

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

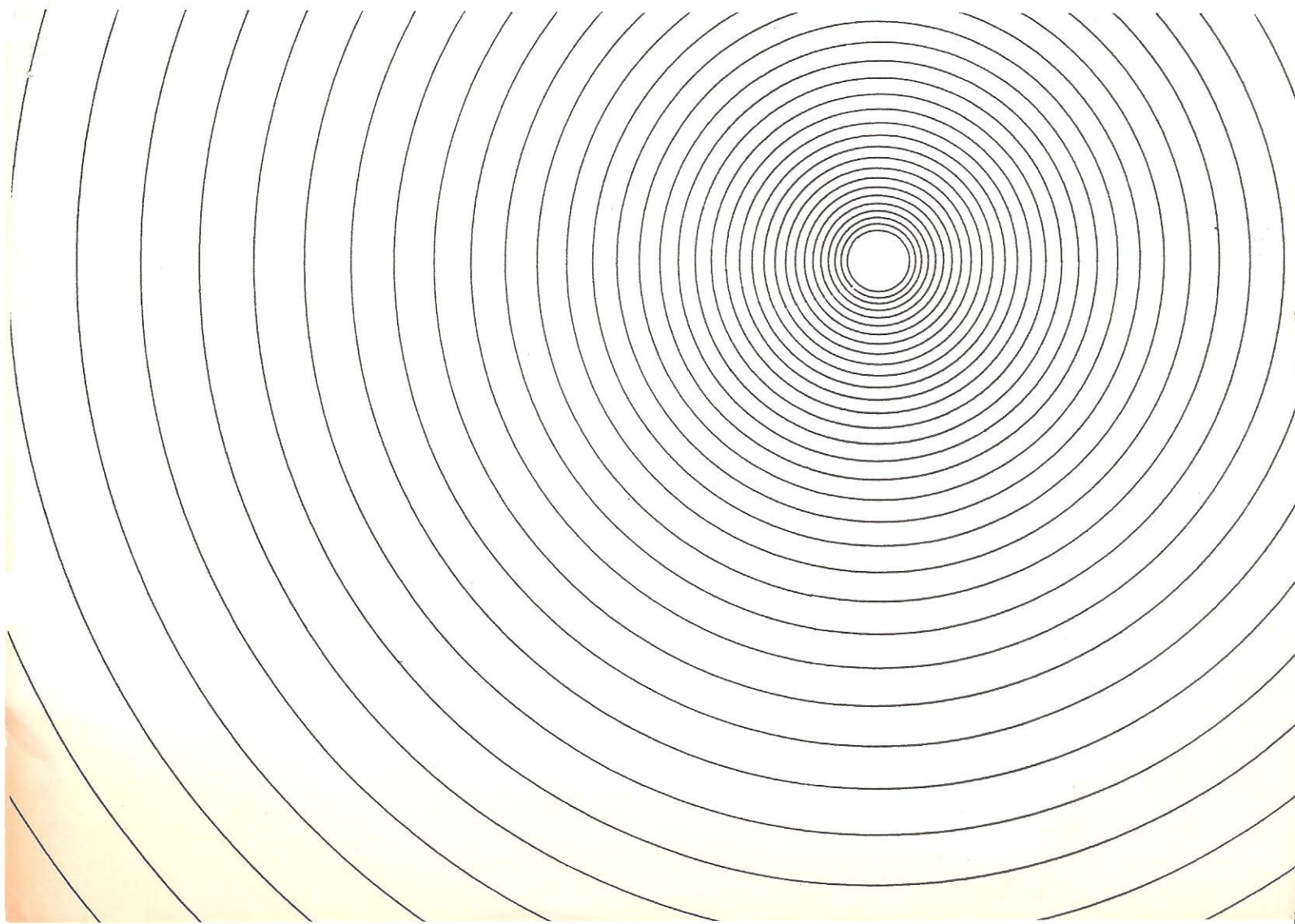
Porto Alegre, RS – Brasil

PESQUISAS

volume 17

números 1 - 2

dezembro 1990



Utilização da Técnica Estatística de Análise Fatorial em Biogeoquímica

MARIA DO CARMO LIMA E CUNHA¹, JOSÉ LEONARDO SILVA ANDRIOTTI² E LAURO V. S. NARDI¹

¹CPGq Instituto de Geociências, UFRGS, Caixa Postal 15001. CEP 91500 - Porto Alegre, RS, Brasil.

²CPRM/RS - Porto Alegre, RS, Brasil.

(Recebido em 24/07/90. Aceito para publicação em 20/11/90.)

Abstract — The statistical technique of Factor Analysis has been employed in order to understand the relationship among the variables Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn, Rb, Pb, Cu and Zn determined in ash of *Schinus lentiscifolius*, a plant widely distributed on the Lavras Granite Complex, RS, Brasil. The results show that the factor analysis put in evidence four factors: the first, with the main contribution of Ca in plant, reflects a physiological process present in the species investigated, and the second and third factors are related to the lithological variations and to the presence of sulfide mineralization, indicated by the contents of Zn-Mg and Pb-Cu in this species. The fourth (iron in plant) showed an independent behaviour of this element.

Resumo — Neste trabalho foi empregada a técnica estatística de Análise Fatorial, no sentido de compreender as relações entre as variáveis Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn, Rb, Pb, Cu e Zn, determinadas nas cinzas de *Schinus lentiscifolius*, espécie vegetal amplamente distribuída sobre o Complexo Granítico Lavras, RS. Os resultados obtidos pela Análise Fatorial revelaram quatro fatores: o primeiro, com maior contribuição do Ca na planta, está mais condicionado aos processos fisiológicos da espécie investigada, e o segundo e terceiro fatores refletem as variações litológicas e a presença de mineralização sulfetada, apontadas pelos teores de Zn-Mg e Pb-Cu nesta espécie. O quarto fator (Fe na planta) mostrou um comportamento independente deste elemento.

INTRODUÇÃO

A Análise Fatorial, técnica estatística usada para a interpretação das relações entre variáveis em um conjunto de dados multivariantes, é empregada neste trabalho com o objetivo de constatar-se a aplicabilidade deste método em biogeoquímica. Os dados considerados provêm da análise química das cinzas de *Schinus lentiscifolius*, espécie vegetal predominantemente distribuída sobre Complexo Granítico Lavras, Lavras do Sul (Lima e Cunha, 1988).

O conjunto de dados submetidos à análise estatística consta de 38 amostras pertencentes à espécie acima, coletadas em pontos coincidentes aos de amostragem de rocha, resultando em três populações: uma distribuída sobre o granito central, outra sobre o granito transicional e uma terceira sobre o granito de borda, sendo os três tipos litológicos diferenciados entre si por suas características texturais, geoquímicas e petrogenéticas, conforme Nardi (1984) (Fig. 1). As mineralizações que ocorrem associadas ao complexo estão presentes principalmente no granito central, sob a forma de veios de quartzo ricos em sulfetos (pirita, calcopirita, esfalerita e molibdenita) associados à presença de ouro, e no granito de borda que contém mineralização de pirita e ouro em zonas brechadas de direção E-W.

METODOLOGIA

As análises químicas dos elementos Ca, Mg, Na, K, Cu, Zn, Pb, Rb, Fe e Mn foram realizadas nos laborat

rios de Geoquímica da UFRGS, por Espectrofotometria de Absorção Atômica e os resultados são expressos em peso de cinzas.

Sobre esses resultados analíticos foi feita uma análise estatística descritiva para cada uma das variáveis e sobre o conjunto total de determinações foi efetuado um estudo multivariado, Modo R, com a aplicação do método de rotação ortogonal Varimax. Estudos de correlação linear entre as variáveis e a aplicação de Análise Discriminante D_2 foram também considerados. (Marsal, 1987).

Os fatores e suas transformações foram calculados pela utilização dos programas constantes do sistema GEOQUANT, adaptado pela CPRM, versão 3.0.

Utilizando-se como critério de seleção dos fatores, aqueles que apresentassem valores de *eigenvalues* superiores à unidade, e adotando-se como valor mínimo de correlação entre as componentes principais e as variáveis o de 0,40, para a inclusão da variável no fator, obteve-se quatro fatores que juntos explicam 70,5% da variância total dos dados tratados pela Análise Fatorial.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para as dez variáveis estudadas, são apresentados na Tabela 1 os valores médios e os desvios padrão aritméticos e na Tabela 2 os valores de correlação obtidos entre as variáveis que compõem cada um dos quatro fatores principais e os respectivos fatores.

Os estudos de correlação linear de Pearson, mostraram forte correlação positiva (0,85) entre o K e o Rb;

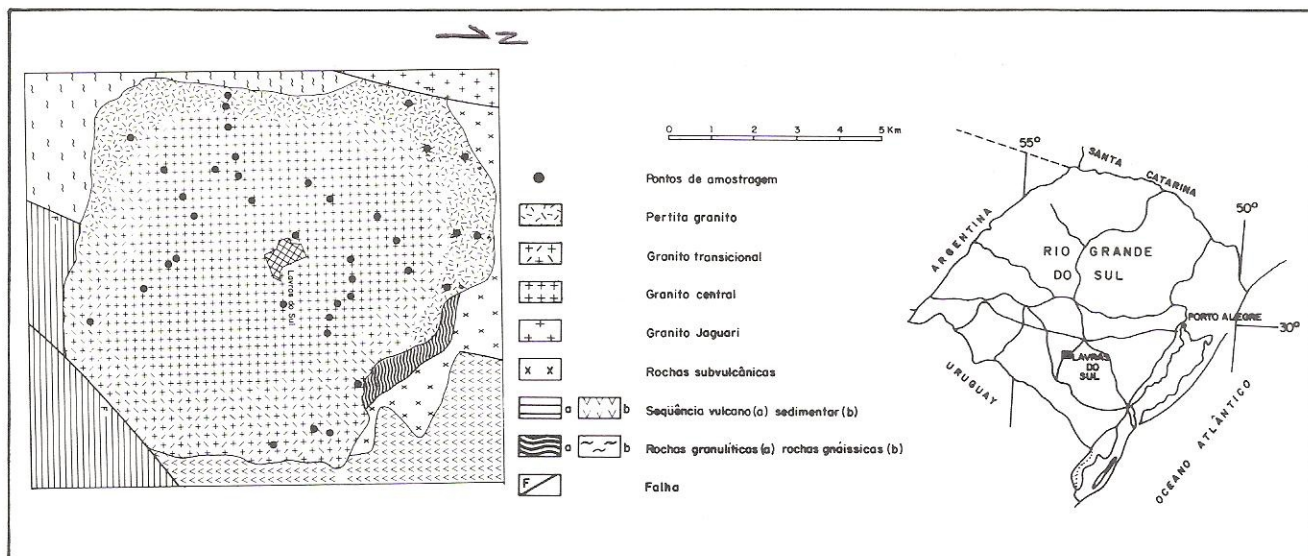


Figura 1 — Mapa Geológico do Complexo Lavras (Nardi, 1984 modificado).

forte correlação negativa entre o Ca e o K (-0,72) e entre o Ca e o Rb (-0,67). Também mostraram correlação negativa significativa o Ca e o Fe (-0,51) e o Ca e Na (-0,42). Os demais valores obtidos não mostraram correlações lineares importantes, considerando-se o nível de significância de 0,05 (Tab. 3).

Variável	Média	Desvio Padrão
Ca	23,23%	4,07
Mg	2,99%	0,61
Na	0,71%	0,51
K	19,01%	4,84
Cu	122 ppm	38
Zn	482 ppm	376
Pb	55 ppm	12
Rb	414 ppm	73
Fe	2407 ppm	1330
Mn	2742 ppm	1672

Tabela 1 — Parâmetros estatísticos das variáveis consideradas.

Variável	Fator I	Fator II	Fator III	Fator IV
Ca	0,84	0,22	0,04	0,24
Mg	0,02	-0,70	0,21	0,33
Na	-0,58	0,22	-0,02	0,36
K	-0,85	0,02	-0,16	-0,38
Cu	-0,41	-0,01	-0,46	0,46
Zn	-0,06	0,87	0,24	0,31
Pb	-0,13	-0,05	0,84	-0,24
Rb	-0,88	0,08	-0,06	-0,18
Fe	-0,48	-0,42	0,17	0,50
Mn	-0,54	0,19	0,37	0,18

Tabela 2 — Valores de carga obtidos entre as variáveis que compõem cada um dos fatores principais e os respectivos fatores.

	Ca	Mg	Na	K	Cu	Zn	Pb	Rb	Fe	Mn
Ca	1.00	0.08	-0.42	-0.72	-0.21	-0.22	-0.14	-0.67	-0.49	-0.27
Mg		1.00	-0.05	-0.09	0.09	-0.38	0.10	-0.03	0.20	0.05
Na			1.00	0.32	0.17	0.27	-0.04	0.41	0.31	0.23
K				1.00	0.23	-0.05	0.02	0.86	0.13	0.39
Cu					1.00	0.06	-0.14	0.41	0.18	0.18
Zn						1.00	0.08	0.11	-0.12	0.24
Pb							1.00	0.14	0.09	0.16
Rb								1.00	0.19	0.37
Fe									1.00	0.18
Mn										1.00

Tabela 3 — Matriz de Correlação Linear de Pearson entre os elementos considerados.

Dos quatro fatores obtidos pela Análise Fatorial, o primeiro deles que responde por 32,99% da variabilidade total é expresso pela associação Ca x Na, K, Rb, Cu, Fe e Mn, estando o Ca significativamente relacionado com todos os demais. Os elementos mais fortemente relacionados com o processo representado pelo fator 1 são, em ordem decrescente de importância, o Rb, o K e o Na, ficando com o Cu a menor relação variável versus fator, conforme pode-se observar na Tabela 2.

O fato do Ca mostrar íntima relação com os elementos no processo refletido no fator I, comprova a sua ação protetora contra a absorção excessiva de outros cátions, já que a sua função principal na planta é a de manter a integridade da membrana celular (Antonovics *et al.* 1971; Boyer, 1985; Epstein, 1975). Segundo este último autor, o papel do Ca é duplo: além de manter a impermeabilidade da membrana celular, controlando deste modo o transporte por difusão, garante a seletividade dos mecanismos de transporte iônico.

A associação antipatética do K e do Na com o Ca demonstra o antagonismo existente entre estes dois elementos e o Ca no processo de absorção (Boyer, 1985; Epstein, 1975). O mesmo fenômeno deve ocorrer com o Rb pela similaridade química deste com o K. Prova disso é que muitas vezes o Rb substitui o K até mesmo nos processos metabólicos do vegetal (Kabata-Pendias & Pen-

dias, 1984).

A correlação refletida na Figura 2, possivelmente configure, na espécie em questão, o chamado "antagonismo de regulação" (Boyer, 1985), em que o K freia a entrada do Ca e reciprocamente este freia o aproveitamento do K, ficando conseqüentemente moderado o abastecimento dos dois. Na ausência de um, o outro em excesso pode ser nocivo à planta. Segundo o autor citado, uma sinergia que ocorra a baixos teores pode se transformar em antagonismo quando estes crescem. O Rb e, secundariamente, o Na igualmente revelam uma relação inversa, conforme também demonstrado nas correlações das Figuras 3 e 4, com uma configuração mais nítida nas amostras ocorrentes sobre os granitos transicional e de borda.

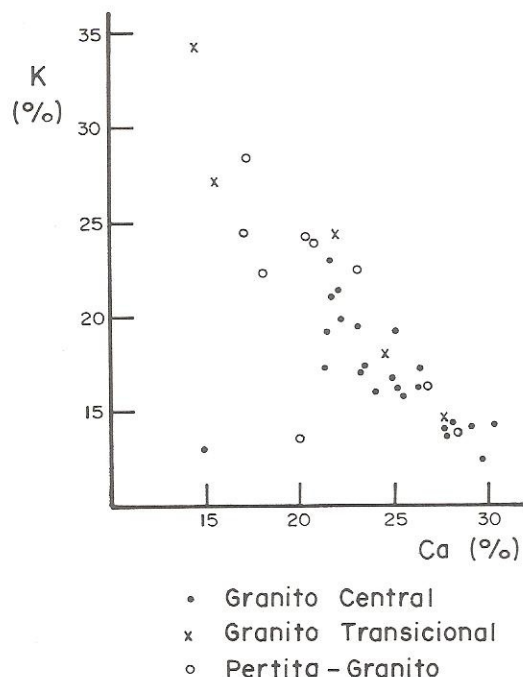


Figura 2 — Diagrama de Correlação K x Ca em *S. lentiscifolius* na área do Complexo Granítico Lavras, RS.

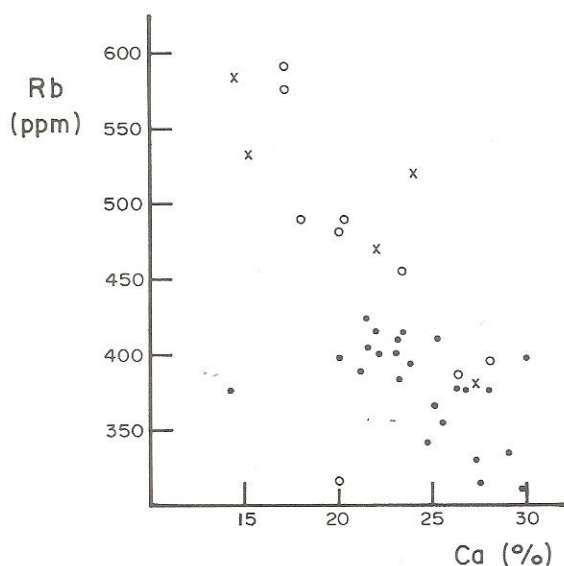


Figura 3 — Diagrama de Correlação Rb x Ca em *S. lentiscifolius* na área do Complexo Granítico Lavras, RS (Simbologia cf. Fig. 2).

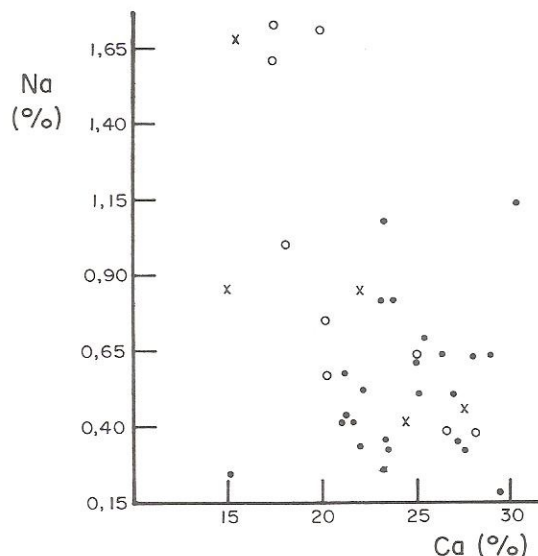


Figura 4 — Diagrama de Correlação Na x Ca em *S. lentiscifolius* na área do Complexo Granítico Lavras, RS (Simbologia cf. Fig. 2).

Também a associação antipatética do Fe, do Mn e do Cu com o Ca aponta a ação protetora deste último, já que tanto o Fe, como o Mn e o Cu, em teores elevados, igualmente afetam o balanço nutricional dos vegetais, em particular o Cu, cujos teores excessivos são potencialmente tóxicos à planta.

O segundo fator (15,4% da variabilidade total) é representado pela associação Zn-Mg, sendo o primeiro elemento fortemente relacionado com este fator enquanto o Mg mostra relação antipatética.

De acordo com Nardi (1984), o teor de Mg é menor nas fácies do granito de borda, em relação do corpo central, ocorrendo o contrário com o zinco (maior no pertita). Este fato aliado à sinergia observada na Figura 5 sugere uma ação competitiva do Zn com o Mg no processo de absorção, particularmente nas amostras ocorrentes sobre os granitos transicional e de borda. Fica claro, portanto, aqui, a influência litológica que se reflete nos solos. Acrescente-se a isso o fato de o Mg atuar na planta como um ativador de enzimas, não sendo no entanto esta ativação altamente específica, o que permite a outros cátions divalente o substituírem.

O fator II, com 12,3% da variabilidade total, está representado pela associação Pb-Cu, sendo a relação do Pb muito forte com o processo por ele explicado, e a do Cu bem menos importante, cabendo ressaltar que ambos têm forte relação na composição do fator.

Pela Figura 6 percebe-se que o processo de absorção parece ser controlado pela planta nas amostras do granito central, ficando mantidos constantes os teores de ambos os elementos e comprovando que os mecanismos de absorção do Pb é muito semelhante ao do Cu (Antonovics *et al.* 1971). No entanto, o relativo aumento do Cu nas amostras ocorrentes sobre os granitos transicional e de borda, sugere influência de mineralização, com paragêneses distintas, comprovadas pela geoquímica de solos (Nardi 1976, não publicado) que revelou duas paragêneses na área do granito central: uma de Pb-Zn-Au e outra de Cu-Zn-Au. Este mesmo autor, em 1984, constata nas mineralizações associadas às rochas do

Complexo Granítico Lavras, a presença de sulfetos de Cu ocorrendo junto com ouro, esfalerita e galena, no granito central, e pirita associada a ouro no granito de borda.

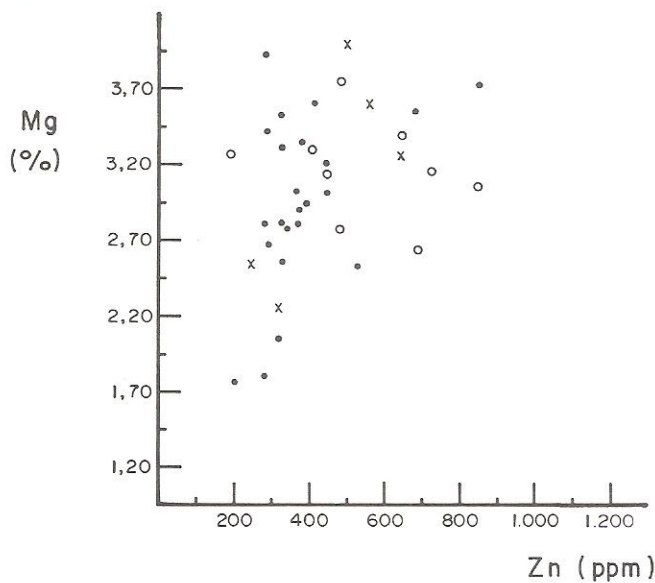


Figura 5 — Diagrama de Correlação Mg x Zn em *S. lentiscifolius* na área do Complexo Granítico Lavras, RS (Simbologia Cf. Fig. 2).

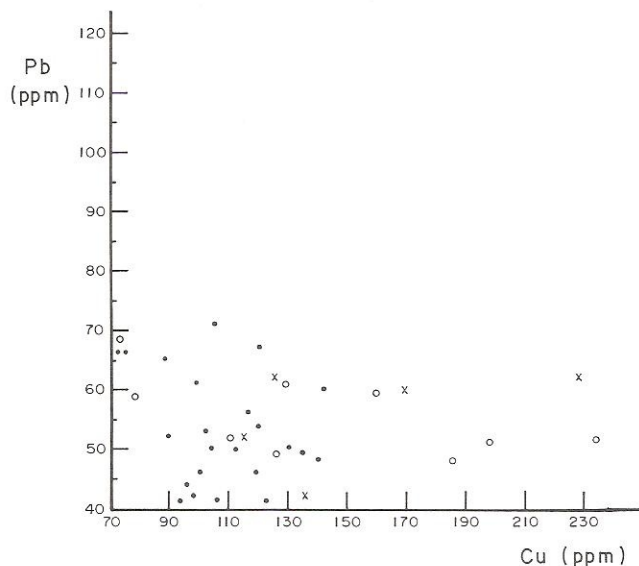


Figura 6 — Diagrama de Correlação Pb x Cu em *S. lentiscifolius* na área do Complexo Granítico Lavras, RS (simbologia cf. Fig. 2).

Em ordem de importância, o fator IV representa 9,9% da variabilidade total do conjunto de dados e expressa uma tendência do Ferro a comportar-se de modo não relacionável aos demais elementos. Na área estudada, o esperado seria, no entanto, uma maior concentração de Fe nas cinzas da espécie considerada, visto que a alteração dos óxidos de Fe e Mn que acompanham as mineralizações sulfetadas, propicia uma maior disponibilidade destes à planta. Considerando-se que o teor de Mn em *S. lentiscifolius* tem um valor médio três vezes acima daquele registrado para as plantas nativas (Connor & Shacklette, 1975) e que a razão Fe/Mn na espécie em questão é de 0,8 (sendo que a normal varia entre 1,5 a 2,5), constata-se uma redução na absorção

do Fe, possivelmente causada por interferência de outros elementos metálicos, particularmente do Mn.

Outro teste estatístico também empregado neste trabalho foi o de análise discriminante (D_2), que teve como objetivo o de se alocar nos grupos bem definidos algumas amostras, cuja classificação mostrou características intermediárias entre um ou outro grupo.

‘A análise discriminante é uma técnica multivariada que permite separar diferentes grupos de objetos (ou observações) e alocar novos objetos (observações) aos grupos previamente definidos’ (Johnson e Wichern 1982, p. 461).

Os resultados obtidos (apesar do pequeno número de amostras empregadas neste tipo de tratamento estatístico) evidenciaram que:

- 100% das 24 amostras coletadas sobre o granito central indicam o substrato geológico;
- 3 das 9 amostras coletadas no granito de borda mostraram maior similaridade de características fitoquímicas com o granito transicional, com probabilidade de 60%; e
- das amostras coletadas no granito transicional (5), uma delas mostrou maior similaridade com o pertita granito (56% de probabilidade) e outra (82%) com o granito central.

Nos dois últimos casos, esses resultados são esperados, na medida em que o granito transicional constitui-se, segundo Nardi (1984), em uma litologia híbrida, representando uma assimilação de rochas da zona central pelo pertita granito.

Constatações dessa ordem permitem concluir que a variação da composição química da planta reflete a composição química das rochas, podendo ser, portanto, empregada a análise discriminante, como um método auxiliar na biogeoquímica, para diferenciar litologias, que no caso deste trabalho, evidenciou até mesmo diferentes fácies de uma mesma associação granítica.

ASPECTOS CONCLUSIVOS

Os resultados obtidos pela análise fatorial revelaram que:

- no fator I, a relação antipatética do Ca com a Na, K, Cu, Rb, Fe e Mn evidencia a ação protetora do Ca nos processos de absorção e metabolismo do micro e macroelementos, indicando que o comportamento destes elementos está relacionado mais a processos fisiológicos da espécie do que a processos inerentes ao meio em que a planta se desenvolve;
- os fatores II e III sugerem que os teores de Zn, Mg, Pb, e Cu, na espécie investigada, são indicativos das variações litológicas ou mesmo da presença de mineralizações sulfetadas, na área estudada.

Pelo exposto, percebe-se que o agrupamento de variáveis em fatores que as mantém mutuamente correlacionáveis revela uma variabilidade elemental muitas vezes não apontada pelas correlações lineares simples, sendo portanto a Análise Fatorial uma técnica estatística bastante elucidativa em pesquisas biogeoquímicas.

Este trabalho foi subsidiado pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), Proc. n.º 43.88.02.32.00.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antonovics, J.; Bradshaw, A.D. & Turner, R.G. 1971. Heavy metal tolerance in the plants. *In: Cragg, J.B. (ed.) Advances in Ecological research*. Academic Press, London. 7, 83p.
- Boyer, J. 1985. *Dinâmica dos elementos químicos e fertilidade dos solos*. IFBA, Instituto de Geociências, Salvador. 311p.
- Connor, J.J. & Shacklette, H.T. 1975. Background geochemistry of some rocks, soils, plants and vegetables in the Conterminous United States. *U.S. Geological Survey Professional Paper, 574F*: 1-168.
- Epstein, E. 1975. *Nutrição Mineral das Plantas: princípios e perspectivas*. EDUSP, São Paulo. 341p.
- Johnson, R.A. & Wichern, D.W. 1982. *Applied Multivariate Statistical Analysis*. Prentice-Hall Inc. New Jersey, 594 p.
- Kabata-Pendias, A. & Pendias, H. 1984. *Trace elements in soils and plants*. CRC Press, Florida. 315p.
- Lima e Cunha, M.C. 1988. Estudos Biogeoquímicos no Complexo Granítico Lavras, Lavras do Sul, RS. *Revista Brasileira de Geociências, 18(4)*: 441-450.
- Marsal, D. 1987. *Statistic for Geoscientists*. Pergamon Press. 176p.
- Nardi, L.V.S. 1976. *Prospecção Geoquímica de solos no local denominado Fazenda da Chácara, Lavras do Sul, RS* (inédito).
- _____. 1984. *Geochemistry and Petrology of the Lavras Granite Complex, RS, Brasil*. King's College, London. Ph. D. Thesis, 267 p.