



CARACTERIZAÇÃO DE ANOMALIAS GEOQUÍMICAS E OUTLIERS MULTIVARIADAS EM UM ESTUDO PROSPECTIVO NO CRISTALINO URUGUAIO

J.M. Filippini¹, N. Gustavsson², S.M.B. de Oliveira¹

¹Departamento de Geologia Geral, Instituto de Geociências - USP, Caixa Postal 11.348, CEP 05422-970, São Paulo, SP

²Geological Survey of Finland, FIN-02150, Espoo, Finland

Recebido em 06/98; aprovado para publicação em 05/99

ABSTRACT

Univariate and multivariate statistical methods were applied on stream sediments geochemical data from Precambrian Uruguayan terrains. More than 2100 samples were analyzed for 22 elements by DCP spectrometry. Only twelve of these elements were used to statistical treatment (Fe, Mn, P, Ba, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Y e Zn). Statistical outliers were detected using Mahalanobis distances. Principal component's procedures were used to distinguish regional and local anomalies. Known mineral occurrences were detected with kilometric precision.

RESUMO

Métodos estatísticos univariados e multivariados foram aplicados a dados geoquímicos de sedimentos de corrente em terrenos pré-cambrianos do Uruguai. Foram consideradas mais de 2100 amostras, analisadas por espectrometria DCP para 22 elementos. Somente doze desses elementos foram considerados para o tratamento estatístico (Fe, Mn, P, Ba, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Y e Zn). As outliers estatísticas foram detectadas usando as distâncias de Mahalanobis. Para discriminar anomalias regionais e locais, foram utilizados procedimentos que usam as componentes principais. As ocorrências minerais conhecidas foram detectadas com precisão quilométrica.

INTRODUÇÃO

As *outliers* estatísticas são amostras inconsistentes com relação ao comportamento geral de uma população. Em prospecção geoquímica, podem constituir anomalias ou amostras erráticas (Alecrim & Royer, 1991; Filippini, 1992). Do ponto de vista univariado, as *outliers* podem ser definidas como "as amostras nos extremos da distribuição", porém sua concepção é diferente do ponto de vista multivariado. Uma *outlier* multivariada pode ser gerada por uma soma de pequenos desvios, que não seriam visualizados em gráficos univariados de cada uma das variáveis tomadas isoladamente.

Neste trabalho, as *outliers* foram detectadas usando as distâncias de Mahalanobis (Garret, 1989). Procedimentos que consideram as componentes principais foram utilizados para discriminar anomalias regionais e locais. Sua eficiência para detectar ocorrências minerais conhecidas foi comparada com a dos mapas geoquímicos de teores brutos.

Os procedimentos aplicados, que enfatizaram aspectos multivariados para definir anomalias, reduziram o tempo de processamento e melhoraram o nível de interpretação, em comparação com os que usam os gráficos univariados, como os propostos, por exemplo, por Sinclair (1991).

APRESENTAÇÃO DA ÁREA DE PESQUISA

Localização e características geográficas

A região considerada, no cristalino uruguaio, está integrada pela totalidade das folhas

1/50.000 Zapicán e Pirarajá, e por 70% das folhas Gutiérrez e José P. Varela, totalizando cerca de 3000 km². Três centros urbanos concentram mais da metade da população, que não supera os 5000 habitantes no total. A paisagem típica é de pradarias, que predominam em 80% da área. Outros elementos da paisagem são as florestas autóctones, que se concentram nas margens dos cursos hídricos mais importantes, as florestas artificiais e zonas cultivadas que aparecem no setor oriental, e as zonas de ervas altas, que se encontram geralmente sobrepostas aos setores de inundações. O Uruguai é um país de clima temperado com quatro estações bem diferenciadas, chuvas de 1000-1500 mm anuais e temperaturas médias variando no intervalo 6 - 16°C, em junho, e 17 - 29°C, em janeiro.

Características geológicas

A geologia apresentada na Figura 1 constitui uma síntese da compilação apresentada por Fesefeldt (1988). Do ponto de vista dos recursos minerais, as formações geológicas de maior interesse são o Grupo Lavallega, a Formação de Anfíbolitos - Leptitos e a Formação Pavas. A primeira é uma seqüência de rochas vulcano-sedimentares do Proterozóico Superior, afetada por metamorfismo de baixo grau, que foi mapeada conjuntamente com o Grupo Barriga Negra, que ocorre somente no vértice SW e é constituído por rochas sedimentares com inclinação quase horizontal. A Formação de Anfíbolitos-Leptitos foi definida por Fesefeldt (1988), que a separou do Grupo Lavallega, em função da maior intensidade do metamorfismo observado. Várias ocorrências de minerais

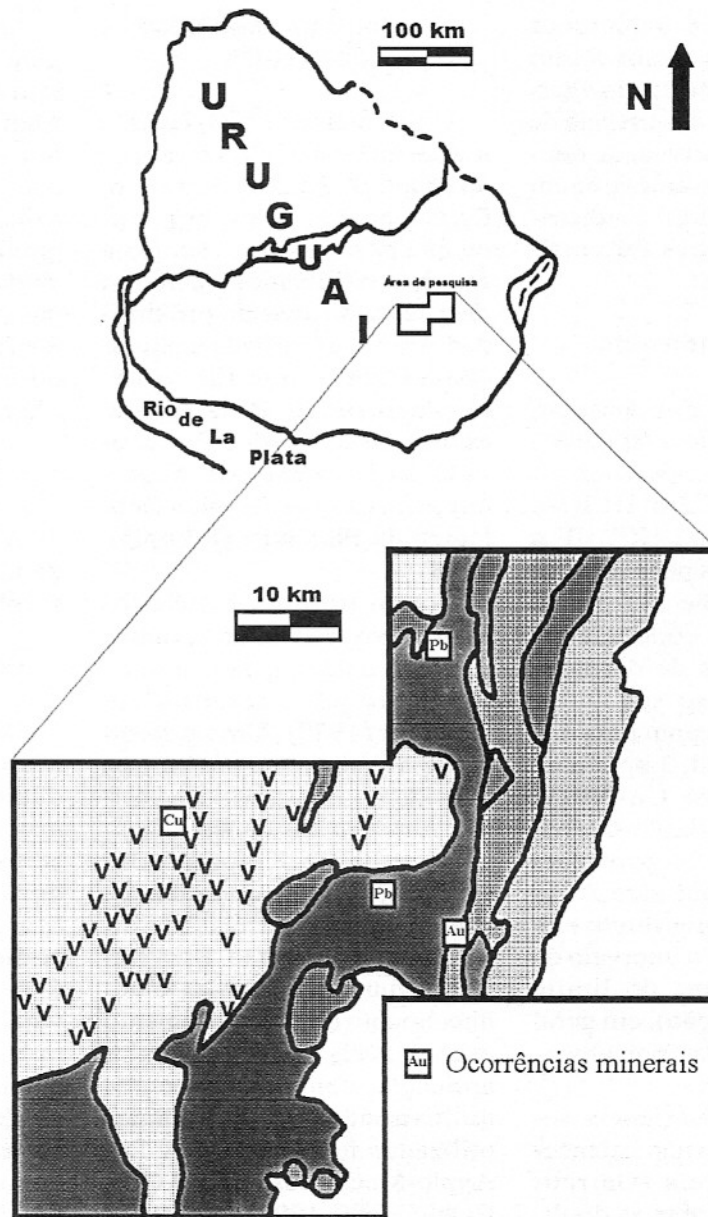
metálicos ocorrem no Grupo Lavallega e na Formação de Anfíbolitos-Leptitos, sendo as mais importantes, na área estudada, um depósito de Au e duas ocorrências de Pb. O depósito de Au é uma antiga mina explorada nas décadas de 30 e 40, que chegou a produzir mais de 200 kg do metal. O ouro encontra-se associado à pirita e à calcopirita, em veios de quartzo de cor violácea, com largura inferior a um metro. As ocorrências de chumbo relacionam-se a níveis de galena em rochas carbonáticas, que foram avaliadas na década de 80 e não apresentaram interesse econômico.

Na Formação Pavas, ocorrem faixas alternadas de anfíbolitos e de granito-gnaisses, de um a três quilômetros de largura e de direção N-N30. Também ocorrem diques de rochas máficas de pequenas dimensões e de idade possivelmente cambriana. Nas proximidades do povoado de Zapicán, foi encontrado um veio de quartzo de largura inferior a um metro, com cristais de pirita e calcopirita.

MÉTODOS DE COLETA E TRATAMENTO DOS DADOS

Amostragem

A coleta de 2172 amostras foi realizada em períodos de um mês, durante um total de quatro anos (1982-1985), sendo amostrada uma folha a cada vez. Foram coletadas 29 duplicatas de amostragem e preparadas 16 duplicatas analíticas para avaliar a precisão dos dados. Foram considerados quatro tipos de materiais: sedimentos em terraços (1935 amostras), sedimentos em leito (32 amostras), solos aluviais (176



- Formações Fanerozóicas
- Granitos sin-,pós-orogênicos
- Grupo Lavalleja (Proterozóico Superior)
- Formação Sierra Ballena (Proterozóico Médio-Inferior)
- Formação de Anfibolitos-Leptitos
- Máficas e ultramáficas } Formação Pavas
- Gnaisses e granitóides }

Figura 1 - Mapa geológico da área de pesquisa (Fesefeldt, 1988).

amostras) e solos autóctones (29 amostras). Os solos foram considerados como opção alternativa em função da ausência de cursos hídricos ativos. A densidade média de amostragem foi de 1 amostra/km² e a distribuição das amostras foi relativamente uniforme.

Análises químicas

As amostras foram secas em ambiente aquecido a 40 - 50°C, peneiradas a 80 *mesh*, submetidas a ataque total com HClO₄ a 140°C e adição de HCl-HF a 80°C, e analisadas por espectrometria de emissão plasma de arco de corrente contínua. Os limites inferiores de detecção analítica foram os seguintes: 0,1% para Fe, 0,2 ppm para Ag, 1 ppm para Be-Cd, 2 ppm para Mo, 5 ppm para Co-Nb-Y, 10 ppm para Mn-Ba-Cr-Cu-Ni-Pb-Sb-V-W-Zn, 20 ppm para As-B-Sn e 65 ppm para P. As amostras com teores muito elevados, superando o intervalo de linearidade (acima do limite superior de detecção), em geral foram reanalisadas por absorção atômica.

A análise de variância segundo um modelo não balanceado de dois níveis (Garrett, 1983), aplicado sobre as duplicatas analíticas e de amostragem, permitiu separar dois grupos de elementos:

(A) Ag, As, B, Be, Cd, Mo, Nb, Sb, Sn e W apresentaram erros analíticos acima de 15% devido à existência de um grande número de amostras com teores abaixo do limite de detecção analítica.

(B) Fe, Mn, P, Ba, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Y e Zn apresentaram variância adequada e erros analíticos variando entre 1 e 10%. Por outra parte, P, Co, V e Y apresentaram erros de amostragem acima de 50%.

Tratamento estatístico dos dados

Os elementos usados para o tratamento estatístico foram os do grupo B (Fe, Mn, P, Ba, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Y e Zn), sendo que os do grupo A somente foram considerados de forma restrita, nos casos de proximidade ou superioridade em relação ao limite inferior de detecção analítica. O tratamento estatístico dos dados foi realizado na Universidade Acadêmica de Åbo e no Serviço Geológico da Finlândia (Filippini, 1998).

Foram utilizados métodos estatísticos univariados, multivariados e de mapeamento, na sua maior parte descritos em Howarth (1983). Uma primeira etapa (tratamento preliminar) considerou as estatísticas básicas, histogramas de frequências, o teste de Kolmogorov-Smirnov, a análise de variância, coeficientes de correlação e diagramas de dispersão. Essa etapa foi fundamental para o conhecimento do comportamento das variáveis e para a posterior aplicação dos procedimentos multivariados. Os programas utilizados foram Statview For Apple-Machintosh (ABACUS CONCEPTS, 1992) e SPSS For Windows (SPSS, 1993).

A análise de variância para um fator foi aplicada sobre as doze variáveis, considerando o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis e os gráficos de *box*. Foi analisada a influência do material amostrado e do litotipo das rochas de procedência. No último caso, a classificação das amostras foi realizada considerando os esboços geológicos à escala 1/50.000 (Fay, 1982 a, b, c; Illanes, 1982) e à escala 1/100.000 (Preciozzi, 1987 a, b; Preciozzi & Fay, 1988).

Os métodos multivariados para os fins deste trabalho foram o cálculo das distâncias de Mahalanobis e os procedimentos que utilizaram as componentes principais. Para observar a distribuição das variáveis originais ou dos parâmetros mencionados foram elaborados mapas de círculos, produzidos no Serviço Geológico da Finlândia com o programa *Alkemia* (Ahlsved *et al.*, 1991).

1. Definição das *outliers*

A distância de Mahalanobis de uma amostra é um número escalar obtido pela equação:

$$DM^2 = (X - \mu)' S^{-1} (X - \mu)$$

DM representa a distância de Mahalanobis, X o vetor N-dimensional correspondente a uma amostra (cada dimensão corresponde ao teor de uma das doze variáveis originais: Fe, Mn, P, Ba, Co...), μ é o vetor N-dimensional das médias, S^{-1} é o inverso da matriz de variância - covariância. N, neste caso, foi igual a doze. As distâncias de Mahalanobis foram calculadas no Serviço Geológico da Finlândia, com um programa elaborado segundo a definição de Afifi & Azen (1972).

Garrett (1989) aplicou essa técnica a dados geoquímicos multivariados, tendo discriminado falsas anomalias e, em particular, anomalias derivadas de ocorrências minerais, que por apresentarem teores moderados de elementos indicadores não seriam detectadas por métodos univariados.

Quando N variáveis estão distribuídas em forma multinormal, o gráfico de dispersão de probabilidade teórica para as distâncias de Mahalanobis ao quadrado terá comportamento linear. Por essa razão, a forma

ideal de trabalhar com as distâncias de Mahalanobis seria elaborar esse gráfico, identificar e eliminar as *outliers* (amostras que produzem o afastamento do comportamento linear), e reprocessar os dados, até ter uma população N-normal.

2. Procedimentos que usaram as componentes principais

A análise em componentes principais define variáveis fictícias que são combinações lineares das variáveis originais. Essas variáveis fictícias (as componentes principais) podem ser interpretadas como associações multivariadas relacionadas a fenômenos naturais. Jolliffe (1986) definiu várias aplicações das componentes principais.

O mapeamento das componentes principais geralmente ajuda na interpretação dos fenômenos naturais associados a cada componente, porém esse procedimento implica na elaboração e análise de praticamente o mesmo número de variáveis que as originais. Na tentativa de caracterizar as anomalias regionais (teor de fundo) e locais, de uma maneira mais simples,

foram calculados os seguintes parâmetros:

$$D^2_{cp1-5} = (CP1)^2 + (CP2)^2 + \dots + (CP5)^2$$

$$D^2_{cp6-11} = (CP6)^2 + (CP7)^2 + \dots + (CP11)^2$$

CP1, CP2....CP11 são as componentes principais. Os parâmetros que podemos denominar como distância das primeiras componentes principais (D^2_{cp1-5}) e distância das últimas componentes principais (D^2_{cp6-11}) encontram-se associados, respectivamente, a aspectos regionais da informação geoquímica e a fenômenos locais devidos a pequenas variações litológicas ou a mineralizações (Jöreskog *et al.*, 1976).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tratamento estatístico preliminar

Na Tabela 1, são apresentadas algumas estatísticas para as doze variáveis consideradas. A maioria delas apresentaram medianas inferiores às médias, sugerindo assimetria positiva das distribuições, fato confir-

mado pelos histogramas. O teste de Kolgomorov-Smirnov, considerando um nível de significação de 5%, mostrou que o Fe ajustou-se a uma distribuição log-normal e os outros elementos evidenciaram diminuição das suas estatísticas para os dados log-transformados, com exceção do Pb, que se manteve praticamente igual. Por essa razão, quando foram aplicados métodos paramétricos, os dados foram log-transformados.

Deixando de lado o P, a análise de variância em função do material amostrado indicou empobrecimento de todos os elementos nas amostras de solos em relação às de sedimentos. Isso não permitiria uma comparação direta entre todas as amostras. Por esse motivo, os dados foram corrigidos, dividindo o teor do elemento para cada amostra pela mediana do grupo definido pelas amostras com o mesmo tipo de material amostrado.

Ao considerar a classificação em função do litotipo da rocha de procedência, a análise de variância mostrou uma forte influência desse fator, sugerindo contrastes entre domínios geológicos a diferentes escalas. Fe, Cr e V mostraram media-

Tabela 1 - Extremos, médias, desvios padrões (D.P.) e coeficientes de variação (C.V.) para os 12 elementos considerados neste trabalho (2172 amostras).

Variável	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	D.P.	C.V.
Fe %	0,8	8,4	2,9	2,7	1,0	34%
Mn ppm	74	15610	998	863	704	71%
P ppm	99	2528	292	242	217	74%
Ba ppm	174	2272	557	506	194	35%
Co ppm	1	78	12	11	6	50%
Cr ppm	8	1980	42	31	61	146%
Cu ppm	2	60	19	18	6	33%
Ni ppm	0	940	22	17	29	133%
Pb ppm	0	116	14	13	7	50%
V ppm	18	240	65	62	20	30%
Y ppm	8	266	24	20	13	54%
Zn ppm	17	176	59	56	19	33%

nas superiores na Formação Pavas em comparação com o Grupo Lavallega. Porém, localizadamente, a ocorrência de veios máficos no Grupo Lavallega elevou os teores desses elementos (Tabela 2).

Na Tabela 3, são apresentados os coeficientes de correlação para as variáveis consideradas, segundo um método paramétrico e outro não paramétrico. Os resultados de ambos os métodos foram semelhantes. Os diagramas de dispersão mostraram padrões dispersos para as amostras com coeficientes de correlação no intervalo (-0,5; 0,5), sugerindo correlações não significativas. Co, Cr, Cu, Ni, V e Zn mostraram, entre eles e em especial com o Fe, diagramas com comportamento mais alinhado, estando os coeficientes de correlação sempre acima de 0,5.

Caracterização de *outliers* e anomalias

As distâncias de Mahalanobis foram calculadas considerando os dados transformados em logaritmos neperianos e divididos pelas medianas dos grupos definidos pelo tipo de material amostrado. Suas estatísticas básicas são: Amplitude = 1,1 - 14,2; Média = 3,6 e Desvio = 3,6. Os diagramas de dispersão de probabilidade teórica das distâncias de Mahalanobis mostraram um grande afastamento do comportamento 12-normal ou 12 log-normal (Fig. 2), sugerindo a existência de um grande número de *outliers*. No mapa de círculos (Fig. 3), as *outliers*, ou seja, as amostras com valores elevados das distâncias de Mahalanobis, aparecem relacionadas às anomalias regionais e locais, sendo indi-

cadas algumas das ocorrências minerais conhecidas.

Do ponto de vista estatístico, as *outliers* devem ser eliminadas, pois prejudicam os resultados dos procedimentos multivariados. Porém, se isso fosse rigorosamente realizado, as anomalias geoquímicas, que são o alvo principal de todo estudo prospectivo, seriam perdidas. Por esse motivo, para os outros métodos multivariados aplicados, optou-se por uma solução de compromisso, eliminando apenas 2% da população original (44 amostras), que corresponderiam às *outliers* mais aberrantes. Dessa forma, a população resultante ficou mais sensível à resposta das técnicas multivariadas, conservando a maior parte das anomalias.

Na Tabela 4, apresentam-se as cargas e variâncias explicadas para as onze componentes principais consideradas. A primeira componente acumulou 47% da variância total, em função das suas cargas elevadas para elementos compatíveis (Co, Cr, Cu, Ni...), que se concentram nos minerais ferromagnesianos, estando relacionada com a ocorrência de rochas máficas. Porém, devido à participação do Fe, essa com-

Tabela 2 - Média de Fe, Mn, Cr e V para alguns litotipos específicos.

Litotipo	Fe	Mn	Cr	V
Máficas Pavas	4,2 %	1083 ppm	73 ppm	87 ppm
Veios máficos	3,7 %	1053 ppm	67 ppm	81 ppm
Xistos Lavallega	2,9 %	1246 ppm	32 ppm	61 ppm

Tabela 3 - Coeficientes de correlação de Pearson (acima da diagonal) e de Spearman (abaixo da diagonal) significativos ao nível de 1% e expressos em porcentagem (vezes 100). "Não" quer dizer não significativo.

	Fe	Mn	P	Ba	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	V	Y	Zn
Fe	100	40	37	36	73	71	66	74	-15	81	60	71
Mn	39	100	15	31	73	14	27	30	13	28	10	39
P	30	11	100	37	18	23	20	24	-29	25	31	38
Ba	35	33	29	100	29	13	18	19	7	28	30	38
Co	70	73	9	29	100	53	51	66	Não	66	30	50
Cr	69	14	21	19	51	100	60	91	-21	70	49	49
Cu	67	25	21	18	48	60	100	64	Não	66	35	63
Ni	72	30	22	23	63	91	64	100	-15	68	48	56
Pb	Não	17	-20	14	14	-12	Não	-9	100	Não	-23	Não
V	80	27	15	27	64	69	66	66	Não	100	49	47
Y	62	12	23	33	32	53	40	53	-8	50	100	47
Zn	70	38	40	38	47	49	64	56	Não	45	51	100

ponente pode também estar controlada por formações superficiais enriquecidas em óxidos e hidróxidos férricos, em função dos fenômenos de adsorção dos elementos traço sobre esses minerais. A carga negativa da primeira componente para o Pb seria explicada pelo seu caráter felsífico, em particular para as máficas da formação Pavas, onde o Pb apareceu empobrecido. A segunda componente principal explicou 13% da variância, podendo representar processos superficiais de adsorção de traços sobre óxidos de Mn, em função da participação desse elemento e do Co, que ocorrem associados nesses minerais. A terceira componente principal, que explica 11% da variância, representaria a geração de fosfatos

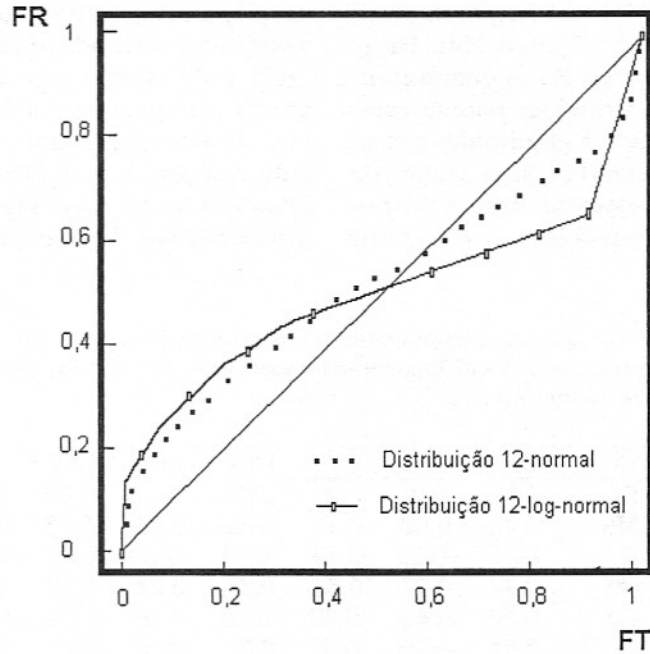


Figura 2 - Gráfico de probabilidade teórica para as distâncias de Mahalanobis ao quadrado, considerando uma distribuição 12-normal ou 12-log-normal. FT = Frequência teórica e FR = Frequência real.

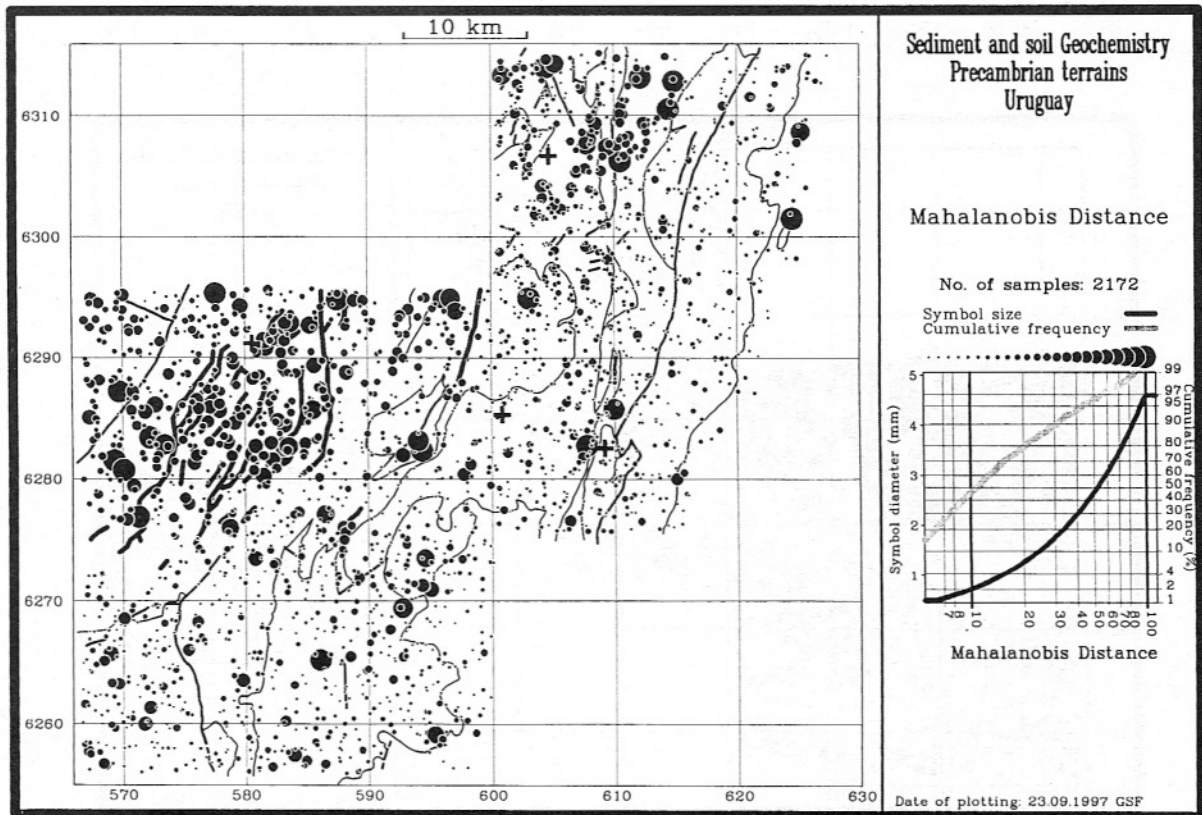


Figura 3 - Mapa de círculos para as distâncias de Mahalanobis. As linhas finas, médias e grossas indicam, respectivamente, os contatos geológicos, as principais falhas e os afloramentos de rochas máficas da Formação Pavas. As cruzes indicam as quatro ocorrências minerais conhecidas.

secundários, em função da participação do P junto com Ba e, parcialmente, Zn. A quarta componente principal parece estar relacionada a granitóides potássicos, devido às altas cargas de Ba e Pb, elementos que substituem o K nos feldspatos. A partir

da quinta componente principal, a variância explicada é menor ou igual a 5%, sendo a interpretação das componentes mais complicada. Por esse motivo, no cálculo dos parâmetros D^2cp1-5 e $D^2cp6-11$, o corte para separar as primeiras das últimas compo-

nentes principais foi realizado na quinta componente.

Os mapas das distâncias das primeiras e das últimas componentes principais (D^2cp1-5 e $D^2cp6-11$) são apresentados nas Figuras 4 e 5. O mapa das primeiras componentes apresenta

Tabela 4 - Cargas das componentes principais e variância explicada para cada componente (VEX). Os dados foram transformados em logaritmos neperianos e divididos pelas medianas do material amostrado. Foram eliminadas 44 outliers.

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9	CP10	CP11
Fe	0,91	-0,03	0,00	0,00	0,05	-0,06	-0,03	0,17	-0,24	-0,03	0,05
Mn	0,44	0,69	0,17	-0,45	0,03	-0,16	0,04	-0,08	0,17	0,15	0,03
P	0,43	-0,23	0,68	-0,11	-0,20	0,33	0,31	0,17	0,17	0,02	-0,19
Ba	0,41	0,27	0,63	0,35	0,22	0,17	-0,33	-0,20	0,00	-0,02	0,22
Co	0,76	0,45	-0,12	-0,30	0,16	0,03	0,04	0,07	-0,10	-0,22	0,16
Cr	0,81	-0,28	-0,32	0,03	0,06	0,21	0,11	-0,27	0,02	0,09	0,06
Cu	0,77	-0,01	-0,24	0,12	-0,40	-0,05	-0,25	0,12	0,28	-0,10	-0,40
Ni	0,86	-0,13	-0,28	-0,02	0,04	0,16	0,10	-0,30	0,04	-0,04	0,04
Pb	-0,12	0,70	-0,22	0,58	-0,04	0,08	0,31	0,06	0,03	0,00	-0,04
V	0,83	-0,02	-0,21	0,09	0,18	0,16	-0,13	0,36	-0,02	0,19	0,18
Y	0,62	-0,36	0,19	0,22	0,35	-0,47	0,19	0,05	0,16	-0,04	0,35
Zn	0,75	0,06	0,22	0,13	-0,44	-0,29	0,04	-0,14	-0,22	0,07	-0,44
VEX	47%	13%	11%	7%	5%	5%	4%	4%	2%	1%	1%

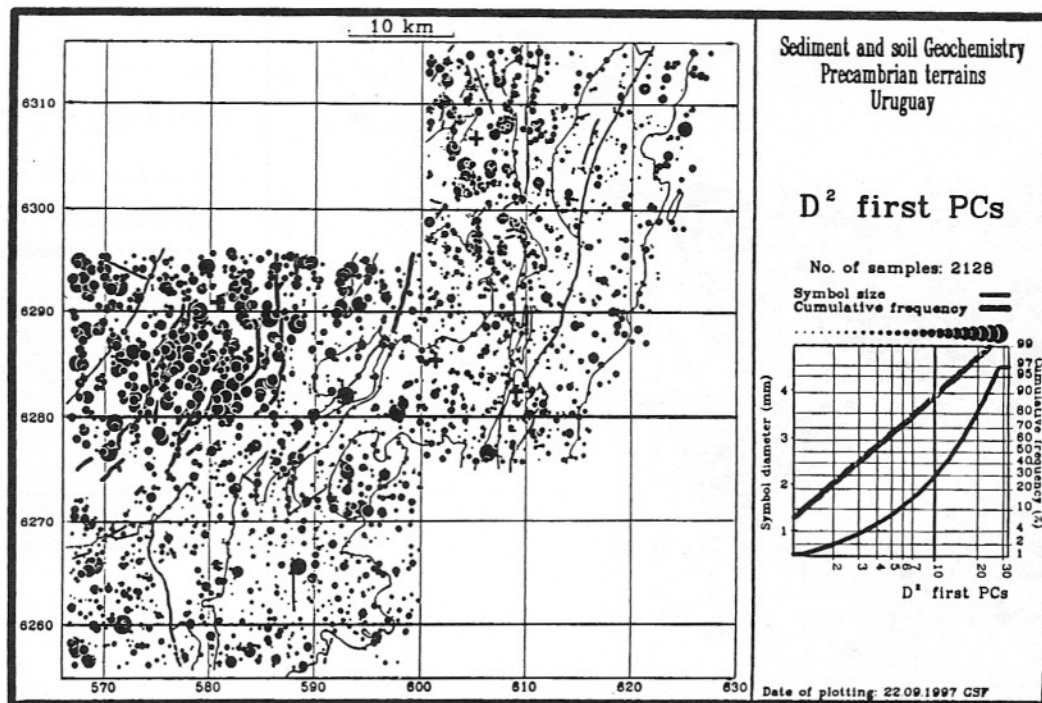


Figura 4 - Mapa de círculos para as distâncias das primeiras componentes principais. As linhas finas, médias e grossas indicam, respectivamente, os contatos geológicos, as principais falhas e os afloramentos de rochas máficas da Formação Pavas. As cruzes indicam as quatro ocorrências minerais conhecidas.

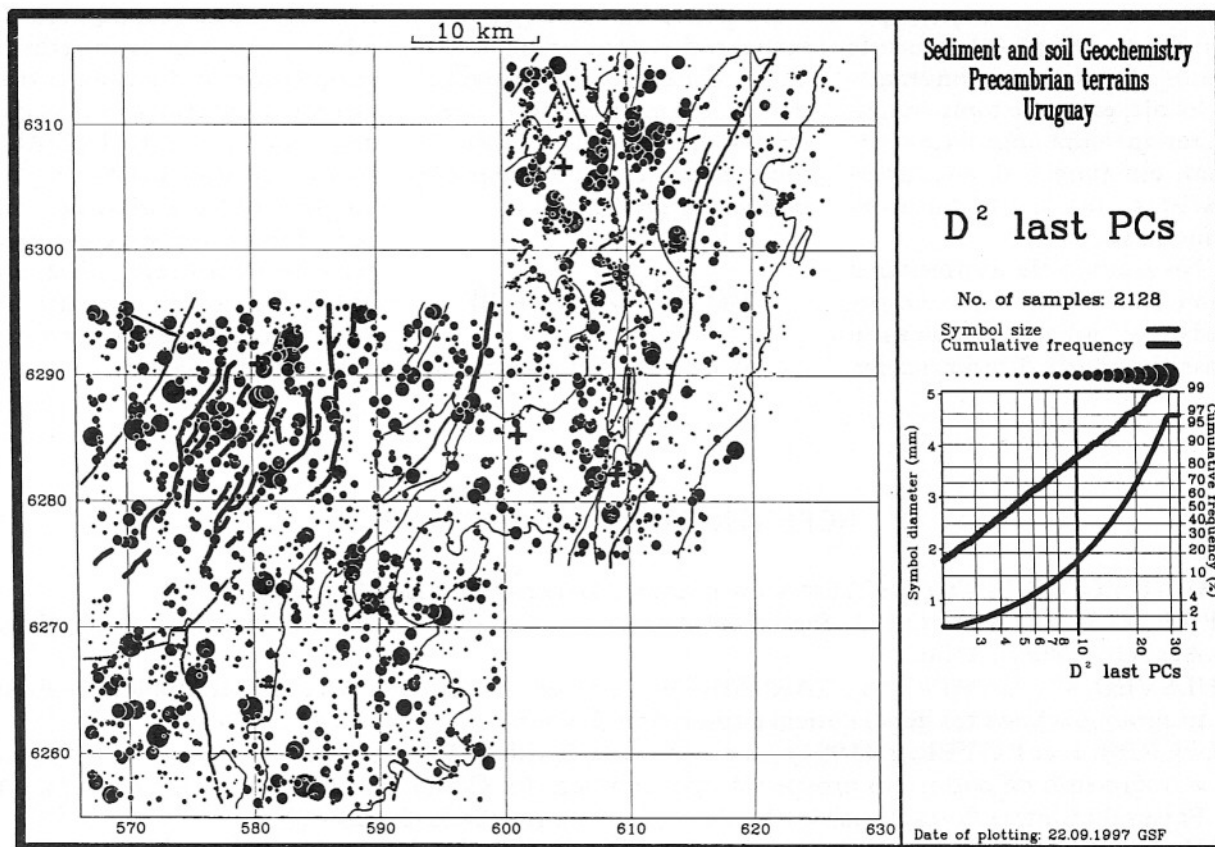


Figura 5 - Mapa de círculos para as distâncias das últimas componentes principais. As linhas finas, médias e grossas indicam, respectivamente, os contatos geológicos, as principais falhas e os afloramentos de rochas máficas da Formação Pavas. As cruzes indicam as quatro ocorrências minerais conhecidas.

uma forte anomalia relacionada ao setor NW da Formação Pavas e ao local de abundância de rochas máficas ($X=570-590$; $Y=6280-6295$). Também foram caracterizados alguns corpos graníticos, como os localizados entre as coordenadas: ($X=590-600$; $Y=6290-6295$), ($X=590-600$; $Y=6270-6280$) e ($X=600-605$; $Y=6305-6310$). O mapa da Figura 5 apresenta características diferentes do mapa anterior. A resposta relacionada às rochas máficas da Formação Pavas é bem mais fraca, sendo quase nula no setor NW. Alguns valores elevados da $D^2cp6-11$ ocorrem próximos aos corpos graníticos, mas não exatamente sobrepostos a esses corpos. No setor norte ($X=605-615$; $Y=6305-6315$) foi caracterizada uma anomalia re-

gional de Pb, indicada anteriormente.

As quatro ocorrências minerais conhecidas foram caracterizadas por círculos de bom tamanho, localizados a distâncias variando entre 1,8 e 3,0 quilômetros. Essas distâncias, considerando os mapas dos teores brutos de Cu ou Pb, oscilaram entre 0,6 e 1,6 quilômetros. Pode-se, portanto, concluir que o aspecto mais importante da técnica utilizada é a possibilidade de diferenciar anomalias regionais e locais, já que os mapas correspondentes aos teores brutos indicam igualmente as ocorrências minerais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os conceitos de *outliers* es-

tatísticas e anomalias geoquímicas estão relacionados. O descarte das primeiras para um estudo prospectivo deve ser realizado de forma cuidadosa. Neste estudo, a eliminação de um pequeno grupo de *outliers* permitiu uma resposta mais sensível para as últimas componentes (Fig. 5), já que as distâncias de Mahalanobis (Fig. 3), que consideraram o total dos dados, não detectaram as ocorrências conhecidas com a mesma eficiência que a $D^2cp6-11$.

A comparação dos mapas da D^2cp1-5 e da $D^2cp6-11$ permitiria caracterizar anomalias regionais e locais com facilidade. Porém, deve-se levar em consideração que o último parâmetro caracterizou pelo menos uma anomalia regional. Nesse caso,

poder-se-ia concluir que, apesar de a D²cp6-11 possuir maior afinidade por anomalias locais, ela pode também caracterizar uma anomalia regional, em função das características das componentes principais.

No sentido de aprimorar o conhecimento das *outliers*, poderiam ser utilizadas técnicas de classificação ou discriminação,

o que permitiria distinguir anomalias regionais de anomalias locais e, ainda, classificar estas últimas como relacionadas a aspectos litológicos, à ocorrência de mineralizações ou a eventuais problemas ambientais.

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Alf Björklund, da

Universidade Acadêmica de Åbo, pela sua importante contribuição durante o tratamento estatístico dos dados. Ao Lic. Eero Lampio, ao Sr. Heimo Savolainen e ao Sr. Jukka Laitinen, todos eles do Serviço Geológico da Finlândia, pela sua colaboração na produção dos mapas relativos ao presente trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABACUS CONCEPTS (1992) Statview Manual. Berkeley, Abacus Concepts.
- AFIFI, A. & AZEN, S. (1972) Statistical Analysis: a Computer Oriented Approach. New York, Academic Press, 330p.
- AHLSVED, C.; LAMPIO, E.; TARVAINEN, T. (1991) Alkemia-a Vax minicomputer database program package for geochemical exploration. *J. Geochem. Explor.*, **41**:23-28.
- ALECRIM, J. & ROYER, J. (1991) As *outliers* nas distribuições monovariáveis: uma técnica para o tratamento de dados em prospecção geoquímica. *In: Congr. Bras. Geoq.*, 3, e *Congr. Geoq. Países de Língua Portuguesa*, 1, São Paulo. SBGq., Resumos, **2**:468-473.
- FAY, A. (1982a) Esbozo Geológico del Fotoplano Pirarajá a la escala 1/50.000. Montevideú, DINAMIGE, 1 mapa.
- FAY, A. (1982b) Esbozo Geológico del Fotoplano Zapicán a la escala 1/50.000. Montevideú, DINAMIGE, 1 mapa.
- FAY, A. (1982c) Esbozo Geológico del Fotoplano José P. Varela a la escala 1/50.000. Montevideú, DINAMIGE, 1 mapa.
- FESEFELDT, K. (1988) Asesoramiento geológico y yacimentológico a la DINAMIGE. Hannover, BGR, 186p.
- FILIPPINI, J. (1992) Aplicação dos métodos estatísticos em prospecção geoquímica de sedimentos de corrente e rochas na região de Isla Patrulla, Distrito de Treinta y Tres, Uruguai. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 182p.
- FILIPPINI, J. (1998) Análise e integração de dados geoquímicos e de sensoriamento remoto em um setor do cristalino uruguaio. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 172p.
- GARRETT, R. (1983) Sampling Methodology. *In: R. Howarth (Ed.) Statistics and data analysis in geochemical prospecting*. Amsterdam, Elsevier Scientific, p.83-110.
- GARRETT, R. (1989) The chi-square plot: a tool for multivariate outlier recognition. *J. Geochem. Explor.*, **32**:319-341.
- HOWARTH, R. (1983) Statistics and data analysis in geochemical prospecting. Amsterdam, Elsevier, 437p.
- ILLANES, L. (1982) Esbozo Geológico del Fotoplano Gutiérrez a la escala 1/50.000. Montevideú, DINAMIGE, 1 mapa.
- JOLLIFFE, I. (1986) Principal component analysis. New York, Springer-Verlag, 271p.
- JÖRESKOG, K.; KLOVAN, J.; REYMENT, R. (1976) Geological Factor Analysis. Amsterdam, Elsevier, 178p.
- PRECIOZZI, F. (1987a) Carta Geológica del Uruguay Escala 1:100.000. Memoria Explicativa del Fotoplano José P. Varela (E-21). Montevideú, DINAMIGE-FA-FHC, 11p., 1 mapa.
- PRECIOZZI, F. (1987b) Carta Geológica del Uruguay Escala 1:100.000. Memoria Explicativa del Fotoplano Zapicán (F-22). Montevideú, DINAMIGE-FA-FHC, 12p., 1 mapa.

- PRECIOZZI, F. & FAY, A. (1988). Carta Geológica del Uruguay Escala 1:100.000. Memoria Explicativa del Fotoplano Pirarajá (F-23). Montevidéo, DINAMIGE-FA-FHC, 15p., 1 mapa.
- SINCLAIR, A. (1991) A fundamental approach to threshold estimation in exploration geochemistry. *J. Geochem. Explor.*, **41**:1-22.
- SPSS (1993) SPSS for Windows: Professional Statistics. Release 6.0. Chicago-USA, SPSS Inc.