47.50	1.740	1.410	46.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-76	47.50	60.20	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-76	60.20	61.40	0.000	0.000	0.000	QUARTZITO
FSC-78	707128.04	7256351.50484.91	0.0	-90.0	48.35	
FSC-78	0.00	17.00	0.000	0.000	0.000	ANFIBOLITO
FSC-78	17.00	23.00	0.000	0.000	0.000	QUARTZO B. MUSCOVITA XISTO
FSC-78	23.00	31.00	0.000	0.000	0.000	QUARTZO B. ANF. EPID. XISTO
FSC-78	31.00	31.50	0.700	0.030	19.000	QUARTZO B. ANF. EPID. XISTO
FSC-78	31.50	32.00	1.330	0.030	22.000	QUARTZO B. ANF. EPID. XISTO
FSC-78	32.00	32.50	0.050	0.010	1.000	QUARTZO B. ANF. EPID. XISTO
FSC-78	32.50	33.00	1.970	1.960	11.700	ZONA MINERALIZADA
FSC-78	33.00	33.50	5.620	5.670	12.800	ZONA MINERALIZADA
FSC-78	33.50	34.00	4.060	3.470	82.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-78	34.00	34.50	2.210	2.090	47.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-78	34.50	35.00	2.920	2.870	57.000	ZONA MINERALIZADA

FSC-78	35.00	35.50	0.680	0.880	25.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-78	35.50	36.00	0.580	0.560	17.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-78	36.00	36.50	1.620	2.640	29.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-78	36.50	37.00	0.480	0.790	9.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-78	37.00	37.50	5.830	3.000	62.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-78	37.50	38.00	2.840	1.310	36.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-78	38.00	38.50	2.020	2.170	35.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-78	38.50	39.00	0.910	0.560	12.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-78	39.00	39.50	1.380	1.020	15.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-78	39.50	40.00	0.020	0.020	2.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-78	40.00	46.95	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-78	46.95	48.35	0.000	0.000	0.000	QUARTZITO
FSC-79	706923.85	7256160.40	506.79	0.0	-90.0	32.00
FSC-79	0.00	13.00	0.000	0.000	0.000	QUARTZO M. B. GRANADA XISTO
FSC-79	13.00	24.00	0.000	0.000	0.000	QUARTZO B. ANF. EPID. XISTO
FSC-79	24.00	26.00	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-79	26.00	26.50	3.920	1.500	65.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-79	26.50	27.00	7.020	3.620	72.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-79	27.00	27.50	2.600	2.980	37.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-79	27.50	28.00	0.047	0.032	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-79	28.00	28.50	0.022	0.012	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-79	28.50	29.00	0.019	0.010	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-79	29.00	29.50	0.034	0.011	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-79	29.50	31.00	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-79	31.00	32.00	0.000	0.000	0.000	QUARTZITO
FSC-80	707151.32	7256307.50	506.33	0.0	-90.0	54.35
FSC-80	0.00	24.90	0.000	0.000	0.000	ANFIBOLITO
FSC-80	24.90	36.50	0.000	0.000	0.000	QUARTZO B. A. (MUSC.) XISTO
FSC-80	36.50	37.60	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-80	37.60	38.00	0.350	0.760	16.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-80	38.00	38.40	0.078	2.230	8.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-80	38.40	39.00	0.850	5.430	46.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-80	39.00	39.50	0.067	0.760	16.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-80	39.50	40.10	0.074	0.075	12.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-80	40.10	44.50	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-80	44.50	45.00	0.180	0.360	7.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-80	45.00	45.35	1.140	3.260	8.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-80	45.35	46.90	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-80	46.90	47.50	0.019	0.025	3.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-80	47.50	48.00	0.010	0.008	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-80	48.00	48.50	0.016	0.014	3.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-80	48.50	49.00	0.010	0.011	2.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-80	49.00	49.50	0.021	0.008	1.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-80	49.50	50.00	0.086	0.066	5.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-80	50.00	50.50	0.140	0.017	4.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-80	50.50	53.90	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-80	53.90	54.35	0.000	0.000	0.000	QUARTZITO
FSC-81	706951.79	7256203.02	502.89	0.0	-90.0	38.30
FSC-81	0.00	17.00	0.000	0.000	0.000	QUARTZO M.B. (GRAN. MAGN.) XISTO
FSC-81	17.00	25.60	0.000	0.000	0.000	QUARTZO B. ANF. (EPID) XISTO
FSC-81	25.60	26.00	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-81	26.00	26.50	0.030	0.035	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-81	26.50	27.00	0.022	0.072	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-81	27.00	27.50	2.100	3.500	10.300	ZONA MINERALIZADA
FSC-81	27.50	28.00	2.450	3.730	81.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-81	28.00	28.50	9.210	9.180	21.200	ZONA MINERALIZADA

FSC-81	28.50	29.00	1.030	1.230	31.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-81	29.00	29.50	0.860	1.580	29.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-81	29.50	30.00	3.330	2.920	73.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-81	30.00	30.50	1.760	1.150	43.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-81	30.50	31.00	3.310	1.940	67.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-81	31.00	31.50	1.650	1.120	39.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-81	31.50	32.00	6.650	7.240	14.600	ZONA MINERALIZADA
FSC-81	32.00	32.50	2.770	2.420	59.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-81	32.50	33.00	0.990	1.090	20.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-81	33.00	33.50	0.330	0.089	7.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-81	33.50	34.00	0.036	0.022	1.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-81	34.00	37.40	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-81	37.40	38.30	0.000	0.000	0.000	QUARTZITO
FSC-82	707026.63	7256157.90535.31	0.0	-90.0	29.70	
FSC-82	0.00	13.00	0.000	0.000	0.000	FRAGM. DE ANFIBOLITO
FSC-82	13.00	29.70	0.000	0.000	0.000	QUARTZO M.B.(MAGN;GRAN)XIS
FSC-84	707179.39	7256350.26495.99	0.0	-90.0	57.20	
FSC-84	0.00	28.00	0.000	0.000	0.000	ANFIBOLITO
FSC-84	28.00	31.50	0.000	0.000	0.000	QUARTZO M. B. GRAN. XISTO
FSC-84	31.50	41.60	0.000	0.000	0.000	QUARTZO ANF. MICA XISTO
FSC-84	41.60	42.20	0.430	0.160	13.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-84	42.20	42.50	2.040	2.880	72.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-84	42.50	43.00	7.330	5.250	10.500	ZONA MINERALIZADA
FSC-84	43.00	43.50	0.810	1.310	40.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-84	43.50	44.00	1.820	3.450	32.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-84	44.00	44.50	1.650	2.320	40.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-84	44.50	45.00	0.032	0.030	6.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-84	45.00	45.50	0.500	0.230	13.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-84	45.50	46.00	0.500	1.050	10.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-84	46.00	46.50	0.220	1.640	5.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-84	46.50	47.00	0.430	0.550	11.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-84	47.00	47.50	2.670	4.690	54.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-84	47.50	48.00	0.110	0.014	3.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-84	48.00	48.50	0.026	0.008	4.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-84	48.50	56.60	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-84	56.60	57.20	0.000	0.000	0.000	QUARTZITO
FSC-86	707156.81	7256394.72478.94	0.0	-90.0	53.25	
FSC-86	0.00	17.60	0.000	0.000	0.000	ANFIBOLITO
FSC-86	17.60	29.60	0.000	0.000	0.000	QUARTZO M.B.(MAGN;GRAN)XIS
FSC-86	29.60	34.20	0.000	0.000	0.000	QUARTZO B.A.(FLOG;EPID)XISTO
FSC-86	34.20	37.00	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-86	37.00	37.50	0.100	0.018	5.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-86	37.50	37.90	0.028	0.028	2.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-86	37.90	38.50	2.160	1.800	60.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-86	38.50	39.00	3.820	4.770	49.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-86	39.00	39.50	6.440	5.780	72.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-86	39.50	40.00	6.380	5.780	92.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-86	40.00	40.50	3.770	4.110	56.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-86	40.50	41.00	3.830	9.970	71.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-86	41.00	41.50	2.170	2.400	57.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-86	41.50	42.00	1.220	1.880	25.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-86	42.00	42.50	3.790	2.190	69.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-86	42.50	43.00	0.610	0.150	15.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-86	43.00	43.50	1.250	1.900	24.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-86	43.50	44.00	1.470	0.780	23.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-86	44.00	44.50	0.940	1.040	19.000	CALCIOSILICÁTICA

FSC-86	44.50	45.00	0.550	0.310	9.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-86	45.00	45.50	0.035	0.019	3.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-86	45.50	52.50	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-86	52.50	53.25	0.000	0.000	0.000	QUARTZITO
FSC-87	707104.96	7256396.17473.14	0.0	-90.0	41.40	
FSC-87	0.00	9.00	0.000	0.000	0.000	QUARTZO MICA XISTO
FSC-87	9.00	16.00	0.000	0.000	0.000	ANFIBOLITO
FSC-87	16.00	26.90	0.000	0.000	0.000	QUARTZO M. B. MAGN. XISTO
FSC-87	26.90	29.50	0.000	0.000	0.000	QUARTZO A.B.G.(MUSC) XISTO
FSC-87	29.50	30.00	0.061	0.061	3.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-87	30.00	30.50	0.050	0.039	2.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-87	30.50	31.00	0.200	0.045	10.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-87	31.00	31.50	0.930	1.140	51.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-87	31.50	32.00	0.240	0.840	6.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-87	32.00	32.50	0.930	1.720	39.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-87	32.50	33.00	1.056	0.260	40.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-87	33.00	33.50	0.028	0.017	6.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-87	33.50	34.00	0.021	0.008	3.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-87	34.00	34.50	0.028	0.016	3.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-87	34.50	35.00	0.150	0.087	6.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-87	35.00	35.50	0.240	0.120	8.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-87	35.50	36.00	1.640	1.470	31.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-87	36.00	36.50	0.420	0.680	13.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-87	36.50	41.00	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-87	41.00	41.40	0.000	0.000	0.000	QUARTZITO
FSC-88	707184.80	7256438.03476.14	0.0	-90.0	57.50	
FSC-88	0.00	41.00	0.000	0.000	0.000	QUARTZO MICA XISTO
FSC-88	41.00	44.00	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-88	44.00	44.50	0.230	0.021	2.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-88	44.60	45.50	0.090	0.019	2.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-88	45.50	45.90	0.021	0.019	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-88	45.90	46.60	0.062	0.016	1.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-88	46.60	47.00	0.037	0.048	1.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-88	47.00	47.40	5.100	5.830	13.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-88	47.40	47.80	0.230	0.280	3.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-88	47.80	48.30	0.360	0.220	3.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-88	48.30	49.00	0.170	0.073	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-88	49.00	49.50	0.800	0.190	2.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-88	49.50	50.00	0.410	0.077	5.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-88	50.00	50.30	0.140	0.140	6.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-88	50.30	50.60	0.400	0.100	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-88	50.60	51.00	1.320	0.500	3.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-88	51.00	51.50	2.600	1.150	5.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-88	51.50	51.90	0.063	0.076	5.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-88	51.90	56.30	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-88	56.30	57.50	0.000	0.000	0.000	QUARTZITO
FSC-89	706996.35	7256311.59491.48	0.0	-90.0	35.54	
FSC-89	0.00	16.00	0.000	0.000	0.000	QUARTZO M. B. MAGN. XISTO
FSC-89	16.00	19.50	0.000	0.000	0.000	QUARTZO A. B. (MUSC) XISTO
FSC-89	19.50	21.50	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-89	21.50	22.00	0.280	0.020	8.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-89	22.00	22.50	4.120	0.011	56.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-89	22.50	23.00	1.570	0.015	32.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-89	23.00	23.40	2.180	0.024	40.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-89	23.40	23.80	0.610	0.052	18.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-89	23.80	24.30	0.690	2.140	23.000	CALCIOSILICÁTICA

FSC-89	24.30	24.80	1.620	7.660	69.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-89	24.80	25.30	1.350	4.230	26.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-89	25.30	25.80	2.450	4.540	64.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-89	25.80	26.30	2.190	2.030	54.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-89	26.30	26.80	2.050	2.240	46.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-89	26.80	27.30	5.890	7.260	64.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-89	27.30	27.80	1.900	0.790	35.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-89	27.80	28.30	1.710	1.140	37.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-89	28.30	28.80	0.063	0.010	7.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-89	28.80	35.00	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-89	35.00	35.54	0.000	0.000	0.000	QUARTZITO
FSC-90	707144.23	7256416.56	471.84	0.0	-90.0	48.45
FSC-90	0.00	24.00	0.000	0.000	0.000	FRAGM. DE ANFIBOLITO
FSC-90	24.00	33.00	0.000	0.000	0.000	QUARTZO M. B. (MAGN) XISTO
FSC-90	33.00	38.00	0.000	0.000	0.000	ANFIBOLIO Q.B.(EPIDOTO)XISTO
FSC-90	38.00	38.75	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-90	38.75	39.25	0.560	0.690	27.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-90	39.25	39.75	1.950	2.390	50.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-90	39.75	40.25	2.660	2.630	65.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-90	40.25	40.75	5.040	2.830	10.500	ZONA MINERALIZADA
FSC-90	40.75	41.25	2.400	1.360	82.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-90	41.25	41.75	5.210	1.750	17.200	ZONA MINERALIZADA
FSC-90	41.75	42.25	0.160	0.064	13.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-90	42.25	42.75	0.120	0.050	7.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-90	42.75	43.25	0.014	0.096	4.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-90	43.25	46.15	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-90	46.15	48.45	0.000	0.000	0.000	QUARTZITO
FSC-91	707191.43	7256329.14	500.55	0.0	-90.0	69.00
FSC-91	0.00	8.50	0.000	0.000	0.000	SOLO DE MICA XISTO
FSC-91	8.50	21.50	0.000	0.000	0.000	SOLO DE ANFIBOLITO
FSC-91	21.50	27.00	0.000	0.000	0.000	QUARTZO B. M. XISTO
FSC-91	27.00	37.00	0.000	0.000	0.000	QUARTZO A. B. M. XISTO
FSC-91	37.00	37.50	0.087	0.054	6.000	QUARTZO A. B. M. XISTO
FSC-91	37.50	38.00	0.023	0.024	2.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-91	38.00	38.50	0.014	0.036	2.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-91	38.50	39.00	0.120	0.032	3.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-91	39.00	39.50	0.064	0.027	4.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-91	39.50	39.70	0.200	0.054	7.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-91	39.70	68.50	0.000	0.000	0.000	LAMPROFIRO
FSC-91	68.50	69.00	0.000	0.000	0.000	QUARTZITO
FSC-92	706984.90	7256333.26	479.62	0.0	-90.0	21.15
FSC-92	0.00	12.00	0.000	0.000	0.000	QUARTZO M. B. MAGN. XISTO
FSC-92	12.00	14.50	0.000	0.000	0.000	QUARTZO A. B. (MUSC) XISTO
FSC-92	14.50	15.00	0.050	0.029	2.000	QUARTZO A. B. (MUSC) XISTO
FSC-92	15.00	15.50	0.039	0.016	2.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-92	15.50	16.00	1.800	1.040	26.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-92	16.00	16.50	1.060	1.590	39.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-92	16.50	17.00	4.810	4.390	47.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-92	17.00	17.50	0.790	0.660	76.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-92	17.50	18.00	0.019	0.008	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-92	18.00	21.10	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-92	21.10	21.15	0.000	0.000	0.000	CALC/QUARTZITO

FSC-98	707219.19	7256370.91491.88	0.0	-90.0	60.85	
FSC-98	0.00	30.00	0.000	0.000	0.000	QUARTZO MICA XISTO
FSC-98	30.00	39.75	0.000	0.000	0.000	BIOTITA Q. ANFIBOLIO XISTO
FSC-98	39.75	41.50	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-98	41.50	42.00	0.160	0.027	5.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-98	42.00	42.50	0.490	0.027	8.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-98	42.50	43.00	0.390	1.750	21.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-98	43.00	43.50	0.370	0.140	26.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-98	43.50	44.00	1.670	6.470	53.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-98	44.00	44.50	1.500	2.440	28.000	ZONA MINERALIZADA
FSC-98	44.50	45.00	1.770	1.470	36.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-98	45.00	45.50	1.100	0.720	36.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-98	45.50	46.00	1.900	1.950	34.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-98	46.00	46.50	1.630	1.120	20.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-98	46.50	47.00	0.077	0.015	8.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-98	47.00	49.40	0.000	0.000	0.000	CALCIOSILICÁTICA
FSC-98	49.40	53.70	0.000	0.000	0.000	LAMPROFIRO
FSC-98	53.70	57.00	0.000	0.000	0.000	BRECHAS CARBONATICAS
FSC-98	57.00	59.35	0.000	0.000	0.000	LAMPROFIRO
FSC-98	59.35	60.85	0.000	0.000	0.000	QUARTZITO