

18

REPRESENTATIVIDADE DA AMOSTRAGEM NA PROSPECÇÃO GEOQUÍMICA

Edir Edemir Arioli¹, José Leonardo Silva Andriotti²

¹MINEROPAR – Minerais do Paraná, arioli@mineropar.pr.gov.br

²CPRM – Serviço Geológico do Brasil, andriotti@pa.cprm.gov.br

SUMÁRIO

Resumo	584
Abstract	584
18.1 Introdução	584
18.2 Conceitos Básicos	584
18.3 Otimização da Amostragem	586
18.3a Geometria Ótima da Malha de Amostragem	586
18.3b Densidade Mínima da Malha de Amostragem	587
18.3c Volume Mínimo das Amostras Individuais	587
18.4 Meios Amostrais	588
18.4a Água Superficial	588
18.4b Sedimento Ativo de Drenagem (SAD)	588
18.4c Concentrados de Minerais Pesados	589
18.4d Solo	589
18.4e Rocha	589
18.4f A Escolha do Tipo de Amostragem Litológica	593
18.5 Estudos Geoquímicos Orientativos	593
18.6 Referências	594

RESUMO

A representatividade amostral em prospecção geoquímica é abordada neste capítulo a partir de critérios heurísticos, isto é, que combinam lógica matemática com experiência prática. A representatividade amostral é discutida em três aspectos: geometria ótima da malha de amostragem, densidade mínima de amostragem e volume mínimo das amostras individuais. Os meios amostrais considerados incluem água superficial, sedimento ativo de drenagem (SAD), solo, concentrados de minerais pesados e rocha, com breve referência à aplicação dos estudos geoquímicos orientativos no planejamento da amostragem geoquímica representativa. *Palavras Chave:* Representatividade da amostragem, malha de amostragem, estudos geoquímicos orientativos.

ABSTRACT

The sampling representativity in geochemical prospecting is addressed in this chapter from an heuristic standpoint, which combines mathematical reasoning and empirical criteria, in regard to three main aspects: optimal geometry of the sampling grid, minimum density of sampling, and minimum volume of individual samples. The sampling media considered comprise surficial water, stream sediment, soil, heavy mineral concentrate, and rock, with brief reference to the use of orientative geochemical studies in designing a representative geochemical sampling plan.

Keywords: Sampling representativity, sampling grid, orientative geochemical studies.

18.1 INTRODUÇÃO

O objetivo da amostragem é a determinação de um parâmetro de qualidade, ou atributo, dentro de uma população: teores geoquímicos, mineralogia, umidade, porosidade, densidade, susceptibilidade magnética, e assim por diante. Mas um depósito mineral, seja ele um *placer*, um maciço rochoso ou um veio mineralizado, é uma mistura de constituintes em proporções que variam de ponto a ponto da sua massa. Por isto, é extremamente improvável que uma única amostra de campo represente com eficiência a composição global da unidade amostrada. O erro existente diminui com o número crescente de amostras, mas não desaparece. Toda amostragem envolve, portanto, um erro intrínseco. Os objetivos da amostragem devem incluir, por isto, a busca do equilíbrio entre o menor número de amostras e o maior grau de precisão possível. Esta é a questão fundamental que o prospectador deve resolver quando lida com a representatividade das suas amostras, em um projeto de prospecção geoquímica.

18.2 CONCEITOS BÁSICOS

Os conceitos básicos de prospecção geoquímica, apresentados a seguir, relacionam-se com o tema da representatividade amostral, conforme abordado neste capítulo.

Mapeamento ou avaliação é o levantamento geoquímico que visa determinar variações regionais de *background*, de modo a delimitar litologias, estruturas, províncias geoquímicas e anomalias regionais.

Exploração é o levantamento geoquímico que visa detectar depósitos ou ocorrências minerais, mineralizações ou indícios delas.

Amostra é uma porção reduzida de um corpo ou população infinitamente maior, que resume em si mesma determinadas características do todo. Para que ocorra esta representatividade, é preciso adotar critérios e métodos que permitam manter os erros intrínsecos de cada etapa, desde a coleta da amostra até a interpretação dos dados, dentro de limites aceitáveis e controlados.

Representatividade amostral na prospecção geoquímica é a capacidade de uma amostra de rocha, minério, sedimento ativo de drenagem (SAD), solo, água ou gases reproduzir com confiabilidade estatística

as características essenciais de uma unidade geológica ou população-alvo. Este é um conceito bastante genérico, que comporta graduações, e depende totalmente dos objetivos de cada estudo e, conseqüentemente, da amostragem executada.

População-alvo é a unidade geológica ou tipo de material presente na área de estudo coberta por um levantamento geoquímico.

População amostral é o conjunto de amostras coletadas na população-alvo, cujas análises produzem os dados estatísticos utilizados na prospecção geoquímica.

O sucesso da exploração mineral depende fortemente da qualidade da escolha da população-alvo e da população amostral, escolha que depende, por sua vez, da hipótese de trabalho que será testada pela prospecção geoquímica. A hipótese de trabalho pode ser representada por um modelo exploratório e envolve essencialmente os seguintes elementos de informação, no que diz respeito aos aspectos geoquímicos:

- litologias geradoras e encaixantes dos minérios prospectados;
- estruturas potencialmente controladores do transporte e concentração de fluidos, isto é, do alojamento dos minérios prospectados;
- processos geológicos geradores das rochas geradoras e encaixantes;
- processos geradores dos minérios, ou metalogenéticos;
- dimensões dos alvos, incluindo halos de dispersão primária e secundária;
- assinaturas geoquímicas das rochas geradoras e encaixantes, bem como dos minérios prospectados.

Meio amostral é o material analisado para a obtenção dos dados geoquímicos que são utilizados na avaliação ou exploração geoquímica, podendo constituir-se de rocha, mineral, minério, sedimento ativo de drenagem (SAD), sedimento de fundo de lago, concentrado de minerais pesados, *placer*, solo, água ou gases. Cada tipo de material envolve critérios próprios para garantia da representatividade amostral.

Estratificação amostral é a divisão de uma área de amostragem em setores espaçados de forma regular ou de acordo com a heterogeneidade litológica ou estrutural de uma área prospectada. A implantação de uma malha regular de amostragem estratifica a área de estudo e favorece a obtenção de representatividade, com custos otimizados.

Coefficiente de variação é um conceito estatístico de aplicação universal para a caracterização do comportamento estatístico dos atributos medidos numa população. A sua equação é simples:

$$CV = S / \bar{X} \cdot 100\% \quad S: \text{desvio-padrão dos valores} \quad \bar{X}: \text{média dos valores}$$

Este coeficiente é parâmetro fundamental para a escolha dos métodos de amostragem litológica, como será visto nos próximos itens. Ele permite classificar os depósitos minerais em três categorias de variação:

Depósitos regulares, com CV = até 40%. Maciços ou em camadas, são depósitos nos quais os minerais de minério constituem a grande massa. Os parâmetros de qualidade variam essencialmente em função da composição química destes minerais e das propriedades físicas do corpo de minério. Exemplos: depósitos sedimentares de carvão, calcário, enxofre, ferro, manganês, fosforita, sais de potássio, bauxita, argilas e materiais de construção.

Depósitos irregulares, com CV = 40% a 100%. Filonianos ou disseminados na massa de rochas ígneas ou sedimentares, raramente metamórficas, estes depósitos contêm minerais de minérios formando a mineralogia essencial dos filões e das disseminações. Os teores globais variam basicamente em função da composição química dos minerais de minério e da geometria dos corpos mineralizados (tamanho, forma e distribuição). Exemplos: depósitos filonianos e disseminados de Cu, W, Mo, Sb, Hg, Co, fluorita, calcita, barita.

Depósitos erráticos, com CV = acima de 100%. São depósitos filonianos ou disseminados, nos quais os minerais de minério constituem acessórios da mineralogia dos corpos mineralizados, na matriz de brechas ou conglomerados, em *placers* e outros depósitos detríticos. Os teores variam basicamente em função da composição e da concentração dos minerais de minério. Exemplos: depósitos filonianos e disseminados de Sn, W, Mo, Au, Pt, Be, Li, terras-raras e depósitos detríticos de Sn, W, Nb, Ta, Ti, Au, Pt, Zr.

Viés de amostragem é um desvio que se repete sempre no mesmo sentido, provocando alteração sempre para mais ou sempre para menos na característica estudada. A aleatoriedade na distribuição das amostras de campo é a prática que evita o enviesamento amostral.

Em prospecção geoquímica, a amostragem de campo deve ser cercada de cuidados especiais para se evitar o viés de amostragem. Como exemplo, considere-se o erro que pode ser causado ao se amostrar um horizonte B de solo em determinado ponto e juntar seus resultados a outras amostras coletadas no horizonte C, na mesma área. Como se sabe, a quantidade de material argiloso e, em conseqüência, a concentração de determinados elementos químicos tende a apresentar diferenças acentuadas nestes dois horizontes de solo, de modo que pode ser gerado um valor interpretado erroneamente como anômalo, quando representa apenas a mistura de populações.

Em sedimentos de drenagem também se pode ter problemas ao se efetuar a coleta de amostras em locais com diferentes concentrações de determinados minerais, como ocorre em pontos situados logo após barreiras naturais (matacões, desníveis bruscos, meandros fechados) quando comparados com outros pontos do mesmo rio situados em zonas com baixo desnível e livres de barreiras naturais. Concentrações geradas por este tipo de erro de amostragem também podem gerar falsas anomalias, resultantes de erros de amostragem.

Em litogeoquímica, a incorreta classificação de um litotipo enviado à análise química também pode criar falsas anomalias na interpretação dos resultados, já que a concentração média de certos elementos químicos (por exemplo, Cu, Ni, Co e Cr, entre outros) apresenta contrastes muito fortes entre rochas básicas e ácidas.

18.3 OTIMIZAÇÃO DA AMOSTRAGEM

Otimizar um plano de amostragem geoquímica consiste em definir, em função da escala de exploração e das dimensões do alvo: a **geometria ótima** da malha de coleta para maximizar as probabilidades de detectar o alvo ou, no caso de um levantamento de avaliação, para delimitar anomalias regionais e províncias geoquímicas; a **densidade mínima** de cobertura da amostragem para atingir o mesmo objetivo, com o mínimo de custos; o **volume mínimo** das amostras individuais que garanta confiabilidade de resultados e economia de custos, principalmente no que diz respeito à produtividade da coleta, os custos de transporte e de preparação das amostras para as análises de laboratório.

18.3a Geometria Ótima da Malha de Amostragem

A definição da geometria ótima da malha de amostragem depende da geometria conhecida ou assumida do alvo exploratório, a qual pode variar entre dois extremos, com um meio termo clássico: (a) isométrica, com tendência circular ou quadrática; (b) linear, com espessura tendendo a zero, quando comparada com o comprimento; ou (c) elíptica, com uma seção em planta estruturada em função de dois eixos de comprimentos diferentes.

Na prospecção de alvos lineares ou elípticos, a orientação do eixo maior é crítica no planejamento da orientação das linhas da malha de amostragem. Como a grande maioria dos alvos exploratórios tende a uma forma elíptica, a geometria otimizada da malha é geralmente retangular, seguindo-se as recomendações a seguir sobre o seu dimensionamento.

A teoria da busca ensina que o arranjo regular da malha de amostragem tem mais probabilidades de sucesso na detecção de alvos, em relação aos arranjos irregulares, principalmente quando a população-alvo ocorre em toda a área explorada. Solo e rocha são dois meios amostrais que, não obstante heterogeneidades e descontinuidades de ocorrência, podem ser amostrados em toda extensão de uma área. Ao contrário, sedimento ativo de drenagem, água e gases tendem a ocorrer de forma predominantemente descontínua. Para estes meios amostrais, a geometria ótima é a aleatória estratificada.

A regularidade da malha pode ser obtida por meio da estratificação da amostragem, isto é, pela divisão da área prospectada em setores regulares e pela localização aleatória de uma ou mais amostras

dentro de cada setor. Desta forma, o plano de amostragem estará satisfazendo as exigências de regularidade e aleatoriedade, fundamentais na representatividade amostral.

A geometria do alvo exploratório pode ser determinada a partir de modelos ou, mais desejável, de estudos orientativos.

18.3b Densidade Mínima da Malha de Amostragem

A densidade mínima da amostragem é basicamente uma conseqüência da geometria ótima da malha de coleta, mas afeta mais diretamente as probabilidades de sucesso da prospecção geoquímica. Entenda-se: mesmo que a geometria da malha de amostragem seja a mais adequada, as suas probabilidades de detecção de alvos podem ser anuladas por uma densidade de cobertura insuficiente. Este problema é resolvido mais adequadamente por meio de técnicas geoestatísticas, que são tratadas nos próximos capítulos. As indicações a seguir podem ser úteis ao prospector que não dispõe de conhecimento ou assessoria em geoestatística e fornecem uma base de raciocínio lógico para o planejamento empírico da amostragem geoquímica com representatividade controlada.

A probabilidade de acerto de uma amostragem pode ser dada pela fórmula empírica (Garrett, 1983):

$P_a = A_a / A_c$ em que P_a = probabilidade de acerto A_a = área do alvo A_c = área da célula da malha

Segundo o mesmo autor, a densidade ótima de amostragem pode ser determinada a partir da seguinte equação:

$l_a = \sqrt{2} \cdot r$ em que l_a = intervalo de amostragem r = raio do alvo

No caso de alvo elíptico, que é o caso mais comum na exploração mineral, o raio deve ser substituído pelos semi-eixos maior e menor da elipse, para cálculo dos intervalos maior e menor, respectivamente, da malha otimizada.

A regra prática mais adotada nos levantamentos geoquímicos diz que o espaçamento entre as amostras deve variar entre a metade e um terço do diâmetro do halo de dispersão, considerado este, para todos os efeitos, sinônimo de alvo exploratório, substituído nos levantamentos de escala regional pelas dimensões de um distrito mineiro.

Sinclair (1974) demonstra, de forma simplificada, o efeito da orientação da malha retangular sobre a probabilidade de detecção do alvo elíptico ou retangular. Atualmente, os recursos da geoestatística permitem resolver de forma mais precisa e adequada esta questão da otimização da malha de amostragem.

18.3c Volume Mínimo das Amostras Individuais

O volume mínimo das amostras individuais depende principalmente do tipo de material amostrado, dos elementos químicos, da ordem de grandeza dos teores analisados, das exigências de sensibilidade dos ensaios e do destino das amostras. É intuitivo que quanto maior a quantidade de material que se coleta em um determinado ponto, menor é a probabilidade de se perder determinado mineral presente em pequenas concentrações. Entretanto, não se deve coletar amostras de maior volume com esta idéia em mente, pois o aumento do tamanho da amostra traz penalizações de ordem logística, além de econômicas (maior tempo de coleta, maior peso para transportar, maior quantidade de material para tratar em laboratório, e pouca garantia de obter ganhos significativos na precisão da característica estudada).

Existem inúmeros estudos, não apenas em exploração geoquímica, comprovando que o aumento do tamanho das amostras não se reverte em ganhos significativos de precisão. É evidente que à medida que o tamanho da amostra aumenta, se aproximando do tamanho do universo amostral, a variabilidade diminui, ou seja, o erro de avaliação cai, mas mais importante que isto é ter-se em mente que se usa amostragem para estimar o universo, e que um erro de inferência sempre estará presente. O aumento da precisão da estimativa não tem relação linear e direta com o aumento do tamanho da amostra. Em suma, deve-se coletar a menor amostra possível que garanta determinado nível de confiabilidade (e, no caso da prospecção

geoquímica, que permita que se proceda às determinações analíticas desejadas), é isto que é feito em todas as áreas do conhecimento. Levando-se em consideração que o aumento do tamanho da amostra (tanto do número de observações que a compõem como do tamanho físico das mesmas) representa aumento de custos, existe uma situação a partir da qual não vale mais a pena proceder ao referido aumento, pois os custos podem se tornar muito elevados para esta etapa do projeto.

18.4 MEIOS AMOSTRAIS

Ao se planejar a prospecção geoquímica, é fundamental considerar que as amostras do subsolo (horizonte C e rocha) refletem mais completamente as variações do substrato geológico, enquanto as dos horizontes superiores do solo (horizontes A e B), de sedimentos ativos de drenagem e águas superficiais são mais influenciadas pelos agentes antrópicos e externos. Por isto, diferenças nos padrões de distribuição de teores, detectadas entre estes diversos meios amostrais, devem ser testadas contra estas influências. Uma medida preventiva possível consiste em coletar amostras fora de áreas cultivadas ou desmatadas e distantes das zonas urbanas. Na fase de interpretação de dados, as diferenças de padrões de distribuição de um mesmo elemento nos vários meios amostrais devem ser tratadas como aspectos complementares da dispersão deste elemento no ambiente superficial (De Vos et al., 2007).

De Vos et al. (2007) recomendam que, ao se executar um levantamento que envolve diferentes meios amostrais, é necessário planejar as suas respectivas distribuições geográficas de forma a garantir a correta representatividade de cada uma. As suas respectivas densidades de cobertura superficial devem ser homogêneas através da área estudada, para evitar problemas de representatividade. Além disto, cada tipo de material deve ser analisado com as mesmas rotinas analíticas para os mesmos elementos, nos mesmos laboratórios, para evitar discrepâncias de resultados analíticos. Quando constatados problemas de representatividade, esses autores recomendam eliminar os conjuntos de dados suspeitos.

18.4a Água Superficial

A composição geoquímica de uma amostra de água superficial traduz a carga de elementos solúveis e em suspensão, dependendo ainda fortemente da diluição provocada pela precipitação pluvial. Ela raramente reflete a geologia, mas mais diretamente o clima, a cobertura vegetal, o relevo e outros fatores que controlam a acidez, o potencial de oxidação e a concentração de matéria orgânica.

Trata-se do meio amostral mais fortemente afetado pela interferência humana, porque incorpora imediatamente os materiais sólidos, líquidos e gasosos produzidos pela atividade antrópica. Apesar destas limitações, os levantamentos geoquímicos em escala regional apresentam boa representatividade para o substrato rochoso, principalmente quando executados de forma a combinar dados de água (elementos solúveis) e SAD (elementos detríticos ou precipitados hidroquimicamente).

18.4b Sedimento Ativo de Drenagem (SAD)

Uma amostra de SAD contém materiais liberados na bacia hidrográfica em que é coletada e representa a sua composição geoquímica média, desde que localizada corretamente. Trata-se, portanto, de uma típica amostra composta. As fontes de variação nos seus constituintes são o relevo da bacia, a diversidade geológica, a erosão diferencial que gera volumes diferentes de materiais com erodibilidades contrastantes, taxas de transporte e sedimentação variáveis para materiais de granulação e densidade diferentes, além de sofrerem influências variáveis das condições físico-químicas reinantes no meio aquoso.

A maior representatividade superficial das amostras de SAD, geralmente de dezenas de quilômetros quadrados, torna o controle das interferências antrópicas mais difícil do que nas amostras de solo, pelo menos no que diz respeito aos elementos químicos afetados pelas atividades industriais, agropecuárias e pela ocupação humana. A solução mais adotada nos levantamentos geoquímicos consiste em analisar associações de elementos, por meio de estatística multivariada, tendo em vista discriminar as associações naturais das produzidas pela atividade antrópica.

A composição de amostras individuais de SAD não comporta riscos importantes, devido ao efeito moderador, por mistura, dos processos naturais formadores dos depósitos fluviais.

18.4c Concentrados de Minerais Pesados

A representatividade das amostras de concentrados de minerais pesados não difere das amostras de SAD, exceto no que diz respeito aos seus constituintes. Isto é, estas amostras contêm minerais seletivos em relação às unidades litológicas da bacia de captação, uma vez que nem todas apresentam estes minerais em sua composição. Por isto, para os fins de se garantir a maior representatividade da amostragem, combina-se os dois tipos de amostras nos levantamentos geoquímicos.

Cuidados especiais devem ser tomados para se garantir a representatividade das amostras de concentrados de *placers* auríferos. Brown & Hilchey (1974) relacionam as propriedades do ouro que comprometem a representatividade amostral: ocorre na forma de partículas discretas e com distribuição de tamanhos irregular; segrega-se facilmente dentro das amostras desagregadas, devido ao alto peso específico (7-8 vezes maior do que o quartzo e 5-6 vezes maior do que os demais minerais pesados); pequenas concentrações têm valor econômico significativo.

18.4d Solo

Produto da transformação *in situ* da rocha-mãe, o solo é o meio amostral que reflete mais diretamente, depois da própria litologia, o substrato geológico. Cuidados devem ser tomados, entretanto, para garantir que a amostra coletada não seja de material transportado. Além disto, deve-se assegurar que as amostras de um mesmo levantamento sejam coletadas no mesmo horizonte pedológico, porque existem diferenças importantes de composição mineralógica e química entre os diversos horizontes do solo.

Se, por um lado, as amostras de solo refletem mais diretamente o substrato rochoso, por outro, elas têm uma representatividade superficial muito limitada, verdadeiramente pontual, de poucos metros quadrados. Conseqüentemente, os levantamentos geoquímicos de solo exigem densidade de coleta maior e se prestam mais adequadamente às fases de detalhe dos projetos, quando se busca delimitar mais precisamente as fontes das anomalias.

No que diz respeito à representatividade das amostras coletadas para análise de ouro, o volume mínimo recomendado por Brown & Hilchey (1974) depende do número e tamanho das partículas de ouro contidas: cerca de 300 g no horizonte B de solo residual.

A formação de amostras compostas a partir de amostras individuais de solo deve ser feita com reservas, porque a sua natureza pontual produz diferenças importantes entre elas, o que pode mascarar anomalias de interesse, nos levantamentos de detalhe. Ao contrário, nos levantamentos regionais, a composição de amostras pontuais pode atribuir a anomalias locais uma representatividade superficial indevida.

18.4e Rocha

Na prospecção geoquímica, a amostragem litológica é utilizada para representar corpos de rochas, minerais e minérios, tendo em vista a localização e interpretação das fontes das anomalias. Ela serve também para determinar as propriedades físicas e químicas desses materiais, tendo em vista a

classificação de rochas, minerais e minérios; a avaliação de potencialidade econômica das mineralizações detectadas; a cubagem de reservas; a seleção de processos de tratamento e transformação industrial; e a interpretação dos processos formadores dos depósitos minerais.

As amostras litológicas podem ser classificadas, segundo a forma de coleta, em: **pontuais**, que podem ser simples (blocos) ou compostas (lascas e punhados); **lineares**, que podem ser obtidas por meio de canal, testemunho de sondagem ou pós de perfuratriz; **planares**, que são em camadas; e **de volume**, que podem ser coletadas em poços, galerias ou pilhas de estoque.

Amostras pontuais

Para McKinstry (1977), as amostras pontuais, ou de lascas, nunca devem ser usadas em trabalhos de prospecção, mas apenas no controle de qualidade em frentes de lavra, quando o método já foi comparado com canais e aprovado como suficientemente preciso. Mesmo as compostas, ou de punhados, coletadas em pilhas de estoque e desmonte (frentes de fogo), aplicam-se somente a minérios cujos teores independem do comportamento do minério e do estéril à explosão, ou a estoques já homogeneizados.

De fato, tanto as amostras simples quanto as compostas, embora sejam freqüentemente usadas na prospecção, apresentam erros inadmissíveis. A sua aplicação é limitada a estudos petrográficos, porque a própria técnica de análise exige este tipo de amostra, e à dosagem química dos constituintes essenciais de rochas tipicamente homogêneas.

Apesar do processo aparentemente rudimentar de coleta, a regularidade deve ser mantida tanto no tamanho das lascas quando no espaçamento entre os pontos de amostragem. O tamanho de cada fragmento e de cada amostra depende da granulação do material, enquanto o espaçamento da amostragem depende da regularidade espacial do atributo medido. A Tabela 18.1 resume os critérios de dimensionamento deste tipo de amostragem.

Uma regra empírica: o peso de uma amostra pontual, medido em gramas, deve ser pelo menos igual à metade do quadrado do diâmetro da maior partícula constituinte, medido em milímetros. Exemplo: uma amostra de um granito porfirítico, cujos fenocristais de feldspato medem 40 mm de diâmetro, deve pesar pelo menos 800 g, porque $40 \times 40 = 1.600 \div 2 = 800$.

Em estudos litogeoquímicos, Beus & Grigorian (1977) recomendam coletar meia dúzia de fragmentos com até 2 cm de diâmetro em cada zona de homogeneidade, a intervalos de 5 a 10 m. Este tipo de amostra é mais sensível às variações de teores geoquímicos dos elementos menores do que as de canal, por exemplo. Estes autores recomendam moer a amostra a 1 mm, quartear e pulverizar apenas um quarto para análise. As amostras de controle devem representar 10% dos lotes.

Amostras de Canal

Amostras de canal são as mais recomendadas e utilizadas na pesquisa de rochas e minérios tabulares - filões ou camadas. Nestes corpos, os constituintes distribuem-se com variações tipicamente anisótropas, isto é, com graus de variação muito mais altos através da espessura do que ao longo da direção e do mergulho.

Canais irregulares ou linhas de fragmentos são freqüentemente usados como se fossem amostras de canal, mas este é um erro grosseiro que deve ser evitado, porque não há termos de comparação entre as representatividades dos dois tipos de amostras. A principal característica da amostra de canal não pode ser deformada e ela justifica a universalidade da sua aplicação: a regularidade de volume da amostra ao longo de uma dimensão do corpo amostrado. McKinstry (1977) enfatiza tanto e dá tanta importância à regularidade, que recomenda o uso de um gabarito de madeira para controle da seção do canal durante a coleta.

Tabela 18.1 Matriz para escolha do tipo e tamanho da amostra litológica.

AMOSTRA	FORMA / TAMANHO	ESTRUTURA	COMPOSIÇÃO	APLICAÇÃO	DIMENSIONAMENTO							
					P = K.d ² P: peso, kg; K: constante; d: diâm., mm		V ^(*)	K				
PONTUAL	SIMPLES	Maciça.	Homogênea e regular.	Petrografia.	(*) Valores de V para os depósitos: Regulares (R): < 40% Irregulares (I): 40-100% Erráticos (E): > 100%							
					V	Fragm / amostra	Peso / fragm (g)	Peso/am (kg)	Intervalo (m)			
CANAL	COMPOSTA	Maciça	Homogênea e regular a irregular.	Geoquímica de elementos menores e química de rochas duras.	R	12-16	120	1.5-2	6-50			
					I	20-25	250	5-6.5	4-6			
					E	35-75	500-1.000	17-75	1-4			
CAMADA	CANAL	Bandada, zonada, estratificada, laminada.	Heterogênea e geralmente irregular.	Química e geoquímica de elementos maiores em rochas fráveis e alteradas.	V	Seção (cm)	Intervalo (m)					
					R	5 x 3	4 - 15					
					I	5 x 5	2 - 4					
CAMADA	VOLUME	Maciça, bandada, zonada, estratificada, laminada.	Heterogênea e geralmente errática.	Química e geoquímica.	E	10 x 4	1 - 2					
					Espessura: 5 - 10 cm. Largura: espessura do corpo amostrado. Extensão: 1-2 m ou extensão aflorante do filão ou camada aflorante.							
					Aplicação							
CAMADA	VOLUME	Brechada e conglomerática, com minério disseminado na matriz. Segregada.	Heterogênea e errática.	Química e ensaios tecnológicos.	Peso		Quantidade					
					Laboratório	100-250 kg	R	I	E			
							Bancada	250-1.000 kg	6		15	30
							Piloto	10-15 t	a		a	a
Industrial	Capac. equipam.	8	20	40								

A Tabela 18.1 apresenta as dimensões recomendadas por Kreiter (1968), considerando duas larguras de canal (5 e 10 cm), mantendo as mesmas seções para não se alterar os volumes coletados por metro de canal e observando o limite de 1,5 m para o comprimento de cada amostra. Como estas amostras são usadas para materiais freqüentemente zonados, elas devem ser seccionadas de modo que cada uma represente uma zona de homogeneidade, até a espessura máxima de 1,5 m. Acima deste limite, as amostras devem ser subdivididas.

Existem duas importantes vantagens em se amostrar separadamente cada unidade homogênea: isto evita erros de enriquecimento ou empobrecimento, quando se coleta mais material rico do que pobre, ou vice-versa; e há maior precisão nas informações sobre as variações de teores em correspondência às mudanças litológicas.

A divisão do canal também deve ser feita em função das variações de outros atributos das rochas: mineralogia, alteração, cor, dureza, textura, estrutura e assim por diante. Acontece que são elas que servem de guia visível para a escolha do fracionamento da amostra, o que se justifica do ponto-de-vista petrológico e geoquímico, uma vez que raramente as mudanças de aspecto não são acompanhadas por variações composicionais nas rochas. O canal deve cortar a rocha no sentido da maior variação composicional, que corresponde quase sempre à espessura dos corpos tabulares e lenticulares.

Como a qualidade essencial desta amostragem é a regularidade, ela se aplica com eficiência apenas em rochas friáveis ou alteradas. Condições para uma amostragem eficiente de canal em rocha dura só podem ser obtidas em minas ou jazidas em avaliação, mesmo porque nestes casos é extremamente importante a precisão dos resultados. Em fases de mapeamento e prospecção regional, é possível e conveniente substituir o canal por amostras de lascas distribuídas regularmente dentro de uma faixa com 0,5 m de largura, controlando-se o peso de cada amostra pelas indicações da Tabela 18.1. Esta amostragem é especialmente recomendada para estudos de litogeoquímica.

Amostras de Camada

São usadas em veios ou camadas muito delgadas e de minérios irregulares, em que o canal acaba sendo a superfície de exposição do corpo mineralizado, isto é, extrai-se uma camada delgada de material ao longo da área aflorante. Não existem regras para o seu dimensionamento. Elas podem ter espessuras de 5 a 10 cm e extensão de 1 m, ou correspondente à própria exposição. O controle pode ser feito pelo peso.

Entretanto, estas amostras são geralmente tão demoradas e difíceis de se coletar em materiais duros que só devem ser coletadas em veios delgados de minérios altamente irregulares, como filões auríferos com pepitas, ou para controlar outras amostras em depósitos de pequena espessura.

Amostras de Volume

Estas amostras são normalmente usadas em avaliações de depósitos, para determinação das características tecnológicas dos minérios, na escala de laboratório, bancada ou industrial. Mas, mesmo nas fases iniciais de projetos, elas são usadas para fornecer informações preliminares sobre minerais industriais. Outros minérios podem exigir amostragem de volume, quando são altamente irregulares em teores e granulação (por exemplo, conglomerados e brechas com mineralizações disseminadas na matriz), porque os erros das demais amostras são muito grandes. Estes depósitos são normalmente de W, Sn, Mo, Au, Pt, micas e gemas.

Não existem fórmulas disponíveis, fora da geoestatística, para a determinação de seus volumes, mas apenas indicações genéricas. Para minérios de W, Sn, Mo e Au, recomenda-se iniciar com 1 a 1,5 t ou, se o material for posteriormente concentrado ou quarteado, com 2 a 3 t. A Tabela 18.1 indica os pesos das

amostras de volume recomendáveis para algumas aplicações comuns, com indicação dos volumes correspondentes para materiais com densidade média de 2,5 t/m³ para facilitar estimativas de campo.

Para ensaios tecnológicos, é recomendável manter a amostra em seu estado natural, com estrutura e umidade preservadas. Isto se obtém por armazenamento especial: sacos plásticos ou tambores fechados. Quanto à quantidade de amostras, Kreiter (1968) recomenda os números apresentados na Tabela 18.1.

Quando a lavra for seletiva ou houver dúvida a respeito, recomenda-se coletar minério e encaixante em separado.

18.4f A Escolha do Tipo de Amostragem Litológica

A seleção do tipo de amostragem é feita normalmente em função dos seguintes parâmetros:

- forma e tamanho dos corpos de rocha ou minério;
- estrutura interna dos corpos de rocha ou minério;
- grau de homogeneidade composicional do material, indicado pelo coeficiente de variação;
- destino das amostras.

A Tabela 18.1 resume estes critérios e esclarece o seu uso na escolha do tipo de amostra mais adequado para cada caso, constituindo desta forma um guia geral de consulta no campo. Esta orientação deve ser seguida em fases regionais de mapeamento e prospecção, pois em avaliação de depósitos é recomendável o uso da geoestatística.

18.5 ESTUDOS GEOQUÍMICOS ORIENTATIVOS

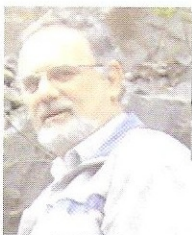
Licht (1998) aponta a importância dos estudos orientativos para a qualidade da prospecção geoquímica, principalmente para o planejamento da amostragem e das rotinas analíticas. Desenvolvidos sobre ocorrências minerais livres da ação antrópica, os estudos orientativos envolvem a coleta e análise de amostras que concentrem elementos ou substâncias essenciais ou diagnósticos do corpo mineralizado, abundantes na área, de coleta fácil e rápida, capazes de delimitar halos de dispersão secundária e detectar mineralizações não-aflorescentes, fáceis de analisar.

Para que estes requisitos de representatividade sejam atendidos, é necessário que sejam coletados todos os meios amostrais da área estudada, para que os resultados do estudo forneçam as respostas adequadas. Licht (1998), cujo texto indicamos para consulta sobre os procedimentos envolvidos na sua execução, relaciona os fatores indicados por Rose et al. (1979) como essenciais em um estudo geoquímico orientativo:

- 1 Tipo de amostras – rocha, material de veio, comparação com sedimentos de drenagem e solos.
- 2 Tamanho e características das amostras – grande volume, compostas, canal, testemunhos de sondagem.
- 3 Melhores elementos indicadores – elementos maiores da mineralização, elementos farejadores, elementos correlacionados para utilização de razões.
- 4 Aplicabilidade do uso de fases minerais ou materiais individualizados – óxidos de ferro, sulfetos, biotita, magnetita, etc.
- 5 Efeitos do intemperismo, litótipos, alteração hidrotermal e outras variáveis geológicas para determinação de teor de fundo e limiares de anomalias.
- 6 Forma, dimensões e homogeneidade das anomalias e reprodutibilidade em um único local de amostragem.
- 7 Método de ataque e análise das amostras – ataque forte, ataques seletivos para óxidos ou sulfetos.
- 8 Fontes de contaminação – metais de equipamentos de coleta e sondagem ou de britagem e moagem, poeira.

18.6 REFERÊNCIAS

- BEUS, A.A. and GRIGORIAN, S.V. (1977) *Geochemical exploration methods for mineral deposits*. Wimette: Applied Publishers Ltd.
- BROWN, B.W.; HILCHEY, G.R. (1974) Sampling and analysis of geochemical materials for gold. In: Elliott, I.L. & Fletcher, W.K. *Geochemical Exploration*, Elsevier Sc. Publ. Co., Spec. Publ. 2: 683-690.
- De VOS, W.; DEMETRIADES, A.; MARSINA, K.; OTTESEN, R.T.; REEDER, S.; PIRC, S.; SALMINEN, R.; TARVAINEN, T. (2007) Comparison of elements in all sample media, general comments and conclusions. In: De Vos, W. & Tarvainen, T. (Editors). *Geochemical Atlas of Europe: Interpretation of Geochemical Maps, Additional Tables, Figures, Maps, and Related Publications. IUGS/IAGC Global Geochemical Baselines. Electronic version*.
- GARRETT, R.G. (1983) Sampling methodology. In: Howarth, R.J. *Statistics and Data Analysis in Geochemical Prospecting* (Handbook of Exploration Geochemistry; ed. Govett, G.J.S.), 2: 83-110.
- KREITER, V.M. (1968) *Geological prospecting and exploration*. Moscow: Mir Publishers, 383 p.
- LICHT, O.A.B. (1998) *Prospecção geoquímica: princípios, técnicas e métodos*. Rio de Janeiro: CPRM, 236 p.
- McKINSTRY, H.E. (1977) *Geologia de minas*. Barcelona: Ediciones Omega S.A.
- ROSE, A.W.; HAWKES, H.E.; WEBB, J.S. (1979) *Geochemistry in mineral exploration*. New York: Academic Press, 2 ed., 657 p.
- SINCLAIR, A.J. (1974) Some considerations regarding grid orientation and sample spacing. In: Elliott, I.L. & Fletcher, W.K. *Geochemical Exploration*, Elsevier Sc. Publ. Co., Spec. Publ. 2: 133-140.
- SMITH, K.S.; RAMSEY, C.A. and HAGEMAN, P.L. (2000). Sampling strategy for the rapid screening of mine-waste dumps on abandoned mine lands. In: *Proceedings of the Fifth Conference on Acid Rock Drainage*. Littleton: SME. p. 1453-1461.
- VAGANOV, P. (2002) The use of selected safety indicators (concentrations, fluxes) in the assessment of radioactive waste disposal. Report 1: Geochemical cycles, the dispersion and concentration of elements in the earth's crust – global, regional and local scale. Espoo: Geol. Surv. Finland, Nucl. Waste Disp. Res., Report YST-106, 169 p.



EDIR EDEMIR ARIOLI

Geólogo diplomado pela Escola de Geologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em 1969. Especialista em Geologia Exploratória, área de concentração Estratégias de Exploração, na UFPR, em 1986. Especialista em Engenharia da Qualidade, na PUC/PR, em 1991. Doutorando em Geologia Exploratória pela UFPR, com tese sobre a origem de anomalias geoquímicas de Ni-Cu-EGP e metais associados, nos basaltos do Oeste do Paraná. Trabalhou na CPRM de 1970 a 1975, executando projetos de mapeamento geológico e exploração mineral, e na METAMIG, de 1976 a 1978, avaliando pegmatitos no Vale do Rio Doce. Trabalha na MINEROPAR desde 1979, coordenando o Programa de Mapeamento Geológico do Estado do Paraná. Exerce eventualmente atividades de docência em geologia, gestão ambiental e gestão da qualidade, com ênfase em abordagens sistêmicas a diversas áreas do conhecimento.



JOSÉ LEONARDO SILVA ANDRIOTTI

Possui graduação em Geologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1975) e doutorado em Geociências pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1999). Atualmente é professor universitário e geólogo da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Geoestatística, atuando principalmente em geoestatística, geoquímica, prospecção mineral e avaliação de reservas.