

AVALIAÇÃO DE RESERVAS POR MÉTODOS CONVENCIONAIS: UM ESTUDO DE CASO NA MINA DE CANOAS 2 (PR)

R.P.Conde¹ & J.K.Yamamoto²

PALAVRAS-CHAVE: avaliação de reservas, métodos convencionais, pesquisa mineral.

CONDE, R.P.; YAMAMOTO, J.K. (1995) Avaliação de reservas por métodos convencionais: um estudo de caso na Mina de Canoas 2 (PR). *Bol.IG-USP, Sér.Cient.*, 26:13-28.

RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados de um estudo desenvolvido em dados do Depósito de Canoas, a fim de calcular as reservas geológicas de Pb, Zn e Ag. Este depósito está localizado no Município de Adrianópolis, Estado do Paraná, sul do Brasil, e foi lavrado pela Plumbum Mineração e Metalurgia S.A. até 1995. O conjunto de dados utilizados neste trabalho foi obtido através de sondagem rotativa a diamante em uma malha losangular de 50 metros. Caracterizadas as zonas mineralizadas, os teores foram obtidos através da composição por litologia. O conjunto de dados foi analisado estatisticamente a fim de determinar os parâmetros estatísticos das distribuições de frequência das populações de Pb, Zn e Ag. A mesma análise foi também realizada para os dados compostos da zona mineralizada. Os resultados mostram que a composição de amostras para a zona mineralizada produziu uma distribuição mais simétrica, aproximando-se de uma distribuição normal. Os dados preparados desta maneira foram usados para calcular as reservas geológicas, por meio dos métodos convencionais. Os métodos usados foram: perfis padrão, perfis lineares, polígonos e triângulos. Os métodos convencionais aplicados no estudo não apresentaram diferenças significativas nas reservas ou teores médios calculados. A similaridade dos resultados deve-se ao tipo de depósito (estratiforme) analisado, e à sua regularidade na espessura, distribuição de teores e malha de amostragem. Isso sugere que para depósitos similares quaisquer dos métodos convencionais deveria dar uma estimativa confiável das reservas minerais.

ABSTRACT

This paper presents the results of a study carried out on exploration data from Canoas Deposit in order to compute the geological reserves of Pb, Zn, and Ag. This deposit is located in the Municipality of Adrianópolis, State of Paraná, southern Brazil, and was exploited by Plumbum Mining and Metallurgy Co. until 1995. The basic data considered in this paper come from diamond core drillings made at the nodes of a rhombic grid with a spacing of 50 meters. The mineralized zones were recognized and their grades were determined. These basic data were analyzed statistically in order to determine the statistical parameters of population distributions of Pb, Zn, and Ag. Later, the same data were averaged for the mineralized zone, and the same statistical analysis was made. The results show that the averaged samples produced a more symmetrical distribution close to a normal distribution for the mineralized zone. The data prepared in this way were used to compute the geological reserves by conventional methods, such as: standard section, linear section, triangles, and polygons. The diverse conventional methods applied in this study did not present significant differences in ore reserves or average grades. This

¹Aluna Pós-Graduanda, IG/USP.

²Departamento de Geologia Econômica e Geofísica Aplicada, Instituto de Geociências/USP, São Paulo, Brasil.

similarity in the results is due to the type of deposit (stratiform) analyzed, and to the regularity in its thickness, grade distribution and sampling grid. This suggests that for similar deposits any of the conventional methods should give a reliable estimation of ore reserves.

INTRODUÇÃO

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

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 o seu cálculo.

A avaliação de reservas é resultado da integração de diversos fatores, como: conhecimento da geologia do depósito; precisão na obtenção de parâmetros do minério (teor, espessura, densidade); determinação do comportamento destes parâmetros; e no método de cálculo. Este último item é de grande importância e vai ser função da configuração geométrica do depósito e da densidade de informações. Ou seja, a escolha do método de cálculo condiciona a exatidão da estimativa de reservas.

Os métodos para avaliação de reservas foram constantemente aperfeiçoados para produzirem 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 da evolução dos computadores, que permitiram o fácil manuseio de grande volume de dados, de maneira confiável.

Segundo Guerra (1988), os métodos para avaliação de reservas podem ser classificados em três grandes grupos: métodos convencionais, métodos estatísticos e métodos geoestatísticos.

Os métodos convencionais, baseados nos princípios de interpretação de Popoff (1966), permitem realizar o cálculo de reservas usando fatores médios ponderados (teores, espessuras e volumes), os quais são então aplicados a áreas ou volumes de influência. Ainda neste grupo, Guerra (1988) inclui o método do inverso da potência da distância, o que é discutível, uma vez que este método não pode ser calculado manualmente, dependendo de algoritmos matemáticos para a sua implementação. Os métodos estatísticos, segundo Guerra (1988), não levam em consideração o aspecto espacial, ou seja, a noção de área ou volume de influência de uma amostra, mas que as amostras devem ser escolhidas aleatoriamente no interior do depósito para que apresentem a mesma probabilidade. Ainda segundo Guerra (1988), tratam-se de métodos puramente probabilísticos que consideram processo geológico como um processo totalmente aleatório. Por fim, os métodos geoestatísticos surgiram para levar em consideração tanto as correlações espaciais entre as amostras, bem como a aleatoriedade representada pelas variações imprevistas de um ponto a outro no depósito (Guerra, 1988). A classificação proposta por Guerra (1988) apresenta os métodos estatísticos para avaliação de reservas, baseados em amostragens aleatórias realizadas no depósito mineral. Contudo, estes métodos não são conhecidos na literatura corrente e, tampouco, aplicados na prática, pois é inviável técnica e economicamente realizar amostragens aleatórias para pesquisa de depósitos minerais.

Assim, propõe-se, neste artigo, uma classificação dos métodos de avali-

ação de reservas em: métodos convencionais e métodos computacionais. Nesta classificação, os métodos convencionais incluem somente aqueles baseados nos princípios de interpretação de Popoff (1966). Os métodos computacionais são assim denominados por dependerem de computadores para a resolução de seus algoritmos. Neste grupo inclui-se os métodos do inverso da potência da distância e os métodos geostatísticos de estimativa, genericamente denominados krigagem.

Embora os métodos computacionais possam substituir com vantagem os métodos convencionais, estes ainda podem ser utilizados, na determinação rápida das reservas de um depósito, mesmo durante a fase de pesquisa mineral. Neste sentido, este trabalho apresenta uma revisão dos métodos convencionais e sua aplicação no cálculo de reservas de Pb-Zn-Ag do Depósito de Canoas 2, município de Adrianópolis, PR.

INVENTÁRIO E ANÁLISE DOS DADOS DA PESQUISA MINERAL

A avaliação das reservas de um depósito mineral deve ser fundamentada em informações precisas e de boa qualidade. Assim, as informações disponíveis devem ser organizadas e verificadas durante a fase do inventário dos dados. Posteriormente, a fim de reduzir, estudar e interpretar as informações obtidas, realiza-se a análise dos dados.

O inventário dos dados da pesquisa mineral deve ser realizado observando-se os parâmetros definidos por Handley et al. (1987), como: densidade de dados; exatidão da localização dos pontos de dados; técnicas de sondagem e amostragem; recuperação do testemunho na zona mineralizada; densidade; qualidade das análises; recuperação da usina de beneficiamento; etc.

Obtidas estas informações, deve-se determinar as características básicas

dos dados disponíveis, através da análise dos dados, onde podem ser utilizadas ferramentas como a análise exploratória, estatística clássica (parâmetros estatísticos, histogramas, curvas acumulativas), correlação e regressão linear, análise multivariante, curvas de isovalores, etc.

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 método de avaliação.

MÉTODOS CONVENCIONAIS

Os métodos convencionais, baseados na geometria Euclídeana, foram desenvolvidos e utilizados desde os primórdios da mineração, e tiveram seu apogeu na época pré-computacional. Esses métodos 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, segundo Popoff (1966), são divididos em: analítico, 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.

- *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 (Fig. 1A)
- *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 (Fig. 1B).

• *Princípio da generalização*: Consiste na extensão de atributos conhecidos para pontos de amostragem, segundo critérios geológicos, experiência profissional ou semelhança com outros depósitos (Fig. 1C).

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 convencionais em quatro grupos (Tabela 1):

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

MINA DE CANOAS 2

O Depósito de Canoas localiza-se no município de Adrianópolis (PR), conforme o mapa de localização da Figura 2. A Plumbum Mineração e Metalurgia S.A. realizou a pesquisa, a lavra e o beneficiamento de minério chumbo, zinco e prata até 1995.

A jazida de Canoas é representada por um corpo lenticular, alongado na direção NE-SW, com dimensões aproximadas de 1 km 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).

As principais litologias presentes no depósito são: quartzitos, xistos anfíbolíticos, rochas cálcio-silicáticas, anfíbolitos e quartzo-mica-xistos. Ocorrem ainda pequenos diques de rocha básica, principalmente meta-diabásios.

O depósito de Canoas apresenta mineralização em rochas cálcio-silicáticas, carbonático-baritíferas e em menor escala, metapelíticas, contendo pro-

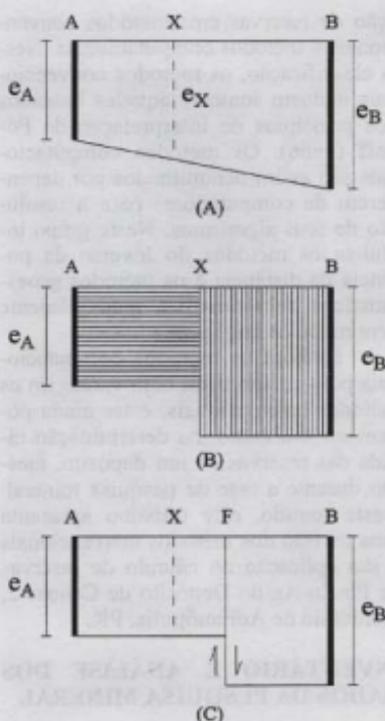


Figura 1 - Princípios de interpretação. (A) Mudanças graduais - considerando dois furos A e B, com espessuras e_A e e_B , a espessura e_X , do ponto X, na linha AB, pode ser encontrada analiticamente, por meio da interpolação linear, ou graficamente, utilizando a regra de semelhança de triângulos; (B) Pontos mais próximos - em um caso genérico de dois furos A e B com espessuras e_A e e_B , 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_A e quando estiver mais próximo de B, espessura e_B . Ao ponto médio X é atribuído a espessura média de e_A e e_B ; (C) Generalização - considerando-se a Figura 1B, porém com o conhecimento adicional de que existe uma falha no ponto F, tem-se uma nova configuração representada na Figura 1C, onde pode-se verificar que a espessura e_A do ponto A é estendida até o limite da falha F (modificado de Popoff, 1966).

Tabela 1 - Síntese dos métodos convencionais para avaliação de reservas (Modificado de Popoff, 1966).

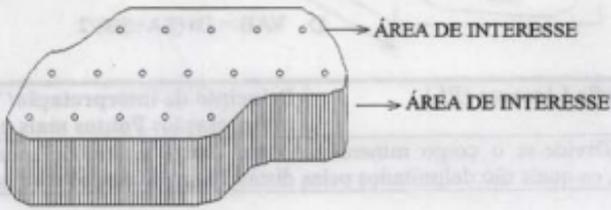
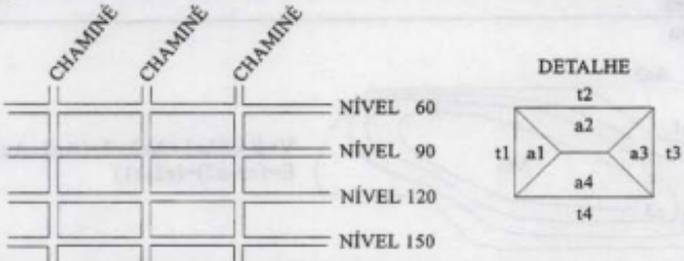
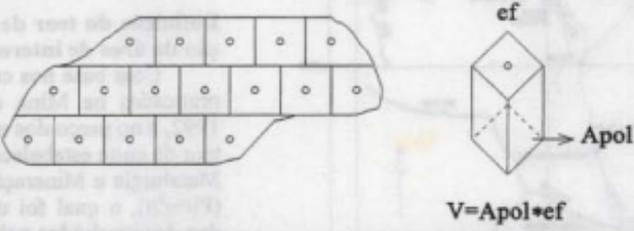
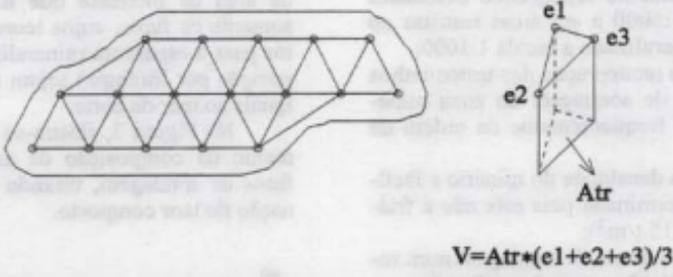
Método: Blocos geológicos	Princípio de interpretação/ Técnica de interpolação: Generalização
<p>Descrição: Neste método as áreas são delimitadas pela geologia e, em parte, pela lavra e critérios econômicos. O método faz uso dos fatores médios e estatísticos para o cálculo de reservas em blocos ou do depósito todo. 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. 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.</p>	
<p>Esquema:</p> 	
Método: Blocos de lavra	Princípio de interpretação/ Técnica de interpolação: Pontos mais próximos.
<p>Descrição: 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 e desenvolvimento subterrâneos (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. Os valores de teor e espessuras, determinadas ao longo das escavações subterrâneas de pesquisa, são compostos para um único valor médio. 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.</p>	
<p>Esquema:</p> 	

Tabela 1 (continuação).

Método: Perfis Padrão (PP)	Princípio de interpretação/ Técnica de interpolação: Mudanças graduais
Descrição: Divide-se o corpo mineralizado em blocos, delimitados por duas seções adjacentes de amostragem e por uma superfície irregular.	
Esquema:	
Método: Perfis Lineares (PL)	Princípio de interpretação/ Técnica de interpolação: Pontos mais próximos
Descrição: Divide-se o corpo mineralizado em blocos centrados sobre seções de amostragem, os quais são delimitados pelas distâncias para as seções adjacentes.	
Esquema:	
Método: Isolinhas	Princípio de interpretação/ Técnica de interpolação: Pontos mais próximos
Descrição: Calcula as reservas considerando que os valores do atributo variam gradual e continuamente, dentro da fronteira de dados, por meio de curvas de isovalores.	
Esquema	

Tabela 1 (conclusão).

Método: Polígonos	Princípio de interpretação/ Técnica de interpolação: Pontos mais próximos
Descrição: Área do corpo mineralizado é dividida em uma rede de polígonos cujos lados encontram-se à meia distância entre duas estações adjacentes de amostragem.	
Esquema:	
	
Método: Triângulos	Princípio de interpretação/ Técnica de interpolação: Mudanças graduais
Descrição: Área do corpo mineralizado é dividida em uma malha de triângulos.	
Esquema:	
	

porções 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.

Os principais sulfetos são galena e esfalerita; em menores proporções apa-

recem pirita, pirrotita e, como minerais traços, ocorrem a marcassita e calcopirita. A ganga associada é "metachert", barita, quartzo, calcita e dolomita. O minério apresenta teor médio de 6% Pb+Zn e 60 g/t Ag. Possivelmente, a gênese deste depósito está associada ao tipo sedimentar exalativo.

Inventário dos dados

Com base nos parâmetros de Handley et al. (1987), verificou-se que:

(1) os furos de sondagem apresentaram exatidão na sua localização graças



Figura 2 - Mapa de localização da Mina de Canoas 2.

ao levantamento topográfico executado à escala 1:5000 e em áreas restritas ao corpo mineralizado à escala 1:1000;

(2) a recuperação dos testemunhos dos furos de sondagem na zona mineralizada é freqüentemente da ordem de 95%;

(3) a densidade do minério é facilmente determinada pois este não é friável ($d = 3,15 \text{ t/m}^3$);

(4) 47 furos de sondagem num total de 1.724,17 metros de perfurados;

(5) a técnica de sondagem é rotativa a diamante realizada com equipamento próprio da Plumbum por técnicos especializados;

(6) 404 amostras analisadas por absorção atômica para Pb-Zn e método "fire-assay" para Ag;

(7) a técnica de amostragem dos testemunhos e análise química é executada seguindo uma metodologia precisa;

(8) recuperação na usina de beneficiamento é boa, Pb-80% e Zn-75%;

(9) a densidade dos dados é suficiente para garantir a continuidade da mineralização, ou seja, a malha de son-

dagem em Canoas 2 (losangular 50x50 metros com adensamento em determinados locais de 25x25 metros) possibilitam uma boa definição dos limites do corpo mineralizado. Assim, este adensamento de dados é suficiente para a avaliação de reservas dos depósitos.

Definição do teor de corte e delimitação da área de interesse

Com base nos custos operacionais praticados na Mina de Canoas 2, em 1992, e no preço dos metais (Pb e Zn), o teor de corte estabelecido pela Plumbum Metalurgia e Mineração S.A. foi de 5% (Pb+Zn), o qual foi utilizado nos estudos desenvolvidos pela autora principal, na sua dissertação de mestrado (Conde, 1994), da qual foi derivado este trabalho.

Assim, definido o teor de corte, o próximo passo consiste na delimitação da área de interesse que irá englobar somente os furos, cujos teores compostos para a espessura mineralizada (composição por litologia) sejam maiores ou iguais ao teor de corte.

Na Figura 3, ilustra-se o procedimento da composição de amostras de furos de sondagem, visando a determinação do teor composto.

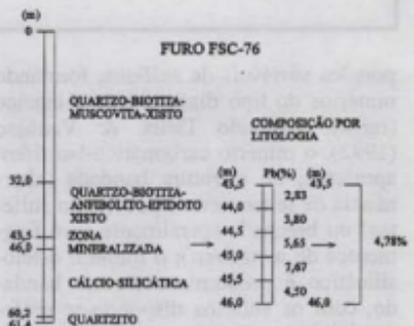


Figura 3 - Exemplo esquemático de cálculo de composição de furo de sondagem por litologia.

A área de interesse foi delimitada pela fronteira entre os furos positivos, ou seja, aqueles com teores compostos maiores que o teor de corte e os negativos. Assim, a análise dos dados e ava-

liação de reservas foi realizada com base nos 27 furos de sondagem positivos, ou seja, furos em que as análises químicas dos trechos mineralizados apresentaram teor Pb+Zn >=5% (Fig. 4).

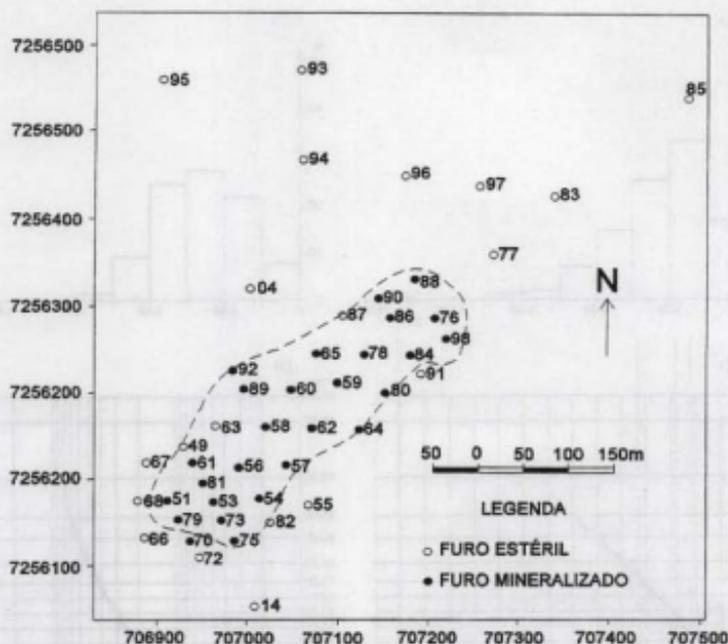


Figura 4 - Mapa de localização dos furos de sondagem da Mina de Canoas 2 e definição da área de interesse para teor de corte de Pb+Zn >= 5%.

Análise de dados

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 referentes aos 27 furos de sondagem positivos. A Tabela 2 sintetiza os resultados obtidos para chumbo, zinco e prata.

Analisando-se os parâmetros estatísticos e a distribuição de frequências dos teores de chumbo verifica-se que esta tende a lognormal, com média igual a 3,44 e variância 4,60. O coeficiente

Tabela 2 - Parâmetros estatísticos da distribuição de chumbo, zinco e prata do conjunto de dados originais

Parâmetros Estatísticos	Chumbo (%)	Zinco (%)	Prata (ppm)
Média	3,44	3,62	49,68
Variância	4,60	4,89	630,88
Desvio Padrão	2,14	2,21	25,12
Assimetria	0,01	0,005	0,00
Curtose	0,04	0,02	0,01
Coef. de variação	0,62	0,61	0,50
Número de amostras	145	145	145

de variação (0,62) indica dispersão dos valores. A caracterização desta distribuição como assimétrica baseou-se histograma, 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 tornam a distribuição assimétrica para valores altos (Fig. 5). Do mesmo

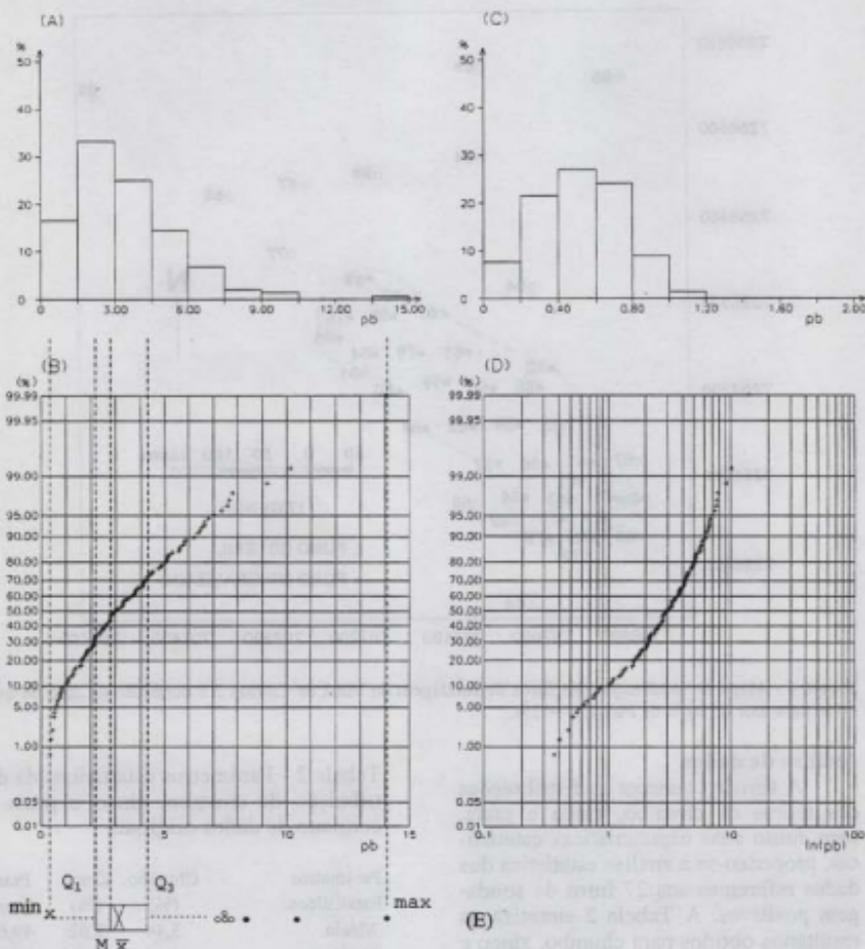


Figura 5 - Histogramas das distribuições de freqüências dos teores de chumbo (A) e seus logaritmos (C) do conjunto de dados originais; curvas acumulativas em escala de probabilidade aritmética da distribuição de teores de chumbo (B) e seus logaritmos (D) para o conjunto de dados originais. O desenho esquemático do Pb é representado em (E) (Pontos cheios - pontos soltos; pontos vazios - pontos externos; X - média; 1º traço horizontal - 1º quartil; 2º traço horizontal - 2º quartil (mediana); 3º traço horizontal - 3º quartil).

modo que o chumbo, o zinco apresenta características de distribuição de frequência próxima a 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, o DE do Zn apresenta comportamento levemente assimétrico para valores altos indicados pelos pontos externos e um ponto solto (Fig. 6). Em relação à prata, verifica-se que a distri-

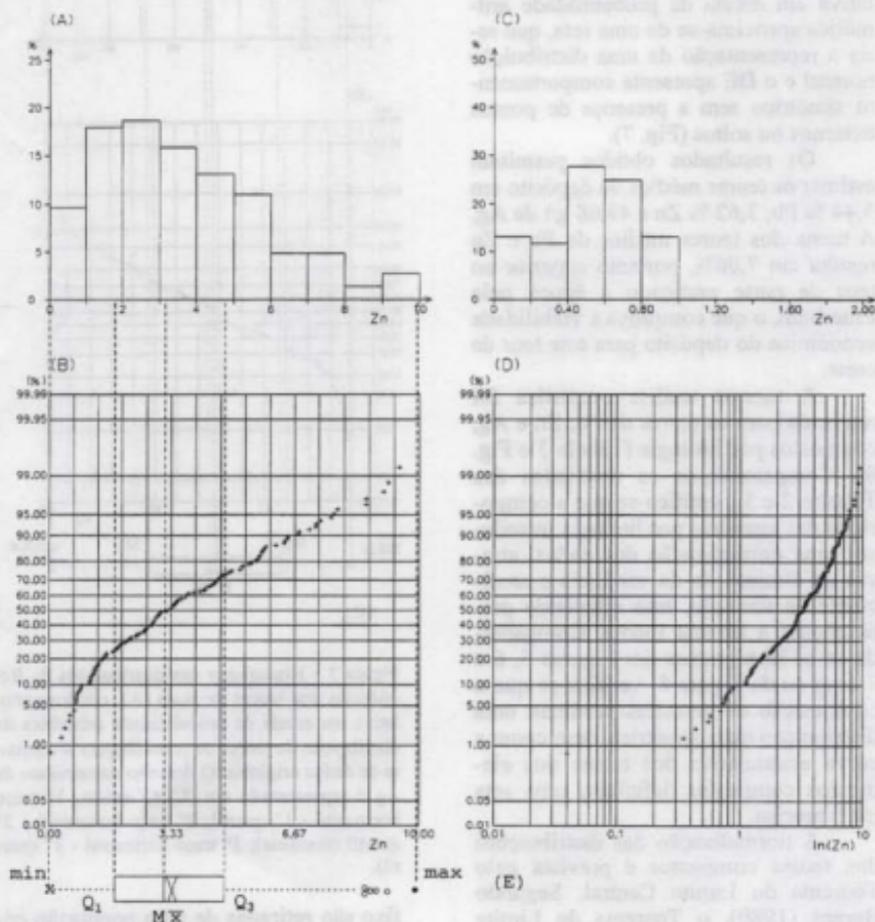


Figura 6 - Histogramas das distribuições de frequências dos teores de zinco (A) e seus logaritmos (C) do conjunto de dados originais; curvas acumulativas em escala de probabilidade aritmética da distribuição de teores de zinco (B) e seus logaritmos (D) para o conjunto de dados originais. O desenho esquemático do Pb é representado em (E) (Pontos cheios - pontos soltos; pontos vazios - pontos externos; X - média; 1º traço horizontal - 1º quartil; 2º traço horizontal - 2º quartil(mediana); 3º traço horizontal - 3º quartil).

Tabela 3 - Parâmetros estatísticos da distribuição de chumbo, zinco e prata do conjunto de dados compostos por litologia.

Parâmetros Estatísticos	Chumbo (%)	Zinco (%)	Prata (ppm)
Média	3,57	4,02	48,74
Variância	1,57	1,41	188,48
Desvio Padrão	1,25	1,19	13,73
Assimetria	0,03	0,02	-0,02
Curtose	0,18	0,08	0,12
Coef. de variação	0,35	0,29	0,28
Número de amostras	27	27	27

quanto o tamanho das amostras aumenta”.

A composição dos dados por litologia não causou grandes modificações nas distribuições de freqüências de dados, indicando que esses dados são confiáveis para fins de avaliação de reservas.

A aplicação satisfatória dos testes Kolgomorov-Smimov (K-S) e Chi-quadrado(X^2) ao conjunto de dados veio reforçar as hipóteses já levantadas com relação às características das distribuições de freqüências do Pb, Zn e Ag.

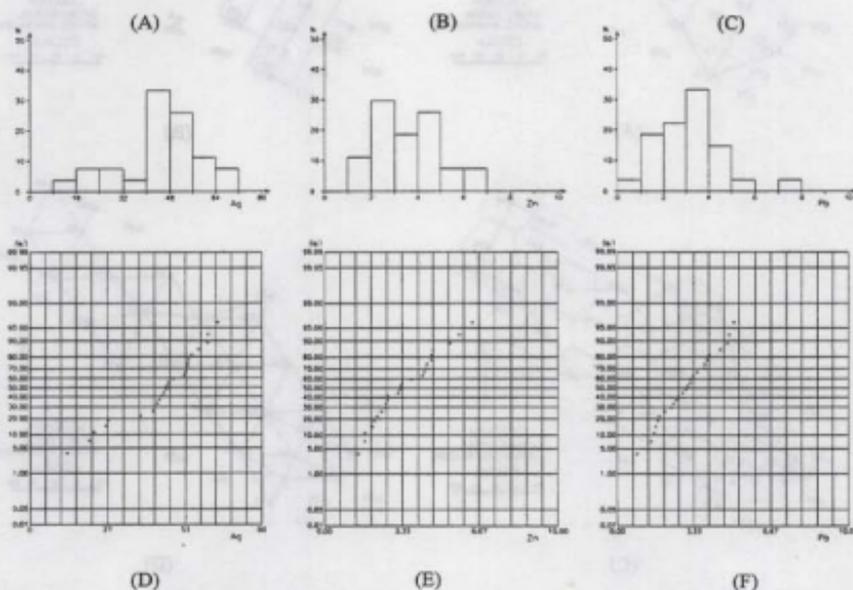


Figura 8 - Histograma das distribuições de freqüências dos teores de chumbo (A), zinco(B) e prata (C) e curva acumulativa em escala de probabilidade aritmética da distribuição de teores de chumbo (D), zinco (E) e prata (F) para o conjunto de dados compostos.

AVALIAÇÃO DAS RESERVAS DE Pb-Zn-Ag

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 convencionais, 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 baseada na disposição dos

furos de sondagem, do tipo de depósito, bem como, por serem os métodos convencionais mais utilizados (Fig. 9).

O arranjo dos furos de sondagem

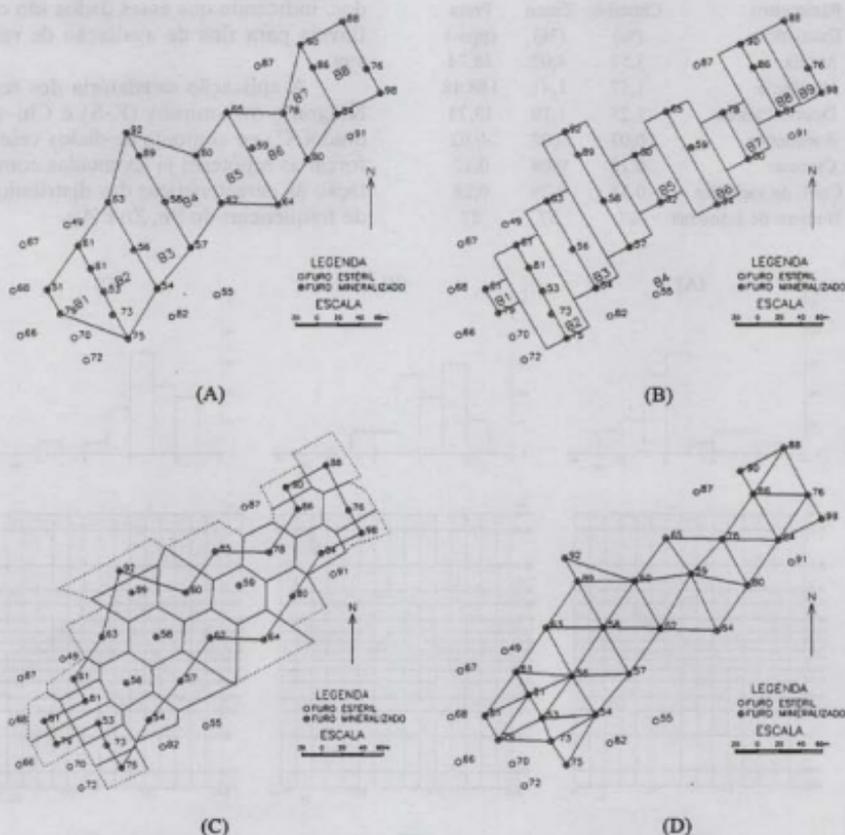


Figura 9 - Configuração dos blocos segundo os métodos convencionais utilizados para o cálculo das reservas na Mina de Canoas 2 (A - Perfis Padrão; B- Perfis Lineares; C- Polígonos; E- Triângulos).

no depósito permitiu a construção de seções e polígonos aproximadamente regulares.

A obtenção de seções para o cálculo de áreas para os métodos 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.

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 enviesamento pela extensão das características do furo do polígono para toda a sua área de influência.

O método dos polígonos é o de aplicação mais simples, seguido pelo método dos perfis padrão e lineares onde a parte mais trabalhosa é a construção das seções, por fim, o método dos

triângulos é de execução mais lenta, devido à necessidade de ponderação dos teores e espessuras em cada bloco (prisma de seção triangular).

A análise dos resultados obtidos indica que os métodos convencionais utilizados produziram resultados muito próximos entre si (Tabela 4), o que pode ser devido ao tipo de depósito (sedi-

Tabela 4 - Reserva medida calculada pelos métodos convencionais para a Mina de Canoas 2 com teor de corte de Pb+Zn \geq 5%.

Método	Minério (t)	Teor médio			Reserva medida		
		Pb (%)	Zn (%)	Ag (ppm)	Pb (t)	Zn (t)	Ag (kg)
Perfis Padrão	300.393,65	3,49	3,36	49,34	10.110,04	10.792,26	15.014,09
Perfis Lineares	292.154,63	3,68	3,74	49,45	9.875,18	10.667,45	15.024,11
Polígonos	288.311,15	3,57	4,02	48,93	9.502,61	10.000,34	14.410,04
Triângulos	293.561,27	3,42	3,48	49,72	9.720,49	10.045,48	14.613,97

mentar, lenticular) estudado e, sobretudo, pela regularidade em suas espessuras e distribuição de teores. Entretanto, por limitações dos próprios métodos convencionais não é possível avaliar o erro cometido na estimativa das reservas. Por outro lado, se fossem disponíveis as imprecisões das determinações analíticas, bem como os erros de localização das amostras, seria possível estimar o erro associado à reserva, por meio da propagação de erros nas operações aritméticas envolvidas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A similaridade dos resultados de reservas deve-se à regularidade do corpo mineralizado (depósito estratiforme), em termos de suas espessuras e distribuição dos teores. Além disso, a amostragem realizada (malha losangular) permitiu a definição da jazida e proporcionou dados suficientes para utilização satisfatória dos diferentes métodos de avaliação de reservas.

Os métodos convencionais são de fácil aplicação e apresentam a grande vantagem de serem executados manualmente, no campo, permitindo assim a rápida tomada de decisões, especialmente durante os trabalhos de pesquisa mineral. Por outro lado, a incerteza em relação aos teores é alta e não apresentam medidas de erros associados.

A utilização de técnicas matemáticas sofisticadas e da computação permitem maior eficiência na manipulação de grande volume 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.

AGRADECIMENTOS

À PLUMBUM Mineração e Metalurgia S.A, pela acolhida fornecida du-

rante 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.

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

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARNES, M.P. (1980) **Computer assisted mineral appraisal and feasibility**. New York, AIME. 167p.
- CONDE, R.P. (1994) **Avaliação das reservas de Pb-Zn-Ag do Depósito de Canoas, município de Adrianópolis, PR**. São Paulo. 166p. (Dissertação - mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- 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.
- GUERRA, P.A.G. (1988) **Geoestatística operacional**. Brasília, DNPM. 138p.
- 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**. Sidney, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, p.27-30.
- POPOFF, C.C. (1966) **Computing reserves of mineral deposits: principles and conventional methods**. Washington, Bureau of Mines. 113p. (I.C. 8283)
- R.P. Conde - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Caixa Postal 11.348, CEP 05422-970, São Paulo, SP, Brasil.

Recebido 02/05/96
Aprovado 02/07/96