



ASPECTOS DA ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL E INTEMPÉRICA NO MACIÇO ALCALINO-CARBONATÍTICO DE ANITÁPOLIS, SC

V.P. Pereira¹, M.L.L. Formoso¹, M.C.M de Toledo²

¹Instituto de Geociências - UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9.500, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS

²Instituto de Geociências - USP, Caixa Postal 11.348, CEP 05422-970, São Paulo, SP

Recebido em 09/96; aprovado para publicação em 03/97

ABSTRACT

The Massif of Anitápolis is the result of many alkaline and carbonatitic injections, with different compositions, that promoted the autometassomatism and the fenitization of surrounded granitic rocks.

To study the evolution of the hydrothermal and weathering processes two profiles were described: one developed on a phlogopite pyroxenite and other on a syenite.

For the analyses of different facies and their alteration products, specially for the characterization of mineral phases, the apatites, phlogopites and their secondary products, x ray diffractometry, backscattering microscopy, infrared spectroscopy, x ray fluorescence, atomic absorption, ionic chromatography, resonant nuclear reaction, cathodoluminescence and ICP were used.

The hydrothermal processes that formed glimmerites and nelsonites generated one economic deposit of phosphatic ore and made the hydrothermal facies rich in Ba and Fe.

The lateritized profiles were not well developed (five meters in media), because the Pinheiros River drainage transported the altered material outside of the massif. In the isalteritic and predominant facies, Si, Ca, Na, K and Rb are mobile and Mn, Fe and P tend to be concentrated.

RESUMO

O Maciço Alcalino-carbonatítico de Anitápolis é produto de múltiplas injeções alcalinas e carbonatíticas, com composições variadas, que promoveram o autometassomatismo e fenitizaram os granitos encaixantes.

Para o estudo da evolução dos processos hidrotermais e intempéricos, foram descritos dois perfis: um desenvolvido em um flogopita piroxenito e o outro em um sienito.

As análises das diferentes fácies e de seus produtos de alteração e a caracterização das fases minerais, especialmente as apatitas, flogopitas e seus produtos secundários, foram realizadas utilizando difratometria de raios x, microscopia eletrônica de varredura, espectroscopia de infravermelho, fluorescência de raios x, absorção atômica, cromatografia iônica, reação nuclear ressonante, catodoluminescência e ICP.

Os processos hidrotermais, que formaram glimeritos e nelsonitos, geraram um depósito econômico de fosfato e enriqueceram as fácies hidrotermalizadas em Ba e Fe.

Os perfis lateríticos são pouco evoluídos (cinco metros em média), porque as drenagens que formam o Rio Pinheiros transportaram o material alterado para fora do maciço. Assim, predominam as fácies isalteríticas, onde o Si, Ca, Na, K e o Rb foram mobilizados, enquanto o Fe, Mn e o P apresentaram tendência a acumular-se.

INTRODUÇÃO

O Maciço Alcalino-carbonatítico de Anitápolis localiza-se na porção Leste do Estado de Santa Catarina, aproximadamente nas coordenadas geográficas 49°06' de longitude oeste e 27°49' de latitude sul (Fig. 1A), e intrude rochas graníticas, conforme contexto geológico apresentado na Figura 1B.

Para Almeida (1983), não é clara a relação entre as rochas alcalinas do Estado de Santa Catarina e a tectônica regional. Esse autor ressalta o fato dessas rochas localizarem-se entre o Arco de Ponta Grossa e a Sinclinal de Torres, que são áreas que sofreram movimentos verticais opostos no Mesozóico.

Verifica-se, também, que as rochas desse maciço localizam-se no Alinhamento Estrutural do Rio Uruguai, que se relaciona, provavelmente, com a separação dos continentes Sul-americano e Africano.

Nos mapas geológicos, verifica-se que este maciço forma um corpo subcircular, com uma área de aproximadamente 6 km², sendo circundado por rochas sieníticas e monzograníticas de idade brasileira (Fig. 2).

O grande número de falhamentos e a presença do Rio Pinheiros foram responsáveis pela erosão diferencial, formando uma depressão superior a 400 m em relação aos granitóides encaixantes e pela formação de depósitos de tálus sobre a quase totalidade da área. O processo erosivo constante não permitiu a formação de espessos perfis de intemperismo, que, comumente, não ultrapassam os cinco metros.

Nos trabalhos realizados no Maciço Alcalino-carbonatítico de Anitápolis, foi verifi-

cada a presença de diversos eventos, causando a alteração de rochas do próprio maciço e dos granitos encaixantes, originando rochas heterogêneas, identificadas por Rodrigues (1985), como pertencentes às séries dos álcali-sienitos, nefelina sienitos, ijolitos, ultramáficas, compostas por flogopita e piroxênio, e carbonatitos. Furtado (1989) descreve, ainda, foscoritos e, também, magnetita-biotita piroxenito ou apatita-piroxênio biotítico.

Com este trabalho, verificou-se, ainda, a existência de silicitos (aqui definidos como sendo rochas hidrotermais quartzosas relacionadas ao magmatismo alcalino) que estão associados ao evento alcalino e cortam os granitos encaixantes.

A existência de glimeritos, de veios apatíticos e nelsoníticos ou de outros tipos de rochas, em escala não mapeável, evidenciam, também, a existência de múltiplos eventos hidrotermais, responsáveis pela formação de depósitos de fosfato apatítico, que, conforme as estimativas de Vergara (1979/80), formam uma reserva com 200 milhões de toneladas de minério com 5,5% de P₂O₅.

As determinações das razões K/Ar em biotitas de melteigitos permitiram a Amaral *et al.* (1967) datar as rochas desse maciço, apresentando idades de 104 e 131 Ma. Esses resultados cronológicos diferem daqueles obtidos por Baitelli (1992) que, através da análise dos traços de fissão de urânio em apatitas, concluiu que, no Maciço Alcalino-carbonatítico de Anitápolis, os diferentes eventos portadores de apatitas apresentam idades muito diferentes, agrupando-se em quatro pulsos distintos,

cujas idades situam-se entre 100 e 198 Ma.

OS LOCAIS ESTUDADOS

Com o objetivo de conhecer os diferentes processos de alteração que atuaram sobre as rochas do Maciço Alcalino-carbonatítico de Anitápolis, foram realizados estudos em seis perfis de intemperismo e em três furos de sondagens. Neste trabalho, serão descritas as alterações, resultantes dos processos hidrotermais e intempéricos, verificadas em piroxenito existente em uma frente de lavra experimental, cuja mineração já foi abandonada, e em sienito da trincheira TGB (Fig. 3).

Nos diferentes eventos observados no estudo destes perfis e furos de sondagens, foram identificadas, no mínimo, 5 gerações de apatita, 5 de magnetita, 3 de piroxênio, 2 de anfibólio, 5 de mica (flogopitas e biotita) e 2 de calcita.

Visando conhecer melhor a ação dos processos hidrotermais e intempéricos, bem como caracterizar melhor os glimeritos e os veios apatíticos hidrotermais, estudou-se, mais detalhadamente, as apatitas e flogopitas, que serão discutidas adiante.

A alteração do flogopita piroxenito da frente de lavra

Os estudos, neste local, permitiram propor uma seqüência cronológica para os diferentes eventos observados, conforme pode ser visto no Quadro 1.

Foi identificado, também, um carbonatito sövítico, cuja posição na seqüência anterior não foi determinada.

Observa-se que, quando

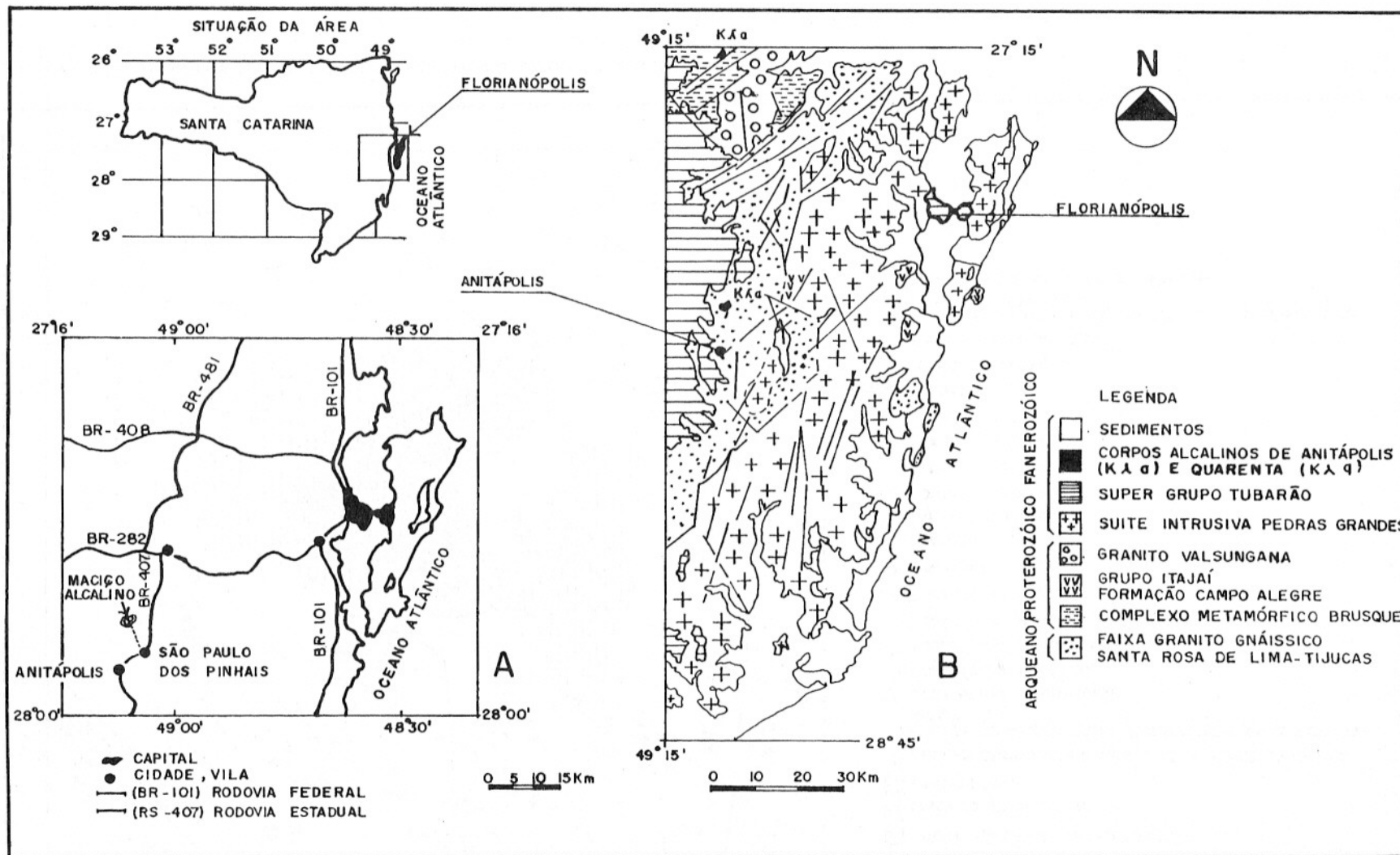


Figura 1 - A) Mapa de localização do maciço alcalino-carbonatítico de Anitápolis (SC) - Brasil. B) Mapa geológico da porção sudeste do Estado de Santa Catarina (DNPM, COCISC, 1987).

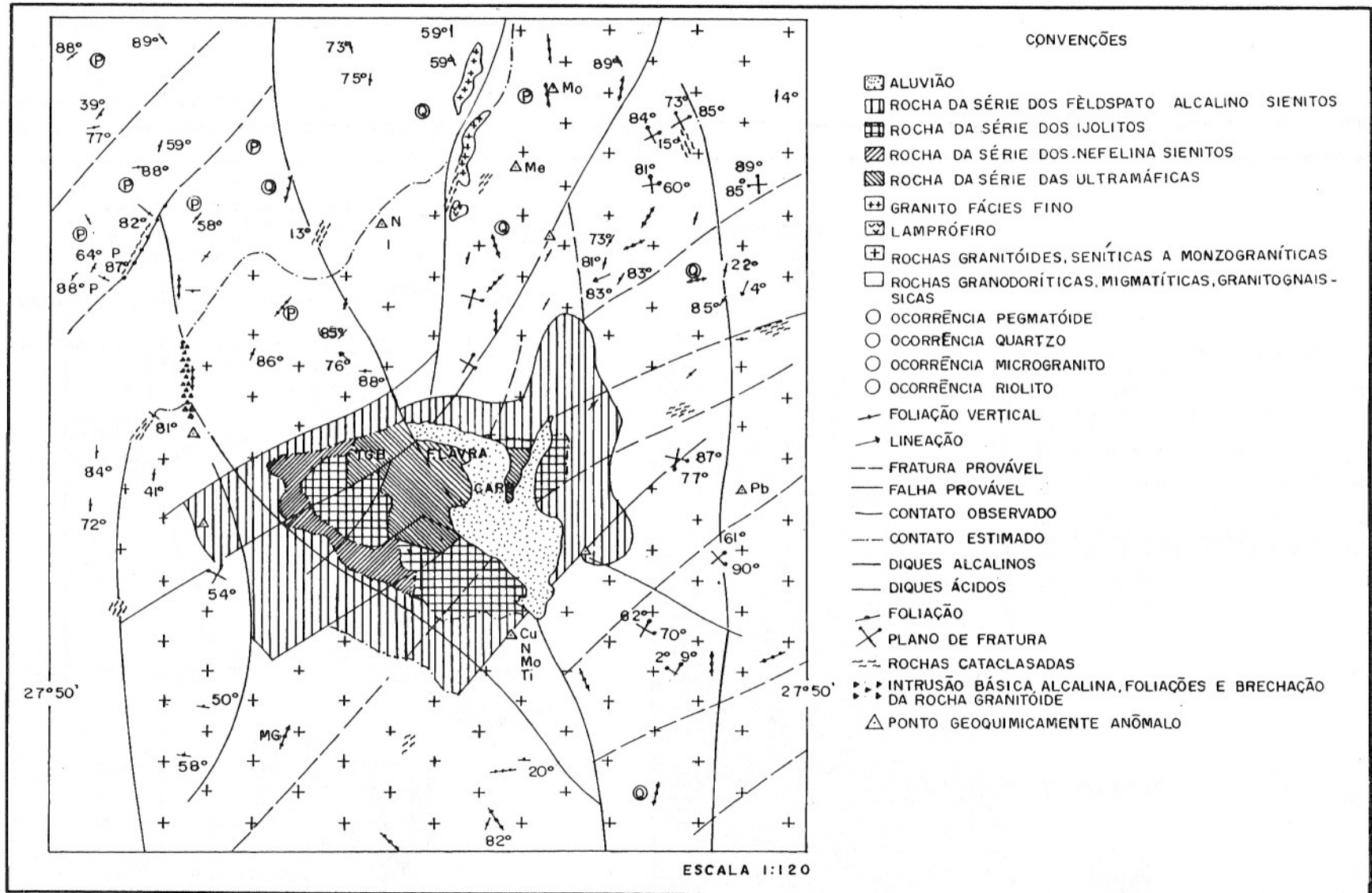


Figura 2 - Mapa geológico do maciço alcalino-carbonático de Anitápolis (Vergara, 1980).

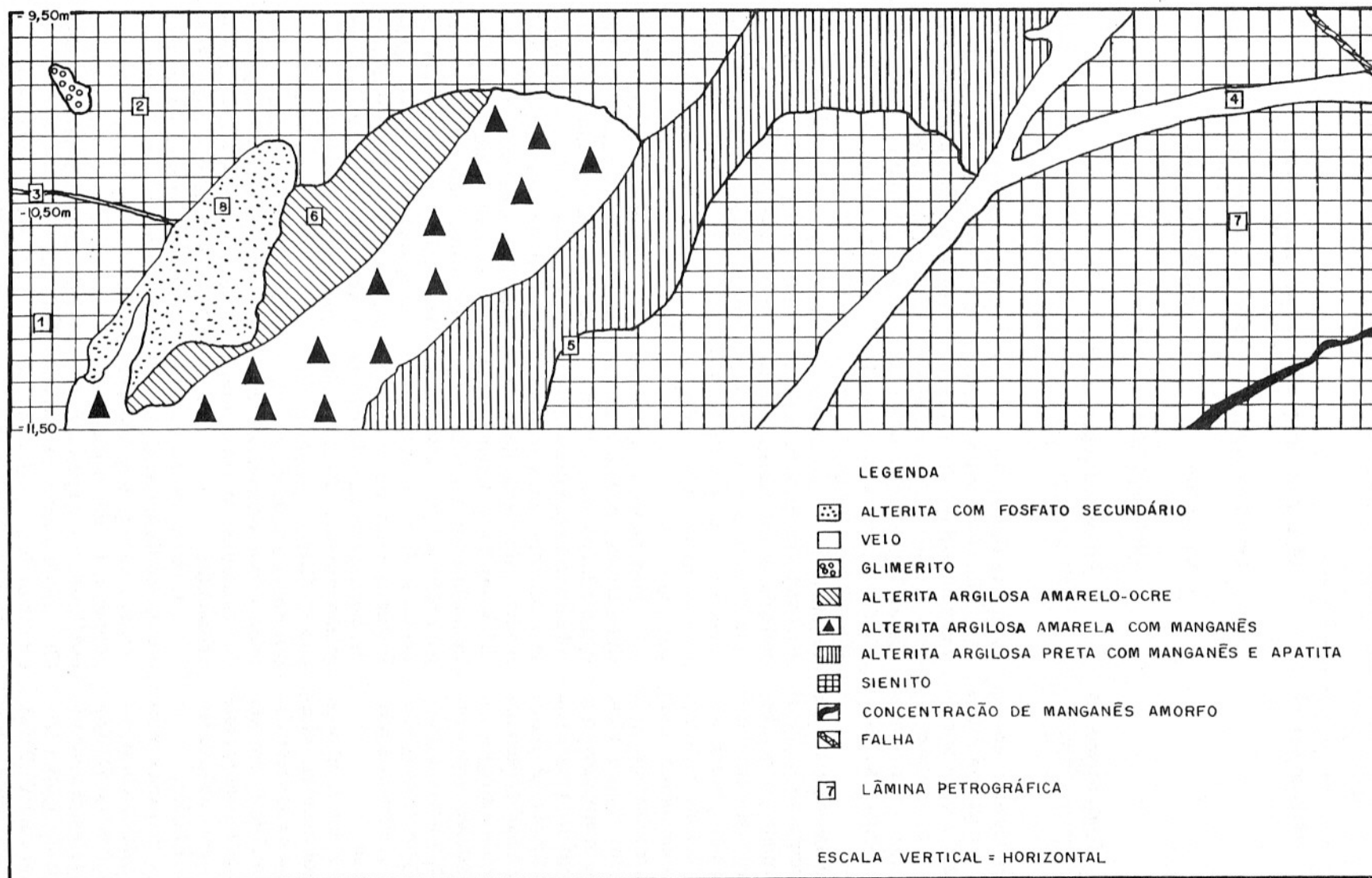


Figura 3 - Desenho esquemático da Trincheira TGB.

Quadro 1 - Esquema da seqüência cronológica dos eventos observados no Maciço Alcalino-carbonatítico de Anitápolis.

Mais antiga ⇒	Flogopita piroxenito (evento magmático)
	Fácies a zeólita (evento hidrotermal)
	Glimeritos (evento hidrotermal)
	Veios apatíticos (evento hidrotermal)
Mais jovem ⇒	Processos supergênicos

os veios apatíticos hidrotermais e os glimeritos cortam a fácies a zeólita, formam-se veios com argilominerais e, também, na base de um dos perfis estudados, há significativo acúmulo de manganês.

É importante destacar que as fácies existentes na Frente de Lavra estão muito pouco alteradas pela ação dos processos intempéricos e que, nesta área, predomina o hidrotermalismo. Fácies é aqui entendido como sendo qualquer feição geológica, de origem magmática, hidrotermal ou intempérica, que pode ser diferenciada macro ou microscopicamente de outras fácies, por apresentar diferente composição mineralógica ou minerais em diferentes proporções ou, ainda, diferentes graus de alteração, apresentando, conseqüentemente, diferentes propriedades físicas.

A síntese dos resultados das análises químicas das diferentes fácies e das alteritas existentes na Frente de Lavra são apresentados na Tabela 1, onde selecionou-se uma análise representativa por fácies.

A fácies flogopita piroxenito, representada pela amostra BA ("rocha sã") e D1 (rocha alterada), apresenta quantidades variadas de apatita (2 - 20%) e/ou magnetita (0 - 25%), podendo formar magnetita-

flogopita piroxenitos, apatita-flogopita piroxenitos, apatita-magnetita-flogopita piroxenitos ou, ainda, outras variações, onde a flogopita (10 - 65%) prepondera sobre a aegirina-augita (30 - 80%) e forma glimeritos, refletindo as variações nas intensidades dos processos hidrotermais, de natureza pervasiva, que transformaram os piroxênios em flogopitas e modificaram a composição original do piroxenito.

Nas análises químicas desta fácies, verifica-se que as quantidades de potássio e rubídio estão significativamente reduzidas, provavelmente devido à lixiviação destes elementos, principalmente a partir das intercamadas das micas, pela ação dos processos supergênicos. A associação entre flogopita e vermiculita e, ainda, a presença de reflexões na região próxima a $24^{\circ}20'$ (radiação $\text{CuK}\alpha$), verificadas nos difratogramas de raios x, formam, provavelmente, minerais de camadas mistas mica-vermiculita.

A fácies zeolítica, também holocristalina e não homogênea, caracteriza-se pela preponderância em zeólita (45 - 60%) sobre a aegirina-augita (30 - 50%) e apresenta, ainda, quantidades variadas de flogopita (0 - 20%), apatita (3 -

7%) e magnetita (0 - 1%). Essas zeólitas são produto da alteração hidrotermal, por difusão com substituição seletiva, da nefelina do ijolito.

Com a comparação entre o ijolito "inalterado" da Tabela 1 (NEF 1) e seu produto hidrotermal (BB), verifica-se uma redução significativa nas quantidades de Na, Ca e P e a concentração relativa de Mg, Si, Fe, Mn e Ti. A saída do sódio pode ser explicada pela lixiviação desse elemento quando da transformação da nefelina em zeólita, enquanto a redução nos teores de Ca e P deve-se, provavelmente, à desestabilização e transporte da apatita que, uma vez solubilizada, deve ter cristalizado em nova fase, talvez junto aos glimeritos ou veios apatíticos tardios, sendo a primeira hipótese mais viável, porque a fácies zeolítica está associada aos glimeritos.

Com essa alteração, as quantidades dos elementos traços são significativamente modificadas, verificando-se que o fluido hidrotermal retira Sr e acrescenta Ba no sistema, que deve, provavelmente, associar-se às fases minerais preexistentes, pois não foi observada a cristalização de barita nos locais estudados.

A entrada de ferro na fácies zeolítica é identificada

Tabela 1 - Composição química (%) das fácies e alteritas existentes na frente de lavra do maciço alcalino-carbonatítico de Anitápolis.

	Piroxenito "Inalterado"	Piroxenito Alterado	Flog. pirox. alt. com Mn	Ijolito "Inalterado"	Ijolito Alterado	Veio Argiloso	Carbonatito sövítico
	BA	D1	PC82	NEF1	BB	V1	AN7
SiO ₂	38,55	40,36	33,68	35,08	45,41	41,09	2,09
Al ₂ O ₃	8,2	7,95	1,85	17,15	17,23	16	0,83
Fe ₂ O ₃ *	11,55	15,5	23,71	4,36	6,78	8,86	1,36
CaO	12,16	11,73	2,02	15	8,44	7,05	50,74
MgO	11,61	10,61	11,94	1,58	6,27	4,64	0,76
MnO	0,13	0,19	3,79	0,05	0,11	0,14	0,17
TiO ₂	1,74	2,19	0,12	0,36	0,63	0,61	0,08
Na ₂ O	1,81	1,46	0,53	8,36	4,72	3,5	0,2
K ₂ O	5,23	1,91	0,1	2,76	4,23	0,51	0,23
P ₂ O ₅	8,04	1,48	6,47	13	1,28	3,9	1,2
H ₂ O-	0,06	2,98	6,55	0,26	0,24	5,15	0,03
P.F.	0,38	4,51	8,33	2,52	4,2	8,24	43
TOTAL	99,46	100,87	99,09	100,48	99,54	99,69	100,69
Zr	138	101	92	279	451	322	654
Rb	89	65	n.d.	33	100	36	n.d.
Sr	430	154	565	1081	818	389	4873
Ba	1537	1705	4071	942	8560	4082	644

*Fe₂O₃ = Ferro Total

Zr, Rb, Sr e Ba em ppm

P.F. = Perda ao Fogo

n.d. = não determinado

nas análises petrográficas pela presença de magnetita e pirita tardias.

A ação de fluidos tardios sobre esta fácies forma, também, veios compostos por esmectitas e argilominerais de camadas mistas mica-vermiculita (M-V), cuja análise química é expressa na Tabela 1 (V1).

Verifica-se que esses veios apresentam composição química semelhante à da fácies zeolítica, sendo as pequenas diferenças, provavelmente, decorrentes da heterogeneidade composicional do ijolito e/ou da ação diferenciada dos fluidos hidrotermais que os originaram e, ainda, pela ação dos fluidos meteóricos, pois as análises foram realizadas em amostras intemperizadas.

Os glimeritos são comumente constituídos por mais de 90% de flogopita, sendo os demais 10% formados por quantidades variadas de aegirina-augita, magnetita e apatita, que ocorre sempre em concentra-

ções significativas.

Os glimeritos e os veios apatíticos tardios não foram analisados quimicamente, devido ao fato de serem fácies quase monominerálicas, preferindo-se analisar as flogopitas e apatitas existentes nas mesmas.

Os veios apatíticos, com espessuras variando entre 1 e 20 cm, formam *stockworks* onde, na maioria das ocorrências, a apatita é o mineral predominante, enquanto minerais como a magnetita, a flogopita e o anfibólio (arfvedsonita ou richterita) ocorrem em quantidades variadas. Destaca-se o fato destes veios serem os principais responsáveis pelas concentrações econômicas de fosfato no Maciço Alcalino-carbonatítico de Anitápolis, sendo necessários estudos que caracterizem e delimitem a abrangência dos seus processos hidrotermais geradores, já que a determinação do potencial econômico da jazida depende desta caracterização.

Nas análises dos locais

onde há acúmulo de manganês, existentes na base de um perfil laterítico da Frente de Lavra desse maciço e resultantes da lixiviação das demais fácies do topo desse perfil (Tabela 1, PC82), verifica-se também o acúmulo de ferro. Os baixos teores em K e Ca podem ser explicados pela alta mobilidade destes elementos, e conseqüente lixiviação do perfil, enquanto os baixos teores relativos em Al refletem a sua fixação no perfil, não sendo acumulado aqui como o Mn e o Fe, mas sim no topo do perfil. Observa-se que os termos laterita e perfil laterítico são aqui considerados como sendo o produto do intemperismo químico em rochas tropicais.

Furtado (1989) descreve a existência de várias gerações de carbonatito no Maciço Alcalino de Anitápolis, sendo a primeira de carbonatito sövítico, enquanto as demais, existentes em quantidade muito menor, podem ser sövitos ou beforsitos tardios. Nos locais estudados,

foram identificadas duas gerações de carbonatito sövítico, sendo os dados aqui apresentados referentes ao sövito mais antigo, cuja posição na seqüência evolutiva do maciço, anteriormente apresentada, não foi definida. No carbonatito analisado, além da calcita, observou-se a presença de flogopita, anfíbio (?), apatita, magnetita e pirita em pequenas proporções.

Os resultados das análises químicas do carbonatito sövítico são representados na Tabela 1 pela amostra AN7.

A comparação dos resultados obtidos com aqueles apresentados por Woolley & Kempe (1989), para carbonatitos de várias localidades do mundo, permite afirmar que o carbonatito sövítico analisado não apresenta diferenças significativas em relação aos demais carbonatitos a não ser pelo fato de ser relativamente pobre em P_2O_5 , Rb, Sr e Ba e por ter teores relativamente altos de Zr. As razões Sr/Ba relativamente altas (3,6 a 7,5) caracterizam os carbonatitos das fases iniciais, ou seja, os da primeira geração descrita por Furtado (1989).

O fato do intemperismo ser muito pouco evoluído nos perfis existentes na Frente de Lavra faz com que as fácies alteradas intempericamente não apresentem teores de P_2O_5 superiores àqueles das fácies inalteradas. Como este tipo de perfil predomina no Maciço Alcalino de Anitápolis, conclui-se que o acúmulo de fosfato nestas rochas não é decorrente dos processos supergênicos, sendo, portanto, os eventos hidrotermais geradores dos glimeritos e dos veios apatíticos, os principais responsáveis pela mineralização em fosfato.

A Alteração do Sienito da Trincheira TGB

Com o objetivo de estudar a evolução da alteração, foram analisadas amostras provenientes de um sienito (pulaskito e lusitanito) existente na trincheira TGB, onde também se identificou a existência da fácies flogopita piroxenito, de glimerito e de veios hidrotermais (Fig. 3), cujos resultados das análises químicas são expressos na Tabela 2.

As rochas deste local apresentam-se alteradas pela ação de um carbonatito tardio, por processos hidrotermais e por agentes intempéricos.

A análise das alteritas deste perfil são apresentadas na Tabela 2; as amostras TGB1 e TGB2 são provenientes da alteração do sienito, onde foi possível reconhecer a existência de feldspato (provavelmente ortoclásio), plagioclásio, apatita, aegirina-augita, magnetita e biotita; a amostra TGB5 corresponde a uma alterita argilosa preta, com óxidos e hidróxidos de ferro e manganês, apatita, e menor quantidade de vermiculita, esmectita e fosfato secundário apatítico; a TGB6 corresponde a uma alterita amarela ocre que possui magnetita, apatita, esmectita, óxidos e hidróxidos de ferro e manganês e pequena quantidade de vermiculita e, finalmente, a amostra TGB8 provém de uma alterita rica em fosfato secundário apatítico, provavelmente resultante da alteração de um veio hidrotermal, que corta o sienito alterado e que apresenta, ainda, óxidos e hidróxidos de ferro e manganês, biotita e vermiculita.

O estudo comparativo entre os resultados obtidos neste trabalho para as diferentes alteritas do sienito, com os apre-

sentados por Rodrigues (1985), para os sienitos não alterados do Maciço Alcalino-carbonatítico de Anitápolis, bem como aqueles descritos por Furtado (1989), para essas rochas leucocráticas de borda, permitem afirmar que, nas fases iniciais da alteração intempérica, o sienito perde Si, Ca, Na e K e fica relativamente enriquecido em Al, Mg e Ba, devido à lixiviação dos elementos supracitados, enquanto o Fe e o P apresentam comportamento heterogêneo. Observa-se que, nos estágios mais avançados da alteração, o magnésio também é removido.

As alteritas existentes na Trincheira TGB apresentam composições complexas e são resultado da superposição dos processos hidrotermais e intempéricos sobre um sienito, provavelmente resultante da interação das rochas alcalinas magmáticas com os granitos encaixantes. O comportamento dos diferentes elementos químicos, apresentado anteriormente, reflete essa superposição de processos.

Relacionando os resultados das análises das diferentes alteritas, verifica-se que aquela com fosfato secundário apatítico possui maiores teores de Mg, Si e Na, provavelmente, devido à presença de maiores quantidades de esmectita e de vermiculita com quantidades significativas destes elementos em suas composições. Além de reter mais o Si, provavelmente contém parte daquele lixiviado do sienito adjacente. Os baixos teores em Al indicam que era originalmente pobre neste elemento, já que o alumínio tende a ser pouco móvel no ambiente supergênico. O Ca encontra-se enriquecido em relação ao sienito alterado, indicando que foi mais intensamente lixiviado

Tabela 2 - Composição química (%) das diferentes fácies e alteritas de um perfil da trincheira TGB do maciço alcalino-carbonatítico de Anitápolis.

	Sienito alterado		Alterita argilosa		Alterita com
	TGB1	TGB2	amarelo TGB6	preto TGB5	apat. sec. TGB8
SiO ₂	42,88	36	23,12	17,03	50,81
Al ₂ O ₃	10,9	12,27	4,05	3,11	0,98
Fe ₂ O ₃ *	8,45	13,74	20,71	6,42	6,09
CaO	5,16	4,03	20,32	33,07	18,75
MgO	10,16	11,79	1,91	7,12	17,61
MnO	0,25	0,21	0,99	0,55	0,14
TiO ₂	0,88	1,73	0,52	0,15	0,39
Na ₂ O	1,08	1,08	0,92	0,97	2
K ₂ O	5,14	2,11	0,34	0,13	0,11
P ₂ O ₅	2,06	1,07	18,18	23,75	1,82
H ₂ O-	7,06	8,74	2,83	2,79	0,11
P.F.	5,66	7,79	5,21	4,59	0,41
TOTAL	99,68	100,56	99,1	99,68	99,22
Zr	210	288	251	338	226
Rb	276	97	5	7	n.d.
Sr	355	186	1206	1753	223
Ba	2369	4329	3718	517	60

*Fe₂O₃ = Ferro Total

Zr, Rb, Sr e Ba em ppm

P.F. = Perda ao Fogo

n.d. = não determinado

apat. sec. = apatita secundária

nesta rocha. A alterita com fosfato secundário apatítico apresenta teores menores deste elemento em relação à alterita preta com manganês e apatita, o que se deve ao fato de esta alterita preta conter maior quantidade de apatita. Os baixos teores de K, Fe, Mn e P devem-se, provavelmente, à intensa lixiviação, que tornou esta alterita mais porosa e originou cutãs, nos quais houve a formação de fosfato secundário apatítico. Estes elementos, cujo resultado parece ter diminuído, foram transportados no sentido da alterita amarelo-ocre.

A alterita amarelo-ocre é uma zona de acumulação absoluta que concentra, relativamente às demais fácies de alteração do perfil, Fe, Mn e Ti, sendo pobre em Mg e Na, que foram lixiviados. O Al e o K estão

menos concentrados que no sienito, pois esta rocha possui feldspato. A maior concentração de Al em relação às demais alteritas deve-se à baixa mobilidade deste elemento e aos teores mais elevados de K, devido à presença de micas menos alteradas para vermiculita.

A alterita argilosa preta com manganês e apatita possui maior quantidade de Ca e P, devido à concentração do último mineral, e apresenta menor quantidade de Si, por ser relativamente pobre em vermiculitas e esmectitas. O baixo teor em Ti deve-se ao fato deste elemento ter sido retido na fácies amarelo-ocre.

Devido à presença de veios e da posição inclinada das diferentes fácies (Fig. 3), esta fácies deve apresentar influências das alteritas originadas da

alteração do sienito.

A alterita argilosa amarela (Fig. 3) apresentou resultados intermediários entre aqueles obtidos para a alterita amarelo-ocre e a argilosa preta com manganês e apatita, tratando-se, portanto, de uma transição entre as mesmas.

A análise dos elementos traços destas alteritas não é muito conclusiva, porém, os teores mais elevados de Zr na alterita com manganês e apatita e no fosfato secundário deve ser resultado da pouca mobilidade deste elemento, quando submetido à ação dos processos supergênicos, enquanto os teores relativamente altos em Rb e Ba nas amostras do sienito deve-se, provavelmente, ao fato desta rocha ser originariamente rica nestes elementos. O comportamento do Sr e do Ba

na alterita preta com manganês e apatita e na alterita amarelo-ocre necessita de análises complementares para melhor compreensão.

QUÍMICA MINERAL

As Flogopitas

As flogopitas das diferentes fácies apresentam tamanhos variados, podendo, excepcionalmente, no caso dos glimeritos, formar cristais com diâmetro maior que 10 cm.

Essas micas, quando alteradas, originam vermiculitas com cor amarelo-dourada e, a nível microscópico, esta alteração é refletida na diminuição da birrefringência, chegando a cores de primeira ordem, diminuição do ângulo 2V para valores muito próximos a zero e na perda do pleocroísmo. As clivagens são o caminho mais importante na alteração deste mineral, que expande na direção perpendicular a (001), ocasionando um aumento de volume.

As análises químicas das flogopitas (PB-BT, AN12, BA1, BA2 e GPF41) e das vermiculitas (GPF42, PA2, PA4, PD3 e PCA), assim como a fórmula estrutural com base em 22 oxigênios, são apresentadas na Tabela 3. Foi considerada a seguinte ordem de ocupação do sítio tetraédrico: Si, Al e Ti⁴⁺.

Verifica-se, com base nos dados apresentados, que a quantidade de Si por fórmula estrutural é, em muitos casos, superior a 6,0 átomos, o que impossibilita classificar essa mica com base no diagrama proposto por Deer *et al.* (1966), fato este já observado por Furtado (1989).

O uso do diagrama trian-

gular $Al_2O_3 \times MgO \times (FeO_T + MnO)$, proposto por Miyano & Miyano (1982) e que discrimina diferentes micas, possibilitou classificar os filossilicatos apresentados na tabela anterior como sendo flogopitas e os resultados dos difratogramas de raios x permitiram classificá-las, com base nas dez reflexões propostas por Brindley & Brown (1980), como sendo do polítipo 3T.

Durante a alteração supergênica dessas flogopitas, há lixiviação dos cátions das intercadas, principalmente o K e o Ba, e concentração relativa de Sr.

A posição destas análises no diagrama triangular Si x Al x (K+Na+Ca), proposto por Meunier & Velde (1979), indica que o sentido da alteração dessas flogopitas corresponde ao das micas onde os processos de alteração conservam a estrutura desse mineral, ou seja, evoluem no sentido de vermiculitas e não caolinitas (Fig. 4).

Verifica-se, ainda, que, com o processo de vermiculitização, há um aumento relativo das quantidades de titânio e ferro, não tendo sido observado aumento nas concentrações de alumínio. O ferro ferroso dos octaedros oxida, formando íon férrico pouco solúvel, que precipita entre as lamelas da mica, resultando na opacidade do mesmo, com início da pseudomorfose hematítica ou, mais comumente, formando vazios entre as clivagens, para posteriormente colapsar e transformar-se em plasma hematítico.

Com a observação das quantidades de Fe, Mg, Mn e Al^{VI} da fórmula estrutural, assim como a comparação com os dados apresentados por Proust (1983) ou Ildefonse (1980), para o diagrama triangular Mg

x Al x Fe_T, conclui-se que as vermiculitas analisadas são trioctaédricas, ou seja, apresentam menor quantidade de alumínio e maior quantidade de magnésio e ferro que as micas dioctaédricas. Os valores de $d(060) = 1,49\text{\AA}$ obtidos para este mineral correspondem, segundo Brindley e Brown (1980), a vermiculitas dioctaédricas. Portanto, provavelmente, a amostra apresenta camadas ou porções di e trioctaédricas.

Observa-se que, no Maciço Alcalino-carbonatítico de Anitápolis, também existem minerais de camadas mistas (M-V), que podem ser observadas nos difratogramas de raios x.

Nos casos mais avançados da alteração, essas vermiculitas degradam e transformam-se em esmectitas ou em argilominerais de camadas mistas mica-vermiculita (M-V) ou, mais raramente, em caolinita.

Nestas etapas finais, esses produtos de alteração comportam-se como um plasma argilassépico (plasma composto, principalmente, por argilominerais e isótropo ao microscópio óptico), que comumente se misturam com hematita e migram, indo cimentar grãos de apatita, formando uma assembléia de base porfiroquelética (grãos de apatita isolados e circundados pelo plasma quase contínuo) ou aglomeroplásmica (o plasma não completa totalmente os espaços entre os grãos).

As Apatitas

As apatitas do Maciço Alcalino-carbonatítico de Anitápolis apresentam grãos de diferentes tamanhos e formas variadas, sendo comuns apatitas milimétricas (até 5mm).

As determinações dos te-

Tabela 3 - Composição química (%) de flogopitas (PB-BT, AN12, BA1, BA2 e GPF41) e de vermiculitas (GPF42, PA2, PA4, PD3, e PCA) dos glimeritos do maciço alcalino-carbonatítico de Anitápolis.

	PB - BT	AN12	BA1	BA2	GPF41	GPF42	PA2	PA4	PD3	PCA
SiO ₂	43,25	41,18	39,92	48,16	46,77	44,29	41,73	40,84	42,95	42,5
TiO ₂	2,07	2,7	1,89	0,72	1,27	1,28	3,44	3,04	3,71	4,33
Al ₂ O ₃	11,12	13,19	19,07	12,93	16,85	23,12	12,59	12,64	13,11	15,7
FeO*	16,58	16,45	12,98	7,43	8,77	11,39	23,38	21,42	26,24	18,08
MnO	0,2	0,17	0,08	n.d.	0,14	0,56	0,19	0,19	0,21	0,18
MgO	17,57	16,01	15,34	21,52	17,64	15,04	14,97	18,82	11,62	14,87
Na ₂ O	1,43	1,27	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1,18	1,15	1,38	1,24
K ₂ O	7,75	9	8,16	6,9	8,58	2,69	2,49	1,87	0,74	3,06
CaO	n.d.	n.d.	1,74	2,34	n.d.	1,62	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
TOTAL	99,97	99,97	99,18	100	100,02	99,99	99,97	99,97	99,96	99,96

Número de íons com base em 10 O + 2 (OH, F) = 22 cargas

Si	6,11	5,86	5,58	6,4	6,26	5,83	5,9	5,72	6,06	5,85
Al(Tet.)	1,85	2,14	2,42	1,6	1,74	2,17	2,1	2,09	1,94	2,15
Ti(Tet.)	0,04	0	0	0	0	0	0	0,19	0	0
ST	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Ti(Oct.)	0,18	0,29	0,2	0,07	0,13	0,13	0,37	0,13	0,39	0,45
Fe	1,96	1,96	1,52	0,83	0,98	1,25	2,76	2,51	3,1	2,08
Al(oct.)	0	0,07	0,72	0,43	0,92	1,41	0	0	0,24	0,4
Mn	0,02	0,02	0,01	n.d.	0,02	0,06	0,02	0,02	0,03	0,02
Mg	3,7	3,4	3,2	4,27	3,52	2,95	3,15	3,93	2,44	3,05
SO	5,86	5,74	5,65	5,6	5,57	5,8	6,3	6,59	6,2	6
Na	0,39	0,35	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,32	0,31	0,38	0,33
K	1,4	1,64	1,46	1,17	1,46	0,45	0,45	0,33	0,13	0,54
Ca	n.d.	n.d.	0,26	0,33	n.d.	0,23	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Sl	1,79	1,99	1,72	1,5	1,46	0,68	0,77	0,64	0,51	0,87
TOTAL	15,65	15,73	15,37	15,1	15,03	14,48	15,07	15,23	14,71	14,87
Zr	46	37	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	57	74	98	<30
Rb	153	135	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	170	293	22	131
Sr	102	54	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	205	246	256	98
Ba	3593	3502	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2061	1622	1569	1494

*FeO = Ferro Total

Zr, Rb, Sr e Ba em ppm

n.d. = não determinado

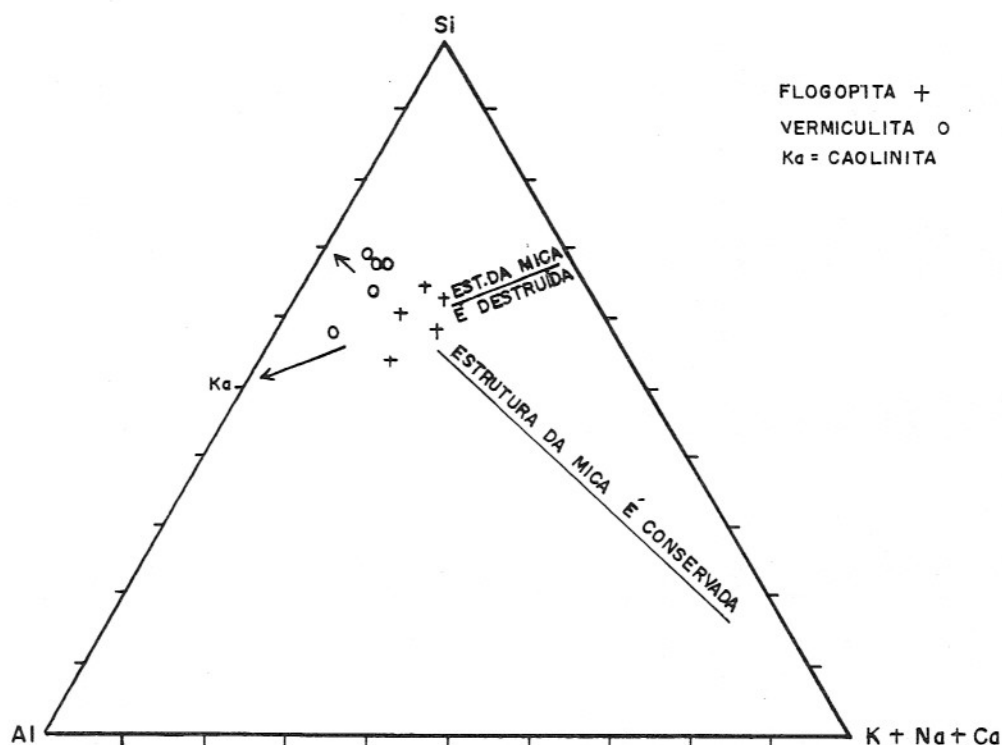


Figura 4 - Representação gráfica da transformação de flogopitas em vermiculitas durante o intemperismo no sistema Si x Al x Na+K+Ca proposto por Meunier & Velde (1979).

ores de flúor, por reação nuclear ressonante e cromatografia iônica (0,85 - 2,28% peso), dos teores de cloro por colorimetria (25,6 - 51,2ppm) e os resultados das análises qualitativas do carbonato e da oxidrila, determinados por espectroscopia de infravermelho, conforme os dados apresentados por Lehr *et al.* (1967) ou Farmer (1974), permitiram identificar, neste maciço, a presença de hidróxi-carbonato fluorapatitas ou carbonato-hidróxi fluorapatitas.

A tentativa de quantificar o carbonato e a oxidrila por métodos indiretos, como os propostos por Lehr *et al.* (*op. cit.*), Legeros *et al.* (1968), McClellan & Lehr (1969), Baumer *et al.* (1985), Binder & Troll (1989), não foi válida, devido ao fato de haver, em minerais complexos, como as apatitas, um grande número de possibilidades de substituições

desses ânions e de que, frequentemente, as relações entre os diferentes parâmetros são estabelecidas para minerais sintéticos ou termos extremos de séries isomórficas que, comumente, não correspondem àqueles verificados na natureza.

Utilizando as equações apresentadas por McClellan & Lehr (*op. cit.*), referentes ao sistema hexagonal, foram calculados os parâmetros cristalográficos a e c destas apatitas, tendo-se obtido valores médios para o parâmetro a , entre 9,370Å e 9,395Å, e para o parâmetro c , entre 6,87Å e 6,91Å. Com base nestes resultados, foram calculados os volumes correspondentes a 1/3 do prisma hexagonal, conforme a equação apresentada por Young *et al.* (1969), obtendo-se resultados entre 521,99Å³ e 527,46Å³.

Estas variações nos

parâmetros cristalográficos e, conseqüentemente, no tamanho das células unitárias, refletem as diferenças na composição química das apatitas analisadas.

Observa-se que as apatitas dos veios hidrotermais são mais desenvolvidas ao longo do eixo cristalográfico c , o que, segundo Rahal (1987), deve-se à maior velocidade de resfriamento do líquido do qual se formaram.

Considerando que os elementos terras raras substituem o íon Ca²⁺ das apatitas e que, segundo Kosterin, 1959; Mineyev (1963) e Kerrich & Fryer (1979), (*apud* Figueiredo, 1986), os lantanídeos podem ser remobilizados por fluidos ricos em CO₃²⁻, F⁻ e Cl⁻, em condições hidrotermais, analisou-se esses elementos nas apatitas provenientes de diferentes fácies e os resultados são indicados na Tabela 4.

Tabela 4 - Composição química dos elementos terras raras (ppm) das apatitas do maciço alcalino-carbonatítico de Anitápolis.

	Flogopita piroxenito		Glimerito			Veio apatítico tardio			Fosf. secund. apatítico	Carbonatito
	A3	AP4	PAR4	PAR5	BB	A1	AP11	AP12	FS1	CARB
La	188,4	183,8	212,1	212,9	245,1	480,9	376,2	377,7	331,5	187,4
Ce	519,1	535	581,7	588,2	661,5	1378	1087	1121	874	531,8
Nd	343,6	352,8	382	386,4	415	764,4	650,1	664,6	514,8	351,2
Sm	96,56	71,83	75,9	78,2	79,91	139,2	116,2	121,9	96,52	66,22
Eu	19,18	19,88	21,21	21,57	21,67	37,1	30,99	31,82	27,38	18,32
Gd	51,96	51	56,82	57,06	57,08	88,98	74,9	80,54	68,8	46,22
Dy	34,07	34,57	37,18	38,26	39,67	50,91	44,19	49,68	49,41	29,21
Ho	5,97	5,51	6,56	6,52	6,79	8,15	7,37	8,35	9,3	5,14
Er	12,3	11,18	13,21	13,3	14,23	15,44	14,3	16,52	21,44	10,31
Yb	5,61	4,93	6,02	5,91	6,92	6,84	6,54	7,15	14,23	4,73
Lu	0,66	0,49	0,7	0,62	0,73	0,75	0,76	0,77	1,93	0,47
ΣETP	1277,41	1270,99	1393,4	1408,94	1548,6	2970,67	2408,55	2480,03	2009,31	1251,02
La/Yb	33,58	37,28	35,19	36,02	35,41	70,3	57,52	52,82	23,29	39,61
ETRL/ETRP	10,55	10,8	10,56	10,58	11,34	16,36	15,26	14,21	11,16	12,02

Análises por ICP

	Flogopita piroxenito		Glimerito		Veio apatítico tardio		Fosf.sekund. apatítico
	R1	A3	PAR4	PAR5	AP11	AP12	FS3
La	515	244	256	240	460	460	425
Ce	1221	521	604	515	1199	1084	646
Pr	155	81	105	83	180	181	81
Nd	682	402	418	411	763	645	553
Sm	129	83	85	78	137	128	107
Eu	36	22	22	22	35	33	30
Tb	11	8,2	10	8,9	11,5	11,3	12,9
Dy	52	44	44	42	52	53	67
Yb	9,2	7,6	6,7	7,3	9,3	8,9	30
Lu	0,97	0,77	0,77	0,68	0,77	0,72	3,7
ΣETP	2811,17	1413,57	1551,47	1407,88	2847,57	2604,92	1955,6
La/Yb	55,97	32,1	38,2	32,87	49,46	47,75	9,86
ETRL/ETRP	37,42	22,33	24,24	22,91	37,7	34,24	16,21

Análises por ativação neutrônica

Foram estudadas amostras provenientes da fácies flogopita piroxenito (A3, AP4 e R1), do glimerito (PAR4, PAR5 e BB), dos veios apatíticos tardios (A1, AP11e AP12), do carbonatito sövítico (CARB) e do fosfato secundário apatítico (FS1 e FS2).

Nos estudos dos elementos terras raras (ETR), verifica-se que as distribuições obtidas apresentam o padrão característico de apatitas provenientes de rochas alcalinas, onde há um enriquecimento dos elementos terras raras leves (ETRL) em relação aos elementos terras raras pesados (ETRP).

A ausência de anomalia negativa de Eu deve-se à baixa fugacidade de oxigênio no magma, já que, segundo Puchelt & Emmerman (1984) (*in* Henderson, 1984), uma anomalia negativa desse elemento é um indicador de baixa fugacidade de oxigênio ou pode, também, dever-se à quantidade inicial significativa de európio no magma.

O enriquecimento no conteúdo de elementos terras raras nas apatitas dos veios hidrotermais tardios deve-se ao enriquecimento dos ETR nas fusões residuais mais ricas em voláteis e, provavelmente, a outros fatores como a diferenciação, a temperatura de cristalização e as fases minerais envolvidas.

Verifica-se, também, que as razões La/Yb e ETRL/ETRP aumentam significativamente da fácies flogopita piroxenito e dos glimeritos para os veios apatíticos tardios, ou seja, há um enriquecimento em elementos terras raras leves nas fases finais.

Com as análises das apatitas por absorção atômica, verificou-se a presença de Mg (100 - 600ppm), Zn (16 -

36ppm), Cu (4 - 13ppm), Fe (304 - 553ppm), Mn (168 - 366ppm) e Na (2372 - 2838ppm). Esses elementos substituem o cálcio e os resultados obtidos são similares àqueles apresentados na literatura.

As apatitas associadas ao sienito da Trincheira TGB apresentam cor de catodoluminescência salmão, cujo espectro apresenta picos do Mn²⁺ e do Sm³⁺. Segundo Geake *et al.* (1972) (*apud* Amieux 1982), essa cor deve-se à concentração em manganês. Nas análises das apatitas provenientes do carbonatito sövítico e em uma amostra de piroxenito alterado pelos agentes hidrotermais e pelo carbonatito sövítico, verificou-se a presença de apatitas com cor de catodoluminescência azul, apresentando tons mais claros nas bordas dos grãos, o que, provavelmente, representa um empobrecimento em Eu nessa região, pois essa cor deve-se exclusivamente à ativação por esse elemento.

O domínio do Eu como ativador reflete, segundo Roeder *et al.* (1987), a abundância anômala do subgrupo do Ce nestas rochas e pode ser intensamente dependente da temperatura de cristalização. Sverjensky (1984) (*apud* Roeder *et al.*, *op. cit.*), sugeriu que soluções hidrotermais, a temperaturas acima de aproximadamente 250°C, certamente contêm európio no estado de oxidação 2+. Estas apatitas, quando em fácies em estado avançado de alteração, são parcialmente dissolvidas pela ação dos agentes intempéricos e formam um argiloplasma fosfático que, junto com óxidos e hidróxidos de ferro e manganês, deposita-se entre os grãos de apatita que ainda resistem à ação desses processos.

Com a evolução da alteração supergênica, esse plasma é progressivamente desestabilizado, migra e forma veios ou deposita-se na superfície de cutãs na forma de agulhas micrométricas euédricas de apatita secundária. Essas apatitas secundárias e as apatitas primárias podem ser novamente dissolvidas, reprecipitando e formando novas agulhas mal cristalizadas. Como estes processos de dissolução de apatitas primárias e secundárias são concomitantes, observa-se a coexistência de apatitas primárias e das duas gerações de apatitas secundárias. Verifica-se, ainda, que, junto com a dissolução das apatitas, os óxidos e hidróxidos de ferro e manganês são dissolvidos e reprecipitados várias vezes.

Durante este processo, verificou-se que, localizadamente, há oxidação e acúmulo de Ce no perfil de intemperismo, sempre associado às apatitas secundárias. A presença de óxido de manganês amorfo junto a estas apatitas é, provavelmente, outra razão responsável pelo acúmulo desse elemento, cuja concentração varia nos diversos microssistemas.

De acordo com Balashov *et al.* (1964); Ronov *et al.* (1967); Nesbitt (1979); Duddy (1980), e Tropp *et al.* (1984), (*apud* Braun *et al.*, 1990), o fracionamento intempérico gera um produto residual, enriquecido em ETRL e carente em ETRP. Com os dados obtidos, verifica-se que, durante a lateritização, os fosfatos secundários apresentam um enriquecimento em ETRL, porém, muito menor que o apresentado pelos ETRP, relativamente às demais fácies analisadas (Fig. 5). Esta concentração relativa em ETRP

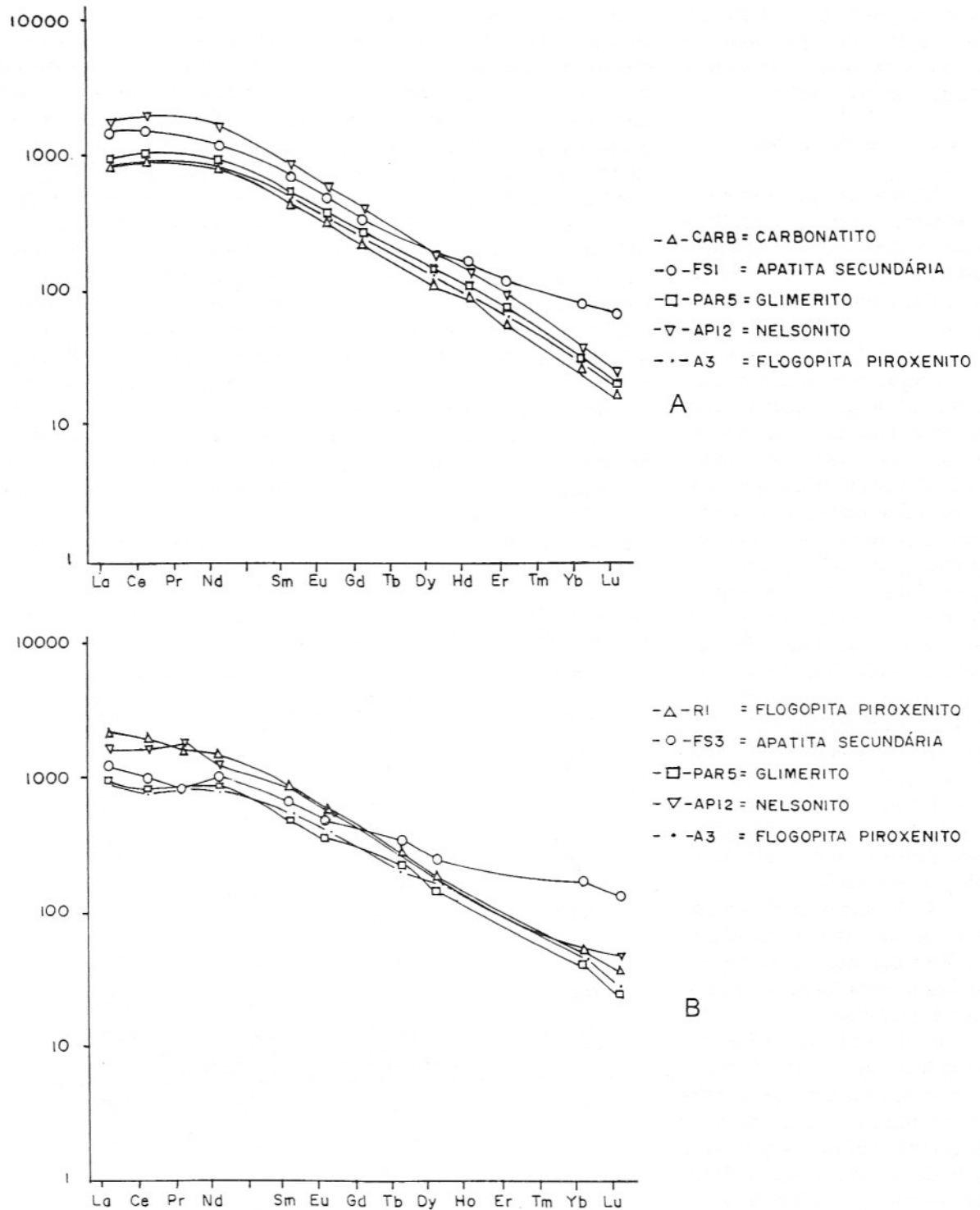


Figura 5 - Padrões de ETR em apatitas de diferentes fácies do maciço alcalino-carbonatítico de Anitápolis. (A) - Análise por ICP. (B) - Análise por ativação neutrônica.

deve ser melhor estudada em trabalhos futuros. Com base no conteúdo total de elementos terras raras ou mesmo nas razões

ETRL/ETRP, não foi possível saber se as apatitas secundárias são provenientes da alteração de apatitas de um veio hidrotermal,

havendo perda desses elementos durante a gênese das apatitas secundárias, ou se têm origem em apatitas provenientes da

fácies flogopita piroxenito ou de um glimerito, que concentrou os elementos terras raras durante a lateritização.

Outros Minerais

Alguns outros minerais, estudados menos detalhadamente, também registram a ação de diferentes processos de alteração, como os descritos a seguir:

As nefelinas apresentam, macroscopicamente, cor rosada e são facilmente identificáveis nos difratogramas de raios x, ao contrário da zeólita resultante de sua alteração. Em alguns casos, os difratogramas deste mineral assemelham-se aos da analcima, porém, os resultados das análises químicas e as propriedades ópticas não confirmam essa observação. Provavelmente, a dificuldade na identificação deve-se à superposição dos processos intempéricos, que, nos casos extremos, tornam a zeólita isótropa ao microscópio óptico comportando-se como um plasma asséptico (com domínios anisótropos; extinção pontual).

Na Tabela 5, pode-se observar os resultados das análises químicas desses minerais, bem como suas fórmulas estruturais calculadas.

Para o cálculo da fórmula estrutural da zeólita, utilizouse o mesmo número de oxigênios da nefelina, para melhor comparar as variações químicas e por desconhecer-se zeólita com composição semelhante.

Com base na fórmula $\text{Na}_x \text{K}_y \text{Ca}_z \square_{(8-x+y+z)} \text{Al}_{(x+y+2z)} \text{Fe}_w \text{Si}_{16-(x+y+2z)} \text{O}_{32}$, apresentada, por Mitchell (1972), para a nefelina, verifica-se, nas análises deste mineral, a falta de átomos de alumínio e a sobra de silício por fórmula unitária, o que, segundo Deer *et al.* (1966),

ocorre em quase todas as nefelinas. Isto causa uma redução na carga negativa e promove uma redução nas quantidades dos elementos alcalinos e, como consequência, aparecem as posições vagas representadas pelo quadrado da fórmula anterior.

Os resultados obtidos nas análises químicas das zeólitas permitem concluir que o hidrotermalismo gerador desses minerais propicia um aumento nas quantidades de Fe, K e Ba e um decréscimo no teor de Na. O aumento de Al deve ser relativo, pois este elemento tende a manter-se constante nesta alteração.

Os plagioclásios existentes em amostras de furos de

sondagens, assim como os feldspatos alcalinos existentes na Trincheira TGB estão em fase inicial de alteração, e raramente, formam pequenas quantidades de caolinita, porém, os piroxênios e anfibólios apresentam-se, freqüentemente, muito alterados, gerando esmectitas incolores e sem pleocroísmo. Nesta alteração, há liberação de partículas arredondadas de composição férrica e manganésifera, que, com a lixiviação, tornam-se avermelhadas. Posteriormente, forma-se um plasma vermelho-sangue, fundamentalmente hematítico, que se deposita sobre ou ao redor de outros minerais.

A magnetita, por ser um

Tabela 5 - Composição química (%) de nefelinas e de zeólita do maciço alcalino-carbonatítico de Anitápolis.

	NEF1	NEF2	ZEOL.
SiO ₂	46,46	55,99	44,94
TiO ₂	n.d.	0,1	n.d.
Al ₂ O ₃	29,98	26	33,78
FeO	0,52	0,61	1,68
CaO	n.d.	0,47	1,83
Na ₂ O	15,96	16,48	3,52
K ₂ O	4,95	0,35	8,28
BaO	n.d.	n.d.	0,95
TOTAL	98,17	100	99,98
Número de íons com base em 32 oxigênios			
Si	9,01	10,22	9,29
Ti	n.d.	0,01	n.d.
Al	6,85	5,59	7,41
Fe	0,08	0,09	0,26
Ca	n.d.	0,09	0,36
Na	6	5,83	1,27
K	1,22	0,08	1,96
Ba	n.d.	n.d.	0,07
TOTAL	23,16	21,91	20,62

n.d. = não determinado

mineral que cristalizou tardiamente, apresenta, freqüentemente, inclusões de outros minerais, como as flogopitas, apatitas ou piroxênios, o que se reflete nas análises químicas deste mineral, mesmo após a separação magnética, sendo determinada a presença de vários elementos, além do ferro, como o P, Ca, K, Si, Al, Mg, Ti e Mn, sendo necessário outros tipos de análises para determinar a composição das magnetitas do Maciço Alcalino de Anitápolis.

Estas magnetitas encontram-se em estágio inicial de alteração, pois verifica-se a exsolução de hematita nos planos octaédricos.

Observa-se, ainda, que não foi possível verificar o avanço da alteração nas calcitas, devido à dissolução congruente, e nos zircões, na baddeleyita ou nos pirocloros, por serem relativamente raros.

CONCLUSÕES E OUTRAS CONSIDERAÇÕES

1 - As rochas do Maciço Alcalino-carbonatítico de Anitápolis têm afinidades agpaítica e miasquítica, sendo a textura xenomórfica granular predominante em todas as fácies, as quais apresentam diferentes ordens de cristalização para os mesmos minerais.

2 - Nos diferentes eventos observados, foram identificadas no mínimo 5 gerações de apatita, 5 de magnetita, 3 de piroxênio, 2 de anfibólio, 5 de mica (flogopitas e biotita) e 2 de calcita, considerando todos os glimeritos como pertencendo a um só evento; todos os veios, como sendo de uma só geração, e o carbonatito tardio, como constituído, exclusivamente, por calcita.

3 - As flogopitas de Anitápolis apresentam, comumente, mais de 6,0 átomos de Si por fórmula unitária e, com a alteração supergênica, há lixiviação dos cátions das intercamadas, especialmente K e Ba, e concentração relativa em Sr. Nesta alteração, há conservação da estrutura do mineral, passando por uma fase inicial mica-vermiculita (M-V), que progride para a formação de vermiculitas. Nesta passagem, há aumento relativo nas quantidades de Ti e Fe, sendo este último oxidado e, freqüentemente, exsolvido, o que possibilita a formação de pseudomorfofos e de plasmas hematíticos. Somente nos casos mais avançados de alteração, há formação de esmectitas e, raramente, caolinitas.

4 - As fluorapatitas apresentam composição química e padrão característico de ETR das rochas alcalinas e carbonatitos (alto ETRL/ETRP) e enriquecimento em ETRL nas fases finais. As concentrações relativamente altas em Ce conferem a cor azul de catodoluminescência a algumas gerações de apatitas, enquanto a cor salmão resulta da ativação por Mn em outra geração. A alteração destas apatitas forma plasmas fosfáticos e duas gerações de apatitas secundárias micrométricas, que se concentram em cutãs.

5 - Na alteração das nefelinas para zeólitas, verifica-se um acréscimo em Fe, K e Ba e um decréscimo em Na.

6 - As observações de campo e os resultados de laboratório permitem concluir que a mineralização apatítica é, principalmente, hidrotermal e concentrada nos glimeritos e veios tardios, ambos com distribuição aleatória nos locais estudados.

7 - O perfil laterítico existente no Maciço Alcalino-carbonatítico de Anitápolis encontra-se pouco evoluído, exce- tuando-se alguns domínios volumetricamente pouco expressivos. Comumente, nos cinco primeiros metros caracterizam-se pela presença de camadas mistas mica-vermiculita (M-V), hematita/goethita e óxido de manganês, como produtos secundários. Nos locais onde o perfil está intempericamente mais alterado, há formação de volumes expressivos de vermiculita e, em muito menor expressão, esmectita, caolinita e apatita secundária. O fato da alteração intempérica avançada ser volumetricamente pouco expressiva impossibilita a existência de maiores teores de fosfato apatítico nas fácies alteríticas em relação às inalteradas, ou seja, a divisão apresentada até o momento em minério de rocha e minério residual, com diferentes teores de P_2O_5 , necessita uma reavaliação, considerando a distribuição e intensidade do hidrotermalismo.

8 - As neoformações de argilominerais, principalmente do tipo 2:1, evidencia uma hidrólise parcial, sendo o processo geoquímico de alteração das litofácies definido como ferralitização *lato sensu* ou sialferritização, de acordo com as definições apresentadas por Pedro & Melfi (1983).

9 - Na evolução da alteração, tem-se uma fase inicial isalterítica, que progride em alguns locais para uma aloterita, nas quais há formação de plasmas que são dissolvidos e remobilizados entre minerais que resistem parcialmente à ação dos processos supergênicos, gerando, desta forma, zonas de dissolução e acumulação absolutas.

10 - As modificações químicas permitem verificar que no intemperismo das rochas estudadas o Si, Ca, K, Na e o Rb são móveis, enquanto o Fe, Mn, e o P tendem a acumular-se. O magnésio apresenta teores muito variados, e seu comportamento deve ser melhor estudado com análises complementares.

11 - O fato dos perfis lateríticos não serem muito de-

envolvidos deve-se à erosão na área e à presença do Rio Pinheiros, que é responsável pelo transporte do material alterado para fora do maciço. Isto pode ser verificado com a observação dos fotolineamentos apresentados por Melcher & Coutinho (1966), em que se verifica que as drenagens que alimentam este rio estão encaixadas em falhas radiais, ao lon-

go das quais os perfis de alteração estão rebaixados. Nos mapas de isópacos do tálus e da rocha alterada, apresentados por Vergara (1979/80), também pode-se confirmar esta observação. Devido à erosão diferencial entre as rochas alcalinas e as encaixantes graníticas, formouse uma grande depressão com a formação de depósitos de tálus ao longo das encostas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M. de (1983) Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozóicas da região meridional da Plataforma Sul-americana. *Revista Brasileira de Geociências*, **13**(3):139-158.
- AMARAL, G.; BUSHEE, J.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; REYNOLDS, J.H. (1967) Potassium-argon ages of alkaline rocks from southern Brazil. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **31**:117-142.
- AMIEUX, P. (1982) La cathodoluminescence: méthode d'étude sédimentologique des carbonates. *Catodoluminescence et sédimentologie. Bulletin des Centres du Recherche et Exploration, Elf-Aquitaine*, **6**(2):437-438.
- BAITELLI, R. (1992) Geocronologia por Traços de Fissão de Maciços Alcalinos do Brasil Meridional. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 227 p.
- BAUMER, A.; GAUTEAUME, M.; KLEE, W.E. (1985) Determination of OH ions in hidroxyfluorapatites by infrared spectroscopy. *Bulletin Minéral*, **108**:145-152.
- BINDER, G. & TROLL, G. (1989) Coupled anion substitution in natural carbon-bearing apatites. *Contributions Mineralogy and Petrology*, **101**:394-401.
- BRAUN, J.J.; PAGEL, M.; MULLER, J.P.; BILONG, P.; MICHARD, A.; GUILLET, B. (1990) Cerium anomalies in lateritic profiles. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **54**:781-795.
- BRINDLEY, G.W. & BROWN, G. (1980) Crystal Structures of Clay Minerals and their X-ray Identification. *Mineralogical Society Monograph*, **5**:495p.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. (1966) *Minerais constituintes das rochas - uma introdução*. Lisboa. Edição da Fundação Calouste Gulbenkian, 558p.
- FARMER, V.C. (1974) *The Infrared Spectra of Minerals*. Ed. Mineralogical Society, 539p.
- FIGUEIREDO, M.C.H. (1986) Introdução à geoquímica dos elementos terras raras. *Boletim IG-USP*, **16**:15-31.
- FURTADO, S.M.A. (1989) *Petrologia do Maciço Alcalino de Anitápolis, S.C. Tese de Doutorado*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 245p.
- HENDERSON, P. (1984) General Geochemical properties and abundances of the rare earth elements. *In: P. Henderson (Ed.) Rare Earth Element Geochemistry*. Amsterdam, Elsevier, p.1-32.
- ILDEFONSE, P. (1980) Mineral facies developed by weathering of a meta-gabbro, Loire-Atlantique (France). *Geoderma*, **24**:257-273.
- LEGEROS, R.Z.; TRAUTZ, O.R.; LEGEROS, J.P.; KLEIN, E. (1968) Carbonate substitution in the apatite structure. *Bulletin de la Société Chimique de France*, p.1712-1717.
- LEHR, J.R.; Mc CLELLAN, G.H.; SMITH, J.P.; FRAZIER, A.W. (1967) Characterization of apatites in commercial phosphate rocks. *In: Colloque International sur Les Phosphates Minéraux Solides*, Toulouse, p.29-44.
- Mc CLELLAN, G.H. & LEHR, J.R. (1969) Crystal Chemical Investigation of Natural Apatites. *The American Mineralogist*, **54**:1374-1391.
- MEUNIER, A. & VELDE, B (1979) Weathering mineral facies in altered granites: The importance of local small-scale equilibria. *Mineralogical Magazine*, **43**:261-268.

- MELCHER, G.C. & COUTINHO, J.M.V. (1966) Rochas alcalinas e carbonatitos de Anitápolis, Estado de Santa Catarina. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, SBG, São Paulo, **15**(1):59-93.
- MITCHELL, R. H. (1972) Composition of nepheline, pyroxene and biotite in ijolite from Seabrook Lake Complex, Ontário, Canadá. N. Jb. Miner. Mh., **9**:415-422.
- MIYANO, T. & MIYANO, S. (1982) Ferri-annite from the Dales George Member iron formations, Wittenoom area, Western Australia. American Mineralogist, **67**:1179-1194.
- PEDRO, G. & MELFI, A.J. (1983) The Superficial Alteration in Tropical Region and the Lateritisation Phenomena. *In*: International Seminar on Lateritization Processes, 2, São Paulo. Proceedings, p.3-13
- PROUST, D. (1983) Mécanismes de l'altération supergène des roches basiques. Étude des arènes d'orthoamphibolite du Limousin et de glaucophanite de L'Ile de Croix (Morbihan). Thèse Doctorat Etat. Université de Poitiers, 197p.
- RAHAL, F.G. (1987) Condições de cristalização da apatita em rochas magmáticas. Apatitas em carbonatitos. 20p. (inédito).
- RODRIGUES, E.P. (1985) O Complexo Alcalino de Anitápolis - um estudo petrológico. Dissertação de mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 174p.
- ROEDER, P.L.; Mc. ARTHUR, D.; MA, X-P.; PALMER, G.R. (1987) Cathodoluminescence and microprobe study of rare-earth elements in apatite. American Mineralogist, **72**:801-811.
- VERGARA, V. D. (1979/80) Pesquisa de Fosfato em Anitápolis; relatório final. Porto Alegre, Indústrias Luchsinger Madörin (ILM). (inédito).
- WOOLLEY, A.R. & KEMPE, D.R.C. (1989) Carbonatites: nomenclature, average chemical compositions, and element distribution. *In*: K. Bell (Ed.) Carbonatites - Genesis and Evolution. London, Unwin Hyman, p.1-14.
- YOUNG, E.J.; MYERS, A.T.; MUNSON, E.L.; CONKLIN, N.M. (1969) Mineralogy and Geochemistry of Fluoroapatite from Cerro Mercado, Durango, Mexico. U.S. Geol. Survey Prof. Paper, **650-D**:D84-D93.