

PROSPECCAO GEOQUIMICA

OTAVIO A.B. LIGHT

CURITIBA - 1986

P R O S P E C Ç Ã O G E O Q U I M I C A

OTAVIO AUGUSTO BONI LICHT

CURITIBA

- 1986 -

M
550.84
L 699

I. APRESENTAÇÃO.....	5
II. INTRODUÇÃO.....	6
Métodos e objetivos da exploração geoquímica.....	6
O que é exploração geoquímica.....	7
Historico da prospeccao geoquímica.....	8
III. PRINCÍPIOS BÁSICOS.....	10
O ambiente geoquímico.....	10
Dispersão geoquímica.....	10
Classificação geoquímica dos elementos.....	13
Associações dos elementos.....	14
A distribuição geoquímica dos elementos.....	19
Teor de fundo.....	19
Distribuição estatística dos teores de fundo.....	20
Anomalia geoquímica.....	21
Estudos orientativos.....	23
IV. PRINCÍPIOS DE ANÁLISE DOS ELEMENTOS TRAÇO.....	25
Modo de ocorrência dos elementos traço nos sólidos.....	25
Preparação de amostras.....	26
Decomposição de amostras.....	28
Metodos analíticos.....	32
Colorimetria.....	32
Espectrometria de emissão, e espectrografia.....	32
Espectrofotometria de absorção atômica.....	33
Espectrometria de fluorescência de raios X.....	33
Fluorimetria.....	34
Metodos radiométricos.....	34
Metodos eletroanalíticos.....	34
Metodos cromatograficos.....	35
Espectrometria de massa.....	35
Outros métodos.....	35
Unidades utilizadas em boletins analíticos.....	36
Avaliação das análises químicas.....	37
Seleção do procedimento analítico.....	39
V. HALOS GEOQUÍMICOS.....	42
Halos geoquímicos primários dos depósitos minerais.....	42
Seu uso em prospeccão.....	42
Zonalidade dos halos geoquímicos primários.....	44
Exemplos de anomalias de fuga e zoneamento.....	46
VI. O INTEMPERISMO.....	50
A natureza do intemperismo.....	50
Processos do intemperismo.....	51
O intemperismo físico.....	52
O intemperismo químico.....	52
Agentes biológicos do intemperismo.....	54
Fatores que afetam os processos do intemperismo.....	55
Resistência dos minerais.....	55
Permeabilidade.....	56

Clima.....	57
Relevo e drenagem.....	58
VII. O SOLO.....	59
Desenvolvimento do perfil do solo.....	59
Classificação dos solos.....	61
VIII. O EQUILÍBRIO QUÍMICO NO AMBIENTE SUPERFICIAL.....	64
O papel do Eh e do pH.....	64
Oxidos de Fe-Mn : locais de reação e sorção.....	65
A matéria orgânica.....	66
IX. A DISPERSÃO MECÂNICA NO AMBIENTE SUPERFICIAL.....	67
X. FEIÇÕES DE DISPERSÃO SUPERFICIAIS.....	69
Classificação das feições	69
Feições singenéticas.....	69
clásticas.....	69
hidromórficas.....	70
biogênicas.....	70
Feições epigenéticas.....	70
hidromórficas.....	70
biogênicas.....	70
Partição dos constituintes dispersos	
entre os meios sólido e líquido.....	71
Extração dos metais em amostras clásticas.....	73
Forma das feições anômalas superficiais.....	74
clásticas.....	74
hidromórficas.....	75
biogênicas.....	76
Caudas de dispersão de depósitos minerais.....	76
Mobilidade no ambiente secundário.....	77
Anomalias não relacionadas a depósitos	
minerais.....	80
litologias com altos teores de fundo.....	80
contaminação.....	81
erros de amostragem.....	82
erros analíticos.....	83
Supressão de anomalias significativas.....	83
XI. ANOMALIAS NA COBERTURA RESIDUAL.....	85
Gossans e afloramentos lixiviados de minério.....	85
Anomalias singenéticas em solos residuais.....	86
Modo de ocorrência dos elementos.....	86
Intensidade e contraste de anomalia.....	87
Homogeneidade da feição.....	88
Variações com profundidade e tipo de	
solo.....	89
Anomalias não relacionadas a depósitos	
minerais.....	89
XII. ANOMALIAS NA COBERTURA TRANSPORTADA.....	90
Anomalias singenéticas.....	90
Anomalias epigenéticas.....	91
Anomalias não relacionadas a mineralizações.....	91

XIII. ANOMALIAS EM ÁGUAS NATURAIS.....	93
Persistência das anomalias.....	94
Contraste na fonte.....	94
Decaimento por diluição.....	94
Decaimento por barreiras de precipitação.....	96
XIV. ANOMALIAS EM SEDIMENTOS DE DRENAGEM.....	97
Modo de ocorrência dos elementos.....	97
Contraste.....	98
Padrões de decaimento.....	100
Intensificação das anomalias.....	100
XV. PROSPECÇÃO GEOQUÍMICA DE ROCHA (LITOGEOQUÍMICA)....	105
Estudos orientativos.....	106
XVI. PROSPECÇÃO GEOQUÍMICA DE SOLOS.....	107
Estudos orientativos.....	107
Operações de campo.....	109
padrões de amostragem.....	109
procedimentos de amostragem.....	111
localização e identificação das amostras.....	112
preparação e análise das amostras.....	112
preparação dos mapas geoquímicos.....	113
Interpretação de dados.....	113
Estimação do teor de fundo e limiares.....	114
Reconhecimento de anomalias não significa -	
tivas.....	114
Distinção entre anomalias laterais e sobre-	
jacentes.....	116
Avaliação de anomalias.....	116
Procedimentos gerais para detalhamento.....	117
XVII. PROSPECÇÃO GEOQUÍMICA EM DRENAGENS.....	119
Estudos orientativos.....	119
Padrões de amostragem.....	120
Representação gráfica.....	126
XVIII. PROSPECÇÃO GEOBOTÂNICA - breves informações.....	132
XIX. MANIPULAÇÃO DE DADOS E TRATAMENTO ESTATÍSTICO....	134
A amostragem.....	134
A observação.....	134
Dados discretos e dados contínuos.....	135
Medidas de tendência central e de dispersão.....	135
Probabilidade.....	136
As distribuições normal e log-normal.....	139
Histogramas.....	140
Gráficos de probabilidade.....	143
Construção.....	143
Princípios de interpretação.....	146
Aplicação prática.....	153
Correlação linear.....	157
Matriz e diagrama de correlação.....	159
Média móvel.....	160

XX. GLOSSÁRIO.....163

XXI. BIBLIOGRAFIA.....165

I - APRESENTACAO

A presente apostila foi preparada para o Curso Interno de Prospeção Geoquímica realizado na Minerais do Parana' S.A. MINEROPAR, em dezembro de 1985, para técnicos daquela empresa. Por extensão, e em virtude do Curso de Especialização em Geologia Exploratoria da Universidade Federal do Parana', em maio de 1986, disciplina de Metodos Geoquímicos de Prospeção, foi ampliada e revista.

O curso e a presente apostila, foram baseados principalmente em Rose, Hawkes e Webb (1979), Fletcher (1981), Govett (1983), Bradshaw, Clews e Walker (s.d.), Andrew-Jones (1968), Levinson (1974), Sinclair (1974,1976), Beus e Grigoryan (1977), Koch e Link (1971). Alguns capitulos acham-se traduzidos literalmente entretanto, na medida do possivel, foram incluidos exemplos brasileiros para substituir exemplos apresentados nos originais para condições geológico - geomorfológicas diferentes das aqui encontradas. Alguns adendos importantes foram obtidos com o Dr. L. Graham Closs, da Colorado School of Mines, no Curso de Exploração Geoquímica para Metais Base e Preciosos, ministrado na Universidade Federal do Rio Grande do Norte em marco de 1986.

A presente apostila foi impressa em processador de texto WORDSTAR, em computador SCOPUS NEXUS 1600 da Minerais do Parana, pelo proprio autor, em fevereiro-abril de 1986.

Curitiba, 13 de maio de 1986.

II - INTRODUCAO

Os métodos de prospecção mineral, sejam geoquímicos, geológicos, geofísicos, ou de sensoriamento remoto, capacitam-nos à detecção de corpos mineralizados, pela qualificação e quantificação das respostas dos mesmos. Estas respostas, vetorais permitem-nos através de suas mensurações, a discriminação de áreas mineralizadas daquelas não mineralizadas.

Dentre os métodos de exploração mineral, a mensuração da resposta química de mineralizações é dos mais utilizados, seja pela eficiência, seja pela relativa facilidade e baixos custos envolvidos em seu emprego rotineiro, seja ainda por ser o único que possibilita uma informação positiva de que os metais buscados, estão presentes na área-alvo. Segundo Closs (1986, com verbal) cerca de 30% dos custos de projetos de exploração mineral na Austrália e E.U.A., são destinados a exploração geoquímica. No Brasil, acreditamos que tal percentual seja maior ainda, em vista da pouca utilização entre nós, de métodos que envolvem custos maiores, tais como geofísica e sensoriamento remoto.

No entanto e por mais que seja buscado, não existe um modelo pronto e acabado para prospecção geoquímica, em vista das modificações das condições geológico-geomorfológicas de cada área. Deste modo, a asserção de que a prospecção geoquímica é tão eficiente que não importa o quão errado se conduza a amostragem, ou se manipule os dados, ou mesmo se prepare as amostras para um método analítico inadequado que, se o depósito mineral existir na área, ele inevitavelmente será detectado. Veremos que existem certas regras básicas de comportamento e controle a seguir, pois caso contrário, a regra de ouro da informática aqui também será válida: "Entra lixo, sai lixo!".

Os métodos e objetivos da exploração geoquímica

Métodos geoquímicos de exploração tem sido intensamente utilizados desde há cerca de 50 anos, com trabalhos desenvolvidos na União Soviética. Foram particularmente utilizados neste período os métodos baseados nos halos de dispersão secundários. Sua aplicação sobre territórios vastos e geologicamente variados conduziu à descoberta de um grande número de novos depósitos minerais.

Os princípios fundamentais do conhecimento acerca da migração, dispersão e concentração dos elementos químicos na crosta, foram estabelecidos por V.I. Vernadsky e A.E. Fersman, fundadores da escola soviética de geoquímica, e constituem o embasamento científico da prospecção geoquímica. Desse embasamento, fazem parte as particularidades da distribuição dos elementos químicos em diferentes tipos litológicos, solos, águas naturais e plantas, bem como suas relações com as condições geomorfológicas e climáticas.

A possibilidade de aplicação em exploração mineral dos

princípios geoquímicos baseados em dados quantitativos acerca da distribuição dos elementos químicos em materiais geológicos, conduziu a introdução da nova metodologia científica na prospecção e mesmo na organização das suas fases.

Metodos matematicos e estatisticos utilizados na manipulação dos dados, considerando as regularidades geoquímicas e geológicas, forneceram embasamento científico aos criterios de prospecção, na medida em que sua utilização acrescenta eficacia e precisão aos trabalhos de prospecção mineral.

Deve-se tambem enfatizar que a aplicação de métodos de exploração geoquímica, conduz a otimização do aproveitamento da prospecção na solução de um dos mais importantes problemas da atualidade, qual seja a descoberta de depósitos não aflorantes. Esta questão é da maior importância não apenas para os países industrializados ou regiões mineiras tradicionais, onde a possibilidade de descoberta de novas mineralizações é remota, devido ao conhecimento detalhado disponível, mas principalmente para os países em desenvolvimento da Asia, Africa e America Latina, situados em regiões tropicais e subtropicais. Nestes, as extensas crostas e coberturas de intemperismo, encobrendo as litologias, bem como a presença de espessas florestas em inumeras áreas, reduz drasticamente as possibilidades de prospecção visual para depósitos minerais. A aplicação de métodos de exploração geoquímica sob essas condições, assegura o sucesso da prospecção e essencialmente aumenta o seu efeito e chances de sucesso.

O que é exploração geoquímica ?

Exploração geoquímica baseia-se no conceito de que depósitos minerais economicos, constituem concentrações anômalas de um ou mais metais na crosta da Terra, contrastando fortemente com as encaixantes com teores normais. Durante os processos de intemperismo superficial ou proximo da superficie, estas concentrações anômalas são incorporadas aos produtos do intemperismo, e através dos processos químicos ou fisicos de decomposição, dispersam-se a partir do corpo mineralizado, formando um halo de dispersão. Este fornece um alvo exploratorio consideravelmente mais amplo que o proprio corpo mineralizado. Estes produtos se constituem em materiais facilmente amostraveis e tem sido amplamente utilizados em programas de exploração geoquímica.

A exploração geoquímica para metais, oleo e gas, envolve a medida de uma ou mais propriedades químicas em materiais naturais tais como rocha, solo, sedimentos de drenagem, águas superficiais ou subterraneas, vegetação e ar, e relaciona a distribuição a depósitos metalicos ou de hidrocarbonetos. Os parametros mais comumente mensurados na procura de concentrações anormais ou anomalias geoquímicas, são a concentração de um ou mais elementos-traço, ou compostos.

Deve entretanto ficar bem claro desde aqui, que a exploração geoquímica é apenas uma técnica de prospecção geológica e como tal deve ser utilizada .

Historico da prospeccao geoquimica

Os primeiros registros historicos que dao conta da utilizacão de observacão de propriedades químicas na procura de depósito minerais refere-se a Georg Bauer, conhecido por seu pseudonimo d Agricola e por seu famoso livro "De Re Metalica" (1530). La, el cita a existencia de vários "liquores" em águas de fontes e d drenagens, com os quais seriamos capazes de identificar por se gosto caracteristico, depósitos minerais especificos. Outr referência historica ja relacionando a presenca de depósit mineral com especies vegetais tipicas, deve-se ao genoves Giovanni de Castro, que trabalhando em uma jazida de alunita d Turquia, observou determinada especie vegetal que crescia sobre mineralizacão. Voltando a Italia, notou os mesmos vegetais na proximidades de Tolfa, na região do Lacio, onde executou alguma escavacões e descobriu boas jazidas de alunita. Por est contribuicão dada ao desenvolvimento local, recebeu do Papa Pio I uma pensao vitalicia e uma estatua em local publico (Talvez um boa ideia para o novo Codigo de Mineraçao!!!).

Entretanto, o embasamento cientifico só foi concebido na decada de 30, com a escola sovietica de geoquímica, onde se destacam Vernadsky, Fersman, Vinogradov, Ginzburg e Malyuga. Ja e 1932 foi levado a efeito na U.R.S.S. o primeiro grande program de prospeccão regional voltado para a descoberta de depósito estaníferos. Logo, seguiram-se levantamentos metalometricos (este o termo pelo qual os sovieticos denominam a prospeccão geoquímica), visando depósitos variados, dosando-se diversos elementos nas amostras, como Cu, Pb, Zn, Ni, W e outros. .

Neste mesmo ano, iniciaram-se pesquisas no campo d biogeoquímica, na U.R.S.S., Suecia e Finlandia.

Em 1945, Warren iniciou os trabalhos de pesquisa em prospeccão geoquímica na University of British Columbia, Canada. E 1947, Hawkes, Lovering e Bloom comecaram a desenvolver estudo orientativos e testes de aplicacão de metodologia no United States Geological Survey. Em 1954, Webb iniciou suas pesquisas no Imperial College of Science and Technology, e em 1955 o Bureau de Recherches Geologiques et Minieres, comecou seus trabalhos tanto no territorio frances quanto nas possesões coloniais africanas.

No Brasil, o primeiro trabalho relacionado com a prospeccão geoquímica, é o de Ribeiro e Florencio (1948) "Aplicacão das medidas de teor iônico do ar a pesquisa e a prospeccão d minerais radioativos". Na decada de 70 o PLANFAP e a UFB promoveram um curso de especializacão em prospeccão geoquímica que evoluiu para um curso de pos graduacão em geoquímica naquela Universidade, e que foi o responsavel pela formacão de toda uma geracão de geoquímicos de exploracão no Brasil.

No Parana', vem sendo desenvolvidos trabalhos utilizando prospeccao geoquimica, desde 1972 no Projeto Castro-Pirai do Sul executado pela Nuclebras - CNEN. Desde aquela data, empresas com Nuclebras, Petromisa, Mineropar, DNPM-CPRM, Unigeo vem utilizando extensivamente esta metodologia. Estima-se que ja' tenham sido coletadas cerca de 25.000 amostras de sedimentos de drenagem, 150

de concentrados de bateia e cerca de 15.000 amostras de solo em diversas areas do Escudo Paranaense.

III - PRINCIPIOS BASICOS

O ambiente geoquímico

A Terra ,geológica e geoquimicamente e um sistema dinamico,no qual os materiais são movimentados de um local para outro,mudando de forma e composição,por meio de uma grande quantidade de processos tais como fusão , cristalização , erosão , solução , precipitação , vaporização e decaimento radioativo.

Este grande sistema,extremamente complexo,entretanto pode ser simplifiadamente dividido em dois grandes grupos,com base em parametros tais como pressão , temperatura e fluidos disponiveis. Deste modo temos o ambiente profundo tambem denominado na literatura de hipógeno,primário e endógeno.Caracteriza-se por elevadas temperaturas e pressões,com circulação restrita de fluidos e baixo teor de oxigenio livre.Pertencem a este ambiente,os processos magmaticos e metamórficos.

Ja o ambiente superficial, tambem denominado de supérgeno, secundário ou exógeno , caracteriza-se por baixas pressões e temperaturas,uma movimentação livre de soluções , e presença abundante de oxigenio livre , água e CO₂.Fazem parte deste ambiente , processos de erosão,intemperismo,sedimentação,e diagenese.

A movimentação dos materiais de um para outro ambiente, pode ser didaticamente visualizado atraves do diagrama apresentado a Figura .

Comecando pela direita do diagrama,e movendo-nos no sentido horário,vemos rochas sedimentares sendo progressivamente metamorfasadas , a medida que são submetidas a temperaturas e pressões progressivamente maiores , com incrementos de materiais externos ao sistema.Podem eventualmente atingir um estado fluido tal que durante a recristalização serão capazes de se diferenciar em vários tipos de rochas igneas e fluidos hidrotermais.Quando a erosão apresenta a suite de rochas resultantes , ao ambiente superficial , os elementos componentes são redistribuidos pelos agentes do intemperismo.Uma série de rochas sedimentares e entao depositada e o ciclo recomeça.

Dispersao geoquímica

Uma dada massa de material na Terra , normalmente não mantem sua identidade a medida em que passa por transformações do ciclo geoquímico , mas ao contrário tende a ser redistribuida , fracionada , e misturada com outras massas ou materiais. Este processo , no qual atomos e partículas se movem para novos postos e ambientes geoquímicos , e chamado de dispersão geoquímica.Aproximadamente toda a dispersão ocorre em um sistema dinamico , no qual os materiais da Terra são submetidos a mudancas de ambiente químico , temperatura , pressões , tensoes mecanicas e outras condições fisicas.As rochas ou minerais estaveis em um determinado ambiente,e os graos ou atomos neles

contidos , são liberados e dispersos tanto por processos químicos

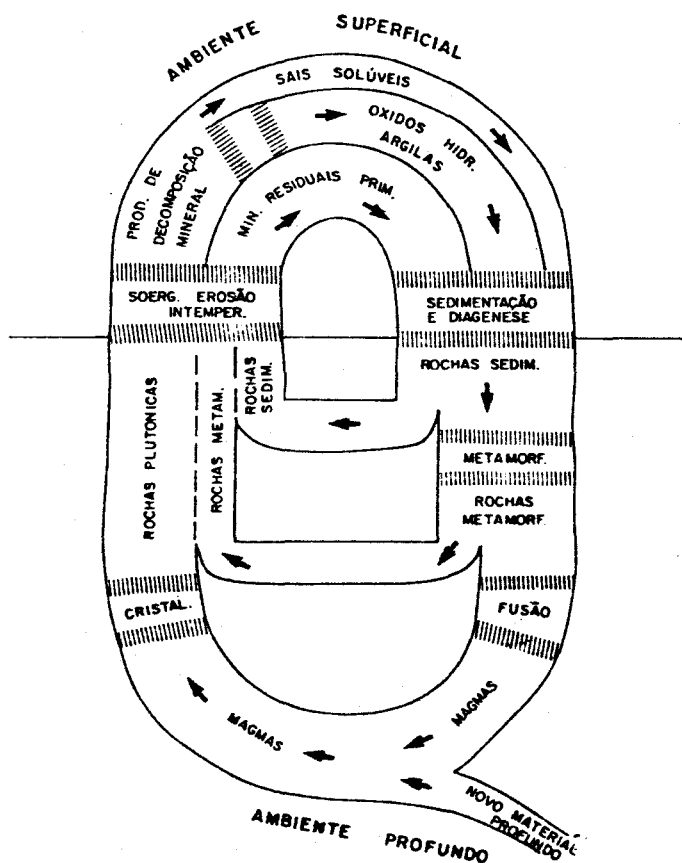


Figura 1 - O ciclo geoquímico. seg. Rose, Hawkes e Webb (1979).

quanto físicos.

A dispersão pode ser o efeito de agentes mecânicos por excelência , tais como a injeção de magmas ou movimentação de

materiais superficiais por ação das drenagens. Exceto a seleção natural por aluvios arenos-argilosos, processos puramente mecânicos de dispersão envolvem a mistura mas não a diferenciação dos materiais dispersos em frações específicas. Em contraste, processos químicos e bioquímicos, comumente criam frações de composição amplamente diversa. As frações mais móveis, tendem a deixar seu hospedeiro original quando condutos e gradientes físico-químicos mais adequados estiverem disponíveis. Quando uma fase móvel entra em um novo ambiente, uma parte do material introduzido pode ser depositado.

A dispersão tanto pode ser profunda quanto superficial, dependendo do ambiente geoquímico em que ocorra, e primária e secundária, se ocorrer durante a formação do depósito mineral ou durante um estágio tardio. Ao redor de depósitos magmáticos e da maioria dos hidrotermais, a dispersão primária está relacionada ao ambiente profundo, e a dispersão secundária ao ambiente superficial. Entretanto, por causa de um número crescente de depósitos minerais serem considerados como formados no ambiente superficial, uma distinção clara é necessária entre o ambiente de formação da mineralização e da dispersão (profunda versus superficial) e o estágio (primário versus secundário). Dispersão primária inclui todos os processos que conduzem ao posicionamento de elementos durante a formação de um depósito mineral, não importando como o depósito tenha se formado. Dispersão secundária, aplica-se a redistribuição das feições primárias por qualquer processo posterior, geralmente no ambiente superficial. Para mineralizações formadas por soluções hidrotermais e em profundidade, os dois grupos de termos têm significados paralelos; entretanto, para depósitos sedimentares sin-genéticos, feições primárias seriam formadas durante a sedimentação (Tabela 2). Feições secundárias seriam formadas em um tempo posterior caso o depósito fosse exposto ao intemperismo ou se o depósito fosse metamorfizado após a formação. Embora a terminologia possa ser confusa por vezes, é importante distinguir entre ambiente e momento em que o processo ocorre, pois que determinam as características da dispersão resultante.

Estágio	Ambiente	
	Superficial	Primário
Primário	Difusão dos metais nas encaixantes do depósito mineral, durante a deposição do minério.	Precipitação de traços de metais no assoalho oceânico, próximo de depósitos vulcanogênicos.
Secundário	Difusão de metais desde o depósito mineral submetido a metamorfismo.	Intemperismo de corpo de minério sulfetado.

Tabela 2 - Exemplos de dispersão em diferentes ambientes e estágios, seg Rose, Hawkes e Webb (1979)

Na dispersão profunda, os canais e locais de redeposição são geralmente as fissuras e os espaços intergranulares em rochas de profundidade. A dispersão superficial, por outro lado, se desenvolve próximo da superfície ou mesmo nela, onde feições são formadas nas fissuras e juntas, contidas em rochas próximas da superfície, na cobertura inconsolidada, nas drenagens, lagos, vegetação, e mesmo no ar.

O geoquímico de exploração procura traços dos materiais que tenham sido dispersos a partir do corpo de minério que esteja procurando. Estas feições de dispersão podem formar uma área-alvo consideravelmente maior que a mineralização, deste modo uma densidade de amostragem consideravelmente menor será necessária para que se processe a descoberta. Adicionalmente o geoquímico de exploração é interessado nas feições de distribuição dos elementos em rochas normais, porque ele deve ser capaz de distinguir estas feições normais daquelas relacionadas a corpos de minério.

A classificação geoquímica dos elementos

V. M. Goldschmidt, pesquisador pioneiro das regras de distribuição dos elementos químicos, sugeriu uma classificação baseada no comportamento geoquímico dos mesmos.

Baseou-se tanto em fundamentação teórica quanto em experimentações acerca de: (1) a composição dos três tipos de meteoritos: Fe - Ni, troilita (FeS) e silicato, assumindo que estes tenham composição média semelhante à da Terra primitiva e que foram sujeitos a uma diferenciação análoga; (2) das fases: metálica, escoria (silicatos), e mate (sulfeto) dos processos metalúrgicos; e (3) da composição de rochas silicatadas e de mineralizações sulfetadas.

Os resultados destes estudos, mostraram que a distribuição dos elementos, nos meios amostrados por Goldschmidt, ajustavam-se com boa precisão as hipóteses de trabalho possibilitando que propusesse sua classificação geoquímica:

1. Siderófilos: com afinidade para o ferro; concentram-se no núcleo da Terra;
2. Calcófilos: com afinidade para o enxofre; concentrados nos sulfetos;
3. Litófilos: com afinidade para a sílica; concentrados na crosta terrestre como silicatos;
4. Atmosfílicos: presentes como gases na atmosfera;
5. Biofilos: comumente encontrados nos organismos vivos.

Para propósitos de prospecção geoquímica, é o bastante sabermos que os métodos de Goldschmidt são eficientes para explicar a distribuição de elementos traço e menores em minerais.

SIDEROFILOS			CALCOFILOS			LITOFILOS					ATMOFILOS		
Fe	Co	Ni	Cu	Ag		Li	Na	K	Rb	Cs	H	He	Ar
Ru	Rh	Pd	Zn	Cd	Hg	Be	Mg	Ca	Sr	Ba	Kr	Xe	Rn
Os	Ir	Pt	Ga	In	Tl	B	Al	Sc	Y		N		
Au	Re	Mo	(Ge)	(Sn)	Pb	Terras Raras							
Ge	Sn		As	Sb	Bi	(C)	Si	Ti	Zr	Hf			
C	P		S	Se	Te					Th			
(Pb)	(As)	(W)	(Fe)		(Mo)								
					(Cr)								
						(P)	V	Nb	Ta				
						O	Cr	W	U				
						(H)	F	Cl	Br	I			
						(Ti)	(Ga)	(Ge)					
						(Fe)	Mn						

Tabela 2 - Classificacao geoquimica de Goldschmidt

e rochas igneas principalmente para os elementos litofilos. E' importante ainda o fato de que alguns elementos litofilos como por exemplo o Cs e o Rb tem raio ionico muito grande em relacao aos elementos formadores de minerais abundantes como por exemplo o Zr +4 , o Ta +5 e o Nb +5, e por este motivo e' possivel explicar porque estes elementos nao estao acomodados nas estruturas dos minerais formadores de rocha em quantidades apreciaveis. Como resultado, eles concentram - se em fluidos residuais, onde eventualmente cristalizam, e geralmente no estagio pegmatitico. Outros de particular interesse em prospeccao geoquimica, cristalizam em veios sulfetados ou como elementos nativos.

Associacoes dos elementos

Em um levantamento geoquímico, um elemento medido com o objetivo de detectar um corpo de minério, e denominado de elemento indicador. Na maioria das situações, o elemento indicador e um componente economicamente valioso no minério procurado, por exemplo Cu para mineralizações cupríferas, ou U para mineralizações uraníferas. Entretanto, se um componente principal do minério for de difícil análise, for imóvel ou produzir dados de interpretação difícil, outro elemento associado ao minério pode ser de utilidade. Tal elemento e denominado de farejador. Antes de decidir pelo uso de um elemento farejador, a associação do mesmo com a mineralização, e a gama de variação dos ambientes geoquímicos nos quais a associação ocorre, devem ser examinadas.

Elementos tendem a se associar devido suas mobilidades relativas em um grupo de processos geológicos. Dentro da amplitude dos ambientes nos quais os elementos estão associados, a razão dos dois elementos permanece relativamente constante, deste modo teores elevados de um elemento são acompanhados por elevados valores do outro e vice-versa. Este relacionamento é

ilustrado na Tabela 3 , abaixo. Alguns elementos mantem associações características ao longo de amplo espectro de

Associações Plutônicas

Rochas Ultramáficas	Cr, Co, Ni, Cu
Rochas Máficas	Ti, V, Sc
Rochas Alcalinas	Ti, Nb, Ta, Zr, TR, F, P
Carbonatitos	TR, Ti, Nb, Ta, P, F
Rochas Graníticas	Ba, Li, W, Mn, Sn, Zr, Hf, U, Th, Ti
Pegmatitos	Li, Rb, Cs, Be, TR, Nb, Ta, U, Th, Zr, Hf

Mineralizações Hidrotermais

Depósitos de Cu-pórfiro	Cu, Mo, Re
Sulfetos complexos	Hg, As, Sb, Se, Ag, Zn, Cd, Pb
Sulfetos de baixa Temp.	Bi, Sb, As
Metais básicos	Pb, Zn, Cd, Ba
Metais preciosos	Au, Ag, Cu, Co, As
Metais preciosos (umáficas)	Ni, Cu, Pt, Co

Metamorfismo de Contato

Scheelita-cassiterita	W, Sn, Mo
Fluorita-helvita	Be, F, B

Associações Sedimentares

Folhelhos negros	U, Cu, Pb, Zn, Cd, Ag, Au, V, Mo, Ni, As...
Fosforitas	U, V, Mo, Ni, Ag, Pb, F, TR
Evaporitos	Li, Rb, Cs, Sr, Br, I, B
Lateritas	Ni, Cr, V
Oxidos de Mn	Co, Ni, Mo, Zn, W, As, Ba, V
Red beds continentais	U, V, Se, As, Mo, Cu, Pb
Red beds vulcanogénicos	Cu, Pb, Zn, Ag, V, Se
Bauxita	Nb, Ti, Ga, Be

Tabela 3 - Associações geoquímicas selecionadas (seg. Rose, Hawkes e Webb, 1979)

condições geológicas. Outros podem mover-se juntos, durante a maioria dos processos do ambiente profundo (primário) rompendo-se a afinidade no ambiente superficial. Ainda outros são característicos de rochas plutônicas muito específicas e minérios oxidados associados, ou de minérios sulfetados, ou de certos tipos de minérios sedimentares; a presença de um membro da associação, sugere a provável presença dos outros membros.

Elementos farejadores úteis, são aqueles com propriedades

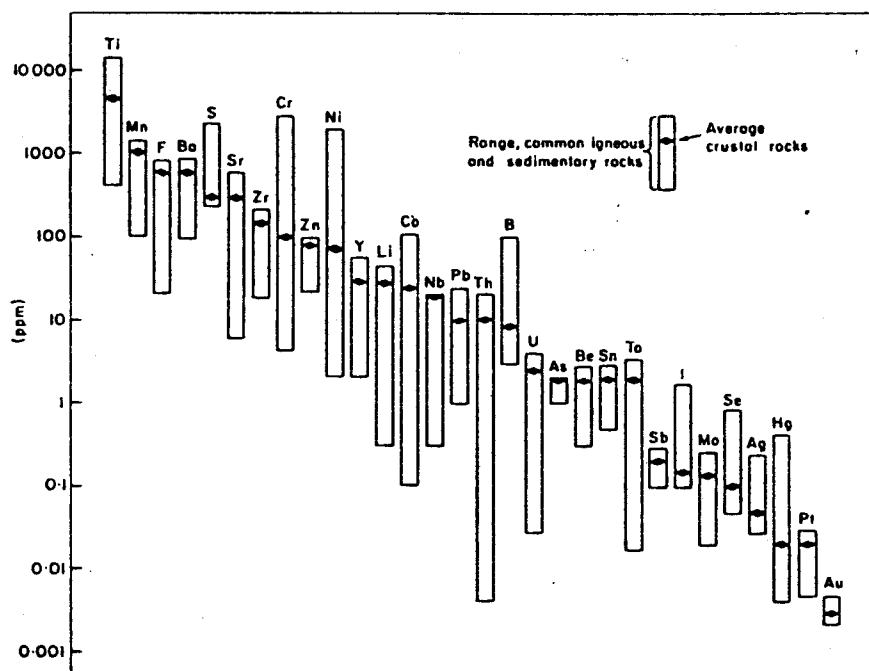


Figura 2 - Medias e amplitude dos teores dos principais elementos menores em rochas normais. seg Rose, Hawkes e Webb, 1979

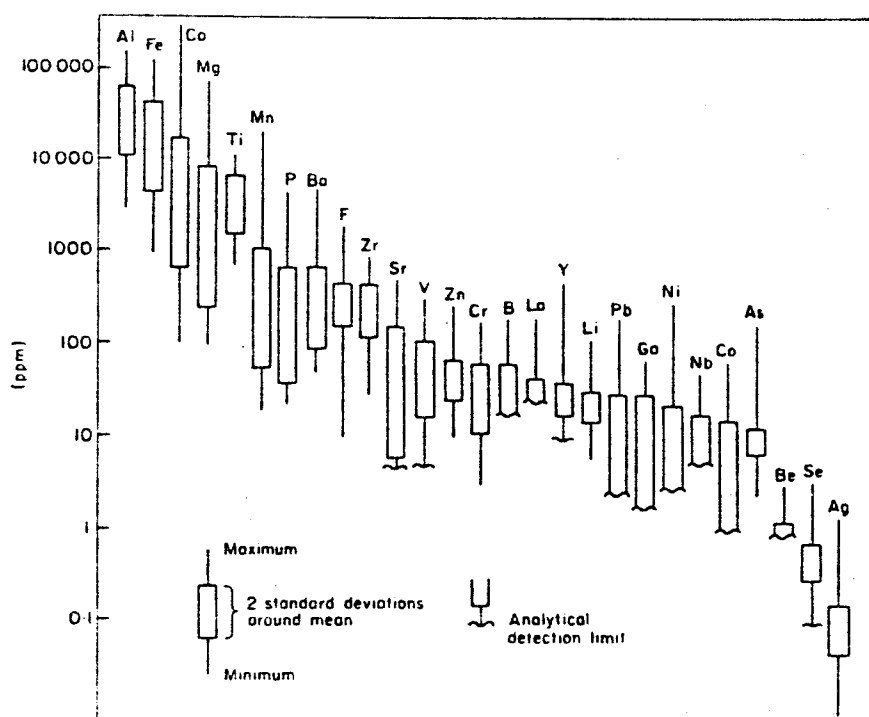


Figura 3 - Amplitude de variacao dos elementos maiores e traco nos solos. seg Connor e Schacklette, em Rose Hawkes e Webb, 1979.

geoquímicas e mesmo analíticas mais adequadas que os metais minério procurados. Alguns exemplos são dados a Tabela 4 ; uma lista mais extensa e apresentada a Tabela 5 . Por exemplo um

Elementos farejadores

Tipo de depósito

As	Au,Ag ; filonianos
As	Au-Ag-Co-Cu-Zn ; sulfetos complexos
B	W-Be-Zn-Mo-Cu-Pb ; skarn
B	Sn-W-Be ; veios ou graisen
Hg	Pb-Zn-Ag ; sulfetos complexos
Mo	W-Sn ; metamorfismo de contato
Se,V,Mo	U ; sedimentar
Pd,Cr,Cu,Ni,Co	Platina e grupo em ultramáficas
Zn	Ag-Pb-Zn ; sulfetos em geral
Zn,Cu	Cu-Pb-Zn ; sulfetos em geral
Rn (água e gas do solo)	U ; todos os tipos
SO4 -- (água)	sulfetos de todos os tipos

Tabela 4 - Exemplos de elementos farejadores usados para detectar mineralizações (seg. Levinson,1974)

elemento com elevada mobilidade no ambiente superficial, pode fornecer detecção mais efetiva de uma mineralização composta de elementos móveis, se ele estiver consistentemente associado com aquela mineralização. O molibdenio é mais móvel que o cobre na maioria das condições ambientais, e pode ser utilizado como farejador de depósitos de cobre pórfiro, os quais tipicamente contem Mo. Em outros casos, o farejador pode produzir padrões mais claros e menos ambiguos em valores elevados, que os elementos mais abundantes do minério, como é o caso da utilização do Cu como farejador de mineralizações de Ni-Cu, as quais tipicamente ocorrem em rochas ricas em Ni, e que independente se mineralizadas ou não, sempre fornecem valores elevados de Ni. Em terceiro lugar, um elemento farejador pode ser mais facilmente detectado que o elemento procurado, como é o caso do As como farejador para depósitos de ouro. A característica essencial é que os elementos farejadores devem ter um estreito e consistente relacionamento com a mineralização. Sob este aspecto, deve ser observado que os elementos farejadores são normalmente utilizaveis apenas para determinados tipos de mineralizações ou ambientes geoquímicos. Por exemplo, o Mo não é um farejador para todos os tipos de depósitos cupríferos, mas apenas para os cobre pórfiros. Os farejadores mais amplamente utilizados estão listados na Tabela 5 .

Tipo de deposito	Componentes maiores	Elementos associados
Depositos magmaticos		
Cromita tipo Bushveld	Cr	Ni, Fe, Mg
Magnetita estratificada tipo Bushveld	Fe	V, Ti, P
Sulfetos de Cu - Ni tipo Sudbury	Cu, Ni, S	Pt, Co, As, Au
Pt - Ni - Co em intrusoes estratificadas (Bushveld)	Pt, Ni, Cu	Cr, CoS
Oxidos de Fe - Ti imisciveis tipo Allard Lake	Fe, Ti	P
Carbonatito a Nb - Ta (Oka)	Nb, Ta	Na, Zr, P
Pegmatitos de metais raros	Be, Li, Cs, Rb	B, U, Th, TR
Depositos hidrotermais		
Cobre porfiro (Bingham)	Cu, S	Mo, Au, Ag, Re, As, Pb, Zn, K
Cobre porfiro (Climax)	Mo, S	W, Sn, F, Cu
Skarn a magnetita (Iron Springs)	Fe	Cu, Co, S
Skarn a cobre (Yerington)	Cu, Fe, S	Au, Ag
Skarn a Pb - Zn (Hanover)	Pb, Zn, S	Cu, Co
Skarn W-Mo-Sn (Bishop)	W, Mo, Sn	F, S, Cu, Be, Bi
Veios de metais-base	Pb, Zn, Cu, S	Ag, Au, As, Sb, Mn
Graisens a Sn-W	Sn, W	Cu, Mo, Bi, Li, Rb, Si, Cs, Re, F, B
Veios Sn-sulfeto	Sn, S	Cu, Pb, Zn, Ag, Sb
Veio Co-Ni-Ag (Cobalt)	Co, Ni, Ag, S	As, Sb, Bi, U
Metais preciosos "epitermais"	Au, Ag	Sb, As, Hg, Te, Se, S, U
Mercurio	Hg, S	Sb, As
Veios uraniferos	U	Mo, Pb, F
Cobre em basalto (tipo L. Superior)	Cu	Ag, As, S
Sulfeto de Cu macico vulcanogenico	Cu, S	Zn, Au
Sulfeto de Zn-Cu-Pb macico vulcanogenico	Zn, Pb, Cu, S	Ag, Ba, Au, As
Formacoes ferriferas ricas em Au-As	Au, As, S	Sb
Pb-Zn tipo Mississippi Valley	Zn, Pb, S	Ba, F, Cd, Cu, Ni, Co, Hg
Fluorita Mississippi Valley	F	Ba, Pb, Zn
Uranio tipo arenito	U	Se, Mo, V, Cu, Pb
Cu em "red-bed"	Cu, S	Ag, Pb
Uranio em "calcrete"	U	V
Tipos sedimentares		
Folhelho cuprifero (Kupferschiefer)	Cu, S	Ag, Zn, Pb, Co, Ni, Cd, Hg
Arenito cuprifero	Cu, S	Ag, Co, Ni

Tabela 5 - Elementos associados (farejadores) a determinados tipos de mineralizacoes. seg Rose, Hawkes e Webb (1979).

A distribuição geoquímica dos elementos

Em qualquer área, a distribuição geográfica de um dado elemento em rochas, solos e outros materiais, é uma resposta do somatório de processos que dizem respeito a movimentação dos materiais da Terra. Em muitas situações, esta distribuição simplesmente reflete a distribuição de unidades litológicas. Outros processos do ambiente primário tais como alterações hidrotermais, podem modificar esta relação básica dos tipos litológicos. Intemperismo, erosão, e uma variedade de outros processos no ambiente superficial, irão obscurecer e modificar as feições do ambiente primário.

O reconhecimento de feições ou modelos relacionados a mineralizações é o objetivo da exploração geoquímica. Se os efeitos relacionados com mineralização são intensos e relativamente localizados, a distinção de processos normais, é simples; por outro lado, se os efeitos são fracos e relacionados a mineralizações de maneira complexa, a interpretação é do mesmo modo mais difícil e complexa. Para reconhecimento efetivo das feições e padrões relacionados a mineralizações, é necessário em primeiro lugar a determinação do teor de fundo dos elementos indicadores dos materiais não mineralizados.

Teor de fundo

A abundância de um elemento em materiais não mineralizados, é comumente referida como teor de fundo ("background" ou "teneur de fond"). Para qualquer elemento, a abundância normal vai diferir de um material para outro, de maneira considerável. Além disso, a distribuição de um elemento em qualquer material específico raramente é uniforme. Deste modo, é bem mais realista a consideração de teor de fundo como uma faixa de variação ao invés de um valor absoluto, mesmo que seja em um ambiente consideravelmente uniforme. A própria natureza do ambiente entretanto, pode desempenhar forte influência na distribuição, por causa de certas condições que podem provocar o enriquecimento ou empobrecimento em certos elementos. Consequentemente, qualquer que seja o tipo de amostra envolvida, a faixa de valores de teor de fundo, deve ser determinada ou pelo menos ser considerada a cada nova área estudada.

Como orientação do nível geral dos valores de teor de fundo esperados nas rochas, os dados acerca da composição média das rochas ígneas, é bastante útil (Figura 2). A composição de muitos tipos de rochas, entretanto difere significativamente da média, tanto para os elementos menores quanto para os elementos traço. Por exemplo, rochas ultramáficas são caracterizadas por teores bastante elevados de Cr, Ni e Co (Figura 2) bem como algumas rochas graníticas contêm teores maiores que os normais para Li e Rb.

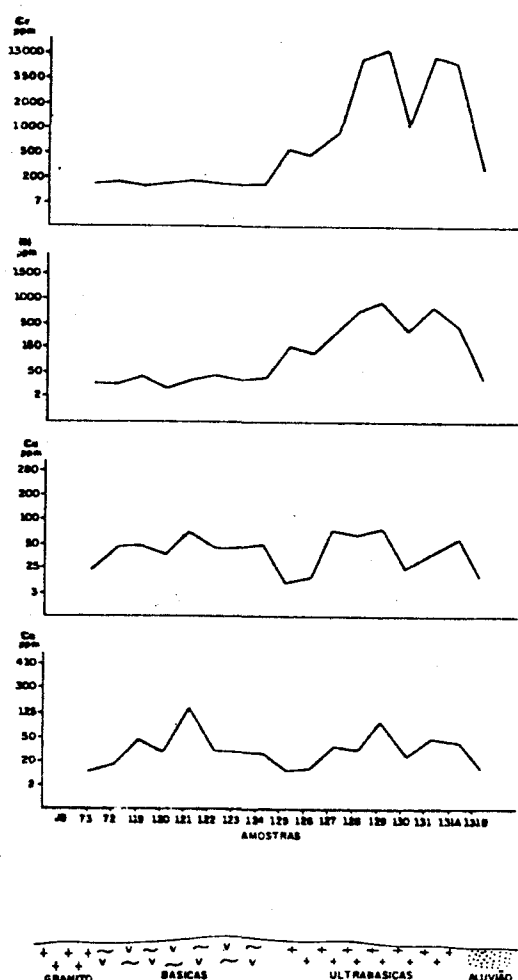


Figura 4 - Perfis geológico / geoquímicos da área de Pien, Paraná. dados extraídos de Carvalho e col. (1980).

O teor de fundo em solos é sujeito a variações apreciáveis, de acordo com o tipo e horizonte, particularmente em perfis bem diferenciados, caracterizados por enriquecimento visível de seus constituintes tais como óxido de Fe ou matéria orgânica. A faixa dos valores e os extremos realmente observados em solos normais são mostrados na Figura 3.

A distribuição estatística dos teores de fundo

Estudos da distribuição de frequências dos elementos nas rochas, e outros materiais naturais, sugere que em muitos casos os teores transformados a seus logaritmos apresentam distribuição normal (Ahrens, 1954; 1957) como indicado no Capítulo que trata da

manipulação de dados e tratamento estatístico. Uma grande controvérsia surgiu desta generalização (Shaw, 1961) e como resultado, ficou claro que embora muitos dos elementos traço e menores tenham distribuição aproximadamente log-normal, nem esta, nem qualquer outra distribuição é universalmente aplicável. Por causa da grande variedade de processos que afetam os materiais geológicos, e a grande variedade de materiais incluídos em qualquer grupo estatístico de observações considerados como uma população, os dados não podem ser observados como ajustados a um tipo específico de distribuição teórica. Por exemplo Oertel (1969), mostra que alguns grupos de dados são melhor ajustados às distribuições beta e gama que às funções normais, e Tolstoy e col (1965) relatam que as curvas do tipo Pearson I e IV ajustam-se melhor que as curvas log-normais. Govett e col (1975) sugeriram que os elementos em populações bem definidas são distribuídos normalmente ao invés de log-normalmente.

Quanto à hipótese de distribuição log-normal ser ou não rigorosa e conter excesso de generalizações, permanece o fato de que muitos grupos de dados encontrados em exploração geoquímica parecem ser mais aproximados à distribuições log-normais que às normais, e resultados muito úteis podem ser obtidos, caso assumirmos o comportamento log-normal (Tennant e White, 1959; Miesch, 1977; Sinclair, 1974, 1976). Para a maioria dos grupos de dados geoquímicos, pouco se obtém pela utilização de distribuições teóricas mais complexas.

A anomalia geoquímica

Por definição, uma anomalia é um desvio da normalidade. Uma anomalia geoquímica, especificamente, é um desvio dos padrões geoquímicos considerados como normais para determinada área do ambiente geoquímico. Estritamente, sendo um depósito mineral um fenômeno raro ou anormal, será por si só uma anomalia geoquímica. Adicionalmente, os padrões reconhecíveis de dispersão geoquímica relacionados tanto à genese quanto à erosão de depósitos minerais são anomalias.

Anomalias relacionadas a mineralizações e que podem ser usadas como guias para elas, são denominadas de significativas. Tais anomalias, geralmente consistem de teores maiores que os teores de fundo; anomalias negativas são apenas raramente encontradas e de pequena utilidade em prospecção. Desafortunadamente, teores elevados de elementos indicadores podem ser encontrados a partir de mineralizações não econômicas ou de processos geológicos ou geoquímicos não relacionados a mineralizações. Tais anomalias, superficialmente similares, são denominadas de não significativas.

O limiar é o teor de fundo do elemento indicador, acima do qual a amostra é considerada como anômala. No caso mais simples, o limiar é o limite superior das flutuações normais do teor de fundo; qualquer valor mais elevado será uma anomalia, e valores mais baixos serão considerados como teores de fundo. Em casos mais complexos, dois ou três tipos de teores de fundo podem ser reconhecidos. As vezes as anomalias relacionadas a mineralizações podem estar posicionadas em um grupo de teor de fundo um pouco

mais elevado que os valores normais, representando um relevo geoquímico que consiste de : (1) um plato de baixos teores representando o teor de fundo regional, separado do limiar regional por (2) um plato de valores mais elevados, relacionados a uma mineralização de baixos teores ou a dispersão, que cresce ate (3) as anomalias mais estreitamente relacionadas a mineralizações definidas pelo limiar local (Figura 5). O reconhecimento dos limiares local e regional, pode ser de grande importância em prospecção, na medida em que possibilitam a delimitação de trabalhos para anomalias de pico, aos platos de valores elevados definidos por amostragem regional em malha larga.

Em outros casos, dados de estudos orientativos em vários depósitos conhecidos podem conduzir a determinação de limiares bem acima do nível das flutuações do teor de fundo objetivando a separação de anomalias significativas daquelas relacionadas a mineralizações fracas ou feições geoquímicas incomuns. Em qualquer caso, o limiar é posicionado em um nível que seja mais conveniente e eficiente na detecção, e na delimitação das mineralizações.

O contraste de uma anomalia expressa sua intensidade, como uma razão relacionada ao teor de fundo normal ou então ao limiar. Tanto teor de fundo quanto limiar, são usados por diferentes

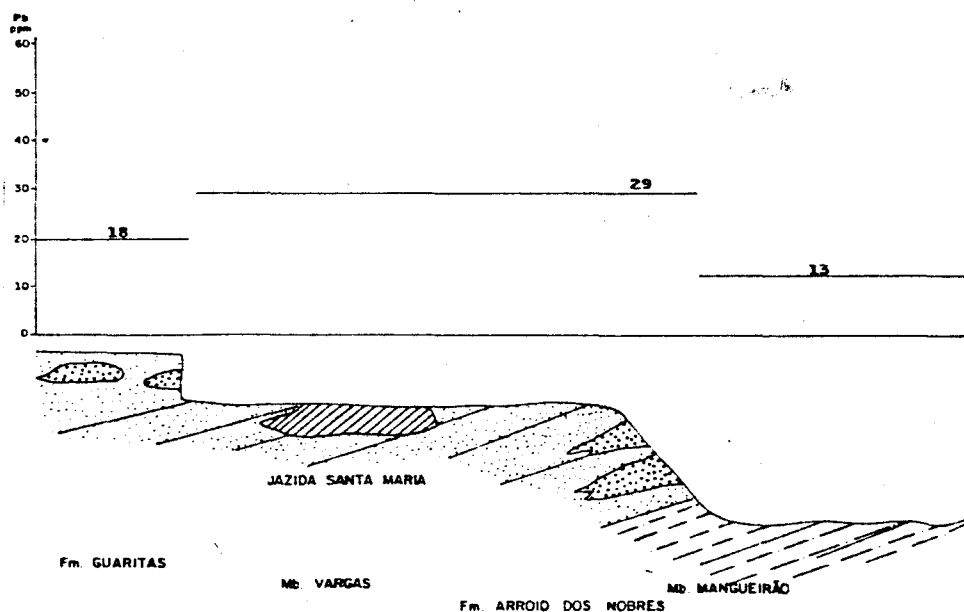


Figura 5 - Teores de fundo em Pb, de tres unidades litoestratigraficas diversas. Janela Bom Jardim, RS. seg. dados de C.B.C. inédito.

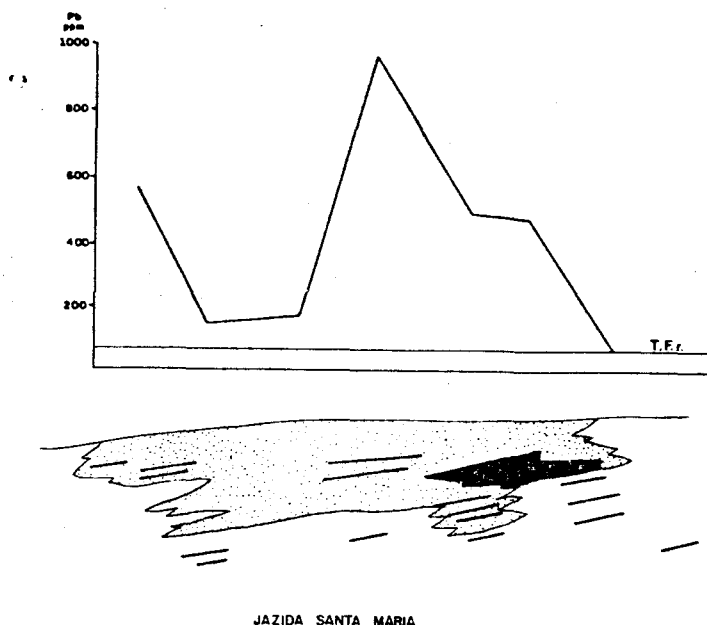


Figura 6 - Comparação do teor de fundo regional (T.Fr) do Mb. Vargas com o teor de fundo local da Jazida Santa Maria, RS. seg dados de C.B.C inéditos.

autores como denominador na razão, e deste modo deve ser claramente expresso qual nível de referência foi utilizado. Para a maioria dos propositos, a razão da anomalia em relação ao teor de fundo é mais simples e permite comparações mais fáceis.

Estudos orientativos

Como teremos oportunidade de observar ao longo do texto, ao variarem as condições ambientais e geológicas, ocorrerão modificações radicais na resposta de determinados elementos aos métodos geoquímicos.

Em vista dessa consideração, é importante que ao abordarmos novas áreas para exploração, desenvolvamos estudos geoquímicos orientativos, objetivando definir, ou no mínimo capacitar-nos a responder as seguintes questões básicas :

- quais os processos de dispersão ativos na área ?
- quais os meios amostrais disponíveis ?
- qual o meio amostral que deve ser utilizado ?
- como devem ser coletadas as amostras ?
- qual deve ser o espaçamento da amostragem
- como devem ser preparadas as amostras para análise ?
- como devem ser analisadas as amostras ?
- qual a suite de elementos a ser analisada ?
- qual deve ser a forma de interpretação e apresentação dos dados ?

As respostas às questões acima, serão obtidas com um estudo orientativo bem planejado e conduzido, sem ideias pré concebidas acerca das condições da área. Deste modo, serão selecionadas as técnicas mais apropriadas para cada depósito e o meio no qual esta inserido.

Em termos absolutos, um estudo orientativo representa um dispendio financeiro muito reduzido quando comparado com o que será investido em um projeto, com o agravante que caso forem adotados parâmetros amostrais e analíticos inadequados, o trabalho sistemático e de elevado custo relativo, poderá ser inconclusivo.

É assim interessante que tenhamos em mente que um estudo geoquímico orientativo objetiva maximizar a informação obtida, otimizando os custos e os processos do projeto.

IV - PRINCIPIOS DE ANALISE DE ELEMENTOS-TRACO

Modo de ocorrencia dos elementos-traço nos solidos

A forma sob a qual os elementos traço ocorrem em amostras de solo, sedimentos de drenagem, rocha e outros materiais naturais, determina seu comportamento químico, em resposta tanto ao ambiente natural quanto aos procedimentos de laboratório. Quatro tipos principais de modos de ocorrência são apresentados, abaixo e na Figura 7.

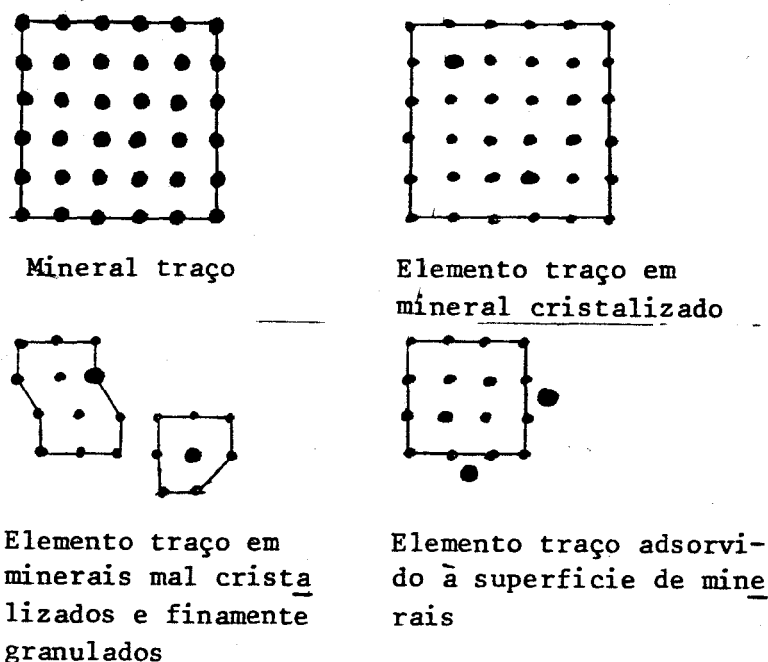


Figura 7 - Diagramas esquematicos de quatro modos de ocorrencia de elementos traço; (●) elemento traço, (•) elemento maior. seg. Rose, Hawkes e Webb (1979)

1. como elemento maior em material traço, tal como o Pb na anglesita ($PbSO_4$), o Cu na malaquita ($Cu_2CO_3(OH)_2$), ou o Au como metal nativo. A mobilidade dos elementos traço, sob esta forma, depende principalmente da solubilidade e solução química, ou dos processos físicos de transporte dos grãos.

2. como constituinte traço na estrutura de minerais bem cristalizados, tal como o Zn na magnetita, o Pb no feldspato potássico, ou o Cu na biotita. Minerais bem cristalizados são mais comumente formados por processos ígneos, metamórficos e hidrotermais. O comportamento de elementos traço que ocorrem sob esta forma, depende primariamente das propriedades do mineral hospedeiro. Se e quando esta matriz for destruída ou decomposta, o elemento traço será então governado pela química da solubilidade simples.

3. como elemento traço em materiais mal cristalizados, ou absorvidos como mineral traço em uma fase, ou ainda adsorvidos em

materiais e aprisionados por precipitações posteriores. Tais materiais são comumente formados em ambientes superficiais. Exemplos são Co e Cu em óxido de Fe-Mn, Zn em posições fortemente ligadas nos octaedros de argila montmorilonítica, e Hg em compostos orgânicos. Basicamente, os controles de comportamento de tais elementos traço, são os mesmos que em 2. acima, mas por causa da natureza pobremente cristalina da hospedeira, os elementos traço tendem a ser mais acessíveis às soluções circundantes do que aqueles retículos mais perfeitos e grossos de materiais formados em ambientes ígneos, metamórficos e diagenéticos. A despeito deste fato, dissoluções parciais do mineral hospedeiro, ou um ataque ácido forte da amostra integral geralmente são necessários para liberar os elementos traço da mesma.

4. como elemento traço adsorvido à superfície de partículas coloidais de óxido de Fe-Mn, argilas e matéria orgânica, ou na camada de troca de um argilo-mineral. Elementos nestas posições são controlados principalmente por equilíbrio de troca iônica; até mesmo pequenas mudanças na composição de soluções circundantes podem liberar os elementos traço à solução.

Do que acima foi dito, fica claro que os elementos traço incluídos em um mineral hospedeiro, o qual é em parte inerte tanto em ambiente natural quanto de laboratório, permanecerá na fase sólida e apenas será afetado por processos físicos tais como seleção por granulometria, ou densidade da partícula. Por outro lado, um elemento traço que ocorra como mineral traço ou como íon adsorvido, pode ser colocado diretamente em solução por mudanças apropriadas na solução circundante. Elementos traço nos retículos dos minerais maiores são apenas colocados em solução após a decomposição integral do hospedeiro.

Preparação de amostras

Existem muitas variáveis que entram na preparação de uma amostra geoquímica que será analisada, não sendo menos importante a própria natureza da amostra. Nos casos mais simples, amostras de água são diretamente aspiradas no aparelho de absorção atômica sem qualquer preparação, entretanto uma preconcentração deve ser efetuada por meio de evaporação ou mesmo extração orgânica quando os teores de metal na amostra de água forem muito baixos.

Os processos principais a serem considerados na preparação de amostras para análise química são: secagem, britagem, peneiração, quarteamento, moagem e pulverização. Não importa o quão cuidadosamente a amostra tenha sido coletada pois se for incorretamente preparada, os dados analíticos obtidos poderão ser totalmente inválidos. Deve ser também considerado que, sejam os 0,1 grama analisados em casos de amostras de sedimentos de drenagem ou até 100 gramas em casos de análises de fusão para Au e Pt, estas quantidades representam porções muito reduzidas de qualquer material, seja uma bacia de drenagem seja um corpo mineralizado. A precisão e a exatidão de amostras muito pequenas tendem a ser muito baixas.

Secagem - A secagem é fundamental, pois amostras úmidas não podem ser completamente peneiradas. Se as amostras são colocadas em sacos especialmente desenhados, elas podem ser penduradas em varais, no campo, de modo a serem transportadas ao laboratório com um mínimo de água. Também podem ser colocadas em vidros de relógio ou recipientes especiais e colocadas em fornos a temperaturas de cerca de 105 graus centígrados, para acelerar o processo de secagem. Muito cuidado deve ser dispensado a amostras que serão analisadas para elementos facilmente voláteis, como por exemplo o mercúrio, pois não podem ser secas ao forno já que o elemento de interesse poderá ser perdido.

Britagem - a britagem é necessária para reduzir o tamanho das massas de amostras de rocha, facilitando a subsequente quarteação e peneiração, objetivando uma verdadeira homogeneização e representatividade da mesma.

Peneiração - Amostras de solo e sedimentos de drenagem, após desagregação, são geralmente passadas em peneira de 80 mesh, a menos que estudos orientativos indiquem outras frações (por exemplo - 120 mesh no caso de alguns solos residuais da África). Esta peneira deve ser feita de náilon ou alumínio para evitar contaminação pelo aço ou latão. A agitação em vibradores mecânicos deve se estender por meia hora, sendo todos os resíduos indesejáveis assim separados.

Quarteação - a mistura e quarteação são particularmente necessárias para a obtenção de amostras representativas de uma amostra maior de qualquer material. O processo pode ser efetuado por meio de quarteadores manuais tipo Jones, por quarteadores mecânicos rotativos, ou ainda manualmente pelo método tradicional de rejeição de frações opostas de um cone de amostra, dividido em cruz.

Moagem - pequenas porções de amostras obtidas por quarteação ou mesmo de pequenas amostras em bruto, podem ser moídas em gral de ágata, cerâmica ou em moinho não contaminante, para fornecer uma amostra representativa e passível de ataque mais eficaz pelos agentes químicos de decomposição.

Das breves descrições acima, ficou claro que a preparação das amostras, é uma importantíssima faceta do aspecto laboratorial da exploração geoquímica. De fato, Ingamells e col. (1972; em Rose, Hawkes e Webb, 1979) mostraram que métodos de quarteação, moagem e outros, quando realizados de maneira inadequada, podem resultar em erros analíticos de grandes dimensões, atingindo por vezes cerca de 100%. Garret (1969; em Rose, Hawkes e Webb, ob.cit.) examinou a questão de erros analíticos e de amostragem em exploração geoquímica, e determinou a maneira pela qual estes parâmetros podem ser calculados.

Caso forem executados corretamente, os trabalhos de preparação de amostras são grandes consumidores de tempo. Em operações comerciais de grande escala, a preparação de amostras é aparentemente, a principal fonte de erros na determinação dos conteúdos ou teores, sobrepujando qualquer outra atividade do processo analítico.

Decomposicao das amostras

Muitos métodos de extração de metais traço em solos, sedimentos e outros materiais, são usados em exploração geoquímica. O usuário pode escolher um método que forneça um contraste otimizado entre anomalias e teor de fundo, dentro das restrições de custo, tempo, equipamento e passos analíticos encadeados. Em muitos levantamentos geoquímicos, o contraste pode ser melhorado pela extração seletiva de apenas certas formas de ocorrência de determinado elemento, ao invés do teor total do mesmo. Tais métodos de extração seletiva são baseados na forma de ocorrência do elemento.

Os termos "total", "facilmente solúveis", "extraível a quente", "extraível a frio", e expressões similares são amplamente utilizadas em exploração geoquímica, entretanto sem um significado bem definido. "Total" frequentemente refere-se a decomposição por fusão ou tratamento por ácidos minerais concentrados e a quente, os quais usualmente extraem 80-100% dos metais na maioria das amostras, mas podem extrair menos que 50% em outros tipos de amostras e alguns minerais. Tais métodos seriam melhor denominados de "quase-totais". Deste modo o termo "total" poderia se referir a análise por espectrografia ótica de emissão, a fluorescência de raios X ou ativação neutronica, ou ainda decomposição por HF combinado com outros ácidos fortes, os quais fornecem o teor total do metal contido para a maioria dos materiais naturais. "Extraível a quente" geralmente refere-se ao tratamento com ácidos quentes em concentrações de 0,1 a 1 M. "Extraível a frio" (geralmente expresso na literatura como cxMe), geralmente refere-se ao tratamento com soluções tampão de pH 4-9, possivelmente combinados com agentes complexantes tal como a ditizona (difencilcarbazona) ou EDTA (ácido etileno diamino tetracético) a temperatura ambiente.

Em virtude das muitas possibilidades de tratamento, nenhuma nomenclatura concisa parece possível, e os procedimentos adotado devem ser especificados o mais aproximadamente.

Tanto o tempo quanto a temperatura, bem como a estabilidade química, afetam a razão de decomposição dos minerais em uma amostra submetida a extração seletiva ou total. Em geral, uma reação tal como uma troca iônica ou dissolução, se processa com uma velocidade inicial relativamente rápida que reduz-se a medida em que o equilíbrio esteja sendo atingido ou então a fase atacada esteja sendo exaurida (Figura 8). As taxas de reação tendem a crescer também com a temperatura. Por exemplo, Ellis e col. (1967; em Rose, Hawkes e Webb, 1979) mostraram que as taxas de extração podem crescer com fatores de quase cinco vezes, a medida em que a temperatura é aumentada de 30 para 50 graus centígrados. Diferentes fases da amostra reagem ou dissolvem-se a diferentes taxas, de maneira que em casos favoráveis, uma reação tal como a dissolução de óxido de Fe, pode ser completada quando outra, tal como a ruptura das argilas e apenas iniciada. Granulometrias finas, também tendem a aumentar a taxa de reação. No dimensionamento e utilização de extrações seletivas, raramente é possível separar completamente modos diversos de ocorrência, mas o ajustamento do tempo, temperatura e extrator, bem como outras condições de reação podem fornecer uma separação aproximadamente

completa dos componentes. Para novos tipos de amostras ou novos extratores, devem se realizar experimentos no sentido de estabelecer as condições ótimas de extração seletiva dos componentes desejados.

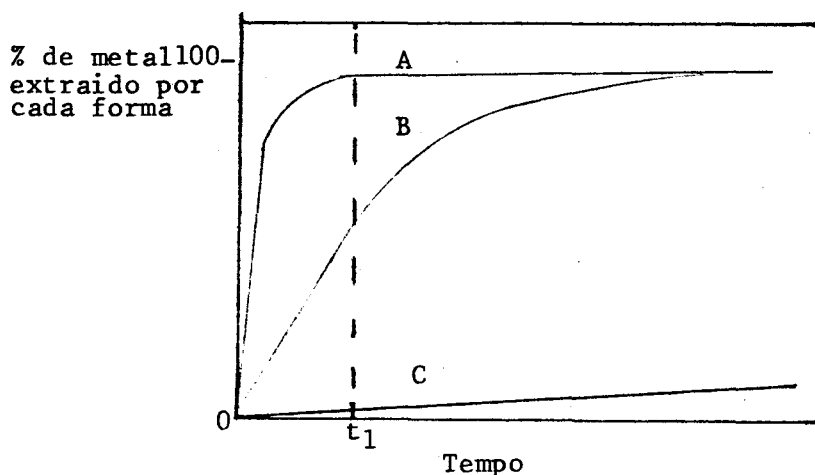


Figura 8 - Taxa de extração de tres modos de ocorrência de um metal em uma amostra. Ao tempo t_1 , todo o metal sob a forma A foi extraído e foi efetivamente separado da forma C, mas não da B. seg. Rose, Hawkes e Webb (1979).

Os métodos de decomposição estão sumariados na Tabela 6 .Eles caem em dois grandes grupos : decomposições fortes capazes de liberar uma grande proporção de constituintes traço dos reticulos minerais, e decomposições fracas, parciais ou seletivas, idealizadas para a remoção de elementos apenas fracamente ligados, ou aqueles associados a frações particulares da amostra.

Decomposições fortes

- | | |
|--|--|
| 1. Digestão por ácidos minerais, a quente, e geralmente concentrados | HNO ₃ , HCl, HClO ₄ , HF |
| 2. Fusões | |
| fusões ácidas | K ₂ SO ₄ , K ₂ S ₂ O ₇ |
| sublimações com haletos de NH ₄ | NH ₄ I, NH ₄ Cl |
| fusões alcalinas | Na ₂ CO ₃ , NaOH, LiBO ₃ |
| fusões alcali-oxidantes | Na ₂ CO ₃ ou NaOH com KNO ₃ ou Na ₂ O ₂ |

Decomposições fracas, parciais, ou seletivas

- | | |
|---------------------------------|--|
| 1. Decomposições não seletivas | |
| ácidos minerais diluídos a frio | HCl 0,1 a 1,0 N |
| soluções tampão | citrato NH ₄ /NH ₂ OH . HCl |
| | pH 2 a 8 |
| agentes quelantes | EDTA 0,05-0,25 M, pH 4-7 |
| 2. Decomposições seletivas | |
| remoção de agentes trocáveis | acetato NH ₄ ; MgCl ₂ |
| remoção de matéria orgânica | H ₂ O ₂ ; NaOCl |
| remoção de óxido de Fe-Mn | hidrazina ; oxalato NH ₄ |
| | hidroxilamina hidroclo-rica |
| sulfetos | KClO ₃ /HCl; ácido ascor-bico/H ₂ O ₂ ; bromo |

Tabela 6 - Classificação de algumas técnicas de decomposição utilizadas em exploração geoquímica, seg Fletcher (1981)

As extracões parciais podem salientar contrastes de anomalias, quando o elemento estiver concentrado em componentes particulares da amostra, de modo que possa ser dissolvido seletivamente com reagente adequado. Suas utilizações mais gerais, são a extração de metais solúveis ou fracamente ligados, por meio dos familiares testes de "extração a frio" para anomalias hidromorficas. Também podem ser utilizados para diferenciar metais distribuídos entre fases silicatada e sulfetada em rocha, e na liberação seletiva de elementos traço associados com uma fase mineralógica particular em solos e em sedimentos.

As vantagens da aplicação das técnicas de dissolução parcial a exploração geoquímica podem ser sumariadas como abaixo:

1. compreensão do modo de ocorrência de elementos de interesse geoquímico;
2. auxílio na escolha dos métodos para amostragem e análise

mais adequados;

3. reforço dos contrastes geoquímicos, em níveis superiores aos que podem ser obtidos por análise das amostras totais;

4. evidenciar feições relacionadas ao grau de intemperismo não aparente, pelo uso de meios químicos;

5. auxílio na interpretação de dados geoquímicos em relação ao amplo ambiente geoquímico.

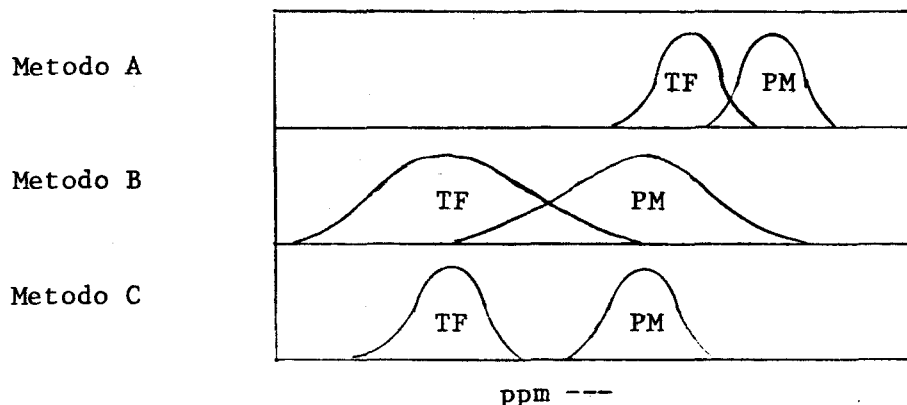


Figura 9 - Distribuições de frequência hipotéticas para populações de valores anômalos PM e de teor de fundo TF. Apesar dos valores absolutos mais elevados do método A, e do contraste semelhante em B e C, o método C oferece a melhor resolução.

seg. Rose, Hawkes e Webb (1979)

Metodos analiticos

A metodologia analítica utilizada em exploração geoquímica, sofreu grandes modificações nos ultimos 30 anos. A espectrografia optica de emissão, foi o principal instrumento utilizado na URSS, Europa e mais tarde em países da Africa, desde 1930 ate os anos 60, sendo ainda hoje amplamente utilizada em todos eles. Os métodos colorimetricos foram as técnicas analíticas principais usadas nos anos 50-60 nas Americas e algumas partes da Africa. Desde a introdução da espectrofotometria de absorção atomica em exploração geoquímica, este método vem superando amplamente os outros em varias partes do mundo.

Colorimetria

A base do método colorimetrico repousa na formação de compostos coloridos em solução, pela reação de um elemento com reagentes especificos. A quantificação do elemento é possível se a intensidade da cor, medida pela absorção da luz por pequena amplitude de comprimento de onda, for proporcional à concentração do composto colorido. Alguns reagentes colorimetricos formam compostos coloridos apenas com um elemento específico, mas a maioria reage com vários. Assim é necessaria a exclusão previa dos elementos interferentes, por complexação ou separação. Muito comumente, o complexo colorido é extraído da solução aquosa por solvente orgânico, deste modo concentrando-o e separando-o de varias interferências. A ditizona é um reagente colorimetrico comum que pode ser usado para separar e estimar muitos elementos, pela variação de pH e pela adição de agentes complexantes para os elementos indesejados (Hawkes, 1963; Sandell, 1959 em Rose, Hawkes e Webb, 1979). As vantagens da colorimetria em exploração geoquímica, são a simplicidade, o baixo custo e a portabilidade do equipamento, e ainda a facilidade de treinamento de pessoal leigo na operação. As desvantagens são a dificuldade de determinar mais de um elemento por vez, e a sensibilidade de muitos reagentes a interferências e condições químicas aberrantes. Os métodos colorimetricos são disponiveis para aproximadamente todos os elementos de interesse em exploração geoquímica.

Espectrometria optica de emissão e espectrografia

Quase todos os elementos quando vaporizados e ionizados no calor intenso de uma descarga elétrica ou outra fonte de energia, emitem uma radiação característica em termos de comprimento de onda no visível e ultravioleta, como resultado do preenchimento dos orbitais eletronicos externos. O elemento pode ser identificado pelo comprimento de onda emitido e a quantidade do elemento pode ser medida em chapas fotograficas ou diretamente por fotômetros eletronicos neste caso, possibilitando elevado grau de automação.

Recentemente, plasmas (que são gases altamente excitados por indução de radio-frequência ou outros métodos), tem sido usados como fonte, sendo a amostra introduzida como solução. A elevada temperatura do plasma e a homogeneidade da solução, minimiza os problemas causados por instabilidades no arco de corrente, e a amostragem fracamente reprodutível sob a forma de pó, bem como

melhora os limites de detecção. As vantagens da espectrometria de emissão são o grande número de elementos que podem ser determinados simultaneamente, o baixo custo para operações de grande escala e os baixos limites de detecção para muitos elementos. As desvantagens são o elevado custo do equipamento e a necessidade de operadores altamente treinados. A pequena reprodutibilidade tem sido um problema com fontes convencionais de arco elétrico. O aperfeiçoamento da precisão e dos limites de detecção com fontes de plasma, bem como a determinação multi-elementar, parece do mesmo modo conduzir a uma utilização crescente desta técnica, no futuro.

Espectrofotometria de absorção atômica

Átomos não carregados no estado de vapor, são capazes de absorver fótons com energia apropriada para excitar os elétrons da camada externa. Na absorção atômica, uma fina linha espectral do elemento a ser analisado é gerada em uma lâmpada-fonte e detectada após atravessar o vapor da amostra a analisar. O comprimento de onda absorvido pela amostra, fornece a identificação específica do elemento, e a proporção de luz absorvida é a medida da concentração do elemento no feixe luminoso. Amostras dissolvidas podem ser aspiradas até uma chama, onde o vapor atômico é formado, ou então sólidos ou líquidos podem ser aquecidos em uma fornalha passando os vapores assim gerados através do feixe luminoso. A espectrofotometria de absorção atômica, principalmente utilizando amostras dissolvidas, tornou-se o método analítico mais comumente utilizado nos anos recentes, principalmente devido aos baixos limites de detecção para a maioria dos elementos de interesse, a especificidade para elementos individuais, a oportunidade de determinar vários elementos na solução, é a necessidade de equipamento relativamente simples e de custo reduzido. Uma desvantagem dos equipamentos convencionais é a limitação de um elemento a cada dosagem. Experiências recentes com volatilização seletiva de amostras sólidas em fornalhas, indicam limites de detecção muito baixos para alguns elementos, permite inferências acerca da forma de ocorrências nas amostras e, tem a vantagem potencial de outros métodos de extração parcial.

Espectrometria de Fluorescência de raios X

Os elétrons internos podem ser ativados por um feixe de raios X de tal modo que raios X fluorescentes, de comprimento de onda característicos do elemento ativado, são emitidos. Vantagens da fluorescência de raios X, incluem a capacidade de análise multi-elementar, a elevada precisão e o baixo custo por determinação. As desvantagens são o elevado custo do equipamento e os limites de detecção de cerca de 50 ppm, inadequados para muitos elementos de interesse em exploração mineral. Entretanto, aproximadamente todos os elementos com peso atômico maior que o Mg, podem ser detectados, muitos deles a níveis menores que a espectrometria ótica de emissão.

Laboratórios normais de fluorescência de raios X, utilizam um tubo de raios X como fonte de radiação excitante, mas pelo motivo da identidade de raios X e raios gama, uma fonte destes pode ser utilizada da mesma forma. Unidades portáteis usando uma fonte

radioativa são comercializadas para avaliação de afloramentos e de testemunhos de sondagem (Bowie e col,1965;Kuzendorf,1973; Wollenberg e col,1970;em Rose,Hawkes e Webb,1979).

Fluorimetria

Amostras que contenham uranio quando fundidas com fundente adequado e resfriadas, emitem uma luminescência visível sob ativação de raios ultravioleta. Sob condições apropriadamente controladas, a luminescência é quantitativamente proporcional a quantidade de U presente ate concentrações extremamente baixas de cerca de 40 ppb. Este efeito pode ser medido tanto visualmente por comparações com padrões, quanto instrumentalmente através de dispositivos fotometricos. Este é um dos métodos mais simples e utilizados para dosagem de traços de U (Smith e Lynch,1969;em Rose Hawkes e Webb,1979).

Metodos Radiometricos

Os elementos U, Th e K e alguns de seus produtos de decaimento radioativo, podem ser detectados e medidos pela sua radioatividade natural. Elementos não radioativos podem ser convertidos em elementos radioativos pelo bombardeamento com partículas atômicas tais como neutrons (análise de ativação neutronica). A identidade do elemento radioativo pode ser determinada pela energia dos raios gama emitidos ou outra radiação, e a quantidade do mesmo na amostra pode ser estimada a partir da intensidade da radiação. Limites de detecção muito reduzidos podem ser obtidos para muitos elementos , e para alguns a determinação pode ser realizada diretamente a partir de amostras pulverizadas, sem processamento químico (Gordon e col,1968;Plant e col,1976 em Rose, Hawkes e Webb, 1979). As desvantagens da ativação neutronica são o elevado custo do equipamento e a dificuldade geral de uma fonte de neutrons, os perigos de manuseio com radiação e a necessidade de operadores altamente treinados.

Equipamentos portateis para avaliação de afloramentos e testemunhos de sondagem foram recentemente desenvolvidos, utilizando fontes de neutrons de ^{252}Cf e outros elementos (Moxham e col, 1972 em Rose,Hawkes e Webb,ob.cit.).

Metodos Eletroanalíticos

Medidas de potenciais eletricos e correntes eletricas em soluções, tem varias aplicações na análise de elementos traço. Medidas de pH por meio de eletrodo de vidro e do Eh pelo eletrodo de platina são os exemplos mais conhecidos deste grupo. Metodos analogos, usando eletrodos sensiveis para F^- , Cl^- , Cu^{++} , Pb^{++} e outrossa ions, são atualmente disponiveis.Os eletrodos de ions especificos são relativamente facéis de usar e tem sensibilidade geralmente de menos que 1 ppm, mas podem estar sujeitos a interferências de outros ions. Os eletrodos medem a atividade química dos ions ao inves de sua concentração total na solução, deste modo a calibragem cuidadosa e a seleção do meio químico é importante. A especificidade e a simplicidade dos eletrodos de ions especificos devem conduzir a uma utilização mais extensiva desta técnica.

Metodos Cromatográficos

A adsorção ou partição de solutos entre um fluido que se move e um sorvente estacionário, é a base do método cromatográfico. A medida que o solvente flui, os átomos e moléculas menos fortemente ligados tendem a ser mais carregados pelo solvente a uma distância maior que aqueles mais fortemente ligados. Em uma cromatografia gas - líquido, o solvente é um gás e o sorvente é um líquido que recobre a superfície de partículas sólidas em um tubo ou coluna. Na cromatografia gas-sólido, a mesma configuração é usada, exceto pelo fato que o sorvente é um sólido de superfície ativa. Em ambos os tipos no entanto, a amostra contendo os constituintes voláteis, é injetada na coluna, transportada através dela por meio de um gás inerte, e separada em componentes atômicos e moleculares após o percurso em um comprimento adequado de coluna. Os componentes separados são detectados pela medida da condutividade térmica ou ionizabilidade do fluxo de gás, ou então são passados através de um espectrômetro de massa. A amplitude do pico, pode ser usada para determinar a quantidade de cada constituinte. A cromatografia de gás é mais amplamente usada na separação de componentes orgânicos em uma mistura. Métodos similares são disponíveis para a determinação de gases tais como o CH_4 e o SO_2 . O método é extremamente sensível, mas usualmente é necessário um tratamento prévio das amostras.

Na cromatografia de papel, o líquido flui por ação capilar através de um papel absorvente. Qualquer soluto contido é separado de acordo com seu poder de absorção ao papel. De modo similar, na cromatografia de camada fina, o líquido flui através de uma fina camada de sorvente sólido que recobre uma placa de vidro ou material inerte. Quantidades muito pequenas de constituintes orgânicos e inorgânicos podem ser separadas, identificadas e estimadas pela aplicação de testes apropriados ao cromatograma. Para a maioria dos casos, este método é qualitativo ou semi-quantitativo.

Espectrometria de massa

O espectrômetro de massa consiste de uma câmara de vácuo, na qual uma amostra de gás é injetada, e da qual os átomos ou moléculas são ionizados. Os íons são acelerados em um forte campo elétrico e então passados através de um campo magnético, que os separa de acordo com a razão de sua massa em relação à carga. Moléculas que diferem de apenas uma unidade de massa atômica, podem ser facilmente individualizadas. Os íons são então registrados eletronicamente ou fotograficamente. A intensidade do sinal fotográfico ou eletrônico de uma dada massa, é proporcional à abundância dos átomos ou moléculas naquela massa. O espectrômetro de massa é extremamente sensível, mas é de elevado custo, com operação e manutenção altamente especializada.

Espectrometria de massa é utilizada em estudos de isótopos, na medida em que é capaz de individualizar isótopos de um mesmo elemento, em geoquímica orgânica e análises de gás.

Outros métodos

Uma ampla gama de métodos analíticos é utilizada em geoquímica, incluindo gravimetria (usada em análises de fusão para

Au, Ag e Pt e platinoides), turbidimetria (absorção ou dispersão de um feixe luminoso por um suspensoide, muito usado para BaSO₄), testes rápidos (formação de mancha colorida específica), espectrometria de chama (análogo a espectrometria de emissão, porém usando uma chama como fonte para excitação ao invés do arco ou plasma).

Unidades utilizadas em boletins analíticos

A unidade comum para elementos traço é o ppm ou parte por milhão, em peso. Por exemplo, 20 ppm Cu indicam que a amostra contém 20 gramas de cobre em 10.000.000 gramas de amostra. Outras unidades comuns são o por cento, e o ppb ou parte por bilhão.

Em amostras de água, a amostra é geralmente medida em volume, deste modo os resultados são usualmente relatados em miligramas por litro mg/l, ou microgramas por litro g/l. Para soluções diluídas, com densidade de 1 g/ml, 1 mg/l = 1 ppm e 1 g/l = 1 ppb, em peso.

Abaixo apresentamos uma tabela de conversão que relaciona várias unidades :

x 10	%	ppm	ppb
2	100	1.000.000	1.000.000.000
1	10	100.000	100.000.000
0	1	10.000	10.000.000
-1	0,1	1.000	1.000.000
-2	0,01	100	100.000
-3	0,001	10	10.000
-4	0,0001	1	1.000
-5	0,00001	0,1	100
-6	0,000001	0,01	10
-7	0,0000001	0,001	1

1 g/t = 1 ppm

1 onca troy/t = 1 oz/t = 34 ppm

1 penny weight/t = 1,7 ppm

1 micrograma/litro = 1 ppb

1 mg/l = 1000 ppb = 1 ppm

1 g/l = 1 ppb

Além destas unidades, utilizadas em análises químicas, alguns tipos de procedimentos analíticos fornecem resultados qualitativos e semi-quantitativos:

qualitativos - o boletim indica a presença de determinado elemento químico na amostra analisada, em ampla faixa de teor, como por exemplo apresenta o Geolab/GEOSOL para espectrografia ótica de emissão : constituintes maiores, mais de 5 ou 10%
constituintes menores, de 0,1 a 5 ou 10%
constituintes traço, menos que 0,1%
ou o LAMIN/CPRM : elementos predominantes, mais que 1%
elementos secundários, de 0,1 a 1%
elementos traço, menos que 0,1%

semi-quantitativos - o boletim indica a presença do elemento em faixas de teor, como faz o LAMIN/CPRM em análises semi-quantitativas por espectrografia ótica : teores entre 1 - 2 - 5 - 10 - 20 - 50 - 100 ppm, com interpolações visuais entre estes valores, sempre dadas como 1,5 - 3 - 7 - 15 - 30 - 70 ppm, etc.

Avaliação da qualidade de análises químicas

Em exploração geoquímica, a precisão (que significa a capacidade de reproduzir o mesmo resultado - também chamada de reprodutibilidade) é usualmente mais importante que a exatidão (que significa a aproximação do conteúdo ou teor real), pelo menos nos estágios iniciais dos projetos. A diferença entre os dois conceitos é mostrada na Figura 10. Deste modo se um

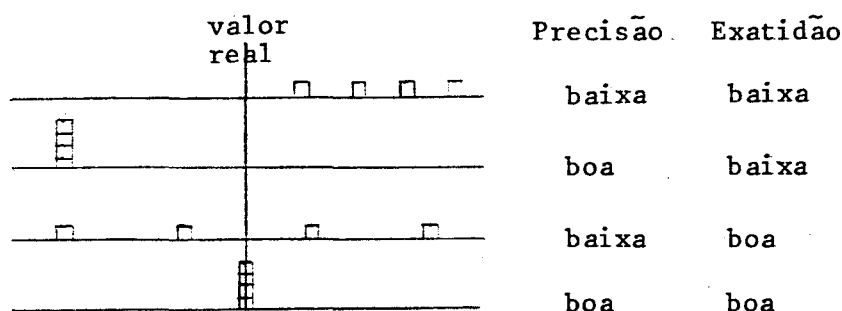


Figura 10 - Combinações possíveis de precisão e exatidão, baseadas em quatro análises de uma mesma amostra. No caso 3, só a média pode ser considerada como exata.

seg. Levinson ()

laboratório reporta 200 ppm Zn, e na repetição da análise encontra valores de 180 e 220 ppm Zn, a precisão é de $\pm 10\%$. A resposta real (exatidão) pode, de fato ser 250 ppm Zn, mas esta inexatidão não se constitui normalmente em problema já que amostras de uma mesma campanha são normalmente analisadas de uma mesma maneira e a exatidão e a precisão situam-se dentro dos mesmos limites. Deste modo é possível comparar amostras na procura de anomalias.

Geralmente, no entanto, não é possível comparar dados analíticos de diferentes campanhas ou áreas, devido a diferenças de fatores geológicos e geoquímicos, tais como tipos litológicos e a importância da dispersão secundária, e mesmo flutuações internas de laboratório. Evidentemente existem limites práticos

dentro dos quais estes desvios de precisão e exatidão podem ser tolerados. Estes limites segundo Garret (), situam-se até um máximo de 20% para propósitos de exploração geoquímica.

Thompson e Howarth (1976 e 1978) e Fletcher (1981) apresentam um método prático e bastante eficiente para definição da precisão em dados lotes de amostras usando pares de amostras. O método utiliza amostras duplicatas (subdivisão de determinadas amostras durante a coleta), replicatas (dupla amostragem em determinadas estações) e amostras padrão (aliquotas de teores conhecidos). São avaliados a média da análise original e sua duplicação e o desvio padrão entre os mesmos pares. A análise da precisão do lote com relação a amostragem, avaliada pelas replicatas, e a precisão analítica, avaliada pelas duplicatas, é feita graficamente e pode conduzir a aceitação ou rejeição do lote de análises.

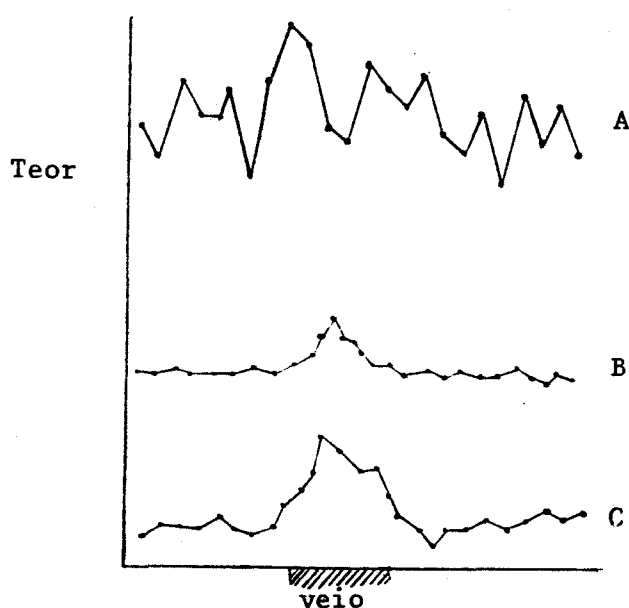


Figura 11 - Influência da precisão analítica sobre o contraste de anomalia. Os dados ruidosos (A) que surgem de erros aleatórios na amostragem e análise, tendem a obscurecer a anomalia. Mesmo que os valores sejam mais baixos em B e C, o contraste foi melhorado. seg Fletcher ().

Já as amostras padrão constituem-se em uma análise do desempenho e reprodutibilidade dos resultados de um laboratório ao longo do tempo. Aliquotas com teor em determinados elementos já conhecidos são reanalisadas sistematicamente, sendo comparados graficamente os resultados das várias reanálises. Podem assim ser detectadas variações no comportamento analítico de um laboratório durante grandes espaços de tempo.

No entanto, e a meu ver, o controle de qualidade pode perder sua rigidez na medida em que as amostras passam a desempenhar papel cada vez menor individualmente, ou melhor exemplificando: a importância individual de uma amostra em uma campanha regional de sedimentos de drenagem, é extremamente maior que a de uma amostra em malha regular de amostragem de solo. Neste último caso,, adquire importância maior, a consistência das áreas anômalas, a relação areal e de teor absoluto entre amostras vizinhas. Caso estas relações sejam consistentes e os contrastes elevados, o controle de qualidade pode ser relaxado, mas apenas após um cuidadoso exame dos dados analíticos da campanha.

Seleção do procedimento analítico

A seleção do procedimento analítico que combine os métodos mais adequados de preparação e ataque das amostras e para a separação e estimação do conteúdo dos constituintes desejados, deve se basear na apreciação de alguns fatores. Os principais são:

- a. modo de ocorrência do elemento na amostra;
- b. quantidade e natureza dos elementos a determinar;
- c. precisão e limite de detecção necessários;
- d. economia e logística da operação.

A combinação ótima dos três primeiros fatores é obtida a partir de estudos orientativos ou por informações prévias de outras campanhas desenvolvidas em condições semelhantes.

Ja a economia e logística da operação, dependem da quantidade de amostras a analisar, e da rapidez com que são necessários os resultados. Deste modo a apreciação da oportunidade de instalação de um laboratório de campo, deve levar em consideração que muitos dos instrumentos que oferecem vantagens reais de custo por amostra são muito caros e requerem fornecimento de energia o que limita sua utilização.

A Tabela 7, apresentada em anexo, mostra os métodos analíticos mais adequados aos elementos normalmente dosados em prospeção geoquímica, entretanto a seleção de cada um será feita de acordo com o que acima foi dito.

Abelha B - Resumo das características dos elementos mais utilizados em prospecção geotécnica seg Andrew-Jones; Rose, Hawkes Webb; Levinson; GEOSOL; Krauskopf?.

[illegible]

44

	Elementos para os quais a técnica de Absorção Atômica melhor se aplica em geoquímica
	Elementos que podem ser determinados por Absorção Atômica

4

 Elementos para os quais a técnica de E.O.E. melhor se aplica em geoquímica

seg. GEOSOL

-  - Elementos para os quais a técnica de Raios X melhor se aplica em geoquímica
-  - Elementos que também podem ser determinados por Raios X

□

 Elementos para os quais a Espectrometria de Plasma melhor se aplica.  Elementos que podem ser determinados por Espectrometria de Plasma.

V - HALOS GEOQUIMICOS

Segundo os conceitos de Beus e Grigoryan(1977), o halo geoquímico de um depósito, é a região das rochas encaixantes, formações inconsolidadas, vegetação, bem como das águas superficiais e subterrâneas, onde a presença da distribuição anômala de elementos e seus associados seja revelada. A origem do halo geoquímico, é relacionada com os processos de formação do depósito mineral(halo geoquímico primário) ou sua destruição supergenica (halo geoquímico secundário).

Halos geoquímicos primários

Halos geoquímicos primários são zonas que circundam depósitos minerais e que são enriquecidos ou empobrecidos em vários elementos químicos, como resultado da introdução e redistribuição desses elementos durante os processos de genese mineral. Tanto os halos geoquímicos primários quanto as zonas de alteração das rochas encaixantes de depósitos minerais, são geneticamente relacionados ao fenomeno de mineralização; é geralmente impossível tracar uma linha demarcatoria entre elas. Por exemplo, zonas de sericitização de rochas mineralizadas, podem ser consideradas como halos geoquímicos primários de potassio, e zonas de albitização podem ser consideradas como halos geoquímicos primários de sodio.

Como ja foi citado, depósitos ou corpos de minério,são geralmente envolvidos por halos que representam tanto a introdução quanto a remoção de elementos químicos. Muitos estudos demonstraram que o primeiro caso, é o mais comum. Adicionalmente eles são geralmente mais amplos e consequente de maior significado prático, pois que resultam da introdução de elementos tipomorfos da mineralização. Por outro lado,a remoção de elementos tanto pode se dar no estagio de mineralização quanto no de alteração das encaixantes, antes ou depois da fase mineralizante. Na verdade não existe nenhum criterio confiavel pelo qual o relacionamento entre os corpos de minério e os halos, caracterizados pela remoção de determinados elementos possa ser usado de maneira prática.

Seu uso em prospecção

Os geoquímicos soviéticos baseiam a prospecção, essencialmente na identificação e avaliação de halos geoquímicos primários, mesmo em corpos não aflorantes. Utilizam-se de metodologia especifica, atraves de resultados analíticos em amostras de rocha coletadas em superficie e sub-superficie (galerias e furos de sonda), geralmente amostras compostas de fragmentos, e analisadas por espectrografia optica de emissao.Tal método analítico, permite a determinação de ~~um~~ amplo espectro de elementos(geralmente 32) em uma mesma aliquota, baixo custo analítico, porém em contrapartida baixa precisão, o que forca a utilização de métodos estatísticos multielementares.

Sao assim utilizados os halos aditivos e os halos multiplicativos. Tais halos compostos permitem um aumento no tamanho dos halos, favorecendo sua detecção a maiores distâncias

dos corpos mineralizados. Adicionalmente os halos compostos, tem

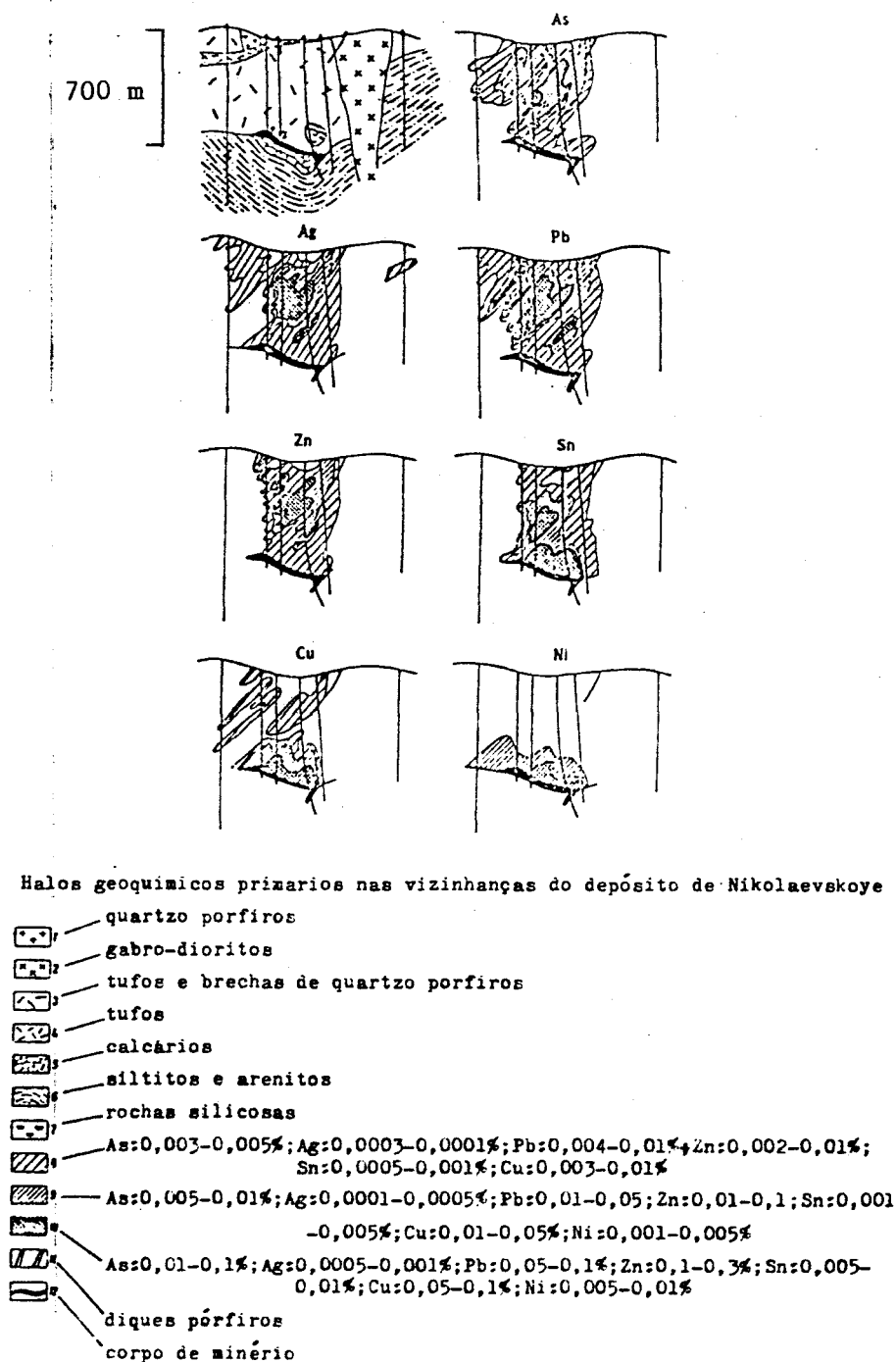


Fig 12 - Halos geoquímicos primários nas vizinhanças do depósito de skarn cuprífero de Nikolaevskoye, seg, Beus e Grigoryan, 1977.

uma assinatura mais regular, eliminando as flutuações devidas ao comportamento elementar e as variações da baixa precisão analítica dos halos monoelementares, permitindo um tracado mais facil das curvas de isoteor. Outros termos e parametros bastante utilizados na literatura sovietica são produtividade linear, coeficiente de contraste, indice de zonalidade, coeficiente de zonalidade, indices de zonalidade, sequência de zonalidade e gradiente de variabilidade, dentre outros. A utilidade de tais metodologias, pode ser avaliada quando mais não seja, pelo exemplo do depósito de Nikolaevskoye, onde uma mineralização sulfetada em skarn, foi detectada por estudos de superficie e proximo dela, a uma profundidade de 900 metros.

Zonalidade dos halos geoquímicos primários

Alguns tipos especificos de zonalidade existem na estrutura dos halos geoquímicos primários. Esta zonalidade, é devida a regularidade nas variações espaciais das varias características dos halos.

Zonalidade de um halo é um conceito vetorial. Por este motivo, vários tipos de zonalidade, dependendo da direção, podem ser descritos. A zonalidade axial é expressa na direção da movimentação dos fluidos mineralizadores. Zonalidade longitudinal é um reflexo da estrutura do halo ao longo da direção, enquanto que zonalidade transversa é o reflexo da estrutura do halo, normalmente à direção. A zonalidade axial

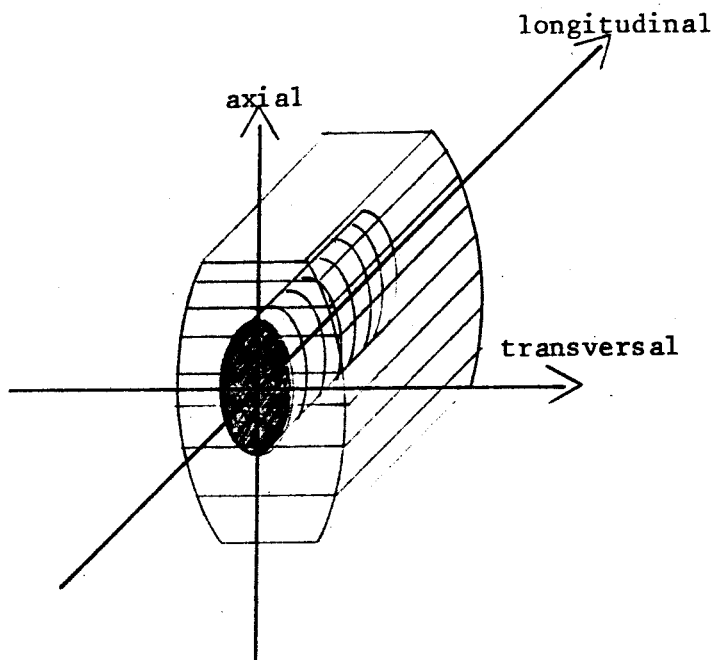


Figura 13 - Direção das zonalidades de um corpo de minério. seg. Beus e Grigoryan (1977)

e' o tipo mais importante, tanto do ponto de vista prático

quanto teorico, e para efeito de brevidade, sera' denominado simplesmente de zonalidade. Nao cabe aqui uma descricao detalhada dos metodos utilizados na literatura sovietica para calculo da zonalidade dos halos dos depósitos de varias tipologias. Entretanto, o calculo da zonalidade e de uma "sequência universal de Grigoryan-Ovchinikov", podem fornecer estatisticamente uma certeza, por meio de análises químicas de determinados elementos em varias posições espaciais do depósito estudado, uma ideia bastante precisa das possibilidades de que referido depósito ou ocorrência tenha continuidade ou não. Esta sequência, esta' abaixo alinhada :

Ba	-	(	Sb	,	As	,	Hg	)	-	Cd	-	Ag	-	Pb	-	Zn	-	Au
93			100		87		100					80		84		87		84
-	Cu	-	Bi	-	Ni	-	Co	-	Mo	-	U	-	Sn	-	Be	-	W	
	86		72		50		55		48		100		66		60		72	

Os números, indicam a probabilidade de ocorrência de cada elemento na posição correspondente na sequência. Aqueles elementos cujo relacionamento na sequência de zonalidade não pode ser indicado inequivocamente são apresentados entre parenteses.

Depósitos	Zonação transversal (lateral)	Zonação axial (vertical)
Pb - Zn em skarns	Ba , Zn , Pb , As , Ag , Cu , Sb	Sb , Cu , As , Ba , Ag , Pb , Zn , Cu
Pb - Zn em ácidas efusivas	Pb , Ba , Zn , Ag , Cu , As , Co	As , Ba , Ag , Pb , Zn , Cu , Co
Scheelita em skarns	W , Mo , Cu , Ba , Zn , Pb	Ba , Pb , Zn , Cu , W , Mo
Ouro em quartzo	Ag , As , Bi , Ag , Pb , Sb , Cu , Be , Mo , Co , Zn	Sb , As , Ag , Pb , Zn , Cu , Bi , Mo , Au , Co , Be
Ouro - cobre	Au , Cu , Mo , Ag , As , Sb	Sb , As , Ag , Cu , Mo , Au
Cobre - bismuto	Cu , Bi , Pb , Ag , As , Ba , Zn , Co	Ba , Ag , Pb , Zn , Cu , Bi , Co
Urânio - molibdênio	U , Mo , Pb , Cu , Zn , Ag	Ag , Pb , Zn , Cu , Mo , U
Mercurio	Hg , As , Ba , Cu , Pb , Zn , Ni , Ag , Co	Ba , Hg(?) , Sb , As , Ag , Pb , Zn , Cu , Ni , Co
Cassiterita - sulfeto	Ag , Zn , Pb , Sn , Cu , Mo	Ag , Pb , Zn , Cu , Mo , Sn
Pb - Zn estratiforme	Ag , Pb , Cu , As , Ba , Co , Zn , Ni	As , Ba , Ag , Cu , Pb , Zn , Co

* os elementos são dados em ordem decrescente da largura de seus halos em perfil ; por exemplo, para depósitos de Pb - Zn em skarns, o Sb tem o halo mais estreito, enquanto que o Ba tem o mais amplo.

** lendo da esquerda para a direita, os indicadores de supra mineralização , gradam para os indicadores de infra mineralização. Os elementos grifados são os maiores, e econômicos na mineralização

Tabela 9 - A zonação vertical e lateral dos halos em diferentes tipos de depósito. seg Ovchinikov e Grigoryan (1971) em Rose, Hawkes e Webb (1979).

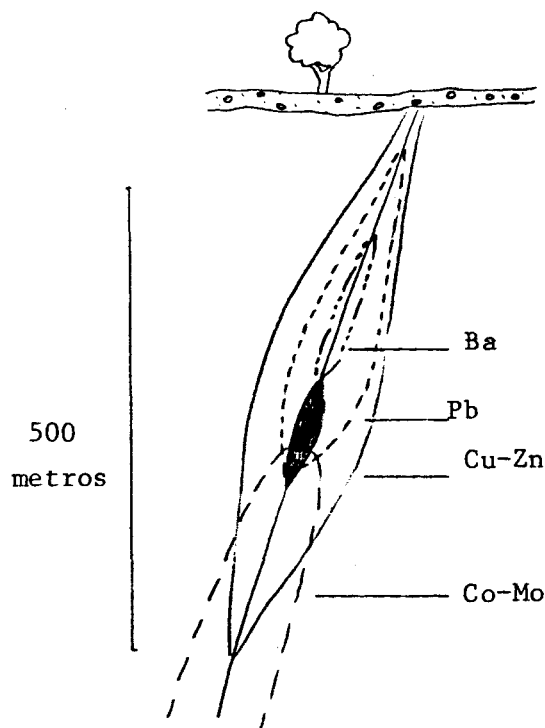


Figura 14 - Halos primários em depósito de Cu e pirita.
Seg. Ovchinnikov e Baranov(1972)

Exemplos de anomalias de fuga e de zoneamento

- Veios polimetálicos e depósitos de substituição

Na U.R.S.S., extensivos estudos tem sido desenvolvidos sobre a distribuição dos elementos calcófilos nas rochas ao redor dos veios, substituições e skarns que contem uma grande variedade de metais(Grigoryan,1974;Ovchinnikov e Baranov,1972;Khetagurov e col,1970;Beus e Grigoryan,1977). Halos de teores anômalos em metais foram encontrados ao redor de todos os corpos de minério testados. Em muitos depósitos de tamanho pequeno a moderado, o conteúdo total dos metais disseminados nas encaixantes, é consideravelmente maior que a quantidade nos corpos de minério. Halos de teores anômalos em metais, caracteristicamente se estendem a distâncias de metros a dezenas de metros a partir dos corpos de minério. Anomalias são detectadas adjacentes a estruturas alimentadoras sob o depósito(anomalias sub-minério), em rochas adjacentes ao depósito, e em rochas nas proximidades das estruturas controladoras acima da mineralização(anomalias supra minério) Figura .Os metais são verticalmente zonados em um depósito cuprífero do seguinte modo:o Co e o Mo podem ter as suas concentrações mais elevadas e halos mais amplos ao longo das estruturas alimentadoras abaixo do corpo de minério,o Cu tem seu halo mais amplo ao nível do depósito, o Zn e o Pb justamente

acima do depósito, e o As, o Sb e o Ba completamente acima do corpo. Tais anomalias são úteis na detecção de depósitos não aflorantes e em profundidade, e servem para ampliar a exploração em áreas parcialmente cobertas seja por solo seja por qualquer outro tipo de cobertura.

Razões de metais separados amplamente em seqüências de zonação, são úteis na identificação do zoneamento vertical e o nível de uma amostragem específica na seqüência de zonação. Por exemplo a razão Ag/Cu ou a razão Pb/Bi podem ser usadas para comparar amostras com quantidades diversas de sulfetos totais. Como extensão desse conceito, Grigoryan recomenda o uso de "razões multiplicativas" tais como $(Ag \times Pb \times Zn)/(Cu \times Bi \times Co)$, porque esse tipo de sistemática suaviza os erros analíticos ou amostrais, fornecendo melhores comparações dos diferentes distritos pela minimização das diferenças locais na seqüência de zonação para um ou dois elementos.

As melhores amostras para a definição dos halos de fuga, consistem de vários metros de testemunhos de sondagem contínuos ou fragmentos de afloramentos coletados em vários pontos. Os resultados de varias amostras desse tipo podem ser normalizados para suavizar os efeitos das variações locais. Amostras de solo podem ser também utilizadas, porém os efeitos de lixiviação e enriquecimento no perfil de solo devem ser considerados, especialmente se vários elementos estiverem sendo comparados.

No distrito de Coeur d'Alene, um interessante estudo acerca das anomalias de fuga, mostrou muitas das feições apresentadas nos depósitos soviéticos (Gott e Botbol, 1973). Este estudo ajudou a interpretar a estrutura do distrito, bem como sugeriu a extensão do mesmo. Prata em solo e rocha delineou áreas com depósitos profundos de Pb e Zn, descobertos em afloramentos, entretanto não os depósitos da área de Lucky Friday, descobertos a 700 metros de profundidade. Pelo contrário, valores de Te não foram encontrados próximos dos depósitos conhecidos mas o foram sobre os depósitos profundos de Lucky Friday. As anomalias de Te parecem marcar uma zona muitas centenas de metros acima dos depósitos produtivos de Pb-Zn. De maneira similar, teores elevados de Cd e da razão Cd/Zn , são também indicativos da mineralização em profundidade. Uma seqüência de zoneamento vertical de $(Te, Mn)-Cd-Ag-(Zn, Pb)$ pode ser inferida a partir dos dados fornecidos por Gott e Botbol (1973).

Na mina de Gregory na Inglaterra, uma anomalia de Pb e Zn em solo residual profundo, ocorre sobre um veio verticalizado, encaixado em fissura em calcários, situados a 200 metros sob folhelhos e arenitos, como ilustrado na Figura . A anomalia está ausente quando o fraturamento da rocha sobrejacente, não é suficientemente extensivo para permitir a migração das soluções mineralizadoras.

Uma comparação das aureolas em rochas fraturadas e macicas, mostra que o padrão em rochas fraturadas é mais irregular, porém mais amplo que aquele da rocha macica, presumivelmente pelo fluxo das soluções, guiado e promovido pelas fraturas.

A distribuição do Hg próximo a alguns depósitos de metais preciosos, exibe um padrão de enriquecimento na zona acima do minério. Por exemplo Crosby (1969) e Chan (1969) em Rose Hawkes e Webb (1979), descrevem halos de Hg que se estendem centenas de

metros a partir dos corpos do distrito de Coeur d'Alene, e elevadas concentrações em zonas em forma de capuz, acima dos corpos de minério não aflorantes. No distrito de Pachuca Real del Monte, no México, o Hg forma fortes anomalias acima de corpos de minério argentífero não aflorantes, entretanto esta é ausente nas encaixantes imediatamente adjacentes aos veios (Friedrich e Hawkes, 1966; em Rose, Hawkes e Webb, 1979).

Próximo dos depósitos de Sn de Altengberg, na Europa Central, halos de fuga de Ga e Mo, estendem-se a cerca de 100-200 metros lateralmente a partir do graisen com depósitos de Sn; anomalias de Bi, Sn e Li estendem-se até 500 metros e todas, exceto o Li, mostra forte zonação vertical e desaparecem a pequena distância abaixo do nível do graisen. Na Tchecoslováquia, Sn, Rb, W, e Mo fornecem úteis anomalias acima de depósitos de estanho do tipo graisen; e Sn, Cu, As, Zn e B dão úteis anomalias acima de skarns estaníferos (Pokorný, 1975, em Rose, Hawkes e Webb, 1979).

No Camp Johnson, próximo a Willcox, Arizona, Copper e Huff (1951), descreveram amplo halo de fuga em rocha fraturada, cerca de 130 metros acima do corpo de minério não aflorante de Moore. O minério está localizado em uma camada de uma sequência moderadamente mergulhante de rochas calcárias parcialmente silicificadas. Fragmentos de rocha coletados a intervalos curtos, ao longo dos afloramentos, foram compostos em seções de cerca de 17 metros. O conteúdo em metais pesados das amostras coletadas deste modo através de uma série de linhas, mostrou uma área anômala similar em forma à projeção horizontal do depósito mineral, porém deslocada cerca de 70 metros lateralmente.

No distrito de Tintic no Utah, minérios complexos de Pb-Zn-Ag, ocorrem em calcários paleozoicos, cobertos por riolitos estereis (Lovering e col., 1948; Bush e Cook, 1960). Estudos de superfície sobre o riolito sobreposto a mineralizações conhecidas, delinearam extensas áreas de alteração argílica e piritica. Os halos de alteração são tão extensos entretanto, que são limitados como guias na exploração por furos de sonda. Amostragem e análise química dos riolitos alterados, definiram uma clara anomalia de metais pesados que coincide intimamente com as projeções das terminações do principal afloramento mineralizado. Esta anomalia corresponde ao traço em superfície, dos canais através dos quais as soluções escaparam. Mesmo considerando que o riolito não seja um bom hospedeiro para a mineralização, metal suficiente foi depositado ao longo dos canais, de modo a ser detectado por análises químicas.

- Depósitos de cobre e molibdenio pórfiro

Nos depósitos de cobre pórfiro, não apenas foram adicionados sulfetos de Cu e Fe em grandes volumes de rocha, na forma de venulações e grãos disseminados, mas o minério e as encaixantes foram tipicamente submetidos a extensiva alteração hidrotermal, e novos minerais com adição e perda de elementos maiores e traços (Lowell e Guilbert, 1970; Rose, 1971). Uma zona central de alteração potássica penetrativa, na qual o ortoclasio e a biotita são formados às expensas do plagioclasio e minerais máficos, é tipicamente coexistente com as partes mais ricas em cobre no centro do depósito, sendo usualmente centrada no complexo

intrusivo. Na periferia, e cortando a zona potássica, estão as zonas de alteração sericítica, nas quais a rocha é transformada em sericita, pirita, e em alguns depósitos, argila. Circundando externamente estas zonas de forte alteração, a rocha é tipicamente propilitizada (alterada a clorita, calcita, argila, albita, pirita, etc). As zonas potássica e sericítica são normalmente fragmentadas e venuladas por quartzo, sulfetos e outros minerais. Na zona propilitica, grandes veios bastante espaçados estão presentes e a fragmentação é menos conspicua.

Trabalhos recentes sugeriram que as partes centrais, mais antigas, do minério e da alteração, podem ter sido produzidas por soluções hidrotermais derivadas da fonte magmática, mas que as alterações sericítica e periferica a mineralização pode, ser causadas por águas subterrâneas convectivas, aquecidas por atividade ígnea, e pela mistura de águas magmáticas e subterrâneas. O efeito químico, deste modo estende-se por sobre grandes volumes de rocha envolvidos nas células de convecção, e inclui elementos fornecidos tanto por fontes ígneas quanto por encaixantes regionais.

Padrões de enriquecimento e perda em elementos litófilos, são relacionados a modificações mineralógicas. Na zona potássica, K, Cu e S e outros metais, são usualmente adicionados e o Ca perdido geralmente junto com o Na e o Mg. Modificações similares, porém mais extremas na composição química, são geralmente encontradas na alteração sericítica. No entanto, na zona propilitica, as adições e perdas de elementos maiores, são geralmente mais reduzidas, exceto para H₂O, CO₂ e S. Padrões de elementos traço, litófilos tais como Rb, Sr, Li, Ga, V tendem a ser similares aos elementos maiores com os quais se relacionam (K, Ca, Mg, Al, Fe respectivamente). Na maioria das zonas mineralizadas dos cobre pórfiros, o Sr é perdido e o Rb enriquecido. Tanto elementos traço quanto maiores, podem ser guias úteis na zonation e alteração em distritos de cobre pórfiro.

VI - O INTEMPERISMO

As rochas, por processos de soerguimento e erosão, são colocadas em contato com um ambiente amplamente adverso e que prevalece próximo da superfície da litosfera. As feições de dispersão primária são modificadas, e novos modelos são formados pelos processos superficiais.

O ambiente superficial é caracterizado por baixas pressões e temperaturas, altas concentrações de água, oxigênio livre e dióxido de carbono. A maioria dos minerais formados sob condições de profundidade, tornam-se instáveis sob estas condições, tendendo a se rearranjar sob novas formas, estáveis. O termo **intemperismo**, inclui todos os processos de reconstituição que se dão nas proximidades da superfície da Terra.

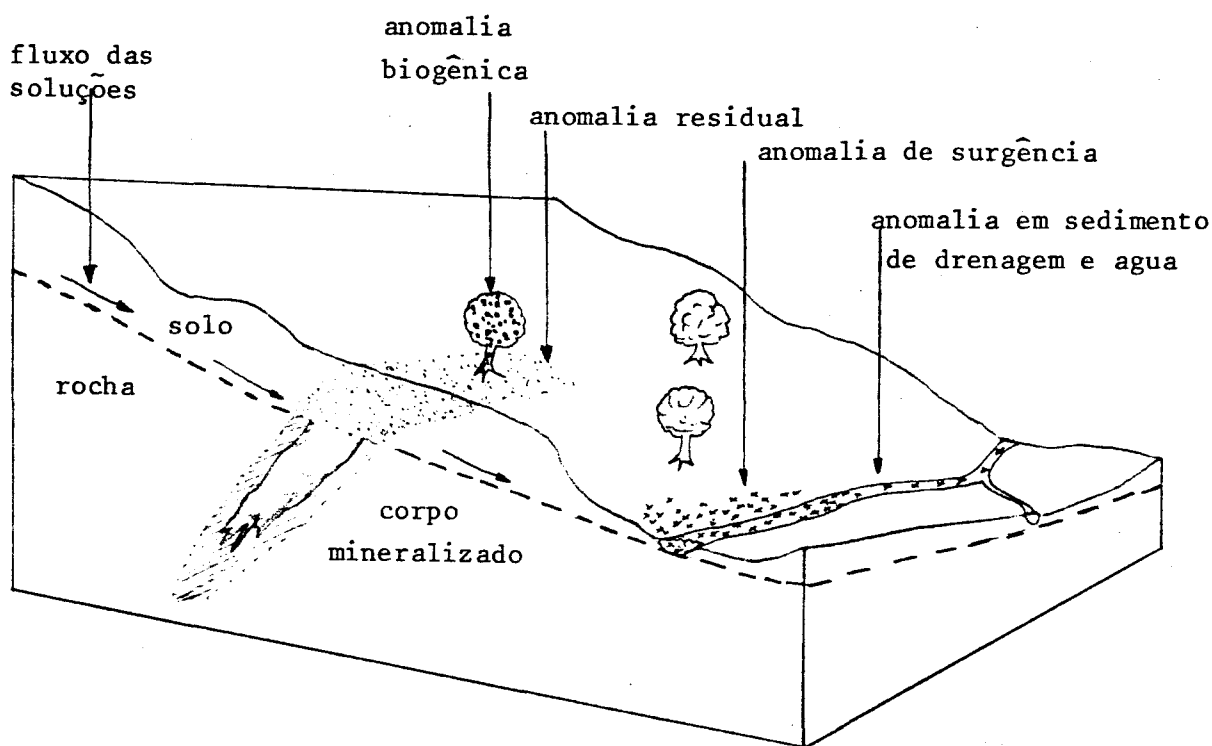


Figura 14 - Perfil idealizado de anomalias geoquímicas em solo residual.

A natureza do intemperismo

Intemperismo pode ser definido como o conjunto de processos que se desenvolvem na superfície da Terra, consistindo em quebra e alteração de minerais. Também pode ser definido como o rompimento e alteração de materiais próximo da superfície da Terra, formando produtos que estejam mais próximos do equilíbrio com a atmosfera, hidrosfera e biosfera (Reiche, 1950; Ollier, 1969). Esta definição, tomada literalmente, incluirá não apenas os processos primariamente inorgânicos, comumente associados com o intemperismo, mas também os processos de formação do solo onde a atividade orgânica predomina, em conjunto com processos mecânicos

pelos quais os produtos do intemperismo e formação do solo são erodidos, transportados e redepositados. Nestes processos a água é um agente predominante.

Num sentido ainda mais restrito, o intemperismo pode ser melhor definido como "mudanças das rochas do estado massivo ao estado clástico" (Polynov, 1937). É a fase dominada pelas modificações físicas e químicas que surgem em resposta as necessidades de equilíbrio nas condições do ambiente superficial. O processo começa com a progressiva desintegração e decomposição do material rochoso "in situ". O produto desta decomposição é uma mistura de minerais resistentes primários, e uma suite de novos constituintes minerais estáveis no novo ambiente. Assim se forma o manto de material inconsolidado, sobreposto ao substrato rochoso, conhecido como regolito.

O processo de intemperismo é seguido por um processo de formação do solo, erosão, transporte e sedimentação, todos eles abrangendo o ciclo geoquímico superficial, ilustrado à Figura

Muito embora estes processos estejam em geral, intimamente ligados tanto na causa quanto no efeito, é necessária para clareza de interpretação, que sejam considerados em separado. Seguindo sua sequência no ciclo geoquímico, intemperismo e formação de solo, são revisados em primeiro lugar, seguido por erosão, transporte e deposição. Daremos aqui apenas os princípios básicos, uma compreensão geral, essencial para um planejamento eficiente e interpretação de levantamentos geoquímicos. A formação do solo é tratada com maiores detalhes, adiante porque os geólogos são pouco afeitos com este aspecto do ambiente superficial, da maior importância em exploração geoquímica.

Os processos do intemperismo

Tres tipos principais de intemperismo podem ser distinguidos : o físico, o químico e o biológico. Processos físicos incluem todos aqueles que causam a desintegração sem modificações químicas e mineralógicas. Esta desintegração aumenta a superfície reativa, e deste modo facilita a decomposição das rochas por meio de reações químicas com água abundante, oxigênio livre e dióxido de carbono do ambiente superficial. A atividade biológica contribui direta ou indiretamente seja para o intemperismo químico seja para o físico. Todos estes processos se desenvolvem paralelamente, embora sua importância varie de acordo com o ambiente. Deste modo em condições de desertos áridos e extremos árticos, e em muitas áreas de relevos montanhosos, a desintegração física é mecanismo dominante da desintegração das rochas. Sob muitos outros climas, o ataque químico é de longe o fator dominante no controle da natureza dos produtos de intemperismo, em todas as profundidades desta zona. Em contraste, a atividade biológica é restrita à zona próxima da superfície do solo.

O intemperismo físico

O primeiro passo para a desintegração física das rochas maciças, logo após seu soerguimento e erosão, é o desenvolvimento de um entrelaçado de juntas e fendas. Estas aumentam em abundância à medida em que nos avizinhamos da superfície exposta. O simples alívio de rochas de profundidade, favorece a expansão ao longo de superfícies livres. As tensões diferenciais, conduzem à ruptura das rochas por rompimentos paralelos à superfície, ou lascamentos em blocos ou fragmentos. Rupturas ao longo dos contatos/limites de cristais individuais e grãos também se dão por causa das diferentes taxas de expansão para cada mineral e para diferentes orientações cristalográficas. Rachaduras incipientes também podem ser formadas por expansão e contração termal diferenciais ao longo de direções cristalográficas contrastantes, como resultados de queimadas periódicas para propósitos agrícolas. Variações normais diárias de temperaturas são geralmente consideradas como irrelevantes para promoção de rupturas de maciços rochosos (Griggs, 1936).

Logo que as primeiras rachaduras se formam no corpo da rocha, um grande número de forças podem atuar em conjunto para aumentar a espessura das mesmas, e causar posteriormente o colapso. Mesmo rachaduras de dimensões microscópicas favorecem o acesso a soluções aquosas. Em climas temperados e árticos, a expansão da água durante o congelamento, pode causar tensões elevadas que levam ao aumento das fendas, bem como ao fraturamento adicional nos poros preenchidos por água. Em regiões áridas, a cristalização do sal, pode ampliar tais rachaduras, bem como o crescimento de raízes pode ser dar ao longo de rachaduras, contribuindo para ampliá-las.

Reações químicas da água e de seus solutos podem levar ao colapso físico da rocha. Um dos primeiros efeitos disruptivos da introdução de água nas rochas, vem do aumento de volume pela hidrólise e outras formas de alteração incipiente dos minerais nas redondezas da fenda. O efeito conjunto é uma expansão generalizada e uma progressiva ampliação das fendas.

No ciclo erosivo, ainda outros processos conduzem à desintegração física das rochas e abrem caminho a outros agentes de intemperismo. A gravidade causa o colapso de blocos salientes, e agentes como o vento, correntes de água, o gelo em deslocamento, agem no sentido de desintegrar os materiais sólidos na superfície.

O intemperismo químico

Comparativamente aos processos físicos, os agentes químicos do intemperismo são capazes de ataques muito mais poderosos sobre as rochas e seus constituintes minerais. Em casos extremos, as modificações na composição, propriedades, e textura podem ser grandes a ponto de obliterar completamente a natureza do material original. Deste modo, sob condições apropriadas, rochas cristalinas silicatadas grosseiras, podem ser reduzidas a um complexo ultra fino de argilo minerais; calcários e dolomitos podem ser completamente lixiviados restando apenas um resíduo

insolúvel; e ainda uma grande variedade e espessura de óxidos hidratados de Fe, Al (lateritas e bauxitas), ou CaCO_3 (caliche e cimento carbonático) podem se desenvolver às expensas de uma grande variedade de litologias.

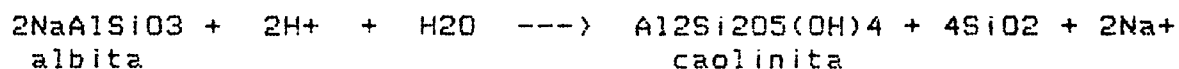
Em todos os níveis e em todos os ambientes, o intemperismo químico depende da presença de água e dos sólidos e gases nela dissolvidos. Todos os minerais são mais ou menos solúveis mesmo em água pura. A presença de oxigênio dissolvido, dióxido de carbono e complexos húmicos, ampliam bastante o poder corrosivo das soluções naturais. A chuva contém quantidades pequenas mas significativas de oxigênio dissolvido e dióxido de carbono, bem como cloretos e sulfatos derivados dos oceanos e das atividades humanas, sejam as domésticas sejam as industriais. A percolação através do solo, adiciona compostos húmicos, mais dióxido de carbono e muitos outros produtos de origem orgânica. As águas subterrâneas podem adquirir vários novos constituintes, liberados das rochas submetidas à decomposição ou por mistura com águas termais.

Os principais tipos de reações químicas associadas ao intemperismo, são hidratação, hidrólise, oxidação e solução.

- Hidratação e hidrólise

A hidratação (absorção de água) e a hidrólise (reação química para produzir ou consumir íons OH^- e H^+) são comumente consideradas como as reações químicas mais importantes, envolvidas na decomposição das rochas. A hidratação implica na absorção das moléculas de água na estrutura cristalina de um mineral. Um exemplo simples é a transformação de anidrita (CaSO_4) em gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Mais comumente a hidratação ocorre em conjunto com outros processos do intemperismo físico, tais como a conversão de aluminossilicatos em argilas, ou minerais de Fe em hidróxidos de Fe, com o resultado de que os produtos do intemperismo, contêm mais água que os minerais originais.

Na hidrólise, um silicato de Al ou Fe, é convertido em uma argila ou óxido hidratado de Fe, acompanhado pela perda de cátions e incorporação de H^+ . Um exemplo é a reação da albita com ácido fraco para resultando na formação de argila, sílica e íons Na^+ :



Observe que esta reação também envolve hidratação, como acontece em muitas outras reações de hidrólise, do mesmo modo que a dissolução do Na^+ . O Al nesta e em muitas outras reações de hidrólise pode ser liberado como um argilo mineral bem cristalizado ou como um aluminossilicato fracamente cristalino, coloidal e a SiO_2 como sílica coloidal, ácido silícico dissolvido (H_4SiO_4) ou quartzo, opala ou outro mineral de sílica. O cátion liberado pode ser sorvido na superfície das partículas coloidais ou permanecer em solução. Estes íons adsorvidos são então disponíveis para reação e troca com os constituintes da solução que percola. Muito embora a hidrólise possa acontecer em água pura, a reação é intensificada na presença de ácidos naturais,

dos quais os mais comuns são o carbonico e os humicos.

As reações de hidrólise produzem calor e podem produzir um aumento de volume. A tensão resultante é um dos fatores principais na desintegração das rochas, e seu efeito pode se estender a profundidades apreciáveis, muito abaixo da faixa da maioria dos agentes físicos simples de desintegração.

- Oxidação

As reações de oxidação, são características do ambiente aerado da zona de intemperismo. Os elementos mais comumente afetados são o Fe, o Mn e o S, que ocorrem na forma de Fe^{++} , Mn^{++} e S^{--} na maioria das rochas profundas e sedimentares, mas podendo ser oxidados a Fe^{+++} , Mn^{++++} e S^{+++++} no ambiente superficial. Outros elementos oxidáveis incluem C, N, Cr, Cu, As, Se, Mo, Pd, Sn, Sb, W, Pt, Hg e U. Reações de oxidação tendem a ser lentas, e a presença de água, cataliza as reações que envolvem oxigênio gasoso. Os produtos de oxidação são novos minerais (óxidos de Fe e Mn) e constituintes dissolvidos (SO_4^{--}). As condições ótimas para oxidação ocorrem naturalmente no solo úmido acima da zona de saturação permanente, porém em certos locais as águas oxidantes podem alcançar profundidades maiores que o lençol d'água, antes que seu poder oxidante seja consumido.

- Solução

A simples solução de muitos minerais na água abundante do ambiente superficial, pode ser um fator extremamente importante sob certas condições. O exemplo mais espetacular é a formação de cavernas calcárias através da solução de calcita em águas que contenham CO_2 , formando um bicarbonato de cálcio, solúvel. Menos espetacular é a liberação mais lenta de sílica e cátions comuns de K, Mg, Na e Ca, especialmente durante a hidrólise de silicatos primários.

Agentes biológicos do intemperismo

Os processos orgânicos não apenas constituem o principal fator genético na formação do solo, como desempenham uma parcela significativa na decomposição e intemperismo das rochas.

Plantas contribuem no intemperismo físico das rochas pela ampliação das fendas onde tenham introduzido suas raízes. Uma grande quantidade de material pode ser misturado e selecionado por vermes, termitas e cupins, e roedores. A desagregação resultante e permeabilidade aumentada, facilitam a entrada de ar e água, deste modo promovendo um intemperismo químico mais intenso.

Agentes biológicos também contribuem significativamente na desintegração química das rochas. As condições locais de acidez extrema, geradas nas extremidades das raízes, agem como poderosa força corrosiva na destruição química das rochas. Cálculos baseados no teor de sílica em vegetação tropical, mostraram que a razão na qual as plantas removem sílica dos minerais silicatados pode ser responsabilizada em grande parte pela elevada mobilidade da sílica no intemperismo tropical (Lovering, 1959). A respiração das plantas é um fator importante no ciclo biológico do oxigênio e do dióxido de carbono, os quais são os reagentes mais importantes no intemperismo químico, e a transpiração da água

enriquece em solutos, as soluções remanescentes nos poros. A oxidação do Fe e do S é catalizada por bactérias, da mesma maneira que a fixação do nitrogênio. Ácidos orgânicos e agentes complexantes gerados pela decomposição do material das plantas nos horizontes superiores do solo, podem contribuir materialmente para reações nas zonas profundas do intemperismo e na solubilidade das águas naturais.

Fatores que afetam os processos de intemperismo

Os processos acima delineados, se desenvolvem em toda a superfície terrestre, e em ampla variedade de ambientes. Embora os processos sejam basicamente os mesmos, condições ambientais localizadas desempenham influência considerável na taxa e tipo de intemperismo, e na natureza dos produtos finais. Os fatores principais que condicionam os processos de intemperismo, são: (1) a resistência ao intemperismo pelos minerais primários, formadores de rocha; (2) a granulação e textura da rocha; (3) clima, especialmente temperatura e precipitação plúviométrica; e (4) topografia e drenagem.

Resistência dos minerais ao intemperismo

Especies minerais diferem amplamente em suas resistências relativas aos processos de intemperismo. Estritamente, podemos especificar condições físicas e químicas de intemperismo de modo a classificar minerais de acordo com sua resistência ao intemperismo, entretanto uma ordenação aplicável a climas temperados úmidos foi desenvolvida por Goldich (1938) e é resumida na Figura 16.

↓ + estabilidade	Olivina	Anortita
	Augita	Plagioclas. calco-alc.
	Hornbl.	Plagioclas. alc-calcico
	Biotita	Albita
	Feldpsto potassico	
	Muscovita	
	Quartzo	

Figura 16 - Estabilidade relativa dos silicatos formadores de rocha, mais comuns, no intemperismo químico, seg Goldich(1938)

Este arranjo é o mesmo que o da série de reação de Bowen, que demonstra a ordem progressiva de reação durante o curso da

cristalização magmática (Bowen, 1922). A série de Goldich indica que os minerais cristalizados durante as temperaturas mais elevadas, e sob condições mais anidras, são mais facilmente intemperizados que aqueles cristalizados em estágios finais, em temperaturas mais baixas e a partir de magmas mais hidratados. Como regra geral, quanto mais próximas estiverem as condições de cristalização das que atualmente prevalecem no ambiente superficial, mais resistentes serão os minerais no ambiente de intemperismo. A série de Goldich é aplicável inclusive a minerais de origem metamórfica.

A resistência relativa aos processos de intemperismo dos constituintes minerais dos depósitos de minério, é obviamente uma questão da mais alta importância no desenvolvimento de halos secundários e anomalias geoquímicas. De maneira geral a ordem de suscetibilidade crescente à decomposição por intemperismo, parece ser

Óxidos < silicatos < carbonatos e sulfetos

Muitos minerais sulfetados são particularmente vulneráveis à oxidação e solução. A oxidação da pirita e da marcassita, origina ácido sulfúrico, íon ferroso e limonita.

No ambiente fortemente ácido resultante, os minerais de ganga e silicatos das encaixantes são atacados a uma taxa muito maior que em ambientes não sulfetados. A presença de carbonatos abundantes ou outros constituintes alcalinos, seja nos minerais de ganga seja nas encaixantes, promove uma neutralização efetiva do ambiente que no caso de um ambiente predominantemente silicoso.

Um fator importante na oxidação dos sulfetos, é a reação eletroquímica que se dá em agregados constituídos por mais de um sulfeto eletricamente condutores (Gottschalk e Buehler, 1912; Sato, 1960). Sob estas circunstâncias, a oxidação de um material é favorecida sobre outros. Assim num depósito constituído essencialmente de pirita e calcopirita, a segunda oxida-se preferencialmente à primeira.

Alguns sulfetos, notavelmente a pirita, podem mostrar variações consideráveis na estabilidade, aparentemente relacionadas com desordens estruturais e composicionais em seus retículos cristalinos. Outros sulfetos primários, por exemplo a galena, podem ser transformados no intemperismo, em minerais secundários insolúveis que recobrem os sulfetos primários, impedindo o intemperismo.

Permeabilidade

A taxa de intemperismo de uma rocha depende em quão facilmente as soluções reativas possam atingir os locais de reação dentro do corpo da mesma. Uma rocha finamente granulada, na qual soluções podem encontrar seu caminho, através dos contatos intergranulares, será relativamente permeável e será rapidamente intemperizada, em virtude da grande superfície específica dos grãos. A maioria das rochas que obedecem a esta

especificação, são rochas sedimentares clásticas nas quais os constituintes minerais estão em perfeito equilíbrio com o ambiente superficial. Por outro lado, rochas ígneas e metamórficas de granulação média a grossa, dispõem de "micro canais" segundo os contatos dos grãos, entretanto rochas ígneas finas são muito raramente permeáveis. Daí decorre que rochas de granulação grossa são muito mais suscetíveis à decomposição que as finas, a despeito da superfície de contato maior das últimas. A permeabilidade pode ser também favorecida pela dissolução de grãos minerais. O intemperismo geralmente se estende a profundidades maiores em depósitos epigenéticos que na rocha encaixante, em parte porque a estruturação do veio, comumente fornece caminhos preferenciais para águas percolantes, e em parte por causa do efeito do ácido gerado pela oxidação dos minerais sulfetados. O fraturamento tanto em macro quanto em micro escala, geralmente resulta em um aumento acentuado na intensidade e profundidade do intemperismo químico. A medida que o intemperismo avança, a remoção seletiva dos carbonatos solúveis e sulfetos, fornece acessos adicionais para as soluções intempericas. A alteração primária das encaixantes, ao longo dos depósitos minerais é frequentemente acompanhada por um acréscimo de porosidade, muito embora a silicificação usualmente torna a rocha mais resistente ao intemperismo. Em geral, os efeitos de oxidação e lixiviação dos sulfetos disseminados, são mais penetrantes em arenitos que folhelhos, em vista da maior permeabilidade.

Clima

Os principais elementos climáticos que afetam o intemperismo são a temperatura e a pluviosidade. Esta controla a quantidade de água disponível para o intemperismo químico, enquanto que a temperatura influencia a taxa das reações químicas e particularmente a taxa de decomposição da matéria orgânica. A temperatura afeta a disponibilidade de água pelo acréscimo da evaporação a temperaturas mais elevadas ou por congelamento nas mais baixas. O clima também controla a quantidade e o tipo de vegetação, a qual por sua vez controla a matéria prima para os reagentes orgânicos. O intemperismo químico é geralmente mais intenso em áreas tropicais de elevada pluviosidade e temperatura. A intensidade do intemperismo é algo menor em climas temperados de pluviosidade moderada e variações sazonais de temperatura. Um exemplo do contraste entre os produtos de intemperismo químico em doleritos (diabasios) em climas temperados e tropicais, é mostrado na Figura 10. Sob condições árticas e desérticas, o intemperismo químico é reduzido ao mínimo, predominando os processos físicos. Como resultados dos extremos de aridez em algumas áreas desérticas, a corrosão por partículas de areia com transporte eólico, pode ser um fator importante no intemperismo físico.

Relevo e drenagem

Em terrenos muito montanhosos, a erosão física pode causar a

Constituinte	Dolerito Staffordshire, Ingl.		Dolerito Bombaim, India	
	teor na rocha sã	teor na alteração	teor na rocha sã	teor na laterita
	%	%	%	%
SiO ₂	49,3	47,0	50,4	0,7
Al ₂ O ₃	17,4	18,5	22,2	50,5
Fe ₂ O ₃	2,7	14,6	9,9	23,4
FeO	8,3	---	3,6	---
MgO	4,7	5,2	1,	---
CaO	8,7	1,5	8,4	---
Na ₂ O	4,0	0,3	0,9	---
K ₂ O	1,8	2,5	1,8	---
H ₂ O	2,9	7,2	0,9	25,0
TiO ₂	0,4	1,8	0,9	0,4
P ₂ O ₅	0,2	0,7	---	---
Total	100,4	99,3	100,5	100,0

Tabela 10 - mudanças no intemperismo químico em zonas temperadas e tropicais. seg Warth (1905), em Rose, Hawkes e Webb (1979).

remoção dos fragmentos de rocha, mais rapidamente que decompostos quimicamente. O intemperismo químico então é restrito a decomposição dos fragmentos erodidos a medida em que são transportados, primeiro por rastejo ("creep") e depois por meio dos cursos d'água. Relevos moderados a fortes, soa associados com extrema variabilidade na profundidade do lençol d'água. Nestas áreas, a decomposição química é mais ativa abaixo das cristas onde o lençol d'água tende a uma profundidade máxima da superfície. Um lençol raso e zonas de saturação superficiais, são usualmente limitadas as vizinhanças imediatas de fontes e canais de drenagem. A circulação das soluções subterrâneas é mais vigorosa nas áreas entre as cristas e os canais de drenagem.

Topografia mais suave, é caracteristicamente o domínio de erosão menos ativa e por movimentações de água subterrânea relativamente lentas. Condições pantanosas são comuns onde a precipitação é suficiente para manter um lençol elevado. Sob tais condições, a baixa taxa de erosão conduz inevitavelmente a uma redução do movimento do lençol freático e da decomposição das rochas até que o equilíbrio seja alcançado, e o processo do intemperismo seja virtualmente paralisado.

VII - O SOLO

O solo foi definido por Joffe (1949) como "um corpo natural de constituintes orgânicos e minerais, diferenciados em horizontes de espessuras variáveis, que diferem entre si na morfologia, composição física, propriedades e composição química, e características biológicas".

Desenvolvimento do perfil do solo

Como acima foi dito, solos são caracteristicamente organizados em camadas que diferem uma da outra e do material original em suas propriedades e composição (Figura 17). Fora as diferenças em cor e textura que auxiliam o reconhecimento no campo, as propriedades de grande significado que afetam a dispersão geoquímica dos elementos são o pH, o teor de matéria orgânica, o tipo de argilo mineral presente ou assembleia, e a quantidade de óxidos de Fe, Mn e Al.

As camadas individuais são denominadas horizontes do solo e podem variar desde alguns centímetros até um metro de espessura. No conjunto, estes horizontes compõem o perfil do solo. Em termos gerais, desenvolvimento do perfil, é sinônimo de formação do solo ou pedogênese. É primariamente o resultado da movimentação vertical, nos dois sentidos, de material em suspensão e solução, acompanhado por uma complexa série de reações químicas muitas das quais de origem orgânica. Deste modo, a água é um meio essencial no qual se dá a transferência e reconstituição.

Os perfis de solo, variam amplamente nas suas características de acordo com o ambiente geográfico e genético. Perfis melhor desenvolvidos, podem ser divididos em quatro horizontes principais. Da superfície para a base, são identificados pelas letras A, B, C e R. Os horizontes A e B, em conjunto constituem o "solum", ou solo verdadeiro, enquanto o horizonte C é o material original parcialmente intemperizado, a partir do qual o solum derivou por processos pedogenicos, e finalmente o horizonte R é o material rochoso subjacente. Um horizonte de matéria orgânica aproximadamente pura (O ou A0) pode estar sobre o horizonte A. Um perfil hipotético completo é mostrado na Figura 17.

A sequência completa geralmente não é representada. Por exemplo, em solos imaturos frequentemente falta o horizonte B, ou então a erosão pode conduzir a perfis truncados, expondo por vezes o horizonte C. Estudos detalhados podem subdividir os horizontes, entretanto para propósitos de prospecção geoquímica, isto não tem significado prático. Por outro lado, a distribuição dos metais pode variar amplamente nos horizontes do perfil, e por este motivo, é de maior importância o reconhecimento dos horizontes principais e a identificação de solos imaturos ou truncados, quando encontrados.

O horizonte A é caracterizado por um processo de lixiviação parcial conhecido como eluviação. Esta é feita pela percolação de cima para baixo, da água através do solo. Alguns constituintes são removidos como íons e moléculas em solução, e outros como partículas coloidais dispersas.

Um agente principal catalizador da lixiviação do horizonte

A, e determinante da característica do perfil completo é o humus, geralmente concentrado no horizonte A. Os ácidos orgânicos e agentes complexantes gerados no humus pela ação bacteriana

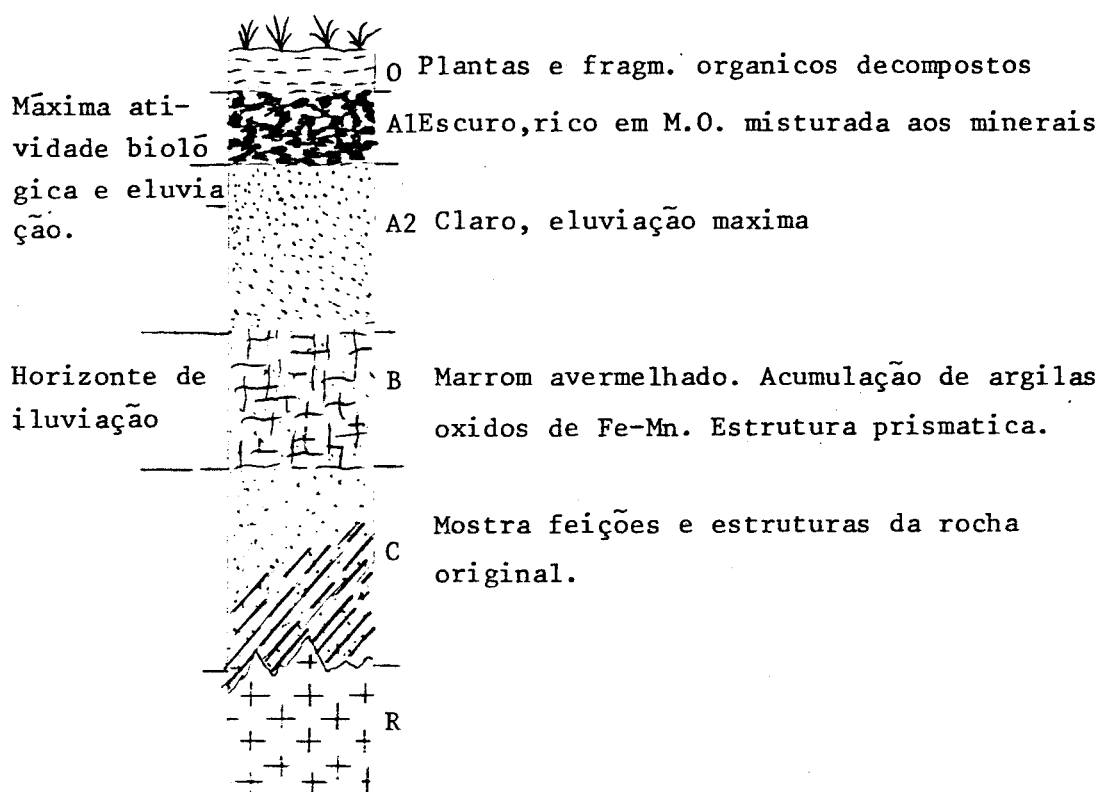


Figura 17 - Perfil idealizado do solo. modif Rose, Hawkes e Webb (1979)

promovem a lixiviação característica do horizonte A. Os ácidos orgânicos e carbônico, fornecem H^+ que contribui para a decomposição dos minerais e desloca as bases (Ca, Mg, Na, K) das posições de troca dos argilo minerais, óxidos do tamanho argila e materiais orgânicos. Estas bases movem-se para baixo no perfil como íons dissolvidos; o Fe e o Al movem-se como partículas coloidais de argilo minerais e óxidos, como complexos de grupos orgânicos, ou ainda na maioria dos solos ácidos como íons livres ou complexados com hidroxila. A sílica é amplamente dissolvida como ácido silícico ou mobilizada como sílica coloidal. Minerais primários resistentes ou fragmentos de rocha em processo de decomposição, tendem a permanecer no topo.

Sob condições úmidas e de drenagem livre, os constituintes mais solúveis lixiviados do horizonte A, descem até o nível freático ou eventualmente passarão da água subterrânea para a água superficial. Alguma matéria em suspensão pode seguir o mesmo caminho. Mais usualmente, entretanto, silicatos coloidais, óxidos e materiais orgânicos, bem como alguns constituintes dissolvidos do horizonte A, são localmente redepositados na zona de acumulação ou iluviação que constitui o horizonte B. Como resultado, o horizonte B tende a se enriquecer em argilas e óxidos de Al, e a assumir uma coloração avermelhada ou marrom amarelada, naqueles perfis onde a iluviação envolve os óxidos de

Fe. Em alguns perfis, o horizonte B, pode se enriquecer em materiais precipitados a partir de solutos derivados dos horizontes inferiores, por circulação de água subterrânea, capilaridade, ou evaporação da água de embebição.

O horizonte C consiste do material original do perfil mais ou menos intemperizado. É importante ressaltar que o material original pode ser rocha in situ, coberturas aluviais, glaciais ou eólicas, ou mesmo solos de um ciclo pedológico preterito (paleosolos). Normalmente são observadas reliquias de estruturas do material original e mesmo fragmentos intocados.

A importância do perfil de solo para prospecção geoquímica reside basicamente na resposta que os horizontes fornecerão para mineralizações sotopostas. Metais solúveis e aqueles incorporados ou adsorvidos em argilas e coloides são sujeito a remoção do horizonte A, enquanto que aqueles contidos em minerais resistentes são sujeitos a enriquecimentos naquele horizonte. Metais removidos por vegetais serão reintegrados ao ciclo, pela queda e decomposição dos detritos vegetais. Alguns dos metais removidos do horizonte A, tendem a se acumular junto com hidróxidos de Fe e Mn ou argilas, no horizonte B. Um exemplo interessante da distribuição de metais no perfil de solo sobre granito em clima tropical, é apresentado na Figura 18.

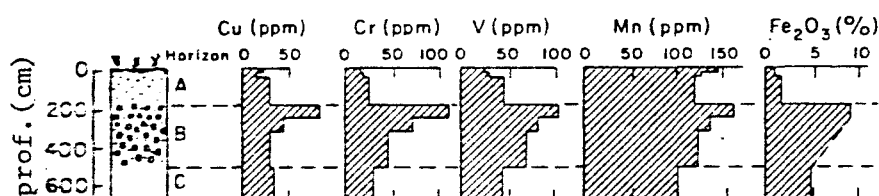


Fig 18 - Variação no conteúdo metálico em relação com o horizonte do solo, perfil latosólico, Zâmbia. Os alcalis crescem com a profundidade; Co e Ni mostram pequena variação. Dados da fração -80 mesh, seg Geoch. Prosp. Res.Center, Imperial College, Londres, em Rose, Hawkes e Webb, 1979.

Classificação dos solos

Apesar da nova Taxonomia dos Solos usada pelo U.S. Department of Agriculture ser extremamente detalhada, e concebida com espírito descritivo, baseando-se na presença de feições químicas e físicas características de cada um dos tipos de perfil, seu uso está restrito a levantamentos pedológicos de detalhe, não aplicando-se de maneira geral aos trabalhos de prospecção geoquímica exatamente pelo seu elevado grau de detalhamento. É organizada em dez ordens distinguidas pela presença de horizontes e suas características. Estas dividem-se em cerca de 50 sub-ordens com base em características climáticas, de drenagem e outras. Outras divisões hierarquicamente inferiores são os grandes grupos, as famílias, as séries e as fases.

Para propósitos generalizados de prospecção geoquímica, a

CLASSIFICACAO DOS SOLOS

1 . "SISTEMA AMERICANO" (Thorp e Baldwin, 1930).

baseia-se na genese, inferida a partir do clima, drenagem, relevo e material original.

Solos azonais : horizontes incipientes e perfis imaturos como por exemplo solos desenvolvidos sobre aluvioes recentes: litosolos, regosolos, solos aluviais.

Solos zonais : perfil maturo, com caracteristicas determinadas pelo clima e vegetacao : podzol, chernozem, latosol, solos deserticos.

Solos intrazonais : tem influencia predominante as condicoes locais como drenagem. Por exemplo, em regioes umidas, solos mal drenados = gley; ou solos mal drenados em regioes aridas = solos salinos :

solonchak ou solonetz

2 . "TAXONOMIA DOS SOLOS" (U.S. Dept. Agriculture, 1975)

e' um sistema descritivo, baseando-se na presenca de feicoes quimicas ou fisicas caracteristicas

Dez Ordens : presenca e caracteristicas dos horizontes

50 Sub- Ordens (aprox.) : clima drenagem e outras propriedades e feicoes

Grandes Grupos : horizontes e variantes diagnosticos

Familias : propriedades importantes no crescimento vegetal

Series : nomes geograficos

Fase : nome textural

Tabela 11 - Resumo esquematico das duas classificacoes de solos, existentes. modif. Rose, Hawkes e Webb, 1979.

classificação dos solos de Thorp e Baldwin (1938) chamada de "sistema americano" é ainda a mais utilizada. É um sistema essencialmente genético, baseado em inferências a partir de condições climáticas, de drenagem, de relevo e de matéria orgânica.

Andrew-Jones (1968) simplificou ainda mais esta classificação para propósitos práticos de prospecção, restringindo os tipos a quatro perfis básicos, como observa-se à Figura 19, abaixo.

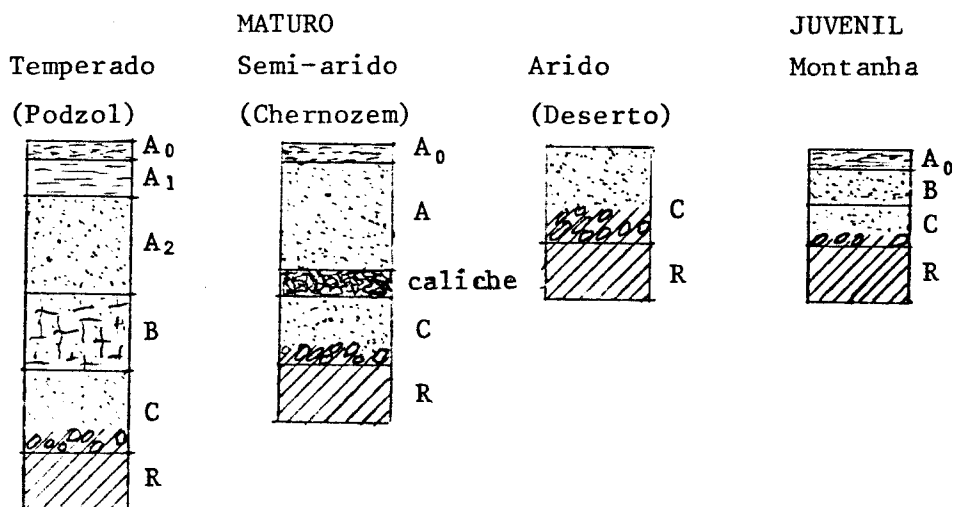


Figura 19 - Representação esquemática de alguns perfis de solo seg. Andrew-Jones (1968).

O papel do pH e do Eh

O pH é a expressão numerica da acidez ou alcalinidade relativas de um sistema aquoso. Refere-se a concentração do H^+ e de OH^- , e é definida como o logaritmo negativo na base dez da atividade do íon hidrogenio ou atividade hidrogenionica. Deste conceito deriva a escala de pH, que varia de 0 a 14, onde o ponto neutro é definido como a condição atingida quando a atividade hidrogenionica é igual ao íon hidroxila. Para condições de soluções aquosas diluidas, a 25°C e 1 atm., isto significa um pH = 7,0.

A água pura nestas condições é neutra, o que significa dizer que tem concentrações iguais de íons hidrogenio e hidroxila. O pH é valido lembrar, é uma escala logaritmica, deste modo uma variação de 1,0, representa uma decuplicação da concentração ionica. Valores de pH < 7, representam condições acidas e pH > 7, condições alcalinas.

Muitos elementos metalicos são solúveis apenas sob condições acidas e tendem a se precipitar com hidróxidos (ou sais basicos) com o aumento do pH, como ~~mostrado~~ ¹⁴ na Tabela 14. O pH de hidrolise a rigor, depende da concentração do íon metalico, entretanto para esta discussao, consideraremos apenas baixas concentrações. Assim por exemplo, quando o pH, muito proximo de um depósito de pirita que se oxida, é extremamente ácido (por vezes atingindo pH=-1,0), o íon ferrico estara em solução. Entretanto tao logo o pH atingir 2,0, o ferro ferrico prontamente sera precipitado. Outros elementos não precipitam, a menos que o pH atinja valores de 5,3 como o cobre, ou o zinco com pH=7,0. Assim claramente, o pH é um dos mais importantes fatores na mobilidade e mobilização dos elementos em solução, e explica dentre outras coisas, porque elementos são muito menos móveis em ambientes alcalinos (por exemplo em areas de rochas carbonatadas), em comparação com ambientes acidos. Ele tambem explica um dos mecanismos de acumulação de elementos traço em sedimentos de drenagem : a medida em que água subterranea ou fontes são diluidas em águas com elevados pH, ou entao a medida em que estas águas acidas reagem com rochas, o pH delas tende a se neutralizar, precipitando os metais traço em solução no momento em que o pH de hidrolise for atingido.

Adicionalmente ao efeito de solubilidade de elementos em soluções, o pH tambem desempenha papel importante na determinação da capacidade de adsorção das argilas. A montmorilonita por exemplo, em ambientes acidos, tem uma pequena capacidade de sorção de íons, visto ser o H^+ adsorvido preferencialmente em lugar dos metais. Este exemplo alem de mostrar a influência do pH e das argilas na mobilidade dos elementos traço, tambem exemplifica a disponibilidade de elementos no solo (alcalinização do solo por calagem para fixação de micro - nutrientes vegetais).

Ja o Eh de uma solução é definido como a medida da tendência de oxidação ou redução, ou mais especificamente o potencial do sistema. Todas as medidas são referidas a um eletrodo padrão de hidrogenio, cujo potencial é arbitrariamente tomado como =0, em

pH=0 e a uma atmosfera de pressão. Quanto mais positivo o potencial, mais oxidante ele será. A escala de Eh dos potenciais de oxidação e redução, estende-se para ambos os lados do 0.

Os Eh de ambientes naturais em pH = 7, devem situar-se entre - 0,41 e + 0,82 volt, sendo o primeiro representativo de ambientes extremamente redutores, como por exemplo sedimentos marinhos profundos ricos em matéria orgânica e, o segundo, condições extremamente oxidantes, tais como podem ser encontradas em certos depósitos oxidados de sulfetos.

Oxidos de Fe-Mn : locais de reação e sorção

Os óxidos hidratados de Fe e Mn são de particular interesse em prospecção geoquímica por duas razões. Primeiro que durante sua precipitação eles podem incorporar por coprecipitação, outros elementos que não seriam normalmente afetados por modificações de pH e Eh. Segundo, uma vez formados eles tem a tendência de capturar ou adsorver elementos com os quais entram em contato. Adsorção é definida como a adesão de íons ou moléculas às superfícies de corpos sólidos com os quais entrem em contato. O resultado final de ambos os processos é que muitos metais tais como o Cu e o Zn, que são geralmente muito móveis, pelo menos em condições levemente ácidas, tendem a se concentrar nos precipitados de Fe e Mn. Normalmente isto pode ser pernicioso à prospecção geoquímica, porque halos de dispersão de elementos móveis no ambiente secundário, podem ser amplamente reduzidos, e porque anomalias não significativas podem resultar da acumulação de teores de fundo de elementos traço.

Uma complicação adicional é causada pelo fato de que é geralmente muito difícil o reconhecimento dos óxidos hidratados de manganês, especialmente em solos e sedimentos de drenagem. Em solos, por exemplo os óxidos de Mn raramente perfazem mais do que 1% do peso total e no caso geral, muito menos que isso, talvez cerca de 0,1 a 0,3%. É por esta razão que muitos dos geoquímicos determinam o teor de Fe e Mn em tais materiais, comparando suas abundâncias com os metais básicos, seja por plotagem direta em mapas, seja por meio de razões.

Os óxidos de Fe e Mn são em geral de maior importância que os de Al e Si porque tem capacidade mais elevadas de sorção, dissolvem-se à medida que o potencial redox decresce e reprecipitam-se à medida que o sistema se torna mais oxigenado (Jenne, 1977).

Dissoluções e precipitações alternadas tendem a manter os óxidos de Fe e Mn em um estado amorfo ou com baixo grau de cristalinidade, extremamente ativo. Um baixo grau de cristalinidade facilita a incorporação não estequiométrica (sorção) de elementos estranhos, especialmente os metais nos óxidos (Kuhnel e col, 1975). Embora óxidos de Mn possam precipitar mais lentamente que os óxidos de Fe, a substituição isomórfica e a penetração por íons estranhos para o interior da estrutura mineralógica extremamente complexa dos óxidos de Mn, é muito mais extensiva que nos óxidos de Fe, e o estado de oxidação do Mn é altamente variável (Chao e Theobald, 1976; in Jenne, 1977). Por estes motivos, óxidos de Mn usualmente tem uma capacidade de captura dos metais maior que os óxidos de Fe, em condições

semelhantes (Chao e Theobald, 1976).

A matéria orgânica

A matéria orgânica também desempenha um papel importante na adsorção de certos elementos, muito embora as opiniões sejam contraditórias, entre os diversos autores. Esta diversidade de opiniões se dá principalmente, com relação ao processo de ligação de elementos traço com a M.O.. Alguns autores acreditam que a ligação seja simplesmente através de adsorção, enquanto que outros como Jenne (1968), acreditam que este mecanismo não seja um controle importante para Co, Ni, Cu e Zn. Assim para nossos propósitos e até que seja esclarecido este ponto, podemos considerar que a matéria orgânica adsorve tanto quanto os óxidos hidratados.

Que as camadas orgânicas do solo acumulam certos metais, é um fato inquestionável. De fato, a capacidade de troca dos humus pode atingir os 500 meq/100g, enquanto que as argilas raramente excedem os 150 meq/100g. Deste modo a influência da presença da M.O. na geração de anomalias não significativas é ponderável, principalmente em locais pantanosos, ou com espessa cobertura vegetal, ou ainda em zonas de surgência de lençol freático.

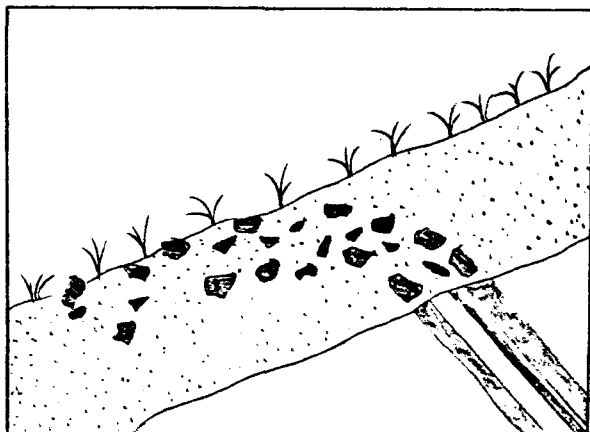
A matéria orgânica em solos e sedimentos, compreende um grupo de componentes complexos de origem biológica. Os grupos funcionais ativos podem formar complexos organometálicos e quelados, por precipitação de íons metálicos ou solubilização de compostos metálicos, dependendo da solubilidade dos produtos formados. Em qualquer local onde a matéria orgânica se acumule, nos solos ou em sedimentos, os metais relacionados à ela, fornecerão uma indicação possível de mineralização. No entanto, é ainda necessária muita pesquisa acerca da importância da matéria orgânica no controle da distribuição dos metais no ambiente secundário ou do intemperismo.

IX - DISPERSAO MECANICA NO AMBIENTE SUPERFICIAL

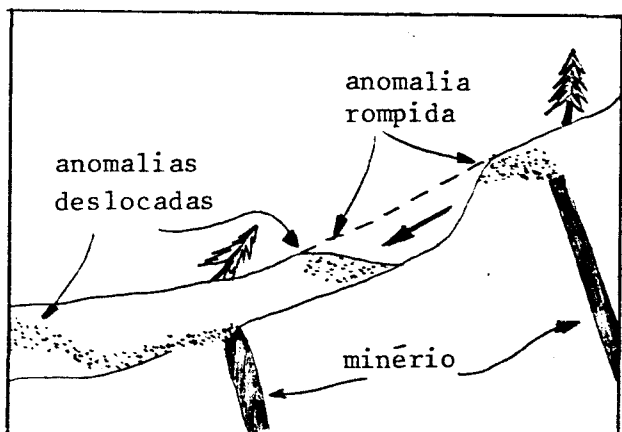
Esta forma de dispersão se dá pela movimentação dos fragmentos, clásticos, originados da desagregação mecânica das rochas, nos solos e sedimentos de drenagem. A movimentação de tais resíduos, é feita pela atuação da força da gravidade como componente quase que exclusivo. Esta, ao atuar diretamente sobre o solo e fragmentos soltos faz com que processos como rastejo, colapso e queda de detritos e deslizamentos em vertentes, aconteçam. Com a atuação da água como agente transportador, ou mesmo como lubrificante nas massas de solo e rocha em vertentes, tais processos podem ser agilizados, adquirindo velocidades e dimensões por vezes até catastróficas (Tabela 12 e Figura 20).

Movimento		Solo ou rocha		Água	
Tipo	Velocidade	Secos ou com pequeno teor d' água		Solo ou rocha , mais água	Predomina água
Fluxo	Usualmente imperceptível	Rastejo	Rocha		Transporte
		Rastejo	Talus		
		Rastejo	Solo		
	Lento a rápido			Solifluxão	Fluvial
	Rápido			Fluxo de terra	
				Avalanche	
Desliza mento	Lento a rápido	Colapso			
		Desliz. detritos			
		Queda de detritos			
	Muito rápido	Desliz. rochas			
		Queda de rochas			

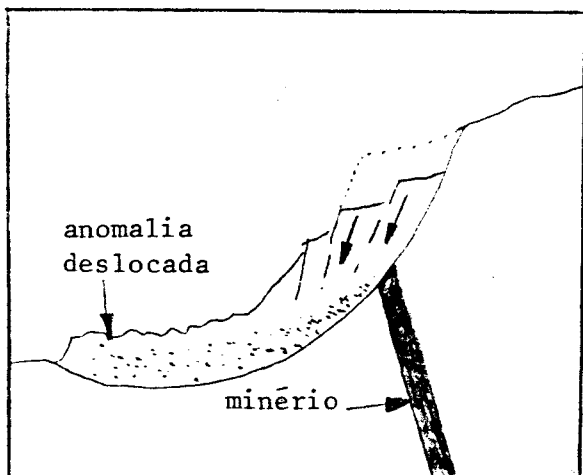
Tabela 12 - Classificação dos fatores mecânicos, na dispersão dos produtos do intemperismo modif. Sharp (1938) em Rose, Hawkes e Webb (1979).



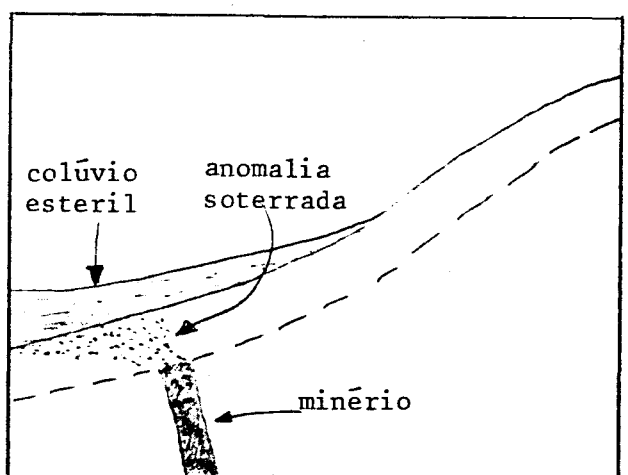
Dispersão de fragmentos resistentes
por rastejo do solo



Ruptura e deslocamento de anomalias
por deslizamento



Ruptura e deslocamento de anomalia
por colapso



Soterramento de anomalia na cobertura
residual, por colúvio

Figura 20 - Tipos de dispersão mecânica no ambiente superficial.
seg. Rose, Hawkes e Webb (1979)

X - MODELOS DE DISPERSÃO SUPERFICIAL

As características dos modelos de dispersão superficial, são consequência da atuação dos processos dinâmicos da dispersão. Estes processos e a ampla gama de ambientes nos quais eles operam, são extremamente complexos e as feições resultantes de material redistribuído mostram correspondentes diversidades de origem, modo de ocorrência de seus constituintes e forma física.

Classificação dos modelos de dispersão superficial

Geneticamente os modelos de dispersão superficial podem ser classificados de acordo com (1) tempo de formação em relação a rocha matriz, e (2) modo de formação. Este sistema de classificação apresentado por Rose, Hawkes e Webb (1979), é empregado porque a correta identificação do tempo e modo de formação do modelo geoquímico fornece a única base segura para sua interpretação em termos de geologia.

Baseado nesta asserção, feições introduzidas e depositadas ao mesmo tempo que a rocha matriz, são classificadas de singenéticas, enquanto que aquelas introduzidas na rocha matriz após formação dela, são chamadas de epigenéticas. As feições podem ser também classificadas como (1) clásticas, quando a dispersão é feita basicamente por partículas sólidas em movimento, (2) hidromórficas, onde o agente dinâmico são soluções aquosas, e (3) biogênicas, onde o movimento é resultado da atividade biológica.

Feições singenéticas

As feições singenéticas tanto podem ser clásticas quanto hidromórficas, quanto ainda biogênicas. Para a grande maioria, estas feições são relativamente simples de interpretar, desde que a história da matriz, forneça uma ligação direta entre a feição do material disperso e sua fonte primária na rocha.

- Feições clásticas

Solo residual, colúvio, sedimentos de aluvial, são virtualmente os meios comuns para todas as feições clásticas. No solo residual, elas refletem a distribuição dos elementos na rocha subjacente; as feições de distribuição de elementos imóveis são mais fielmente preservadas que aquelas constituídas por elementos móveis, os quais são submetidos a lixiviação e redistribuição no resíduo do intemperismo. Feições singenéticas em colúvio também apontam para uma fonte na rocha matriz, muito embora a interpretação possa ser um pouco mais complicada devido às movimentações laterais, substanciais.

Feições clásticas em sedimentos de drenagem resultam da erosão e transporte aluvial de coberturas ricas em metais. Aqui a relação entre anomalias e fonte primária pode ser complicada por uma história de dispersão previa do metal na cobertura. Se a anomalia no sedimento for diretamente derivada da erosão de uma anomalia de solo residual, a fonte primária do metal ocorrerá nas vizinhanças imediatas da anomalia de solo. Se a anomalia do sedimento se der pela erosão de uma anomalia de surgência ("seepage") no solo, a fonte primária deverá ser procurada

vertente acima do afloramento do lençol freático.

- Feições hidromórficas

A carga solúvel da água subterrânea e superficial é outro tipo de feição de anomalia singenética. Aqui a matriz é água ao invés de solo ou outro tipo de material sólido. Do mesmo modo que em anomalias singenéticas de solo, a definição da fonte rica em metais, neste caso água, dirige-se em grande medida à definição ou determinação da fonte primária dos elementos anômalos constituintes.

Depósitos evaporíticos e precipitados químicos macícos deveriam ser apropriadamente denominados de feições singenéticas de origem hidromórfica. Onde os precipitados não são macícos mas disseminados nos interstícios da matriz clástica, a feição deveria ser considerada mais apropriadamente como epigenética. Um exemplo importante de feições singenéticas deste tipo, seriam aquelas formadas em e contemporaneamente com depósitos de Fe e Mn químicos.

- Feições biogénicas

Uma concentração anômala de metais, facilmente disponíveis no solo, será normalmente refletida por feições anômalas de metais nas plantas que ali crescem. Anomalias botânicas são singenéticas na medida em que são formadas contemporaneamente com o crescimento das plantas em si. Similarmente a dispersão em detritos vegetais derivada somente de acumulação de plantas parcialmente decompostas, é singenética. Feições biogénicas de origem singenética, refletem em parte a composição das litologias ou coberturas locais e em parte a composição das águas e soluções circulantes no solo.

Feições epigenéticas

Feições epigenéticas de materiais dispersos, introduzidos subsequentemente à matriz são necessariamente o resultado, tanto de processos hidromórficos quanto biogénicos. Por esta razão, são mais comumente definidas pelos elementos semi-móveis como Zn e Cu, os quais podem ser facilmente dissolvidos e precipitados com modificações localizadas de ambiente.

- Feições hidromórficas

Soluções aquosas naturais normalmente deixam uma feição de precipitados de um ou outro tipo na matriz, a medida em que fluem. As feições de dispersão epigenética resultantes são superimpostas nas feições singenéticas originalmente presentes na matriz, seja rocha, seja solo tanto de origem residual quanto de origem transportada. Anomalias hidromórficas deste tipo, são geralmente particularmente bem desenvolvidas onde os ambientes locais são favoráveis à precipitação. Tais condições são comuns em fontes ou áreas de surgência e em pantanos orgânicos. A fonte de anomalias hidromórficas naturalmente está a montante ou em profundidade, de acordo com a rota seguida pelas soluções mineralizadas.

- Feições biogénicas

Com a deposição da matéria orgânica que serve de base para as

anomalias botânicas, a grande maioria do conteúdo mineral, será lixiviada. Uma certa fração da matéria mineral liberada pela decomposição, pode no entanto ser retida no solo, onde vai constituir uma anomalia epigenética de origem biológica. Feições biogênicas deste tipo, podem se desenvolver tanto em coberturas residuais quanto em transportadas. Seu relacionamento com a fonte litológica, é naturalmente o mesmo que aquelas feições sin-genéticas de vegetação das quais são derivadas.

Partição dos constituintes dispersos entre meios sólido e líquido

O comportamento dos elementos químicos individuais no ciclo da dispersão superficial, é condicionado por suas mobilidades relativas. Elementos imóveis tendem a permanecer junto dos produtos clásticos do intemperismo, enquanto os elementos móveis tendem a se deslocar do sítio do intemperismo como parte da carga em solução das águas superficiais e subterrâneas. É importante entretanto ter em mente, que no decorrer da dispersão geralmente existe intercâmbio e troca em maior ou menor grau entre soluções e fase sólida que estejam em contato.

Meio Líquido

Um constituinte disperso, será relativamente móvel quando for carregado em águas naturais como componente de solutos estáveis ou suspensóides. Quando o constituinte é carregado na água em forma que seja menos estável e assim mais predisposta a reações com a matriz que esteja em contato, as chances de formar precipitados são elevadas e a mobilidade efetiva é menor. A partição de um elemento entre duas fases tais como águas naturais e a matriz clástica circundante, depende não apenas de sua estabilidade relativa nas duas fases mas também da velocidade da reação que conduz à transformação de formas menos as mais estáveis. A reatividade dos constituintes menores de águas naturais assim, depende de seu modo de ocorrência, na medida em que sejam carregadas com componentes muito reativos ou com componentes que sejam tanto estáveis quanto não reajam rapidamente.

Os constituintes iônicos da água são geralmente os mais reativos. Ions estão livres para reagir muito rapidamente, tanto para formar precipitados quanto para entrar em reações de troca iônica na superfície de partículas sólidas eletricamente carregadas. São os constituintes iônicos da água, portanto que mais comumente tomam parte da formação de feições de dispersão hidromórficas em solos e sedimentos de drenagem. Os outros componentes da água natural, incluindo gases dissolvidos, matéria orgânica e inorgânica solúvel não dissociada, e material disperso de dimensões coloidais, são comparativamente muito menos reativos.

Meio Sólido

Exceto onde os metais ocorrem em minerais individualizados e de granulação grossa, não é fácil de dizer qual mineral ou minerais da matriz estão servindo como hospedeiros dos elementos

traço. Não obstante evidências indiretas que podem servir de guias para a provável partição dos metais em coberturas residuais ou transportadas e em sedimentos de drenagem podem ser obtidas (1) considerando o comportamento geral dos elementos na zona do intemperismo e (2) determinando as proporções relativas do metal solubilizado por diferentes extratores químicos, como abaixo indicado.

Minerais resistentes primários incluem alguns minerais minério e de ganga, bem como minerais formadores de rocha, resistentes. A estabilidade relativa dos constituintes primários e o grau de intemperismo são os fatores controladores. As propriedades químicas e físicas características das espécies envolvidas, determinam o método pelos quais eles podem ser detectados. Se a análise química é necessária, geralmente utiliza-se um ataque vigoroso por ataques fortes e a quente, ou mesmo fundentes, com o objetivo de romper a estrutura dos minerais primários.

Minerais minério secundários incluem uma grande variedade de óxidos e oxi-sais. Óxidos e carbonatos são mais facilmente solúveis em ácidos fracos e a frio; os sulfatos variam entre aqueles solúveis em água e aqueles que junto com os silicatos secundários, normalmente requerem ácidos fortes ou a quente para solução. Fosfatos, são do mesmo modo relativamente insolúveis, e assim ácidos muito fortes ou a quente ou ainda fundentes podem ser necessários para liberação dos metais.

Argilo minerais constituem a maior parte dos produtos de decomposição sólida dos silicatos formadores de rocha. Os metais podem ser incorporados nos retículos dos minerais de argila, ou adsorvidos em posições de troca na superfície da partícula. A extração completa do metal no retículo, o qual é geralmente de origem residual, requer a destruição do mineral que pode ser alcançado pelo tratamento por ácidos fortes e a quente ou por fusão. Metais adsorvidos em argilo minerais, são indicativos dos íons dissolvidos nas soluções com as quais tem contato. Íons adsorvidos são fracamente ligados e normalmente são liberados por lixiviação com extratores ácidos fracos e a frio.

Óxidos hidratados secundários de Fe e Mn podem ser derivados a partir do intemperismo de minerais formadores de rocha bem como de minerais minério. Quantidades importantes dos metais de muitos dos minerais minério, podem ser coprecipitados, oclusos ou adsorvidos com os óxidos hidratados. O metal retido sob estas formas tanto pode ser residual quanto adquirido a partir da composição do solo ou de águas subterrâneas. A facilidade com que tais metais são liberados, ou extraídos, varia amplamente de acordo com a natureza das ligações e das condições do óxido hospedeiro. Metais simplesmente precipitados ou adsorvidos podem ser facilmente extraídos por extratores a frio. A proporção de metal solúvel tende a decrescer com o tempo e com a progressiva desidratação do hospedeiro, e então pode ser liberado apenas por ácidos fortes ou fundentes.

A matéria orgânica pode conter quantidades apreciáveis de metais. A maior parte deste metal é usualmente introduzida por água do solo, água de drenagem ou vegetação decomposta. As ligações são extremamente variáveis e complexas, variando de íons simplesmente adsorvidos até compostos organo-metálicos e metais

incorporados à estrutura de organismos vivos. A fração adsorvida, geralmente é extraída facilmente por soluções aquosas a frio, entretanto com maiores dificuldades que para as argilas.. A liberação completa do metal mais firmemente ligado, geralmente requer a destruição completa da matéria orgânica. Isto é geralmente obtido por calcinação ou oxidação úmida.

Extração de metais de amostras clásticas

Ja foi bastante apreciado, que a característica epigenética ou singenética dos padrões de dispersão pode ser reconhecida pela partição do metal entre as várias fases sólidas, e que o modo de ocorrência do metal pode ser de fato identificado pela relativa extratibilidade do mesmo por diferentes reagentes. Num sentido mais amplo, os componentes epigenéticos de uma amostra, tendem a ser mais facilmente extraíveis em reagentes fracos que os componentes singenéticos.

Convencionalmente o conteúdo de metal que pode ser extraído de rochas intemperizadas, coberturas em geral e sedimentos de drenagem, por reagentes químicos fracos (p.ex. HCl a frio ou solução de citrato de amônia) é referido na literatura de exploração geoquímica, como metal solúvel ("cold extractable metal"). Este termo abreviado como cxMe, ou no caso de um metal específico como Cu ou Zn, cxCu e cxZn. Nesta terminologia, cxMe/Me refere-se à fração do conteúdo total de uma amostra que é solúvel em ataques fracos, e é geralmente expresso em porcentagem.

Evidência conclusiva da origem singenética clástica é logicamente a presença de grãos detríticos de minerais minério primários. Entretanto, com minerais minério instáveis, a maioria do metal de feições clásticas, incluindo metais anômalos, está contido em minerais secundários, principalmente argilo minerais e óxidos hidratados. Na medida em que estes minerais resistiram ao ataque químicos de soluções naturais durante o intemperismo, e possivelmente também um ciclo de erosão e transporte, eles geralmente tendem a ser resistentes ao ataque de solução de extratores de laboratório. Como resultado, a razão cxMe/Me em anomalias singenéticas clásticas tende a ser baixo. Exceções a esta regra, ocorrem particularmente onde o intemperismo é incompleto, onde minerais secundários solúveis estão presentes, e em material fracamente drenado, onde a lixiviação não tenha sido efetiva.

Em feições epigenéticas, onde o metal introduzido é de origem hidromórfica e formado por precipitação relativamente recente, a partir de material solúvel em águas superficiais e subterrâneas, o conteúdo em metal solúvel, é mantido por trocas ativas com o metal em solução. Consequentemente a razão cxMe/Me tende a ser elevada. O teor do metal original da matriz ocorre nas mesmas formas como em feições puramente singenéticas e é em geral fortemente ligado.

Forma das feições de dispersão superficiais

A classificação das feições superficiais de acordo com seu formato e localização, com respeito a fonte é bastante útil, não apenas no dimensionamento dos programas de amostragem, mas também na interpretação dos dados em termos de causa provável da anomalia. As várias formas características que resultam dos diferentes modos de formação das feições de dispersão são ilustrados nas Figuras .

A terminologia utilizada é simplesmente descritiva. Feições desenvolvidas mais ou menos diretamente sobre a fonte, são ditas sobrejacentes, distintamente das feições laterais, que são deslocadas e localizadas inteiramente sobre litologias estereis. Feições sobrejacentes, mais ou menos dispostas simetricamente sobre a fonte, são denominadas de halos secundários. Movimentos direcionais durante a dispersão, resultam em assimetria, tomando então a feição, a forma de um leque a partir da fonte, ou então de uma cauda ("train") ao longo de um caminho restrito.

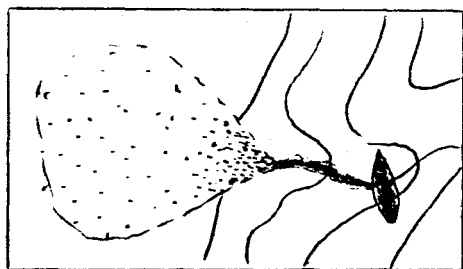
Para uma descrição completa, é necessário também considerar a distribuição dos valores anômalos do metal dentro da feição. Anomalias são consideradas como intensas se os valores crescem fortemente até picos bem marcados, ou então difusas se a feição é mais ou menos difusa, não mostrando um ponto focal bem pronunciado. A homogeneidade da anomalia é também determinada pela regularidade de distribuição dos valores dentro da feição.

Feições clásticas

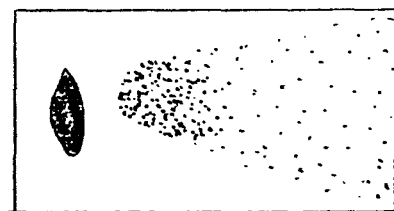
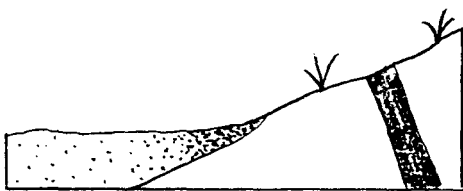
A forma das anomalias clásticas, de origem singenética, depende em grande medida do meio de dispersão. Anomalias sobrejacentes são típicas de coberturas residuais. Feições laterais podem resultar da compactação durante o intemperismo, entretanto como regra, o deslocamento é pequeno. O rastejo ("creep") por gravidade, causa distorção, conduzindo, em casos extremos a leques bem desenvolvidos, que se estendem vertente abaixo a partir do depósito. Em depósitos de aluvial, tipo fluxo de detritos, em áreas de pedimentos, as anomalias também tomam a forma de leques, abrindo-se a partir do depósito ou ponto onde a água superficial forma um canal restrito. Onde o canal de drenagem é bem definido ao longo do curso, a anomalia aluvial é linear. No ponto de entrada em um lago, os leques podem também se desenvolver nos sedimentos de fundo.

Feições hidromórficas

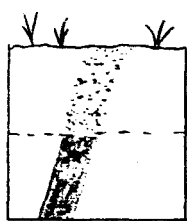
A forma das feições hidromórficas depende em primeiro lugar da feição local de fluxo das soluções. Caudas de dispersão linear ocorrem quando o fluxo é fortemente acanalado, como ocorre em drenagens superficiais. Feições de água subterrânea, por outro lado, tendem a ter aproximadamente a forma de um leque com modificações locais, resultantes do fluxo preferencial através de canais de permeabilidade. Feições hidromórficas sobrejacentes, por vezes precipitadas a partir de soluções percolantes na cobertura de um depósito mineral oculto, variam de forma desde halos até leques, de acordo com a quantidade de



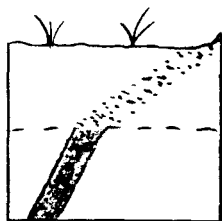
Leque clástico de piedmonte
singenético



Leque clástico por rastejo
do solo - singenético

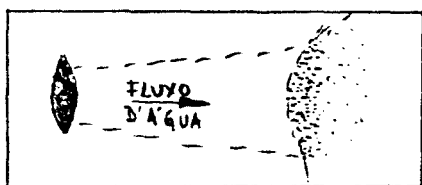


Intemperismo
simples
singenético

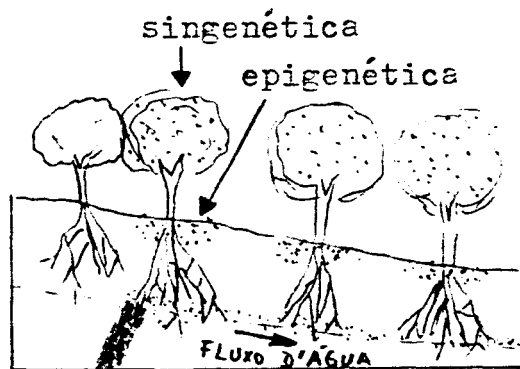
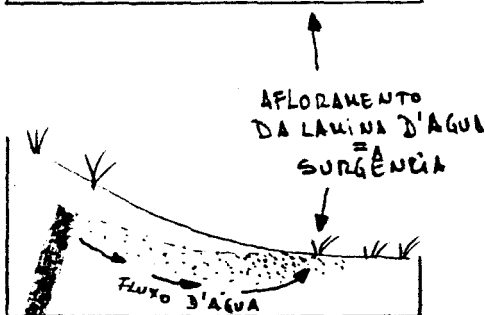


Intemperismo
e compactação
singenético

Figura 21 - Formas de feições
de dispersão secundária



Feição lateral desenvolvida em zona de surgência
de águas subterrâneas
Hidromorfica-epigenética



Feições biogênicas

fluxo lateral. A forma das feições hidromórficas pode ser ainda complicada pela distribuição assistemática dos locais favoráveis para precipitação. Este efeito é particularmente notável em feições laterais desenvolvidas em zonas de surgência ("seepage"), onde as soluções podem ser canalizadas pela topografia do substrato rochoso e a precipitação é governada pela distribuição local de condições apropriadas de Eh-pH, matéria orgânica e argilo-minerais.

Feições biogênicas

A forma das anomalias biogênicas em plantas, e no solo abaixo das mesmas, é determinada pelo padrão de metal disponível na zona das raízes. Anomalias biogênicas podem variar por isto, desde sobrejacentes até laterais, desde halos até leques e até mesmo caudas, onde águas subterrâneas "metalizadas" são canalizadas através do sistema de drenagem subsuperficial. Em vista da complexidade do ciclo biogeoquímico entretanto, anomalias biogênicas são geralmente menos definidas que as singenéticas ou clásticas originais na zona das raízes. Halos fortes podem se formar entretanto, quando as plantas são enraizadas diretamente no depósito mineral subjacente.

Caudas de dispersão de depósitos minerais

Caudas de dispersão de depósitos minerais que ocorrem em sedimentos de sistemas de drenagem são produzidos pela destruição supergênica dos mesmos, bem como dos seus halos primários e secundários. As caudas de dispersão resultam da remoção dos elementos químicos que são característicos de determinado tipo de depósito, por meio de águas superficiais e subterrâneas, e que são posteriormente precipitados nos aluviões do sistema fluvial. Estes elementos são removidos tanto na forma de soluções verdadeiras ou coloidais, quanto mecanicamente na forma de produtos sólidos de desintegração. A precipitação das partículas sólidas se dá onde ocorram variações na capacidade da drenagem em transportá-las. A distância até onde os produtos de desintegração são transportados, é inversamente proporcional à granulometria das partículas. Deste modo as partículas mais finas, são transportadas a distâncias maiores da fonte. Próximo da fonte, elas podem precipitar naqueles locais das drenagens onde a velocidade decresce abruptamente; a velocidade do rio pode decrescer por irregularidades do fundo, obstruções por matações e alargamentos do canal.

A maioria dos minerais minério que contêm elementos indicadores, são relativamente frágeis e quimicamente instáveis. Como resultado, sua migração nas águas superficiais ocorre principalmente na forma de suspensões finamente dispersos, bem como na forma adsorvida. Os poucos minerais que se acumulam em placeres, como a cassiterita, nióbio-tantalatos, cinábrio etc., são excessões. A habilidade das partículas finamente dispersas, em adsorver as suas superfícies aqueles íons presentes na solução, além disso aumenta a quantidade de informações que podem ser obtidas da fração fina dos sedimentos de drenagem. Esta fração pode ser considerada como contendo dois tipos de informações geoquímicas, quais sejam acerca da composição dos produtos sólidos do intemperismo, e sobre os íons presentes dissolvidos na

água.

A parte superior das caudas de dispersão, são adjacentes aos halos de dispersão secundários, porque se formam 'as expensas destes. Consequentemente as caudas de dispersão são geneticamente associadas aos halos secundários de dispersão e através destes, também 'as concentrações de minério nas rochas.

Os elementos indicadores encontrados nas caudas de dispersão, dependem da composição dos halos primários e mineralização na fonte, bem como das características da migração supergena dos elementos em vários ambientes geoquímicos.

A amplitude das caudas de dispersão depende principalmente dos ambientes geoquímicos da região compreendida pela bacia de erosão, bem como das dimensões da fonte mineralizada que está sendo erodida. Entretanto, o paralelismo entre o tamanho da fonte mineralizada e a extensão e intensidade da cauda de dispersão deve ser considerada com reservas, visto que determinados depósitos que se encontrem em níveis iniciais de erosão, podem caracterizar pequenas áreas de erosão. Sob condições de predomínio de intemperismo físico, a proporção entre os componentes mecânicos e hidromórficos tendem favoravelmente ao primeiro. Estas características dos ambientes áridos mostram caudas de dispersão muito reduzidas - cerca de 1 km. Em contraste, províncias que incluam áreas florestadas com solos e águas ácidas a neutras, são caracterizadas por forte migração de colóides minerais e orgânicos em águas naturais. Isto é responsável pela mobilidade aumentada da maioria dos elementos traço. Condições especialmente favoráveis à migração aquosa dos elementos traço são as regiões tropicais úmidas. Aí a remoção supergena dos elementos indicadores dos horizontes superficiais dos depósitos minerais, e seu subsequente transporte nas formas coloidal e sorvida, por águas superficiais é especialmente importante. No Panamá, por exemplo, teores de cobre de mais de 200 ppm, foram encontrados em sedimentos de drenagem a distâncias de 12 a 15 km de uma importante anomalia de solo sobre um depósito de cobre porfiro. Da mesma forma nas Filipinas, teores anômalos de cobre em caudas de dispersão, foram traçados a distâncias de 16 km da anomalia de solo relacionada a um depósito de cobre porfiro.

Mobilidade no ambiente secundário ou superficial

A mobilidade de um determinado elemento, é definida como a facilidade com a qual se move em um dado ambiente. Pode ser dividida em mobilidade química e mobilidade mecânica.

A mobilidade química dos elementos, particularmente os metais, no ambiente secundário é a base da dispersão secundária, utilizada em prospecção geoquímica em diferentes escalas.

Um guia aproximado para a mobilidade, é dado pelo potencial iônico, que é a carga iônica dividida pelo raio iônico (Figura 22). Elementos com baixo potencial iônico (Ca, Na) são solúveis

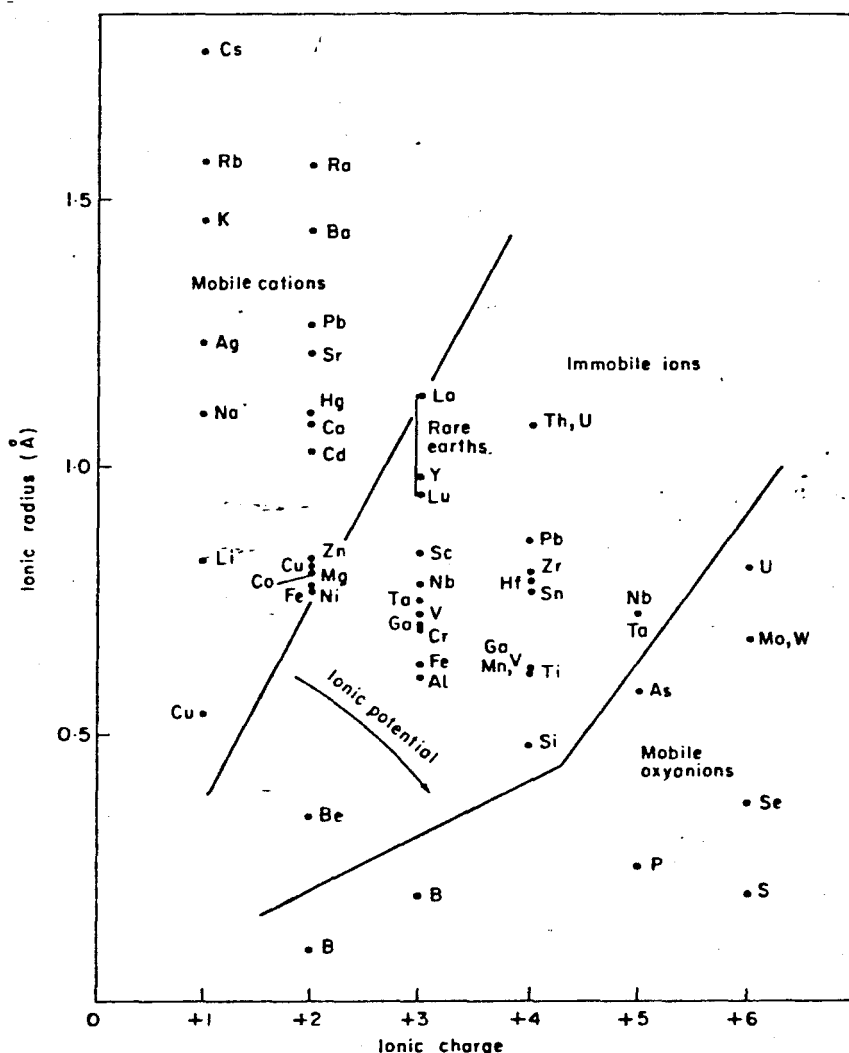


Figura 22 - Mobilidade no ambiente superficial como uma função da carga e raio iônicos, seg. Whittaker e Muntus, em Rose, Hawkes e Webb, 1979.

como simples cations. Aqueles com potenciais iônicos muito elevados atraem o oxigenio e formam oxi-anions solúveis (PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , MoO_4^{2-}). Elementos com potencial iônico intermediário geralmente são móveis em virtude de sua baixa solubilidade e forte adsorção a superficies (Al, Ti, Sn). Elementos de transição com orbitais eletronicos internos incompletos (Fe, Cu, Cr, Ag e outros do "meio" da tabela periodica) tendem a ser menos solúveis e mais fortemente adsorvidos que os ions de não transição, de carga e raio iônico similar. Diferencas no estado de valência tambem resultam em diferentes mobilidades.

Efeitos sobre a mobilidade causados pela coprecipitação e adsorção por óxido hidratados de Fe-Mn, argilas e matéria orgânica, serão discutidos adiante.

A mobilidade depende obviamente das condições químicas, deste modo as condições gerais podem ser especificadas. Até hoje, dados quantitativos não são disponiveis para muitos dos

ambientes , mas a Tabela 13 ,sumariza as informações baseadas nos coeficientes de migração aquosa (K), acrescidas à

Condições ambientais

Mobilidade Relativa	pH 5 - 8	pH < 4	Redutoras
Altamente Moveis	Cl, Br, I, S, Rn He, C, N, Mo, B	Cl, Br, I, S, Rn He, C, N, B	Cl, Br, I, Rn, He
Moderadamente Moveis	Ca, Na, Mg, Li, F Zn, Ag, U, V, As (Sr, Hg, Sb?)	Ca, Na, Mg, Sr Hg, Cu, Ag, Co Li, F, Zn, Cd Ni, U, V, As, Mn, P	Ca, Na, Mg, Li Sr, Ba, Ra, F, Mn
Pouco Moveis	K, Rb, Ba, Mn Si, Ge, P, Pb, Cu Ni, Co, (Cd, Be, Ra, In, W?)	K, Rb, Ba, Si, Ge, Ra	K, Rb, P, Si, Fe
Imóveis	Fe, Al, Ga, Sc, Ti Zr, Hf, Th, Sn, TR Platinoides, Au (Cr, Nb, Ta, Bi, Cs?)	Fe, Al, Ga, Sc Ti, Zr, Hf, Th, Sn, TR, Plati- noides, Au, As Mo, Se	Fe, Al, Ga, Ti Hf, Th, Sn, TR Platinoides Au, Cu, Ag, Pb Zn, Cd, Hg, Ni Co, As, Sb, Bi U, V, Se, Te, Mo, In, Cr, Nb Ta

Tabela 13 - Mobilidades de alguns elementos químicos em relação as condições ambientais

experiência de exploração geoquímica. No intemperismo normal da superfície , as condições caíram nas oxidantes , coluna de pH 5-8 da Tabela 13 ; próximo de corpos de sulfeto oxidado , as condições serão mais ácidas porém ainda oxidantes ; e em pantanos e solos mal drenados e ambientes ricos em matéria orgânica e similares , as condições serão redutoras. Um corpo de minério em processo de oxidação em ambiente de rochas carbonáticas, deverá se aproximar da condição neutra e oxidante. Observe que certos elementos, incluindo o As e o Mo, são fortemente capturados da solução em ambientes ricos em Fe, seja pela formação de compostos de ferro seja pela adsorção em óxido hidratados de ferro.

Devemos ainda citar a importância do denominado pH de hidrólise, na mobilidade dos elementos no ambiente secundário. Este pH de hidrólise, representa um ponto acima do qual, o elemento não mais é encontrado como forma móvel, precipitando-se como hidróxido ou carbonato, por exemplo. Assim vemos na Tabela 14, a ampla faixa de variação dos pH de hidrólise para vários elementos de interesse em prospecção geoquímica, ficando bastante claro, porque elementos como Cu, Pb e Zn são móveis apenas em condições ácidas.

Elemento	pH	Elemento	pH	Elemento	pH	Elemento	pH
Fe -3	2.0	Al +3	4.1	Cd +2	6.7	Pr +3	7.1
Zr -4	2.0	U +6	4.2	Ni +2	6.7	Hg +2	7.3
Sn -2	2.0	Cr +3	5.3	Co +2	6.8	Ce +3	7.4
Ce -4	2.7	Cu +2	5.3	Y +3	6.8	La +3	8.4
Hg -1	3.0	Fe +2	5.5	Sm +3	6.8	Ag +1	7.5/8.0
In -3	3.4	Be +2	5.7	Zn +2	7.0	Mn +2	8.5/8.8
Ta -4	3.5	Pb +2	6.0	Nd +3	7.0	Mg +2	10.5

Tabela 14 - pH de hidrólise para alguns elementos selecionados (seg. Britton, 1955).

Anomalias não relacionadas a depósitos minerais

Grande parte dos levantamentos geoquímicos apresentam um desconcertante arranjo de anomalias, ou desvios das feições geoquímicas consideradas como normais, para a área prospectada. Uma das tarefas mais difíceis e críticas é a discriminação entre anomalias que devem ser consideradas para detalhamento e as que não apresentam significado econômico. Anomalias não significativas geralmente são de um dos três tipos abaixo:

- a. feições relacionadas a certas litologias caracterizadas por elevados teores de fundo dos metais considerados;
- b. anomalias devidas a contaminação pela atividade humana;
- c. anomalias devidas a erros amostrais e analíticos.

Estas feições enganadoras serão discutidas adiante em maior detalhe; agora é suficiente que apenas sumariemos suas principais características, para comparação com aquelas feições relacionadas a depósitos minerais.

- Litologias com altos teores de fundo

Muitos tipos de rocha são caracterizados por concentrações relativamente elevadas de muitos elementos, que ocorrem em depósitos minerais, mas não apresentam relação genética com minérios. Feições de dispersão superficial desenvolvidas a partir

do intemperismo destas litologias de elevado teor de fundo, pode mostrar muitas das feições derivadas de mineralizações. A discriminação entre anomalias não significativas, resultantes de litologias de elevado teor de fundo e anomalias significativas, resultantes de depósitos minerais, pode ser um problema de extrema dificuldade. Afortunadamente, muitos metais em litologias de altos teores de fundo, ocorrem em diferentes formas e são acompanhados por elementos associados, ou minerais primários que os mesmos metais nos minérios. Onde este contraste entre mineralogia primária e associações é transposto para as feições secundárias, pode ser possível o desenvolvimento de critérios para a eliminação de anomalias devidas apenas a litologias anormalmente enriquecidas.

A família das ultramáficas, incluindo peridotitos, serpentinitos e kimberlitos, é provavelmente o exemplo mais espetacular de rochas com altas concentrações em determinados elementos. Estas litologias são tipicamente enriquecidas em Cr, Co, Ni e Mg. O produto do intemperismo destas rochas, geralmente contém uma elevada concentração de montmorilonita, e assim também uma elevada capacidade de troca iônica, e possivelmente também um elevado conteúdo de cations facilmente solúveis. A associação dos quatro elementos, normalmente é transportada para as feições de dispersão superficial e serve como chave para a fonte. A vegetação atrofiada que cresce em "solos de serpentina", é também um guia para as litologias ultramáficas.

A família das máficas, incluindo gabro, basalto e diabásio ou dolerito, caracteriza-se por teores relativamente elevados de Fe, Ti e Cu. O pH elevado associado ao intemperismo de rochas carbonatadas pode restringir a dispersão de seu conteúdo metálico em tal medida, que feições aparentemente anômalas ocorram no resíduo. Ácidos a partir de oxidação de rochas com pirita, tais como folhelhos piritosos, podem apresentar o efeito inverso e causar a aceleração da lixiviação dos metais a partir de rochas de composição normal, resultando feições hidromórficas anômalas, não relacionadas a mineralizações.

Menos comumente, rochas de elevado teor de fundo que devem ser lembradas na seleção de anomalias são alguns folhelhos negros (As, Cu, Pb, Mo, Ag, V, U, Zn), fosforita (P, V, U, Mo, Zn), depósitos salinos (SO₄) e carbonatitos (Zr, Nb e TR).

- Contaminação

As prováveis fontes de contaminação decorrentes da atividade humana, são muitas e variáveis. As mais comuns são rejeitos de minas, operações de fundição, fertilizantes e defensivos agrícolas ricos em metais, fumacas industriais e residenciais, efluentes líquidos e lixo de vários tipos.

A dispersão é geralmente por movimento gravitacional de partículas sólidas, material transportado por ação do vento ou solução aquosa, enquanto que as plantas podem se contaminar em qualquer estágio da dispersão. Feições de contaminação, podem então se formar em ambientes clásticos, hidromórficos ou biogênicos.

Em feições clásticas os modos de ocorrência de metais contaminantes exóticos são geralmente muito diferentes daquelas

de metais naturais, muito embora a distinção não possa ser feita tao facilmente quando por exemplo a fonte de contaminação for derivada de antigos trabalhos mineiros. Na maioria das feições hidromórficas e biogenicas entretanto, é extremamente difícil dizer se os metais vem de fonte natural ou artificial.

Inicialmente a forma das feições de contaminação é condicionada pelo formato geometrico da área fonte. Na dispersão a partir da fonte, podem se desenvolver leques e caudas, que no caso de material transportado por vento, sedimentos de drenagem e soluções aquosas, podem ser muito extensivos. A feição conspícua da contaminação é entretanto, o fato de que invariavelmente se origina à superfície do solo. Como resultado, feições anômalas

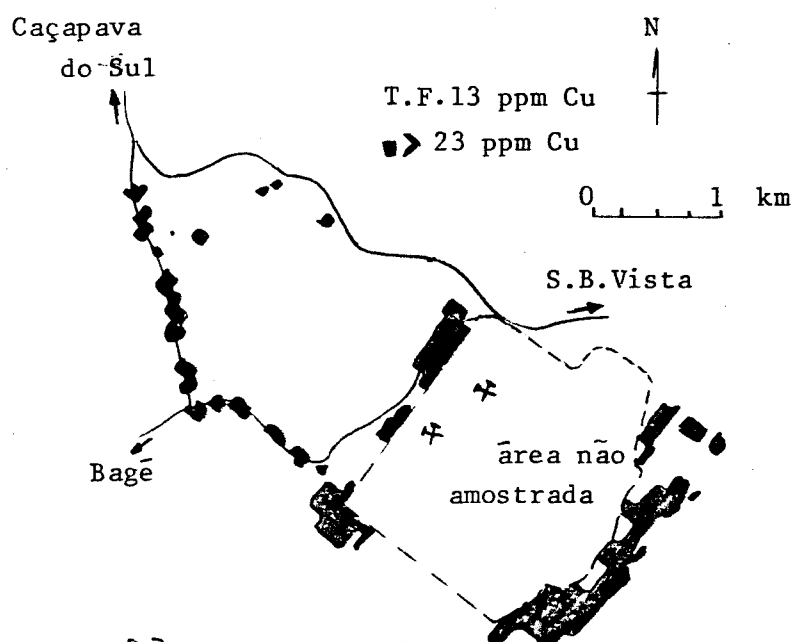


Figura 23 - Contaminação ao longo do leito da estrada por onde passaram, caminhões carregados de concentrado de cobre. O transito já não mais ocorria há cerca de 10 anos quando a amostragem foi feita. seg. Comp. Bras. do Cobre, inédito. Minas do Camaquã, RS.

de solo são mais fortemente desenvolvidas e, em muitos casos, confinadas ao horizonte superficial, contrastando com anomalias subjacentes naturais de origem clástica ou hidromórfica. Fora isso entretanto, a origem superficial da contaminação não mostra nenhuma diferença de anomalias hidromórficas ou biogenicas, seja na cobertura, seja no sistema de drenagem.

Na o obstante, a despeito das limitações e dificuldades as vezes impostas pela contaminação, são raros os problemas insuperáveis em levantamentos geoquímicos, mesmo em áreas densamente povoadas ou intensamente pesquisadas e lavradas.

- Erros de amostragem

Anomalias espúrias relacionadas a erros de amostragem podem

ser mais difíceis tanto de detectar quanto de prevenir, particularmente em levantamentos de rotina onde a amostragem é executada por pessoal relativamente despreparado. Na maioria dos casos, elas aparecem pela coleta de amostras que imaginadas superficialmente similares ao grosso da campanha, são enriquecidas em metais por algum processo natural não relacionados a mineralização. Processos naturais de intemperismo, erosão e dispersão superficial, não incomumente originam feições de enriquecimento de metais em áreas de teor de fundo, e que podem ser facilmente confundidas com anomalias significativas, relacionadas a depósitos minerais. Enriquecimentos naturais dos metais, comumente ocorrem na matéria orgânica do horizonte humoso, no horizonte B limonítico de certos solos podzólicos e em material clástico que por uma ou outra razão tem elevada capacidade de troca iônica. Enriquecimentos são característicos de zonas de surgência e de quaisquer outros pontos ao longo das drenagens onde existam condições para acumulação de metais. O enriquecimento dos metais em plantas pode se dar por uma grande variedade de razões, todas elas não relacionadas a quantidade de metal no solo "suporte". Como regra geral, anomalias que surjam da coleta inadvertida de materiais naturalmente enriquecidos, podem ser relacionadas a alguma feição geomorfológica ou ambiental identificável, tal como a topografia, sendo então reconhecíveis com certa facilidade. Não podemos nunca subestimar a necessidade de coletar materiais comparáveis em todos os aspectos, de modo a poder estimar as mudanças no ambiente amostral.

- Erros analíticos

Feições anômalas de nenhum significado podem aparecer em dados geoquímicos, como resultado de erros no procedimento analítico. Tais feições, caso suspeitadas, podem ser facilmente eliminadas por reanálise das amostras duvidosas. Valores erráticos isolados, são a priori suspeitos e devem ser reanalisados. Feições aparentes que surjam de tendências analíticas, devem ser reconhecidas por sua associação com grupos de lotes de amostras ou com analistas diferentes. Tais feições podem ser eliminadas pela análise completa do lote de amostras em sequência aleatória. Um método comum para proteção contra tendências analíticas é o sistema de análise rotineira duplicada de amostras, aleatoriamente distribuídas nos lotes, como anteriormente explicado.

Supressão de anomalias significativas

Alguns dos fatores responsáveis por anomalias não relacionadas a depósitos minerais, podem atuar no sentido inverso, resultando que anomalias significativas nas vizinhanças de litologias ricas em metais, podem passar despercebidas. Deste modo, se durante a formação do solo, o horizonte A for lixiviado tão efetivamente que nenhum valor anômalo seja ali identificado, é possível que os horizontes mais inferiores apresentem fortes anomalias. Amostras coletadas para representar material de solos hidromórficos, podem ser tomadas erradamente em solos bem drenados e deste modo uma anomalia de surgência pode ser perdida.

Nao é incomum que anomalias sejam omitidas por causa de grandes deficiências no reconhecimento da natureza da matriz. A ausência de feições anômalas em materiais considerados como residuais, pode ser erroneamente interpretada como indicação da ausência de uma fonte metalica subjacente.

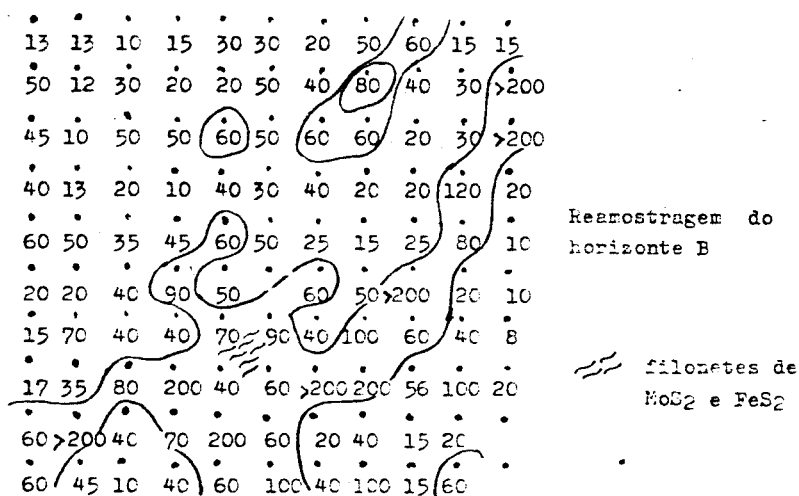
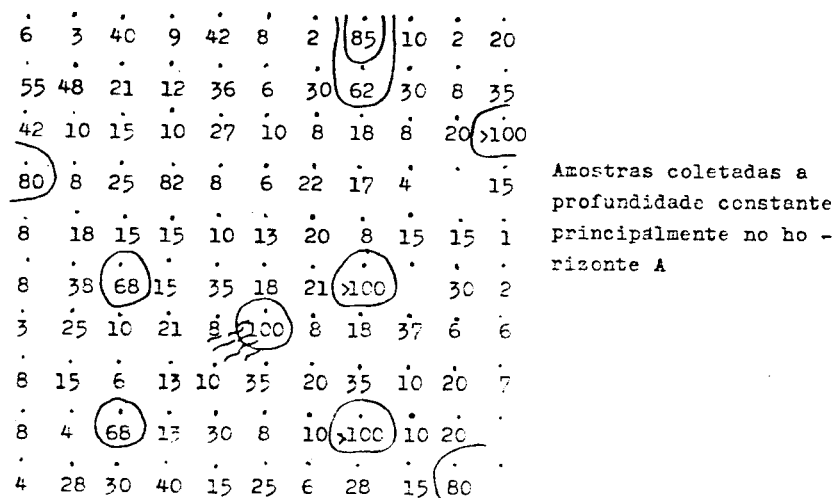


Figura 24 - Supressao de anomalias significativas pela amostragem em profundidade constante e apos reamostragem no horizonte correto, seg Elliot, em Bradshaw, Clews e Lewis, 1972.

XI - ANOMALIAS NA COBERTURA RESIDUAL

A natureza do material a partir do qual o solo se formou, pode não ser muito clara por meio de uma inspeção da cor e textura do solo. Como resultado, muitos depósitos minerais devem ter inevitavelmente passado despercebido por simples verificações, em vista da inexistência de indicações visíveis na cobertura residual. Mesmo quando a rocha esta exposta, o intemperismo e a lixiviação podem ainda obscurecer o conteúdo primário em metais.

Tracos vestigiais das características químicas e mineralógicas dos materiais originais, normalmente serão retidos mais ou menos in situ no residuo, mesmo quando os criterios mais obvios estiverem faltando. Assim, anomalias geoquímicas em rochas intemperizadas e solos residuais, tornaram-se amplamente utilizados como guias para mineralizações ocultas de maneira exitosa sob as mais variadas condições.

Os padroes residuais simples são geralmente tornados complicados por padroes hidromórficos superimpostos no material residual, ou por precipitação de águas subterraneas enriquecidas em metais; estas feições podem se formar a distâncias consideraveis do depósito buscado. O quadro pode ser ainda mais complicado por concentrações anômalas de metais que não apresentem nenhuma relação com a mineralização.

Anomalias em gossans e afloramentos lixiviados de minério

Limonitas residuais e outros produtos de intemperismo de sulfetos e carbonatos de Fe, são dos guias mais observados para indicação de mineralização, em areas de intemperismo profundo e cobertura residual. Entretanto, como os processos de intemperismo tendem a obscurecer a química, a mineralogia e a textura originais, são frequentes as confusões entre os produtos de intemperismo de mineralizações e aquelas de rochas comuns. Alguns estudos tem sido desenvolvidos no sentido de diferenciar mineralizações intemperizadas ("gossans") de materiais similares tais como limonitas lateríticas, produtos de intemperismo de pirritas hidrotermais, pirritas singenéticas e carbonatos de ferro. Estes estudos tem se baseado principalmente no conteúdo de certos elementos traço, tanto nas mineralizações quanto nos produtos de intemperismo.

Alguns elementos traço tendem a ser fortemente adsorvidos pelos óxidos hidratados amorfos, formados a partir da oxidação de sulfetos. Estes materiais amorfos tendem a cristalizar sob a forma de hematita e goetita, retendo os elementos traço na estrutura neo-formada. Geralmente o Pb, o Cu e a Ag são fortemente adsorvidos por limonitas e o Zn menos. Outros elementos sob a forma de anions tais como MoO_4^{--} , AsO_4^{--} e SeO_4^{--} , também tendem a ser adsorvidos por limonitas, especialmente sob condições acidas.

Na Australia, as condições de intemperismo profundo produzem muitas confusões e mascaramentos até mesmo na identidade da rocha original, pela extensiva produção de materiais ferruginosos, facilmente confundíveis com gossans gerados por mineralizações à pirrotita-pentlandita. Estudos geoquímicos tem indicado criterios mais confiaveis tais como enriquecimentos de

Ni e Cu individualmente e, Cu e Ni elevados combinados com baixos teores de Mn e Cr, e ainda, altos teores de Ir, Pd e Te. Entretanto condições localizadas de intemperismo podem modificar até mesmo estes critérios.

Capas de lixiviação sobre depósitos de cobre porfiro podem fazer variar amplamente suas respostas geoquímicas principalmente para cobre, em virtude da quantidade de pirita e minerais reativos tais como feldspatos, clorita, biotita e montmorilonita. Estes minerais atuam no sentido de neutralizar o pH ácido originado pela oxidação da pirita. Deste modo, o balanço entre a quantidade de pirita e minerais reativos, vai provocar maior ou menor presença de Cu na capa lixiviada. Como exemplo, o depósito de Ajo, no Arizona, USA, apesar de mostrar uma forte zona de enriquecimento supergeno, ainda conserva teores anômalos na cobertura lixiviada; já o corpo Ruth, Ely no Nevada USA, um depósito de alto teor, apresenta menos de 100 ppm na capa lixiviada. Já o Mo, com comportamento geoquímico bastante diverso do Cu, mostra enriquecimentos em capas onde quase todo o Cu foi lixiviado, como é o caso de Porto Rico.

Anomalias singenéticas em solos residuais

O objetivo da prospecção geoquímica por solos, é o reconhecimento de padrões dos elementos selecionados, na rocha subjacente. Em solos residuais, estes padrões são geralmente mantidos, no entanto na maior parte das vezes, são superimpostos efeitos secundários que tendem a mascará-los. Alguns destes processos superficiais, tendem a homogeneizar o solo no conteúdo em elementos, e outros tendem a diferenciar horizontes na vertical. Este sistema dinâmico, é complicado por fatores de adição e remoção de elementos durante os processos de intemperismo e pedogenese.

Os efeitos de tais fatores na formação de anomalias no solo residual, são melhor entendidos pela consideração de alguns princípios básicos, físicos e químicos das anomalias de solo. Os mais importantes deles são: (1) modo de ocorrência do elemento indicador; (2) a forma e a magnitude da anomalia; (3) a homogeneidade da feição; (4) a variação com a profundidade.

Modo de ocorrência dos elementos

Os elementos derivados do intemperismo, seja de mineralizações, seja de rochas não mineralizadas, ocorrem no solo de maneira extremamente dependente das propriedades do elemento, seu modo de ocorrência no material original e da química e mineralogia do solo. Alguns metais como o Sn, W e Au, ocorrem no solo como componentes de minerais resistentes. A maioria dos metais em solos bem desenvolvidos, ocorrem como minerais secundários ou como componentes firmemente ligados à argilominerais ou óxidos hidratados de Fe, Mn e Al e mesmo matéria orgânica. Os minerais minério relativamente resistentes ao intemperismo, incluem cassiterita, wolframita, scheelita, columbita-tantalita, pirocloro, diamante, ouro, platina, berilo, cromita, ilmenita, corindon e cinábrio. Minerais de ganga resistentes, incluem o quartzo, turmalina, topázio, granada, magnetita, barita e fluorita. A granulometria dependerá da

resistência ao desgaste e da granulometria original. A Tabela 20, apresenta minerais formadores de rocha e minerais minério, suas estabilidades relativas aos processos do intemperismo, e os elementos maiores e traços que liberam ao meio ambiente ao se intemperizar.

Alguns minerais secundários podem ocorrer no solo, a partir da intemperização dos minerais minério primários e instáveis. São exemplos a malaquita, a anglesita e a ferrimolibdita. As condições para a formação de minerais deste tipo, são muito específicas. Por exemplo a malaquita não ira se formar em solos ácidos, mas sim em regiões de solos alcalinos, com pH mais altos que 5,3 (pH de hidrólise do Cu).

A maioria dos elementos móveis e semi-móveis em solos residuais bem drenados, sobre mineralizações oxidadas, estão em geral, firmemente ligados a argilas e óxidos de Fe e Mn, deste modo tendem a se concentrar nas frações finas do solo (Figura 15).

Fração	Mesh	un	Cr Zimbab.	Sn Malásia	Be Zimbab.	Nb Zâmbia	Zn Inglat.	Cu Zâmbia	Co Zâmbia	Ni Tanzan.	Mo S.Leoa
	10	1980	-	150	-	-	-	-	-	-	-
areia	20	894	3000	2100	70	500	200	20	6	600	20
grossa	35	471	4000	6700	25	800	240	30	4	600	30
-----	80	186	10000	4000	20	1060	180	40	4	600	70
areia	135	104	11000	2400	15	2300	300	25	6	600	90
-----	200	76	-	1000	15	1800	300	35	10	-	-
a.m.f.	-	20	8000	175	10	1700	500	170	24	1200	100
-----	-	2	-	45	3	250	1500	500	40	-	-
argila											
Elementos imóveis - minerais primários resistentes (ppm)							Elementos móveis - minerais secundários (ppm)				

Tabela 15 - Distribuição de alguns elementos em diferentes frações granulométricas de solos. seg. Geochem. Prosp. Res. Center - Imperial College. em Rose, Hawkes e Webb(1979)

Intensidade e contraste da anomalia

De uma maneira geral, o contraste da anomalia no solo tende a refletir o contraste primário entre a mineralização e encaixantes estereis. No entanto, esta tendência é submetida a um grande número de fatores que impossibilitam uma correlação quantitativa entre os dois domínios. Tais fatores são, a intensidade de intemperismo sobre a mineralização e a encaixante, variações relacionadas à topografia, drenagem e maturidade e tipo do perfil do solo, as quais podem variar amplamente em pequenas distâncias.

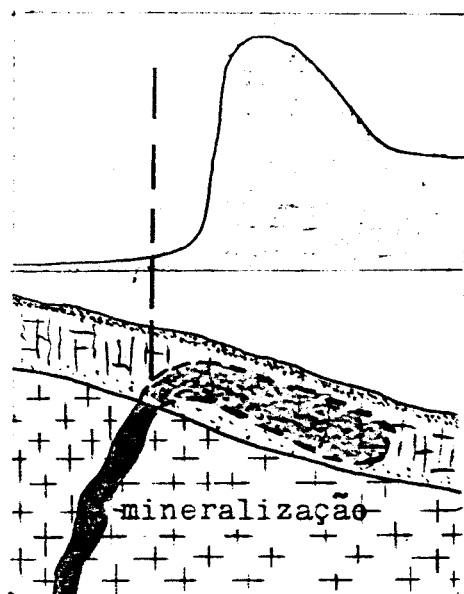
Elementos relativamente imóveis tendem a se preservar no local, bem como sofrer enriquecimentos relativos, mantendo ou ampliando os contrastes (p. ex Sn, Nb , Cr).

Com os elementos usualmente móveis, tais como Cu, Zn, Mo e U , os valores de intensidade e contraste nas anomalias são muito menores que no minério primário. Em geral, os elementos menos

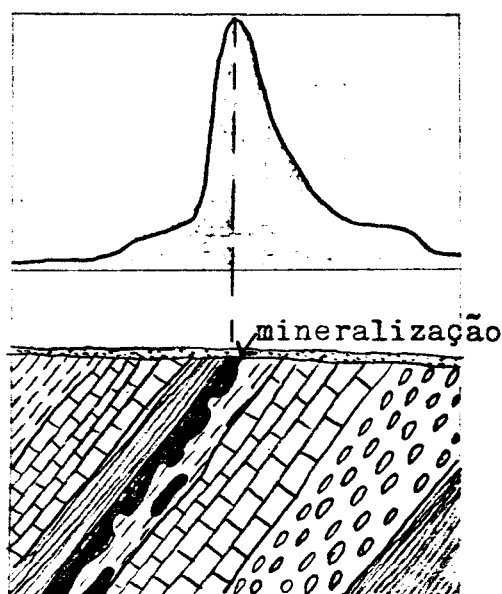
móveis tendem a se manter ou mesmo ampliar contrastes e intensidades de anomalia que os mais móveis.

Halos simétricos de metais dispersos são característicos de terrenos planos. Em terrenos de topografia inclinada, entretanto, as anomalias geralmente tendem a se desenvolver de maneira assimétrica, vertente abaixo. Como regra geral, quanto mais inclinada for a topografia, tanto mais distorcida será a anomalia. Isto se dá tanto por movimentação física das partículas, quanto por solução e precipitação de metais solúveis em águas de embebição do solo (Figura 26).

Metal



Topografia inclinada



Topografia horizontal

Figura 26 - Efeito da topografia no formato e no deslocamento de anomalias em solos. seg Granier, 1973.

Homogeneidade da feição

A homogeneidade ou regularidade ou ainda consistência das anomalias em solos residuais, depende diretamente da granulometria e distribuição dos minerais no solo que contém o elemento em questão e da ocorrência e distribuição do elemento na litologia original.

Metais minério que ocorram em grãos discretos de minerais resistatos, geralmente mostrarão anomalias irregulares. Por outro lado, muito mais regulares são as anomalias dos elementos amplamente dispersos no corpo do solo, como constituintes menores de argilo minerais e óxidos hidratados de Fe e Mn. Deste modo, elementos menos móveis tais como Sn, Be, Pb, tendem a apresentar anomalias menos regulares e contínuas que os elementos mais móveis tais como Zn, Cu, Co e outros. No entanto, mesmo estes por vezes podem apresentar anomalias irregulares quando estiverem concentrados em fases mineralógicas/ granulométricas ou

segregados fisicamente, como bolsões dentro do corpo do solo.

Variações com a profundidade e tipo de solo

A variação na distribuição dos metais com a profundidade é um processo natural na formação do solo e do intemperismo.

Em solos imaturos, as variações do perfil não são importantes, embora que sob condições apropriadas, metais como Cu, Pb e Zn que tendem a ser enriquecidos no humus, podem se acumular no topo orgânico do solo.

Em solos maduros, muitos dos elementos móveis tendem a se acumular no horizonte B e se empobrecer no A.

No caso dos latossolos, observa-se um enriquecimento dos metais no horizonte B, onde se dá uma concentração dos óxidos de Fe e Mn, constituindo um horizonte ferruginoso.

Anomalias não relacionadas a depósitos minerais

Ocasionalmente, variações no substrato rochoso podem resultar em feições residuais que simulam aquelas relacionadas a depósitos minerais. São típicos na África, os casos de solos sobre diques de diabásio contendo mais de 250 ppm de Cu e 140 ppm Ni, quando comparado com o teor de fundo dos granulitos e gnaisses encaixantes de 50 ppm e 20 ppm Ni. As anomalias de cobre relacionadas a mineralizações de Cu - Co, podem ser entretanto diferenciadas por seu baixo teor em Ni e elevada razão Co/Ni.

Outro exemplo interessante é o de solos anômalos na Zâmbia, associados com depósitos de Cu, os quais mostram Co mais elevado que o Ni, enquanto que sobre rochas gabroicas, ocorre o contrário, muito embora o nível do Cu seja o mesmo, cerca de 150 ppm, comparado com o teor de fundo de 20-70 ppm.

XII - ANOMALIAS NA COBERTURA TRANSPORTADA

Colúvios são considerados como todos aqueles depósitos de origem local construídos na base e nas vertentes, e resultantes do movimento causado por rastejo ou fluxo de detritos. Varia entre fragmentos de rocha pobremente selecionados até argilas finas, de acordo com a natureza da área fonte. Muito embora como regra geral os colúvios sejam de extensão areal restrita, existem casos de preenchimento de antigos vales e com até 100 metros de espessura.

Ja' os aluvios incluem igual sorte de materiais, no entanto com maior grau de seleção e estratificação. Em vales confinados, são necessariamente restritos na sua extensão lateral, entretanto em regiões de vales amplos e superfícies maduras podem atingir grandes extensões.

As anomalias formadas em ambos os tipos de cobertura possuem muitas feições em comum e assim serão consideradas.

Anomalias singenéticas

Feições clásticas singenéticas desenvolvidas em coberturas transportadas, são o efeito de movimentação puramente mecânica de partículas sólidas. A despeito da força propulsora, seja gelo, água ou vento, o padrão geral de movimentação da matéria particulada desde sua fonte ao sítio de deposição é virtualmente o mesmo. Como consequência dessa feição comum de movimento, todas anomalias singenéticas em coberturas transportadas tendem a ser mais ou menos alongadas na direção do movimento. Esta feição simples, devida simplesmente a dispersão mecânica, pode ser complicada por certa quantidade de reconstituição e redistribuição por água de embebição ou mesmo de mistura do solo, que pode se efetuar durante ou após a deposição da matriz.

Como regra geral, a concentração dos materiais de minérios nas coberturas é maior nas vizinhanças imediatas da fonte, decaindo rapidamente com a distância, como resultado da diluição por material estéril. Muito embora um rápido decaimento com a distância seja uma regra, fatores ambientais especiais na formação de alguns tipos de dispersão mecânica podem causar traços sutis que podem persistir por distâncias consideráveis.

Os metais minério em anomalias singenéticas, ocorrem parcialmente como fragmentos resistentes de rochas e de minerais minério primários e secundários, e parcialmente como material reconstituído que tenha sido dissolvido e reprecipitado. A determinação do conteúdo metálico de minerais resistentes, geralmente requer ataques químicos vigorosos. Pelo contrário, o material reconstituído, é composto basicamente por precipitados limoníticos e íons adsorvidos, ambos mais facilmente solúveis que os materiais resistentes.

Próximo da fonte, o teor de metal na cobertura geralmente aumenta com a profundidade. Caso a cobertura tenha sido bastante misturada, o padrão pode ser de um suave decaimento a partir da fonte. Por outro lado, caso a cobertura tenha sido depositada em uma série de camadas, a feição singenética pode persistir apenas nos horizontes inferiores. Anomalias singenéticas em coberturas transportadas, podem ser derivadas de um certo corpo de minério

apenas quando tal corpo esteja submetido a erosão física. Quando o mesmo for coberto, os eventos posteriores que gerarem coberturas transportadas não produzirão anomalias singenéticas relacionadas a aquele corpo de minério. Por esta razão, anomalias singenéticas geralmente estão ausentes nas camadas superficiais de coberturas transportadas, muito embora possam estar presentes nas camadas profundas.

Anomalias epigenéticas

Feições hidromórficas e biogênicas em coberturas transportadas, não apresentam características diversas daquelas já discutidas anteriormente. No entanto, anomalias epigenéticas assumem importância especial em coberturas transportadas em vista do fato de que feições singenéticas não são consistentemente associadas com mineralizações não aflorantes como o são em coberturas residuais. Deste modo as anomalias hidromórficas e biogênicas em coberturas transportadas, podem ser os únicos guias geoquímicos utilizáveis para mineralizações encobertas.

Anomalias não relacionadas a mineralizações

Depósitos superficiais extensos de material transportado, geralmente representam uma amostra mais ou menos homogênea, derivada de todas as rochas da área fonte. Como resultado anomalias rastreáveis para um tipo específico de rocha são menos desenvolvidos que em coberturas residuais. Exceto quando rochas incomuns ocorrerem como unidades importantes, ou quando a cobertura não apresentar um componente de movimentação apreciável, as feições locais não relacionadas a mineralizações aparentemente são resultado de classificação durante o transporte e deposição, do que variações na composição das rochas fonte. Feições epigenéticas, podem refletir por outro lado, a presença de unidades litológicas muito reduzidas, particularmente onde o metal introduzido seja derivado de litologias imediatamente subjacentes.

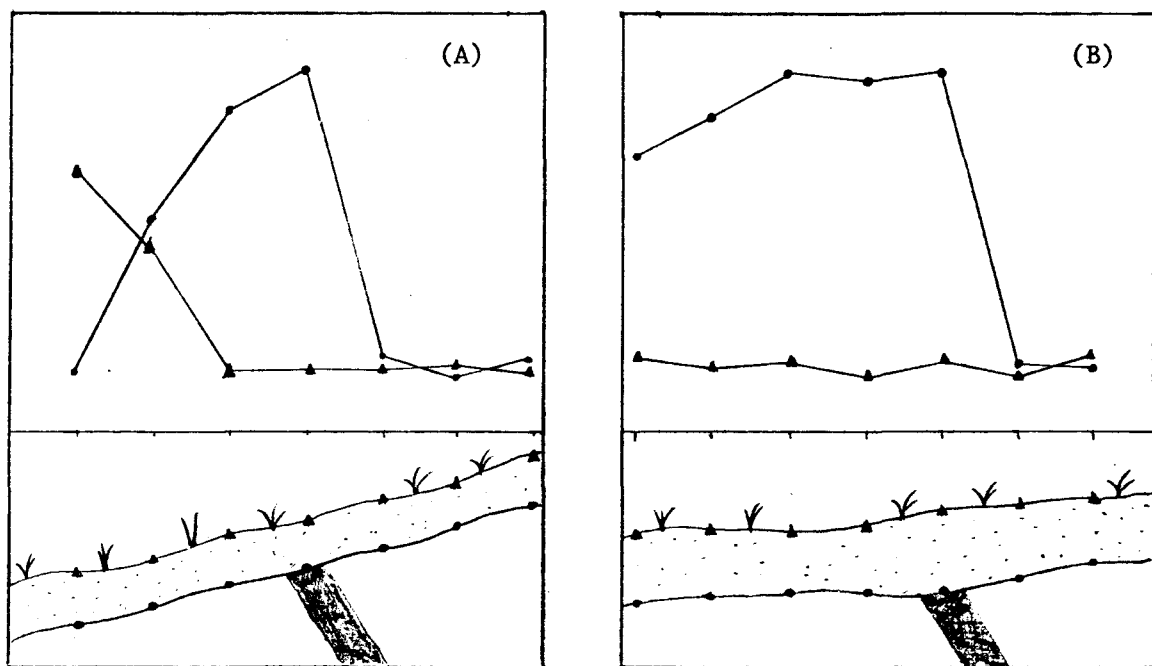


Figura 27- Distribuição idealizada do metal e sua variação com a profundidade, a partir de corpo mineralizado, sotoposto a cobertura residual (A) e transportada (B). modif. Rose, Hawkes e Webb (1979)

XIII - ANOMALIAS EM ÁGUAS NATURAIS

Feições anômalas de elementos contidos em águas suoperficiais e subterraneas, são conhecidas como anomalias hidrogeoquímicas. Os elementos capazes de viajar em solução em águas naturais e deste modo, de utilidade em prospecção geoquímica, são por definição os elementos relativamente móveis. Talvez a aplicação de maior sucesso em análises de água em geoquímica de exploração seja a determinação de U em águas superficiais e subterraneas. O conteúdo de Mo, Zn, Cu e SO₄ em águas naturais também tem mostrado sua utilidade em ambientes especiais e em amostragens-teste que foram realizadas sobre ampla gama de elementos, incluindo He, Rn, F, Cl, I, Se, As, Sb, Bi, Ce, Sn, Pb, Ag, Au, Cd, Hg, Ni, Co, Cr, W, V, Nb, B, Be, K, Rb, e Cs especialmente na U.R.S.S. (Shvartsev e col, 1975; em Rose, Hawkes e Webb, 1979).

No Estado de Santa Catarina, a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM, vem desenvolvendo desde 1982 o Projeto Fluorita no Sudeste de Santa Catarina (Convenio DNPM - CPRM). Morgental (1985) apresenta os resultados obtidos com prospecção hidrogeoquímica para fluorita, enfatizando que todas as drenagens anômalas, após perfilações geológicas foram relacionadas a indícios de mineralização. No Estado do Paraná, alguns testes realizados pela MINEROPAR, e no Estado do Rio de Janeiro em estudos orientativos realizados no convenio DRM - CPRM, do mesmo modo verificou-se a correlação e aplicabilidade do método hidrogeoquímico (Figura 28).

Apesar da alta importância das águas subterraneas e suas anomalias, indicadoras de mineralização, nos deteremos aqui apenas nas águas superficiais ou de drenagens, em vista do escopo do curso.

A água superficial e o material sólido suspenso o soluto, provem primariamente de tres fontes: escoamento superficial, fontes, e surgências de águas subterraneas. Assim todo e qualquer sal solúvel, transportado pelas drenagens, incluem aqueles constituintes que deixaram de ser precipitados. Assim os metais anômalos nos materiais, através dos quais as águas tenham passado, serão nelas dissolvidos e podem produzir feições hidrogeoquímicas anômalas nas drenagens.

A homogeneidade das águas de drenagem é um dos fatores mais importantes, já que um mínimo de turbulência é necessário para que águas de características físicas e químicas diferentes, se misturem. Entretanto quando uma turbulência está ausente ou onde a largura da drenagem é maior, proporcionalmente a sua profundidade, as variações laterais na composição podem permanecer por distâncias consideráveis. Uma falta de homogeneidade deste tipo, pode ser encontrada nos canais dos rios largos e rasos das planícies.

O metal anômalo pode entrar nas drenagens pelas cabeceiras, ou em alguns pontos ao longo do curso. Onde ocorre um forte influxo de metal em um unico ponto, a anomalia tende a mostrar um aumento progressivo, a partir de um pico bem definido. Mais comumente, o metal entra em uma série de pontos ao longo da secção do curso da drenagem, tornando-se assim a feição anômala mais erratica, não podendo ser esperado nenhum ponto anômalo unico e bem definido.

Persistência de anomalias

A utilização das anomalias hidrogeoquímicas na exploração mineral, depende amplamente de quanto elas se estendem a jusante da fonte após serem liberadas na faixa normal de variação do teor de fundo. A amplitude ou persistência de uma anomalia hidrogeoquímica, é condicionada principalmente por : (1) contraste na fonte; (2) diluição; e (3) precipitação ou adsorção.

Contraste na fonte

A rápida solução dos minerais minério, favorece um amplo contraste na fonte. A quantidade da solução da maioria dos minerais minério primários depende amplamente da estabilidade dos mesmos, sob condições de intemperismo, a acessibilidade ao minério por soluções percolantes, e a solubilidade dos produtos secundários.

Sob muitas condições a razão da solubilidade da maioria dos minerais primários, depende da diferença entre sua própria solubilidade na água circundante e o conteúdo do metal na água. A maioria dos óxidos (magnetita, cassiterita, cromita) tem solubilidades baixas. Pelo contrário, minerais de evaporito, são relativamente solúveis e dissolvem-se rapidamente. Minerais sulfetados a despeito de suas insolubilidades relativas em água pura, são bastante vulneráveis ao ataque em ambientes oxidantes de intemperismo, em virtude da alta solubilidade de seus produtos de oxidação. O conteúdo de oxigênio livre nas águas, afeta a taxa de oxidação. Também a taxa de decomposição dos sulfetos pode ser acelerada se a pirita ou a marcassita estiverem presentes, e já que estes minerais, sob oxidação, liberam soluções extremamente corrosivas com ácido sulfúrico livre, o que aumenta amplamente a solubilidade dos metais e causa ataque rápido dos outros minerais - minério primários. Assim, mantendo constantes outros fatores, um minério rico em pirita, liberará muito mais metais em solução que um minério pobre em pirita. Similarmente, rochas fortemente piritizadas, contendo apenas pequenas quantidades de metais minério, podem liberar tanto ou mais metais em solução quanto minérios de alto teor que não contenham pirita, isto pelo menos nos estágios iniciais da oxidação. A rápida descarga dos metais nas drenagens é inibida pela presença de rochas calcárias, que tanto podem neutralizar os ácidos antes que eles possam atacar os minerais minério, quanto podem causar a precipitação dos metais, pela formação de minerais secundários ao ser atingido o pH de hidrólise.

Decaimento por diluição

O padrão de decaimento de metais anômalos, contidos em águas que drenam um depósito mineral oxidado, é em parte o efeito de simples diluição por águas de áreas não mineralizadas. Quando esta diluição por incrementos graduais de água esteril, for o único fator no decaimento de uma anomalia geoquímica, as feições anômalas podem ser tracadas por longas distâncias até que se percam em oscilações de teor de fundo. Entretanto, uma diluição catastrófica por grande volume de água esteril, próximo da fonte, pode obliterar completamente as feições anômalas antes que atinjam o ponto em que seriam normalmente amostradas.

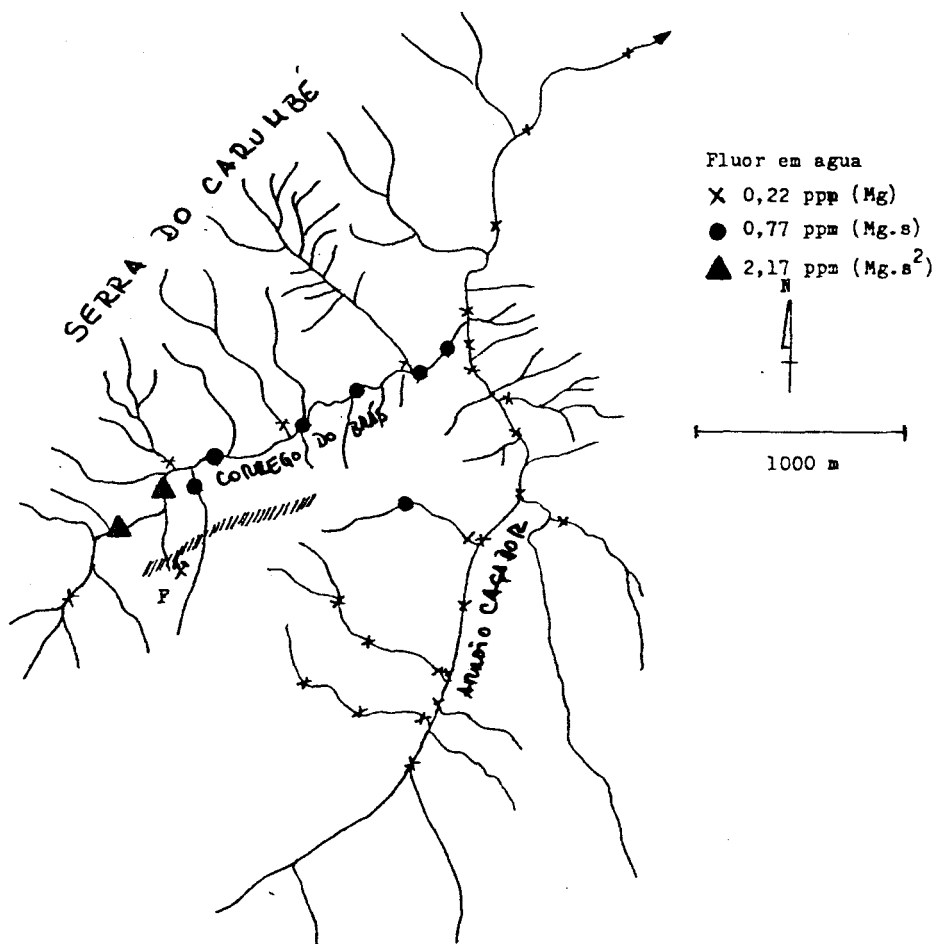


Figura 28 - Amostragem de água, dosagem por eletrodo de íon específico para fluor. Área do Brás, Paraná. seg. Mineropar, inédito.

Decaimento por barreiras de precipitação

Anomalias hidrogeoquímicas, normalmente decaem mais rapidamente que apenas por diluição simples. A medida em que águas ricas em metais, movem-se através de ambientes diferentes daqueles em que se originaram, tais modificações de condições, podem causar algum tipo de precipitação de todo ou parte do metal na água. Estas modificações de condições, são denominadas de barreiras de precipitação. Os tipos principais de barreiras de precipitação e os elementos por elas afetados, são segundo Perel'man (1967) os seguintes :

1 - Tipo oxidante : precipitação de óxidos de Fe, Mn e enxofre, a partir de soluções redutoras. Usualmente causado por surgências ou então por fluxos a partir de pantanos, de águas redutoras;

2 - Tipo redutor : uranio, vanadio, selenio, cobre e prata, precipitados como metais ou óxidos de valências baixas pela redução de águas oxidantes; geralmente causadas pelo encontro de matéria orgânica ou mistura com águas ou gases redutores;

3 - Tipo redução/sulfeto : precipitação de Fe, Cu, Ag, Zn, Pb, Hg, Ni, Co, As, e Mo como sulfetos, pela redução de águas sulfatadas (oxidantes) usualmente pela atuação de bactérias redutoras ; também podem ser precipitados U, V, Se. As causas são as mesmas do tipo redutor, mas requerem a presença de sulfato dissolvido;

4 - Tipo sulfato/carbonato : Ba, Sr, Ca precipitados pelo aumento de sulfato ou carbonato, como resultado de mistura de águas, oxidação de sulfetos ou passagem por rochas carbonatadas;

5 - Tipo alcalino : Ca, Mg, Sr, Mn, Fe, Cu, Zn, Pb, Cd e outros elementos precipitados pela elevação do pH; geralmente pela ação de águas ácidas em rochas carbonatadas ou mistura com águas alcalinas ;

6 - Tipo adsortivo : adsorção ou coprecipitação de ions em acumulações de óxidos hidratados de Fe e Mn, argilas ou materiais orgânicos ; cations dos metais de transição (por exemplo, Cu, Pb, Zn, Co, Ni) e aqueles de elevadas valências, tendem a ser mais fortemente adsorvidos que anions e cations de baixas valências.

XIV - ANOMALIAS EM SEDIMENTOS DE DRENAGEM

Os metais contidos em sedimentos de drenagem, podem ter alcançado a posição atual por uma ou mais diferentes rotas.

Modo de ocorrência dos elementos

Elementos anômalos em sedimentos de drenagem, podem ocorrer nas seguintes formas :

1. Minerais minério primários tais como wolframita, cassiterita, columbita, pirocloro, ouro, platina, etc. A maioria de tais minerais é resistente e densa, deste modo deslocam-se com a fração pesada do sedimento. Uma exceção é o berilo que por ter a mesma densidade que o quartzo, tende a se concentrar, e se mover com a fração leve.

2. Minerais minério secundários, tais como malaquita, anglesita, e fragmentos de gossans anômalos, limonita e outros produtos do intemperismo. Muitos destes minerais são relativamente friáveis e tornam-se cada vez mais finos com o transporte. Como resultado, tendem a ser segregados e perdidos na água. Muito embora a maioria dos sedimentos contenha material argiloso, a proporção é geralmente muito menor que no solo original.

3. Precipitados a partir de material dissolvido e suspenso na água, tanto minerais traço quanto óxidos de Fe - Mn ou outros precipitados que tenham incorporado elementos anômalos. O material geralmente recobre a superfície de grãos clásticos ou ocorre como partículas muito finas que tendem a permanecer em suspensão. Perhac e Whelan (1972), mostraram que o material filtrado a partir de água de drenagem, tem conteúdo em elementos traço, muito maior que o material de fundo.

4. Elementos trocáveis adsorvidos em óxidos de Fe - Mn e matéria orgânica, argilas e outras fases minerais. Esta fração esta em equilíbrio com a água da drenagem e reflete a concentração da água nos sítios de amostragem.

5. Matéria orgânica com elementos incorporados. Esta fração inclui fragmentos de plantas que crescem sobre a mineralização, material orgânico degradado de solos próximos da mineralização, e matéria orgânica formada por atividade biológica nas drenagens.

Evidentemente que em qualquer anomalia, a presença e proporção destes diferentes materiais, dependerá de inúmeros fatores tais como a natureza do substrato rochoso, a história previa da dispersão dos constituintes anômalos, a origem do sedimentos da drenagem e o grau de seleção do material no canal de drenagem.

Em anomalias predominantemente clásticas, derivadas da erosão de solos anômalos, a razão $CxMe/Me$ é tipicamente baixa, geralmente menor que 5%. Em anomalias hidromórficas detrivadas de precipitação ou adsorção de elementos anômalos, a razão $CxMe/Me$ é geralmente maior que 5%. Em algumas areas, a maior parte dos metais anômalos pode ter sido precipitada a partir de águas ricas em metais, tais como efluentes de minas. Em tais casos, a razão $CxMe/Me$ pode ser maior que 50%.

Contraste

Um dos principais fatores controladores do contraste de anomalias em sedimentos de drenagem, é o contraste primário na fonte e a quantidade de diluição com material esteril.

Quando as anomalias de sedimento de drenagem são derivadas pela erosão dos solos residuais ou de zonas de surgência, o contraste nos sedimentos de drenagem simplesmente refletirá o contraste da anomalia de solo original. Similarmente, onde a feição anômala em sedimentos resulta da precipitação de águas ricas em metais, o contraste na anomalia de sedimento, dependerá diretamente do contraste entre as águas anômala e não anômala. Em ambos os casos, o contraste em uma anomalia de sedimento de drenagem, decrescerá com o incremento da distância desde a fonte até o ponto de entrada no canal de drenagem, como resultado da diluição com material esteril.

O contraste também varia de acordo com o modo de ocorrência dos elementos na amostra, e com o método utilizado para detectá-los. Dependendo da mineralogia do mineral primário, o metal anômalo nos sedimentos de drenagem será preferencialmente concentrado nas frações fina, grossa e leve, ou grossa e densa.

A maioria dos metais anômalos em sedimentos de drenagem, está geralmente concentrada na fração mais fina. Deste modo, um relacionamento diverso entre o teor de metal e a granulometria, é observado sob uma grande variedade de climas, como ilustrado pelos dados das Tabelas 18 e 19. Quando são reportados resultados de análises de amostras anômalas e de teor de fundo, observa-se que os contrastes máximos são obtidos pela análise das frações com granulometrias intermediárias, entre 80 e 200 mesh, mesmo que estas frações não apresentem os valores absolutos máximos. Estes experimentos também mostram que o contraste pode ser grandemente acentuado para $CxMe$ mais que para Me total.

Minerais primários resistentes, geralmente tendem a se concentrar nas frações mais grossas do sedimento. Um exemplo deste relacionamento está ilustrado na Tabela 17. Aqui o contraste maior para Be nas frações grossas deve-se ao berilo, enquanto que os valores das frações finas devem-se ao Be contido nas argilas. A maioria dos minerais minério resistentes, está concentrada na fração densa, deste modo quando prospectamos por exemplo Sn, valores relativos muito maiores serão obtidos pela análise de concentrados de minerais densos, onde temos concentrações de cassiterita detrítica. A medida em que os contrastes podem ser salientados desta maneira, dependem da presença dos mesmos minerais como acessórios nas rochas encaixantes ou regionais. Deste modo, o nível do teor de fundo para Sn em cassiterita detrítica, que geralmente ocorre nas rochas como mineral minério, pode ser relativamente baixo, enquanto que o teor de fundo para Cr em cromita, um mineral que ocorre como acessório em rochas ultramáficas, pode ser elevado.

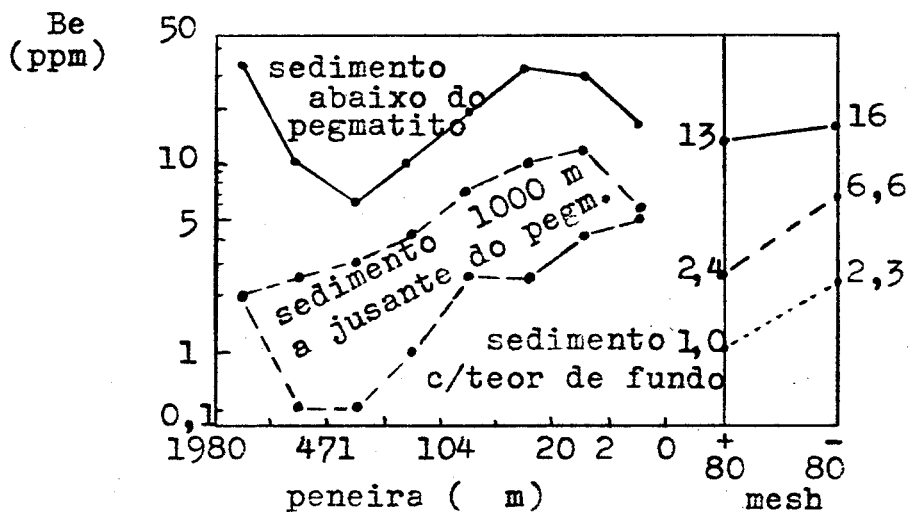


Tabela 17 - Teores em Be de diversas fracões granulométricas em sedimentos de drenagem, Ishasha, Uganda. seg. Debnam e Webb, em Rose, Hawkes e Webb, 1979.

Padroes de decaimento

A forma geral dos padroes de decaimento das anomalias de sedimentos de drenagem, são aproximadamente as mesmas, não importando se as anomalias ocorram como graos detríticos ou precipitados de origem hidromórfica. Os fatores principais que afetam a persistência destas anomalias são (1) o contraste na fonte; (2) a introdução deste metal na drenagem; e (3) diluição por erosão do material das margens e pela confluência dos tributários "estereis".

Decaimentos particularmente rapidos podem ser produzidos pela "lavagem" da fração fina e rica em metais, do sedimento (Govett, 1961), ou decaimentos lentos pela acumulação dos finos (Rose e col, 1970).

A suposição de iso - erosão na bacia de drenagem é falsa para muitas areas. Em amplas drenagens, a taxa de erosão pode diferir marcadamente de um ponto da bacia para outro. Algumas rochas, incluindo aqui muitas mineralizações, são desigualmente resistentes ao intemperismo que as circundantes, e por isso, são erodidas a taxas diferentes.

O teor de metal nas barras ao longo do canal ativo da drenagem, é também importante na determinação da persistência das anomalias dos sedimentos. Na maioria dos casos este fator relaciona-se com a origem aluvial ou coluvial das barras. Em Nash Creek, New Brunswick, as drenagens são bordejadas por uma planicie aluvial que contem cerca do mesmo teor em metal anômalo que os sedimentos ativos. Nestas e em areas similares, a persistência de uma anomalia, é determinada amplamente pela distância entre confluências de drenagens "estereis", e o tamanho das mesmas, em comparação com a drenagem anômala. Onde as barras são compostas por colúvio derivado das vertentes dos vales adjacentes, ou por outro lado, a diluição progressiva da anomalia dos sedimentos começa, tao logo a drenagem anômala deixa a área fonte. Sob tais circunstâncias, caudas de dispersão em drenagens podem ser drasticamente reduzidas.

Intensificação de anomalias

De acordo com o modo de ocorrência do metal, o efeito de diluição pode ser as vezes reduzido pelo tratamento das amostras no sentido de separar o material esteril, diluente, dos componentes anômalos do sedimento. Este processo pode ser denominado de intensificação de anomalias. Por exemplo, anomalias muito persistentes de F foram obtidas em drenagens que cortam depósitos de fluorita, analisando-se a fração densa não magnetica, com ataque por ácido clorídrico 0,01 N (Figura 29). Outras descrições do uso dos minerais pesados estão em Leake e Smith (1975), Overstreet (1962) e Bell (1976). Anomalias de minerais densos são capazes de decair muito rapidamente em areas onde as rochas estereis conttenham minerais acessórios densos em abundancia, tais como magnetita, ilmenita, granada, zircão e monazita. Quando isto ocorre, é possível intensificar as

anomalias, pela utilização de métodos de separação magnética ou eletrostática, ou ainda por procedimentos analíticos seletivos.

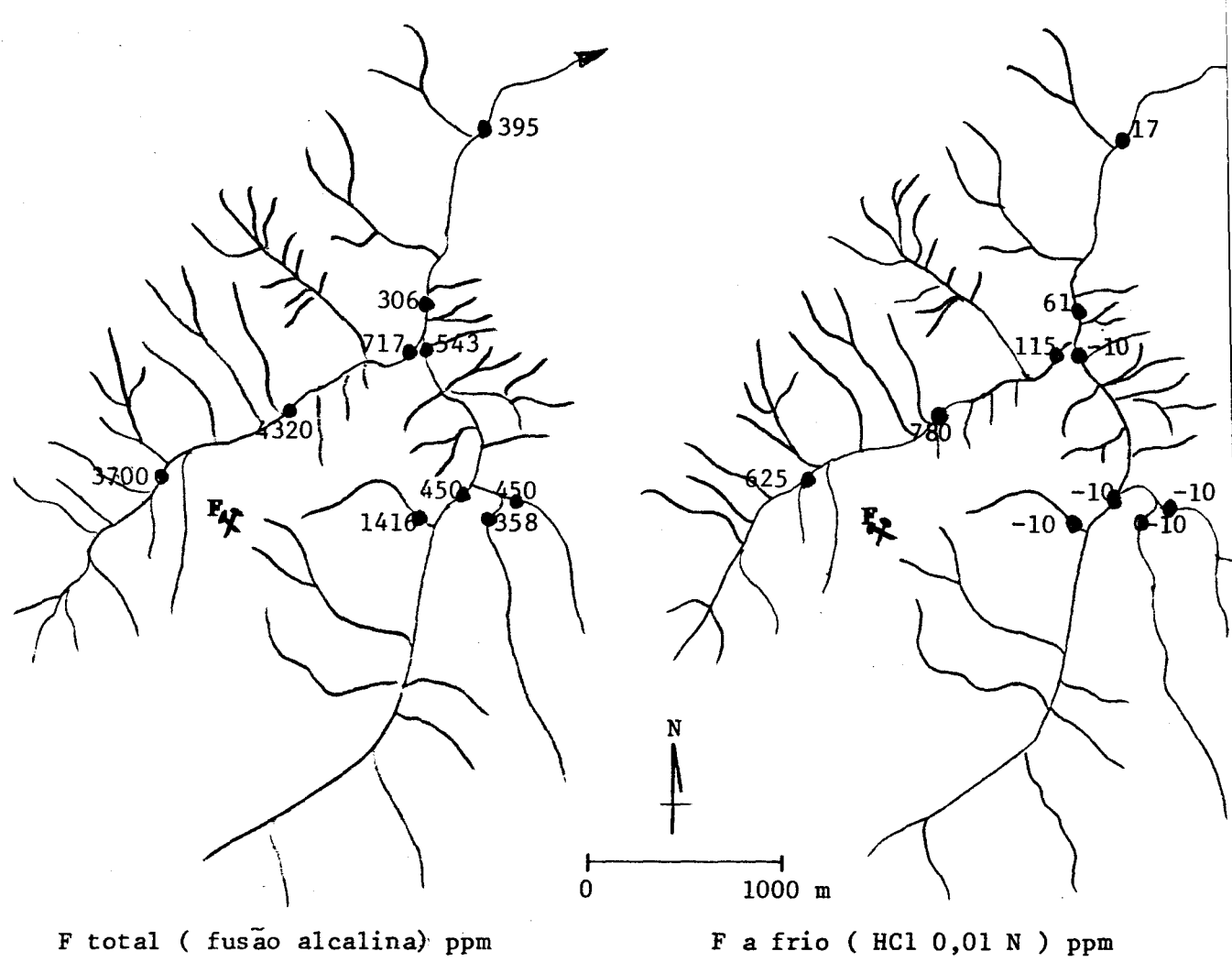


Figura 29 - Intensificação de anomalias pela utilização de ataques químicos diversos, em amostras da fração não magnética de concentrados de bateia. Ocorrência de fluorita do Brás, Paraná. seg. Mineropar, ined.

Algumas anomalias são irreconhecíveis nos sedimentos totais, porém facilmente detectadas em concentrados de bateia, como para o Sn em Sainsbury e Reed (1973). Alguns minerais detríticos são enriquecidos preferencialmente nas frações finas, clásticas, dos sedimentos de drenagem. Análises na fração menor que 80 mesh nos sedimentos de drenagem que corta um carbonatito na Zâmbia mostraram que anomalias de Nb, que ocorre como pirocloro, se estendiam por 20 km até a confluência com a drenagem de ordem maior. A persistência desta anomalia é devida principalmente ao fato de que a drenagem anômala corre, em grande parte de seu curso, através de planície aluvionar. Minerais detríticos leves tais como berilo, não podem ser efetivamente separados do quartzo, o qual serve como principal diluente mineral nos sedimentos. Mesmo assim sob condições apropriadas, o teor anômalo de metal, pode ser detectado por apreciáveis distâncias à jusante.

Amostra	Fração mesh	% peso	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm
1	> 80	92.6	24	24	34
	<80 >150	3.2	90	24	68
	<150	4.2	174	38	284
2	> 80	94.0	20	150	140
	<80 >150	2.0	26	66	180
	<150	4.0	60	124	546
3	> 80	93.9	8	182	118
	<80 >150	2.3	44	244	532
	<150	3.8	66	154	254
4	> 80	98.3	14	102	46
	<80 >150	0.7	38	88	138
	<150	1.0	104	144	394
5	> 80	99.1	4	16	24
	<80 >150	0.4	82	62	153
	<150	0.5	124	94	580

Tabela 18 - Distribuição de teores em diferentes frações granulométricas, em sedimentos de drenagem da área da Jazida Santa Maria, RS. Ataque HCl+HNO₃+HClO₄. seg. Licht (1983).

Fração mesh	% peso	Zn total ppm	Cx(Zn+Pb+Cu) ppm
<8 >32	65	500	6
<32 >80	35	500	15
<80 >115	4	800	25
<115 >200	3	800	45
<200	3	1000	75

Tabela 19 - Conteúdo de Zn e Zn+Pb+Cu trocáveis, em diferentes frações granulométricas de sedimentos de drenagem em New Brunswick. seg. Rose, Hawkes e Webb (1979).

Outro método de intensificação de anomalias, é através de extrações seletivas para óxidos de Fe e Mn. Anomalias de Cu e Zn, extraídos por hidroxilamina hidroclicorica em sedimentos de drenagem nos E.U.A., estenderam-se por 5 ou mais quilômetros da fonte, em comparação com 1,5 km para Cu total e Zn total na fração menor que 80 mesh (Carpenter e col, 1975). Neste caso, para o Pb, um elemento normalmente menos móvel, nenhuma anomalia foi observada nos óxidos de Fe e Mn. Resultados semelhantes foram obtidos por Whitney (1975).

Outras frações especiais ou tipos de sedimentos de drenagem que podem aumentar os contrastes são os sedimentos orgânicos e a matéria particulada em suspensão (Brundin e Nairis, 1972; Perhac e Whelan, 1972).

Estabilidade	Mineral	Elementos maiores	Elementos traço	Minerais minerio	Elementos maiores	Elementos traço
Muito Estáveis	Quartzo	Si	Ge, (Li, Al, Fe, Mg, Al.c.)	Ouro	Au	Te, Ag, Cu, Fe, Hg
	Zircão	Zr, Si	Nb, Ta, Hf, Y, U, Th, Pb	Platina	Platinóides	Au, Ag, Cu, Fe, As, Ni, Cr, Sb, Te, Hg, Nb, Ta, Fe, (Sn, Cr, V)
	Corindão	Al	Mg, Fe, Ti, Cr, (Ni, V)	Níquel	Ti	Ti, Mn, Zn, Pb, Ca
	Espinelos	Mg, Fe, (Na, Zn), Al	Ti, Cr, (Sn)	Cronita(s)	Cr, (Mg, Fe), Al	
	Topazite	Al, F, Si	Fe			
Estáveis	Turmalina	Na, Mg, Fe, Al, Si, B	Li, F, Ca, Cr, Ga, Sc, Sn, Cu	Columbita-tantalita	Nb, Ta, (Fe, Mn)	TR, Ti, Zr, Sb, Bi
	Feldspatos alcalinos	K, Al, Si, (Na, Ca)	Ca, V, Ca, Li, Ti, Na, Ca, Mn	Galena	Pb, S	Bi, Sb, As, Ag, Se, Te, Ti, (Pt, Pd, Mo, Ni, Mg)
	Plagiocl. sódicos	Na, Al, Si, (Ca)	Al, Ti, Ca, Pb	Baritar ilmenita	Ba, (Sr), S	Pb, Ca, (Hg, Co)
	Granadas	Ca, Mg, Fe, Al, Si	Ba, Sr, Nb, Ti, Ca, Cu, Fe, Mn	Cassiterita	Fe, Ti, (Mg, Sn)	V, Cr, Zn, Ni, Co
	Andalusita	Al, Si	Mn, Cr, Ca, Y, Ti	Monazita	Fe, (Mg, Ti)	Ta, Nb, Fe, Ti, Mn, In, Ag, Pt, (Se)
Pouco Estáveis	Sillimanita	Al, Si	-, (Ca, Na, K)			Cr, Ni, Co, V, Mn, Zn
	Anfibólios	Ca, Mg, Fe, Al, Si	Cr, Mn, Ti, Li, Zn, Sr, Ba, F	Wolframita	W, Fe, Mn	TR, Nb, Ta, Sc, Zr, Hf, In, Sn
	Piroxênios	Ca, Mg, Fe, Si, (Na, Li, Al)	Mn, Ni, Cr, Ti, V, (Co, Pb, Cr, Ce, Sc, Ba)	Hematita	Fe	Mn, Ti
	Apatita	Ca, P, F, Cl	Ti, Sr, Mn, U, Th (Pb)	Scheelita	Ca, W	TR, Nb
	Esfeno	Ca, Ti, Si, F	TR, Sr, Ba, Th, Sn, Nb, Ta, V			
Instáveis (Facilmente Intemperiza- dos)	Estaurolita	Fe, Mg, Al, Si	-, (Zn, Co, Ni)			
	Cloritoide	Fe, Mg, Mn, Al, Si	Ti, Y			
	Crupo do Epidoto	Ca, Fe, Mn, Al, Si	TR, Y, Th, U, Nb, V, Sn, Zn, (Cr, Pb, Sr)			
	Plagiocl. calcí- co	Ca, (Na), Al, Si	Sr, Mg, Ba, Ca, Cu, Ti, Mn	Pirrotita-Pentlandita	Fe, Ni, S	As, Sb, Co, Mn, (Cu)
	Feldspatos dec	Na, K, Al, Si, (Ca)	Mg, Mn, Ti, F, S, (Mo, Be)	Esfalerita	Zn, S, (Fe)	Cd, Mn, As, Ca, In, Ce, Co, Mg
Instáveis (Facilmente Intemperiza- dos)	Anfibólios alcalinos	Na, Mg, Fe, Al, Si, (Ca)	(Ti, Mn, Li, Zn, F)	Calcopirita	Cu, Fe, S	Au, Ag, Co, Ni, Mn, Pt, Se, In
	Augita	Ca, Mg, Al, Si, (Ti)	Cr, Ni, Co, V, Zn, Mn, Pb, Cu, Zr, Sc, Ga, Li, Sr, Th	Araucopirita	As, Fe, S	Au
	Biotita	K, Na, Fe, Al, Si	Nb, Sr, Ba, Li, Ca, F, Na, K, Co, Ni, Sc, V, Zn, Cd, Cu, Ca, Mn	Pirita	Fe, S	Ni, Co, (Au, Ag, Ti, V, Ti)
	Série das Hornblen- das	Na, Fe, Mg, Ca, Al, Si	Ni, Co, V, Sr, Nb, Cu, Cr, Zr, Zn, Pb, Ba, Th	Molibdenita	Mo, S	As, Au, Re, Pt
	Clorita	Mg, Fe, Al, Si	Cr, Ti, Mn, Ni	Fluorita	Ca, F	TR, Sr
Instáveis (Facilmente Intemperiza- dos)	Olivina	Mg, Fe, Si	Cr, Ni, Co, Mn, Ti, Cu, Mo, Mn, Li, Co			
	Glaucônita	K, (Na, Ca), Fe, Mg, Al, Si	Ti			
	Calcita	Ca, C, (Mg, Mn)	Fe, Ba, Sr, Co, Zn			
	Dolomita	Ca, Mg, C, (Mn)	Fe, Pb, Zn, Co, Ba			
	Gipsita	Ca, S	Mg, Si, Fe, Ti, Sr, B, Cu, Al, Mn (Li, Be, Y, Zr, Bi, Na, Au, Ca)			
Instáveis (Facilmente Intemperiza- dos)	Halita	Na, Cl	Sr, Cu			

Nota: Elementos maiores entre parenteses são subsidiários; elemento traço entre parenteses são raros; TR - terras raras; Al - elemento alcalino.
 Dados segundo Deer, Howie, Zussman, 1967 e 1963; Hannay e Schuman, 1950; Mitchell, 1964; e Fersman, 1967. Tabela extraída de Andrews-Jones, 1967.

Tabela 20 - Estabilidade e composição química de alguns minerais importantes em prospecção geoquímica, seg. Andrew-Jones.

XV - PROSPECCAO GEOQUIMICA DE ROCHA (LITOGEOQUIMICA)

Exames da distribuição dos elementos em amostras de rocha são mais úteis na exploração de detalhe para corpos individuais e ocorrências, e na exploração de reconhecimento de corpos ígneos "produtivos". Levantamentos para detectar provincias geoquímicas são também desenvolvidas, porém melhores resultados são obtidos por levantamentos de sedimentos de drenagem ao invés de litogeoquímica. Uma grande vantagem dos levantamentos litogeoquímicos é a medida direta das feições de dispersão profunda, não afetadas pelas complicações do ambiente superficial. Levantamentos litogeoquímicos tem aumentado de interesse em muitas fases da exploração mineral.

As dimensões dos vários tipos de anomalias desenvolvidos nos ambientes profundos varia desde centenas de quilômetros até alguns poucos centímetros, variando paralelamente sua aplicabilidade. Intrusões anômalas variam desde muitos quilômetros até dezenas de metros em diametro, e são úteis na detecção e reconhecimento de distritos mineralizados. Vários halos de fuga e feições de alteração hidrotermal com dimensões de vários quilômetros a alguns metros são úteis em levantamentos de distritos mineralizados, objetivando localizar áreas menores para pesquisa de detalhe. É bastante promissora a utilização deste método na detecção de corpos não aflorantes. Halos de fuga e

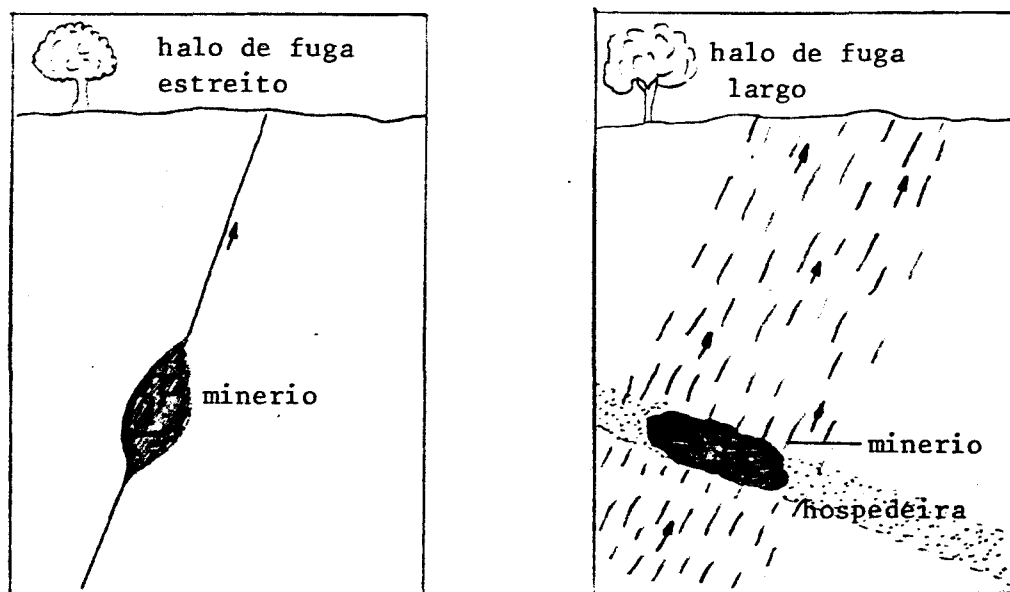


Figura 30 - Tipos de halos de fuga . seg. Rose, Hawkes e Webb (1979)

aureolas de difusão medindo desde alguns metros até algumas dezenas de metros, podem auxiliar na detecção de corpos não aflorantes, especialmente usando amostras de trabalhos subterrâneos e testemunhos de sondagem. Padrões de zonação podem ser usados na avaliação da direção da mineralização e em que medida o mesmo pode ser encontrado em maiores profundidades ou ja

tenha sido erodido.

O tipo de mineralização que se procura, é uma consideração importante no planejamento dos levantamentos litogeoquímicos. Províncias geoquímicas e intrusões produtivas são muito melhor desenvolvidas para elementos litófilos tais como U, Sn e Li que para os calcófilos como Cu, Pb, Zn, Ag. Plútoes que forneçam mineralizações magmáticas (sulfetos de Cu-Ni; pegmatitos) são muito mais facilmente detectados geoquimicamente que aqueles que fornecem depósitos hidrotermais. Por outro lado, anomalias de fuga são muito melhor desenvolvidas para depósitos hidrotermais. Em vista dessas diferenças, estudos orientativos em distritos mineralizados conhecidos e áreas de teor de fundo, são usualmente necessários antes de se iniciar um levantamento litogeoquímico. Da mesma maneira é interessante um estudo da bibliografia para depósitos similares no sentido de obter informações adicionais.

Estudos Orientativos

O objetivo de um estudo orientativo, é o de fornecer informações técnicas nas quais possamos embasar um levantamento sistemático. Um ou mais depósitos ou ocorrências do tipo que estejamos procurando, de preferência na área a ser prospectada, são amostrados em detalhe para obtenção de dados para definição de procedimento otimizado para o levantamento sistemático e interpretação dos resultados. Amostras de teor de fundo de litologias típicas de porções não mineralizadas da área, são coletadas para comparação com amostras anômalas. Os detalhes do estudo orientativo, vão variar com o tipo de mineralização que estejamos procurando, a escala e o estágio da prospecção, o tipo de material que possa ser mais facilmente amostrado, dentre outros fatores.

O tipo e o volume das amostras e o método de coleta devem ser estabelecidos durante o estudo orientativo. Elementos indicadores, são usualmente distribuídos de maneira homogênea, em feições de dispersão de origem sin-genética ou de difusão, e espécimes relativamente pequenos de rocha podem ser adequados. Pelo contrário, anomalias de fuga, são comumente localizadas ao longo de fraturas e os valores do metal são erraticamente distribuídos na escala de amostra de mão. Em tais casos, a análise de um conjunto de pequenos fragmentos coletados aleatoriamente em certa área de afloramento, é preferível que a análise de amostras únicas. Amostras compostas de muitos metros de testemunhos de sondagens devem ser utilizadas quando disponíveis. Se o que estivermos buscando forem halos de fuga, materiais de veio, limonitas e outros tipos de materiais especiais devem ser coletados tanto em áreas mineralizadas quanto em estereis. O contraste das anomalias em diferentes tipos de amostras pode ser comparado neste estágio.

Uma suite de elementos deve ser selecionada e testada durante o estudo orientativo, já que regiões e distritos diferem na aplicabilidade de certos elementos farejadores.

A amostragem e análise de solos residuais é uma das técnicas de prospecção geoquímica mais amplamente utilizadas. Isto é um reflexo da confiança que adquiriram as anomalias de solo como guias para mineralizações. A experiência mostrou que, independente das condições climáticas e geológicas, onde a rocha original estiver mineralizada, alguma feição química será apresentada pelos solos residuais, produtos do seu intemperismo. Quando solos residuais sobre ocorrências minerais conhecidas não apresentarem anomalias, exames mais detalhados irão mostrar que ou o material amostrado não foi verdadeiramente residual, ou uma fração ou horizonte do solo inadequado foi amostrada ou ainda que um ataque químico ou método analítico inadequado foi utilizado. Em outras palavras, quando usado com propriedade, o método é excepcionalmente confiável em comparação com os outros métodos de exploração.

Estudos orientativos

Um estudo orientativo é uma investigação preliminar concebida para a obtenção de informações para o planejamento de um levantamento de rotina otimizado. O intento é desenvolver procedimentos que maximizem o contraste de anomalias significantes e minimizem o número de falsas anomalias, isto tudo pelo menor custo.

Estudos orientativos são absolutamente essenciais em regiões onde não sejam disponíveis quaisquer informações ou experiências com métodos de exploração geoquímica. Caso existam informações, estudos elaborados não são tão vitais.

Se possível um estudo orientativo deve ser conduzido nas proximidades de depósitos conhecidos e que não tenham sido perturbados ou contaminados pela ação do homem, de modo que se possam observar as feições geoquímicas naturais.

É fundamental que os estudos orientativos sejam efetuados em regiões onde as características geológicas e geomorfológicas sejam similares às da área problema.

A determinação do teor de fundo é também importante em áreas não mineralizadas. A natureza da cobertura se residual ou transportada, é a primeira questão a ser respondida por um estudo orientativo. Por vezes é extremamente difícil discriminar entre solo residual e transportado, no entanto uma observação ampla e cuidadosa na área auxiliara a resolução desta questão.

Um estudo orientativo é iniciado em uma área com a coleta de uma série de seções verticais do perfil do solo, dispostos segundo perfis perpendiculares à mineralização, bem como na área não mineralizada. O perfil inicial sobre a ocorrência deve se estender a distância substancial para cada lado da mesma. Ao longo desta linha, pocos são escavados a intervalos reduzidos; se o depósito é estreito e os metais minério relativamente imóveis, é recomendável a escavação de trincheira que atravesse a ocorrência. Todo o cuidado deve ser dispensado no sentido de que as escavações atinjam o substrato, particularmente se

permanecerem duvidas quanto a natureza da cobertura se residual ou transportada.

O proximo passo é a descrição detalhada das escavações e o estabelecimento da origem residual ou transportada da cobertura em todos os locais. O perfil completo deve ser amostrado através de amostras-canal. Nenhuma amostra deve representar uma secção maior que cerca de 30 cm, pelo risco de ser atingido mais que um horizonte visível. Os solos representativos do teor de fundo devem ser também amostrados em pontos selecionados.

Analises preliminares nas frações -80 e -100 mesh para o metal minério predominante e o(s) farejador(es) associado(s) são no geral suficientes para mostrar se a anomalia esta presente ou não. Como orientação da suite de elementos associados a mineralização, é interessante que algumas amostras da mesma sejam submetidas a análise multielementar (32 elementos por espectrometria optica de emissao), antes da execução do estudo orientativo propriamente dito.

As determinações analíticas devem incluir o metal total e no caso de elementos extremamente móveis, o teor em metal solúvel (cxMe). A escolha do método analítico é baseada no possivel modo de ocorrência dos metais em questão. Quando tratar-se de elementos que caracteristicamente ocorrem como minerais clásticos facilmente identificaveis, é interessante que a fração pesada do solo seja examinada mineralógicamente. Com base nestes experimentos, são escolhidos os procedimentos de preparação e análise que forneçam o máximo contraste efetivo da anomalia, sobre o teor de fundo. A análise da suite completa das amostras pela metodologia selecionada fornecera' as informações acerca do horizonte mais adequado ou seja a profundidade minima para coleta, onde sera' obtido contraste adequado de anomalia pela maior extensao.

Fatores principais a serem avaliados por estudos orientativos em solos residuais ou transportados:

a. Contraste otimo entre amostras em zona mineralizada representativa daquela que estamos procurando, comparado com a amplitude de condições de teor de fundo na área prospectada, considerando os fatores abaixo;

b. Determinação dos elementos mais adequados, tanto indicadores quanto farejadores, ou ambos;

c. Natureza da cobertura:

1. residual versus transportada, mecanismos de transporte e direção

2. desenvolvimento do perfil do solo

3. variação dos elementos indicadores com a profundidade

4. efeitos de topografia, drenagem, vegetação, tipos litológicos

d. Profundidade otima para amostragem;

e. Fração otima, de densidade ou granulometria (argilas, siltes, minerais pesados, etc....)

f. Procedimento analítico mais adequado

1.método de extração (total, ácido a quente, seletivo,etc)

2.método analítico (limites de detecção, interferência, custo)

g.Amplitude da anomalia, intensidade da mesma proximo da mineralização, amplitude de variação do teor de fundo

h.Forma, extensão, e homogeneidade da anomalia, usando o método analítico indicado,por meio de uma ou mais linhas cortando a mineralização;

i.Reprodutibilidade da amostragem e análise;

j.Possibilidades de contaminação;

k.Dimensões da malha de amostragem ótima.

Operações de campo

Padroes de amostragem

A seleção do melhor padrão de amostragem, é determinado basicamente pelo tamanho e forma do alvo. Geralmente são mais aconselhadas as malhas regulares, com as amostras sendo coletadas a intervalos regulares em linhas também regularmente espaçadas, em virtude da facilidade da implantação no campo e no manuseio dos mapas.

Como regra geral, a linha base deve ser paralela a estrutura de interesse da prospecção, ficando as linhas, perpendiculares à mesma, de modo que no mínimo duas linhas intersetem a anomalia. As estações de coleta devem ser espaçadas de modo que no mínimo duas amostras caiam dentro de cada anomalia importante.Nos casos onde existam duvidas quanto a forma e dimensões das anomalias, a malha mais adequada é a quadrada. Atualmente com a aplicação crescente da geomatemática, aconselha-se que durante os estudos orientativos seja implantada uma cruz geoestatística sobre a ocorrência, de modo a permitir por meio de semi-váriograma (geralmente 2/3 do alcance) o dimensionamento otimizado da malha de amostragem.

O Ministerio de Geologia da U.R.S.S segundo as Instruções para Prospecção Geoquímica recomenda os seguintes procedimentos:

Escala	interv. entre perfis	interv. entre amostras
1:1.000.000	12 a 8 km	100 m
1: 500.000	6 a 4 km	100 m
1: 200.000	2 km	100 a 50 m
1: 100.000	1 km	100 a 50 m
1: 50.000	0,5 km	50 a 40 m
1: 25.000	250 a 200 m	40 a 20 m
1: 10.000	100 m	20 a 10 m
1: 5.000	50 m	20 a 10 m
1: 2.000	20 m	10 a 5 m
1: 1.000	10 m	5 m

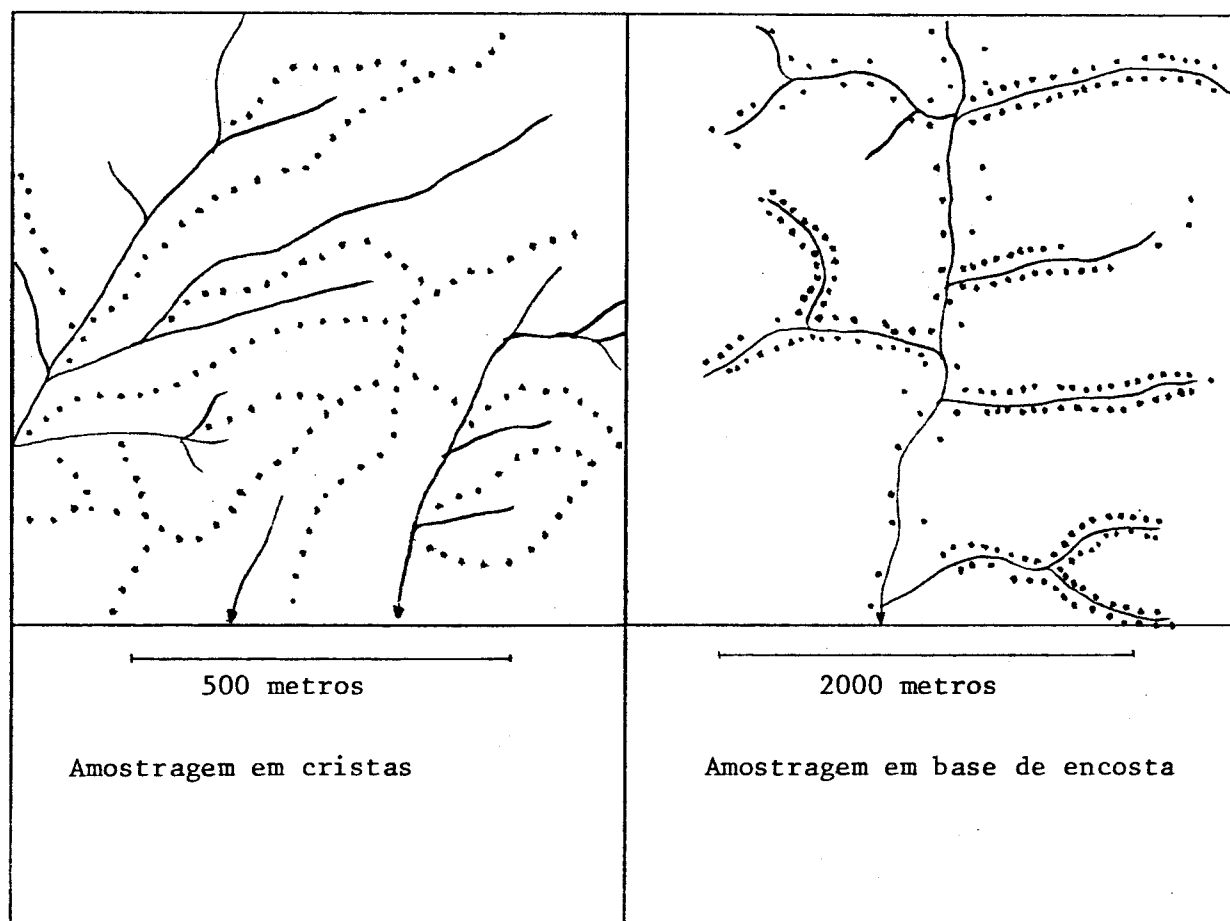


Figura 32 - Malhas não regulares para amostragem de solos.
seg. Rose, Hawkes e Webb (1979)

Procedimentos de amostragem:

Como regra geral, 20 a 50 gramas de amostra fornecem material suficiente para análise. As amostras podem ser armazenadas em sacos de algodão cru ou plástico. Sacos de plástico apresentam a desvantagem de não permitir a secagem da amostra, o que segundo alguns autores pode ocasionar certas modificações no modo de ocorrência de certos elementos, caso a armazenagem se estender por longos períodos de tempo.

Sacos de pano, permitem a secagem das amostras no campo, se providenciarmos que sejam penduradas em varais protegidos. Sacos de papel kraft impermeabilizado, recomendados na literatura norte americana e canadense, como baratos e de fácil manipulação, apresentam a mesma desvantagem em nossas condições de clima que os sacos plasticos, além de não serem disponiveis no mercado. Deste modo recomenda-se a utilização de sacos de tecido resistente (algodao cru por exemplo) e não colorido.

As amostras podem ser facilmente coletadas por meio de pequenas escavações a pa' ou cavadeira quando a cerca de 30 - 60 cm de profundidade; quando mais profundas, podem ser coletadas através de trados manuais ou mecanicos.

Localização e identificação das amostras

A localização e identificação das estações de amostragem, deve ser precisa de modo a permitir a reamostragem ou identificação da mesma em detalhamentos posteriores. Em malhas regulares, o piqueteamento da linha base e linhas transversais, deve ser feito com cuidado. No caso de malhas irregulares, algumas amostras devem ser corretamente identificadas no terreno.

O conhecimento da topografia local é de enorme valia para os trabalhos de interpretação. Assim, caso mapas topográficos não existam, nivelamentos a clinometro e passo aferido ou trena, são suficientes para um esboço do modelado do terreno.

Dois sistemas de identificação das estações podem ser utilizados. Em malhas geometricas regulares, as estações são geralmente identificadas através de coordenadas com relação a linha base e uma linha transversal denominada de 00. Quando a malha for irregular, o procedimento mais adequado é o de numerar as amostras consecutivamente a partir de uma selecionada na ordem em que foram coletadas. A duplicação indevida das amostras é evitada pela numeração previa tanto dos piquetes quanto dos saquinhos.

As anotações de campo devem considerar a identificação da amostra, coordenadas, profundidade de amostragem, descrição do material amostrado, e quaisquer outras informações acerca do tipo de solo, situação topografica, possibilidades de contaminação, etc.) Devem ser especialmente colhidas as informações consideradas como importantes e pertinentes pelo estudo orientativo, não se devendo perder tempo com informações que não serão nunca utilizadas.

Preparação e análise das amostras

A preparação das amostras inicia-se na base de campo através da secagem adequada das mesmas para o transporte. Na maioria das épocas do ano, e em nosso clima, a secagem pode ser feita apenas pela exposição dos saquinhos ao ar livre. O aquecimento das amostras deve ser evitado em virtude da falta de possibilidade de controle de temperatura na maioria dos equipamentos rudimentares, o que pode ocasionar a inutilização das amostras destinadas a dosagem de certos elementos volateis, tais como Hg.

Quando a base de campo dispuser de recursos, a secagem e peneiração pode ser efetuada tomando-se o especial cuidado para

evitar contaminação, através de recipientes utilizados para secagem e mesmo peneiras de latão (contaminação de Zn e Cu). Peneiras de náilon ou aço inox são as mais adequadas. Os elementos a analisar serão determinados a partir dos estudos orientativos, ou pelo conhecimento prévio das condições da área.)

O controle de qualidade deve ser efetuado através da duplicação e replicação das amostras, bem como inclusão de amostras padrão para o controle temporal do desempenho do laboratório, pois eventualmente pode ser necessária a reanálise de determinados lotes ou mesmo da amostragem por inteiro.

Preparação de mapas geoquímicos

Fundamentalmente dois tipos de mapas são preparados : os de dados, são apenas veículos de apresentação dos dados químicos e de localização das amostras, e os interpretativos que incorporam algumas generalizações gráficas sobre os dados.

O objetivo dos mapas de dados é o de apresentar as observações realizadas, mostrando seu relacionamento com feições geológicas, topográficas, de drenagem e possíveis fontes de contaminação.

Os dados podem ser apresentados em perfis, quando for necessário enfatizar a distribuição de um elemento em determinadas linhas.)

Os mapas de interpretação geralmente envolvem o agrupamento dos dados em faixas de concentração. Estas faixas podem ser representadas por simples símbolos gráficos ou por linhas de contornos (isogradas ou curvas de isoteor). A seleção dos intervalos de contorno é feita com base na distribuição estatística dos teores do elemento analisado.) É de maior importância evitar o fechamento das linhas de contorno nas margens da área amostrada pois podemos truncar a abertura de anomalias importantes.

Na maioria das vezes, é interessante a utilização de perfis geoquímicos sequencialmente dispostos, de modo que se possa acompanhar a "assinatura" dos mesmos em distâncias regulares (espacamento dos perfis), unindo picos evidentes ou/e sutis e que não seriam visíveis apenas com o tracado das curvas de isoteor. Tal método, simples e muito utilizado em geofísica, facilita o tracado de alinhamentos geoquímicos, auxiliando sobremaneira a integração dos dados geoquímicos com os geológicos.

Interpretação dos dados

Em termos gerais, a interpretação de dados geoquímicos de solo, envolve quatro problemas principais : (1) a estimação dos valores de teor de fundo e de limiares ; (2) a distribuição das anomalias significantes e não significantes ; (3) a distinção entre anomalias laterais e sobrejacentes ; e (4) selecionar aquelas anomalias que em termos de possibilidades de mineralização, mereçam investigações futuras.

É naturalmente difícil generalizar a respeito de interpretação, na medida em que cada área apresenta problemas particulares. Entretanto, apresentamos a seguir a filosofia geral, mesmo sabendo que as instruções para procedimentos de

interpretação serão considerados incompletos em detalhe, e terao de ser modificados para que se adaptem a problemas particulares.

Estimativa do teor de fundo e limiares

A abordagem geral para estes procedimentos sera' feita no capitulo referente a manipulação de dados e interpretação estatística. Na pratica, a principal dificuldade reside no reconhecimento das diferentes feições de teor de fundo, relacionadas com tipos litológicos, influências de drenagem, variações de cobertura, e aquelas relacionadas com mineralizações. Estes problemas assumem proporções consideraveis na medida em que os teores anômalos relacionados com mineralizações, aproximam-se dos teores de fundo ou seja, os contrastes são reduzidos.

(ppm)						
(m)	hori	Cu	Zn	Mo	Ba	F
0,30	A	15	24	16	565	1300
	B	10	19	20	540	1200
0,60						
1,30	C	10	26	27	520	1600
	~R~	27	27	27	427	768
1,80	+ + + R + + +	4	24	70	1500	2300
	+ +					

solo -80 mesh
rocha - 200 mesh
Cu e Zn:aq.regia,EAA
Mo e Ba : E.O.E.
F : E.I.E.

~R~ filito
+++ granito

Figura 33 - Variação na distribuição de metais, com a profundidade e tipo lotológico.Granito Rio Abaixo,Rio Branco do Sul,PR.seg.Licht(1985)

A delimitação das unidades geológicas e a topografia e as feições geoquímicas deve ser efetuada mesmo que provisoriamente no sentido de fornecer uma base para a determinação de valores de teor de fundo e limiares de anomalia para cada uma delas.)

Reconhecimento de anomalias não significativas

Relembrando o que ja foi dito, -os principais tipos de anomalia não relacionados a depósitos minerais, são aquelas que derivam de (1) litotipos caracterizados por teores de fundo

elevados; (2)contaminação pela atividade humana ; e (3) erros analíticos e de amostragem.

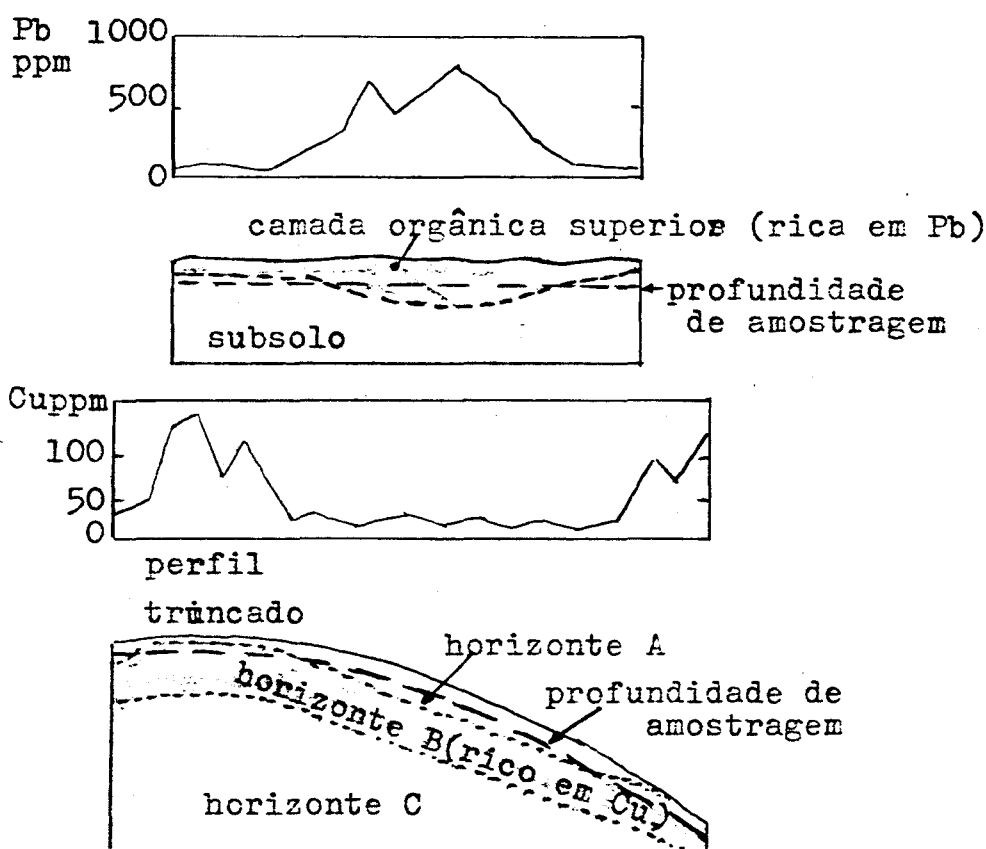


Figura 34 - Exemplos idealizados de anomalias falsas, devidas a coleta de amostras em diferentes horizontes. seg Rose, Hawkes e Webb, 1979.

As anomalias resultantes de litologias de altos teores de fundo no elemento considerado, podem ser identificadas pela coincidência dos contornos anômalos com os limites de ocorrência daqueles tipos de rocha, ou então quando as anomalias cobrem áreas muito maiores que aquelas esperadas para um depósito mineral. Tais anomalias são particularmente suspeitas quando suas grandes feições são paralelas as tendências geológicas regionais. Associações de elementos características de certas espécies de rocha, tais como Ni-Co-Cr nas ultramáficas, podem ser úteis como chaves para a origem.

A contaminação como causa de anomalia é imediatamente suspeitada quando as anomalias estiverem localizadas próximo de rejeitos de minas, fundições, ou estiverem relacionadas a quaisquer feições de agricultura, rodovias ou ferroviárias. As dificuldades de interpretação podem ocorrer no entanto se não existirem evidências de antigos trabalhos em regiões

tradicionalmente mineiras. Em tais circunstâncias, é necessário observar a geometria das anomalias, pois o fato de que existe uma tendência de redução de teor com a profundidade, que para os elementos móveis em solos residuais bem drenados a razão $CxMe/Me$ é comumente mais elevada que seria de se esperar, caso o metal anômalo fosse realmente residual. Como antes já foi mencionado, as anomalias biogênicas decrescem com a profundidade e as anomalias epigenéticas, seja biogênicas seja hidromórficas, são caracterizadas por uma elevada razão $CxMe/Me$.

Anomalias não significativas, devidas a coleta inadvertida de amostras que contenham enriquecimentos naturais de metais, podem ser de difícil reconhecimento, a menos que os dados de campo sejam revisados com cuidado. Elas comumente refletem variações insuspeitadas em : (1) a natureza do material amostrado, particularmente com relação a matéria orgânica, argilas e óxidos de Fe-Mn; (2) a profundidade dos diversos horizontes do solo em relação à profundidade de amostragem (Figura 33); (3) a natureza da vegetação e sua influência na acumulação de metais biogênicos no solo; (4) condições de drenagem locais. As anomalias não significativas devidas a erros analíticos, podem ser mais facilmente detectadas e eliminadas, pela repetição das análises.

Distinção entre anomalias laterais e sobrejacentes

A maioria dos erros dispendiosos na interpretação dos dados geoquímicos ocorrem, quando assume-se que a fonte da anomalia está diretamente abaixo da mesma. Em outras palavras, a anomalia é imaginada como sobrejacente quando na verdade é lateral, desenvolvida pelo deslocamento horizontal, seja da água do solo seja do próprio solo.

Um dos tipos principais de anomalias sobrejacentes, é o das feições relictas em solos residuais devidas ao simples intemperismo in situ, e feições biogênicas e hidromórficas em coberturas transportadas, que resultam da ascensão de soluções ricas em metais. Feições residuais são evidentemente singenéticas e podem ser reconhecidas pela presença de minerais primários diagnósticos e por baixas razões $CxMe/Me$ em solos bem drenados; apenas sob certas circunstâncias, a razão é elevada, como por exemplo quando o solo for mal drenado ou rico em matéria orgânica ou ainda quando os metais ocorrerem nos padrões sobrejacentes como minerais secundários relativamente solúveis.

Feições anômalas sobrejacentes de origem biológica ou hidromórfica, por outro lado, são caracterizadas pela predominância de metais móveis e, por razão $CxMe/Me$ elevada.

Avaliação de anomalias

As considerações principais na avaliação do possível significado econômico de anomalias geoquímicas são : (1) a magnitude dos valores, geralmente expressos como o contraste entre os valores de pico e o teor de fundo; (2) a forma e dimensões da área anômala; (3) o ambiente geológico; e (4) a

medida em que o ambiente local possa ter influenciado o teor de metal e o padrão da anomalia.

Deve ser entretanto enfatizado, que o contraste entre anomalias e teores de fundo, não constituem nada mais que uma orientação preliminar para os primeiros estagios da interpretação. As razões entre teor de cada amostra para o teor de fundo, podem ser uteis na comparação de solos desenvolvidos a partir de materiais diferentes e com teores de fundo diversos. A classificação das anomalias apenas baseada no teor do metal, admite uma correlação válida entre o contraste da anomalia e o teor primário no substrato rochoso, asserção esta que raramente válida.

Como regra geral, em solos residuais, todas as anomalias cujas dimensões são consistentes com a possibilidade de depósitos mensuráveis, devem ser listadas para futuras investigações. Prioridades dependerão geralmente da favorabilidade do ambiente geológico. Deve ser entretanto apreciado que coberturas rasas, mobilidade restrita, e muitos outros fatores podem conduzir a uma intensificação local dos teores de metais e a um desenvolvimento de anomalias relativamente fortes, a partir de fontes litológicas de baixo teor. Ao mesmo tempo, uma variação local no ambiente tal como uma cobertura mais profunda, lixiviação mais intensa, e outros, podem resultar em valores relativamente mais fracos que podem ser relacionados com uma fonte de teor elevado. Consequentemente, considerando que o condicionamento geológico não seja inteiramente desfavorável, mesmo anomalias fracas de dimensões adequadas não devem ser nunca descartadas sem que antes sejam consideradas todas as possibilidades de supressão local dos valores.

Procedimentos gerais para detalhamento

O objetivo do detalhamento, é o de fornecer maiores informações relacionadas a possível significação de anomalias selecionadas e indicar alvos para sondagem ou outros meios de exploração direta de subsuperfície. O primeiro e óbvio passo, é a revisita à área para (1) confirmar a causa e observar em que medida existem condições locais para intensificação local ou supressão de valores anômalos e (2) planejar os trabalhos de detalhamento. Se possível, é de muita utilidade confirmar os valores anômalos no ponto, por meio de testes químicos rápidos de campo. No caso de feições hidromórficas, este procedimento pode ser facilmente realizado através de um estojo de testes rápidos. Em anomalias residuais ou qualquer outro tipo em que o conteúdo de Cu e Me for baixo, este tipo de teste pode fornecer resultados não confiáveis.

A fonte de anomalias laterais deve ser buscada vertente acima ou a montante, de acordo com o mecanismo de dispersão. Anomalias laterais, geralmente não fornecem alvos para sondagem sem trabalhos adicionais. Usualmente um sistema elaborado de detalhamento envolvendo levantamentos geoquímicos de solo, levantamentos geofísicos, geologia de detalhe ou mesmo amostragem por escavações, pode ser necessário antes do estágio de sondagem.

Anomalias sobrejacentes podem ser detalhadas por amostragem

densa, objetivando a definição do eixo da anomalia. Isto pode ser facilitado pela tomada de amostras profundas, na medida em que a intensidade de tais anomalias geralmente cresce com a profundidade. Onde os depósitos minerais contenham metais associados com mobilidades variáveis, uma feição anômala mais acentuada pode ser obtida pela análise das amostras para os constituintes menos móveis. As secções mais promissoras da anomalia podem ser expostas por pocos ou trincheiras ou mesmo decapeamento, até a rocha fresca se possível. Os pocos devem ser descritos e amostrados verticalmente, do mesmo modo que explicado para os estudos orientativos. A distribuição dos teores de metal, pode então auxiliar na indicação da fonte subjacente. Exposições por trincheiras podem ser amostradas por meio de canais, com o mesmo propósito.

Onde a natureza do depósito responsável pela anomalia geoquímica sobrejacente não pode ser facilmente determinada, pode ser bastante útil a execução de um levantamento geofísico, para composição de um quadro, de decisão e seleção de locais para sondagem.

Estudos orientativos em drenagens

Da mesma maneira que exposto para os levantamentos geoquímicos de solos, e em áreas onde não dispõe-se de nenhuma informação acerca de parâmetros que possam auxiliar no dimensionamento de campanhas de amostragens de sedimentos de drenagem ou mesmo águas superficiais, estudos orientativos devem ser executados. Tais estudos orientativos devem quase que rigidamente ater-se a áreas de mesmas características geológicas, geomorfológicas e climáticas que as da área problema.

Alguns critérios de posicionamento de estações de coleta e materiais a amostrar, bem como processamentos das amostras para análise química devem ser observados.

- o espaçamento entre as estações de amostragem em um estudo orientativo em drenagens, deve ser reduzido: cerca de 50 metros entre estações.

- em cada estação, devem ser coletados os mais variados tipos de amostras tais como a fração fina, a fração fina + fração grossa, a fração densa. Tais materiais devem representar localizações diversas dentro do canal de drenagem tais como leito ativo, barras em pontal e marginais, e margens.

- a amostragem, na medida do possível deve ser executada em várias profundidades no mesmo local.

- a análise para cada um dos elementos, a testar como farejador da mineralização buscada, deve ser feita por meio de ataque total e ataques seletivos, com vistas a identificar o modo de ocorrência dos mesmos.

- devem ser individualizadas frações específicas tais como granulométricas, magnéticas, de densidade, etc, para teste de três parâmetros básicos quais sejam, intensificação da anomalia sobre o teor de fundo, persistência da anomalia, homogeneidade da anomalia.

- na medida do possível e dependendo do tipo de mineralização buscada, observações mineralógicas devem ser efetuadas tais como granulometria e morfoscopia dos grãos detríticos, dos minerais originados pelo intemperismo da mineralização e encaixantes.

Um cuidado que deve ser tomado quando se dimensiona e planeja um estudo orientativo, e este lembrete vale para qualquer tipo de estudo orientativo, é que as sub amostras a analisar, crescem geometricamente a partir das amostras originais. Melhor explicando, cada amostra pode gerar uma quantidade muito grande de sub amostras já que diversos testes serão realizados. Assim é recomendável que se tenha um perfeito conhecimento das condições da área a ser testada, estruturando o estudo com a menor quantidade de amostras que permita retirar conclusões válidas. Normalmente e como uma regra muito geral, um estudo orientativo para sedimentos de drenagem não deve ultrapassar as 25 amostras.

Fatores que devem ser avaliados em um estudo orientativo em

Sedimentos	Água
1. Melhores elementos indicadores, incluindo constituintes maiores e menores da mineralização	
2. Material ideal (sedimentos de surgências, de canais de drenagem	Material ideal (água superficiais versus subterranea)
3. Fração ideal (granulometria, densidade, fração orgânica)	Para águas subterraneas, diferenças entre aquíferos, controles do fluxo e disponibilidade de pontos de coleta
4. Ataque mais efetivo ou método de intensificação	
5. Magnitude do contraste na fonte	
6. Dimensões do padrão de decaimento para jusante; controles do padrão de decaimento	
Teores nas barras e margens	pH, Eh, precipitantes, sorventes
7. Teores de fundo dos elementos indicadores, faixa de variação, relação com os litotipos	
Correlação com os óxidos de Fe-Mn e matéria orgânica	relação dos sólidos dissolvidos totais e elementos maiores
8. Métodos analíticos : limites de detecção, precisão, exatidão e forma do elemento	
9. -----	variações sazonais e temporais
10. Custo da amostragem e análise, e tempo de espera para recebimento dos resultados.	

Padrões de amostragem de sedimentos de drenagem

O estabelecimento do padrão de amostragem de uma determinada área a ser coberta por coleta de sedimentos de drenagem, depende tanto do objetivo do levantamento quanto da área máxima para bacias de drenagem que refletem a mineralização.

O objetivo é uma decisão de filosofia do projeto; na medida em que pode ser um reconhecimento, um levantamento de semidetalhe ou um levantamento de detalhe. Tais denominações, da literatura norte americana, tem na literatura francesa os correspondentes de prospecção estratégica (para levantamentos em grandes superfícies) e prospecção tática (para detalhamentos de alvos). No entanto isto será visto com maior detalhe adiante.

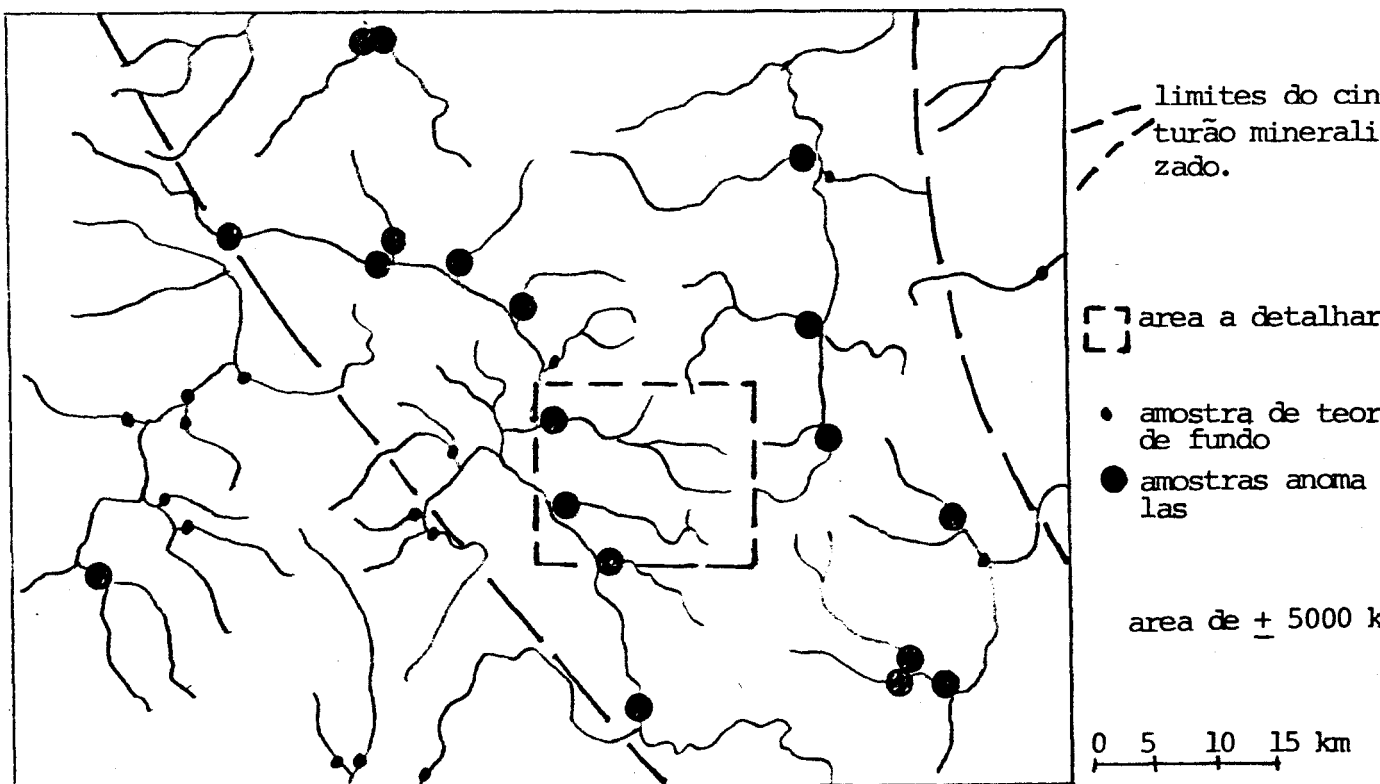
Já a área máxima de bacia, dependerá fundamentalmente dos parâmetros levantados no estudo orientativo ou na falta desse, de informações e conhecimento das condições de mobilidade dos elementos na área em estudo.

De uma maneira muito geral, para depósitos de porte médio, para a maioria dos elementos, a distância do decaimento varia entre 300 e 3000 metros e a área da bacia de drenagem deve variar entre um mínimo de 10 e um máximo de 50 quilômetros quadrados. Já para depósitos de grande porte, a distância de decaimento chega a atingir dezenas de quilômetros, permitindo a amostragem ampla, em bacias que atingem até centenas de quilômetros quadrados.

Como uma regra geral, quanto maior a bacia de drenagem amostrada, maior deverá ser a mineralização buscada.

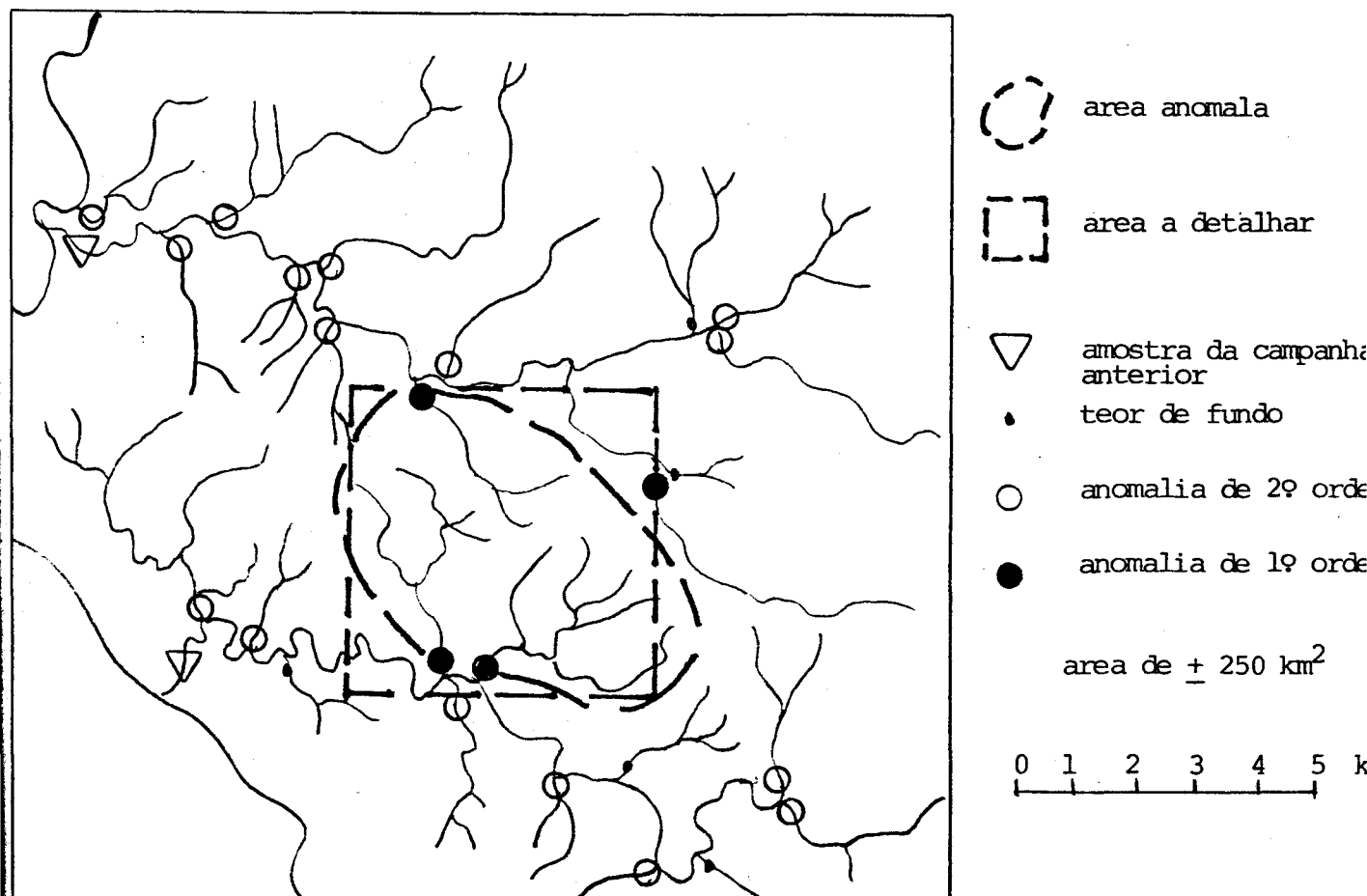
1 amostra/ 100 - 200 km²

Esta é uma densidade de amostragem aplicável a áreas desconhecidas que atingem várias dezenas ou mesmo milhares de quilômetros quadrados. Tem o objetivo principal de delimitar províncias geoquímicas, cinturões mineralizados e feições geológico/geoquímicas regionais, não tendo a capacidade de identificar depósitos minerais individuais. As variações de teor (contraste) são de pequena magnitude. Em virtude da grande representatividade areal de cada amostra, os resultados devem ser avaliados com o máximo cuidado pois pequenas variações na precisão analítica podem produzir anomalias não significativas. São amostradas bacias com cerca de 50 km².



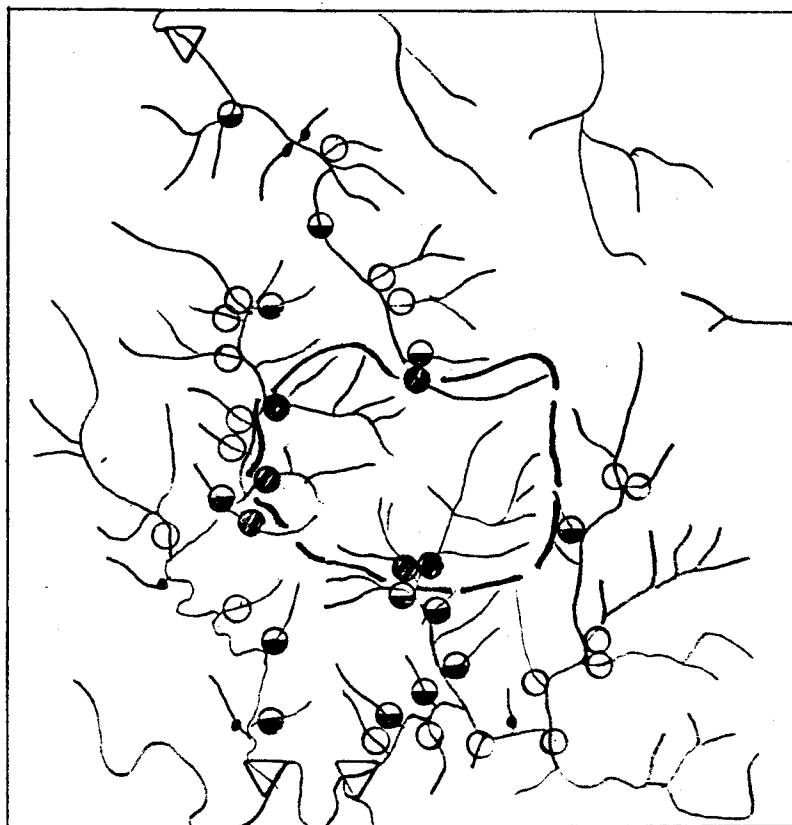
1 amostra / 10 - 20 km²

É uma estrutura de amostragem, utilizada para detalhe ou adensamento em áreas anômalas definidas por amostragens de baixa densidade. Serve como passo inicial para abordagem em áreas onde se imagina existir cinturões mineralizados. Pode, mas não necessariamente reflete depósitos individuais. As áreas das bacias variam entre 5 e 30 km².



1 amostra / 0,5 km²

Este padrão de amostragem, fornece uma cobertura bastante completa da área trabalhada. Fornece informações detalhadas acerca da geologia, localização de áreas mineralizadas e depósitos individuais. A densidade de amostragem é bastante variável, pois abrange bacias menores que 5 km² até espaçamentos constantes de 200 - 50 metros ao longo dos canais de drenagem. É seguida por amostragem de solos.



area anomala



amostra da campanha anterior



teor de fundo



anomalia de 3ª ordem



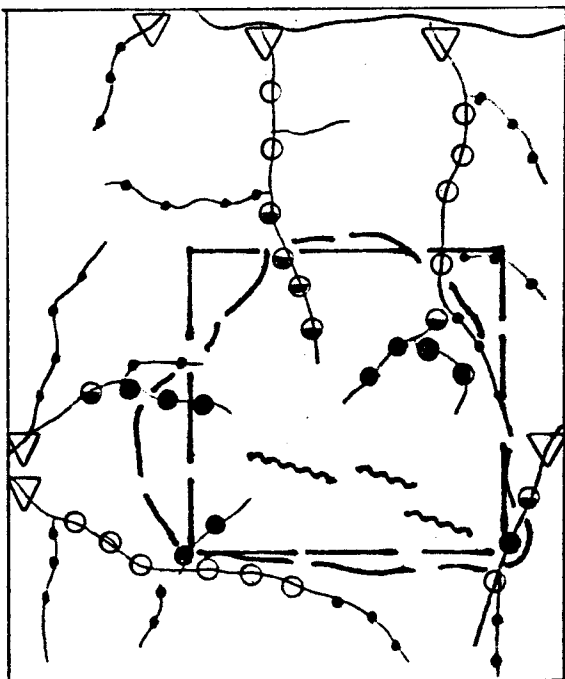
anomalia de 2ª ordem



anomalia de 1ª ordem

area de $\pm 25 \text{ km}^2$

0 1 km



area anomala



area a detalhar com amostragem de solo



mineralização



amostra da campanha anterior



teor de fundo



anomalia de 3ª ordem



anomalia de 2ª ordem

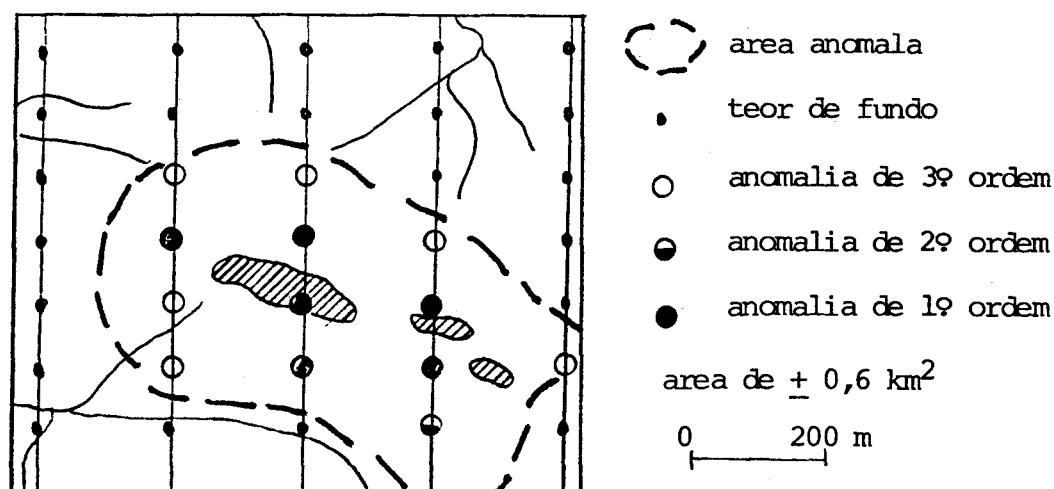


anomalia de 1ª ordem

area de $\pm 2,25 \text{ km}^2$

0 200 400 600 800 1000 metros

amostragem com espaçamento constante $\pm 100 \text{ m}$



amostragem de solos em malha regular 200 x 100

Ja' os soviéticos, encaram os estagios sequenciais na prospecção geoquímica e sua "compleição" da seguinte maneira, como relatado por Beus e Yanishevsky (1965):

I. Estagio de mapeamento geológico de pequena escala

A previsao geoquímica regional e reconhecimentos nas escalas 1:500.000 ou 1:200.000, são efetuados com o proposito de exploração e de delinear as regioes onde devam ser realizados trabalhos mais detalhados e intensivos de prospecção para determinados tipos de minerais.

Os trabalhos geoquímicos neste estagio, incluem o mapeamento geoquímico das litologias e a prospecção por drenagens, do mesmo modo que a prospecção hidrogeoquímica é conduzida simultaneamente com a pesquisa geológica na escala adequada ou na base geológica disponivel.

Mapas de prognostico geológico - geoquímicos são produzidos como resultado do mapeamento geoquímico na escala 1:200.000, determinando a direção racional dos futuros trabalhos na área investigada.

II. Estagio de mapeamento geológico e prospecção na escala de 1:50.000

A previsao geoquímica e prospecção na escala 1:50.000, difere daquelas na escala 1:200.000, por mapeamemntos geoquímicos mais detalhados, efetuados nas litologias, bem como pela organização em areas de prospecção geoquímica sobre as localidades que tenham sido detectadas em trabalhos de pequena escala, com o sentido de descobrir halos de dispersão, primários e secundários.

Nestes casos, a compleição dos métodos de prospecção geoquímica são amplamente determinados pelas condições ne panorama geoquímico da região explorada e particularmente pela razão de areas expostas e as encobertas na região prospectada. Neste estagio, dentro dos limites de areas promissoras, a

prospecção biogeoquímica pode ser conduzida caso as condições do panorama geoquímico impedirem a efetiva aplicação dos métodos litoquímicos.

Em inúmeros casos, é razoável detalhar a prospecção trabalhada em escala de 1:50.000, até a escala de 1:25.000 ou mesmo de 1:10.000 dentro de áreas individualmente promissoras, determinadas enquanto desenvolve-se o prognóstico geoquímico regional para detalhe.

Mapas geológicos - geoquímicos de prognóstico em escalas apropriadas, são o resultado de mapeamento geoquímico na escala 1:50.000, onde os complexos geológicos de rochas sedimentares, magmáticas e metamórficas, são delineados e imaginados como potencialmente promissores pelas características geoquímicas, inerentes, do mesmo modo que as anomalias geoquímicas, incluindo as biogeoquímicas e hidrogeoquímicas, descobertas no curso da prospecção.

III. Estagio de prospecção de detalhe

Os resultados dos trabalhos neste estagio, são os mapas geoquímicos estruturais, na escala de 1:10.000 ou maiores, nos quais todas as anomalias determinadas e as áreas mais promissoras são assinaladas para investigação mais detalhada.

Os ultimos estagios da prospecção detalhada, envolvem a definição e estudos aprofundados acerca das anomalias geoquímicas na escala de 1:2000 ou maiores, em superfície e, caso disponíveis, sondagens e escavações. Neste caso, escavações e sondagens rasas, auxiliarão em muito na avaliação da medida em que a anomalia em estudo, representa a dispersão secundária de um depósito mineral ou de seu halo primário."

A recomendacao das Instrucoes do Ministerio de Geologia da U.R.S.S com relacao aos espacamentos de amostragem para sedimentos de drenagem estao apresentados na Tabela 21.

Escala do levantamento	intervalo amostragem (m)	comprimento minimo das drenagens (km)	nro. de pontos por km linear de drenagem	2 amostras/km
1 : 200.000	800	0,8	1,25	1,7 - 2,1
1 : 100.000	400	0,4	2,5	4,0 - 5,0
1 : 50.000	200	0,2	5,0	8,5 - 14,0
1 : 25.000	100	0,1	10,0	18,0 - 32,0

Tabela 21 - Espacamentos recomendados para amostragem de sedimentos de drenagem. seg. Ministerio de Geologia da U.R.S.S.em Kreiter,1968.

A escola francesa, utiliza simplesmente dois tipos de prospecção : a estrategica e a tatica. Segundo Granier (1973) :

"A prospecção estrategica visa a procura de anomalias em uma determinada região.(...) A prospecção geoquímica estrategica é uma fase da pesquisa preliminar e pode ser empregada sem que o conhecimento geológico da região estudada seja muito profundo.

As prospecções taticas são utilizadas para resolução de

problemas de detalhe. Constituem a fase de definição das anomalias, consecutiva aos trabalhos de prospecção estratégica...". Diz ainda o autor que os termos militares estratégico e tático são empregados de maneira inadequada, mas já tem uso consagrado, e por este motivo parece razoável conservá-los.

Representação gráfica

Existem diversas maneiras de representar graficamente, em mapas, os resultados de levantamentos geoquímicos de sedimentos de drenagem.

No entanto, um fato da maior importância é que deve ser considerado com cuidado quando da confecção de mapas deste tipo, é que uma amostra de sedimento de drenagem é representativa de todos os materiais geológicos abrangidos pela bacia de captação, a montante da estação amostrada. Esta observação, por vezes não obedecida, exige que ao ser tracada a área de influência de uma amostra considerada como anômala, os limites da bacia sejam estritamente obedecidos.

Normalmente a documentação de um levantamento geoquímico de sedimentos de drenagem é composta de mapas de dados e de interpretação, do mesmo modo que já exposto para o caso de solos. Nos mapas de dados, são localizadas as estações de amostragem com sua denominação, e os teores dos elementos analisados em cada amostra. Os mapas de interpretação devem conter informações acerca do relacionamento dos elementos químicos com as unidades geológicas, bem como os critérios e parâmetros estatísticos que serviram de base para a classificação das amostras em anômalas e não anômalas. Abaixo são apresentados alguns tipos de convenções, utilizados na representação gráfica de classes diferentes de teor, em mapas de levantamentos geoquímicos deste tipo.

Outro tipo de convenção, como apresentada na Figura , relaciona por superposição e com diferentes convenções, três elementos analisados Cu, Pb e Zn em um levantamento geoquímico regional realizado pela Companhia Brasileira do Cobre - CBC, em área de 6750 km² do Escudo Sul-riograndense.

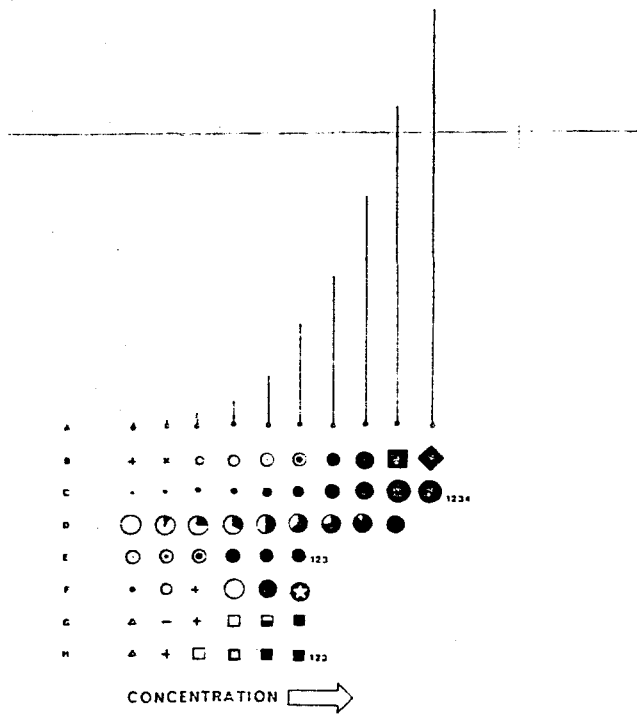


Figura 39 - exemplos de símbolos utilizados em mapas geoquímicos. seg. Howarth, 1983.

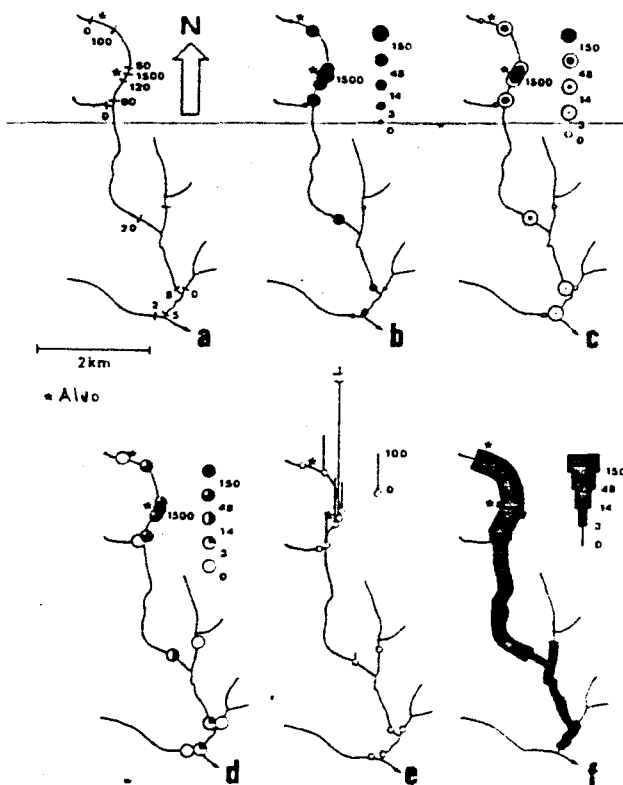
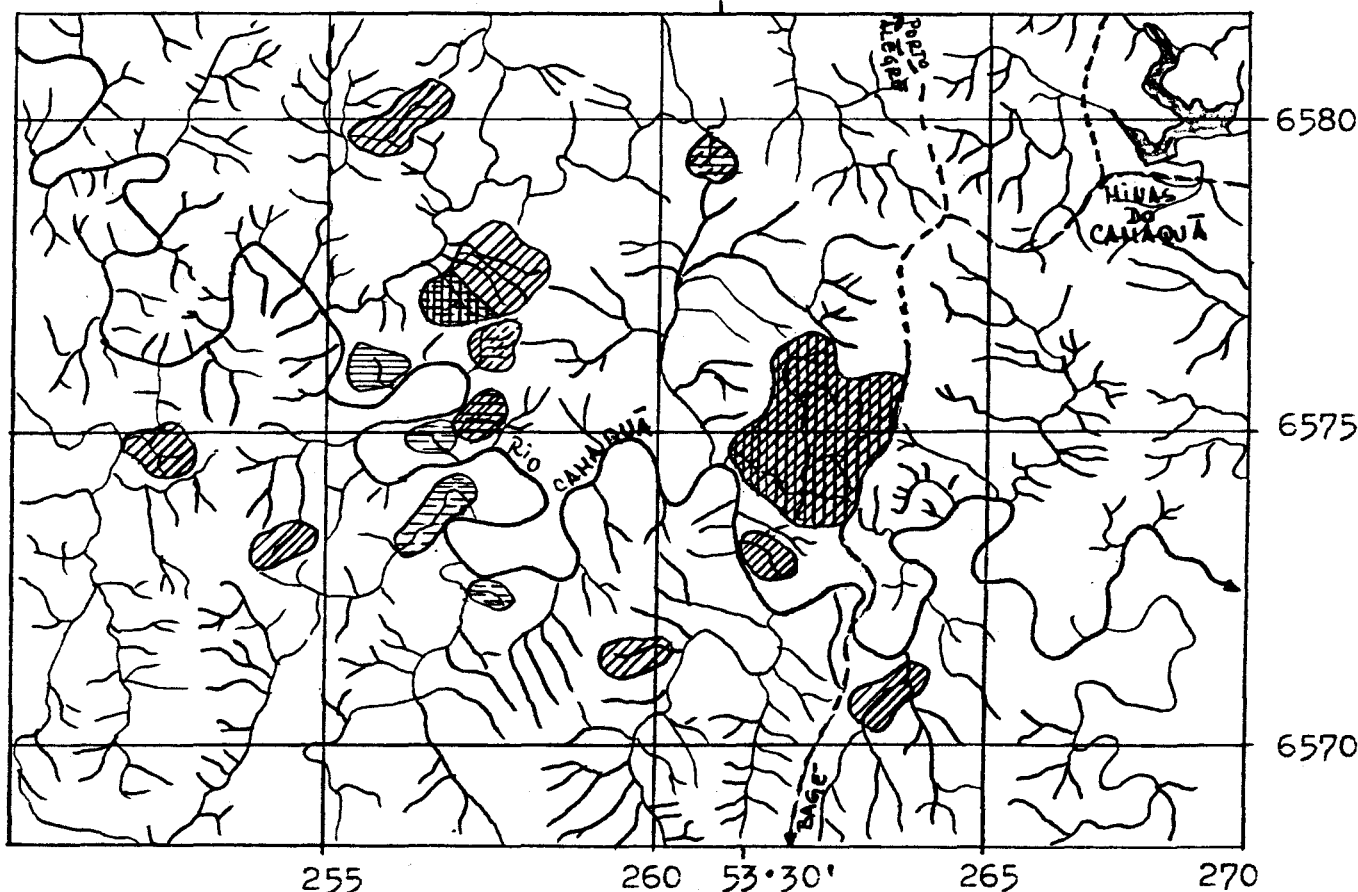


Figura 40 - Exemplos de símbolos: pontual (b-a) e diagrama linear (f) usados em mapas de sedimentos de drenagem e água. seg, Howarth, 1983



Fração de 255 km² de um total de 6750 km² do Projeto Rio Camaquã, Companhia Brasileira do Cobre, R.S. inédito.

Densidade média de amostragem: 1 amostra/km²

Análises na fração -80 mesh, para Cu, Pb, Zn (HClO₄), Absorção Atômica.

Anomalias	Cu	Pb	Zn
1ª Ordem	—		///
2ª Ordem	- - -	- - -	- - -
3ª Ordem	· · ·	· · ·	· · ·

Figura 41 - Exemplo de simbologia utilizada em prospecção geoquímica por sedimentos de drenagem. A anomalia de primeira ordem para Cu e Pb localizada no centro leste da área, representa a Jazida Santa Maria. modif. Feldman e col (1981).

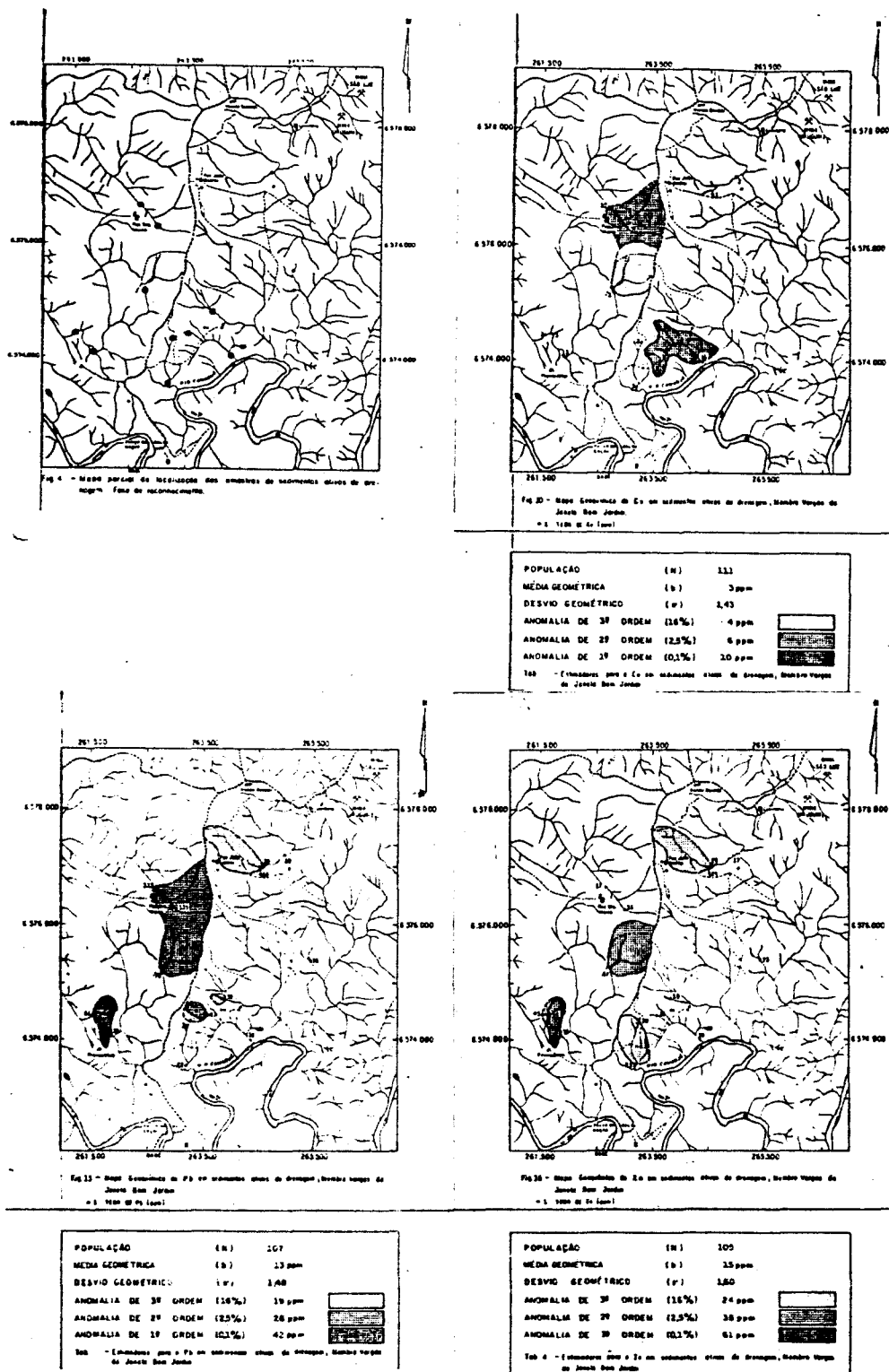


Figura 42 - Detalhe por sedimentos de drenagem da area anomala citada na Figura 41. seg Licht, 1983.

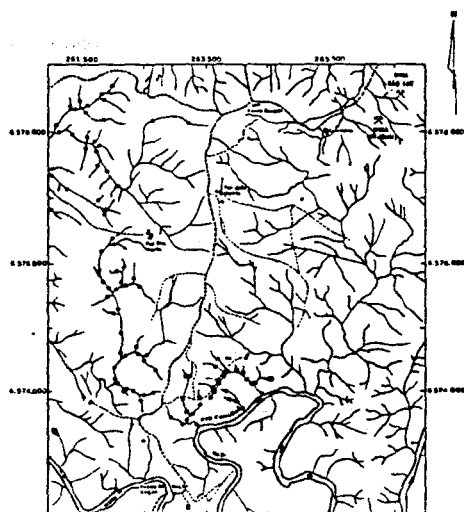


Fig. 11 - Mapa de localização dos sedimentos de drenagem, próximo ao Sítio de São João.

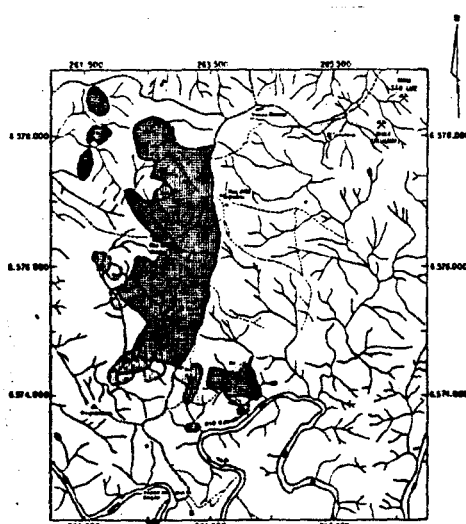


Fig. 22 - Mapa Geométrico de Ca em sedimentos de drenagem, próximo ao Sítio de São João.

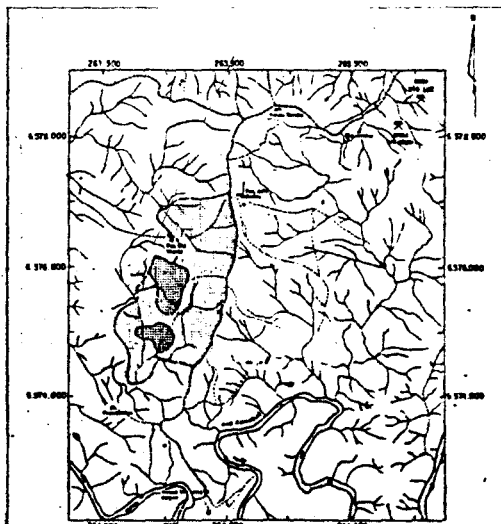


Fig. 23 - Mapa Geométrico de Pb em sedimentos de drenagem, próximo ao Sítio de São João.

POPULAÇÃO	(N)	135
MÉDIA GEOMÉTRICA	($\bar{x}$)	8 ppm
DESVIO GEOMÉTRICO	(s)	1,78
ANOMALIA DE 3ª ORDEM	(16%)	30 ppm
ANOMALIA DE 2ª ORDEM	(2,5%)	2,2 ppm
ANOMALIA DE 1ª ORDEM	(0,1%)	2,4 ppm

Legenda - Exatidão para o Ca em sedimentos de drenagem, próximo ao Sítio de São João.

POPULAÇÃO	(N)	135
MÉDIA GEOMÉTRICA	($\bar{x}$)	20 ppm
DESVIO GEOMÉTRICO	(s)	2,79
ANOMALIA DE 3ª ORDEM	(16%)	70 ppm
ANOMALIA DE 2ª ORDEM	(2,5%)	218 ppm
ANOMALIA DE 1ª ORDEM	(0,1%)	0,08 ppm

Legenda - Exatidão para o Pb em sedimentos de drenagem, próximo ao Sítio de São João.

Figura 43 - A mesma área, detalhada na Figura 42, agora amostrada por sedimentos de drenagem, com espaçamento constante. seg, Licht, 1983.

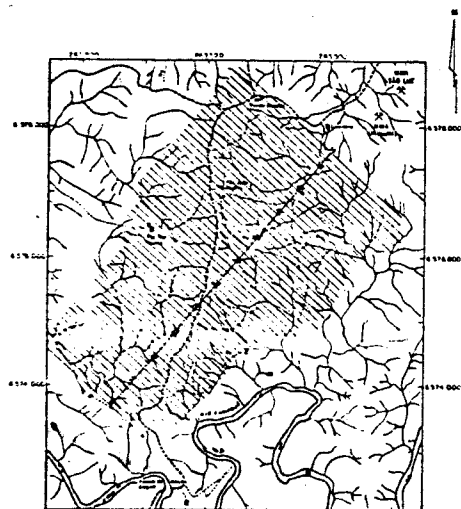


Fig 43 - Mapa locação de malha de amostragem de solos (PEDGEOQUÍMICA)

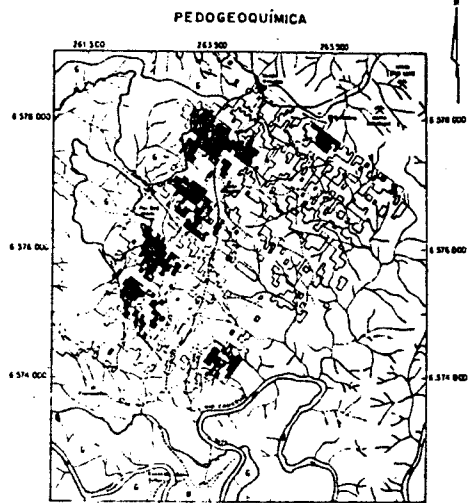


Fig 44 - Mapa locação de malha de amostragem de solos (PEDGEOQUÍMICA)

		Fm GUARITUBA	Mb VARGAS
POPULAÇÃO	(n)	452	7846
MÉDIA GEOMÉTRICA	($\bar{x}$)	30 ppm	8 ppm
DESVIO GEOMÉTRICO	(σ)	12	133
ANOMALIA DE 3º ORDEM	(16%)	18 ppm	10 ppm
ANOMALIA DE 2º ORDEM	(25%)	28 ppm	12 ppm
ANOMALIA DE 1º ORDEM	(50%)	50 ppm	34 ppm

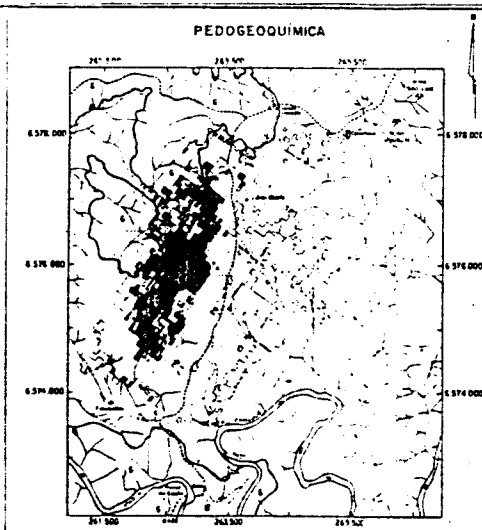


Fig 45 - Mapa locação de malha de amostragem de solos (PEDGEOQUÍMICA)

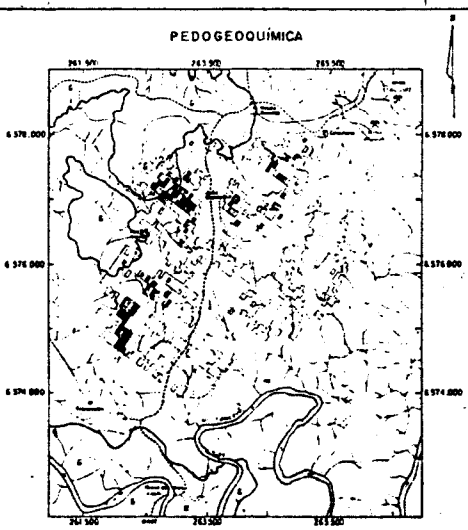


Fig 46 - Mapa locação de malha de amostragem de solos (PEDGEOQUÍMICA)

		Fm GUARITUBA	Mb VARGAS
POPULAÇÃO	(n)	449	2846
MÉDIA GEOMÉTRICA	($\bar{x}$)	18 ppm	29 ppm
DESVIO GEOMÉTRICO	(σ)	1,46	3,71
ANOMALIA DE 3º ORDEM	(16%)	2,6 ppm	50 ppm
ANOMALIA DE 2º ORDEM	(25%)	3,4 ppm	84 ppm
ANOMALIA DE 1º ORDEM	(50%)	5,8 ppm	160 ppm

		Fm GUARITUBA	Mb VARGAS
POPULAÇÃO	(n)	378	2103
MÉDIA GEOMÉTRICA	($\bar{x}$)	37 ppm	70 ppm
DESVIO GEOMÉTRICO	(σ)	13,4	132
ANOMALIA DE 3º ORDEM	(16%)	5,4 ppm	106 ppm
ANOMALIA DE 2º ORDEM	(25%)	8,8 ppm	162 ppm
ANOMALIA DE 1º ORDEM	(50%)	150 ppm	270 ppm

Figura 44 - Detalhamento por geoquímica de solos em malha regular (retangular de 100 x 50 metros) sobre a área anômala de sedimentos de drenagem, mostrada na Figura 43. Tais anomalias de solo, após detalhe por sondagem, mostraram a Jazida Santa Maria, RS. seg, Licht, 1983.

XVIII - PROSPECCAO GEOBOTANICA - breves informacoes

Ja' de ha' muitos anos é pesquisado o relacionamento e influências entre especies vegetais individuais e em grupo e os corpos de minério. Tais relações, mostram que se por um lado existem em determinadas regioes do globo, especies ou grupos de especies vegetais indicadoras inequivocas de determinados tipos de mineralização, por outro apresentam a prospeccão por este tipo de material, de dificil condução por geólogos ou geoquímicos não especializados em morfologia vegetal, e mesmo nas assembleias de especies caracteristicas de determinada região e suas ,modificações quando associadas a depósitos minerais.

Alguns elementos químicos são essenciais para o perfeito desenvolvimento de especies vegetais em geral. Tais elementos de acordo com sua abundancia média, são denominados de macronutrientes e de micronutrientes. A falta ou escassez de alguns deles, pode influenciar negativamente o desenvolvimento sadio dos vegetais. Por outro lado, e sob certas condições, elementos químicos podem se presentes, reduzir as taxas de crescimento de especies vegetais. Abaixo, a Tabela 22 ,mostra os elementos micronutrientes e os macro nutrientes e os que possuem a capacidade de toxidez para os vegetais.

Elementos essenciais para o crescimento		Elementos que sob certas condições reduzem a taxa de crescimento		
		Toxidez		
Macronut.	Micronut.	Muito	Moderad.	Fracamente
Hidrogênio	Ferro	Prata	Fluor	Bromo
Oxigênio	Cobre	Berílio	Enxofre	Cloro
Nitrogênio	Manganês	Cobre	Arsênio	Iodo
Fósforo	Zinco	Mercúrio	Boro	Germanio
Enxofre	Boro	Estanho	Bromo	Nitrogênio
Cloro	Molibdênio	Cobalto	Cloro	Fósforo
Carbono	e outros	Níquel	Manganês	Enxofre
Potássio		Chumbo	Molibdênio	Silício
Cálcio		e outros	Antimônio	Titânio
Magnésio			Selênio	Cálcio
			Telúrio	Césio
			Vanádio	Potássio
			Tungstênio	Lítio
			e outros	Magnésio
				Rubídio
				Estrôncio

Tabela 22 - Elementos químicos encontrados nas plantas.
seg Fortescue (1971) e Bowen (1966).

Feições uteis dos vegetais, na prospeccão mineral

1. Distribuição de especies indicadoras de certos tipos de depósitos, individualmente. Algumas destas especies estão alinhadas na Tabela 23 .Delas a mais famosa é o Astragalus sp. guia preciso das mineralizações de U - Se no Plato do Colorado,E.U.A..

Violeta Calamina	Distrito Zn da Europa Central e Ocidental
Astragalus sp.	Se - U no Plato do Colorado, USA
Flor do cobre : Becium	Cu - Copperbelt da Zâmbia
homblei de Wild	
Kachin : Gypsophila	Cu - Rudny Altay na Asia Central
Patrini	
Papoula da Califórnia	Cu - San Manuel, Arizona, USA
Aroeirinha	Cu - Rio Grande do Sul,Brasil

Tabela 23 - Espécies vegetais indicadoras de mineralizações.
modif. Rose, Hawkes e Webb (1979).

2.Distribuição de grupos ou comunidades indicadoras. Um exemplo deste tipo de feição é a vegetação rala e deformada sobre serpentinitos. Isto é ocasionado pelos teores elevados de Co, Ni e Cr, pela deficiência de K, e pelas coberturas residuais argilosas e mal drenadas, características de rochas ultramaficas.

3.Feições morfológicas nas plantas, tais como tamanho , deformidades ou colorações incomuns. Pode acontecer a clorose das folhas (perda da coloração verde), frutos anormais, raquitismo ou gigantismo, modificações na cor das flores, e modificações no ritmo de crescimento.Um exemplo destas modificações éo da "aroeirinha" cujo relacionamento com ocorrências de cobre no Escudo Sul-riograndense tem sido estudado ha' muito tempo. Esta especie de Anacardiacea normalmente apresenta um porte arbustivo de cerca de 3,5 metros de altura, folhas flexiveis,verde escuro na parte superior e verde prateado na face inferior. Ao crescer sobre ocorrências cupriferas, reduz bastante seu porte, seus ramos tornam-se retorcidos e as folhas adquirem consistência coriacea (Cunha,M.C. com.verbal) .

4. As feições e aspectos acima, detectaveis por fotografias aereas ou imagens ou qualquer outra tecnica de sensoriamento remoto.

* A geologia difere das outras ciências experimentais na medida em que a maioria dos dados geológicos são fragmentários e derivados de manifestações superficiais de processos naturais fora do controle do investigador. Quando um geólogo inspeciona um local particular da Terra, ele depara-se com uma situação singular desenvolvida por longo tempo e por uma quantidade de processos, maior que ele possa considerar. Ele não pode apagar os processos naturais que produziram aquele ambiente e substituí-los por uma experimentação de laboratório, mais simples e sob seu controle. Também não pode ele observar os processos naturais, a maioria dos quais já encerrada e seus resultados fixados. Além disso, ele verifica que os processos naturais, atuaram no sentido de destruir ou remover parte das evidências, e a maioria das evidências remanescentes, permanece inacessível e profundamente soterrada, enquanto que os afloramentos, superficiais, estão contaminados por água, clima e trabalhos de natureza humana.

Koch e Link (1970)

A amostragem

No decorrer dos trabalhos de exploração geoquímica, necessitamos através da coleta de frações de determinados materiais, representar uma situação global. Tais amostras devem ser representativas daquele parametro buscado no trabalho, visto que normalmente os universos são compostos por muitos milhares ou mesmo milhões de dados, sendo difícil sua coleta e manipulação. A representatividade da amostragem relativamente ao universo original, é testada através de métodos estatísticos.

No entanto, e dada a natureza dos trabalhos de exploração geoquímica, a amostragem e os métodos analíticos, devem sacrificar a precisão em favor da velocidade. A primeira consequência deste fato, é que resultados isoladamente, pouco representam, já que devem fazer parte e ser considerados como componentes de um grupo amostral tão homogêneo e numeroso quanto possível. Deste modo, em todo e qualquer tipo de fenômeno, as imprecisões individuais são gradativamente atenuadas, quando a abordagem refere-se a amostragens cada vez maiores e mais abrangentes.

A observação

Em princípio, todo e qualquer fenômeno geológico pode ser representado por uma expressão numérica. Esta expressão pode ser obtida de várias maneiras, incluindo medição, contagem ou qualificação. A expressão tanto pode ser um número simples definindo como por exemplo o teor de cobre em um bloco de minério, o número de grãos de zircão em uma lamina delgada, ou por uma série de números designando como vetor, o plunge de uma estrutura. Assim independente de sua origem, a expressão

numérica é denominada de observação. Esta, quando representada por um número simples, é chamada de observação univariável. Observações multivariáveis são aquelas representadas por mais de um número.

Dados discretos e dados contínuos

Dados discretos são aqueles obtidos por contagem, como por exemplo o número de edifícios com mais de três andares em cada bairro de uma cidade, ou o número de ocorrências de determinado mineral nos vários níveis de uma mina subterrânea. Já as distribuições contínuas, são aquelas observações derivadas de medidas, podendo variar entre determinados limites, assumindo qualquer valor. Os teores de quaisquer elementos químicos em uma amostragem é um excelente exemplo de dados de distribuição contínua.

Medidas de tendência central e de dispersão

Um grupo de dados contínuos, pode ser caracterizado por um valor aproximadamente central, ao redor do qual os outros valores se agrupam, e pela medida da dispersão ou afastamento relativo entre eles.

A medida de tendência central mais comumente utilizada é a média ($\bar{x}$), que é obtida pela divisão do somatório do valor de todas as observações, pela quantidade de observações:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i / N$$

Este valor médio, é uma estimativa da média real do universo de onde foi retirada a amostra.

Outras medidas usadas menos comumente, são a mediana e a moda. A mediana separa a amostragem em duas metades absolutamente iguais. Já a moda é o valor ou classe de valores mais abundante em relação aos valores imediatamente adjacentes. Quando os valores dispersam-se de maneira simétrica em torno do valor ou classe de valores de frequência mais elevada, a média, a mediana e a moda se equivalem. No caso de distribuições assimétricas ou desviadas, isto não acontece.

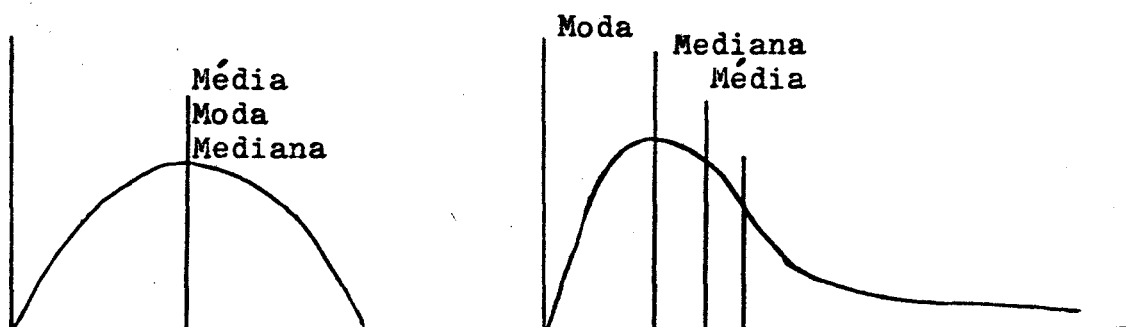


Figura 45 - A distribuição simétrica e a distribuição assimétrica

A dispersão dos valores em torno da média, é geralmente avaliado como a diferença média quadrática em relação a média, ² uma medida chamada de variancia (s):

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}$$

A medida mais comumente utilizada para quantificar a dispersão é o desvio padrão (s), obtido pela raiz quadrada da variancia :

$$s = \sqrt{s^2}$$

A amplitude das observações da amostra ($x_{\max} - x_{\min}$) possui interesse mais empirico, sendo utilizada apenas qualitativamente em exploração geoquímica.

Probabilidade

Para entendermos como encara-se em estatística as probabilidades da média das amostras ($\bar{x}$) estar próximo da média do universo (μ), consideremos um universo pequeno de 5 resultados de exames. Suponha que alguém tire duas amostras dos resultados para análise. (na pratica, um universo tao pequeno como este não seria viavel estatisticamente, entretanto veremos que apresenta inegaveis vantagens didaticas).

Os resultados dos exames foram 4, 5, 6, 7 e 8. A média deste universo é 6. O que aconteceu se os resultados forem aleatoriamente escolhidos e se determinarmos sua média $\bar{x}$? Qual a probabilidade da média das amostras ser também 6, portanto igual à média do universo?

Para responder a estas questões, examine todas as possíveis amostras de 2 resultados que podem ser tiradas de um universo de 5 dados e em seguida examine a média das amostras para cada possibilidade. Todas as possibilidades de 2 amostras de exames estão contidas na Tabela 24 , junto com as respectivas medias.

O método de escolha para os resultados do exame aleatorio, pode ser visualizado da seguinte maneira : coloque cada resultado (4, 5, 6, 7 e 8) num pedaco de papel, coloque-os em uma urna, misture-os bem e sorteie-os. Devolva o papel sorteado, mexa de novo e faça novo sorteio:

Todas as amostras possiveis de 2 ele- mentos	- Valor da media de cada amostra	Identificação da media ($\bar{x}$)
--	-------------------------------------	---

4 e 4	4,0	$\bar{x}_1$
4 e 5	4,5	$\bar{x}_2$
4 e 6	5,0	$\bar{x}_3$
4 e 7	5,5	$\bar{x}_4$
4 e 8	6,0	$\bar{x}_5$
5 e 4	4,5	$\bar{x}_6$
5 e 5	5,0	$\bar{x}_7$
5 e 6	5,5	$\bar{x}_8$
5 e 7	6,0	$\bar{x}_9$
5 e 8	6,5	$\bar{x}_{10}$
6 e 4	5,0	$\bar{x}_{11}$
6 e 5	5,5	$\bar{x}_{12}$
6 e 6	6,0	$\bar{x}_{13}$
6 e 7	6,5	$\bar{x}_{14}$
6 e 8	7,0	$\bar{x}_{15}$
7 e 4	5,5	$\bar{x}_{16}$
7 e 5	6,0	$\bar{x}_{17}$
7 e 6	6,5	$\bar{x}_{18}$
7 e 7	7,0	$\bar{x}_{19}$
7 e 8	7,5	$\bar{x}_{20}$
8 e 4	6,0	$\bar{x}_{21}$
8 e 5	6,5	$\bar{x}_{22}$
8 e 6	7,0	$\bar{x}_{23}$
8 e 7	7,5	$\bar{x}_{24}$
8 e 8	8,0	

Tabela 24 - Todas as medias possiveis de dois elementos sorteados.

Em situações reais, só se sabe um destes resultados. Escolher-se-ia uma amostra, tirar-se-ia a média da amostra, e a partir desta tentar-se-ia deduzir ou calcular a média do universo. Agora observe os valores da média das amostras; a média do universo é 6. Qual a probabilidade de sortear um $\bar{x}$ igual a 6?

A Figura 46, mostra como varia a média das amostras, os $\bar{x}$, ao se colocar cada valor medio em seu lugar:

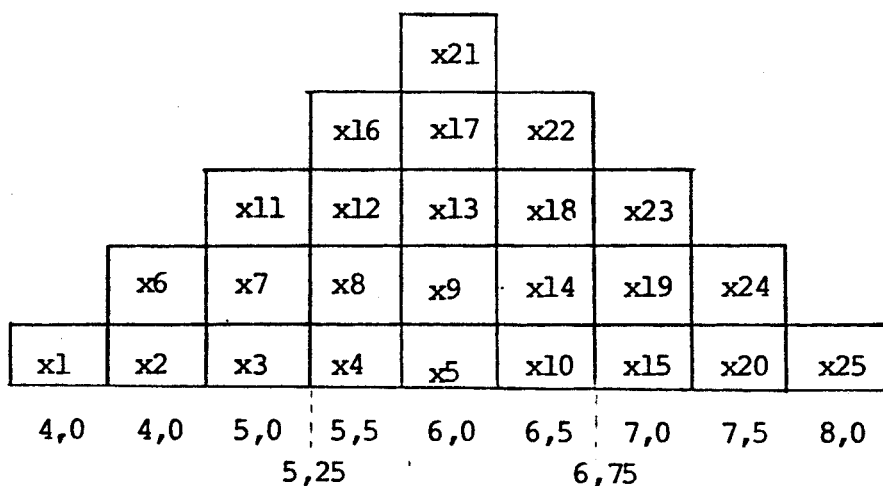


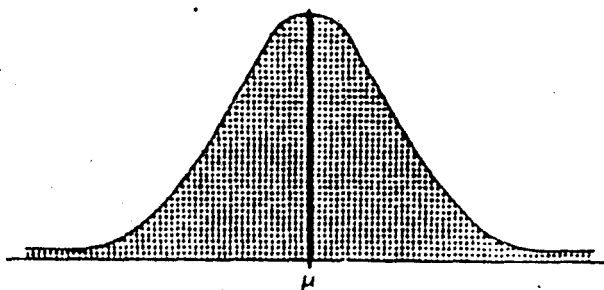
Figura 46 - Medias das amostras sorteadas na Tabela 24

Neste quadro, existe um rotulo medio no interior de cada quadrado. Os quadrados estão superpostos de acordo com o valor da média que contem. Este quadro representa as probabilidades, ao se tomar uma amostra ao acaso, de que sua média seja igual à média do universo, que neste caso é igual a 6. Cinco medias das

amostras ($\bar{x}_{21}$, $\bar{x}_{17}$, $\bar{x}_{13}$, $\bar{x}_9$, $\bar{x}_5$) nos quadrados localizados na coluna do centro, possuem a média de seis. Na verdade, a escolha mais provavel que se faça é de uma amostra com a média de seis. Para universos grandes ($N > 100$) e amostras grandes ($n > 30$), a regra geral é :o valor mais provavel de $\bar{x}$ é a média do universo.

As areas relativas dos quadrados, ilustram as probabilidades de uma amostra tirada ao acaso ter um $\bar{x}$ igual a 6. Existem 25 quadrados e 5 deles contem a média 6, portanto as probabilidades são a razão dos quadrados sombreados, em relação a área total de todos os quadrados, $5/25$ ou 20%. Este quadro mostra também a probabilidade de se obter valores de $\bar{x}$ que estejam proximos de μ . As probabilidades de se tirar uma amostra ao acaso cujo $\bar{x}$ seja de $6 \pm 0,75$ (ou seja um valor de $\bar{x}$, situado entre 5,25 e 6,75), pode ser determinado, contando-se os quadrados contendo os x entre 5,25 e 6,75, dividindo-os pelo número total de quadrados. No caso em questão, as probabilidades são de $13/25$ ou de 52% .

Considere agora o que aconteceria ao nosso quadro, se o número de elementos do universo aumentasse de 5 para 100, e o tamanho da amostra de 2 para 30. Ordenando todas as medias das amostras dentro do quadro, teriamos algo parecido com o seguinte comportamento :



A medida que os quadrados se tornarem cada vez menores (e seriam bem pequenos neste caso , pois com $N=100$ e $n=30$, existirão 60 quadrados), as extremidades do quadro, alinham-se para tomar a forma classica da curva intitulada de Curva Normal ou de Gauss.

A partir da área sob a curva, da média das amostras e do desvio padrão da média das amostras, podemos inferir a respeito da média do universo, com razoavel seguranca. O fato da média das amostras sempre acompanhar este comportamento normal (para amostras e universos grandes) permite que se facam prognosticos

Primeiro examine a curva normal e observe que ela foi repartida em quatro secções, cada uma delas separada por S . A área sombreada inclui todas as médias das amostras cujos valores se situam entre $\bar{x}+1s$ e $\bar{x}-1s$.

A proporção desta área em relação ao total é de 68,26%. Sempre que se escolhe uma amostra de um universo, existe uma probabilidade de 68,26% de que a média da amostra esteja dentro da faixa de $\pm 1s$ da média do universo. Outra maneira de dizer isto, é que pode-se ter 68,26% de certeza de que a média do universo situa-se em algum lugar da faixa estabelecida pela média das amostras mais ou menos $1s$.

Encarando-se de outra maneira, a probabilidade de sortear um x fora da área sombreada é de $(100 - 68,28)\%$, o que dá aproximadamente 32%. Se a decisão de escolha envolver somente o limite superior de $+1s$, então teremos uma probabilidade de 16% de sortear um x maior que $x+1s$, como pode ser observado à Figura 47 abaixo. Adicionalmente, valores maiores que $x+2s$ e $x+3s$, tem probabilidade de ocorrer em apenas 2,5% e 0,1% dos casos, respectivamente. Isto significa que valores elevados de x , apresentam poucas probabilidades de ocorrência ou de emergência.

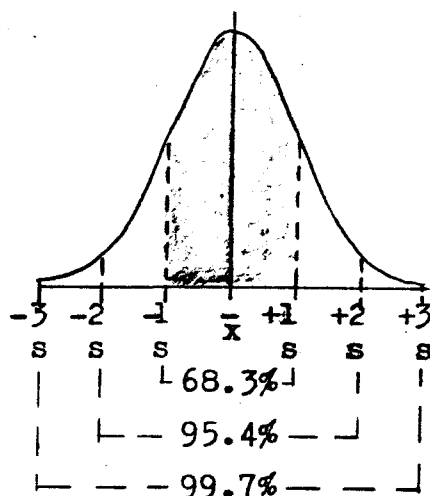


Figura 47 - Áreas sob a curva normal representadas em termos de media mais desvio padrao, e proporcao(%) com relacao a area total.

As distribuições normal e log-normal

A distribuição normal de um grupo de dados, gera uma curva simétrica, em forma de sino, ou curva de Gauss ou ainda gaussiana. A distribuição dos dados naturais, raramente obedece rigidamente o modelo gaussiano, porém dele se aproxima bastante, seja através dos valores brutos seja através dos mesmos, transformados a seus logaritmos. Assim podemos definir a distribuição log-normal como a distribuição normal dos logaritmos dos teores (Koch e Link, 1970). Esta é a mais aplicável a resultados de levantamentos geoquímicos (Ahrens, 1957). Muitos dos fenômenos naturais ou econômicos podem ser expressos por um valor entre zero e infinito, representado por uma curva

assimétrica. Se ao invés de seus valores reais, plotarmos nas abcissas, seus logaritmos, esta curva de frequência assume uma forma simétrica, ou quase, típica da distribuição normal. Isto acontece quando um fenómeno é sujeito a um efeito multiplicativo, como é o caso do teor dos elementos traço em rochas, ou a granulometria de amostras de rochas sedimentares, dentre outros (Lepeltier, 1969).

Assim, na grande maioria dos casos, as curvas de frequência dos dados analíticos obtidos em prospecção geoquímica, apontam para uma distribuição teórica normal ou log-normal, ou seja transformável em normal através dos logaritmos dos teores.

Histogramas

Histogramas constituem uma representação gráfica útil e usual de grupos de dados numéricos. Fornecem informações visuais acerca da amplitude dos valores do grupo de dados, a classe de valores com maior frequência, e em alguns casos, permite que se façam estimativas entre valores anômalos e o teor de fundo. No entanto, para que obtenhamos uma representação gráfica honesta, devemos dedicar certa atenção ao cálculo dos intervalos de classe em que será dividido o grupo de dados, pela aplicação de certas regras simples.

- a quantidade de intervalos de classe deve se situar entre 9 e 19;

- a amplitude dos intervalos deve ser constante.

Estes dois axiomas, são obtidos pela sugestão de Sinclair (1983), de ser utilizado uma fração do desvio padrão (um quarto ou metade do mesmo) como amplitude do intervalo de classe. As vantagens de aplicação deste método, residem principalmente, tanto na boa quantidade de intervalos de classe gerados quanto na facilidade para aplicação de testes de aderência de distribuição, como por exemplo o qui-quadrado, em distribuições unimodais. Teremos assim um número suficiente de intervalos de classe com amplitude constante, para construção dos gráficos que serão utilizados no processo de interpretação de nosso grupo de dados.

No entanto e como para a utilização do método acima, devemos manipular os dados para obtenção do desvio padrão, existem regras práticas e de grande utilidade como :

- a fórmula de Sturges para cálculo do número de intervalos, considera como fundamental, o tamanho da amostra, ou melhor o número de observações, assim :

$$k = 1 + 3,3 (\log_{10} N)$$

onde k é o número de intervalos de classe e
N é o número de observações

Para definição da amplitude dos intervalos de classe, podemos utilizar uma regra simples apresentada por Lepeltier (1969) :

$$\text{para distrib. log - normais} \quad \text{amplit. interv.} = \frac{\log_{10} T - \log_{10} t}{k}$$

e

$$(T / t)$$

para distrib.
normais

$$\text{amplit. interv.} = \frac{\text{-----}}{k}$$

Nas duas formulas acima, k é obtido da regra de Sturges, T é o valor mais elevado da nossa amostragem e t o mais baixo.

Na construção dos histogramas, deve ser observado o cuidado de utilização na ordenada, de uma escala de frequência percentual, de modo a permitir que se facam comparações entre histogramas de diferentes elementos químicos em uma mesma amostragem, e mesmo de mesmos elementos em amostragens em areas diferentes. Para maior clareza, devem ser registrados junto do histograma, a média, o desvio, e a quantidade de dados da amostragem.

Na grande maioria dos casos de exploração geoquímica, a simples utilização da média, seja geometrica (pela transformação dos teores a seus logaritmos) seja aritmetica, e do desvio padrão na definição do teor de fundo e dos limiares de anomalia, é no minimo uma simplificação excessiva, que pode causar problemas serios de "apagamento" de anomalias sutis, ou mesmo de surgimento de anomalias não significativas. Isto pode acontecer quando não dispomos de informações (as quais podem ser facilmente obtidas, como veremos a seguir) acerca da estrutura da distribuição dos dados com os quais estamos trabalhando. Do mesmo modo, Sinclair (1973) observa que "... não existe nenhuma razão sacrossanta, para que consideremos os limites de $x+s$, $x+2s$, e $x+3s$ como os limiares das anomalias."

Tais problemas podem ser significativamente minimizados, pela utilização dos gráficos de probabilidade, na análise dos dados de campanhas de exploração geoquímica.

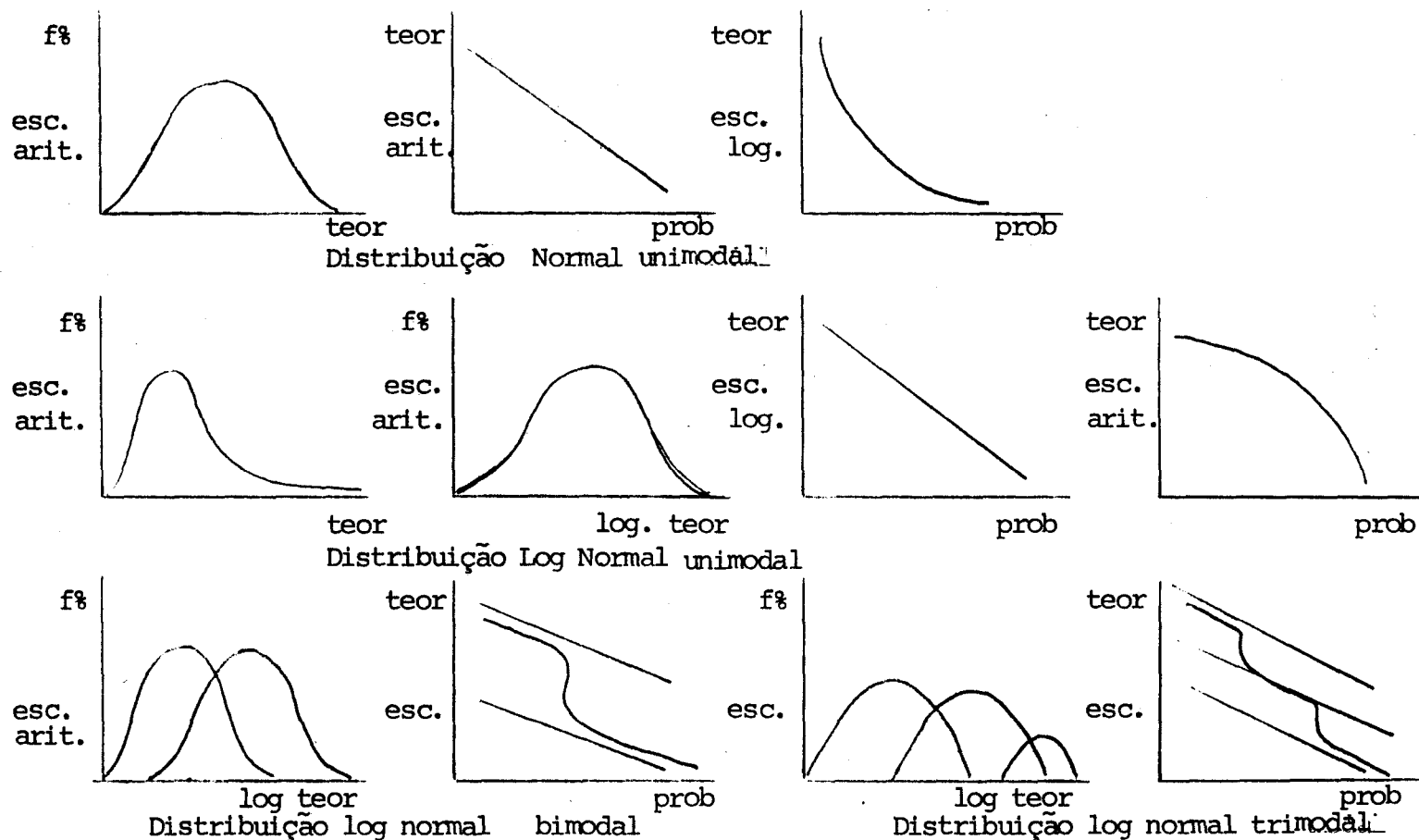


Fig 48 - Curvas de frequência e gráficos de probabilidade hipotéticos, demonstrando as características das distribuições normal e log-normal.

Os gráficos de probabilidade constituem-se em ferramentas da maior utilidade, de facil construção e de resultados confiáveis na interpretação de dados geoquímicos. Destacam-se na bibliografia, alguns autores que se dedicaram a este tipo de abordagem grafica como Tennant e White (1959), Lepeltier (1969), Bølviken (1971), Parslow (1974) e Sinclair (1974, 1976, e 1981).

Construção

O papel de probabilidade é construido de tal forma que dispõe de uma escala logaritmica ou aritmetica na ordenada, e uma escala de probabilidade na abcissa (Figuras). A escala de probabilidade é na verdade uma escala logaritmica, particular, simetrica em torno do percentil 50, de modo que uma distribuição unimodal sera plotada como uma linha reta. Este tipo de gráfico, é especialmente sensível a desvios de normalidade, e no reconhecimento e identificação de populações combinadas ou polimodais. Por sua simplicidade, como veremos este método tem a vantagem de poder ser utilizado na propria base de campo, com o uso de uma simples maquina de calcular.

A massa de dados geoquímicos, apos sua divisao em intervalos de classe adequados, é tabulada, calculando-se a frequência percentual em cada classe, relativamente ao número total de amostras. O passo seguinte é a acumulação das frequências percentuais. Esta deve ser feita das classes de teores mais elevados, em direção às classes de teores mais baixos. Esta acumulação invertida se deve ao fato de que o que nos importa em exploração geoquímica, são os valores elevados (as anomalias) e a escala de probabilidade, por construção tende ao infinito, não permitindo que seja plotada a classe com frequência acumulada de 100%. Sabemos ainda que a confiabilidade nos valores baixos é reduzida, em vista da proximidade com os limites de detecção dos métodos analíticos.

Sao entao, no gráfico de probabilidade, plotados ponto a ponto, as frequências acumuladas contra o limite inferior do intervalo de classe respectivo. Apos a plotagem de todos os pontos, estes devem ser unidos por meio de uma linha reta ou curva suave, dependendo da estruturação dos mesmos .

Uma distribuição unimodal, normal ou log-normal, desenvolverá uma reta no papel aritmetico x probabilidade ou logaritmico x probabilidade, respectivamente. Como consequência e por definição, uma distribuição log-normal dividida em intervalos logaritmicos, ou entao com seus dados transformados a logaritmos, desenvolverá uma reta em uma papel aritmetico x probabilidade. (Figura 48).

Ja' distribuições misturadas, como por exemplo uma amostragem que inclua um veio mineralizados e suas encaixantes estereis, mostrara um tracado "sigmático" (Parslow, 1974) no caso bimodal, ou ainda mais complexo, a medida que aumentarem o número de modas na mistura (Figura 48). Adiante, veremos como individualiza-las segundo a tecnica apresentada por Sinclair (1976).

A decisao de tracado de uma reta - distribuição unimodal - é auxiliada pela utilização do gráfico apresentado à Figura 49, que fornece os limites de confiança no nível de 0,05 (95% de

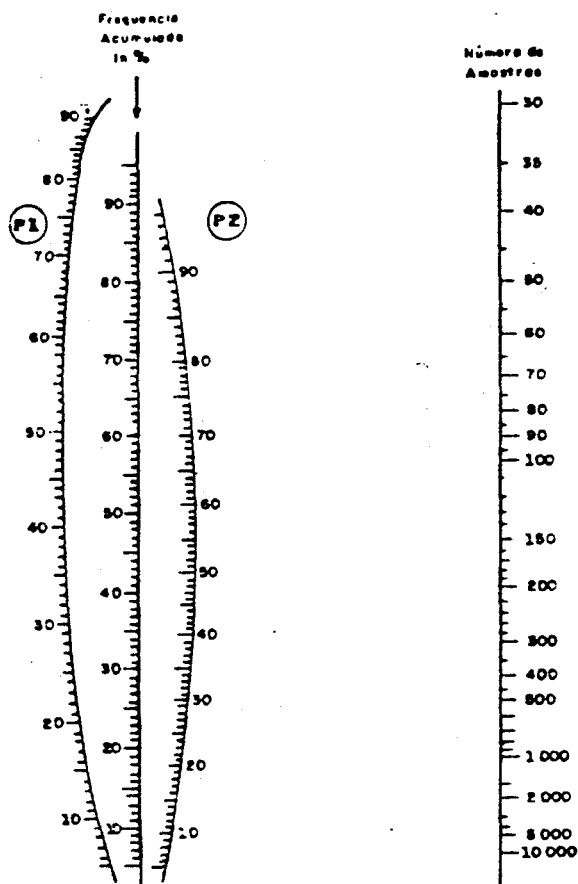


Figura 49 - Gráfico para tracado dos limites de confiança no gráfico de probabilidade, seg Liorzou em Lepeltier, 1969.

probabilidade). No referido gráfico, a coluna da direita - número de amostras - representa a quantidade de dados analíticos de nossa amostragem. Deve ser unido o ponto desta coluna, por meio de uma reta, aos pontos de frequência acumulada da coluna do centro, à esquerda. Sobre a reta assim definida, leem-se os valores de P1 e P2. Deste modo na reta tracada no gráfico de probabilidade, teremos dois pontos P1 e P2 para cada ordenada. Assim procedendo, obteremos duas linhas de pontos, um acima e outro abaixo da reta suposta como verdadeira no gráfico de probabilidade. Caso os pontos originais de frequência acumulada localizarem-se no interior do canal formado pelas linhas de P1 e P2, nossa suposição é correta e a distribuição dos dados é unimodal, caso contrário, ou a reta suposta esta mal tracada, ou a distribuição não é unimodal.

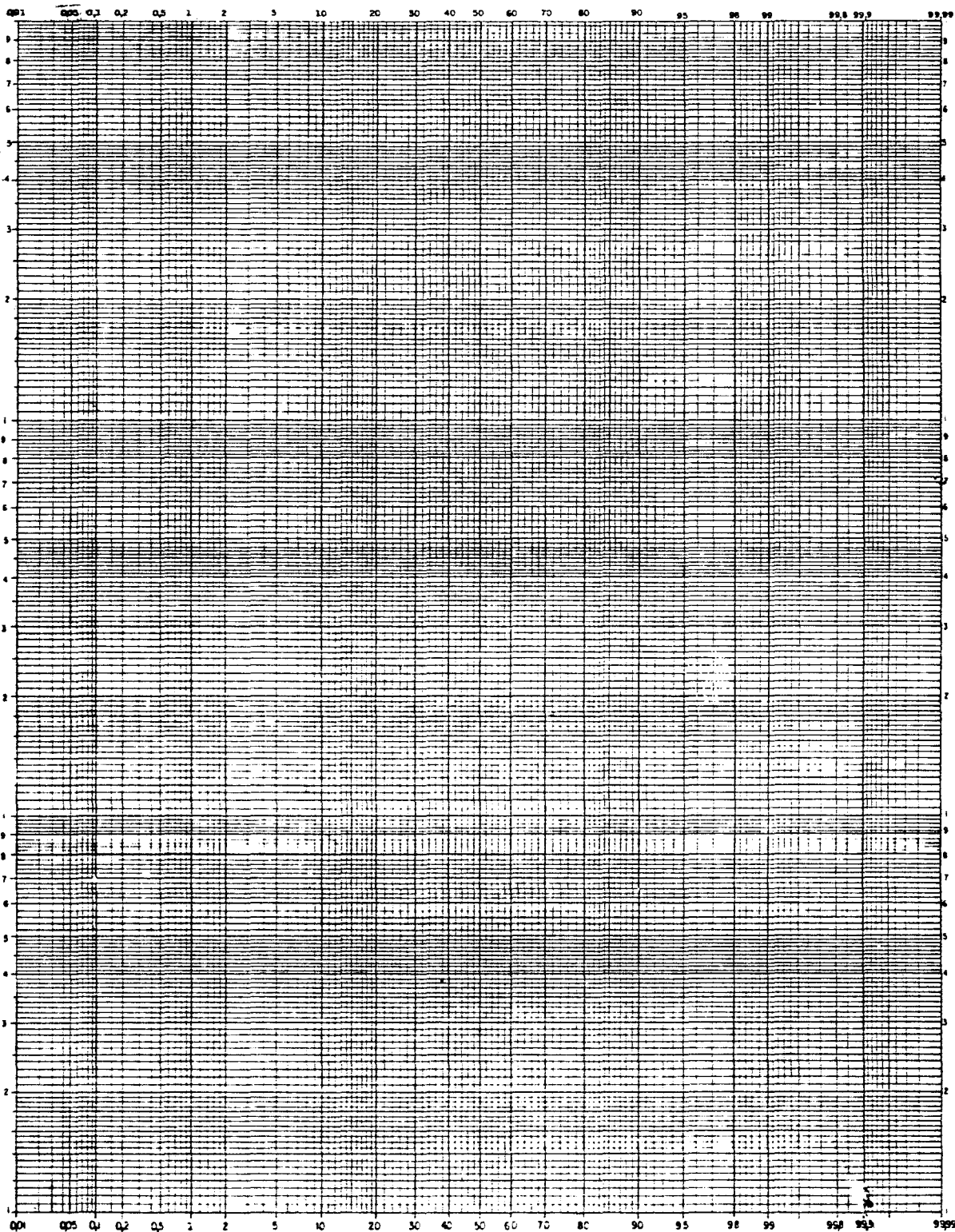


Figura 50 - Papel logaritmico (3 ciclos) x probabilidades.

Princípios de interpretação

No caso de uma distribuição unimodal, não existe nenhuma diferença nos valores calculados da média e do desvio por momentos, e dos lidos diretamente nos gráficos de probabilidade. A leitura no gráfico, é feita no percentil 50% para a média, no percentil 16% para a média mais ou vezes o desvio padrão no caso normal ou log-normal, respectivamente. Deste modo, pela subtração ou divisão, do valor lido no percentil 16% do lido no 50%, obtemos o valor do desvio, para o caso normal ou log-normal, respectivamente. Para a definição de outros valores de limiar de anomalia, podem ser lidos diretamente no gráfico, os valores correspondentes aos clássicos, 16%, 2,5% e 0,1%, e com estes graficar o mapa de áreas anômalas.

Um fato deve ser sempre considerado, qual seja a importância relativa de cada observação ou dado em uma amostragem. Por exemplo uma amostra, em um grupo de 100, representará 1%; no entanto esta mesma amostra em uma campanha muito mais extensiva de, digamos 10.000 amostras, representará apenas 0,01%. Isto faz com que amostras individualmente venham a desempenhar um papel preponderante no desvio de uma reta, no caso de amostragens de pequeno tamanho. Melhor exemplificando, em uma amostragem regional por sedimentos de drenagem, em malha larga, uma amostra representará uma grande extensão areal, ou uma grande bacia de drenagem, tendo isto que ser considerado com extremo cuidado e carinho, na fase de interpretação. Já em amostras de grandes dimensões, uma observação apenas pouco representa individualmente, mas sim seu relacionamento com as vizinhas de modo a delimitar consistentemente as áreas anômalas.

Examinemos agora o caso dos gráficos de probabilidade com tracado sigmatico ou em forma de Z. Neste caso, estamos perante uma situação de distribuição bimodal onde as populações não se interseptom (no caso de intersecção de populações, recomendamos a leitura de Sinclair, 1976). Com objetivo didático, montemos mentalmente a imagem de uma amostragem realizada por meio de sondagens, em uma área mineralizada a Pb encaixada em arenitos. Evidentemente teremos duas populações com teores de chumbo totalmente diversos. O caso normal para uma situação como a acima apresentada é um gráfico com tracado em Z, ou bimodal. Isto é, uma população A de teores de chumbo mais elevados, e uma B com teores de chumbo mais baixos, representadas no gráfico por duas retas mais ou menos horizontalizadas, unidas por um segmento mais verticalizado, e que representa amostras que por seu teor de chumbo, intermediário, tanto podem pertencer a A quanto a B. No entanto, para que disponhamos de parametros confiaveis para o tracado do perfil geoquímico da área amostrada, devemos desmembrar a mistura, de modo a individualizar A e B, o que é feito seguindo o procedimento abaixo apresentado e extraído de Sinclair (1976).

O primeiro passo é a identificação do ponto de inflexão, que é um processo de tentativa e erro. Este ponto é aquele localizado no segmento mais verticalizado e onde a curva muda de inflexão (Figura 52). O valor da abcissa (frequência acumulada = probabilidade) fornece a proporção em que estão misturadas as duas populações. No caso exemplificado, o ponto localizado em

Area: Jazida Santa Maria			Testemunhos de sondagem	
limite inferior			freq %	freq %
log 10	ppm	N	simples	acum. inv.
0,6021	4	9	0,30	99,98
0,8198	7	31	1,04	99,68
1,0374	11	76	2,56	98,64
1,2551	18	238	8,02	96,08
1,4727	30	476	16,04	88,06
1,6904	49	65	2,86	77,02
1,9080	81	45	1,52	69,16
2,1257	134	11	0,37	67,64
2,3434	220	150	5,05	67,27
2,5610	364	199	6,70	62,22
2,7787	601	331	11,15	55,52
2,9963	992	296	9,97	44,37
3,2140	1637	282	9,50	34,40
3,4316	2701	266	8,96	24,90
3,6493	4460	186	6,27	15,94
3,8670	7362	137	4,62	9,67
4,0846	12151	73	2,46	5,05
4,3023	20059	50	1,68	2,59
4,5199	33105	16	0,54	0,91
4,7376	54651	9	0,30	0,37
4,9552	90200	2	0,07	0,07
total = 2906				

Figura 51 - Tabela de frequencia para a amostragem geoquimica , utilizada como exemplo nas Figuras seguintes.dados seg. Licht,1982.

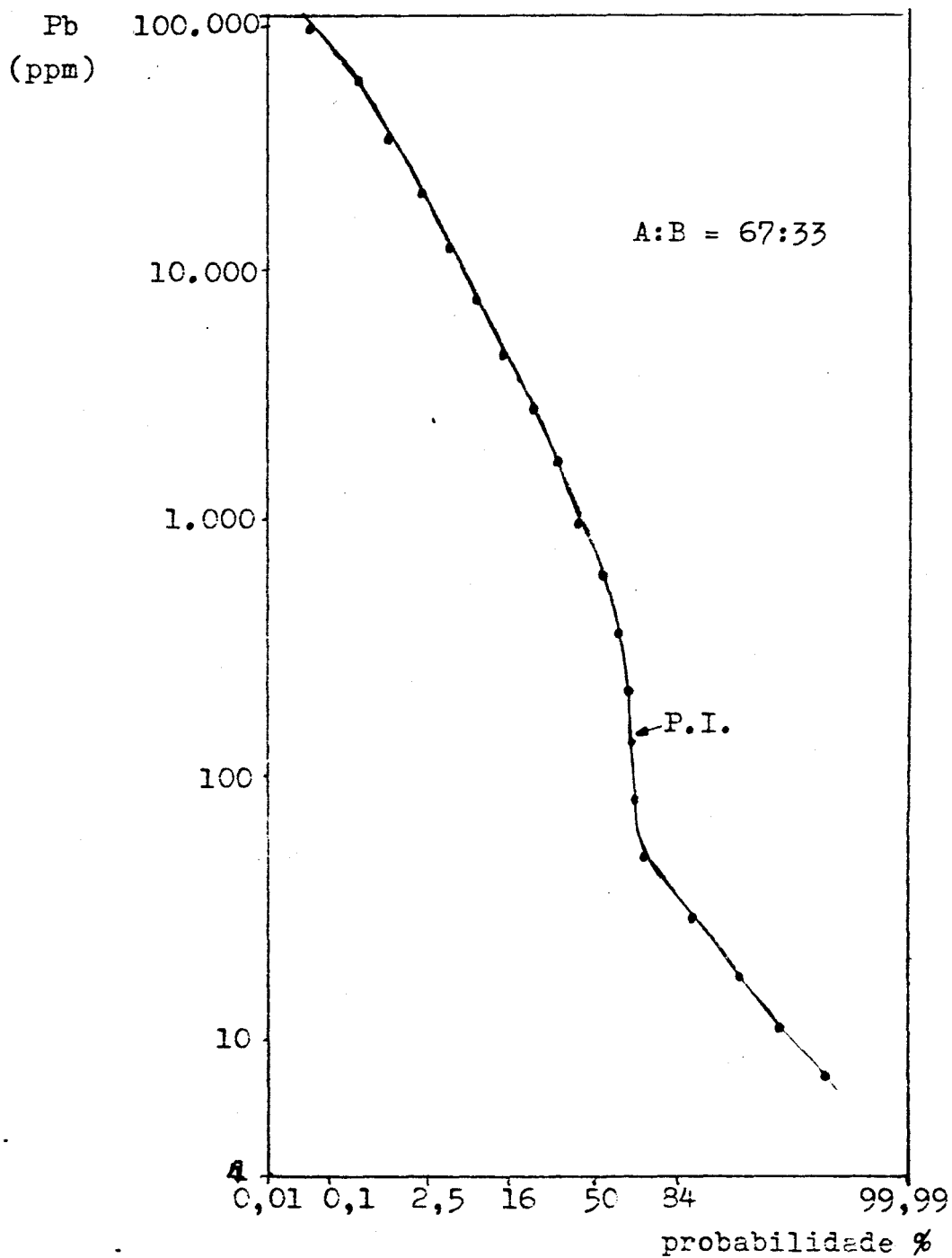


Figura 52 - Grafico logaritmico x probabilidade para a tabela de frequencia da Figura 51.

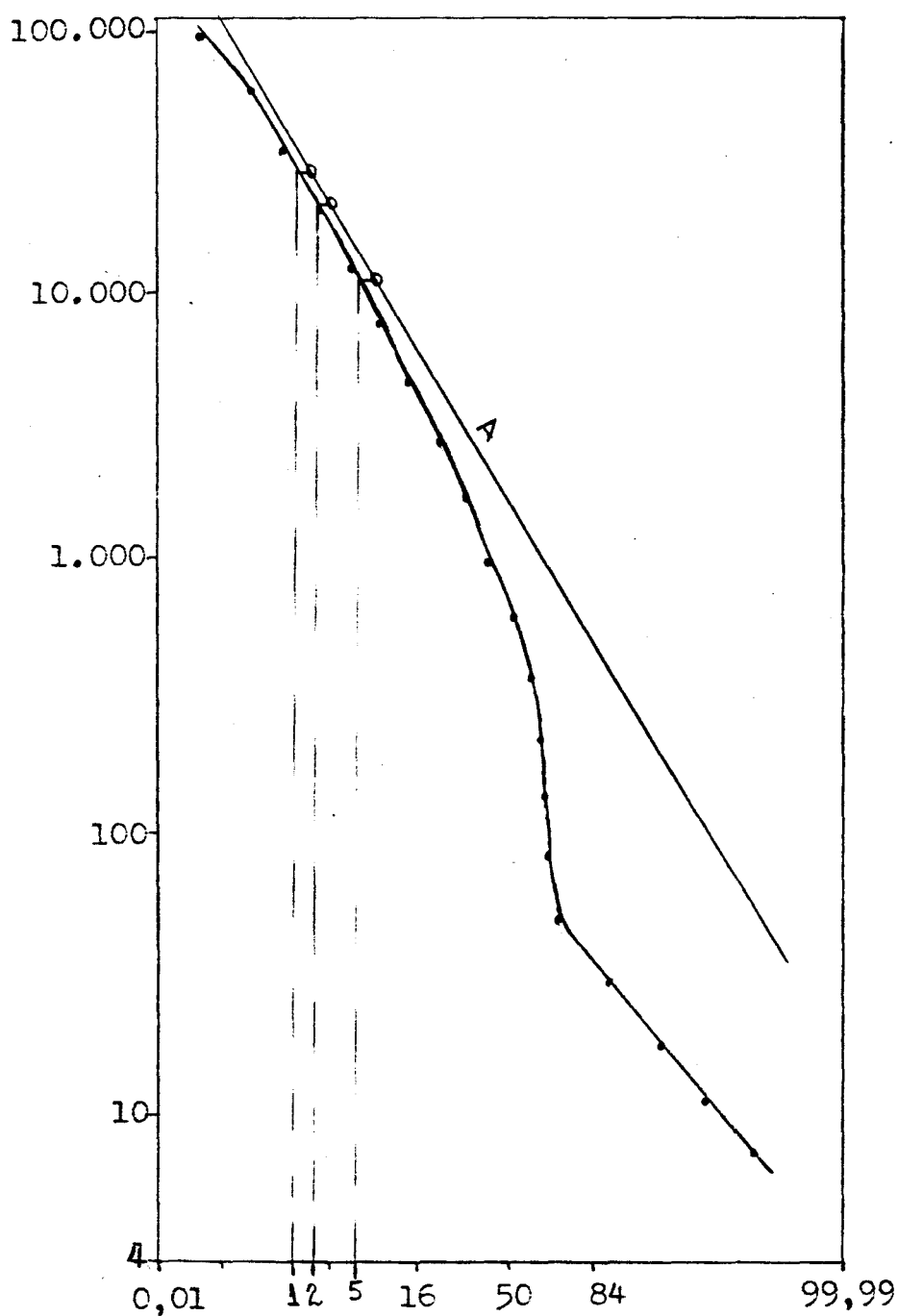


Figura 53 - Populacao A, individualizada a partir da mistura mostrada na Figura 52.

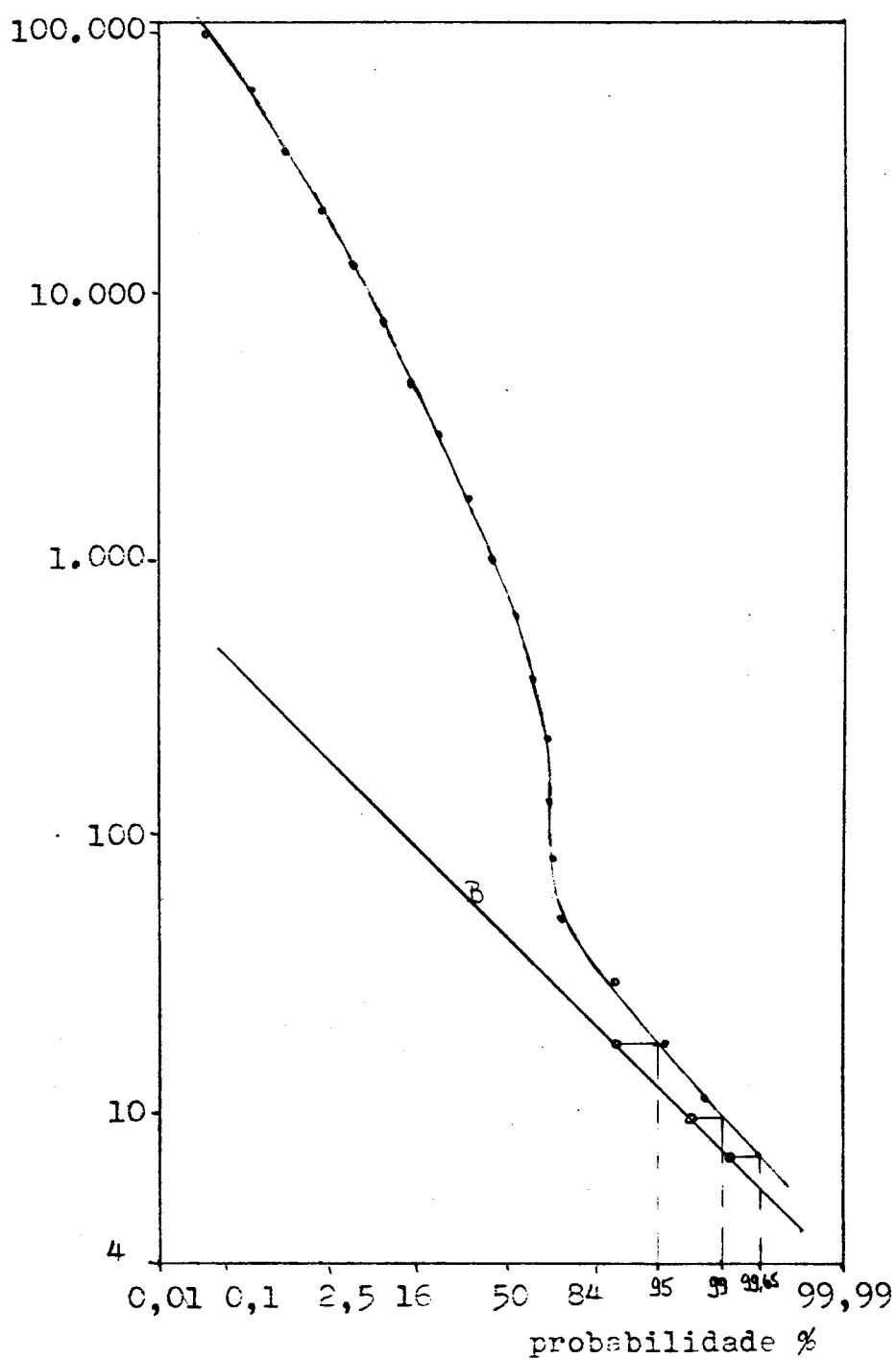


Figura 54 - Populacao B, individualizada a partir da mistura mostrada na Figura 52.

67 %, indica que a proporção das duas populações é A:B = 67:33. Isto significa que do total das amostras, 67% corresponde à população de teores mais elevados e 33% corresponde à população de teores mais baixos.

Como já foi dito, o segmento central mais verticalizado, significa a existência de uma superposição apreciável das duas populações. No entanto e à medida em que nos afastamos do ponto de inflexão em direção às extremidades, superior e inferior da curva, a influência de uma população sobre a outra, fica cada vez mais reduzido. Consequentemente, estas porções da curva, podem ser utilizadas para individualizá-las.

A fórmula apresentada por Sinclair (1976), deve ser utilizada para este procedimento :

$$P_m = P_A \cdot f_A + P_B \cdot f_B$$

onde P_m é qualquer ponto lido sobre a curva original

P_A é o ponto de ordenada correspondente à A em P_m

f_A é a proporção para A, reduzida à unidade $30\% = 0,3$

P_B e f_B tem o mesmo significado, para a população B.

Tomemos então a curva mostrada na Figura 52, e obtemos então os seguintes termos para aplicação na equação acima :

$f_A = 0,67$ e $f_B = 0,33$ já que A:B = 67:33

Iniciemos então a individualização a partir da população A e a partir de sua extremidade superior. No primeiro ponto escolhido, os valores de P_m e P_B são respectivamente 0,33, e um número muito pequeno, menor que 0,001 (que é o limite do gráfico à esquerda). Este valor tão pequeno, faz com que o termo $P_B \cdot f_B$, possa ser considerado como nulo. Assim a aplicação na fórmula dos termos disponíveis, e evidenciando a incógnita P_A , nos dá :

$$P_A = \frac{1,0}{0,67} = 1,49$$

Assim dispomos o ponto $P_A = 1,49$ que corresponde à população A, no nível de ordenada de $P_m = 1,0$.

Para o segundo ponto selecionado, P_m é 2,0 e assim $P_A = 2,98$.

Procedendo sucessivamente para três ou quatro pontos, teremos definida a população A, sem qualquer influência de B.

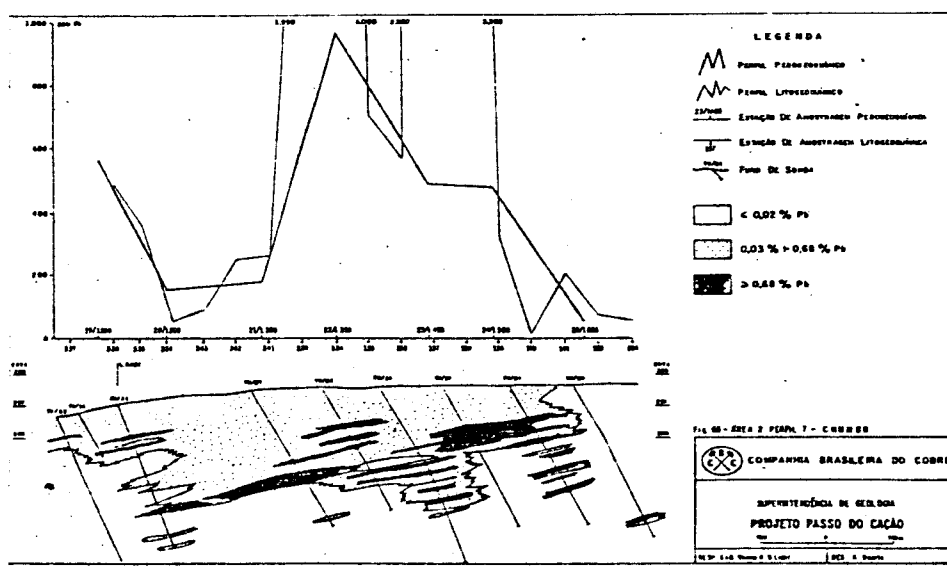
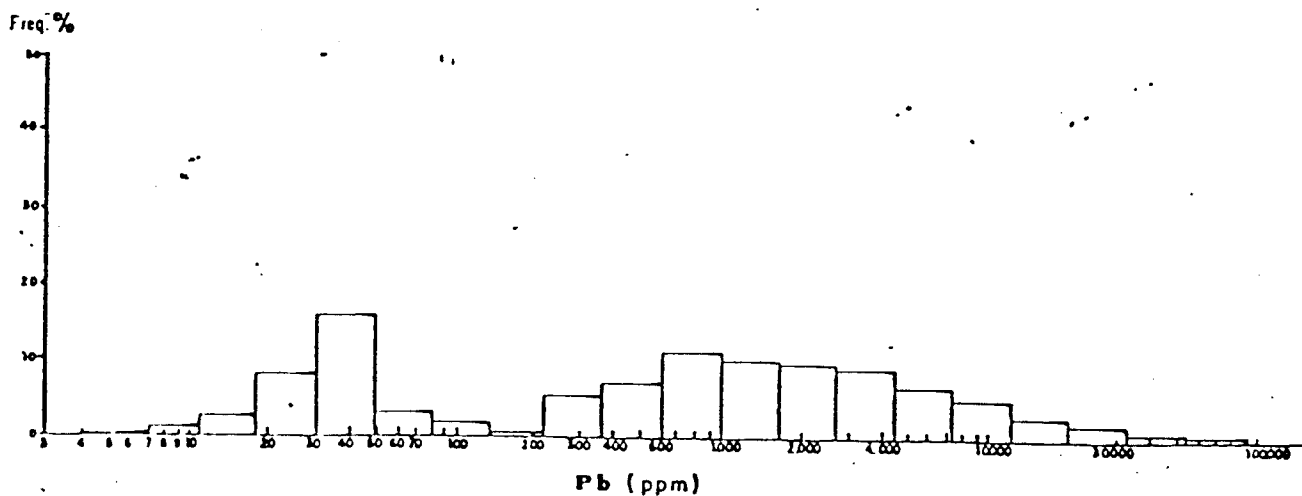
Agora, para que possamos individualizar B, passemos à extremidade inferior da curva original. No primeiro ponto selecionado, $P_m = 99.65\%$ e P_A é um número maior que 99,99% (limite superior da escala, à direita do gráfico). Deste modo o termo $P_A \cdot f_A$, pode ser considerado para efeitos práticos, como 67, já que $99,99 \times 0,67 \approx 67$.

Fica assim então a equação, após a substituição dos termos e evidência da incógnita P_B :

$$P_B = \frac{99,9 - (67)}{0,33} = 98,93$$

Pela aplicação sucessiva da fórmula a três ou quatro pontos, teremos então individualizada a população B.

O teste de consistência do procedimento, é feito pela aplicação da fórmula, sobre as duas retas obtidas, tentando-se obter a curva inicial. Caso exista uma boa coincidência entre a curva assim obtida e a curva original, o processo foi bem



aplicado e podemos avançar na interpretação. Caso contrário, novo ponto de inflexão deve ser selecionado e o procedimento refeito.

É importante salientar que apesar de aparentemente trabalhoso, o método acima descrito, é dos mais simples e com certa prática, o acerto se dá quase que invariavelmente na primeira tentativa.

Aplicação prática

Consideremos então que nosso procedimento tenha sido correto e que dispomos das duas retas correspondentes às duas populações individualizadas. O primeiro passo, é a definição dos níveis de teor, a partir dos quais as amostras representem apenas A, apenas B e uma certa zona de teores intermediários, os quais não podemos afirmar que pertençam a A ou a B. Em nosso caso exemplificado, temos:

A : teores > 500 ppm Pb
A + B : teores > 35 ppm e < 500 ppm Pb
B : teores < 35 ppm Pb.

A utilização destes limites, deverá permitir o tracado nos mapas ou perfis, de áreas de influência de cada um dos domínios geoquimicamente diversos na área abrangida pela nossa amostragem, como para este caso específico está apresentado na Figura .

Caso exista coerência entre as características geológicas/geomorfológicas da área amostrada e das zonas mapeadas estatisticamente, podemos avançar ainda mais na interpretação, detalhando agora cada uma das retas, na extração de parâmetros tais como média, desvio, e utilizando para cada uma delas o procedimento desenvolvido para distribuições unimodais.

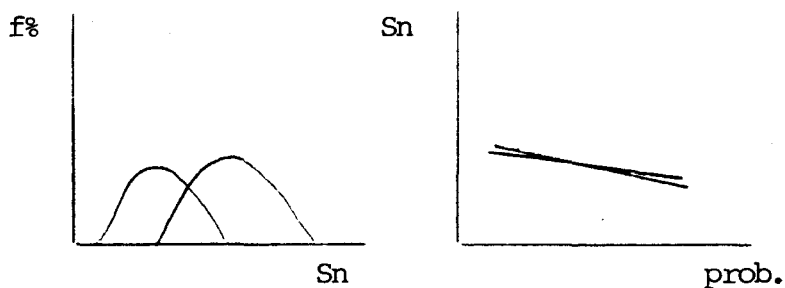
Em casos onde existam distribuições polimodais (três ou mais modas) o procedimento é semelhante ao acima descrito, apenas com o acréscimo de mais termos na equação, cada um correspondente a uma das modas. Nestes casos, e em outros específicos, tais como distribuições que se interceptam (segmentos verticalizados, unidos por um central horizontalizado), distribuições truncadas e distribuições censuradas, recomendamos a leitura de Sinclair(1976).

Como exemplo prático da utilização dos gráficos de probabilidade e resultados que podem ser obtidos, apresentamos abaixo duas situações reais:

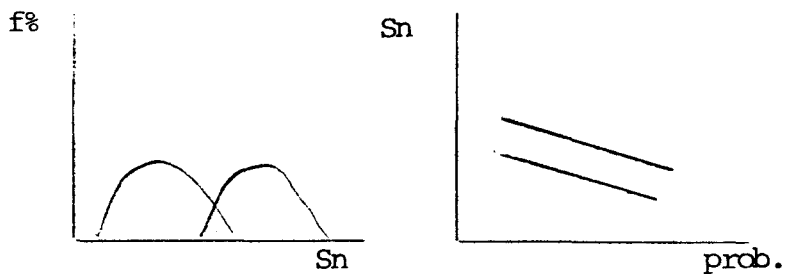
1. Estanho em perfil de solo

Durante a execução de um trabalho de geoquímica piloto para definição de metodologia de amostragem e analítica, na área abrangida pelo Projeto Estanho da Mineropar, foram amostrados por pocos os horizontes de solo e concentrados por bateia. A dosagem do Sn nos concentrados mostrou para cada horizonte, a situação abaixo esquematizada em histogramas e em gráficos de probabilidade:

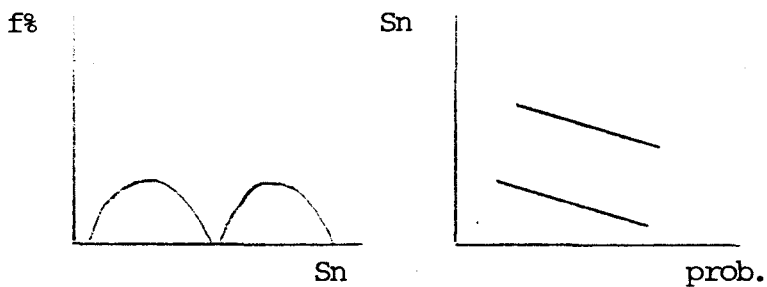
Os gráficos de probabilidade, combinados com os histogramas, mostram de maneira clara, a atuação dos processos de intemperismo, suavizando os contrastes existentes no horizonte R



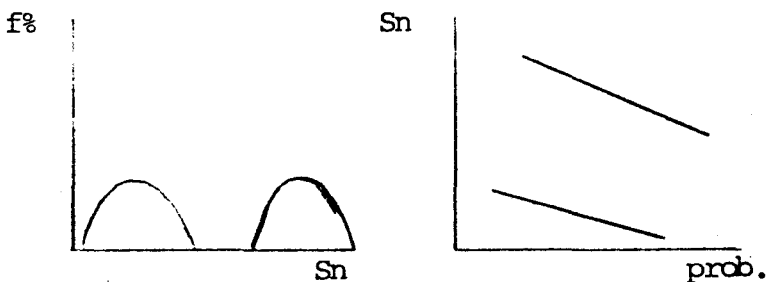
Horizonte A



Horizonte B



Horizonte C



Horizonte R

Figura 55 - Graficos de probabilidade e curvas de frequencia mostrando o comportamento do S_n em perfil de solo. Area do Paraíso, PR. seg. Licht, ined.

(rocha), onde ocorrem venulações de cassiterita de granulação fina, e bastante restritas. A medida que atua o processo de pedogenese, as populações deixam de ser individualizadas, passando a imbricar-se cada vez mais, até o horizonte A, onde a mistura é quase completa.

2. Molibdenio em solos

Os resultados da amostragem geoquímica de solos (836 amostras) na área do carbonatito da Barra do Itapirapuã, pela Mineropar, foram tratados através de gráficos de probabilidade. O gráfico, evidenciou para o caso do molibdenio, duas populações (Figura 56). Após seu desmembramento, os intervalos relacionados à população A, à população B, e à mistura A+B, foram graficados em mapa, Figura 57, salientando-se a zona representativa do carbonatito e seus produtos de intemperismo, como população A e A+B. Também estão incluídos em A+B os granitos com intensas venulações de carbonatito, no extremo NW da área. Finalmente a população B, representa os granitos sãos, encaixantes e distantes do corpo carbonatítico. Note-se o corpo alongado NE, na porção centro sul do mapa, que representa uma região de granito alterado e intensamente venulado por carbonatito.

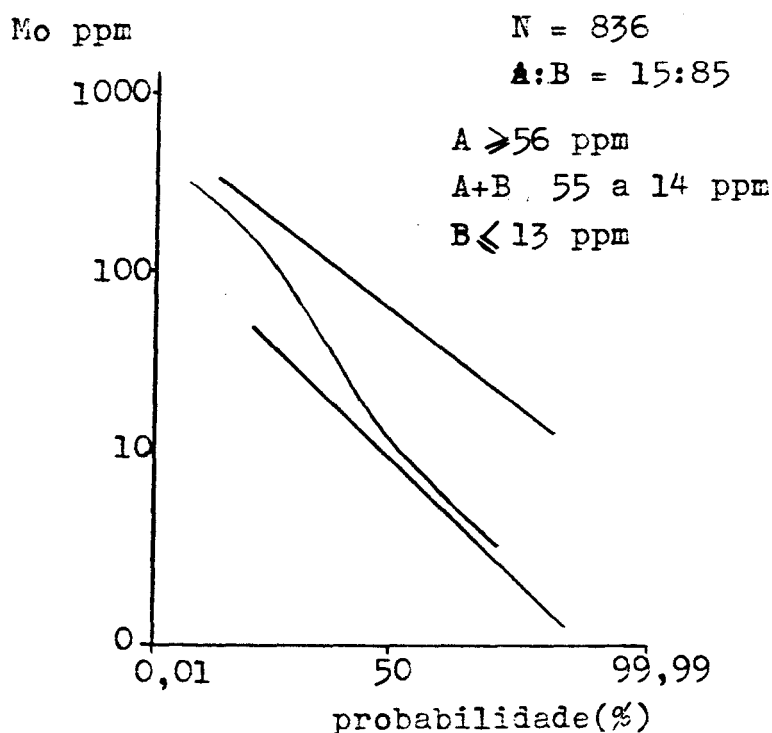


Figura 56 - Gráfico de probabilidade para os dados analíticos de Mo em amostragem de solos na Área da Barra do Itapirapuã, PR. seg. Licht e Ramos, 1982.

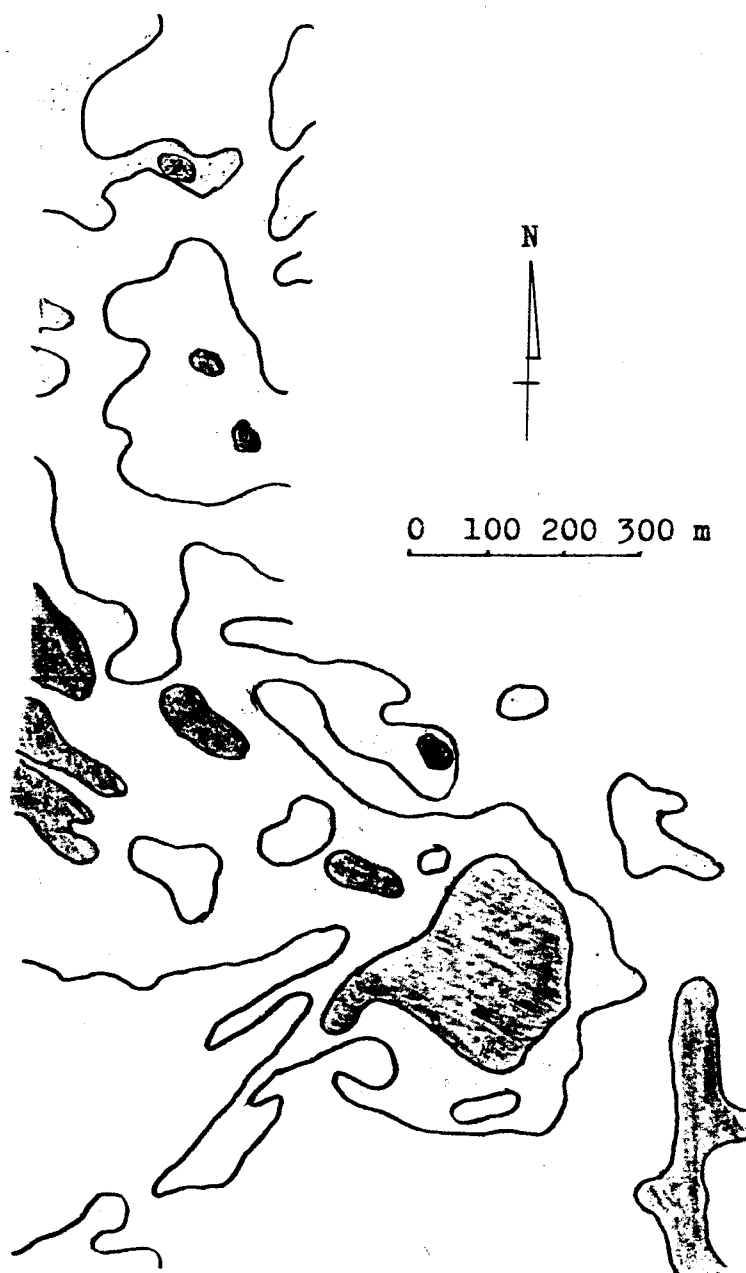


Figura 57 - Mapa geoquímico do Mo, desenhado a partir dos limites obtidos com o gráfico de probabilidade. seg Licht e Ramos, 1982.

Correlação linear

A correlação é a medida da similaridade entre pares de dados. Consideremos as variações simpatéticas entre duas variáveis tais como o teor de ferro e a densidade de uma rocha constituída apenas de sílica e hematita, ou então a variação do teor de cobre em solos, com relação ao conteúdo de matéria orgânica. Desejamos assim examinar em que medida as duas variáveis em questão, aumentam em conjunto (correlação positiva) ou tem relacionamento inverso (correlação negativa). Evidentemente que os dados podem ter um comportamento aleatório, que não mostre correlação. Na Figura 58, são mostradas estas situações específicas

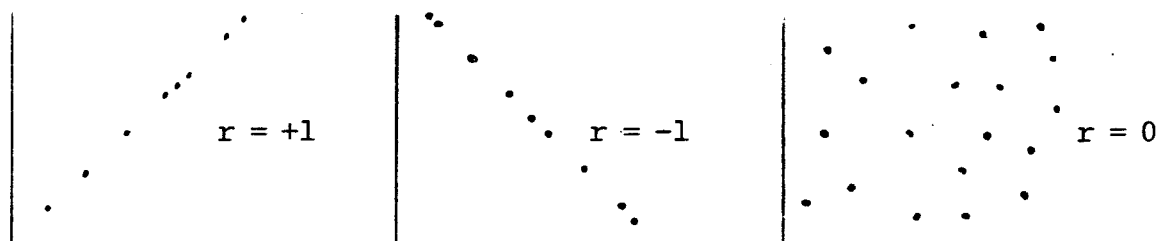


Figura 58 - Graficos de correlação

A correlação linear simples, é expressa através do coeficiente de correlação r , que varia entre $+1$ e -1 , sendo o valor absoluto 1 sinal de uma perfeita correlação. A correlação linear, é baseada na verdade de que os dados das duas variáveis têm distribuição normal, porém caso seja necessário, deve ser feita a transformação (logaritmica por exemplo) dos dados. Não obstante, é importante que paralelamente ao calculo dos parametros de correlação, sejam plotados os diagramas de nuvem de pontos, pois podem ocorrer casos de outro tipo de correlação como a quadrática ou mesmo, valores extremos podem ocasionar desvios e até mesmo inverter a correlação. O segundo caso é interessante pois que não existindo correlação entre a nuvem principal de pontos, o calculo é artificialmente ajustado a uma reta como mostrado na Figura 59.

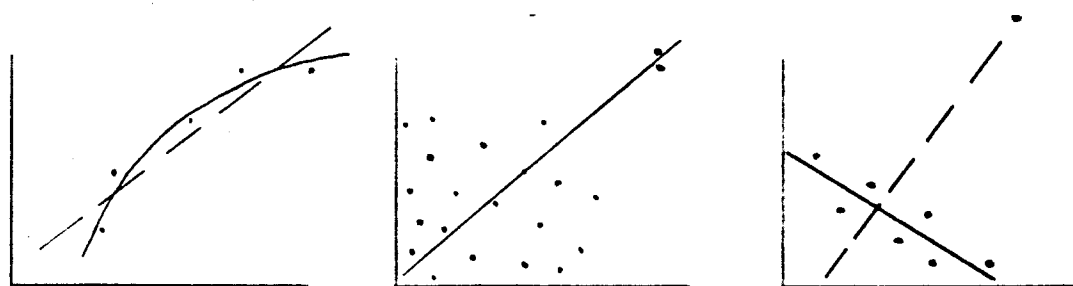


Figura 59 - Graficos de correlação com retas incorretamente ajustadas

Um exemplo pratico de correlação linear, é o apresentado na Figura 60. Ele mostra a correlação linear positiva, significativa e elevada, entre teores de Zn e Cd, em testemunhos de sondagem, na Jazida Santa Maria, RS. Após este procedimento, e com testes

de consistência executados, foi possível economizar em dosagens de Cd, visto que a equação da reta ajustada aos pares de pontos, permite grande segurança no cálculo do teor de Cd a partir do de Zn.

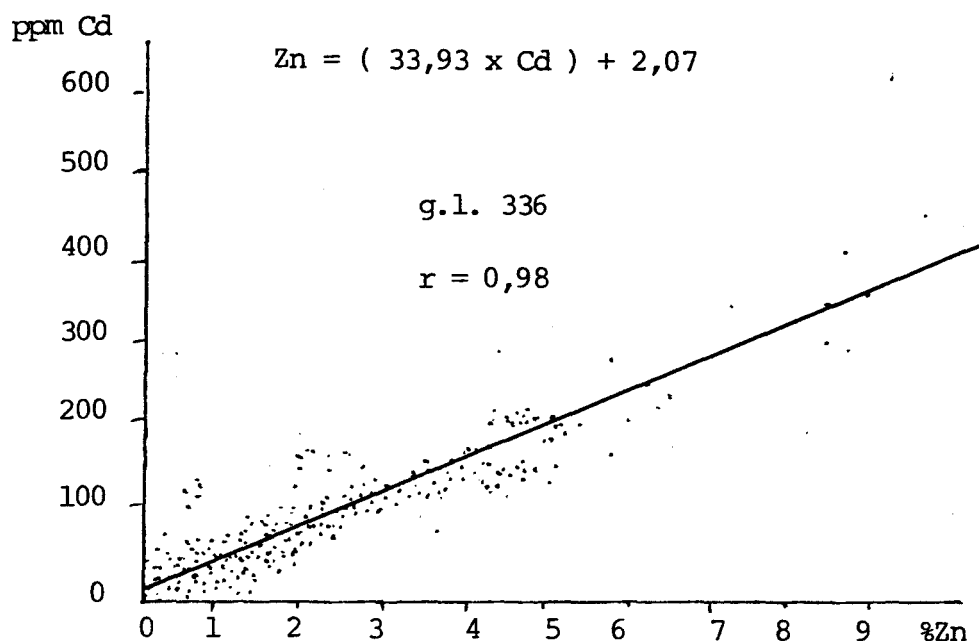


Figura 60 - Gráfico de correlação Zn x Cd em testemunhos de sondagem da Jazida Santa Maria, RS. seg.C.B.C. ined.

O ajuste do par das variáveis testadas à uma reta, é fornecido através de uma equação de regressão de fórmula geral :

$$y = a + b.x$$

onde y é a variável dependente

x é a variável independente

a é o coeficiente angular da reta, e

b é uma constante específica para cada caso.

Obtida a equação, podemos a partir de valores da variável independente x, obter valores ajustados da variável dependente y, por interpolação ou extrapolação.

Algumas aplicações práticas de regressão linear (Sinclair, inedito) são as seguintes :

-controle de qualidade em campanhas de amostragem;

-estimação de variáveis de obtenção, cara e difícil, por meio de outras variáveis relativamente fáceis e/ou baratas de determinar;

-a resposta cintilométrica pode ser relacionada ao equivalente químico em urânio ;

-a densidade pode ser utilizada para estimar o teor de Fe em amostras de formação ferriífera de mineralogia simples.

Matriz e diagramas de correlação

Os coeficientes de correlação para pares de variáveis, são comumente apresentados em matrizes bi-dimensionais.

Os coeficientes de correlação r , devem ser testados em tabelas de contingência para verificação de sua significância estatística. Estas tabelas relacionam graus de liberdade gl (número de pares - 1, no caso de correlação entre duas variáveis), com quantidades de variáveis independentes, para os níveis de significância de 95 ou 99% de probabilidade. Caso o valor calculado de r , for menor que o valor crítico tabelado, ele não possui significância.

Uma boa visualização do significado dos coeficientes de correlação é obtida através do diagrama de correlação, que une como um modelo molecular, os elementos com correlações significantes, como apresentado na Figura 61a.

	F	Ba	Mo	Zn(s)	Cu(s)	Zn(t)
Cu(t)	0,03	0,19	0,33	0,50	0,98	0,05
Zn(t)	0,71	0,35	-0,22	0,36	0,01	
Cu(s)	0,03	-0,21	0,32	0,49		
Zn(s)	0,43	0,21	0,16			
Mo	-0,02	0,22				
Ba	0,72					

g.l. = 38
r crit. 0,01 = 0,464

Figura 61 - Matriz de correlação para amostras-canal no Granito Rio Abaixo, PR. seg. Licht, inéd.

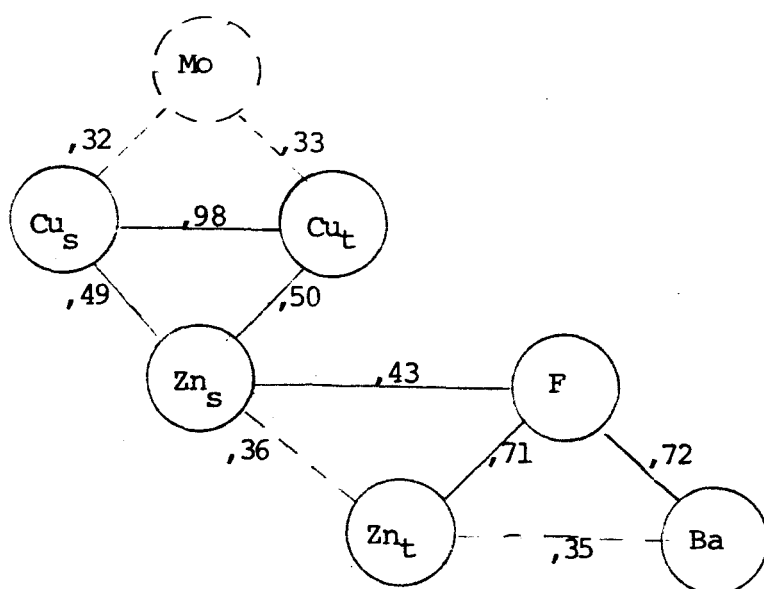


Figura 61a- Diagrama de correlação para os r significantes da matriz da Figura 61.

A técnica de média móvel, é da maior utilidade em campanhas de amostragem onde necessitamos representar as tendências geoquímicas da região problema, possibilitando regularização de malhas aleatorias. Os mapas de média móvel, são obtidos por meio de uma janela que se desloca sobre o mapa de distribuição de determinada variavel. Este deslocamento deve ser feito obedecendo uma superposição regular, tanto longitudinal quanto lateral nas faixas, à imagem de um levantamento aero fotográfico.

O dimensionamento e formato da janela, bem como a superposição, são parametros extremamente variaveis e de definição empirica. De todos os pontos de amostragem abrangidos pela janela, em cada deslocamento, é extraída a média (geométrica ou ponderada pelo inverso do quadrado da distância do ponto ao centro da janela) e esta passa a ser o valor do centro da janela. Ao final da série de deslocamentos da janela por toda a área amostrada, teremos um mapa em malha regular, que representa a tendência geoquímica da variavel considerada.

Deve-se observar que este tipo de procedimento, elimina todos os picos da variavel, suavizando sua distribuição. Lembre ainda que o caso extremo seria uma janela que abrangesse inteiramente a área trabalhada e cujo ponto central representaria a média da variavel considerada naquela área.

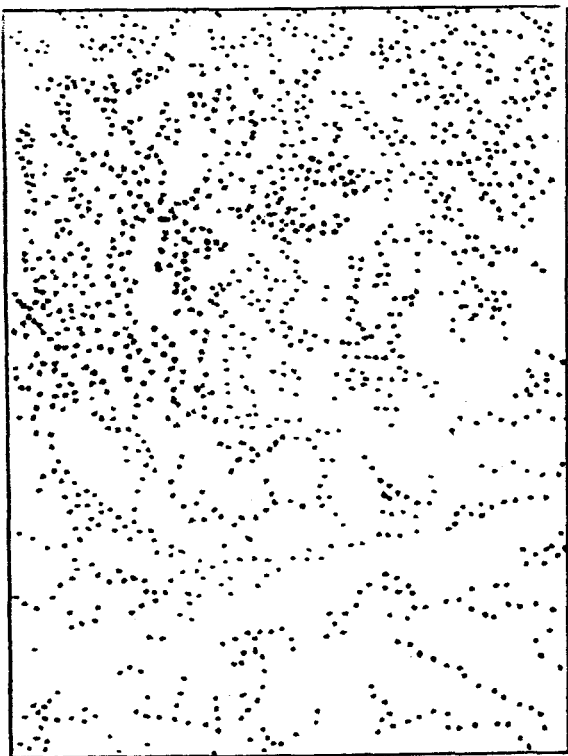


Figura 62- Mapa de estações de amostragem de sedimentos ativos de drenagem. Pen. Gaspé, Can. seg. Gleeson, 1973

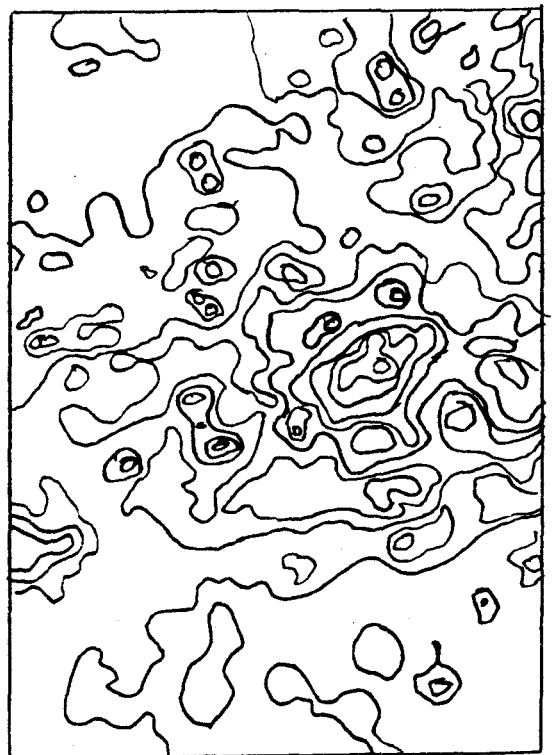


Figura 63- Mapa de contorno dos valores da figura anterior seg. Gleeson, 1973.

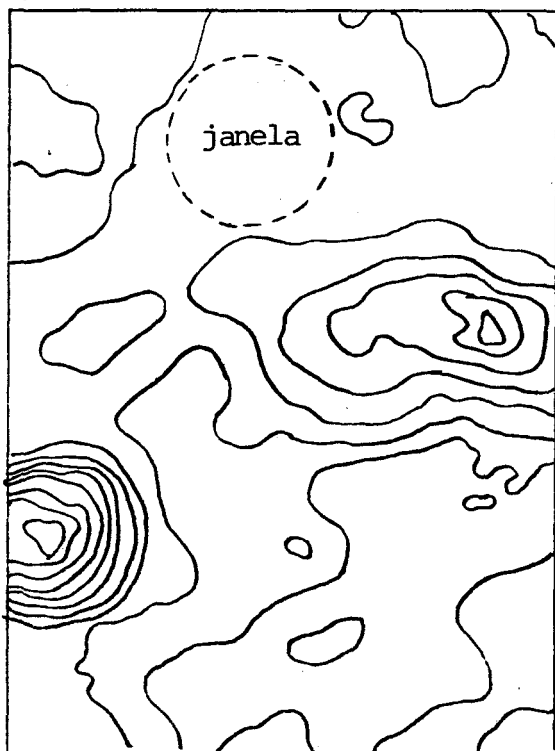


Figura 64 - Mapa de media movel com janela de 3 km. de raio , para os dados da Fig. seg. Gleeson, 1973

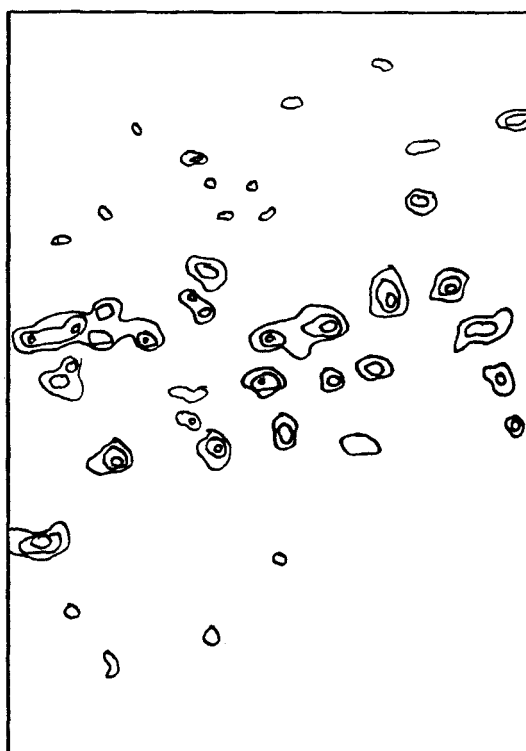


Figura 65 - Mapa de residuos. Diferenças entre Fig. e Fig. . Apenas os valores positivos estão plotados. seg. Gleeson, 1973.

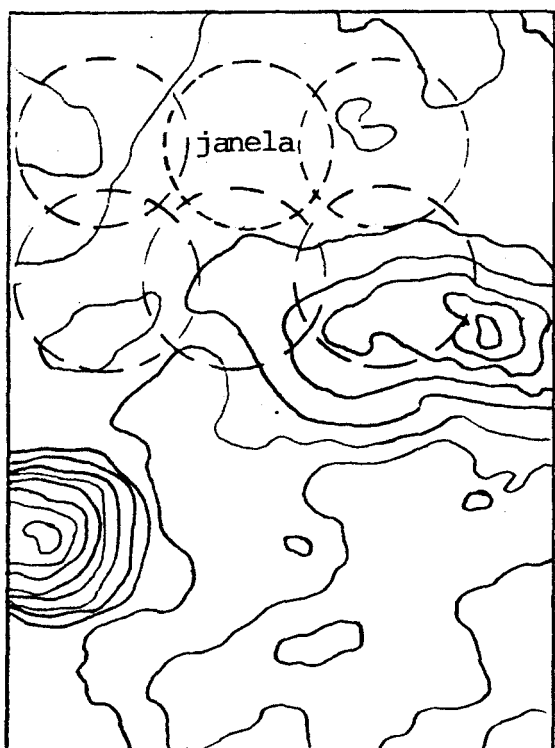


Figura 66 - Mapa de media movel, mostrando os deslocamentos sucessivos da janela.

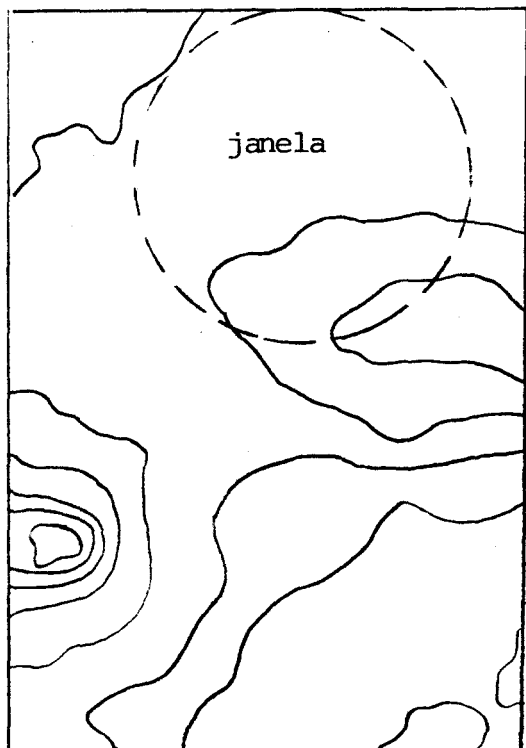


Figura 67 - Mapa de media movel para os dados da Fig. com janela de 6 km raio seg. Gleeson, 1973.

anomalia - um desvio da feição geoquímica normal ou teor de fundo

ambiente geoquímico - a soma de todos os agentes físicos, químicos e biológicos que atuam sobre determinada área.

ambiente primário - estende-se desde os níveis mais inferiores da Terra até a base da zona superficial, afetada por águas de percolação. Caracteriza-se por temperaturas e pressões elevadas.

ambiente secundário - ocupa a zona superficial da crosta, afetada por águas de percolação. Caracteriza-se por pressões e temperaturas relativamente baixas.

curva de isoteor - contorno de mesmo teor da variável, utilizada para representar a distribuição da mesma em mapas geoquímicos. Também denominada isograda e isopleta.

dispersão geoquímica - redistribuição dos elementos, por agentes químicos, físicos e biológicos.

desvio - diferença entre o valor da média e o de cada indivíduo.

elemento indicador - metal minério, utilizado para localizar mineralização.

farejador - elemento menor ou traço, associado à mineralizações e que pode ser utilizado para localizá-la.

hidrolise - reações químicas de elementos solúveis e materiais rochosos com água, produzindo óxidos hidratados insolúveis e silicatos (argilas).

isograda - ver curva de isoteor.

isopleta - ver curva de isoteor.

levantamento biogeoquímico - coleta de tecidos de organismos vivos, como amostras para análise em exploração geoquímica.

levantamento geobotânico - reconhecimento de variedades morfológicas de plantas (espécies indicadoras , formas anãs, ou singularmente coloridas) que ocorrem apenas onde certo metal ou metais são concentrados, para localização de jazimentos minerais.

limiar - o limite superior dos valores de teor de fundo e que define amostras e/ou áreas anômalas.

metal solúvel - a parte do teor total de um elemento químico em uma dada amostra, passível de extração por extratores fracos ou seletivos. Representado por cxMe.

mobilidade - facilidade com que um dado elemento químico pode mover - se em certo ambiente específico.

metal total - a concentração total de um elemento em uma amostra geoquímica. Representado por Me

organismo concentrador - flora ou fauna que concentra seletivamente elementos em seus tecidos, atributo este hereditário.

panorama geoquímico - o conjunto de feições químicas de determinada região, incluindo teor de fundo e anomalias.

plantas indicadoras - espécies vegetais que podem apenas subsistir em áreas de altas concentrações de elementos traço, específicos.

potencial redox - e o potencial de oxidação - redução dos ions de uma solução, medidos com milivoltímetro. E' o Eh.

potencial hidrogenionico - é a medida da disponibilidade de ions H⁺ na solução. Também denominada de acidez do meio. E' o pH.

provincia biogeoquímica - uma região caracterizada por flora e fauna específicas, adaptadas às anormalidades geoquímicas daquela provincia.

provincia metalogenica - região da crosta terrestre, que contém uma ou várias assembleias minerais específicas e características.

probabilidade - é o número de vezes que uma determinada observação ou valor pode ocorrer quando um número muito grande de seleções aleatorias é realizada. E' igual a frequência daquela observação, na amostragem.

relevo geoquímico - variações dentro do panorama geoquímico.

XXI - BIBLIOGRAFIA

- ANDREW-JONES, D.A. . The application of geochemical techniques to mineral exploration. Colorado School of Mines, Mineral Industries Bulletin.v. II,n.6. 1968. p.
- BERTRANEAU, J. et alli . Estado actual del desarrollo de la prospeccion geoquimica multi - elementos. Caracas. A.G.I.D. 1977. p.
- BEUS, A.A. & GRIGORIAN, S.V. - Geochemical exploration methods for mineral deposits. Illinois. Applied Publish. Ltd. 1977. p.
- BEUS, A.A. & YANISHEVSKI, E.M. - On the methods and organization of the geochemical prospecting. State Geol. Committee of the USSR. Moscow. 1965. p .
- BOYLE, R.W. - Geochemistry overview. Geol. Surv. of Canada. Econ. Geol. Report 31. 1979 p 25 - 31.
- BRADSHAW, P.M.D. et alli . Exploration Geochemistry . Canada . Barringer Research. 1973. 49 p.
- BRADSHAW, P.M.D. & THOMPSON, I. - The application of soil sampling to geochemical exploration in nonglaciaded regions of the world. Geol Survey of Canada. Econ. Geol. Report 31, 1979. pp 327 - 338.
- BRIM, R.J.P. - Prospeccao geoquimica. em Metodos e tecnicas de pesquisa mineral. Brasilia . MME/DNPM. 1985.
- BUCKMAN, H.O. & BRADY, N.C. . Natureza e propriedade dos solos. Rio de Janeiro. Liv. Freitas Bastos S.A. 1974. p.
- CARVALHO, M.A.S et alli . Projeto geoquimica na area de Guaratubinha-Pien. Sao Paulo. DNPM/CPRM . 1980 . v. 3 anexos.
- CHAFFEE, M.A. - Geochemical exploration techniques applicable in the search for copper deposits. Washington. U.S.Geol. Survey Prof. Paper 907 - B .. 1975.
- CLOSS, L.G.. Geochemical exploration for base and precious metals Golden, Colorado School of Mines. 1986. 117 p., notas de aula. UFRN.
- CUNHA, M.C.L. . Prospeccao biogeoquimica para cobre em Cerro dos Martins e Mina do Seival - Cacapava do Sul, RS. Acta Geol. Leopoldensia, v. IV,n.8. Sao Leopoldo, U.V.R.S., 1980.
- DUTRA, B.S. . Bibliografia e indice da geoquimica no Brasil. Belo Horizonte. Soc.Brasil.Geol/CTCGn. Public. Espec. 1. 1981

- FELDMAN, E. et alli . Projeto Rio Camaqua - mapas geoquimicos. Rel. Int. Companhia Brasileira do Cobre. Porto Alegre. 1981.
- FLETCHER, W.K. . Analytical methods in geochemical prospecting. Amsterdam, Elsevier . 1981, 555p .v 1.
- FONSECA, E.M.C. & PINTO, M.S. . Uso do limiar de anomalia em prospeccao geoquimica : visao geral e alguns comentarios. Lisboa Com. Serv. Geol. Portugal. 1967. p.
- GLEESON, F.C. . Notes on processing geochemical data. Brasilia. MME/DNPM. 1973. p.
- . Geochemistry applied to mineral exploration - a review of some techniques applicable to Brazil. Brasilia, MME/DNPM. 1972. p.
- GOVETT, G.J.S. . Rock geochemistry in mineral exploration. Handbook of exploration geochemistry, v 3. Amsterdam, Elsevier 1983. p.
- GOVETT, G.J.S. & NICHOL, I. . Lithogeochemistry in mineral exploration. Geol. Surv. of Canada. Econ. Geol. Report 31. 1979. p.
- GRANIER, C.L. . Introduction a la prospection géochimique des gites métallifères. Paris, Masson . 1973. p.
- HOWART, R.J. . Statistical applications in geochemical prospecting : a review of recent development. J. of Geochem. Explor. 21:41-61. 1984.
- KREITER, V.M. . Geological prospecting and exploration. Moscow . MIR Publ. 1968. 383 p.
- KUZVART, M. & BOHMER, M. . Prospecting and exploration of mineral deposits. Amsterdam. Elsevier, 1978. 431 p.
- LEPELTIER, C. . A simplified statistical treatment of geochemical data by graphical representation. Econ. Geol. v. 64. p 538 - 550. 1969.
- LEVINSON, A.A.. Introduction to exploration geochemistry. Illinois Applied. 1974. p.
- LICHT, D.A.B. & RAMOS, M.M. . Estudo geoquimico orientativo na area do Bras, PR. Curitiba . Mineropar . em preparacao.
- . Levantamento geoquimico de detalhe na area da Barra do Itapirapuã, PR. Curitiba. Mineropar. 1982. p. inedito.
- LICHT, D.A.B. . Consideracoes e recomendacoes acerca da metodologia de prospeccao por geoquimica de solos no Projeto Estanho. Curitiba. Mineropar. 1985. p. inedito.

- . Prospeccao geoquimica aplicada a pesquisa de sulfetos nao aflorantes, associados a rochas sedimentares eo - paleozoicas na regio da Fazenda Santa Maria, Cacapava do Sul, RS. Porto Alegre. 1982. p. Tese, mestrado.U.F.R.G.S.
- . Estudos geoquimicos orientativos de solos na area do granito Rio Abaixo, Rio Branco do Sul, PR. Curitiba. Mineropar. 1985. p.
- MACEDO,A.B. . Exame de qualificacao. Sao Paulo. IGUSP. 1985. p. Tese doutorado
- MALAVOLTA,E. . A pratica da calagem. Sorocaba. Ind.Mineradora Pagliato. 1983. p.
- MARANHAO,R.J.L. . Introducao 'a pesquisa mineral. Fortaleza, BNB - ETENE. 1982. 680 p.
- MARQUES,C.A.M. . Prospeccao geoquimica. Curso de pos - graduacao em geoquimica. Porto Alegre, UFRGS. s.d. p. apostila mimeografada
- MEYER,W.T. et alli . Stream sediment geochemistry.Geol.Surv.of Canada. Eco. Geol. Surv. Report 31, 1979. p 411 - 434.
- MIESCH,A.T. . Methods of computation for estimating geochemical abundance. Washington, U.S.G.S Prof. Paper 574-B. 1967. p.
- OVCHINNIKOV,L.N. & GRIGORYAN,S.V. . Geochemical prospecting for ore deposits.Intern.Geol.Rev. v.20, n.12, 1978.p 1413-1425.
- . ---- . Primary halos in prospecting for sulphide deposits. Can. Inst. Min. and Metallurgy SpecVol n. 11. 1971 . p 375-380.
- ⊗ OVERSTREET,W.C. & MARSH,P.S. . Some concepts and techniques in geochemical exploration. Econ. Geol. 75 th. Anniv. p 775 - 805. 1981.
- PALMEIRA,R.C.. Exploracao geoquimica (consideracoes elementares gerais).Goiania. RADAMBRASIL - DIGEO/BAGOI. 1977. p.
- PARSLOW,G.R. . Determination of background and threshold in exploration geochemistry. J. of Geochem. Explor. 3: 319-336. 1974
- PROMINERIO . Programa geoquimica regional. Sao Paulo. SEICCT/SP. 1985. p.
- RAMOS,M.M & LICHT,D.A.B. . rocedimentos em prospeccao geoquimica.Curitiba. MINEROPAR . 1985 , 37 p . atualizacao da versao de 1982. inedito.
- ROSE,A.W. . Geochemistry in mineral exploration. Academic Press. New York. 1979. p.

- SINCLAIR, A.J. . Applications of probability graphs in mineral exploration. The Assoc. of Explor. Geochem. Spec. Vol. n.4. 1976. p.
- . Selection of threshold values in geochemical data, using probability graphs. J. of Geochem. Explor. 3 : 129 - 149. 1974.
- . Some statistical applications to problems in mineral exploration. British Columbia Prof. Engineer. 1972.p.
- . Tecnicas avancadas em prospeccao geoquimica . Vancouver, University of British Columbia. s.d. 264 p . Notas de aula. Itaipava. 1981.
- THOMPSON, I. . The geochemical challenges. Canadian Mining Journal. s.d. p 53-55.
- TOOMS, J.S. & WEBB, J.S. . Geochemical prospecting investigations in the northern Rodhesian copperbelt. Eco.Geo. 5.(5): 815-846 1961.
- YANISHEVSKY, E.M.. Application of endogenous geochemical haloes in prospecting for ore deposits. Moscow. State Geol. Committee of the USSR. 1965. p.