SAUL BARISNICK SUSLICK

ESTUDO METODOLÓGICO DE TÉCNICAS ESTATÍSTICAS
PARA ANÁLISE DE DADOS GEOQUÍMICOS

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Instituto de Geociências da Universidade de
São Paulo

SÃO PAULO
1978

SAUL BARISNICK SUSLICK

ESTUDO METODOLÓGICO DE TÉCNICAS ESTATÍSTICAS
PARA ANÁLISE DE DADOS GEOQUÍMICOS

DEDALUS - Acervo - IGC

30900005724

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Instituto de Geociências da Universidade de
São Paulo

Orientador:

Prof. Dr. Gilberto Amaral

SÃO PAULO
1978

A Lili, minha mulher

ÍNDICE

CAPÍTULO I	1
INTRODUÇÃO	1
1 - OBJETIVOS	1
2 - EVOLUÇÃO DOS CONHECIMENTOS	2
3 - PROBLEMAS DE METODOLOGIA	3
4 - MODELOS	5
5 - ÁREA ESTUDADA	7
 CAPÍTULO II	 12
PROPOSTA: CADEIA DE TRATAMENTO ESTATÍSTICO PARA DADOS GEOQUÍMICOS	 12
 CAPÍTULO III	 15
METODOLOGIA EMPREGADA	15
1 - GEOQUÍMICA REGIONAL	15
A - ANÁLISE DE SUPERFÍCIE DE TENDÊNCIA	16
B - MÉDIAS-MÓVEIS PONDERADAS	17
2 - GEOQUÍMICA TÁTICA	19
A - PARÂMETROS DE AMOSTRAGEM	21
A.1 - PADROES DE MOAGEM	21
A.2 - SELEÇÃO DE FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS	26
A.3 - SELEÇÃO DOS HORIZONTES	28
B - ANÁLISE ESTATÍSTICA ELEMENTAR	29
B.1 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS DISTRIBUIÇÕES	35

C - TRATAMENTO MULTIVARIANTE	38
C.1 - MÉTODOS ESTATÍSTICOS MULTIVARIANTES DE CLASSIFICAÇÃO	38
C.2 - MÉTODOS ESTATÍSTICOS MULTIVARIANTES DE PREVISÃO	42
C.3 - MÉTODOS ESTATÍSTICOS MULTIVARIANTES DE DESCRIÇÃO	47
D - VARIÁVEIS REGIONALIZADAS	60
D.1 - VARIOGRAMA	67
D.2 - ANÁLISE VARIOGRÁFICA	71
 CAPÍTULO IV	 75
DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	75
1 - GEOQUÍMICA REGIONAL	75
2 - GEOQUÍMICA TÁTICA	76
A - PARÂMETROS DE AMOSTRAGEM	76
B - TRATAMENTO MULTIVARIANTE	85
B.1 - ANÁLISE DE AGRUPAMENTO	85
B.2 - ANÁLISE DE REGRESSÃO	86
B.3 - ANÁLISE FATORIAL	89
C - VARIÁVEIS REGIONALIZADAS	90
 CAPÍTULO V	 93
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	93
 RESUMO	 96
AGRADECIMENTOS	97
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98

ÍNDICE DAS ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura	1 - Esboço geológico e amostragem geoquímica regional	9
Figura	2 - Mapa geológico parcial da área-alvo	10
Figura	3 - Organograma: cadeia de tratamento estatístico de dados geoquímicos	14
Figura	4 - Análise de superfície de tendência - superfície de 8º grau	18
Figura	5 - Mapa de distribuições de teores de flúor (F) - médias móveis ponderadas	20
Figura	6 - Histogramas das distribuições das frações finas e grossas	27
Figura	7.1 - Diagrama log-probabilidade de Pb e Bi	31
Figura	7.2 - Diagrama log-probabilidade de Zn e Cu	32
Figura	7.3 - Diagrama log-probabilidade de Ni e Ti	33
Figura	8 - Fluxograma da cadeia de processamentos estatísticos (parcial)	34
Figura	9.1 - Teste de Kolmogorov-Smirnov para normalidade - Cu	36
Figura	9.2 - Teste de Kolmogorov-Smirnov para normalidade - Pb	36
Figura	9.3 - Teste de Kolmogorov-Smirnov para normalidade - Zn	36
Figura	10.1 - Histogramas de Zn	37
Figura	10.2 - Histogramas de Pb	37
Figura	10.3 - Histogramas de Cu	37
Figura	11 - Dendrograma da matriz de correlação	40
Figura	12 - Dendrogramas das variáveis	41
Figura	13 - Matriz de correlação entre as variáveis	44
Figura	14 - Mapa de resíduos de Zn em função de Fe_2O_3 - Polinômio de grau 2	49

Figura 15 - Mapa de resíduos de Zn em função de Mn - Polinômio de grau 2	50
Figura 16 - Mapa de resíduos de Zn em função de Mn e Fe_2O_3	51
Figura 17 - Mapa de isoteores de chumbo (Pb)	52
Figura 18 - Mapa de isoteores de zinco (Zn)	53
Figura 19 - Mapa de isoteores de manganês (Mn)	54
Figura 20 - Mapa de isoteores de óxido férrico (Fe_2O_3)	55
Figura 21 - Sequência de cálculos - Análise fatorial	60
Figura 22 - Diagrama binário de fatores	61
Figura 23 - Coeficientes dos "factor-score" normalizados	62
Figura 24 - Mapa dos "factor-score" das amostras - Fator 1	63
Figura 25 - Mapa dos "factor-score" das amostras - Fator 2	64
Figura 26 - Mapa dos "factor-score" das amostras - Fator 3	65
Figura 27 - Variograma - Fenômeno de transição	69
Figura 28 - Variâncias de extensão diversas - Esquema esférico de Matheron	74
Figura 29 - Rotina programada de parâmetros de amostragem	84

TABELAS

Tabela 1 - Tipos de moagens	22
Tabela 2 - Parâmetros de análise de variância - Moagens	23
Tabela 3 - Resultado dos parâmetros referentes à análise de variância - Moagens	24
Tabela 4 - Médias ordenadas - Teste Tukey	26
Tabela 5 - Parâmetros de análise de variância - Horizontes	28
Tabela 6 - Resultados da análise de variância - Horizontes	30
Tabela 7 - Parâmetros estatísticos descritivos da população	45
Tabela 8 - Equações dos modelos de regressão utilizados	48
Tabela 9 - Parâmetros estatísticos descritivos (Variograma)	70
Tabela 10 - Direções propostas para elaboração dos variogramas	71
Tabela 11 - Cálculo da variância total da área	73
Tabela 12 - Teores de elementos químicos no solo	77

-v-

Tabela 13 - Valores de frequências máximas	79
Tabela 14 - Parâmetros estatísticos dos três horizontes	82
Tabela 15 - Valores de covariância e correlação entre os três horizontes	83
Tabela 16 - Matriz fatorial rotada - Varimax	89

ANEXO	107
-------	-----

Variogramas de Cu, Pb e Zn segundo as direções propostas	108-116
--	---------

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1 - OBJETIVOS

A presente dissertação visa focalizar alguns dos principais métodos estatísticos, no que concerne ao tratamento de dados geoquímicos. O enfoque central será o desenvolvimento de uma sistemática, através da elaboração de um organograma de diversos programas estatísticos, relacionados à prospecção geoquímica de multi-elementos.

A apresentação se fará de uma breve descrição dos programas e algoritmos desenvolvidos e adaptados com ênfase na análise multivariante e sua ulterior aplicação em campanhas geoquímicas, tanto em âmbito regional como local.

A título de ilustração, apresentar-se-á paralelamente, uma aplicação em um caso específico de um projeto piloto de prospecção táctica em solos, executada em área-teste, no maciço granítico da Serra de São Francisco, situada ao sul da cidade de Sorocaba.

Deve-se ressaltar, que o presente trabalho compõe um conjunto de pesquisas metodológicas desenvolvidas pelo Agrupamento de Minas da DMGA-IPT no campo da pesquisa mineral, notadamente na área de prospecção geoquímica. Este projeto possibilitou a realização de uma série de estudos concernentes aos aspectos estruturais do tratamento de dados em geoquímica aplicada, não se atendo somente à interpretação como produto final, mas também a questão da qualidade da informação obtida.

Por seu turno, esta questão motivou um capítulo adicional referente à discussão da problemática da matematização (quantificação) das variáveis geológicas, que através de uma leitura

atenta fornecerá subsídios importantes para a compreensão de todo o contexto, que envolve os aspectos metodológicos da aplicação da estatística no tocante à prospecção geoquímica.

2 - EVOLUÇÃO DOS CONHECIMENTOS

O desenvolvimento dos métodos quantitativos e sua aplicação em diversas áreas do conhecimento, vem contribuindo para a expansão no âmbito da pesquisa, tanto na ciência como na tecnologia.

Nas ciências geológicas, a presente tendência vem também se manifestando progressivamente nas últimas décadas. O advento de novas técnicas, principalmente do computador eletrônico, aliado à necessidade crescente de recursos minerais, foram os principais responsáveis por este processo. Por sua vez, este desenvolvimento proporcionou um grande afluxo de dados e informações, na qual a metodologia estatística, relacionada ao tratamento matemático da informação geológica, veio preencher uma enorme lacuna.

O presente processo de matematização, não se deu por acaso ou por simples modismo científico, mas sim porque está intimamente relacionado aos fundamentos teóricos de uma ciência, propiciando as condições necessárias para a revisão de seus princípios básicos.

Os métodos quantitativos já vem sendo utilizados em Geologia desde longa data, embora devido a inúmeras razões ligadas à própria especificidade do desenvolvimento das Ciências da Terra, sua aplicação não se deu inicialmente de forma sistemática.

CHARLES LYELL (1830) pode ser considerado como um dos percussores a pensar em quantificação, onde subdividiu as rochas de idades Terciárias com base na frequência de fósseis amostra

dos. Durante a década de 30 do presente século, técnicas estatísticas foram aplicadas aos problemas sedimentológicos relacionados à pesquisa do petróleo nos Estados Unidos e União Soviética.

Na Geoquímica, após a Segunda Grande Guerra, os métodos estatísticos foram incorporados rapidamente na investigação relativa a abundância dos elementos na crosta terrestre (AHRENS, 1954a; AHRENS, 1954b; CHAYES, 1954; JIZBA, 1959; VISTELIUS, 1960; SHAW, 1961). Embora as pesquisas ficassem inicialmente circunscritas ao círculo acadêmico, sua metodologia extrapolou para as áreas de aplicação dos recursos minerais (TENNANT & WHITE, 1959; LEPELTIER, 1969; DAHLBERG, 1968 e outros).

3 - PROBLEMAS DE METODOLOGIA

O processo de matematização em geologia ou em qualquer outra área do conhecimento científico, engloba os seguintes componentes:

- objetivo da pesquisa;
- a combinação de teorias e hipóteses;
- metodologia de uma disciplina específica;
- linguagem científica.

Tal abordagem mostra claramente como se torna inadequada a visão tradicional da matemática como somente uma maneira de quantificar, possibilitando, exclusivamente a caracterização de certas propriedades dos objetos naturais através da ponderação e medida.

Segundo ABRAMOVICH *et al.* (1972), a matemática não está somente relacionada com o estudo das leis quantitativas no universo numérico, mas também com as relações qualitativas entre os objetos de qualquer natureza.

GRIFFITHS (1970) vai mais adiante, quando afirma que o nível de maturação de um determinado campo de conhecimento é frequentemente avaliado pelo grau de sofistificação na aplicação da matemática. Portanto, tal fato apresenta algum interesse nas ciências geológicas, que vem atualmente demandando uma quantificação sempre crescente, pelo incremento de artigos publicados onde os números são utilizados em detrimento de uma descrição qualitativa. É evidente que este nível de sofistificação não atinge todas as áreas de atuação das ciências geológicas.

O contexto da matematização em geologia é entendido como uma assimilação ativa dos métodos da linguagem da matemática, visando a elaboração de teorias mais rigorosas dos processos geológicos fundamentais, prognosticando a ocorrência de depósitos minerais.

No processo de quantificação de geologia, tem-se uma grande quantidade de problemas que podem ser solucionados através do recurso da estatística matemática, e por outro lado apresentam paralelamente um desenvolvimento de problemas gerais metodológicos, seguidos de discussões em relação a tentativa de identificar "problemas-chave" e "principais tendências". Ponto de vista conflitantes, por exemplo, tem surgido em questões de como se deve iniciar um processo de quantificação: - Através de uma formalização geral dos conceitos geológicos ? - Através de premissas e soluções de um problema geológico particular, suscetível de tratamento matemático ? - Em que grau o caráter dos objetos geológicos permite o uso de construções de probabilidade ou similares ?

Acredita-se que tais discussões irão caminhar para a polêmica acerca do desenvolvimento científico e o papel que a matemática desempenha neste processo, com consequências importantes na geologia, na formalização de seus conceitos e assertivas.

A opinião dos especialistas dedicados ao estudo da

quantificação é bastante controvertida. Alguns, advogam que a complexidade inerente à indivisibilidade do fenômeno natural é inacessível aos processos matemáticos. Por outro lado, outros afirmam que é um passo em direção à revisão e caracterização de toda uma base conceitual (ABRAMOVITCH, 1972).

Não resta dúvida, que definições mais rigorosas são condições necessárias para as premissas de qualquer problema científico. Desta maneira, as ciências geológicas como síntese da atuação de diferentes parâmetros, implicará que qualquer tentativa de formalização não poderá ser feita através de um único ato.

4 - MODELOS

No estudo de qualquer fenômeno deve-se preferencialmente iniciar pela criação de um modelo, orientado segundo suas próprias particularidades, obedecendo as regras básicas do método científico.

A experimentação sobre os sistemas geológicos, na maioria dos casos, é prejudicada pelas dificuldades encontradas na reprodução dos sistemas em escala de laboratório.

A utilização dos modelos se constitui numa ferramenta adequada para minimizar esse problema, bem como a superação dos constrangimentos operacionais de natureza econômica. Pode-se afirmar, que os modelos no atual estágio do conhecimento geológico, se resumem numa característica estrutural do comportamento das variáveis geológicas.

Obviamente, nenhum objeto pode ser estudado simultaneamente dentro da gama enorme de suas propriedades, relações e contexto. Em qualquer investigação concreta, só se pode levar em consideração certas propriedades e relações do objeto, as

quais combinadas resultarão no modelo propriamente dito.

A criação de um modelo, inevitavelmente envolve a idealização de uma realidade. O caráter de qualquer modelo, particularmente sua complexidade, depende em certo nível não somente do tipo de objeto real que se pretende refletir, mas também dos objetivos propostos. Isto se deve, aos modelos matemáticos em geologia que se constituem num elo entre objetos naturais (depósito, jazida) e sua imagem abstrata, idealizada pelo modelo matemático.

KRUMBEIN & GRAYBILL (1964), forneceram a seguinte classificação esquemática para os modelos geológicos:

Por uma questão de tradição histórica, os geólogos estão mais intimamente relacionados aos modelos de escala (mapas geológicos, perfis) e modelos conceituais (imagens mentais dos fenômenos).

Dentre os modelos matemáticos podemos distinguir os seguintes:

- modelos determinísticos: quando as variáveis que o

constituem, compõem expressões matemáticas que caracterizam univocamente o comportamento do sistema. Exemplo: análise numérica, análise polinomial, mapeamento automático;

- modelos estatísticos: é uma expressão matemática envolvendo variáveis, parâmetros e constantes com uma ou mais componentes aleatórias;

- modelos estocásticos: constituem na sua essência sinônimos de modelos matemáticos. Todavia, possuem, paralelamente uma componente aleatória específica atuando sobre si, caracterizando-se mais por sua base probabilística do que determinística.

A experiência tem seguidamente demonstrado, que a elaboração de modelos matemáticos em geologia, nem sempre se constitui numa tarefa simplesmente operatória, na medida que os objetos envolvem aspectos múltiplos e diversos. Esta feição constitui um aspecto histórico distintivo, e ao mesmo tempo um sério obstáculo à sua quantificação.

A divisão proposta por KRUMBEIN & GRAYBILL (*op. cit.*) é mais elucidativa no tocante ao seu aspecto didático, do que mormente à sua aplicação formal. Devido ao fato, de que a maioria dos modelos matemáticos em geologia são dotados de um certo grau de incerteza, assegurando um substrato estatístico aos modelos. O problema básico consiste em minimizar a influência das variáveis aleatórias, possibilitando assim, uma representação determinística adequada da relação entre a média de um conjunto de atributos, ao invés de recorrer-se às feições individuais.

5 - ÁREA ESTUDADA

O projeto São Francisco compreendeu inicialmente uma

área de contexto regional, situada parcialmente nas Folhas de São Roque e Pilar do Sul (Figura 1). A área em questão, englobada pelo batólito granítico da Serra de São Francisco, foi submetida a uma campanha geoquímica semi-regional, visando selecionar alvos para uma futura campanha em escala detalhada.

Segundo o esquema de compartimentação tectônica proposto por HASUI (1973), a área se situaria dentro do bloco São Roque, individualizado através de importantes zonas de falhamentos transcorrentes, constituído por metamorfitos (metapelitos, metapsamitos, metabasitos, rochas calcárias e calco-silicatadas) e rochas granitóides, todo o conjunto pertencendo ao Grupo São Roque.

A classificação tectônica deste maciço é extremamente controvertida, HASUI *et al.* (1969) consideravam-no tardi-tectônico enquanto outros autores qualificam-no como sintectônico. Face a esta dificuldade, HASUI (1973), retornando à definição original de ESKOLA, considerou o maciço em questão como sintectônico parautoctone.

A área-alvo selecionada de 8 km², situa-se ao sul da cidade de Sorocaba (Figura 2), estando recortada no sentido E-W pelo batólito granítico da Serra de São Francisco, disposto segundo a orientação geral das encaixantes. Por seu turno, esta área foi submetida a uma segunda campanha geoquímica em caráter tático com maior grau de detalhe.

Tanto a geologia local, como a regional, estão intimamente relacionadas à Zona de Transcorrência de São Paulo (HASUI *et al.*, 1975), integrante de um conjunto tectônico maior, denominado Região de Dobramentos Sudeste (ALMEIDA *et al.*, 1976), ativa durante o ciclo Brasileiro.

Ainda segundo HASUI (1973), o maciço foi seccionado em sua borda meridional pelo Falhamento de Pirapora, sob a ação de esforços compressivos principais com direção E-W. A separação dos blocos adjacentes deu-se por zonas cataclásticas ao lon

go de faixas extensas, chegando a atingir, em alguns locais, larguras quilométricas.

No que concerne à geologia local da área-alvo selecionada, observa-se que esta não apresenta uma grande diversidade litológica, podendo ser isolados os seguintes grupos: rochas calcossilicatadas, graníticas, calcárias e calcoxistos (Figura 2).

A mineralização estaria possivelmente relacionada às áreas graisenificadas do granito. Trabalhos anteriores (KNECHT, 1945; SALDANHA & FRANCO, 1946 e BARBOSA & MACIEL, 1951) resultaram na localização e reconhecimento de inúmeras ocorrências de cassiterita, wolframita e sulfetos de Pb, Zn, e Cu na extremidade oeste do maciço. A campanha de prospecção geoquímica regional, que utilizou o F (flúor) como elemento guia, veio corroborar estas informações constantes da bibliografia.

As observações geológicas na área-alvo, confirmando as informações de estudos anteriores, sugeriram a existência de um condicionamento tectônico para as mineralizações (SUSLICK *et al.*, 1977).

CAPÍTULO II

PROPOSTA: CADEIA DE TRATAMENTO ESTATÍSTICO PARA DADOS GEOQUÍMICOS

O emprego de métodos geoquímicos conduz a uma massa considerável de dados. Com o desenvolvimento dos processos de pesquisa, reconheceu-se que os métodos existentes, não eram suficientemente precisos, para diagnosticar comportamentos anômalos dos elementos analisados. Para tanto, recorreu-se à metodologia estatística no sentido de tratar com eficiência o enorme volume de dados, evidenciar as diferenciações mais sutis, atuar como elemento adicional na interpretação da variabilidade dos dados e servir como elemento crítico de base dos conceitos empíricos em geoquímica.

A grande dificuldade no tratamento estatístico das informações em geoquímica aplicada reside na dificuldade de integrar as variações dos fatores geológicos, pedogenéticos, fisiográficos que conduzem à formação de populações heterogêneas. Trabalhos mais recentes (NICHOLL *et al.*, 1969; ARMOUR-BROWN A. *et al.*, 1970; CAMERON, E.M. *et al.*, 1971; DEGEOFFROY *et al.*, 1968; LECUYER, P. *et al.*, 1974) e incluindo "papers" de publicações especializadas tem apresentado métodos mais eficientes e consequentes.

As dificuldades aumentam sensivelmente, nas condições de uma prospecção geoquímica em ambientes tropicais como é o caso no Brasil, onde a meteorização se torna rápida e completa, em que os métodos geológicos superficiais tornam-se pouco efetivos e dispendiosos dado a falta de afloramento e intra-estrutura adequada.

Dentro desta perspectiva, estudos metodológicos de geoquímica aplicada tornam-se instrumentos de grande valia. Neste

sentido o Agrupamento de Minas da DMGA, vem nortear suas pesquisas numa tentativa de analisar e aplicar criticamente todas as ferramentas, que possam tornar exequível um conjunto de técnicas geoquímicas, como um meio racional de descobrir jazimentos minerais dentro do contexto do nosso meio físico.

Para a consecução deste objetivo foi idealizado um projeto piloto de prospecção geoquímica tática, denominado "Projeto São Francisco", numa área situada no maciço granítico de São Francisco ao sul da cidade de Sorocaba.

Um dos produtos deste empreendimento possibilitou a criação de uma cadeia de programas estatísticos, completamente rotinizada (Figura 3). De uma maneira geral, os programas aqui representados, constituem o resultado de dois anos de intenso trabalho de fixação e adaptação de algoritmos, ajustados às necessidades ditadas pelos métodos de prospecção geoquímica de multi-elementos.

A proposta básica para a sua utilização, pressupõe uma revisão de alguns conceitos e critérios de interpretação e seleção de anomalias geoquímicas. A prospecção geoquímica multi-elementos implica pela sua própria natureza, fundamentalmente na qualidade da informação obtida, em uma integração das diversas etapas; amostragem, análise, tratamento e armazenamento desta informação.

Os progressos realizados no domínio das técnicas analíticas tanto em absorção atômica como espectrofotometria de emissão, permitem a custos baixos, analisar simultaneamente com alto grau de precisão, sensibilidade, e exatidão de 10 a 30 elementos sobre a mesma amostra. Embora, atualmente segundo WILHEM (1977) os métodos ditos clássicos, colorimetria ou absorção atômica utilizados ao nível das campanhas geoquímicas táticas, tendem a ser progressivamente substituídos pelas modernas técnicas de espectrometria, como o Quantômetro e o Espectrofotômetro de Emissão à Plasma.

Figura 3 - Organograma: Cadeia de Tratamento Estatístico de Dados Geoquímicos

CAPÍTULO III

METODOLOGIA EMPREGADA

1 - GEOQUÍMICA REGIONAL

Em 1973/1974 foi iniciado o projeto São Francisco, através de uma campanha de prospecção geoquímica semi-regional, compreendendo a área abrangida pelo batólito granítico da Serra de São Francisco (Figura 1).

Esta campanha teve por objetivo a seleção de uma área (ou conjunto de áreas) passíveis de serem submetidas posteriormente a uma abordagem extensiva, através de trabalhos em escala reduzida e com maior rigor no controle dos parâmetros básicos de amostragem.

A densidade da amostragem foi de 4.5 amostras/km². Um total de 1.350 amostras foram coletadas em uma área de 300 km², tendo como base um mapa geológico preliminar da região em escala 1:25.000.

A amostragem constou de 1.300 amostras de solo, com horizontes de profundidades controlados e 50 amostras de rocha. Executaram-se 4.000 determinações analíticas de Cu, Pb, Zn, F, Sn, Mo, Bi e As, através de Fluorescência de Raios X e Eletrodo Específico (F). Paralelamente a estas análises, foram realizadas cerca de 30 análises petrográficas expeditas.

Tendo em vista o objetivo nesta fase inicial dos trabalhos e a resposta analítica dos vários processos empregados nas determinações, optou-se dada a sua aplicabilidade, a utilização somente dos dados referentes ao elemento flúor. Somadas ainda as características do flúor que sob determinadas condições, pode

atuar como um "elemento guia" de mineralizações correlatas (FARREL, 1974).

O tratamento estatístico dos dados, neste estágio inicial, foi conduzido com base em estimativas grosseiras de distribuição das populações dos perfis amostrados.

A - ANÁLISE DE SUPERFÍCIE DE TENDÊNCIA

A noção de "trend" em geologia implica na variação sistemática de uma variável geológica em sentido geográfico (espacial). O termo foi introduzido inicialmente por GRANT (1957) para análise de dados geofísicos.

A análise de tendência consiste essencialmente no ajuste de superfícies matemáticas, através de expressões polinomiais (ou séries de Fourier) ao conjunto de dados de diferentes ordens. Para tanto, utiliza-se o método dos mínimos quadrados visando obter uma equação de regressão, para interpolar as curvas entre os pontos de controle e separar componentes de variação no mapa.

A literatura concernente aos modelos de análise de tendência em geologia é bastante volumosa e abordagens consideradas foram feitas por KRUMBEIN & GRAYBILL (1965), HARBAUGH & MERRIAN (1968) e AMARAL (1971).

Em geoquímica, NICHOL *et al.* (1969); NACKWOSKI, MARDISSOIAN & BOTBOL (1967) utilizaram os modelos de "trend surface" para predição, interpolação e seleção dos componentes de variação na distribuição de elementos químicos.

A seleção de uma superfície que esteja perfeitamente ajustada aos dados, pode em alguns casos se constituir num problema. Deste modo, os fatores geológicos ou geoquímicos pertinentes devem na medida do possível ser levados em consideração

na seleção da superfície adequada.

O conjunto dos dados de flúor (F), foram submetidos ao "Trend Surface Analysis" (Figura 4) através de um programa desenvolvido por AMARAL (1976), no sentido de corroborar as áreas de anomalias selecionadas pelo método clássico citado anteriormente no item A.

B - MÉDIAS-MÓVEIS PONDERADAS

Em situações onde a aplicação do "Trend Surface" é limitada pelo número exagerado de pontos de inflexão (flexuras), pode-se recorrer à técnica das médias-móveis ponderadas. Este método foi desenvolvido por KRIGE & UECKERMANN (1962) nos seus trabalhos referentes a determinação de tendências nas distribuições de ouro nas jazidas de Witwatersrand (África do Sul).

No presente estudo foi desenvolvido um programa de médias-móveis, denominado MEMOV (SUSLICK & QUINTANILHA, 1978) que calcula um teor médio ponderado, através de um polígono (quadrado, retângulo, circunferência, etc.) que percorre a área total do mapa, subdividindo-o em células. A lei de intersecção ou recobrimento dentre as várias células consecutivas é fixada pelo usuário.

A escolha do melhor recobrimento deve ser feita comparativamente, tendo em vista que quanto menor a porcentagem de recobrimento, mais suave ficará a tendência e conseqüentemente mais difícil a sua visualização.

A superfície através do método de médias-móveis apresenta a desvantagem de ser bastante influenciada pelos valores máximos e mínimos dos dados, existindo em casos particulares distorções em algumas situações bastante expressivas. Entretanto, este problema pode ser contornado através de uma escolha adequada

da da superfície de recobrimento.

De modo análogo ao "Trend Surface", os teores de flúor (F), foram submetidos ao programa MEMOV, objetivando com parar as distribuições espaciais dos mesmos segundo ambos os métodos (Figura 5).

2 - GEOQUÍMICA TÁTICA

Após a delimitação da área, através dos processos descritos no item referente à Geoquímica Regional foi executada uma segunda campanha geoquímica em escala mais detalhada, visando a consecução dos seguintes objetivos:

- análise dos diversos parâmetros de amostragem: tipo de moagem, fração granulométrica ideal, horizontes de amostragem (profundidade);

- análise dos parâmetros analíticos: eficiência de ataques químicos, reprodutibilidade instrumental, operacionalidade;

- aplicabilidade dos diversos métodos estáticos: uni e multivariante, operacionalidade da cadeia de "packages" estatísticos;

- estudo e definição do comportamento dos elementos traços e maiores no solo, bem como as interrelações entre as anomalias significativas e possíveis mineralizações.

Para atingir as etapas de trabalho acima citadas, realizou-se um plano com 1.416 amostras de solo, coletadas em uma malha regular com espaçamento fixo de 50 m, sendo analisados 14 elementos (Na_2O , K_2O , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Ag , Ti , Mn , Cu , Pb , Zn , Ni , As , V). Deste total, selecionou-se aleatoriamente várias alíquotas visando estudar os parâmetros de amostragem e técnicas de análise química instrumental.

Figura 5 - Mapa da distribuição de teores de flúor (F) - Médias móveis ponderadas.

A - PARÂMETROS DE AMOSTRAGEM

Os problemas de amostragem tem recebido uma atenção bastante especial em geologia, e mormente na geoquímica por vários autores (KRUMBEIN & GRAYBILL, 1965; GRIFFITHS, 1967; GY, 1967; KOCK & LINK, 1971; GRIFFITHS, 1974).

Em prospecção geoquímica a qualidade dos parâmetros de amostragem é de suma importância, na medida que a sua eficácia se constitui na base de todas as previsões e inferências, que refletem um dado sistema geoquímico (jazida, mineralização, ciclo geoquímico, etc.).

Neste sentido durante o processo de amostragem foram analisados os seguintes parâmetros:

- caracterização e seleção de uma profundidade ideal no processo de amostragem;
- fração granulométrica adequada;
- padrões e tipos de moagens.

A.1 - PADRÕES DE MOAGEM

Para a obtenção dos dados foram selecionados aleatoriamente 10 amostras de solo, coletadas em poços provenientes da área-alvo anteriormente demarcada. Nestas amostras foram analisados os elementos: Cu, Pb, Zn, Ni, Bi, Sn, Ti, Ag e As, na fração menor que 100 mesh, sofrendo quatro tipos de moagens durante o intervalo de tempo de 1 minuto (Tabela 1).

TIPOS DE MOAGENS

MOAGENS	TEMPO (MIN)
Gral de ágata fechada (AF)	1
Gral de ágata aberta (AA)	1
Borracha (BO)	1
Desagregação (DE)	1

De posse destes resultados, foi possível estabelecer um roteiro de análise estatística sumária, compreendendo: análise de variância em uma direção, teste de Tuckey para comparações múltiplas entre médias e o teste "t" de STUDENT.

Análise de variância

O método de análise de variância consiste no estudo das fontes de variabilidade dos dados e na partição das variâncias das observações, cabendo a cada conjunto uma interpretação geoquímica dos parâmetros atinentes à amostragem.

A técnica da análise de variância resume-se numa comparação entre médias. No problema em questão, medir a variação entre as médias dos quatro tipos de moagens, estabelecendo-se hipóteses e soluções alternativas.

$$H_0: \mu_1: \mu_2: \mu_3: \mu_4$$

H_1 : pelo menos uma média é diferente

Para a realização do teste, certas premissas são necessárias:

- as replicatas devem representar amostras aleatórias de diferentes populações;
- as populações devem ser normalmente distribuídas;

- populações parentais devem possuir a mesma variância.

Os cálculos necessários para a análise das fontes de variação, graus de liberdade e as respectivas médias quadráticas, que representam as variâncias estimadas a partir das amostras e o valor do teste "F", encontram-se na Tabela 2.

TABELA 2

PARÂMETROS DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA-MOAGENS

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DOS QUADRADOS	GRAUS DE LIBERDADE	MÉDIA QUADRÁTICA	TESTE "F"
Entre amostra	SQ_A	M-1	MQ_A	MQ_A/MQ_M
Moagens	SQ_M	N-M	MQ_M	
Variação total	SQ_T	N-1		

No cálculo dos diversos componentes lançou-se mão do programa VARIO/1, adaptado e modificado a partir do programa ONEOVA (DAVIS, 1973). Os resultados do teste "F", referentes aos nove elementos, encontram-se na Tabela 3.

Teste de Tukey - Test "t"

O conjunto de elementos Cu, Pb e Zn sofreu uma abordagem em grau maior de detalhe, através dos testes subsequentes de Tukey e "t". O objetivo desta análise (Tukey) é isolar os vários componentes (moagens) em grupos, podendo as médias serem reagrupadas de acordo com a sua magnitude (KOCH & LINK, 1971).

Para tal procedimento, calcula-se inicialmente um intervalo ("Allowance") que pode ser interpretado como um limite da região crítica para teste de hipótese, onde o valor de contraste é igual a zero. Isto pode ser interpretado, como a quantidade

TABELA 3

RESULTADO DOS PARÂMETROS REFERENTES À ANÁLISE DE VARIÂNCIA-MOAGENS

FONTES DE VARIÂÇÃO	SOMA DOS QUADRADOS	GRAUS DE LIBERDADE	MÉDIA QUADRÁTICA	TESTE "F"	ELEMENTO
Amostras	0.178×10^5	9	0.198×10^4	1.00	As
Moagens	0.550×10^5	30	0.180×10^4		
Variação total	0.729×10^5	39			
Amostras	0.497×10^3	9	0.550×10^2	18.00	Bi
Moagens	0.110×10^3	30	0.300×10^2		
Variação total	0.608×10^3	39			
Amostras	0.127×10^4	9	0.140×10^3	9.00	Cu
Moagens	0.480×10^3	30	0.150×10^2		
Variação total	0.175×10^4	39			
Amostras	-0.461×10^1	9	0.	0.00	Ag
Moagens	0.60×10^2	30	0.20×10^1		
Variação total	0.534×10^2	39			
Amostras	0.259×10^7	9	0.287×10^6	50.00	Ti
Moagens	0.170×10^6	30	0.560×10^4		
Variação total	0.276×10^7	39			
Amostras	0.415×10^3	9	0.460×10^2	1.00	Sn
Moagens	0.110×10^4	30	0.370×10^2		
Variação total	0.153×10^4	39			
Amostras	0.182×10^5	9	0.202×10^2	11.00	Zn
Moagens	0.520×10^4	30	0.170×10^3		
Variação total	0.234×10^5	39			
Amostras	0.240×10^3	9	0.260×10^2	2.00	Ni
Moagens	0.310×10^3	30	0.100×10^2		
Variação total	0.552×10^3	39			
Amostras	0.408×10^5	9	0.453×10^4	10.00	Pb
Moagens	0.140×10^5	30	0.450×10^3		
Variação total	0.543×10^5	39			

Obs.: $F_{\text{tabelado}} = F(9,30) = 2.21$ $N_c = F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$

tidade a ser adicionada ou subtraída, para construir-se um intervalo de confiança para a média da população do contraste. Para o cálculo deste intervalo, utiliza-se dos seguintes procedimentos:

$$1) s_p^2 = s^2 = \frac{\sum (\omega - \bar{\omega})^2}{N - 1} = \frac{SS}{N - 1}$$

onde:

s_p^2 = média quadrática das moagens (variância)

N = número total de observações

2) Cálculo do erro padrão estimado da média

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{s_p^2}{N}}$$

3) $q_{10\%} [k, k (n - 1)]$ - Tabela dos percentís de Student

onde:

k = número de moagens

n = número de observações

O teste "t", de uma maneira geral, resume-se numa simplificação do método das comparações múltiplas. Para tanto, define-se a estatística "t" da seguinte forma:

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{S / \sqrt{N - 1}} = \frac{\bar{X} - \mu}{S / \sqrt{N}}$$

onde:

N = tamanho da amostra

μ = média da população

$\bar{X}$ = média amostral

S = desvio padrão

temos então, as seguintes médias ordenadas na Tabela 4.

TABELA 4

MÉDIAS ORDENADAS - TESTE TUKEY

ELEMENTO	AF	AA	BO	DE	INTERVALO "At"
Cu	13.0	12.2	11.0	10.5	7.26
Pb	42.7	39.9	28.7	27.6	7.10
Zn	41.7	39.8	34.7	34.6	5.89

AF: ágata fechada; AA: ágata aberta; BO: borracha; DE:desagregação

A.2 - SELEÇÃO DE FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS

Para a composição dos dados nesta etapa do trabalho foram selecionadas 188 amostras de solo, sorteadas ao acaso em três perfis geológicos, cortando transversalmente as estruturas principais da área selecionada.

O processo de coleta das amostras foi conduzido se quencialmente em três profundidades distintas nos níveis 20, 50 e 70 cm, denominados de maneira um pouco imprópria de horizontes A, B e C respectivamente.

No laboratório, processou-se o peneiramento na fração 100 mesh, analisando-se separadamente por Espectrofotometria de Absorção Atômica as quantidades maiores e menores da referida fração para os seguintes elementos: Cu, Pb, Zn, Ni, Bi, Ag e Ti. Nos diversos horizontes e respectivas frações granulométricas foram plotados histogramas e curvas de distribuição (Figura 6), denominando-se fração grossa (G) e fina (F) quando as quantidades do material ficassem ou não retidas na peneira.

A.3 - SELEÇÃO DOS HORIZONTES

Na seleção dos horizontes de amostragem optou-se pelo modelo de análise de variância (duas direções). Este método é semelhante ao utilizado no processo das moagens, embora, este considere adicionalmente a variação entre as médias, entre as linhas e colunas da matriz de dados. Neste caso, a hipótese nula torna-se:

H_0 e H'_0 , ou seja:

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$ todas as amostras apresentam médias compatíveis

H_1 : pelo menos uma média é diferente.

$H'_0: \mu_A = \mu_B = \mu_C$ todos os horizontes apresentam médias compatíveis

H'_1 : pelo menos uma média é diferente.

Os cálculos necessários para os três níveis, bem como a análise das fontes de variação, graus de liberdade e as respectivas médias quadráticas das variâncias estimadas das amostras e o valor "F", encontram-se dispostos na Tabela 5.

TABELA 5

PARÂMETROS PARA ANÁLISE DE VARIÂNCIA - HORIZONTES

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DOS QUADRADOS	GRAUS DE LIBERDADE	MÉDIA QUADRÁTICA	TESTE "F"
Amostras	SQ_A	$m - 1$	MQ_A	MQ_A/MQ_E
Horizontes	SQ_B	$n - 1$	MQ_B	MQ_B/MQ_E
Erro	SQ_E	$(m - 1)(n - 1)$	MQ_E	
Variação total	SQ_T	$N - 1$		

OBS.: m: número de amostras; n: número de horizontes; N: nxm

Dado o grande volume de dados e de cálculo envolvido, utilizou-se o programa VARIO/2, adaptado e modificado a partir do programa TWONOVA (DAVIS, 1973). Desenvolveu-se também, uma subrotina para o cálculo dos parâmetros estatísticos usuais, tais como: média, desvio padrão, variância, covariância e correlação para os diversos níveis. Os valores de distribuição "F" foram considerados relativamente a dois níveis de significância $\alpha = 0.05$ e $\alpha = 0.01$. Os resultados referentes a este tratamento encontram-se na Tabela 6.

Diagrama Log-Probabilidade

Através de técnicas consagradas de interpretação gráfica empregadas em prospecção geoquímica, desenvolvidas por LEPELTIER (1969) e SINCLAIR (1974), foi possível analisar detalhadamente a distribuição e o comportamento das populações das frações finas e o horizonte B. Para cada elemento em questão foi confeccionado um diagrama log-probabilidade com seus respectivos parâmetros estatísticos (Figuras 7.1, 7.2, 7.3).

B - ANÁLISE ESTATÍSTICA ELEMENTAR

De uma maneira geral, pode-se afirmar que a análise estatística elementar (mono-elementos) fornece os primeiros indícios sobre as características essenciais da distribuição variável. A peça fundamental neste estágio inicial é a caracterização dos parâmetros ligados à distribuição. Estes parâmetros são calculados automaticamente através do programa ISTAT, conforme mostra o fluxograma da Figura 8, sendo os seguintes:

- número de amostras;
- valores extremos dos teores;
- média aritmética;

TABELA 6

RESULTADOS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA-HORIZONTES

FONTES DE VARIACÃO	SOMA DOS QUADRADOS	GRAUS DE LIBERDADE	MÉDIA	TESTE "F"	ELEMENTO
Amostras	0.151×10^9	187	0.809×10^6	15.40	Ti
Horizontes	0.106×10^6	2	0.528×10^5	1.00	
Erro	0.197×10^8	374	0.526×10^5		
Total	0.171×10^9	563			
Amostras	0.309×10^5	187	0.165×10^3	3.06	Bi
Horizontes	0.106×10^3	2	0.529×10^2	0.97	
Erro	0.202×10^5	374	0.541×10^2		
Total	0.512×10^5	563			
Amostras	0.151×10^5	187	0.807×10^2	6.19	Ni
Horizontes	0.892×10^2	2	0.466×10^2	3.42	
Erro	0.487×10^4	374	0.130×10^2		
Total	0.201×10^5	563			
Amostras	0.145×10^8	187	0.774×10^5	12.80	Zn
Horizontes	0.222×10^5	2	0.111×10^5	1.84	
Erro	0.226×10^7	374	0.604×10^4		
Total	0.168×10^8	563			
Amostras	0.362×10^8	187	0.193×10^6	3.96	Pb
Horizontes	0.168×10^6	2	0.842×10^5	1.72	
Erro	0.183×10^8	374	0.489×10^5		
Total	0.546×10^8	563			
Amostras	0.127×10^7	187	0.679×10^4	3.05	Cu
Horizontes	0.384×10^4	2	0.192×10^4	0.86	
Erro	0.832×10^6	374	0.223×10^4		
Total	0.211×10^7	563			

Obs.: $F_{\text{tabelado}} = F_{.95}$: $F_{(187,374)} = 1.22$ $F_{(2, 372)} = 3.00$
 $F_{.99}$: $F_{(198,374)} = 1.32$ $F_{(2, 374)} = 4.61$

Pb

Bi

Figura 7.1 - Diagrama Log-Probabilidade Pb e Bi

Zn

Cu

Figura 7.2 - Diagrama Log-Probabilidade Zn e Cu

Figura 7.3 - Diagrama Log-Probabilidade Ni e Ti

Figura 8 — FLUXOGRAMA DA CADEIA DE PROCESSAMENTOS ESTATÍSTICOS (PARCIAL)

- desvio-padrão;
- coeficiente de variação;
- média geométrica;
- desvio-geométrico.

Os parâmetros estatísticos básicos permitem uma estimação grosseira das populações ditas de "background" e "anômalas", bem como uma avaliação preliminar do número de subpopulações e as características da dispersão dos elementos, vinculadas às diversas unidades litológicas.

Em casos específicos, dependendo do tipo de distribuição apresentado pelas variáveis e do grau de precisão requerido são realizados estudos de distribuição, através dos testes do Chi-Quadrado (X^2) e Kolmogorov-Smirnov, onde os valores são plotados em gráficos de frequências acumuladas teóricas versus calculadas com uma aproximação polinomial com erro médio de $10^{-3}\%$, para as curvas normal e lognormal (Figuras 9.1, 9.2, 9.3). Este procedimento é executado pelo programa IDISTR.

B.1 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS DISTRIBUIÇÕES

O histograma das frequências de um elemento fornece uma visão geral da repartição do número de amostras, compreendido dentro de um intervalo de variações de teores demarcados (Programa HISTO, Figura 8). O número de classes pode ser fixado arbitrariamente, ou em casos específicos calculado com base na dispersão intrínseca dos teores (Figuras 10.1, 10.2, 10.3).

As curvas de frequência permitem inferências sobre a homogeneidade ou heterogeneidade dos dados, possibilitando deste modo certos tipos de transformação e redução dos dados.

A partição dos histogramas pode ser também utilizada, no caso em que as distribuições possuem um comportamento mais uniforme.

Figura 10.1

Figura 10.2

Figura 10.3

Um outro método são os gráficos de log-probabilidade (LEPELTIER, 1969; SINCLAIR, 1974), utilizados na seleção de horizontes (cf. A.3), que permitem verificar se os dados se ajustam convenientemente a uma lei normal (log-normal), e estimar eventualmente os parâmetros característicos desta lei. Este gráfico é feito através do cálculo das frequências acumuladas nas diferentes classes, sob um papel aritmético-gaussiano, onde no eixo das abcissas são reportados os teores em graduação logarítmica (ou aritmética) e o eixo das ordenadas em escala de probabilidade normal.

A aproximação da lei de distribuição a uma lei log-normal, se dá quando os pontos experimentais estão alinhados através de um segmento de reta.

C - TRATAMENTO MULTIVARIANTE

O tratamento estatístico multivariante constitui uma das principais ferramentas da prospecção geoquímica de multi-elementos. O desenvolvimento destes métodos se deu recentemente, na medida que a complexidade crescente dos processos, vem exigindo aferições mais realistas e objetivas. De maneira a facilitar a representação, os métodos estatísticos multivariantes podem ser classificados em três categorias:

- métodos estatísticos multivariantes de classificação;
- métodos estatísticos multivariantes de previsão;
- métodos estatísticos multivariantes de descrição.

C.1 - MÉTODOS ESTATÍSTICOS MULTIVARIANTES DE CLASSIFICAÇÃO

Um dos métodos mais consagrados é a Análise de Agru.

pamento ("Cluster Analysis"). A exploração geoquímica de multi-elementos como citado anteriormente, envolve um grande volume de dados analíticos, e o geoquímico freqüentemente se defronta com uma tarefa enfadonha e nem sempre adequada de confrontar *visualmente* os dados, e delinhar subjetivamente interrelações das variáveis.

Este método foi primordialmente utilizado por taxonomistas (SOKAL & SNEATH, 1963), numa tentativa em deduzir a linha-gem de espécimes, a partir de características comparáveis e similares entre si.

Análise de Agrupamento é utilizada quando se deseja explorar as similaridades entre amostras (modo Q) e variáveis (modo R), agrupando os diversos conjuntos, de modo que são consideradas simultaneamente todos os elementos medidos.

Utiliza-se os coeficientes de similaridade para medir o grau de associação entre amostras ou variáveis, conforme o caso, e definido em grupos com representação em um espaço n-dimensional. Por sua vez, estes coeficientes são colocados em uma matriz simétrica. A partir daí, são computados e recombinados segundo níveis hierárquicos aglomerativos ("clustering"). Existem várias maneiras para compor o "clustering" (HARTIGAN, 1975), dependendo do critério da entrada do elemento (amostra) no agrupamento, os principais métodos, segundo SOKAL & SNEATH (1963), são: pareamento com ligações médias ponderadas (WPGM), sem ponderações (UPGM) pareamento simples ("single linkage"). O produto final dos agrupamentos é representado por um diagrama hierárquico denominado diagrama de árvores ou dendrograma, mostrado na Figura 11.

Para a consecução das diversas etapas da Análise de Agrupamento foi idealizado o programa *Grupo* (Figura 8). Este por seu turno, engloba dois tipos de coeficientes de similaridades e de agrupamento, bem como calcula opcionalmente o coeficiente cogenético. Durante o curso dos trabalhos, foi também realizado

um estudo experimental envolvendo a comparação entre os métodos de agrupamento.

FIGURA 11 - DENDOGRAMA DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO

O conjunto das 1.416 amostras submetidas à Análise de Agrupamento foram segmentadas em três grupos, segundo partição arbitrária do histograma do Mn em três intervalos:

- Grupo 1 $0 < \text{Mn} < 2.500$;
- Grupo 2 $2.500 < \text{Mn} < 10.000$;
- Grupo 3 $10.000 < \text{Mn} < 30.000$.

Figura 12 - Dendogramas das variáveis

Os elementos analisados dentre os 14 foram: Fe_2O_3 , Ag, Ti, Mn, Cu, Pb, Zn, Bi, Ni e V. Tal procedimento de partição, se prende a uma tentativa de analisar em que grau os teores de Mn, interferem na correlação entre os elementos.

Os dados foram padronizados entre 0-1, segundo as suas variâncias no sentido de homogeneizar a informação referente à distribuição das diversas variáveis analisadas (Figura 12).

C.2 - MÉTODOS ESTATÍSTICOS MULTIVARIANTES DE PREVISÃO

Estes métodos possibilitam o cálculo dos coeficientes de modelos, onde se pretende relacionar as variações de uma variável isolada (ou de um grupo de variáveis) com a variabilidade de outro conjunto de variáveis. Os coeficientes são calculados em um conjunto de amostras de referência, representativa da população global, de modo que possibilite uma prognose segura acerca da população a estimar. Pode-se destacar neste conjunto, dois métodos: Análise Canônica e de Regressão. Neste trabalho será abordada somente a Análise de Regressão Múltipla.

Esta técnica estatística multivariante permite caracterizar quantitativamente, a influência de elementos ditos litológicos, no conteúdo dos elementos-traços, e na correção dos valores observados das populações envolvidas, através do recurso de mapas de resíduos.

Por sua vez, o cálculo de resíduos, se resume na diferença entre os valores observados no mapa, e aqueles calculados segundo a equação de regressão das variáveis. Desta maneira, os novos valores redimensionados podem exibir correlações mais realistas no conjunto dos elementos, refletindo provavelmente os fenômenos ligados à mineralização.

Os parâmetros que orientaram grandemente esta pesquisa, foram os resultados obtidos nos estudos de correlação dos elemen

tos Cu, Pb, Zn, Mn e Fe sobre o total de variáveis, corroborando referências bibliográficas à participação do Fe, Mn como responsáveis dentro de certos limites, pela variação no conteúdo dos elementos-traços (ROSE & SUHR, 1971; CHATUPA & FLETCHER, 1972 e AUSTRIA & CHORK, 1976). A relação Fe e Mn com estes elementos é explicada pela adsorção ou co-precipitação destes com os óxidos de Fe e Mn em ambiente superficial (JENNE, 1968).

A técnica de análise de regressão múltipla, em situações como esta é de grande utilidade, na medida que, é capaz de isolar a influência destes óxidos delimitando corretamente as anomalias significativas.

Com base nas informações mencionadas nos capítulos anteriores, bem como estudos de matriz de correlação (Figura 13) e parâmetros estatísticos descritivos da população amostrada (Tabela 7), selecionou-se do conjunto de variáveis, os elementos Fe, Mn, Pb e Zn, visando analisar a atuação de Fe e Mn sobre Pb e Zn.

A análise de regressão múltipla tem por objetivo avaliar, como uma média de uma variável determinada se comporta em relação a um conjunto de variáveis. Em prospecção geoquímica é comum encontrar-se esta interdependência entre variáveis, que intervêm em um sistema geoquímico. Desta maneira, a influência de elementos maiores no conteúdo dos elementos-traços, bem como a correção dos valores das populações de "background" podem ser objetivamente avaliados.

Na regressão designa-se a variável "Y" como dependente, enquanto que as variáveis restantes $x_1, x_2, \dots, x_n$ são consideradas independentes e $b_0, b_1, b_2 \dots b_n$ os coeficientes. Deve-se chamar atenção, que na terminologia estatística, dependência e independência são definidos "a priori" pelo problema, não implicando necessariamente numa relação de causa-efeito.

O modelo geral para a regressão, pode ser representado da seguinte maneira:

$$Y = X\beta + \epsilon$$

	NA2O	K2O	FE2X	CAO	MGD	AG	TI	MN	CU	PB	ZN	BI	NI	V
NA2O	1.00	0.23	-0.14	0.07	0.14	0.06	0.05	-0.07	-0.05	0.03	0.02	-0.01	-0.01	-0.10
K2O	0.23	1.00	-0.09	0.18	0.42	0.11	0.19	-0.08	0.02	0.11	0.12	-0.00	0.02	-0.05
FE2X	-0.14	-0.09	1.00	0.09	0.03	0.26	0.68	0.61	0.55	0.15	0.55	0.13	0.64	0.66
CAO	0.07	0.18	0.09	1.00	0.43	0.12	0.16	0.08	0.08	0.10	0.18	0.04	0.13	0.07
MGD	0.14	0.42	0.03	0.43	1.00	0.09	0.25	0.01	0.07	0.02	0.09	-0.00	0.17	0.04
AG	0.06	0.11	0.26	0.12	0.09	1.00	0.28	0.19	0.23	0.24	0.33	0.06	0.22	0.12
TI	0.05	0.19	0.68	0.16	0.25	0.28	1.00	0.48	0.51	0.16	0.54	0.09	0.67	0.60
MN	-0.07	-0.08	0.61	0.08	0.01	0.19	0.48	1.00	0.33	0.14	0.62	0.07	0.72	0.37
CU	-0.05	0.02	0.55	0.08	0.07	0.23	0.51	0.33	1.00	0.36	0.37	0.18	0.56	0.36
PB	0.03	0.11	0.15	0.10	0.02	0.24	0.16	0.14	0.36	1.00	0.36	0.16	0.14	0.04
ZN	0.02	0.12	0.55	0.18	0.09	0.33	0.54	0.62	0.37	0.36	1.00	0.09	0.55	0.31
BI	-0.01	-0.00	0.13	0.04	-0.00	0.06	0.09	0.07	0.18	0.16	0.09	1.00	0.07	0.02
NI	-0.01	0.02	0.64	0.13	0.17	0.22	0.67	0.72	0.56	0.14	0.55	0.07	1.00	0.47
V	-0.10	-0.05	0.66	0.07	0.04	0.12	0.60	0.37	0.36	0.04	0.31	0.02	0.47	1.00

MATRIZ DE CORRELACAO

Figura 13 - Matriz de correlação entre as variáveis

TABELA 7

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DESCRITIVOS DA POPULAÇÃO

ELEMENTO	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO	VARIÂNCIA	AMPLITUDE	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO
Na ₂ O	4.0×10^{-3}	6.0×10^{-3}	4.0×10^{-5}	1.6×10^{-1}	1.6×10^2
K ₂ O	8.0×10^{-3}	7.8×10^{-3}	6.0×10^{-3}	1.1×10^0	9.9×10^1
Fe ₂ O ₃	3.9×10^0	3.2×10^0	1.0×10^1	1.9×10^1	8.1×10^1
CaO	4.0×10^{-3}	1.5×10^{-1}	2.4×10^{-2}	4.5×10^0	4.0×10^2
MgO	1.0×10^{-1}	5.2×10^{-1}	3.9×10^{-1}	1.6×10^1	4.3×10^2
Ag	1.0×10^{-1}	5.0×10^{-1}	4.0×10^{-1}	1.2×10^1	3.4×10^2
Ti	2.5×10^2	3.5×10^2	1.2×10^5	2.2×10^5	1.4×10^2
Mn	3.4×10^3	7.9×10^3	6.2×10^7	1.0×10^5	2.3×10^2
Cu	2.1×10^1	2.3×10^1	5.3×10^2	1.9×10^2	1.1×10^2
Pb	7.4×10^1	1.1×10^2	1.3×10^4	1.7×10^3	1.5×10^2
Zn	7.4×10^1	1.1×10^2	1.3×10^4	1.5×10^3	1.5×10^2
Bi	5.8×10^0	1.6×10^1	2.5×10^2	5.4×10^2	2.7×10^2
Ni	5.1×10^0	6.3×10^0	4.0×10^1	7.3×10^1	1.3×10^2
V	3.0×10^1	4.5×10^1	2.1×10^3	3.4×10^2	1.5×10^2

Obs.: Óxidos (%), Elementos-traço (ppm)

Total de amostras = 1416

onde:

Y = vetor dos valores observados

X = matriz conhecida

β = vetor dos parâmetros (coeficientes)

ϵ = vetor dos erros

O modelo estabelece que o vetor das observações " Y " é igual a um termo constante multiplicado pela variável independente, somado ainda a uma componente aleatória (erro). A solução se faz, através do método dos mínimos quadrados fornecendo o "melhor" coeficiente para o conjunto de observações. Por outro lado, pode-se obter também, uma medida do "ajuste" de cada um dos coeficientes, proporcionando assim, inferências seguras e efetivas sobre a relação dos parâmetros, na qual as amostras foram obtidas. A precisão do modelo de regressão adotado é testada através da análise de variância.

O exame e distribuição dos resíduos, constitui a peça fundamental da metodologia de interpretação dos valores significantes dos teores. Os resíduos são definidos como " n " diferenças, isto é:

$$e_i = Y_i - \hat{Y}_i \quad ; i = 1, 2, \dots, n$$

onde:

Y_i = valor observado

$\hat{Y}_i$ = valor correspondente, ajustado pela equação de regressão

No tratamento dos dados no Projeto São Francisco, foi necessário a criação de uma variante da Análise de Regressão Clássica denominada Análise da Regressão Curvilínea. Este tipo de análise consiste na adição de termos à função linear, até o ajuste máximo fornecido pelo modelo. Através da análise de variância, utilizando o teste de aditividade, pode-se selecionar o grau adequado da equação.

Neste projeto, desenvolveu-se programa até o 4º grau,

entre as relações Fe e Mn (variáveis independentes) e Zn (variável independente). O exame dos resíduos por seu turno, possibilitou a seleção de áreas que efetivamente possuem uma associação com a mineralização.

Os resultados das 1.416 amostras, com seus respectivos resíduos a saber: Zn em função de Fe_2O_3 , Zn em função de Mn, Zn em função de Fe_2O_3 e Mn, apresentam-se nas Figuras 14, 15 e 16, respectivamente. Paralelamente, foram também confeccionados os mapas de isoteores de Pb (Figura 17), Zn (Figura 18), Mn (Figura 19) e Fe_2O_3 (Figura 20), com objetivo de auxiliar a interpretação das relações espaciais entre as variáveis.

As equações de regressão dos diversos graus e a porcentagem de variância explicada para Fe_2O_3 e Mn estão listadas na Tabela 8.

C.3 - MÉTODOS ESTATÍSTICOS MULTIVARIANTES DE DESCRIÇÃO

Dentro desta subdivisão destaca-se a Análise Fatorial. Esta técnica estatística multivariante surgiu no início do presente século, como uma proposta para a análise de um conjunto de variáveis correlacionadas. Deve-se a psicologia experimental, o seu desenvolvimento inicial, cujo objetivo seria extrair medidas fundamentais do intelecto através de testes de inteligência. Várias controvérsias surgiram sobre a aplicabilidade do método, em decorrência do seu empirismo inicial, que por longo tempo desencorajaram o interesse dos pesquisadores.

A primeira abordagem rigorosa sobre Análise Fatorial, do ponto de vista da estatística teórica, tratando do problema da estimação, deve-se a LAWLEY (1940). Posteriormente, outras contribuições foram feitas por HOWE (1955), ANDERSON & RUBIN (1956), RAO (1955), HARMAN (1960) e LAWLEY & MAXWELL (1971), para citar apenas algumas que consagraram definitivamente esta técnica, in

TABELA 8

EQUAÇÕES DOS MODELOS DE REGRESSÃO

 Fe_2O_3

$$\text{GRAU 1: Zn} = 3.3110 + 19.4644 \text{ Fe}_2\text{O}_3$$

$$\sigma e = 29.92\%$$

$$R^2 = 0.54$$

$$\text{GRAU 2: Zn} = 51.9018 - 7.5818 \text{ Fe}_2\text{O}_3 + 1.9898 (\text{Fe}_2\text{O}_3)^2$$

$$\sigma e = 35.11\%$$

$$R^2 = 0.59$$

$$\text{GRAU 3: Zn} = 39.1779 + 2.001 \text{ Fe}_2\text{O}_3 + 0.2977 (\text{Fe}_2\text{O}_3)^2 + 0.0773 (\text{Fe}_2\text{O}_3)^3$$

$$\sigma e = 35.27\%$$

$$R^2 = 0.59$$

$$\text{GRAU 4: Zn} = 7.1891 + 35.4091 \text{ Fe}_2\text{O}_3 - 9.2983 (\text{Fe}_2\text{O}_3)^2 + 1.0325 (\text{Fe}_2\text{O}_3)^3 - 0.0302 (\text{Fe}_2\text{O}_3)^4$$

$$\sigma e = 36.00\%$$

$$R^2 = 0.60$$

Mn

$$\text{GRAU 1: Zn} = 45.8628 + 0.0090 \text{ Mn}$$

$$\sigma e = 37.99\%$$

$$R^2 = 0.61$$

$$\text{GRAU 2: Zn} = 32.4500 + 0.0144 \text{ Mn} + (\text{Mn})^2$$

$$\sigma e = 43.65\%$$

$$R^2 = 0.66$$

$$\text{GRAU 3: Zn} = 36.9775 + 0.0108 \text{ Mn} + 0.0 (\text{Mn})^2 + 0.0 (\text{Mn})^3$$

$$\sigma e = 44.33\%$$

$$R^2 = 0.66$$

$$\text{GRAU 4: Zn} = 34.0400 + 0.0141 \text{ Mn} + 0.0 (\text{Mn})^2 + 0.0 (\text{Mn})^3 + 0.0 (\text{Mn})^4$$

$$\sigma e = 44.56\%$$

$$R^2 = 0.66$$

-Mn e Fe_2O_3

$$\text{Zn} = 154.82 - 37.145 (\text{Fe}_2\text{O}_3) + 0.20777 (\text{Mn})$$

$$\sigma e = 142.47\%$$

$$R^2 = 0.10$$

onde:

 R^2 = coeficiente de correlação múltiplo;

 σe = variância explicada

Figura 14
 MAPA DE RESÍDUOS DE Zn em função de
 Fe_2O_3 - POLINÔMIO DE GRAU 2

LEGENDA-(ppm)

- ZnFe < 50
- 50 < ZnFe < 100
- 100 < ZnFe < 300
- 300 < ZnFe < 500
- ZnFe > 500

□ CASA J.B. MENDES

□ JOSÉ LEITE

□ CATINQUEIRO

□ CASA J. B. MENDES

o JOSÉ LEITE

0 100 200 300
ESCALA 1:10 000

Figura 18
MAPA DE ISOTEORES DE ZINCO - Zn
LEGENDA-(ppm)

corporando-a em diversas áreas do conhecimento.

A literatura concernente a aplicação de Análise Fatorial em Geologia vem crescendo nas últimas décadas, na medida que técnicas mais refinadas tem possibilitado inferências estatísticas dos parâmetros, bem como o advento da computação digital, facultando o processamento instantâneo de um enorme volume de cálculo e matemática complexa requerido pelo método. Dentre os inúmeros trabalhos destacam-se NICHOL *et al.* (1969), GARRETT & NICHOL (1970), SAAGER & ESSELER (1969), WILHEM (1971), SAAGER & SINCLAIR (1975), CAZES, SOLETY & VUILLAUME (1970), MIESCH *et al.* (1966), WEBB & BRIGGS (1966), McCAMMON (1966), McCAMMON (1975), MACEDO (1974), BITTENCOURT & LANDIM (1974) KLOVAN, JÖRESKOG & REYMENT (1976), ZODROW (1970), KLOVAN *et al.* (1971) e RUEGG & MACEDO (1974).

A análise fatorial aplicada aos dados de prospecção geoquímica baseia-se na avaliação das correlações entre os elementos químicos. Trata-se desta maneira, de obter sob forma condensada, a maior quantidade de informações contida no conjunto dos dados.

O método reduz a dimensão do espaço inicial, através de um número de vetores equivalentes ao número de elementos químicos de cada amostra. Para tal síntese, se faz necessário uma série de operações matemáticas complexas, que tem como ponto de partida uma matriz de coeficientes entre variáveis (modo R) ou entre amostras (modo Q). O produto resulta na criação de um pequeno número de variáveis hipotéticas, denominadas *fatores*, que respondem por uma parte das variações observadas nos dados.

Estes fatores em condições favoráveis, podem refletir os fenômenos que originaram as variações contidas nos dados. O significado destes fatores deve ser buscado em um contexto geológico ou geoquímico, conforme as peculiaridades do problema. No caso da prospecção geoquímica, os fatores podem ilustrar a presença de diversas mineralizações, o contraste entre as prin

cipais unidades geológicas, fenômenos pedológicos, etc. Deste modo, uma anomalia geoquímica é redefinida qualitativamente em função das correlações entre dois ou mais elementos. Tal interrelação, não se explica somente pelas propriedades intrínsecas dos elementos, mas também da provável *associação mineral* ou *geoquímica*.

A influência de cada um dos fatores sobre uma amostra particular, pode ser avaliada através de um valor denominado "*factor-scores*". As amostras com valores de "*factor-scores*" mais elevados são aquelas onde a influência do fator é mais significativa. A cartografia destes valores permite visualizar a importância em escala regional ou local, da variabilidade de fenômeno, representado pelo fator em questão.

Pode-se a grosso modo, destacar dois tipos de análise fatorial: Análise Fatorial dita de "Eixos Principais" e Análise Fatorial de Fatores Comuns e Específicos.

1) Análise Fatorial dita de "Eixos Principais"

Consiste na extração dos eixos inerciais a partir de um sistema de pontos, que representam as amostras num espaço dos elementos (variáveis), de maneira que sob estes fatores principais são projetados os pontos. Os fatores são extraídos em ordem decrescente de importância, onde cada fator explica uma parte da variância do sistema. A característica destes métodos se resume numa abordagem determinística e descritiva do fenômeno. Neste conjunto, pode-se ter dois tipos: Análise Fatorial de Componentes Principais e Análise de Correspondência.

- Análise Fatorial de Componentes Principais

Os fatores são determinados de modo que respondem pelo máximo de variância das variáveis observadas. Os eixos principais são ortogonais, implicando em uma noção de independência

das variáveis, que não se adapta adequadamente aos dados geoquímicos. Este problema pode ser minimizado, recorrendo-se a rotação dos eixos ortogonais pelo método *Varimax*, obtendo-se um melhor ajuste dos eixos inerciais com a repartição dos pontos no espaço dos elementos.

Análise de Correspondência

Consiste em uma técnica de distribuição livre, desenvolvida por BENZECRI (1973). Este método apresenta uma síntese entre uma representação das amostras em um espaço dos elementos (modo Q), paralelamente a uma representação dos elementos no espaço das amostras (modo R). O produto final desta análise consiste em um ou mais diagramas, onde as posições das variáveis estão interrelacionadas com as amostras.

Esta representação permite visualizar a projeção dos indivíduos nos planos definidos pelos eixos, e estudar a sua repartição, facilitando assim a determinação do significado geoquímico dos eixos extraídos. Na literatura geológica, principalmente com aplicações em geoquímica, destacam-se os autores ligados à escola franco-canadense (DAVID *et al.*, 1974).

2) Análise Fatorial de Fatores Comuns e Específicos

Este tipo de análise postula a existência de um modelo linear, onde cada variável é explicada por fatores "comuns" e um fator específico. A posição das variáveis em função dos fatores é otimizada, de maneira análoga à análise de componentes principais, através da rotação dos eixos no espaço. De maneira diversa da análise de Eixos Principais, este método apresenta uma característica explicativa, evidenciada pela variância e fatores comuns. A importância da relação de uma amostra com os fatores é fixado "a priori", pelo coeficiente de correlação.

Então, pode-se resumir que a diferença entre a análise

se de componentes principais e de fatores, reside no fato que, no primeiro caso é assumido que toda variação existente de uma dada população, está contida nas variáveis utilizadas para defini-la, enquanto que na análise de fatores, apenas parte da variabilidade da população. Desta maneira, pode-se afirmar que a análise dos fatores está mais restrita aos modelos estatísticos, enquanto que a de componentes principais é utilizada em modelos determinísticos.

Para o emprego de análise fatorial, selecionou-se 500 amostras de solo, com os seguintes elementos analisados: Cu, Pb, Zn, Ti, Mn, V e Bi. Para tanto, utilizou-se o sub-programa FACTOR do sistema SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) implantado no Centro de Computação Eletrônica da USP. Os passos necessários para a sequência dos cálculos, podem ser vistos no fluxograma da Figura 21.

Baseados nos resultados da análise fatorial foram selecionados três fatores principais, cuja porcentagem de variação acumulada não foi inferior a 64%. Paralelamente, confeccionou-se gráficos em sistemas de coordenadas mostrando a disposição das variáveis analisadas, em função dos fatores (Figuras 22 e 23).

Com o objetivo de analisar a correspondência espacial dos fatores, foram também plotados os mapas dos "factor-score" das amostras relativas aos três fatores selecionados (Figuras 24, 25 e 26).

Figura 21 - Seqüência de Cálculos - Análise Fatorial

D - VARIÁVEIS REGIONALIZADAS

O objetivo nesta parte final do trabalho, seria introduzir o conceito das Variáveis Regionalizadas (V.R.), como um instrumento auxiliar e orientativo de campanhas geoquímicas. Paralelamente, serão abordados aspectos concernentes ao comportamento estrutural das variáveis, distribuição das populações e dimensionamento e otimização de malhas de amostragem.

Este tipo de análise estatística foi desenvolvido por MATHERON (1965) e seu grupo de trabalho ligado ao Centro de Mor

Figura 22 DIAGRAMA BINÁRIO DE FATORES

Figura 23 COEFICIENTES DOS "FACTOR-SCORE" NORMALIZADOS

fologia Matemática de Fontainebleau (França). A aplicação da teoria se restringiu inicialmente a avaliação quantitativa de jazidas minerais, porém nas últimas décadas seu campo de aplicação se ampliou grandemente.

As variáveis relacionadas às Ciências da Terra, distribuídas no espaço (bidimensional no caso da prospecção geoquímica) apresentando uma certa estrutura recebem a denominação de Variável Regionalizada (V.R.). Por sua vez, estas variáveis exibem um aspecto contraditório duplo. Se por um lado, ela é aleatória do ponto para ponto, esta pode entretanto, seguir um padrão estrutural que se reflete nas ligações existentes entre os pontos do espaço onde o fenômeno mineralizado ocorreu.

As V.R. não podem ser tratadas segundo a estatística clássica, uma vez que esta última impõe a condição de que as provas possam ser indefinidamente repetidas, e que sejam independentes, ou seja, o resultado de um dado não pode ser influenciado pelos precedentes.

As V.R., deste modo, apresentam algumas características qualitativas, MATHERON (1971):

- *Localização*: A V.R. está definida segundo uma região do espaço, a qual se denomina *campo geométrico*, que pode, por exemplo, ser uma formação geológica. O domínio onde a V.R. é medida designa-se *suporte*.

- *Anisotropia*: Pode haver casos em que a continuidade em determinada direção não se coaduna, com a de outra direção pesquisada, caracterizando assim uma provável anisotropia.

- *Continuidade*: É a variação espacial da V.R. Existe uma continuidade em detrimento das flutuações de ponto para ponto definido pelo:

$$\lim_{x \rightarrow 0} E [Y(x) - Y(x_0)] = 0$$

A taxa de variação deste limite, permite caracterizar a continuidade dos elementos químicos. O *efeito de pepita* é de finido nos casos em que tal continuidade não se verifica ($C_0 \neq 0$).

Toma-se, por exemplo, duas séries de amostras geoquímicas de solo (A e B), coletadas ao longo de um perfil com os mesmos parâmetros de amostragem: tamanho, forma e orientação.

A: 5 10 15 20 25 20 15 10 5 ppm

B: 10 25 15 10 20 5 15 5 20 ppm

Os parâmetros estatísticos clássicos, tais como: histogramas, média e variância das duas séries de amostras são rigorosamente idênticos. Qualquer análise que considerar somente estes parâmetros, não será capaz de distinguir as distribuições nas duas seqüências. Embora, em alguns casos a análise de distribuições tridimensionais pode se constituir em uma solução viável.

Este exemplo apresentado, enfatiza a importância da medida da continuidade espacial da V.R. Nesta teoria, este papel é desempenhado pelo variograma.

D.1 - VARIOGRAMA

O variograma se constitui no instrumento básico da Geoestatística, a partir do qual são efetuadas as estimações. Sua aplicação tem demonstrado ser o mesmo um poderoso revelador de estruturas.

Para a utilização dos variogramas, normalmente se faz necessário a elaboração de hipóteses suplementares, uma vez que o conjunto de dados experimentais constitui uma única realização da função aleatória, cuja lei de distribuição de probabilidade é desconhecida "a priori".

A hipótese mais comum é a chamada "hipótese intrínseca

ca", segundo a qual para os acréscimos da V.R., considera-se a existência de uma esperança e variância independentes do ponto de apoio, o que significa que as correlações entre os diferentes pontos são análogas para todo espaço mineralizado.

A hipótese intrínseca apresenta as seguintes expressões:

$$\begin{aligned} E [Y(x+h) - Y(x)] &= m(h) \\ E \{ Y(x+h) - Y(x) \}^2 &= 2 \gamma(h) \end{aligned}$$

onde:

$Y(x)$ = variável regionalizada;

x = coordenada no espaço, no caso específico da prospecção geoquímica restrita a duas dimensões;

$\gamma(h)$ = variograma

Em uma dada mineralização em que é válida a hipótese intrínseca existe uma certa amplitude na qual as amostras a partir de uma determinada distância, tornam-se independentes. Este fenômeno designado por Fenômeno de Transição, caracteriza as variações bruscas verificadas de unidade para unidade. Entretanto, a continuidade no interior de cada unidade, não se apresenta comprometida pelo eventual aparecimento de estruturas secundárias no interior do campo geométrico da variável estudada. No caso do fenômeno de transição, o variograma apresenta-se comumente com aspecto exibido na Figura 27, onde:

a = amplitude ("portée") - distância a partir do qual, as amostras se tornam independentes, constituindo uma abordagem quantitativa do conceito intuitivo de zona de influência;

c = variância "a priori" da V.R. (patamar), reflete a "dispersão" dos valores ligados ao fenômeno mineralizado, para distâncias superiores à amplitude;

C_0 = efeito de pepita, é a ordenada na origem do va.

Figura 27 - Variograma-Fenômeno de Transição

riograma e resulta na sobreposição de microestruturas e erros de amostragem.

Para a elaboração desta etapa do trabalho, visando a aplicação da técnica variográfica aos dados de prospecção geoquímica, selecionou-se aleatoriamente 199 amostras de solo de um total de 1.416 coletadas na campanha geoquímica tática. As conclusões referentes ao dimensionamento e otimização da malha de amostragem foram obtidas a partir de trabalhos anteriores (SUSLICK *et al.*, 1977; SUSLICK *et al.*, 1978).

Tendo em vista, o limite operacional imposto pela técnica variográfica reduziu-se o número de variáveis, com a seleção de apenas três elementos (Pb, Zn e Cu) dentre os 14 previa

mente analisados.

Na confecção deste trabalho foram também considerados resultados obtidos em estudos de correlação, efetuados sobre o total de variáveis e trabalhos executados com vistas à definição dos parâmetros de amostragem (SUSLICK *et al.*, 1976) citados no item A do presente capítulo e técnicas de análise química instrumental (RATTI, 1976).

Os valores aberrantes foram eliminados, visando a obtenção de uma lei de distribuição que melhor se ajustasse à configuração dos elementos, segundo uma ou mais populações, através de transformações sucessivas aplicadas ao conjunto dos dados. Os parâmetros estatísticos descritivos encontrados para os três elementos são apresentados na Tabela 9.

TABELA 9
PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DESCRITIVOS (VARIOGRAMA)

ELEMENTO	μ	σ	A	C_v	R
Cu	17,0	13,3	70	78,3	5,3
Pb	52,7	44,0	195	83,5	4,4
Zn	38,6	30,8	192	79,7	6,2

onde:

- μ = média;
- σ = desvio padrão;
- A = amplitude;
- C_v = coeficiente de variação;
- R = amplitude/desvio padrão.

As observações geológicas efetuadas na área piloto, confirmando informações de estudos anteriores, sugeriram a exis

tência de um condicionamento tectônico para as mineralizações. A partir de uma regionalização dos dados estruturais proposta por HASUI (1973), selecionou-se as seguintes direções preferenciais (Tabela 10) por meio das quais, construiu-se os variogramas visando a aplicabilidade na detecção de possíveis anisotropias e na definição de uma malha ótima.

TABELA 10

DIREÇÕES PROPOSTAS PARA ELABORAÇÃO DOS VARIOGRAMAS

N-S	sistemas de fraturamento
N65E	vert. oblíquo à xistosidade
N38W	sistema transversal à xistosidade (juntas)
N60E	atitude dominante da xistosidade
E-W	direção geral do batólito
N45E	direção adicional proposta

Para cada variável, foram calculados os respectivos histogramas com suas frequências relativas acumuladas por intervalo de classe (Figuras 10.1; 10.2 e 10.3).

As distribuições do Cu, Pb e Zn exibiram uma tendência lognormal do teste do Chi-Quadrado para dois valores mínimos críticos (1.5-5.0). Resultado análogo foi fornecido pelo teste de Kolmogorov-Smirnov para dados logaritimados, onde o ajuste da distribuição pode ser observado no gráfico das frequências acumulativas teóricas versus calculada (Figuras 9.1; 9.2 e 9.3) com uma aproximação polinomial para uma curva log-normal com erro médio de $10^{-6}\%$.

D.2 - ANÁLISE VARIOGRÁFICA

Após o conhecimento em detalhe do suporte das variá

veis medidas, processou-se o estudo dos variogramas propriamente ditos, segundo as direções indicadas na Tabela 10.

Para a confecção dos variogramas utilizou-se do programa "VARIO" desenvolvido e adaptado pelo autor a partir de rotinas propostas por DAVID (1975). Os cálculos automáticos foram feitos no computador B-6700/7700 do Centro de Computação Eletrônica da USP.

O estudo variográfico pode ser orientado no sentido de determinar a precisão, que poderia ser obtida a partir do número de amostras coletadas. Esse cálculo é feito segundo a equação abaixo proposta por DAVID (1975), em função de um valor médio, para n amostras dependentes em um conjunto S .

$$\sigma_N^2 = (2/NS) \sum_i \int_S \gamma(x_i - x) dx - (1/S^2) \int_S dx \int_S \gamma(x - y) dy - (1/N^2) \sum_{i,j} (x_i - x_j)$$

Estes valores podem ser aproximadamente calculados, através de ábacos propostos por MATHERON (1971), para qualquer tipo de malha de amostragem conforme mostra a Figura 28.

A partir do valor médio estimado para a amplitude (zona de influência), pode-se determinar a precisão relativa com que a composição média do batólito é conhecida para os elementos Cu, Pb e Zn. Os cálculos foram efetuados a partir de 191 amostras, com os variogramas definidos pelo efeito de pepita (C_0), variância ($C + C_0$), amplitude e a variância estimada σ_e^2 a partir do ábaco da Figura 28.

Com estes dados reunidos pode-se determinar facilmente a variância total da área dada por $\sigma_E^2 = (C_0 + \sigma_e^2)/191$. O cálculo aproximado deste procedimento é mostrado na Tabela 11.

TABELA 11
CÁLCULO DA VARIÂNCIA TOTAL DA ÁREA

	$C_o + C$	C	C_o	σ_e^2 / C	σ_e^2	$\sigma_e^2 + C_o$	σ_E^2	$2\sigma E$
Cu	0.68	0.68	0.07	0.03	0.002	0.682	0.005	0.12
Pb	0.92	0.82	0.10	0.03	0.003	0.823	0.004	0.13
Zn	0.66	0.55	0.11	0.03	0.003	0.663	0.003	0.11

onde:

$C_o + C$ = variância (patamar)

C_o = efeito pepita

σ_e^2 = variância estimada da Figura 28

σ_E^2 = variância estimada a partir da composição média do maciço para as 191 amostras.

Figura 28 - Variâncias de Extensão Diversas - Esquema Esférico de Matheron

CAPÍTULO IV

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

1 - GEOQUÍMICA REGIONAL

A superfície de grau 8 (Figura 4) se constitui naquela que melhor refletiu a distribuição dos teores de flúor. Notou-se uma tendência dos valores mais altos se concentrarem preferencialmente, na porção NW e E do maciço, respectivamente as localidades de Alumínio e do Sítio do Arado. Em pesquisas posteriores eliminou-se a área E como anômala, observando-se na região de Alumínio contaminação de flúor devido ao seu emprego na eletrólise da alumina. Consultas bibliográficas posteriores confirmaram a existência de mineralizações do tipo graisen, na região NW (Sítio do Arado), relacionados possivelmente ao granito, evidenciando deste modo, a eficácia do método.

No processo de tratamento dos dados, notou-se alguns constrangimentos quanto à aplicação do "Trend Surface" em estudos regionais, que a seguir são abaixo discriminados:

- a análise de tendência constitui-se numa técnica essencialmente univariante, restringindo-se somente a uma única variável independente, onde os dados geoquímicos são em essência multivariantes;

- a seleção das superfícies é geralmente arbitrária (podendo-se em alguns casos recorrer-se à análise de variância ou a teste de distribuições aleatórias, AMARAL, 1976), apesar do rigor na construção dos modelos de tendência, o seu substrato teórico é ainda bastante empírico;

- as superfícies são altamente dependentes da equa

ção de regressão utilizada. Este fato pode conduzir a "trends" espúrios, especialmente onde a maior parte da variabilidade está contida na própria superfície.

Tendo em vista a tendência pouco acentuada na distribuição dos teores de F (flúor), bem como as premissas nesta etapa inicial dos trabalhos, não foi realizada uma análise dos resíduos para as diversas superfícies utilizadas.

No tocante a variação espacial dos teores, segundo o método das médias móveis ponderadas (Figura 5), nota-se facilmente, que as zonas de teores altos coincidiram com as evidenciadas pelo "Trend Surface". Embora, na região central do mapa as áreas apresentem-se deslocadas, devido ao fato das médias móveis serem mais susceptíveis aos valores extremos.

Nos últimos tempos, técnicas mais acuradas de cartografia automática tem encontrado aplicações crescentes em geologia. A krigagem universal desenvolvida no contexto da teoria das variáveis regionalizadas (MATHERON, 1971; OLEA, 1972; CHILES & CHAUVET, 1973) permite inferências estatísticas, que consideram não somente os valores pontuais das amostras, mas também as relações geométricas implícitas no espaço amostral. A krigagem universal torna-se mais abrangente que os métodos empíricos, baseia-se em uma interpolação exata, compreendendo uma medida do erro de estimação cometido em cada ponto do espaço.

2 - GEOQUÍMICA TÁTICA

A - PARÂMETROS DE AMOSTRAGEM

No tocante aos tipos de amoagens, pode-se observar através da análise de variância (Tabela 3), que para determinados elementos como: As, Ag, Sn e Ni, os valores encontrados para o teste "F", indicaram tratar-se de médias compatíveis e similares

dentre os vários tratamentos (moagens) efetuados. Uma possível explicação para tal fato, pode ser encontrada no teor relativamente baixo desses elementos, bem como um comportamento homogêneo no que tange a distribuição e partição (Tabela 12).

TABELA 12
TEORES DE ELEMENTOS QUÍMICOS NO SOLO

TEOR (ppm)	TIPO DE SOLO	VALOR OBSERVADO (ppm)
Ni 10-20	Ferralítico (granitos)	5.07
Ag 2	Granitos	0.92
Sn < 16	Ferralítico	14.3

Em se tratando destes elementos o tipo de moagem não se caracteriza em um fator crítico no conjunto das análises. Deve-se nestes casos, recorrer-se à pesquisa de outras fontes de variação, tais como horizonte amostrado, tipo de coleta, ataque químico, conteúdo argiloso no solo, etc.

As respostas obtidas pelo teste de Tukey para o Zn e Pb, sobre os diversos tipos de moagens, já são por si só explicativas (Tabela 4). Tem-se para o Pb a separação em dois agrupamentos distintos, o conjunto gral de ágata fechada e aberta, e por outro lado os métodos de desagregação e borracha, demonstrando que apesar do teste "F" indicar populações com médias distintas, estas podem ser reagrupadas dentro de um certo limite de tolerância ($A_t = 7.10$ para Pb). Raciocínio idêntico, pode ser aplicado para o Zn com limite de 5.89, onde foi possível a separação do gral de ágata aberto, dentro de um nível de significância

de 10%.

A aplicação do teste "t" demonstrou que os valores estimados para os três elementos, apresentaram-se bastante próximos $t_{Cu} = 0.24$; $t_{Pb} = 0.12$ e $t_{Zn} = 0.13$. A aceitação destes valores dentro do intervalo estimado, implica na aceitação de ambos os métodos na operação de moagem. Desta maneira, a escolha por motivos operacionais e pelo caráter mais homogêneo, deve recair sobre o gral de ágata fechada.

Através da observação das curvas de distribuição das frações granulométricas (Figura 6), destaca-se de uma maneira geral a presença em média de duas populações, provavelmente reflexo de uma pequena variação ou diferenciação litológica na área granítica.

Entretanto, pode-se adiantar que a fração grossa para maioria dos elementos traços não apresentou semelhante comportamento, exibindo em muitos casos um número de populações sensivelmente superior à fração fina. A justificativa se deve ao fato da fração grosseira apresentar uma distribuição mais errática.

A fração fina apresentou os valores de concentração mais elevados, em decorrência da homogeneidade provocada pelo processo de moagem, facultando desta maneira uma maior eficiência no ataque e digestão química das amostras.

O estudo dos gradientes das frequências máximas foi o fator determinante na escolha da fração mais representativa. Os gráficos e histogramas mostraram para a totalidade dos elementos, que os gradientes mais acentuados se concentram na fração fina (Tabela 13).

Da Tabela 13, nota-se que os gradientes (Δ) mais acentuados são os pertencentes à fração F, e paralelamente exibem os valores mais altos de concentração (ppm) em relação à fração G.

Os elementos Cu-Pb-Zn apresentaram valores para o gra

TABELA 13

VALORES DE FREQUÊNCIAS MÁXIMAS

ELEMENTO	HORIZONTE FRAÇÃO	VALOR FIG. (ppm)	FREQUÊNCIAS MÁXIMAS % t _F	% t _G	Δ
Pb	AF/AG	60/72	18.4	11.9	6.5
Pb	BF/BG	50/50	21.5	14.8	6.7
Pb	CF/CG	47/47	21.4	15.8	5.6
Zn	AF/AG	75/48	22.5	13.0	9.5
Zn	BF/BG	74/75	22.5	14.6	7.9
Zn	CF/CG	64/64	22.0	15.0	7.0
Cu	AF/AG	29/12	19.0	15.0	4.0
Cu	BF/BG	22/12	18.8	14.8	4.0
Cu	CF/CG	20/12	19.6	14.6	5.0
Ti	AF/AG	45/19	19.5	17.5	2.0
Ti	BF/BG	50/60	15.0	11.0	4.0
Ti	CF/CG	46/19	17.0	14.0	3.0
Bi	AF/AG	80/50	30.0	26.0	4.0
Bi	BF/BG	75/45	45.0	21.0	24.0
Bi	CF/CG	100/65	36.0	23.0	12.0
Ni	AF/AG	10/08	27.5	15.0	12.5
Ni	BF/BG	12/08	31.0	17.0	14.0
Ni	CF/CG	10/05	33.0	25.0	8.0

diente bastante próximos, confirmando mais uma vez sua correlação geoquímica.

Desta maneira, segundo os aspectos levantados, pode-se concluir que a fração F é a mais representativa, fornecendo os maiores gradientes e apresentando paralelamente uma distribuição mais representativa e homogênea dos dados.

Nos diagramas de log-probabilidade utilizados para a seleção de horizontes de amostragem (Figuras 7.1, 7.2 e 7.3), evidenciou-se claramente que o número de populações não ultrapassa a duas, possivelmente resultado da pequena variação litológica "latu sensu" do material granítico, ou seja, supondo-se um solo pouco transportado pode-se afirmar dentro de um intervalo restrito, que os processos de evolução pedogenéticos atuaram uniformemente na configuração dos solos na região estudada. Assim, confirma-se uma distribuição homogênea dos elementos nos perfis do solo analisado, mormente dentro dos limites impostos pelo próprio caráter da prospecção geoquímica. Este aspecto deve ser interpretado com certa cautela, principalmente para determinados elementos onde sua mobilidade é bastante significativa, como é o caso do Zn e Cu.

Por outro lado, esta homogeneidade facilita sobremaneira a escolha das profundidades para a amostragem, onde o principal objetivo seria o estabelecimento de uma correlação dos níveis amostrados, em relação a um comportamento padrão de distribuição. Dentro deste enfoque, os dados obtidos relativos ao horizonte B, reforçam a sua aplicação não somente pelo número compatível de populações, mas também, pelo seu comportamento homogêneo para a maioria dos elementos analisados.

Os resultados apresentados pelo Cu-Pb-Zn foram também compatíveis (Tabela 6). O teste "F" rejeitou a hipótese nula referente à similaridade das amostras, como logicamente poderia se esperar em decorrência da variabilidade intrínseca na distribuição destes elementos. Por outro lado, o teste entre os três horizontes foi positivo, evidenciando que o horizonte B

pode ser considerado representativo ao nível de significância $\alpha = 0.05$.

Em se tratando dos parâmetros estatísticos descritivos (Tabela 14), estes ressaltaram as correlações mais altas entre os horizontes B-C, seguido de A-B e A-C (Tabela 15). A covariância apresentou um comportamento análogo onde os menores valores foram para B-C, A-B e A-C em ordem crescente. As medidas de tendência central exibiram para a maior parte dos elementos, os menores desvios em relação à média para o horizonte B.

O estudo estatístico dos vários grupos considerados globalmente podem conduzir a uma conclusão falsa, atribuindo-se, por exemplo, um caráter lognormal (unimodal) a distribuições distintas na região considerada. Neste sentido, os histogramas e os diagramas log-probabilidade podem ser limitados, onde as populações são heterogêneas e multi-modais.

A aplicação destes diagramas envolve conceitos que nem sempre apresentam um substrato geoquímico, nem tampouco estatístico.

Em textos de geoquímica são bastante frequentes referências como esta: "um nível de uma possível anomalia com 97,5% de probabilidade é definido pela média (log) somado a duas unidades de desvio-padrão (log)". Deve-se neste caso evitar tais simplificações, considerando globalmente o tipo de amostragem, as condições de partição dos elementos químicos e o ambiente geoquímico.

O tipo de análise detalhada que foi apresentada para os parâmetros de amostragem poderia ser estendida para uma campanha geoquímica em grande escala, desenvolvendo-se uma sistemática de estudos de rotina programados, envolvendo as diversas etapas de amostragem, como: seleção de horizontes e frações; tipo de ataque químico, eventualmente moagens, quando for requerido grau maior de precisão. Este tipo de rotina programada teria certo grau de flexibilidade, para adaptar-se às peculiaridades de cada área e a solicitação dos parâmetros analíticos de amostras.

TABELA 14

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DESCRITIVOS DOS TRÊS HORIZONTES

HORIZONTES	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO	VARIÂNCIA	ELEMENTO
A	272.5	513.8	264.000.	Ti
B	265.1	456.8	208.700.	
C	297.2	664.3	441.400.	
A	9.1	7.5	56.1	Bi
B	8.6	12.8	163.9	
C	8.1	7.3	53.3	
A	5.1	7.8	61.7	Ni
B	4.4	5.0	24.9	
C	4.1	4.5	20.2	
A	128.1	185.5	34.420	Zn
B	113.5	157.5	24.810	
C	117.9	174.0	30.290	
A	217.9	364.1	132.500	Pb
B	186.3	303.3	92.010	
C	177.7	258.2	66.670	
A	34.4	78.3	6.131	Cu
B	30.2	34.9	1.217	
C	36.4	62.4	3.892	

TABELA 15

VALORES DE COVARIÂNCIA E CORRELAÇÃO ENTRE OS TRÊS HORIZONTES

HORIZONTES	COVARIÂNCIA	CORRELAÇÃO	ELEMENTO
A - B	0.20×10^6	0.88	Ti
A - C	0.26×10^6	0.78	
B - C	0.28×10^6	0.92	
A - B	0.58×10^2	0.60	Bi
A - C	0.19×10^2	0.34	
B - C	0.33×10^2	0.36	
A - B	0.26×10^2	0.66	Ni
A - C	0.21×10^2	0.60	
B - C	0.20×10^2	0.90	
A - B	0.23×10^5	0.81	Zn
A - C	0.23×10^5	0.74	
B - C	0.23×10^5	0.86	
A - B	0.56×10^5	0.51	Pb
A - C	0.42×10^5	0.45	
B - C	0.44×10^5	0.57	
A - B	0.14×10^4	0.54	Cu
A - C	0.16×10^4	0.34	
B - C	0.13×10^4	0.63	

tagem, tais como: precisão, reprodutibilidade e técnicas de análise.

Um esboço deste programa pode ser visto no fluxograma da Figura 29.

Figura 29 - Rotina programada de parâmetros de amostragem

Em todos os passos deste fluxograma devem ser considerados conjuntamente os seguintes parâmetros: sensibilidade, reprodutibilidade, praticabilidade, custo, precisão e exatidão dos dados.

Neste trabalho, não são feitas considerações acerca dos controles técnicos de análise instrumental e ataque químico (RATTI, 1976).

B - TRATAMENTO MULTIVARIANTE

B.1 - ANÁLISE DE AGRUPAMENTO

No estudo dos diversos tipos de "grupamentos" o método de ligação simples apresentou o comportamento mais destoante em relação aos "grupamentos" por WPGM (médias ponderadas) e UPGM (sem ponderações), onde a estrutura dos dendrogramas destes dois últimos se aproximaram bastante. Deste modo, optou-se pelo "grupamento" por WPGM, em decorrência de sua susceptibilidade acentuada no tocante à classificação dos elementos químicos (GOWER, 1967).

O coeficiente cofenético se traduziu numa ferramenta valiosa na avaliação qualitativa dos dendrogramas. Constitui numa medida do grau ajuste das interrelações no dendrograma, que divergem dos valores apresentados na matriz de correlação. Os métodos de pareamento UPGM e WPGM apresentaram os coeficientes de correlação cofenéticos mais altos.

Dentre os coeficientes de similaridades - coeficiente de distância e correlação (produto-momento de Pearson) -, optou-se pelo último, tendo em vista as suas peculiaridades que facilitam a interpretação das associações geoquímicas (OBIAL, 1970).

Deve-se ressaltar, que não existe até o presente momento

to uma teoria estatística ou testes específicos para a escolha dos coeficientes de similaridade. Os pesquisadores têm utilizado combinações que forneçam resultados mais satisfatórios, de acordo com os seus dados.

Desta maneira, isto introduz uma certa subjetividade no processo designado para promover objetividade, embora os valores dos coeficientes cofenéticos podem, em certas situações, fornecer um bom grau de orientação.

Da observação dos três dendrogramas (Figura 12), nota-se no Grupo 1 ($0 < Mn < 2.500$), que os elementos agrupados são aqueles que de alguma maneira refletem certas afinidades químicas, talvez uma possível herança da rocha original. No restante dos dendrogramas, não foi possível delinear uma relação entre as variáveis. Talvez, devido em parte, ao caráter errático ensejado pela partição do histograma de Mn com reflexos nos outros elementos. Embora não se disponha de fortes evidências, a dificuldade interpretativa provavelmente pode ser devido à correlação com teores altos de hidróxidos de Mn e Fe, implicando em um ambiente superficial.

B.2 - ANÁLISE DE REGRESSÃO

De uma maneira geral, através dos resultados obtidos da aplicação da análise de regressão foi possível avaliar a intervenção dos óxidos de Mn e Fe, na distribuição dos elementos-traços no solo. Estudos detalhados, demonstraram que um dos parâmetros determinantes no processo é o fenômeno de "scavenging" (estufamento), produzidos pelos óxidos de Fe e Mn (JENNE, 1968).

A literatura consultada assinala que os valores altos de concentração nos elementos-traços, que não possuem nenhum elo de ligação com a mineralização, são resultantes na sua totalidade, de processos de enriquecimento secundário (AUSTRIA & CHORK,

1976).

O teste de "F" de aditividade, se apresentou como um parâmetro importante na seleção dos graus adequados do modelo de regressão. No Projeto São Francisco fixou-se arbitrariamente o limite até o 4º grau, podendo ser estendido para valores mais altos, conforme as características dos dados. As equações do 2º grau foram as mais representativas dentre as várias opções testadas, fornecendo os valores de correlação e variância explicada mais significativos.

Com o intuito de analisar as correlações entre Fe_2O_3 , Mn e Zn, dentre o conjunto total das variáveis, foi adaptado pelo autor um algoritmo apresentado por KRUMBEIM *et al.* (1964), que se baseia na seleção de variáveis tendo como base os maiores valores de variância explicada. Os resultados deste tratamento foram positivos, evidenciando o Mn (38%) e Fe_2O_3 (30%), como os responsáveis pelas maiores taxas de variância explicada, entre as várias combinações.

A técnica cartográfica de resíduos se prestou grandemente, no sentido de selecionar áreas para futuros trabalhos de detalhe. O processo de seleção baseou-se nos altos valores de resíduos, isto é, nos teores realmente significativos não explicados pelas variáveis independentes.

Para o caso do Pb as tentativas de aplicação desta metodologia estatística resultaram infrutíferas, pois a distribuição errática do Pb impediu a obtenção de um modelo que fornecesse um ajuste adequado.

Através da observação das Figuras 14, 15 e 16, nota-se que os resíduos da equação de regressão Zn em função de Mn (Figura 15), limitaram de maneira mais efetiva a área a ser pesquisada. No tocante a regressão de Zn em função do Fe_2O_3 , houve uma superposição quase perfeita com os resultados obtidos para o Mn. Entretanto, a distribuição dos resíduos de Zn em função de Fe_2O_3 , apresenta uma certa erraticidade, ao contrário do

Mn, cujas curvas de resíduos exibem uma gradação facilmente observável.

No caso de regressão de Zn em função de Fe_2O_3 e Mn, os ajustes baixos do modelo de regressão, implicaram em um poder discriminatório inexpressivo, ocasionando uma superposição dos resíduos (Figura 16) com mapa de isoteores de Zn (Figura 18). Conforme pode ser observado pela análise conjunta destes dois mapas, nesse caso não houve redução da área a ser pesquisada.

Deve-se, entretanto, chamar atenção para o fato de que as técnicas de regressão apresentam uma certa tendência de minimizar o significado das *anomalias reais*, associadas com os valores expressivos de óxidos de Fe e Mn. Por conseguinte, existe acumulação de teores relevantes dos elementos associados com valores altos de Fe e Mn, nas seguintes condições:

- quando a mineralização apresenta uma paragênese de Fe e Mn;

- rocha encaixante com teores de Fe e Mn e as anomalias dos elementos-traços são englobadas pelas acumulações de Fe e Mn.

Dentro das condições acima citadas, a regressão pode provocar uma *super-correção* e conseqüentemente dificultar os trabalhos de delimitação das anomalias.

A escolha de variáveis que devem participar do modelo de regressão, pode ser extremamente dificultada em situações, em que não se dispõe "a priori" de informações sob as relações entre as variáveis. Entretanto, e este problema pode ser contornado com o emprego de algoritmos especialmente desenvolvidos para esta finalidade, que se fundamentam na seleção das variáveis com base na porcentagem de variância explicada.

B.3 - ANÁLISE FATORIAL

Da observação da matriz fatorial obtida pelo método rotacional VARIMAX (Tabela 16) e dos diagramas (Figuras 22 e 23), verifica-se que os fatores selecionados respondem pelo seguinte conjunto de variáveis:

Fator 1 - V e Ti

Fator 2 - Pb e Zn e secundariamente Cu

Fator 3 - Mn

TABELA 16

MATRIZ FATORIAL ROTADA - VARIMAX

ELEMENTO	FATOR 1	FATOR 2	FATOR 3
Cu	0.464	<u>0.439</u>	-0.103
Pb	-0.115	<u>0.908</u>	0.006
Zn	0.351	<u>0.753</u>	0.025
Bi	0.281	0.231	-0.685
Mn	0.234	0.192	<u>0.764</u>
Ti	<u>0.774</u>	0.108	0.067
V	<u>0.820</u>	0.027	-0.041

O fator 1 justifica uma relação que provavelmente guarda afinidades litológicas com a rocha original. No mapa de distribuição dos "factor-score" (isofatores) relativo ao fator 1, nota-se que os valores mais expressivos concentram-se nas rochas calco-silicatadas (Figura 24). Por seu turno, o fator 2 justifica uma paragênese clássica de Pb-Zn, e subsidiariamente o Cu, que apresentou reflexos no solo. O fator 3 indica a atuação do Mn.

Os mapas de isofatores 2 (Figura 25) e 3 (Figura 26)

não apresentaram maiores evidências. Ressalta-se o fato, já con-
firmado anteriormente, da coincidência de teores significativos
de Mn, com as rochas calco-silicatadas e calco-xistos.

C - VARIÁVEIS REGIONALIZADAS

No conjunto de variogramas de Cu, Pb e Zn para as 6
(seis) direções pesquisadas (Tabela 10), observou-se o caráter
nitidamente anisotrópico daqueles correspondentes à direção N38W
(Anexo), transversal à orientação planar dos minerais placô-
ides ou prismáticos do maciço granítico, aqui entendida como xis-
tosidade. Os dados bibliográficos e as observações efetuadas
por ocasião dos trabalhos de mapeamento geológico da área, indi-
caram a ocorrência de mineralizações alinhadas segundo a direção
dominante dessa xistosidade.

O menor grau de anisotropia em relação à estrutura das
mineralizações foi evidenciado pelo variograma do Cu, seguido em
ordem crescente pelos do Zn e Pb, respectivamente. Tal fato, po-
de ser explicado pelas características de dispersão desses ele-
mentos nos solos da área, onde o Cu apresenta distribuição mais
homogênea. Em contrapartida, Zn e Pb apresentam distribuições
bem menos uniformes, evidenciadas pelos maiores valores de des-
vios-padrão.

O modelo teórico adotado que forneceu o melhor ajuste
através do método gráfico foi o esquema esférico, representado
pela seguinte equação:

$$\gamma(h) = C (1.5 h/a - 0.5 h^3/a^3) \quad h \leq a$$

$$\gamma(h) = C \quad h > a$$

A amplitude média para os três elementos forneceu um
valor de aproximadamente 650 m. Exceção feita, à anisotropia ve-
rificada na direção N38W, onde seu valor situa-se em torno de
600 m para o Zn e Pb.

Os elementos Zn e Pb forneceram para cada direção dois tipos de andamento para o variograma, o que poderia indicar a existência de duas populações, uma de caráter "anômala" e outra dita de "background". Este fato também, foi evidenciado pelos trabalhos referentes ao estudo da fração granulométrica ideal e horizonte de amostragem (SUSLICK *et al.*, 1976 e cf. item A).

No tocante, a análise variográfica pode-se concluir que:

- a manipulação dos variogramas deve ser precedida ou acompanhada por uma adequada escolha das variáveis, pautada na análise estatística preliminar dos dados e orientada pela experiência do geoquímico responsável pela interpretação. Paralelamente, a operacionalidade dos variogramas impõe uma certa limitação, quanto ao número de direções pesquisadas, motivo pela qual é aconselhável uma seleção prévia das mesmas, em função de possíveis condicionantes estruturais das variáveis (elementos);

- em alguns casos, o caráter isotrópico apresentado pelo variograma de algumas variáveis, pode constituir um simples indicador do grau de dispersão supérgena (secundária) das mesmas, capaz de mascarar a existência de eventuais controles estruturais da mineralização na área estudada. Nesses casos, uma melhor caracterização poderá ser tentada através do reprocessamento dos variogramas, a partir de resultados obtidos no tratamento das variáveis em questão, por técnicas estatísticas multivariantes;

- a variância apresenta uma maior tendência de crescimento com a distância para direções de variograma transversais às estruturas que controlam as mineralizações. Tal fato, pode ser explicado pela maior probabilidade de ocorrência de valores contrastantes, correspondentes a pontos de amostragem situados dentro e fora dos "halos" de dispersão secundária dos elementos metálicos mencionados;

- o valor de amplitude encontrado deve ser considerado como simples base teórica auxiliar, para um melhor dimensionamento da malha a ser adotada na coleta rotineira das amostras. Cumpre-se observar que, na sua determinação (amplitude) não são con

siderados os fatores relacionados com a viabilidade econômica e exequibilidade;

- resultados obtidos a partir de uma simulação em uma malha de densidade 7,5 amostras/km² (SUSLICK *et al.*, 1978) confirmaram as hipóteses discutidas neste trabalho, onde a densidade foi aproximadamente de 25 amostras/km², implicando que não houve perda de qualidade na informação selecionada.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O objetivo central deste trabalho, se constitui numa avaliação de diversas técnicas estatísticas aplicadas a dados de prospecção geoquímica de multi-elementos. Para tanto, foi elaborada uma cadeia de programas e algoritmos estatísticos completamente rotinizada. Tendo em vista, os resultados obtidos nos capítulos precedentes, pode-se sumarizar as seguintes conclusões:

1 - A proposta básica para a utilização da sistemática em questão, pressupõe uma revisão de alguns conceitos e critérios de interpretação, consagrados no âmbito da prospecção geoquímica, tais como:

- na redifinição de anomalia geoquímica, como função não somente do teor e distribuição de um único elemento, mas também de seu *ambiente geoquímico*, caracterizado pela distribuição do conjunto global dos elementos;

- no caráter e na qualidade da informação obtida, o que implica numa integração das diversas etapas, que participam deste processo, desde a amostragem até o tratamento e armazenamento da informação;

- na obtenção de cobertura geoquímica exaustiva, a custos baixos, que possibilite eficientemente definir as diferentes anomalias geoquímicas, em relação aos tipos de mineralização ou associações minerais.

2 - Na metodologia utilizada na geoquímica regional, tanto a técnica de médias móveis ponderadas, como a análise de superfície de tendência forneceram resultados compatíveis, na seleção das áreas relevantes para a segunda etapa dos trabalhos.

3 - A análise de superfície de tendência e o método de médias móveis ponderadas se resumem em técnicas cartográficas univariantes, contrastando com o caráter dos dados geoquímicos, que na sua essência são multivariantes. Apesar do rigor na elaboração de ambos os modelos, não existe uma teoria estatística específica para o dimensionamento da célula móvel ideal, bem como para a seleção da superfície de tendência adequada à distribuição dos dados.

4 - Os custos computacionais de uma superfície obtida pela técnica de médias móveis ponderadas são bastante baixos. Embora, deva ser ressaltado, que a precisão diminui sensivelmente em relação a análise de superfície de tendência, tendo em vista que a estimação dos teores ponderados das células, serem mais influenciados pelos valores extremos da população.

5 - A caracterização dos parâmetros de amostragem é fundamental para qualquer inferência estatística da população geoquímica. Neste sentido, devem ser viabilizados estudos de rotina programados, adaptados às peculiaridades de cada área e a solicitação dos parâmetros de amostragem.

6 - A análise de variância se revelou em um critério ótimo, quanto à caracterização dos horizontes de amostragem. Através deste teste, verificou-se a variabilidade imposta pela amostragem e a individualização do horizonte B (50 cm), como nível ideal para a coleta das amostras.

7 - Os diversos tipos de moagens não provocaram alterações marcantes no padrão geral da distribuição dos elementos-traços, principalmente para os seguintes elementos: As, Ag, Sn e Ni. Tal fato, pode ser atribuído as respostas obtidas pelo método de Espectrofotometria de Absorção Atômica, em que o erro analítico supera em ordem de grandeza e magnitude as variações entre as médias das moagens.

8 - Os dendrogramas são ferramentas importantes na visualização das correlações entre as populações e variáveis geo

químicas. Entretanto, deve-se chamar atenção, para a limitação imposta nas correlações de modo Q (amostras), no tocante a ope racionalidade das matrizes, bem como na escolha adequada de um coeficiente de similaridade.

9 - A medida do "ajuste" entre as interrelações dos dendrogramas e os valores da matriz de correlação foram eficientemente avaliados pelos coeficientes cofenéticos.

10 - Os resultados obtidos da aplicação da análise de regressão possibilitaram avaliar a intervenção dos óxidos de Mn e Fe na distribuição dos elementos-traços no solo.

11 - A técnica cartográfica de resíduos se prestou grandemente, no sentido de selecionar áreas de anomalias relevantes. Deve-se, entretanto, enfatizar que as técnicas de regressão apresentam uma certa tendência de *minimizar* o significado das anomalias "reais", associadas com valores expressivos de óxidos de Fe e Mn.

12 - A análise fatorial apresenta-se como uma técnica estatística auxiliar de cartografia geoquímica. Entretanto, dada a inerente complexidade desta técnica, a sua operacionalização encontra-se limitada no que tange a escolha do número adequado de fatores que encontram justificativa num suporte geológico.

13 - A análise variográfica deve ser precedida por uma escolha adequada de variáveis, com base na análise estatística preliminar dos dados e orientada pelo grau de informação disponível.

14 - A operacionalidade dos variogramas impõe uma certa limitação, quanto ao número de direções pesquisadas, motivo pelo qual é aconselhável uma seleção prévia das mesmas, em função de possíveis condicionantes estruturais das variáveis.

15 - Embora a análise variográfica não constitua uma técnica consagrada no âmbito da prospecção geoquímica, sua utilização no tratamento dos resultados de trabalhos experimentais preliminares, pode fornecer importantes subsídios no dimensionamento e otimização de malhas de amostragem.

RESUMO

Este trabalho teve como proposta básica um conjunto de programas e algoritmos estatísticos, orientados segundo as necessidades ditadas pelos métodos de prospecção geoquímica de multi--elementos.

Os pressupostos para a utilização destes programas, tem como ponto de partida a revisão de alguns conceitos e critérios de interpretação de dados geoquímicos. Neste sentido, a aplicabilidade da metodologia proposta está diretamente condicionada à qualidade da informação obtida, quer em âmbito regional ou local. Tal limitação, pela sua própria especificidade, obriga a uma integração das diversas etapas do processo, desde amostragem até o tratamento e armazenamento desta informação.

O papel desempenhado pelo processamento automático, através dos computadores eletrônicos, se reveste de fundamental importância, onde a análise multivariável é um instrumento indispensável. A sua funcionalidade não se justifica somente pelo ganho considerável de tempo, na redução e síntese do enorme volume de dados geoquímicos, mas também, pela interpretação mais precisa e realística dos resultados com base na associação dos elementos dosados.

O projeto piloto de prospecção geoquímica tática-Projeto São Francisco - foi um dos responsáveis pela criação desta Cadeia de Programas. A sua consecução não se deu de maneira isolada, mas de uma forma integrada com os vários parâmetros intervenientes no universo da prospecção geoquímica, tais como: amostragem, estudos analíticos, partição e comportamento dos elementos traços e a própria operacionalidade da cadeia.

AGRADECIMENTOS

A diversas pessoas e instituições desejo expressar a minha profunda gratidão, por terem contribuído direta e indiretamente para a realização do presente trabalho:

O Professor Doutor Gilberto Amaral, foi o dedicado orientador, sempre presente nas diversas etapas do trabalho.

Ao IPT S/A - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A, através de toda a equipe do Agrupamento de Minas da Divisão de Minas e Geologia Aplicada, particularmente nas pessoas do Engenheiro Chefe Wagner Simões de Carvalho e o Geólogo José Roberto Siracuza, sempre presentes na discussão e avaliação crítica do trabalho. Reconhecimento especial à equipe de laboratório do Agrupamento, em particular à Química Giuliana Ratti, pela imprescindível participação nos trabalhos analíticos. Ao acadêmico em Estatística José Alberto Quintanilha, agradeço o auxílio prestado na elaboração dos diversos programas estatísticos. À Senhora Ruth Puleghini pela datilografia dos primeiros manuscritos deste trabalho.

Ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, que concedeu-me a Bolsa de Pesquisa no início do meu Curso de Pós-Graduação.

À Senhora Nair de Campos Louzada e Senhor José Ponchirolli pela cuidadosa datilografia.

Ao Senhor Jaime Alves da Silva e equipe, pelos trabalhos gráficos.

Aos geólogos Arley B. Macedo e Jorge K. Yamamoto pelas sugestões apresentadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAMOVICH, I.I. - 1972 - *Basic Trends in the Mathematization of Geology*. Internat. Geol. Rev., vol. 14, nº 11
- AGTERBERG, F.P. - 1964 - *Statistical Techniques for Geological Data*. Tectonophysics, 1: 233-255
- AGTERBERG, F.P. - 1974 - *Geomathematics*. Elsevier Sc. Publ. Devel. in Geomathematics, 1
- AGTERBERG, F.P. & KELLY, A.M. - 1971 - *Geomathematical Methods for Use in Prospecting*. Can. Min. J., 92: 37-58
- AHRENS, L.H. - 1954a - *The Lognormal Distribution of the elements, I*. Geochim. Cosmochim. Acta, 5: 49-73
- AHRENS, L.H. - 1954b - *The Lognormal-Type Distribution of the elements, II*. Geochim. Cosmochim. Acta, 6: 121-131
- AHRENS, L.H. - 1957 - *Lognormal Distributions, III*. Geochim. Cosmochim. Acta, 11: 205-212
- ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y. & NEVES, B.B.B. - 1976 - *The Upper Pre-Cambrian of South America*. Bol. do IGUSP, vol. 7, 45-80
- AMARAL, G. - 1976 - *Teste de Análise de Superfícies de Tendências para Distribuições Aleatórias*. Anais do XXIX Congr. da Soc. Bras. de Geologia, Belo Horizonte
- AMARAL, G. & ELLERT, N. - 1971 - *Aplicação do "Trends Surface Analysis" à Interpretação do Levantamento Geoquímico e Geofísico da Jazida de Níquel de Ipanema, Minas Gerais*. XXV Congr. da Soc. Bras. de Geologia. Resumo das Comunicações. Bol. Especial nº 1
- ANDERSON, T.W. & RUBIN, H. - 1956 - *Statistical Inference in Factor Analysis*. Proc. Third Berkeley Symp. Math. Statist. Probab. 5, 111-150
- ARMOUR-BROWN, A. & NICHOL, I. - 1970 - *Regional Geochemical Reconnaissance and the Location of Metallogenic Provinces*. Econ. Geol., vol. 65, 312-330
- AUSTRIA, V. & CHORK, E.Y. - 1976 - *A Study of the Application of Regression Analysis for Trace Elements Data from Stream Sediment in New Brunswick*. Journal of Geoch. Expl., 6: 211-232

- BENZECRI, J.P. - 1973 - *L'Analyse des Données. 2, L'Analyse de Correspondances*. Dunod, Paris, 619 p.
- BETTECOURT, J.S. & LANDIM, P.M.B. - 1974 - *Estudo Geoquímico de Óxidos e Elementos Traços de Rochas Calcárias do Grupo Açungui pela Análise Fatorial*. Anais do XXVIII Congr. da Soc. Bras. de Geologia
- BLAIS, R.A. & CARLIER, P.A. - 1968 - *Applications of Geostatistics in Ore Evaluation. Ore Reserve Estimation and Grade Control*. The Can. Inst. of Min. Metall., Special vol. 9
- BRADSHAW, P.M. - 1973 - *Research and Applied Methods in Exploration Geochemistry Applicable to the Residual Soil Areas of Brazil*. Anais do XXVII Congr. da Soc. Bras. de Geologia, vol. 2, 461-489
- BUKHNIKASHVILI, A.V. - 1972 - *The Question of "Mathematization of Geology" (a discussion)*. Internat. Geology Rev., 14 n° 11
- CAMERON, E.M. & HOBBS, D. - 1971 - *Computerized methods for interpreting Reconnaissance Geochemical Survey*. The Can. Inst. of Min. Metall., vol. 11, 298-314
- CAZES, P.; SOLETY, P. & VUILLAUME, Y. - 1970 - *Exemple de Traitement Statistique de Données Hydrochimiques*. Bull. du BRGM (1^{re} série), Section III, n° 4, 75-80
- CHATUPA, J. & FLETCHER, K. - 1972 - *Application of Regression Analysis to the Study of Background Variations in Trace Metal Content of Stream Sediments*. Economic Geology, 67, 7, 978-980
- CHAYES, F. - 1954 - *The Lognormal Distribution of the Elements: a Discussion*. Geochim. Cosmochim. Acta, 8: 119-120
- CHILES, J.P. & CHAUVET, P. - 1973 - *Application du Krigeage Universel à la Cartographie des Fonds Marins*. CMMF, n° 354
- DAVID, M. - 1975 - *Geostatistical Ore Reserve Estimation*. Montreal Ecole Polytechnique, Rapport EP-75-R-52
- DAVID, M. & DAGBERT, M. - 1975 - *Lakeview Revisited: Variograms and Correspondence Analysis, New Tools for the Understanding of Geochemical Data*. Geoch. Expl. Develop. in Economic Geology, 1, Elsevier Sc. Publ. Co.
- DAVIS, J.C. - 1973 - *Statistics and Data Analysis in Geology*. Wiley International Edition

- DAHLBERG, E.C. - 1968 - *Application of a Seletive Simulation and Sampling Technique to the Interpretation of Stream Sediment Copper Anomalies near South Mountain, Pennsylvania*. *Economic Geology*, 63: 409-417
- DEGEOFFROY, J.; WU, S.M. & HEINS, R.W. - 1968 - *Selection of Drilling Targets from Geochemical Data in the Southwest Wisconsin Zinc Area*. *Economic Geology*, 63: 787-795
- DRAPER, N.R. & SMITH, H. - 1966 - *Applied Regression Analysis*. John Wiley & Sons, Inc.
- FACHEL, J.M.G. - 1976 - *Análise Fatorial*. Dissertação de Mestrado. IME-USP
- FARREL, B.L. - 1974 - *Fluorine, a Direct Indicator of Fluorine Mineralization in Local and Regional Soil Geochemical Surveys*. *Journ. of Geoch. Expl.*, vol. 3, nº 3, 227-244
- GARRETT, R.G. - 1969 - *The Determination of Sampling and Analytical Errors in Exploration Geochemistry*. *Scient. Communic. Economic Geology*, 64: 568-574
- GARRETT, R.G. & NICHOL, I. - 1969 - *Factor Analysis as an Aid in the Interpretation of Regional Geochemical Stream Sediment Data*. *Quart. Col. Sch. of Mines*, vol. 64, nº 1
- GLEESON, C.F. & MARTIN, L. - 1969 - *Application of Reconnaissance Geochemistry in Caspé*. *Inst. Can. Min. Metall.*, 66 (729) 59-68
- GOVETT, G.J.S. - 1976 - *The Development of Geochemical Exploration Methods and Techniques*. In *World Mineral Supplies: Assessment and Perspective*. *Developments in Economic Geology*, 3. Elsevier Scient. Publs.
- GOWER, J.C. - 1967 - *A comparison of some methods of cluster analysis*. *Biometrics*, 23, 623-637
- GRANT, F. - 1957 - *A Problem in the Analysis of Geophysical Data*. *Geophysics*, vol. 22
- GRIFFITHS, J.C. - 1967 - *Scientific Methods in Analysis of Sediments*. McGraw-Hill, 508 p.
- GRIFFITHS, J.C. - 1970 - *Current Trends in Geomathematics*. *Earth Scienc. Rev.*, 6, 121-140
- GRIFFITHS, J.C. - 1974 - *Problems of Sampling in Geoscience*. in *Geol. Min. and Metall. Sampling-Proc. Inst. Min. Metall*

- GY, P. - 1967 - *L'Echantillonnage des Minerais en Vrac*. Tome 1,2
Mém.Bur.Recher.Geol.Min., n°56
- HARBAUGH, J.W. & MERRIAN, D.F. - 1968 - *Computer Applications in Stratigraphic Analysis*. Wiley, NY, 228 p.
- HARMAN, H.H. - 1960 - *Modern Factor Analysis*. University Chicago Press, Chicago
- HARTIGAN, J.A. - 1975 - *Clustering Algorithms*. John Wiley & Sons
- HASUI, Y. - 1973 - *Tectônica da Área das Falhas de São Roque e Pilar do Sul, São Paulo*. IGUSP, Tese de Livre Docência
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R. & COIMBRA, A.M. - - *The Ribeira Folded Belt*. Rev.Bras.de Geociências, vol.5, n°4
- HITCHON, B.; BILLINGS, G.K. & KLOVAN, J.E. - 1971 - *Geochemistry and Origin of Formation Waters in the Western Canada Sedimentary Basin - III Factors Controlling Chemical Composition*. Geochim.Cosmochim.Acta
- HOWARTH, R.J. - 1974 - *The Impact of Pattern Recognition Methodology in Geochemistry*. Proc.of Sec.Inst.Joint Conf. on Pattern Recognition
- HOWARTH, R.J. & LOWENSTEIN, P.L. - 1974 - *Sampling Variability of Stream Sediments in Broad-Scale Regional Geochemical Reconnaissance*. in Geol., Min., and Metall. Sampling.Proc. Inst.of Min. Metall.
- HOWE, W.G. - 1955 - *Some Contributions to Factor Analysis*. USAEG, Rep. ORNL - 1919 (Ph.D.Thesis, Univ.of North Carol.).
- JENNE, E.A. - 1968 - *Controls of Mn, Fe, Co, Ni, Cu and Zn Concentrations in Soils and Water; the Significant Role of Hydrous Mn and Fe Oxides*. in *Trace Inorganics in Waters* (Adv.in Chem.Series 73). Am.Chem.Societ., Washington, D. C., 337-387
- JIZBA, Z. - 1959 - *Frequency Distribution of Elements in Rocks*. Geochim.Cosmochim.Acta, 16: 79-82
- JÖRESKOG, K.G.; KLOVAN, J.E. & REYMENT, R.A. - 1976 - *Geological Factor Analysis*. in *Methods in Geomathematics 1*. Elsevier Publs. Sc.
- KLOVAN, J.E. - 1975 - *R and Q-mode Factor Analysis in Concepts in Geoestatics*. Springer-Verlag. Edited by R.B.McCammon

- KNECHT, T. - 1946 - *As Jazidas de Wolframita e Cassiterita da Serra de São Francisco, Município de Sorocaba-SP-Brasil*. In: Congr. Panamer. de Eng. de Minas e Geol., 2ª e Minerais Metálicos, 12ª, Petrópolis, 1946, Anais, 113-139
- KOCH, Jr., G.S. & LINK, R.F. - 1971 - *Statistical Analysis of Geological Data*. Wiley, New York, NY, vol. 1,2
- KRIGE, D.G. & UECKERMANN, H.J. - 1962 - *Value Contours and Improved Regression Techniques for Ore Reserve Valuations*. J. S. Afric. Inst. Min. Metall., 63, 429-452
- KRUMBEIN, W.C. - 1959 - *Trend Surface Analysis of Contour Type Maps*. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol., vol. 47
- KRUMBEIN, W.C.; BENSON, B.T. & HEMPKINS, W.B. - 1964 - *Whirlpool, A Computer Program for "Sorting Out Independent Variables by Sequential Multiple Linear Regression"*. Northwestern University. Tech. Report nº 14
- KRUMBEIN, W.C. & GRAYBILL, F.A. - 1965 - *An Introduction to Statistical Models in Geology*. New York, NY, McGraw-Hill, 475p.
- LAFFITE, P. - 1972 - *Traité D'Informatique Géologique*. Masson et Cie.
- LAWLEY, D.N. - 1940 - *The Estimation of Factor Loadings by the Method of Maximum Likelihood*. Proc. R. Soc. Edinb., A, 60, 64-82
- LAWLEY, D.N. & MAXWELL, A.E. - 1971 - *Factor Analysis as Statistical Method*. Butterworths, London
- LECUYER, P. & WILHEM, E. - 1974 - *Methodes de Traitement des Données Geochemiques Regionales: Exemple sur une Prospection du Zaïre*. BRGM 74 MET/GCA 10.
- LEPELTIER, C. - 1969 - *A Simplified Statistical Treatment of Geochemical Data by Graphical Representation*. Economic Geology, 64, 538-550
- MACEDO, A.B. & RUEGG, N.R. - 1974 - *Aplicação da Análise Fatorial ao Estudo de Elementos Principais nas Rochas Basálticas da Bacia do Paraná*. Anais do XXVIII Congr. da Soc. Bras. de Geologia
- MCCAMMON, R.B. - 1966 - *Principal Component Analysis and its Application in Large-Scale Correlation Studies*. J. Geol., 74; nº5, pt.2, 721-733

- MATHERON, G. - 1965 - *Les Variables Régionalisées et Leur Estimation*. Paris, Ed. Masson
- MATHERON, G. - 1971 - *The Theory of Regionalized Variables and its Applications*. Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleau, Les Cahiers du CMMF, N° 5
- MIESCH, A.T. - 1967 - *Theory of Error in Geochemical Data*. Geological Survey Prof. Paper 574-A
- MIESCH, A.T.; CHAO, E.C.T. & CUTTITTA, F. - 1966 - *Multivariate Analysis of Geochemical Data on Tektites*. J.Geol., 74: 673-691
- MERRIAN, D.F. - 1974 - *The Impact of Quantification on Geology*. Syracuse Univ. Geology. Contribution 2
- NACKOWSKI, M.P.; MARDIROSIAN, C.A. & BOTBOL, J.M. - 1967 - *Trend Surfaces Analysis of Trace Chemical Data, Park City District, Utah*. Economic Geology, 62, 1072-1087
- NALIMOV, V.V. - 1963 - *The Application of Mathematical Statistics to Chemical Analysis*. Pergamon Press
- NICHOL, I. - 1973 - *The Role of Computerized Data Systems in Geochemical Exploration*. Can.Inst.Min.Metall.Bull., 66(729) 59-68
- NICHOL, I.; GARRET, R.G. & WEBB, J.S. - 1969 - *The Role of Some Statistical and Mathematical Methods in the Interpretation of Regional Geochemical Data*. Economic Geology, 64
- NICHOLLS, G.D. - 1974 - *Geochemical Sampling Problems in the Analytical Laboratory*. in: Geol., Min. and Metall Sampling. Proc.Inst.of Min. and Metall.
- OBIAL, R.C. - 1970 - *Cluster Analysis as an Aid in the Interpretation of Multi-Element Geochemical Data*. Trans.Inst. Min.Met. 79:B175-180
- OLEA, R.A. - 1972 - *Application of Regionalized Variable Theory to Automatic Contouring*. Spec.Rep.Am.Petrol.Inst. Res. Proj. n° 131 - The Univ. of Kansas
- PAIVA FILHO, A. & GALVÃO, C.A.C.F. - 1976 - *Levantamento Geológico da Área de Interesse do Projeto Flúor*. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas - Relatório Interno IPT. n° 9.029

- PLANT, J. - 1974 - *Orientation Studies on Stream-Sediment Sampling for a Regional Geochemical Survey in Northern Scotland.* in: *Geol., Min. and Metall. Sampling. Proc. Inst. of Min. and Metall.*
- RAO, C.R. - 1955 - *Estimation and Tests of Significance in Factor Analysis.* *Psychol.*, 20, 93-111
- RATTI, G. - 1976 - *Eficiência de Ataques Químicos Parciais.* São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas - Relatório Interno do Agrupamento de Minas - DMGA
- ROSE, A.W.; DAHLBERG, E.C. & KEITH, M.L. - 1970 - *A multiple Regression Technique for Adjusting Background Values in Stream Sediment Geochemistry.* *Economic Geology*, 65, 156-165
- ROSE, A.W. & SUHR, N.H. - 1971 - *Major Element Content as a Means of Allowing for Background Variation in Stream-Sediment Geochemical Exploration.* in: R.W. Boyle and J.I. McGerrigle (Editors) *Geochemical Exploration.* Can. Inst. Min. Metall. Spec. vol. 11, 587-593
- RÜEGG, N.R. & MACEDO, A.B. - 1974 - *A Variação de Elementos Traços nas Rochas Basálticas da Bacia do Paraná Estudada por Meio da Análise Fatorial.* *Anais do XXVIII Congr. da Soc. Bras. de Geologia*, Porto Alegre
- SAAGER, R. & ESSELAR, P.A. - 1969 - *Factor Analysis of Geochemical Data from Basal Reef Orange Free State Goldfield, South Africa.* *Economic Geology*, 64, 445-451
- SAAGER, R. & SINCLAIR, A.J. - 1974 - *Factor Analysis of Stream Sediment Geochemical Data from the Mount Nansen Area, Yukon Territory, Canada.* *Mineralium Deposita (Berl.)* 9, 243-252
- SALDANHA, R. & FRANCO, R.R. - 1946 - *Nota Preliminar sobre a Ocorrência de Wolframita e Cassiterita em Sorocaba.* *Mineração e Metalurgia* 10(57)
- SHAW, D.M. - 1961 - *Element Distribution Laws in Geochemistry.* *Geochim. Cosmochim. Acta*, 23: 116-134
- SINCLAIR, A.J. - 1974 - *Selection of Threshold Values in Geochemical Data Using Probability Graphs.* *Jour. of Geoch. Expl.*, vol. 3, nº 2
- SINCLAIR, A.J. & WOODSWORTH, G.J. - 1970 - *Multiple Regression as a Method of Estimating Exploration Potencial Area near Terrace B.C.* *Economic Geology*, 65: 998-1003

- SOKAL, R.R. & SNEATH, P.H. - 1963 - *Principles of Numerical Taxonomy*. London and S. Francisco Freeman, 359 p.
- SUSLICK, S.B.; CARVALHO, W.S. & RATTI, G. - 1976 - *Seleção de Horizontes de Amostragem e Frações Granulométricas*. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas - Relatório Interno do AGRM-DMGA
- SUSLICK, S.B.; CARVALHO, W.S. & RATTI, G. - 1976 - *Influência de Moagens em Resultados de Análises Geoquímicas Parciais*. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas - Relatório Interno do AGRM-DMGA
- SUSLICK, S.B.; CARVALHO, W.S. & SIRACUZA, J.R. - 1977 - *Uma Aplicação de Variogramas na Prospeção Geoquímica em Solos*. VII Simpósio de Mineração, Porto Alegre
- SUSLICK, S.B.; CARVALHO, W.S. & SIRACUZA, J.R. - 1978 - *The Variograms as a Tool for Orientation Geochemical Survey* - no prelo
- SUSLICK, S.B. & QUINTANILHA, J.A. - 1978 - *Memov: Programa para Mapas de Tendência Segundo Critério de Média Móveis*. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas - Relatório Interno - Agrupamento de Minas - DMGA
- SUSLICK, S.B.; CARVALHO, W.S. & SIRACUZA, J.R. - 1978 - *Aplicação de Análise de Regressão na Interpretação dos Dados Geoquímicos*. XXX Congr. da Soc. Bras. de Geologia, no prelo
- TIMPERLEY, M.H.; BROCKS, R.R. & PETERSON, P.J. - 1972 - *The Improved Detection of Geochemical Soil Anomalies by Multiple Regression Analysis of Biogeochemical Data*. Proc. Aust. Inst. Min. Met. n° 242, June
- VISTELIUS, A.B. - 1960 - *The Skew Frequency Distributions and the Fundamental Law of the Geochemical Processes*. J. Geol., 68: 1-22
- WEBB, W.M. & BRIGGS, L.I. - 1966 - *The Use of Principal Component Analysis to Screen Mineralogical Data*. J. Geol., 74: 716-720
- WHITEHEAD, R.E.S. & GOVETT, G.J.S. - 1974 - *Exploration Rock Geochemistry - Detection of Trace Element Halos at Heath Steele Mines (N.B. Canada) by Discriminant Analysis*. J. Geochem. Expl. 3: 371-386

- WILHEM, E. - 1971 - *La Prospection Géochimique Tactique du Secteur de Saint-Salvy (Tarn)*. BRGM 71 SGN 362 GPH
- WILHEM, E. - 1977 - *Evolution des Methodes de Prospection Géochimique au Département des Gîtes Mineraux*. BRGM DRE/IN
- ZADROW, E.L. - 1970 - *Factor Analysis and Magnetite Formation and Distribution in the Smallwood Mine*. Trans. of the Am. Inst. of Min. Metall. and Petroleum Eng. vol. 247.

ANEXOS

PROJETO SAO FRANCISCO GG CONSTRUCAO DE VARIOGRAMAS
CU 0. 45.

-108-

PROJETO SAO FRANCISCO GG CONSTRUCAO DE VARIOGRAMAS
CU 65. 45.

Elemento: Cu
Direção: N65E

PROJETO SAO FRANCISCO GG CONSTRUCAO DE VARIOGRAMAS
CU 60. 05.

-109-

PROJETO SAO FRANCISCO GG CONSTRUCAO DE VARIOGRAMAS
CU 45. 180.

PROJETO SAO FRANCISCO GG CONSTRUCAO DE VARIOGRAMAS
CU 90, 45,

-110-

PROJETO SAO FRANCISCO GG CONSTRUCAO DE VARIOGRAMAS
CU 120, 45,

PROJETO SAO FRANCISCO GG CONSTRUCAO DE VARIOGRAMAS

PB 0. 45.

-111-

PROJETO SAO FRANCISCO GG CONSTRUCAO DE VARIOGRAMAS

PB 65. 45.

PROJETO SAO FRANCISCO GG CONSTRUCAO DE VARIOGRAMAS
PB 90. 45.

-113-

PROJETO SAO FRANCISCO GG CONSTRUCAO DE VARIOGRAMAS
PB 120. 45.

PROJETO SAO FRANCISCO GG CONSTRUCAO DE VARIOLANAS

ZN 0. 45.

-114-

PROJETO SAO FRANCISCO GG CONSTRUCAO DE VARIOLANAS

ZN 45. 45.

74 60. 45.

11F+01
 11F+01
 10E+01
 10F+01
 94E+00
 97F+00
 97E+00
 91E+00
 84E+00
 80E+00
 84E+00
 77E+00
 77E+00
 77E+00
 70E+00
 66E+00
 63E+00
 61E+00
 59E+00
 55E+00
 54E+00
 52E+00
 50E+00
 47E+00
 45E+00
 43E+00
 41E+00
 39E+00
 37E+00
 34E+00
 32E+00
 29E+00
 27E+00
 25E+00
 23E+00
 20E+00
 18E+00
 16E+00
 14E+00
 11F+00
 98E-01
 96E-01
 93E-01
 23F-01

ZH 45. 180.

.11F+01 *
 .11F+01 *
 .11F+01 *
 .10F+01 *
 .10F+01 *
 .94F+00 *
 .97F+00 *
 .95F+00 *
 .93F+00 *
 .91F+00 *
 .89F+00 *
 .86F+00 *
 .84F+00 *
 .81F+00 *
 .79F+00 *
 .77F+00 *
 .75F+00 *
 .72F+00 *
 .70F+00 *
 .68F+00 *
 .66F+00 *
 .63F+00 *
 .61F+00 *
 .59F+00 *
 .56F+00 *
 .54F+00 *
 .51F+00 *
 .50F+00 *
 .47F+00 *
 .45F+00 *
 .43F+00 *
 .41F+00 *
 .38F+00 *
 .36F+00 *
 .34F+00 *
 .32F+00 *
 .29F+00 *
 .27F+00 *
 .25F+00 *
 .23F+00 *
 .20F+00 *
 .18F+00 *
 .16F+00 *
 .14F+00 *
 .11F+00 *
 .90F+01 *
 .68F+01 *
 .45E+01 *
 .23E+01 *