

APLICAÇÃO DE ANÁLISE DE FATORES AO ESTUDO GEOQUÍMICO DO COMPLEXO GRANÍTICO DE CAÇAPAVA DO SUL

*José Leonardo Silva Andriotti**

*Lauro Valentim Stoll Nardi***

*Maria de Fátima Bitencourt***

ABSTRACT

A Factor Analysis has been performed on the petrochemical data previously obtained for the Caçapava do Sul Granitic Complex, situated in the central portion of the Rio Grande do Sul Shield. Twenty three variables combining major and trace elements were grouped in six factors, which account for 80.7% of the total variability. The three most representative factors seem to be related to the main processes involved in the differentiation of the Complex. Factor 1 comprises SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , FeO , MgO , CaO , P_2O_5 , Zr , Sr , Ba , Li , Ni , and Zn . It is probably related to the main differentiation processes which caused the major compositional variations observed in the Complex. Factor 2, relating Fe_2O_3 , K_2O , Rb , TiO_2 , FeO , MgO , and CaO , may account for late segregation mechanisms acting mainly in the leucocratic facies. Factor 3 comprises a similar behaviour of Na_2O , Cu , and Zn , as opposed to K_2O , and may reflect the activity of late-magmatic, Na-rich hydrothermal fluids. The other three factors contain only two elements each and seem to indicate their independent behaviour.

INTRODUÇÃO

O presente trabalho é uma aplicação da técnica estatística multivariada chama Análise de Fatores (Factor Analysis) ao estudo petroquímico do Complexo Granítico de Caçapava do Sul situado, aproximadamente, na porção central do Escudo Sul-rio-grandense.

A cidade de Caçapava do Sul localiza-se quase no centro da área ocupada por este batólito.

O arquivo de dados foi construído com os resultados analíticos de trinta e oito amostras reportadas por Nardi & Bitencourt (1989), constando de 23 variáveis, a saber: SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 , H_2O , Perda ao fogo, Zr , Sr , Ba , Rb , Li , Ni , Co , Cu , Pb e Zn .

A aplicação desta técnica aos dados geoquímicos tem como objetivo verificar associações de variáveis que permitam corroborar as interpretações geológicas relativas à gênese e evolução deste Complexo. Assim, optou-se pela aplicação da técnica de Análise Fatorial denominada Modo-R por ser a que melhor preenche os objetivos propostos.

A aplicação de Análise Fatorial à interpretação de dados petroquímicos de rochas graníticas tem dado subsídios importantes à interpretação das suítes às quais têm sido aplicada. Dentre os casos registrados

* CPRM/PA

** Instituto de Geociências/UFRGS — Pesquisador CNPq

na bibliografia pode-se citar o estudo feito por Hesp & Rigby (1975), na Austrália, através de 284 amostras de rocha, e o de Bellido & Brindle (1979), no estudo do Plutão Granítico La Cabrera do Sistema Central Espanhol (113 amostras).

Os resultados obtidos através da aplicação desta técnica aos dados do Complexo Granítico de Caçapava do Sul, deram uma resposta que pode ser considerada positiva, uma vez que as associações de variáveis refletiram processos geológicos que o conhecimento da geologia da área confirmam e que são plausíveis para intrusões desta natureza.

GEOLOGIA DO COMPLEXO GRANÍTICO DE CAÇAPAVA DO SUL

O Complexo Granítico de Caçapava do Sul, estudado mais recentemente por Nardi & Bitencourt (1989), constitui um batolito aflorante em uma área de, aproximadamente, 250 Km² (Fig. 1). De modo geral, destacam-se dois tipos litológicos: rochas granodioríticas contendo hornblenda e biotita e granitóides leucocráticos com biotita e, mais raramente, muscovita ou granada. Estes tipos mostram contatos bruscos ou variações gradacionais muito restritas em extensão. As encaixantes são rochas metamórficas de facies xistos verdes e anfibolito, considerando-se a intrusão como mesozonal.

Os dados disponíveis indicam que esta intrusão é mais ou menos contemporânea com a segunda fase deformacional registrada na região, associada com um evento metamórfico de facies xistos verdes. Os dados geoquímicos indicam que os granitóides constituintes deste Complexo podem ser cogenéticos. O magmatismo granítico é tipicamente cálcico-alcalino, provavelmente de margem continental espessa. Os dados de campo e petrográficos indicam que a diferenciação que gerou os líquidos mais máficos e os formadores dos leucogranitóides ocorreu em níveis mais profundos que o de posicionamento. As rochas graníticas mostram forte foliação, esmagamento de minerais, transformações metamórficas e evidências de atividade de fluidos nos estágios magmáticos finais.

Os dados radiométricos disponíveis sugerem que estes granitóides são relacionados com o evento orogênico Brasileiro, e as baixas razões iniciais de Sr, bem como muitas das evidências geoquímicas encontradas, são compatíveis com magmas de origem principalmente mantélica ou grandes quantidades de fusão da crosta inferior por influência de magmas básicos provenientes do manto.

RESULTADOS OBTIDOS

A interpretação dos eigenvalues compreendeu um exame de seus valores numéricos e do gráfico que relaciona seus valores com os Componentes Principais. Após este estudo interpretativo, optou-se por continuar o estudo através da utilização de seis fatores, efetuando-se sobre os mesmos uma rotação do tipo VARIMAX, considerada a mais apropriada em função da disposição das variáveis em gráficos fator x fator.

Os seis fatores mostraram uma contribuição percentual individual, do primeiro ao sexto, de 45%, 10,7%, 9%, 6,8%, 4,8% e 4,4%, respectivamente, representando ao todo 80,7% acumulado.

Os resultados obtidos para a matriz rotacionada, já selecionadas as variáveis que compõem cada fator, em função dos valores da matriz, são, aproximadamente:

Variável	Fator					
	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	-0,70	-	-	-	-	-
TiO ₂	0,62	0,59	-	-	-	-
Al ₂ O ₃	0,44	-	-	-	-	-
Fe ₂ O ₃	-	0,72	-	-	-	-
FeO	0,76	0,52	-	-	-	-
MnO	-	-	-	-	-	0,87
MgO	0,64	0,55	-	-	-	-
CaO	0,70	0,54	-	-	-	-
Na ₂ O	-	-	0,81	-	-	-
K ₂ O	-	-0,71	-0,41	-	-	-
P ₂ O ₅	0,63	-	-	-	-	-
H ₂ O	-	-	-	0,80	-	-

Variável	Fator					
	1	2	3	4	5	6
P.Fogo	-	-	-	0,83	-	-
Zr	0,84	-	-	-	-	-
Sr	0,89	-	-	-	-	-
Ba	0,90	-	-	-	-	-
Rb	-	-0,77	-	-	-	-
Li	0,82	-	-	-	-	-
Ni	0,56	-	-	0,44	-	-
Co	-	-	-	-	0,74	-
Cu	-	-	0,72	-	-	-
Pb	-	-	-	-	-0,65	-
Zn	0,65	-	0,46	-	-	-

A interpretação geológica dos fatores (associações de variáveis que emergiram da aplicação da Análise Fatorial, após a rotação VARIMAX) está sumarizada a seguir.

O primeiro fator, explicando cerca de 45% da variabilidade total dos dados tratados, é composto por uma associação das variáveis SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, FeO, MgO, CaO, P₂O₅, Zr, Sr, Ba, Li, Ni e Zn. Todos os componentes deste fator, exceto SiO₂, têm entre si uma ligação direta todos têm relação inversa com SiO₂. Em outras palavras, o processo explicado por este fator caracteriza uma diminuição de todos os elementos citados quando há um aumento de SiO₂ na composição total.

Este fator pode ser relacionado com o processo de diferenciação que gerou os líquidos a partir dos quais cristalizaram os granitoides leucocráticos. Nardi & Bitencourt (1989), admitem que este processo poderia ser o fracionamento de fases precoces como plagioclásio, hornblenda, biotita, feldspato alcalino, alanita, esfeno e apatita, devendo-se talvez incluir ainda o zircão. De acordo com a composição do fator 1, este processo ocasionou, principalmente, a variação nos conteúdos de SiO₂, não gerando, no entanto, um correspondente acréscimo de K₂O e Rb. Como este fator explica 45% da variabilidade total do conjunto de elementos tratados, pode-se concluir que o processo de fracionamento é o principal responsável pelas variações composicionais constatadas no Complexo Granítico de Caçapava do Sul.

O segundo fator é composto por Fe₂O₃, K₂O e Rb, principalmente, e por TiO₂, FeO, MgO e CaO, explicando cerca de 10,7% das variações presentes; K₂O e Rb têm relação direta entre si, e inversa cada um deles, com todos os demais.

O segundo fator, relacionado com o comportamento similar de K₂O e Rb, antepondo-se ao Fe₂O₃, TiO₂, MgO e CaO, sugere que as variações dos dois primeiros elementos não se relacionam diretamente com o processo principal de diferenciação. Nardi & Bitencourt (1989) sugerem que, após a diferenciação do magma parental gerando os líquidos correspondentes aos granitoides leucocráticos, ocorreram novos processos de diferenciação associados à migração de voláteis e segregações localizadas restritos principalmente a estes termos altamente diferenciados. Esses autores atribuem à segregação localizada de minerais como magnetita, esfeno e granada nas porções onde a viscosidade foi reduzida pela concentração de voláteis, variações geoquímicas detectadas nos termos mais leucocráticos e ricos em sílica. O segundo fator pode ser relacionado com estes mecanismos.

O terceiro fator, ainda importante (9% da variabilidade total), reúnem Na₂O, Cu e Zn com comportamento similar, opondo-se ao K₂O. Este fator pode refletir os efeitos de processos tradimagmáticos, e envolvendo fluidos hidrotermais enriquecidos em Na, e talvez S, gerando o enriquecimento em elementos calcófilos associados à albitização.

Os demais fatores representados na Tabela I contêm, no máximo, dois elementos, indicando, basicamente, o comportamento independente destes com relação aos principais fatores condicionadores da variabilidade com posicional das rochas do Complexo Granítico de Caçapava do Sul.

Dezesse sete outros fatores explicam, cada um, percentuais inferiores a 4% da variabilidade total dos dados, representando no total, aproximadamente, 19,3% da variabilidade total dos dados.

A figura 2 mostra, esquematicamente, a composição relativa dos fatores sobre a variabilidade total dos dados e a relação de dependência de cada um deles com as principais variáveis que os compõem.

CONCLUSÕES

- A técnica de Análise Fatorial mostrou-se útil no estudo dos dados petroquímicos do Complexo Granítico de Caçapava do Sul, permitindo fazer uma estimativa numérica da importância relativa dos principais processos geológicos que atuaram sobre o corpo estudado. Permitiu, igualmente, a obtenção de dados sobre a relação das variáveis estudadas com os processos indicados, bem como entre as mesmas variáveis em cada um dos processos;
- Os fatores estatísticos determinados podem ser tentativamente interpretados como refletindo os principais processos que atuaram durante a gênese e evolução do Complexo estudado, conforme Nardi & Bitencourt (1989);
- O primeiro fator, responsável por 45% da variabilidade total, é provavelmente relacionado com o processo principal de diferenciação que gerou os principais tipos litológicos do Complexo;
- O segundo fator, apontando para 10,7% da variabilidade total, pode retratar o processo que ocasionou diferenciações mais localizadas, preponderantes entre os granitoides leucocráticos, refletido também na geração dos tipos enriquecidos em feldspato potássico;
- O terceiro fator, apontando para 9% da variabilidade total, é relacionado com processos magmáticos tardios ou mesmo com o metamorfismo;
- Os demais fatores indicam que os elementos correspondentes apresentam uma distribuição final que não pode ser identificada diretamente com nenhum dos processos dominantes durante a gênese e evolução do Complexo Granítico de Caçapava do Sul.

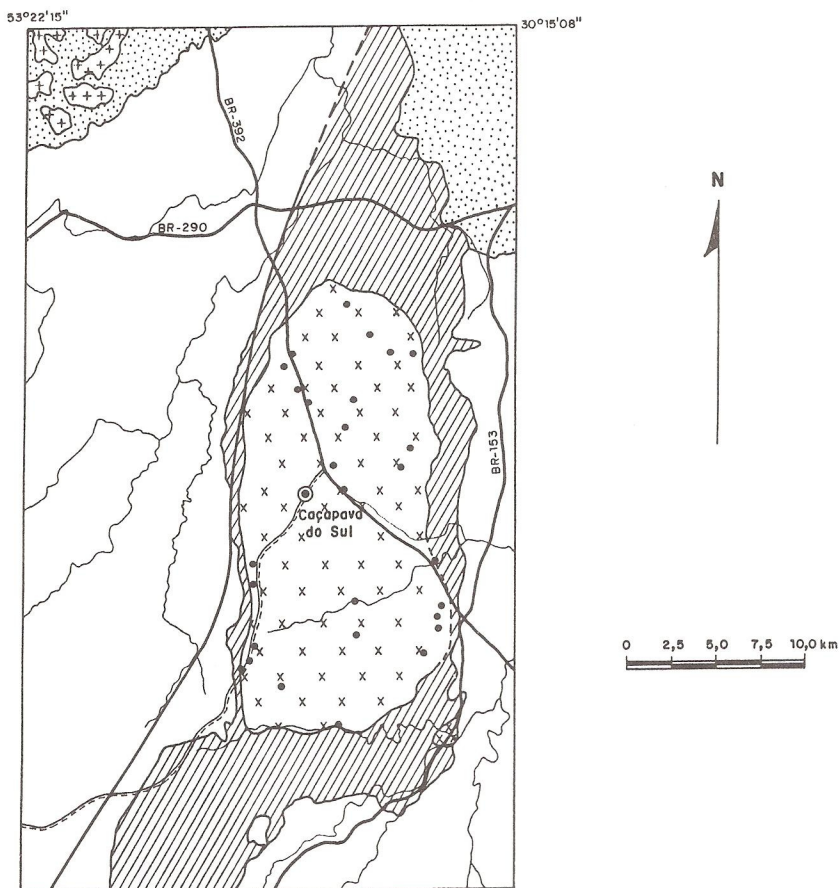
A técnica estatística utilizada mostrou resultados coerentes com as observações baseadas no trabalho de campo, petrográfico e geoquímico, desenvolvidos por Nardi & Bitencourt (1989). O emprego desta metodologia pode se constituir em importante meio de investigação quando da realização de trabalhos similares, subsidiando a avaliação quantitativa dos processos geológicos.

AGRADECIMENTOS

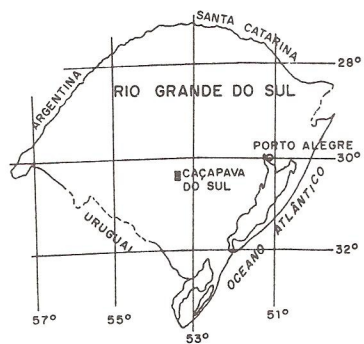
O projeto de pesquisa que permitiu a coleta dos dados utilizados neste trabalho foi financiado pelo CNPq e FINEP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BELLIDO, F. e BRÄNDLE, J.L. 1979. An application of Q-Mode Factor Analysis to the geochemical study of a granitic pluton (La Cabrera, Sistema Central Spain), *Sciences de La Terre*, nº 13, p.111-123.
- HESP, W.R. e RIGBY, D. 1975. Aspects of tin metallogenesis in the Tasman Geosyncline, Eastern Australia, as reflected by Cluster and Factor Analysis. *Journ. of Geochem. Expl.*, v.4, p.331-347.
- NARDI, L.V.S. & BITENCOURT, M.F. 1989. Geologia, Petrologia e Geoquímica do Complexo Granítico de Caçapava do Sul, RS. *Rev. Bras. de Geoc.* 19(2).



LOCALIZAÇÃO DA ÁREA



CONVENÇÕES






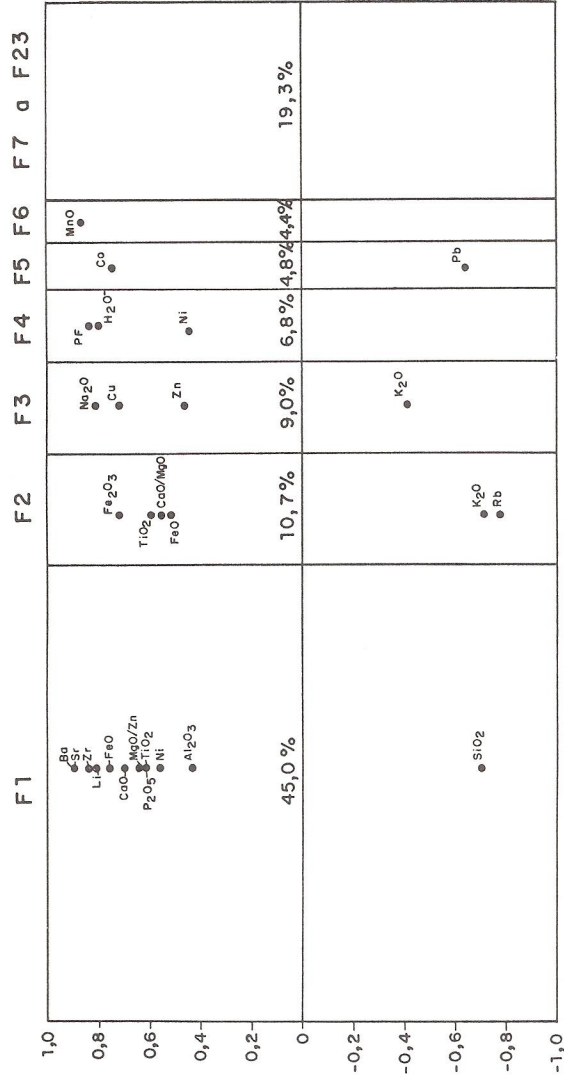
- | | |
|---|---|
|  | FORMAÇÃO RIO BONITO |
|  | SEQÜÊNCIAS VULCÂNICAS E SEDIMENTARES EO-PALEOZÓICAS |
|  | COMPLEXO GRANÍTICO SÃO SEPÉ |
|  | COMPLEXO GRANÍTICO DE CAÇAPAVA DO SUL |
|  | COMPLEXO METAMÓRFICO PASSO FEIO |

FIGURA 1



CARGAS DAS VARIÁVEIS (VERTICAL) PARA CADA FATOR

FIGURA 2