

14

 FEV
2017

Inventário da Pesquisa Mineral – Parte 3

 by [Jorge Kazuo Yamamoto](#)

Avaliação de Depósitos Minerais, Geoestatística, Modelagem Geológica

Comments are off

Os testemunhos são analisados em intervalos denominados *de-para* ao longo do furo. É importante verificar se não há superposição de intervalos *de-para* na descrição do furo, bem como intervalo *de-para* ausente. A descrição deve contemplar o comprimento do furo. Assim, o último *para* deve ser igual à profundidade máxima do furo (Figura 5).

Exemplo de arquivo Excel para dados de sondagens						
id de para	azimute	inclinação	litologia	teor		
0 Furo1	320124.6	7544322	304.44	35		
1	0	5	0	90	1	-99
2	5	10	0	90	2	12.33
3	10	15	0	90	2	13.23
4	15	20	0	90	2	11.88
5	20	25	0	90	3	2.56
6	25	30	0	90	3	1.99
7	30	35	0	90	3	0.98
8 Furo2	322432.3	7543455	290.88	20		
9	0	5	0	90	1	-99
10	5	10	0	90	1	-99
11	10	15	0	90	2	13.22
12	15	20	0	90	2	12.54
13 fim	-99	-99	-99	-99	-99	-99

Figura 5: Exemplo de arquivo Excel para sondagens, conforme modelo usado no GEOKRIGE.

Os intervalos *de-para* são usados para calcular as coordenadas tridimensionais de localização dentro do depósito mineral em estudo, a partir dos dados de orientação das sondagens (Figura 6).

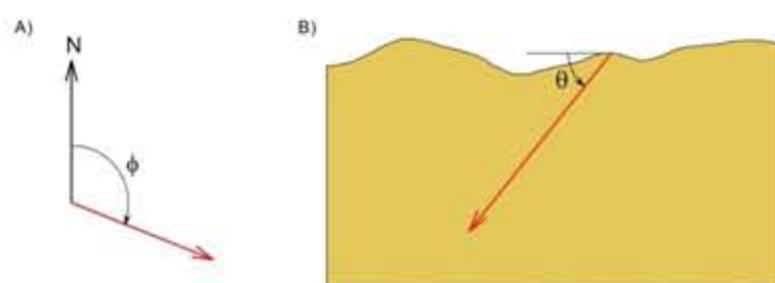


Figura 6: Dados de orientação da sondagem. A) projeção do furo inclinado na horizontal com medida do rumo do furo f ; B) inclinação do furo medida a partir do plano horizontal q .

Para o cálculo das coordenadas tridimensionais dos pontos de amostragem, considere-se que as coordenadas da boca do furos são (x_0, y_0, z_0) . Assim, as coordenadas do i -ésimo *para* podem ser calculadas como:

$$\begin{cases} x_i = x_0 + (para * \cos \theta) * \sin \phi \\ y_i = y_0 + (para * \cos \theta) * \cos \phi \\ z_i = z_0 - (para * \sin \theta) \end{cases}$$

Descrição da rocha

A descrição da rocha deve ser feita com vistas à construção do modelo geológico do depósito mineral em estudo. Na realidade, o corpo de minério encontra-se em uma posição específica dentro de uma sequência zonal caracterizada por variações do tipo de rocha, alteração, estrutura e tipo de mineralização (Blanchet e Godwin, 1972, p. 799). É importante ressaltar que a descrição pode ser detalhada, mas na fase de interpretação do modelo, manual ou auxiliada por computador, poucos tipos devem prevalecer. Isso significa que tipos semelhantes descritos pelo geólogo devem ser agrupados.

Neste item, deve-se considerar o nome da rocha, a formação geológica, composição mineralógica, cor, textura, granulação e outras feições descritivas.

Estruturas

As estruturas passíveis de observação nos testemunhos de sondagem devem ser registradas. Assim, pode-se verificar a existência de acamamento, xistosidade, juntas, falhas, foliação, brechas, veios e diques. As discontinuidades são importantes em termos de caracterização geotécnica do maciço rochoso no qual se pode instalar a futura mineração. Observe-se que a informação estrutural só pode ser recuperada por meio da testemunhagem contínua proporcionada pela sondagem rotativa a diamante. Um dos aspectos mais críticos no entendimento dos controles da mineralização está comumente associada a uma boa base de dados estruturais (Stoker e Gilfillan, 2001, p. 32).

Grau de alteração

Tanto a alteração intempérica como hidrotermal, se presentes, devem ser registradas. No caso da alteração intempérica, ela é importante na separação da zona oxidada em depósitos sulfetados. Em depósitos do tipo pórfiro, a alteração hidrotermal se caracteriza pelos diferentes minerais de argila.

Observe-se que os dados de alteração, seja intempérica ou hidrotermal, podem ser usados para a construção de um modelo geológico de alteração, por meio da codificação indicadora.

Mineralização

A descrição dos minerais de minério é importante para caracterizar o intervalo analisado. A mineralogia pode ser determinada macroscopicamente em campo pelo geólogo ou em laboratório por microscopia ótica ou difração de raios X, se necessário. Se houver uma variação da composição mineralógica dentro do corpo de minério e se ela for importante para a interpretação do modelo geológico do depósito, pode-se também considerar estes dados. Os dados de composição mineralógica podem ser quantitativos e, nesse caso, deve-se levar em consideração o fato de se trabalhar com dados composicionais (soma igual a 100). Uma simplificação possível pode ser feita por meio da classificação das diferentes composições em categorias e, assim trabalhar com variáveis categóricas.

Dados químicos

Os teores de metais e conteúdos de depósitos minerais deveriam ser medidos de uma forma não enviesada e com um grau de precisão que reduza a um nível aceitável o risco de por em produção um prospecto inviável (Merks, 1992, p. 59). A qualidade das análises químicas é de fundamental importância no processo de avaliação de um recurso mineral e sua viabilidade econômica (Roden e Smith, 2001, p. 73). Segundo esses autores, existem três elementos que devem ser considerados para um sistema de amostragem e determinações químicas: 1) manutenção da integridade da amostra no campo; 2) seleção de um método apropriado para análises químicas e 3) monitoramento completo em base contínua de todo o sistema de amostragem e análises químicas. Mesmo assim, ainda eclodiu o escândalo causado pelo relatório fraudulento do prospecto Busang em Kalimantan (Indonésia) resultando no colapso das ações da Companhia BreX (Levy e West, 2001, p. 631). Nesse caso, conforme informações divulgadas na imprensa, as amostras sofreram contaminação proposital (salgamento) durante a fase de preparação em campo. Segundo Merks (1992, p. 59), exatidão e precisão são características do processo de medida que determinam a magnitude do risco. Exatidão é um termo genérico que implica grande concordância entre uma medida e seu valor real desconhecido, enquanto precisão se refere à magnitude das variações aleatórias no processo de medida (Merks, 1992, p. 59). No cálculo de recursos minerais, a principal preocupação está na confiabilidade das amostras e das análises químicas resultantes. Assim, um programa de controle de qualidade estabelecido no início da exploração mineral deve levar consideração: 1) amostras de verificação padrão com teor conhecido do elemento de interesse; 2) amostras de campo em duplicatas; 3) amostras de controle; 4) amostras brancas e 5) comparações inter-laboratoriais (Neuss, 2001, p. 53).

Os dados químicos podem ser obtidos por diferentes métodos, conforme os elementos de interesse. O método mais usado é a absorção atômica que permite fazer a determinação de 40 elementos com boa exatidão e precisão, além de um baixo nível de detecção (Peters, 1978, p. 414). Atualmente, a espectrometria de massa com fonte de plasma tornou-se o melhor recurso analítico para a exploração mineral oferecendo análises com limites de detecção inferiores a 1 ppm para a maioria dos elementos de interesse geoquímico (Roden e Smith, 2001, p. 75). A espectrometria por fluorescência de raios X é um dos métodos instrumentais mais utilizados para análise de rochas, cimentos, amostras metalúrgicas e virtualmente qualquer substância que possa ser exposta ao feixe de raios X (Mori et al., 1999, p. 441). Segundo esses autores, pode-se analisar um total de 38 elementos maiores e traços com limites de detecção variáveis, mas geralmente menores que 10 ppm (F, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Co, Fe, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Sn, Sb, Ba, Pb, Bi, La, Ce, Nd, Th e U).

Para determinação de teores de ouro, prata e platina, o *fire assay* é recomendado. O *fire assay* é o método padrão aceito na indústria devido à história de sucesso, fácil adaptação às condições da mina, custo moderado e rapidez na obtenção dos resultados (Hoffman et al., 1998, p. 156-157).

O teor de umidade é obtido por diferença de peso entre a amostra natural e seca em estufa a 110°C. Perda ao fogo é determinada por diferença de peso entre a amostra inicial e a final após queima em mufla a 950°C.

Densidade aparente

O modelo geológico é usado para definir o volume mineralizado, que multiplicado pela densidade aparente resulta na estimativa de tonelagem (Rossi e Deutsch, 2014, p. 91). Dessa forma, a densidade aparente é um dos parâmetros essenciais para determinação dos recursos minerais, além do teor e volume (Appleyard, 2001, p. 6 e Lipton, 2001, p. 57). A densidade aparente é a componente mais negligenciada na amostragem (Neuss, 2001, p. 53). Infelizmente, a densidade aparente não tem sido determinada sistematicamente, mas sim baseada em apenas algumas poucas medidas que podem levar a erros consideráveis na tonelagem final do minério. Uma pequena variação na densidade aparente tem um grande efeito na estimativa de tonelagem e metal contido (Stephenson e Vann, 2001, p. 15). Qualquer erro cometido na determinação da densidade é diretamente incorporado na estimativa de tonelagem de recursos minerais (Rossi e Deutsch, 2014, p. 91).

A amostragem para determinação da densidade aparente deve ser representativa e controlada pela geologia do depósito mineral (Stoker e Gilfillan, 2001, p. 33 e Lipton, 2001, p. 59). Geralmente, no cálculo da densidade aparente um pequeno número de amostras de sondagens é usado para representar uma grande massa de rocha em torno do furo (Neuss, 2001, p. 53). Segundo Stoker e Gilfillan (2001, p. 33), a tendência moderna é fazer determinações de densidade aparente em um grande número de amostras e usar esses dados como uma variável adicional. Trata-se na realidade em obter um modelo de densidade aparente, além do modelo de teor, modelo geológico etc. A importância da determinação sistemática da densidade aparente pode ser verificada em exemplo dado por Levy e West (2001, p. 632), conforme dados na Tabela 2. Segundo esses autores, o teor médio ponderado pelas espessuras seria de 7,0%, mas se ponderado pelas densidades aparentes, o teor médio de Pb seria de 7,7 %. Essa diferença é significativa e pode resultar em tonelagens subestimadas.

Tabela 2: Dados de densidade aparente para minério de Pb (Levy e West, 2001, p. 632).

De	Para	Intercepto (m)	Teor Pb (%)	Densidade t/m ³
110	111	1	1,0	3,0
111	112	1	15,0	4,0
112	113	1	5,0	3,5

A densidade aparente pode ser determinada pelo método tradicional que se baseia no Princípio de Arquimedes, ou seja, do deslocamento de um volume de água quando a amostra é imersa em um recipiente.

A boa prática requer que as medidas de densidade aparente sejam realizadas em todos os tipos de rochas (minério, rocha alterada, rocha encaixante etc.) não somente para fins de cálculo de tonelagens, mas também para fins de planejamento (Neuss, 2001, p. 53).

Apenas a título de exemplo considere-se a determinação da densidade aparente para uma rocha não porosa, conforme segue (Lipton, 2001, p. 60): 1) secar a amostra em estufa a 110oC por 24 hs; 2) pesar a amostra para determinar a massa seca (Ms); 3) pesar a amostra imersa em água para determinar a massa na água. A densidade aparente, segundo esse autor, pode ser calculada como:

$$D_{apar} = \frac{M_s}{M_{água}}$$

Evidentemente, este método não se aplica a amostras fraturadas ou altamente porosas, que requerem sua impermeabilização com cera. Os demais métodos para determinação de densidade aparente podem ser vistos em Lipton (2001, p. 59-62). Vários fatores afetam a determinação da densidade aparente: heterogeneidade do material, do método experimental, a prática na pesagem no ar e na água, rochas com vazios, consolidação do material e relação entre densidades e teores do minério (Rossi e Deutsch, 2014, p. 91).

RQD

Um dado importante a ser medido no testemunho se refere à qualidade da rocha. Essa medida pode ser feita por meio do RQD (designação da qualidade da rocha), conforme Deere e Deere (1988, p. 92). Segundo esses autores, o RQD é uma razão entre a somatória de pedaços de testemunho maiores ou iguais a 10 cm e o intervalo perfurado. A classificação da rocha, conforme o valor de RQD, pode ser feita de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3: Descrição da qualidade da rocha, de acordo com o RQD (Deere e Deere, 1988, p. 93).

RQD (%)	Descrição da rocha
0 – 25	Muito pobre
25 – 50	Pobre
50 – 75	Razoável
75 – 90	Bom
90 – 100	Excelente

Grau de recuperação

O grau de recuperação do testemunho é simplesmente a somatória de todos os pedaços dividida pelo intervalo perfurado. Geralmente, o grau de recuperação é expresso em porcentagem e é objeto de contrato com a empresa de sondagens. Trata-se de outra medida que pode ser usada para inferir a qualidade do maciço rochoso, pois em zonas fraturadas a recuperação será baixa. Quando a recuperação for baixa, eventualmente o teor obtido neste intervalo terá pouca representatividade devido à grande incerteza.

Referências bibliográficas

- Appleyard, G.R. 2001. An overview and outline. In: Mineral Resources and Ore reserve Estimation – The AusIMM Guide to a Good Practice (Ed. A.C. Edwards) p. 3-12. Melbourne, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy.
- Blanchet, P.H.; Godwin, C.I. 1972. Geology system for computer and manual analysis of geologic data from porphyry and other deposits. *Economic Geology*, v. 67, p. 796-813.
- Deere, D.U.; Deere, D.W. 1988. The rock quality designation (RQD) index in practice. In: Kirkaldie, L. (editor) *Rock classification systems for engineering purposes*. Philadelphia, ASTM, p. 91-101.
- Hoffman, E.L.; Clark, J.R.; Yeager, J.R. 1998. Gold analysis – fire assaying and alternative methods. *Explor. Mining Geol.*, v. 7, p. 155-160.
- Levy, I.W.; West, R.F. 2001. Reporting of exploration results. In: Edwards, A.C. (editor) *Mineral resource and ore reserve estimation – The AusIMM guide to good practice*. Monograph 23, p. 631-634. Melbourne, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy.
- Lipton, I.T. 2001. Measurement of bulk density for resource estimation. In: Edwards, A.C. (editor) *Mineral resource and ore reserve estimation – The AusIMM guide to good practice*. Monograph 23, p. 57-66. Melbourne, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy.
- Merks, J.W. 1992. Sampling in exploration: theory and practice. In: AusIMM. 1992. *Sampling Practices in the Minerals Industry*. Issues 10-92 publication series. 88p.
- Mori, P.; Reeves, S.; Correia, C.T.; Haukka, M. 1999. Development of a fused glass disc XRF facility and comparison with the pressed powder pellet technique at Instituto de Geociências, São Paulo University. *Rev. Bras. Geoc.*, v. 29, p. 441-446.
- Neuss, I. 2001. Outokumpu – base metals and best practice. In: Edwards, A.C. (editor) *Mineral resource and ore reserve estimation – The AusIMM guide to good practice*. Monograph 23, p. 49-56. Melbourne, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy.
- Peters, W.C. 1978. *Exploration mining and geology*. New York, John Wiley & Sons. 696p.
- Roden, S.; Smith, T. 2001. Sampling and analysis protocols and their role in mineral exploration and new resource development. In: Edwards, A.C. (editor) *Mineral resource and ore reserve estimation – The AusIMM guide to good practice*. Monograph 23, p. 73-78.
- Rossi, M.; Deutsch, C.V. 2014. *Mineral resource estimation*. Dordrecht, Springer. 332p.
- Stephenson, P.R.; Vann, J. 2001. Common sense and good communication in mineral resource and ore reserve estimation. In: *Mineral Resources and Ore reserve Estimation – The AusIMM Guide to a Good Practice* (Ed. A.C. Edwards) p. 13-20. Melbourne, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy.
- Stoker, P.T.; Gilfillan, J.F. 2001. The resource database. In: *Mineral Resources and Ore reserve Estimation – The AusIMM Guide to a Good Practice* (Ed. A.C. Edwards) p. 31-36. Melbourne, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy.



Sobre o Autor

Prof. Dr. Jorge Kazuo Yamamoto, fundador da Geokrigagem, é geólogo, foi pesquisador do IPT e docente do Instituto de Geociências da USP, onde atualmente é professor sênior. É revisor de periódicos nacionais e internacionais, além de co-autor de diversos livros sobre Geoestatística, Geologia e Mineração. Ao todo são mais de 25 anos de experiência, o que fez dele referência no ensino e aplicação de Geoestatística.