

DIQUES E "PLUGS" ALCALINOS DA REGIÃO DO VALE DO RIBEIRA, DIVISA DOS ESTADOS DO PARANÁ E SÃO PAULO: QUÍMICA MINERAL

E.M.G. Vasconcelos¹ & C.B. Gomes²

RESUMO

Rochas de composição fonolítica l.s. são encontradas na região do Vale do Ribeira na forma de diques e "plugs" associados a complexos alcalinos ou também como pequenos diques no interior do maciço granítico Três Córregos.

Essas rochas são descritas nos complexos do Banhadão, Itapirapuã e Mato Preto, nos "plugs" de Barra do Ponta Grossa, Barra do Teixeira e Sete Quedas ou ainda em diques nas localidades de Morro do Chapéu e Cerro Azul e na estrada Sete Quedas - Dr. Ulisses (SQ-Dr. U). Petrograficamente, elas são classificadas como fonolitos peralcalinos (tipo mais comum), fonolitos, traquifonolitos e nefelinitos fonolíticos.

Como principais minerais dessas rochas estão presentes feldspato alcalino (em geral rico em K_2O e, menos comumente, em Na_2O), clinopiroxênios variando de cálcicos (diopsídio, hedembergita e augita) a sódico-cálcicos (egirina-augita) e sódicos (egirina) e nefelina. Em quantidade subordinada, ocorrem biotita (titânio-biotita ou biotita titanífera), granadas titaníferas (nos nefelinitos fonolíticos e nos fonolitos peralcalinos do Banhadão), além de anfíbios e opacos (nos fonolitos do Mato Preto).

A química mineral permite a separação dessas rochas em dois grupos distintos, reunindo tipos mais primitivos (nefelinitos fonolíticos e fonolitos) e mais evoluídos (traquifonolitos e a quase totalidade dos fonolitos peralcalinos).

ABSTRACT

Rocks of phonolitic composition l.s. are found in the Ribeira Valley area mainly as dikes and plugs associated with alkaline complexes or also as small dikes intruding into granitic rocks of the Três Córregos massif.

These rocks have been described in Banhadão, Itapirapuã and Mato Preto complexes, in Barra do Teixeira, Barra do Ponta Grossa and Sete Quedas plugs and also as dikes in a few places such as Morro do Chapéu, Cerro Azul and along the road Sete Quedas-Dr. Ulisses (SQ-Dr. U). Petrographically, they are classified as peralkaline phonolites (the most common type), phonolites, trachyphonolites and phonolitic nephelinites.

Main minerals include alkali feldspar (in general rich in K_2O and less commonly in Na_2O); clinopyroxenes, varying in composition from calcic (diopside, hedembergite and augite) to sodic-calcic (aegirine-augite) and up to sodic (aegirine) types; and nepheline.

1. Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná

Caixa Postal 19011 - 81531-990 Curitiba, PR

2. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo

Caixa Postal 11348 - 05422-970 São Paulo, SP

In minor amount are found biotite (titanium-biotite or titaniferous biotite); titanian garnet (in phonolitic nephelinites and also in Banhadão peralkaline phonolites); amphiboles and opaques (Mato Preto phonolites).

On the basis of mineral chemistry, the investigated rocks can be placed into two groups showing different degrees of evolution. More primitive rock-types are represented by phonolitic nephelinites and phonolites while more evolved ones correspond to trachyphonolites and mostly to peralkaline phonolites.

INTRODUÇÃO

Rochas de composição fonolítica são descritas na região do Vale do Ribeira, ao norte do lineamento Ribeira, como diques associados aos complexos alcalinos de Banhadão (BA), Itapirapuã (IT) e Mato Preto (MP) ou como "plugs" de pequenas dimensões, nas localidades da Barra do Ponta Grossa (PG), Barra do Teixeira (BT) e Sete Quedas (SQ), ou ainda como diques cortando o maciço granítico de Três Córregos, nas regiões de Cerro Azul (CA), Morro do Chapéu (MC) e na estrada Sete Quedas-Dr. Ulisses (SQ-Dr. U) (Fig. 1).

Essas rochas foram classificadas por Vasconcellos (1995) como fonolitos peralcalinos (tipo mais comum), fonolitos e traquifonolitos (Mato Preto), nefelinitos fonolíticos (Sete Quedas e um dos diques da estrada Sete Quedas-Dr. Ulisses, SQ36) e microssienitos (Itapirapuã).

Elas são constituídas essencialmente por feldspato alcalino, nefelina e clinopiroxênios, na forma de fenocristais, microfenocristais ou como membros da matriz. Em proporção subordinada ocorrem biotita, granadas titaníferas (nos nefelinitos fonolíticos e em

fonolitos peralcalinos do Banhadão), anfibólios e minerais opacos (estes encontrados apenas nos fonolitos do Mato Preto). Secundariamente, observam-se zeólitas preenchendo fraturas e formadas pela transformação de nefelina e feldspato alcalino, além de sodalita e cancrinita, estes últimos como produtos de alteração da nefelina e carbonatos.

Do ponto de vista químico, as rochas foram separadas, por Vasconcellos (1995), em dois tipos principais:

1. rochas ricas em MgO, tidas como mais primitivas (nefelinitos fonolíticos e fonolitos do Mato Preto, microssienitos de Itapirapuã e um dos fonolitos peralcalinos da estrada Sete Quedas-Dr. Ulisses, SQ40, além de fonolitos peralcalinos do Banhadão;

2. rochas pobres em MgO, estas mais evoluídas (traquifonolitos e demais fonolitos peralcalinos). Este último grupo pode ser subdividido em rochas ricas em elementos traços e Terras Raras (fonolitos peralcalinos e traquifonolitos do Mato Preto); rochas pobres em Terras Raras pesadas (fonolitos peralcalinos da Barra do Ponta

Grossa, Cerro Azul e Sete Quedas); rochas de composição intermediária (fonolitos peralcalinos da Barra do Teixeira e Morro do Chapéu e diques SQ37, SQ39 e SQ41 da estrada Sete Quedas-Dr. Ulisses). Este trabalho tem por objetivo a caracterização do quimismo mineral das rochas estudadas, por meio da análise por microsonda eletrônica dos principais fenocristais, microfenocristais e constituintes da matriz, e complementa o estudo anterior (Vasconcellos & Gomes, 1998) focalizando a litogeoquímica.

METODOLOGIA

As fases analisadas foram feldspato alcalino, nefelina, clinopiroxênios, biotita e granadas e, subordinadamente, anfibólios, minerais opacos, zeólitas e olivinas. As suas composições químicas foram obtidas com microsonda eletrônica de fabricação Cameca-Camebax, do laboratório do Departamento de Mineralogia e Petrologia da Universidade de Pádua, Itália, operando-se na maior parte dos casos com 15 kV e corrente de 5 nA. Para a conversão dos dados empregou-se o programa PAP-Cameca. Os resultados estão sujeitos a erros de 1-2% para os elementos maiores e 5% para os menores (cf. Salviulo et al. 1992).

QUÍMICA MINERAL

Feldspato alcalino

Este mineral, presente em todas as rochas investigadas, aparece como fenocristais milimétricos de coloração rósea a esbranquiçada, microfenocristais submilimétricos e micrólitos da matriz. Ao microscópio, é idiomórfico a hipidiomórfico nas fases maiores e hipidiomórfico a xenomórfico quando na matriz. A composição é fortemente alcalina, com o teor máximo de An alcançando 5% (nefelinitos fonolíticos). A Tabela 1 reúne os dados obtidos.

As proporções moleculares de ortoclásio, albita e anortita, calculadas com base nos valores de K_2O , Na_2O e CaO , e projetadas no diagrama ternário An-Ab-Or (Fig. 2), permitem observar o enriquecimento no componente ortoclásio ($Or > 50\%$) para a maioria dos fonolitos peralcalinos. Teores mais elevados em albita são encontrados em Cerro Azul, com variações de 35 a 50%, e em um dos diques do Mato Preto (45 a 50%).

No tocante às demais litologias, verifica-se que os nefelinitos fonolíticos também possuem alta concentração em Or (80-95%), enquanto que nos fonolitos do Mato Preto notam-se feldspatos de composição intermediária ($Or_{55-65}Ab_{42-35}An_{3-0}$); já nos traquifonolitos os feldspatos alcalinos são ricos em Ab (91-94%).

Zoneamento composicional é pouco significativo e, quando reconhecido, acha-se evidenciado pelo

Amostra	6B	7B	9B	9B	9B	9B	10A	12B	12B	12B
Caracterização	m	m	m	m	m	m	m	m	m	fb
Localização	PG	MC	MC	MC	MC	MC	BT	PG	PG	PG
SiO ₂	64,31	64,69	64,69	65,16	64,71	64,73	63,38	65,49	65,37	65,46
TiO ₂	0,03	0,01	0,00	0,03	0,00	0,00	0,65	0,03	0,03	0,01
Al ₂ O ₃	18,55	18,30	18,30	18,43	18,32	18,31	17,98	18,53	18,57	18,57
FeO _{tot}	0,21	0,11	0,10	0,11	0,07	0,05	2,13	0,11	0,12	0,16
CaO	0,29	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,04	0,00	0,06	0,04
Na ₂ O	0,08	0,03	0,01	1,48	0,05	0,03	1,38	2,45	2,31	2,54
K ₂ O	16,52	16,86	16,90	14,78	16,83	16,88	14,44	13,39	13,54	13,24
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Or	97,81	99,73	99,91	86,79	99,49	99,73	87,12	78,24	79,19	77,30
Ab	0,73	0,27	0,09	13,21	0,46	0,27	12,68	21,76	20,51	22,50
An	1,46	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,20	0,00	0,30	0,20

Amostra	12B	12B	17B	17B	17B	17B	18B	18B	18B	18B
Caracterização	fb	fb	fb	fn	mfb	mfn	m	fb	fn	mfb
Localização	PG	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP
SiO ₂	65,60	65,52	64,94	64,87	64,87	65,02	65,15	65,08	65,08	64,97
TiO ₂	0,02	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,00	0,01	0,00
Al ₂ O ₃	18,62	18,58	18,38	18,35	18,35	18,39	18,43	18,41	18,41	18,39
FeO _{tot}	0,13	0,16	0,02	0,04	0,03	0,00	0,16	0,04	0,11	0,07
CaO	0,05	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Na ₂ O	2,96	2,75	0,61	0,41	0,42	0,81	1,54	1,05	1,21	0,82
K ₂ O	12,62	12,92	16,04	16,33	16,32	15,77	14,69	15,42	15,17	15,74
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Or	73,54	75,39	94,45	96,32	96,25	92,78	86,27	90,63	89,18	92,64
Ab	26,20	24,40	5,50	3,68	3,75	7,22	13,73	9,37	10,82	7,31
An	0,26	0,21	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05

Amostra	18B	19A	19A	19A	20B	20B	20B	22B	22B	22B
Caracterização	mfn	m	m	m	mfb	mfn	mfn	m	fb	fn
Localização	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP
SiO ₂	66,20	67,99	68,05	67,84	66,09	66,53	66,48	65,96	65,76	66,22
TiO ₂	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01
Al ₂ O ₃	18,90	19,51	19,49	19,45	18,79	18,91	18,82	18,68	18,96	18,89
FeO _{tot}	0,03	0,29	0,29	0,50	0,26	0,23	0,22	0,10	0,09	0,09
CaO	0,14	0,23	0,20	0,21	0,08	0,07	0,01	0,02	0,30	0,13
Na ₂ O	4,81	10,92	10,99	10,81	4,76	5,94	5,59	3,90	4,10	4,97
K ₂ O	9,92	1,06	0,98	1,19	10,00	8,32	8,89	11,31	10,79	9,68
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Or	57,21	5,93	5,51	6,67	57,83	47,79	51,12	65,58	62,48	55,82
Ab	42,11	92,99	93,57	92,35	41,78	51,87	48,83	34,32	36,07	43,53
An	0,68	1,08	0,92	0,98	0,39	0,34	0,05	0,10	1,45	0,65

Amostra	22B	22B	23B	23C	23C	23C	23C	23C	24A	24A
Caracterização	mfb	mfn	m	m	fb	fn	mfb	mfn	m	m
Localização	MP	MP	SQ	SQ	SQ	SQ	SQ	SQ	BA	BA
SiO ₂	65,73	65,70	64,49	64,72	64,72	64,77	64,74	64,76	64,85	64,68
TiO ₂	0,01	0,04	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
Al ₂ O ₃	19,25	19,21	18,24	18,31	18,38	18,32	18,31	18,32	18,35	18,30
FeO _{tot}	0,20	0,16	0,83	0,11	0,00	0,04	0,09	0,03	0,24	0,52
CaO	0,54	0,52	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	5,01	4,85	0,82	0,12	0,10	0,11	0,12	0,08	0,78	0,78
K ₂ O	9,26	9,51	15,61	16,73	16,73	16,76	16,74	16,80	15,77	15,72
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Or	53,41	54,91	92,60	98,00	98,79	98,99	98,90	99,27	93,01	92,99
Ab	43,96	42,57	7,40	1,10	0,91	1,01	1,10	0,73	6,99	7,01
An	2,63	2,52	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 1 - Composição química de feldspatos das rochas investigadas. *Abreviações:* f, fenocristal; mf, microfenoicristal; m, matriz; n, núcleo; b, borda. *Síglas:* BA, Banhado; BT, Barra do Teixeira; CA, Cerro Azul; IT, Itapirapuá; MC, Morro do Chapéu; MP, Mato Preto; PG, Barra do Ponta Grossa; SQ, Sete Quedas; SQ-Dr.U, Sete Quedas-Dr. Ulisses. Dados dos componentes ortoclásio (Or), albita (Ab) e anortita (An) em % molar.

Amostra	34C	34C	34C	34C	34C	34C	34C	36A	37A	37A
Granulação	m	m	fb	fn	fn	nfb	nfn	m	m	fb
Localização	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	SQDeU	SQDeU	SQDeU
SQ	65,37	65,46	65,12	65,24	65,24	65,20	65,21	64,12	67,83	65,60
TQ	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02
Al ₂ O ₃	18,49	18,52	18,42	18,48	18,47	18,44	18,46	19,33	19,19	18,56
Fe ₂ O ₃	0,42	0,36	0,19	0,35	0,24	0,18	0,15	0,14	0,16	0,02
GO	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,08	0,02	0,02
N ₂ O	2,68	2,10	1,43	2,17	1,98	1,67	1,66	1,50	3,44	2,58
K ₂ O	13,01	12,86	14,85	13,74	14,05	14,50	14,52	13,99	3,38	13,22
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

O	76,16	75,18	87,23	80,56	82,35	85,10	85,19	81,78	19,06	77,10
Ab	23,84	24,82	12,77	19,34	17,60	14,90	14,81	13,39	80,94	22,90
An	0,00	0,00	0,00	0,10	0,05	0,00	0,00	4,84	0,00	0,00

Amostra	37A	37A	39A	39A	39A	40A	40A	40A	41A	41A
Granulação	fn	fn	m	nfb	nfn	m	nfb	nfn	m	m
Localização	SQDeU	SQDeU	SQDeU	SQDeU	SQDeU	SQDeU	SQDeU	SQDeU	SQDeU	SQDeU
SQ	66,32	65,17	64,73	65,04	64,63	64,70	64,76	65,04	64,86	64,72
TQ	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Al ₂ O ₃	18,76	18,44	18,31	18,40	18,44	18,30	18,32	18,40	18,35	18,33
Fe ₂ O ₃	0,17	0,02	0,09	0,07	0,09	0,15	0,21	0,07	0,25	0,34
GO	0,02	0,02	0,02	0,02	0,13	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
N ₂ O	5,04	1,24	0,15	0,6	0,23	0,14	0,42	0,08	0,10	0,16
K ₂ O	9,68	15,15	16,69	15,54	16,47	16,71	16,30	15,51	15,74	15,99
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

O	55,83	88,93	98,62	91,38	97,29	96,79	96,27	91,25	92,82	94,10
Ab	44,17	11,08	1,38	8,62	2,04	1,21	3,73	8,75	7,18	5,10
An	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10

Amostra	41A	41A	41A	41A	41A	41A	41A	42A	42A
Granulação	fb	fb	fn	fn	nfb	nfn	nfb	m	m
Localização	SQDeU	SQDeU	SQDeU	SQDeU	SQDeU	SQDeU	SQDeU	CA	CA
SQ	65,11	65,22	65,29	65,13	63,16	64,79	64,81	65,21	64,98
TQ	0,02	0,02	0,02	0,02	0,10	0,04	0,02	0,15	0,09
Al ₂ O ₃	18,40	18,48	18,48	18,42	17,87	18,33	18,33	18,64	18,30
Fe ₂ O ₃	0,43	0,34	0,28	0,32	2,42	0,16	0,16	1,55	0,15
GO	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,16	0,43
N ₂ O	1,76	2,11	2,15	1,73	0,50	0,51	0,52	5,54	3,85
K ₂ O	14,34	13,83	13,79	14,40	15,75	16,16	16,16	8,55	10,00
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

O	84,22	81,09	80,77	84,57	95,37	95,42	95,36	90,00	63,74
Ab	15,73	18,91	19,18	15,43	4,63	4,58	4,64	49,21	34,16
An	0,05	0,10	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,79	2,10

Tabela 1 - Conclusão

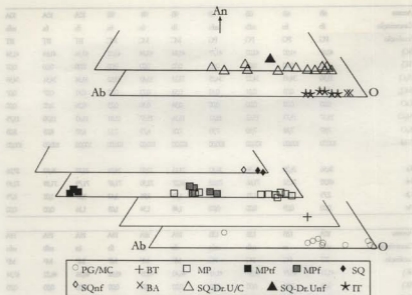


Figura 2 - Diagrama Or-Ab-An para os feldspatos das rochas investigadas. Siglas: BA, Banhado; BT, Barra do Teixeira; CA, Cerro Azul; IT, Itapirapuã; MC, Morro do Chapéu; MP, Mato Preto; PG, Barra do Ponta Grossa; SQ, Sete Quedas; SQ-Dr. U, Sete Quedas-Dr. Ulisses. Abreviações: f, fonolito; nf, nefelinito fonolítico; tf, traquifonolito. Demais amostras representam folonitos peralcalinos.

aumento do teor de Or, do núcleo para as bordas dos grãos.

O teor elevado de Or está presente tanto em fenocristais, microfenocristais como nos micrólitos da matriz, sendo que algumas vezes ele é maior nos fenocristais.

Concluindo, os feldspatos analisados são em geral potássicos com baixo teor em Na_2O , verificando-se poucos casos em que o mineral está enriquecido nesse último elemento.

Nefelina

À exceção dos microsienitos de Itapirapuã, todas as demais rochas descritas possuem nefelina modal, sendo este o principal mineral feldspatóide identificado. A nefelina ocorre como fenocristais e microfenocristais idiomórficos a hipidiomórficos milimétricos, ou na matriz das rochas formando cristais muito finos, idiomórficos, ou também xenomórficos, intersticiais. Os dados químicos obtidos são apresentados na Tabela 2. Com base, respectivamente, nas porcentagens de K_2O , Na_2O , SiO_2 e CaO , foram calculadas as proporções

Amostra	6B	6B	6B	6B	9B	9B	9B	10A	10A	10A
Genetização	fb	fn	nfb	nfn	fb	fn	fn	fb	fn	nfb
Localização	FG	FG	FG	FG	MC	MC	MC	BT	BT	BT
SiO ₂	42,69	41,92	42,03	41,77	43,84	43,24	43,02	43,16	41,69	41,54
TiO ₂	0,02	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
Al ₂ O ₃	33,90	34,43	34,22	34,25	33,13	33,43	33,62	33,38	34,51	34,59
FeO _{tot}	0,05	0,03	0,24	0,42	0,53	0,73	0,52	0,81	0,07	0,07
CaO	0,00	0,02	0,00	0,00	0,34	0,30	0,23	0,26	0,00	0,00
Ná ₂ O	15,37	15,73	15,62	15,61	15,16	15,57	15,51	15,43	15,70	15,75
K ₂ O	7,97	7,88	7,90	7,93	7,01	6,73	7,12	6,97	8,03	8,03
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Ks	26,56	26,25	26,56	26,82	23,13	22,90	24,04	23,77	26,92	27,06
Ne	69,92	71,52	71,66	72,02	68,27	72,30	71,47	71,79	71,89	72,49
Qz	2,73	1,34	1,71	1,42	4,72	3,91	3,42	3,89	1,02	0,79
An	0,00	0,09	0,00	0,00	1,48	1,34	1,03	1,16	0,00	0,00

Amostra	10A	12B	12B	12B	18A	18A	19A	19A	19A	19A
Genetização	nfn	m	nfb	nfn	fb	fn	fb	fn	nfb	nfn
Localização	BT	FG	FG	FG	MP	MP	MP	MP	MP	MP
SiO ₂	43,21	45,79	41,87	41,41	46,40	46,35	45,52	46,36	46,22	47,34
TiO ₂	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	33,60	32,22	34,45	34,70	32,12	32,22	32,66	32,34	32,21	31,47
FeO _{tot}	0,14	0,28	0,13	0,09	0,61	0,30	0,62	0,51	0,56	0,66
CaO	0,05	0,17	0,00	0,00	0,36	0,31	0,49	0,55	0,36	0,14
Ná ₂ O	15,38	15,29	15,94	15,91	16,48	16,61	16,65	16,41	16,62	16,27
K ₂ O	7,60	6,25	7,61	7,89	4,03	4,02	4,26	4,03	4,23	4,13
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Ks	25,62	20,24	25,08	26,42	13,36	13,46	13,40	13,43	14,00	13,63
Ne	70,74	67,58	71,70	72,67	74,59	75,92	75,09	74,69	75,01	73,35
Qz	3,63	7,55	1,25	0,52	8,44	8,37	6,93	8,00	8,14	10,09
An	0,22	0,72	0,00	0,00	1,61	1,39	2,15	2,46	0,72	0,63

Amostra	23B	23B	24A	24A	24A	24A	24A	36A	36A	39A
Genetização	MA	m	fb	fn	nfb	nfb	nfn	fb	fn	m
Localização	MP	MP	BA	BA	BA	BA	BA	SQDeU	SQDeU	SQDeU
SiO ₂	51,90	48,20	43,13	43,16	43,78	44,10	45,61	41,47	42,88	44,95
TiO ₂	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,04	0,00	0,01	0,05	0,00
Al ₂ O ₃	28,26	30,41	33,41	33,30	32,90	32,62	32,02	34,43	33,30	32,72
FeO _{tot}	1,29	1,16	0,92	0,99	1,07	1,17	0,89	0,94	0,97	0,10
CaO	0,00	0,06	0,04	0,05	0,02	0,04	0,05	0,05	0,51	0,00
Ná ₂ O	14,60	15,45	15,97	15,81	15,70	15,47	15,55	15,63	15,42	15,43
K ₂ O	3,93	4,52	6,53	6,67	6,52	6,57	5,89	6,65	6,68	6,80
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Ks	12,52	15,01	22,02	22,76	22,22	22,26	20,04	22,96	22,49	22,46
Ne	63,41	69,96	73,54	73,63	73,04	71,47	72,25	73,72	70,83	69,60
Qz	17,64	12,21	3,78	3,98	5,09	5,71	7,99	0,93	3,41	6,29
An	0,00	0,27	0,18	0,22	0,09	0,18	0,22	3,90	2,28	0,00

Tabela 2 - Composição química de nefelinas das rochas investigadas e porcentagens dos componentes moleculares kalsilita (Ks), nefelina (Ne), quartzo (Qz) e anortita (Ar). Abreviações e siglas conforme Tabela 1.

moleculares dos componentes kalsilita (Ks), nefelina (Ne), quartzo (Qz) e também anortita (An).

As porcentagens de K_2O e Na_2O são razoavelmente homogêneas para a maioria dos cristais. Entretanto, as rochas do Mato Preto (fonolitos peralcalinos e traquifonolitos) destacam-se das demais pelos teores menores de K_2O (3,93-4,52%).

Em todos os grãos analisados as concentrações de CaO são muito baixas ou mesmo inexistentes. Comparando esses dados com os de Deer et al. (1992), nota-se que as porcentagens do elemento para as rochas estudadas, exceção feita ao nefelinito fonolítico SQ36, são inferiores às fornecidas por aqueles autores ($>0,7\%$). Nesse dique, reconhecem-se fenocristais com variação de 0,51% até 0,85% de CaO , respectivamente, do núcleo para as bordas dos grãos. Baixos teores de CaO em nefelina foram também descritos por Ruberti (1984) para as rochas do complexo de Banhadão.

Nos fonolitos peralcalinos, as proporções moleculares variam de 13-27% para Ks, 68-78% para Ne e 1-19% para Qz, sendo o maior conteúdo de Qz obtido em cristal da matriz de dique do Mato Preto (20B).

Variação composicional do núcleo para as bordas dos fenocristais e microfenocristais é pouco representativa, sendo definida em alguns casos por um pequeno aumento do componente Qz. Dos fenocristais para os grãos da matriz tem-se também alguma elevação do conteúdo em Qz.

Nos traquifonolitos, as proporções são de $K_{14}Ne_{77}Qz_9$, não se registrando

zoneamento composicional. Nos nefelinitos fonolíticos, são encontrados fenocristais contendo $K_{23}Ne_{73.76}Qz_{4.1}$.

A projeção dos dados no diagrama Ks-Ne-Qz de Hamilton & Mackenzie (1965) (Fig. 3) indica que os pontos tendem a concentrar-se no campo de solução sólida da nefelina, com as rochas do Mato Preto mostrando-se mais enriquecidas nos componentes Ne e Qz que as demais. O gráfico possibilita ainda reconhecer que as temperaturas de formação desses minerais variam de menos de 500°C até mais de 775°C, quando comparados os dados em relação às isoterms de Hamilton (1961).

Clinopiroxênios

Os clinopiroxênios representam a principal fase máfica encontrada nessas rochas e ocorrem como fenocristais, microfenocristais e cristais constituintes da matriz. Ao microscópio, possuem cores variadas, desde incolor, castanho claro até esverdeada, com forte pleocroísmo para o amarelo. Por suas características ópticas são definidos como diopsídio (incolor), augita (castanho) e egirina-augita a egirina (verde). As análises químicas evidenciam ampla variação composicional, reconhecendo-se tipos cálcicos, sódico-cálcicos e sódicos.

Foram analisados elementos maiores e alguns menores (por exemplo, Cr_2O_3), sendo os dados fornecidos na Tabela 3. FeO_{tot} foi estimado como FeO e os valores de Fe_2O_3 calculados com base em Papike

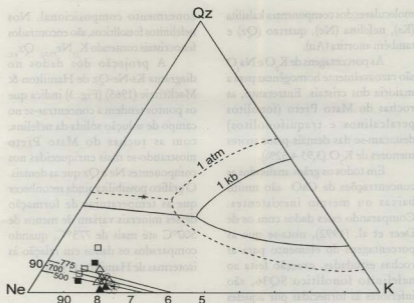


Figura 3 - Diagrama kalsilita (Kfs)-nefelina (Nfs)-quartzo (Qz) de Hamilton & Mackenzie (1965) aplicado para nefelinas das rochas investigadas. Isotermas são segundo Hamilton (1961).

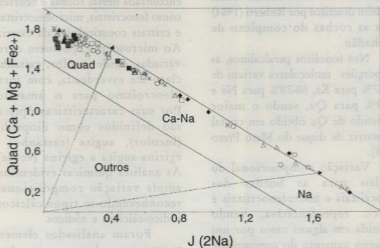


Figura 4 - Diagrama Quad (Ca+Mg+Fe²⁺)-J (2Na) de Morimoto (1988) para clinopiroxênios das rochas investigadas.

et al. (1974), empregando-se o programa PAP-Cameca. Para a sua caracterização e classificação, foram calculadas as porcentagens dos componentes wollastonita (Ca, CaSiO_3), enstatita (Mg, MgSiO_3) e ferrossilita (Fs, FeSiO_3), de Na-Mg-Fe $\{\text{Fe} = \text{Fe}^{2+} + \text{Mn} + (\text{Fe}^{3+} - \text{Na})\}$, dos valores de mg^* ($\text{MgO/MgO} + \text{FeO}$), além de utilizados os diagramas de Morimoto (1988). O primeiro diagrama empregado relaciona a soma $\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Fe}^{2+}$ com 2Na (Fig. 4) e evidencia a grande variação composicional desses minerais, que passam de tipos ricos em $\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Fe}^{2+}$ (tipo Quad de Morimoto) até muito ricos em Na (tipo sódico de Morimoto). Com base nessa primeira separação, os clinopiroxênios do campo Quad foram projetados no diagrama Wo-En-Fs (Fig. 5) e os dos campos Ca-Na e Na no diagrama Q-Jd (jadeíta, $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$)-Eg (egirina, $\text{NaFe}^{3+}\text{Si}_2\text{O}_6$) (Fig. 6). Tanto nos fonolitos peralcalinos, como nos fonolitos, traquifonolitos e nefelinitos fonolíticos, os clinopiroxênios mais cálcicos (diopsídio, hedembergita e augita, Fig. 5) estão presentes em geral como fenocristais e microfenocristais e, em poucos casos, como constituintes da matriz; já os sódico-cálcicos (egirina-augita, Fig. 6) são comumente descritos na matriz das rochas, ainda que possam aparecer também na forma de fenocristais e microfenocristais. Clinopiroxênios sódicos (egirina, Fig. 6) são encontrados apenas na matriz de fonolitos peralcalinos, mais especificamente em rochas do "plug" de Sete Quedas e no dique SQ37.

Zoneamento composicional é indicado pelo aumento em Na e Fe^{3+} e pela diminuição em Ca e Mg, do núcleo para as bordas dos cristais, sendo reconhecido sobretudo nos clinopiroxênios dos fonolitos peralcalinos e, subordinadamente, nos dos nefelinitos fonolíticos. Essa variação química reflete-se diretamente na coloração, que se torna mais esverdeada junto às bordas dos cristais.

Aumento em Na é também observado quando se comparam rochas menos evoluídas (nefelinitos fonolíticos) com as mais evoluídas (fonolitos peralcalinos). O componente Eg (egirina) de Morimoto (1988), que expressa a alcalinidade desses minerais, varia de 1 a 8% nos nefelinitos fonolíticos, de 1 a 16% nos fonolitos, de 4 a 18% nos traquifonolitos e de 1 a 90% nos fonolitos peralcalinos, com os cristais mais enriquecidos em Na correspondendo àqueles da matriz destas rochas últimas. O componente molecular acmita (Ac), igualmente indicativo da natureza sódica do mineral, varia de 2-7% nos nefelinitos fonolíticos, 2-11% nos fonolitos, de 5-13% nos traquifonolitos e de 5-50% nos fonolitos peralcalinos.

A variação composicional a partir de rochas mais primitivas para rochas mais evoluídas acha-se bem evidenciada no gráfico relacionando os teores de CaO e MgO (Fig. 7), com os nefelinitos fonolíticos exibindo maior enriquecimento nesses elementos e os fonolitos peralcalinos teores bastante reduzidos.

No diagrama Na-Mg-Fe (Fig. 8), ressalta-se mais uma vez a evolução composicional a partir de nefelinitos fonolíticos até os fonolitos peralcalinos, sendo possível distinguir-se

Amostra	6B	6B	7B	7B	7B	7B	7B	7B	7B	9B
Caracterização	m	m	m	m	fb	fb	mb	mb	mb	m
Localização	PG	PG	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC
SiO ₂	52,06	52,99	46,33	50,26	49,78	49,65	51,72	49,40	50,42	52,39
TiO ₂	2,54	3,56	2,64	0,41	0,78	1,07	0,69	1,12	0,36	0,63
Al ₂ O ₃	1,16	1,39	6,79	0,70	2,33	3,60	0,62	3,83	0,92	1,05
FeO _{tot}	26,29	24,86	10,86	25,35	16,61	13,82	26,33	12,94	21,94	18,24
MnO	0,93	1,02	0,28	1,67	0,77	0,52	1,34	0,53	1,52	0,66
MgO	0,69	0,71	9,59	1,36	7,32	8,58	0,36	8,98	3,69	6,12
CaO	5,59	5,32	22,04	15,65	19,80	20,58	10,83	21,16	17,64	16,11
Na ₂ O	10,73	10,15	1,46	4,40	2,59	2,18	7,51	2,00	3,51	4,77
O ₂ O ₃	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,04	0,00	0,03
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fe ₂ O ₃	23,39	16,87	6,06	10,88	8,44	6,43	17,00	6,45	9,19	10,38
Ca	20,09	20,06	50,00	40,19	45,42	47,07	32,40	47,90	42,95	40,93
Mg	3,47	3,71	30,24	5,60	23,41	27,31	1,51	28,26	12,47	21,59
Fe*	76,44	76,23	19,76	54,21	31,17	25,62	66,09	23,84	44,58	37,48
Na	87,43	86,64	12,05	34,22	19,75	17,06	60,09	15,68	27,07	36,66
Mg	4,34	4,65	60,47	9,37	42,90	51,60	2,24	54,24	21,86	36,24
Fe*	8,23	8,71	27,48	56,41	37,35	31,34	37,67	30,08	51,07	37,10
mg*	0,186	0,115	0,740	0,152	0,591	0,656	0,053	0,691	0,325	0,550

Amostra	6B	6B	7B	7B	7B	7B	7B	7B	7B	9B
Caracterização	m	m	m	m	fb	fb	mb	mb	mb	m
Localização	PG	PG	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC
SiO ₂	52,06	52,99	46,33	50,26	49,78	49,65	51,72	49,40	50,42	52,39
TiO ₂	2,54	3,56	2,64	0,41	0,78	1,07	0,69	1,12	0,36	0,63
Al ₂ O ₃	1,16	1,39	6,79	0,70	2,33	3,60	0,62	3,83	0,92	1,05
FeO _{tot}	26,29	24,86	10,86	25,35	16,61	13,82	26,33	12,94	21,94	18,24
MnO	0,93	1,02	0,28	1,67	0,77	0,52	1,34	0,53	1,52	0,66
MgO	0,69	0,71	9,59	1,36	7,32	8,58	0,36	8,98	3,69	6,12
CaO	5,59	5,32	22,04	15,65	19,80	20,58	10,83	21,16	17,64	16,11
Na ₂ O	10,73	10,15	1,46	4,40	2,59	2,18	7,51	2,00	3,51	4,77
O ₂ O ₃	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,04	0,00	0,03
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fe ₂ O ₃	23,39	16,87	6,06	10,88	8,44	6,43	17,00	6,45	9,19	10,38
Ca	20,09	20,06	50,00	40,19	45,42	47,07	32,40	47,90	42,95	40,93
Mg	3,47	3,71	30,24	5,60	23,41	27,31	1,51	28,26	12,47	21,59
Fe*	76,44	76,23	19,76	54,21	31,17	25,62	66,09	23,84	44,58	37,48
Na	87,43	86,64	12,05	34,22	19,75	17,06	60,09	15,68	27,07	36,66
Mg	4,34	4,65	60,47	9,37	42,90	51,60	2,24	54,24	21,86	36,24
Fe*	8,23	8,71	27,48	56,41	37,35	31,34	37,67	30,08	51,07	37,10
mg*	0,186	0,115	0,740	0,152	0,591	0,656	0,053	0,691	0,325	0,550

Amostra	12B	17B	18B	18B	18B	18B	19A	19A	19A	20B
Caracterização	m	m	m	m	mb	mb	m	m	fb	m
Localização	PG	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP
SiO ₂	51,51	50,01	51,67	51,11	50,66	50,31	49,61	50,39	49,33	48,52
TiO ₂	1,57	0,83	0,58	0,52	0,60	0,65	0,88	0,79	0,79	0,84
Al ₂ O ₃	7,40	2,84	1,47	1,42	1,44	1,44	2,06	2,72	2,53	1,08
FeO _{tot}	21,17	25,12	16,54	15,19	19,94	19,13	21,61	12,38	15,56	26,65
MnO	0,92	1,73	0,86	0,85	1,06	0,99	1,31	0,54	0,73	2,14
MgO	1,19	0,81	7,15	8,49	5,14	5,88	3,64	9,66	8,08	0,37
CaO	6,41	13,26	19,38	20,42	18,07	19,01	17,54	22,30	21,71	16,60
Na ₂ O	9,77	5,40	2,13	1,91	3,09	2,54	3,33	1,22	1,27	3,80
O ₂ O ₃	0,03	0,00	0,02	0,09	0,00	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fe ₂ O ₃	16,33	10,88	3,15	5,12	7,27	6,70	8,03	3,78	5,26	9,80
Ca	25,30	37,50	45,40	45,60	43,42	44,32	43,32	48,68	47,52	41,90
Mg	6,55	3,18	23,07	26,41	17,16	19,07	12,47	29,32	24,61	1,30
Fe*	68,15	59,32	31,53	27,99	39,42	36,61	44,21	22,00	27,87	56,80
Na		44,22	12,07	14,17	23,77	19,29	26,28	9,33	9,54	29,92
Mg		5,08	31,06	48,54	30,33	34,24	22,00	57,13	46,90	2,23
Fe*		50,70	56,87	37,29	45,90	46,47	51,72	33,54	43,56	67,85
mg*	0,247	0,086	0,482	0,588	0,406	0,444	0,310	0,657	0,571	0,036

Tabela 3 - Composição química de clinopiroxênios para as rochas investigadas. Para fins de cálculo,

Fe* = Fe²⁺ + Fe³⁺ + Mn e Fe* = Fe²⁺ + Mn + (Fe³⁺ · Na); mg* = MgO/MgO + FeO.

Abreviações e siglas conforme Tabela 1.

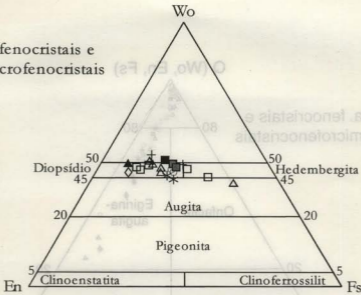
Amostra	22B	22B	22B	22B	22B	22B	22B	22B	22B	22B
Caracterização	m	m	fb	fb	mfb	mfn	mfb	mfn	m	fb
Localização	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	SQ	SQ
SiO ₂	49,04	44,66	46,55	45,89	47,63	48,19	46,23	46,62	51,01	49,41
TiO ₂	0,70	2,96	1,96	2,00	1,46	1,33	2,15	2,04	0,63	1,47
Al ₂ O ₃	1,33	9,98	7,38	7,66	5,40	5,20	9,36	8,98	1,18	3,57
FeO _{tot}	25,96	7,99	10,83	10,94	13,43	12,28	6,59	6,68	15,99	11,22
MnO	1,96	0,20	0,42	0,42	0,58	0,63	0,10	0,11	0,77	0,28
MgO	0,59	11,19	9,41	9,53	8,60	9,02	12,88	12,97	7,15	10,13
CaO	17,39	22,42	22,44	22,54	21,82	22,16	22,10	22,02	21,60	22,18
Na ₂ O	2,81	0,56	0,97	0,98	1,08	1,13	0,49	0,48	1,67	1,74
Cr ₂ O ₃	0,02	0,04	0,04	0,04	0,00	0,06	0,10	0,11	0,00	0,00
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fe ₂ O ₃	5,90	3,78	4,26	5,65	4,48	4,22	3,33	3,09	3,73	6,29
Ca	43,73	50,51	50,64	50,47	48,80	49,50	48,85	48,58	48,40	48,98
Mg	2,02	35,10	29,52	29,67	26,75	28,00	39,57	39,77	22,27	31,14
Fe*	54,25	14,39	19,84	19,86	24,45	22,30	11,58	11,65	29,33	19,88
Ni	22,51	4,68	8,04	8,06	8,57	9,04	3,83	3,69	13,05	13,67
Mg	3,60	70,92	59,80	59,91	52,25	55,45	77,18	77,33	43,16	61,03
Fe*	73,89	24,40	32,16	32,03	39,18	35,51	18,79	18,98	43,79	25,30
mg*	0,048	0,813	0,705	0,743	0,620	0,654	0,864	0,856	0,502	0,764

Amostra	23B	23B	23B	23C	23C	23C	23C	23C	24A	34C
Caracterização	fb	mfb	mfn	m	fb	fb	mfb	mfn	m	m
Localização	SQ	SQ	SQ	SQ	SQ	SQ	SQ	SQ	BA	IT
SiO ₂	46,80	49,31	49,53	54,10	51,97	51,67	50,99	51,81	52,94	53,04
TiO ₂	2,61	1,85	0,71	2,12	0,49	0,50	4,60	0,75	0,02	0,07
Al ₂ O ₃	6,63	2,51	3,21	1,26	1,66	1,33	1,64	1,86	0,66	1,20
FeO _{tot}	8,01	14,64	15,24	25,92	20,60	20,80	23,46	21,79	22,45	18,70
MnO	0,21	0,06	0,77	1,18	0,65	0,75	0,71	0,68	1,48	0,71
MgO	10,87	8,01	7,89	0,51	4,09	4,60	1,75	3,93	3,46	5,73
CaO	24,27	27,21	21,90	2,27	14,22	14,92	6,81	12,53	11,53	15,66
Na ₂ O	0,57	1,41	1,62	12,64	5,80	5,48	9,87	6,65	7,44	4,89
Cr ₂ O ₃	0,03	0,03	0,03	0,00	0,07	0,00	0,07	0,00	0,02	0,00
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fe ₂ O ₃	3,34	3,79	6,19	26,34	13,32	13,43	18,97	15,25	18,07	10,60
Ca	52,96	49,57	48,18	9,38	38,23	39,14	24,23	35,25	32,91	40,37
Mg	33,01	24,84	24,14	2,92	17,13	16,77	8,69	15,37	13,74	20,33
Fe*	14,03	25,39	27,68	87,20	44,64	44,09	67,08	49,38	53,35	59,10
Ni	4,74	11,31	12,42		45,72	42,64	84,59	52,30	57,35	38,27
Mg	70,17	49,25	46,58		27,73	27,56	11,67	23,74	20,48	34,43
Fe*	25,09	39,44	41,00		26,55	29,78	3,94	23,96	22,17	27,10
mg*	0,794	0,559	0,509	0,289	0,487	0,483	0,529	0,444	0,499	0,537

Amostra	34C	34C	34C	34C	34C	34C	34C	34C	34C	36A
Caracterização	fb	fb	fb	fb	mfb	mfn	mfb	mfn	mfb	m
Localização	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	SQ-Da-U
SiO ₂	51,44	50,22	49,11	49,45	51,41	52,63	52,31	54,81	49,72	49,31
TiO ₂	0,34	0,32	1,50	1,69	0,20	0,53	0,24	0,25	1,51	1,64
Al ₂ O ₃	1,23	1,68	6,07	6,13	0,94	1,45	1,07	0,50	5,49	4,18
FeO _{tot}	19,33	18,57	4,69	4,51	19,17	16,95	17,99	2,56	5,58	8,68
MnO	0,92	0,81	0,02	0,00	0,94	0,71	0,94	0,13	0,30	0,31
MgO	5,74	6,50	14,09	14,07	4,01	6,75	6,35	16,21	14,28	11,84
CaO	17,22	18,96	23,92	23,46	17,11	16,27	16,99	25,15	22,44	23,40
Na ₂ O	3,98	2,94	0,44	0,44	4,22	4,71	4,07	0,18	0,88	0,64
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,36	0,25	0,00	0,00	0,04	0,01	0,00	0,00
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fe ₂ O ₃	10,18	9,49	2,67	1,16	11,88	9,97	9,03	0,20	3,48	2,92
Ca	41,97	43,99	50,67	50,35	41,58	41,24	41,84	50,20	48,01	49,92
Mg	19,44	20,95	41,52	42,06	20,35	23,79	21,77	44,99	42,51	35,13
Fe*	38,59	35,26	7,81	7,59	38,07	34,97	36,39	4,81	9,48	14,95
Ni	30,23	21,98	3,38	3,41	31,77	36,75	31,19	1,33	6,50	4,89
Mg	33,50	37,40	84,17	84,73	34,83	40,49	37,42	90,36	81,76	70,14
Fe*	36,27	40,62	12,45	11,86	33,40	22,76	31,39	8,31	11,74	24,97
mg*	0,501	0,536	0,917	0,878	0,559	0,601	0,534	0,907	0,912	0,777

Tabela 3 - Continuação

a. fenocristais e
microfenocristais



b. matriz

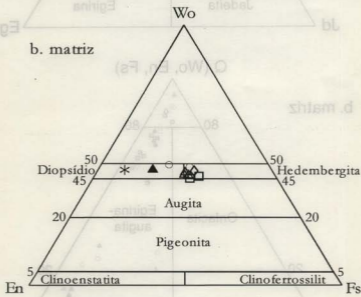


Figura 5 - Diagrama Wo-En-Fs de Morimoto (1988) para clinopiroxênios das rochas investigadas. Legendas como na Fig. 2.

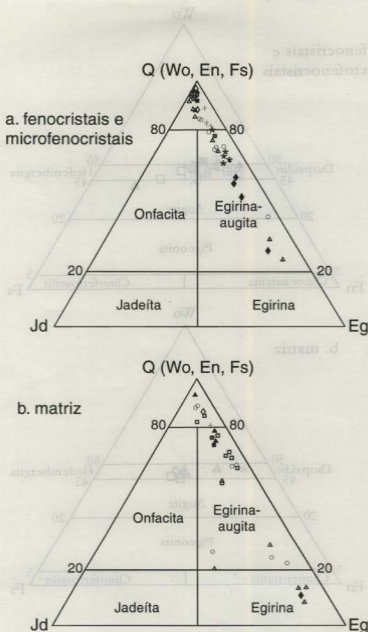


Figura 6 - Diagrama $(Wo + En + Fs)Q-Jd-Eg$ de Morimoto (1988) para clinopiroxênios das rochas investigadas. Legendas como na Fig. 2.

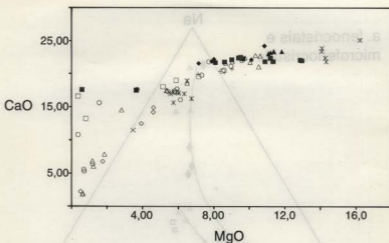


Figura 7 - Diagrama CaO vs. MgO (% em peso) para clinopiroxênios das rochas investigadas. Legendas como na Fig. 2.

dois "trends" indicativos do enriquecimento em Na e concomitante diminuição em Mg.

Comparando-se esses "trends" com dados da literatura para outras ocorrências alcalinas brasileiras (Gomes et al., 1987), verifica-se que os minerais em questão exibem de maneira geral comportamento próximo àquele do complexo do Banhadão (Ruberti, 1984), que é caracterizado pelo grande aumento do teor em Na com o processo evolutivo.

Quando projetados no diagrama convencional Ca-Mg-Fe ($Fe = Fe^{2+} + Fe^{3+} + Mn$) (Fig. 9), os dados evidenciam pronunciado enriquecimento no componente Fe, indicativo de "trends" tipicamente alcalinos.

Biotita

Biotita está presente em poucos fonolitos peralcalinos e também nos nefelinitos fonolíticos, porém, sempre em pequena quantidade. Estes cristais podem ocorrer na forma de microfenocristais e menos comumente de fenocristais, ou então, como minerais da matriz. Sua coloração é normalmente castanho-avermelhada amarelada, com o mineral aparecendo associado a clinopiroxênios, junto às bordas dos cristais, ou mesmo como grãos isolados. Menos comumente forma agregados de cristais finos xenomórficos, intersticiais, ou ainda é encontrada como inclusões em fenocristais de nefelina ou feldspato alcalino. A Tabela 4 relaciona os dados obtidos para os elementos maiores. FeO_{tot} foi estimado como FeO , calculando-se Fe_2O_3 a partir do balanço de cargas, com o auxílio do programa Formica. Para o estudo desses minerais, foram também

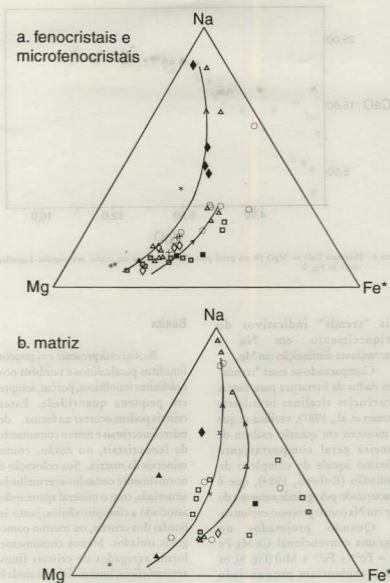


Figura 8 - Diagrama Na-Mg-Fe* [$Fe^* = Fe^{2+} + Mn + (Fe^{3+} \cdot Na)$] para clinopiroxênios das rochas investigadas. Legendas como na Fig. 2.

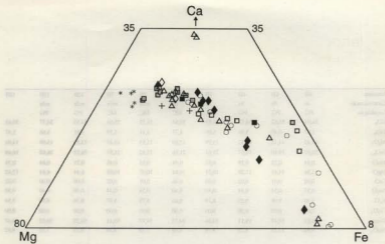


Figura 9 - Diagrama convencional Ca-Mg-Fe (Fe=Fe²⁺+Fe³⁺+Mn) para clinopiroxênios das rochas investigadas. Legendas como na Fig. 2.

calculados os valores da razão Fe/(Fe+Mg) e as proporções de R³⁺+ (Al+Fe³⁺+Ti)-Fe²⁺-Mg.

Considerando o limite estabelecido por Heinrich et al. (1953, in Ruberti, 1984), todos os grãos analisados são classificados como biotita por apresentarem razão Mg/Fe menor que 2,0. Os teores de Ti situam-se entre 0,02 e 0,7, possibilitando assim definir o mineral, com base na classificação de Rock (1982), como titânio-biotita (mais comum) e biotita titanífera (nefelinito fonolítico de Sete Quedas).

O diagrama R³⁺-Fe²⁺-Mg (Foster, 1960) (Fig. 10) permite observar a grande variação na proporção de Mg e Fe²⁺ desses minerais, aqui definidos como magnésio-biotita (tipo mais comum) e ferro-biotita. A proporção de R³⁺ é praticamente constante, situando-se entre 25 e 35%. Nas rochas da Barra do Ponta Grossa e Cerro Azul, a biotita é mais rica

em ferro, enquanto que nos nefelinitos fonolíticos e no dique SQ40 ela se apresenta mais magnésiana.

A análise do gráfico Al^{IV} vs. Fe/(Fe+Mg) (Fig.11) evidencia o enriquecimento em Fe nesses minerais a partir dos nefelinitos fonolíticos até os fonolitos peralcalinos, com os pontos na sua quase totalidade dispondo-se acima do limite flogopita-annita.

Quando os dados são projetados no gráfico Fe²⁺-Fe³⁺-Mg de Wones & Eugster (1965) (Fig. 12), verifica-se que os pontos colocam-se geralmente acima do "buffer" hematita-magnetita, indicando assim elevada fugacidade de oxigênio e, mais ainda, que os valores abaixo desse limite referem-se a fonolitos peralcalinos mais evoluídos.

Amostra	6B	6B	6B	7B	7B	7B	7B	12B	12B	18B
Caracterização	mf	fb	fs	fb	fs	mfb	mfs	mfb	mfs	
Localização	PG	PG	PG	MC	MC	MC	MC	PG	PG	
SiO ₂	36,04	35,82	36,17	34,83	35,84	35,23	35,05	34,35	34,77	38,65
TiO ₂	3,97	0,40	3,96	5,09	4,77	5,11	5,19	5,81	5,66	1,47
Al ₂ O ₃	14,42	14,16	14,32	13,29	12,60	13,33	13,49	13,29	13,09	14,86
FeO _{tot}	20,09	19,80	19,57	21,61	21,16	21,42	21,85	26,52	26,68	16,68
MnO	0,14	0,23	0,18	0,57	0,44	0,53	0,45	0,71	0,64	0,33
MgO	11,56	11,61	11,20	10,21	10,84	10,05	10,05	6,44	6,64	12,62
CaO	0,02	0,01	0,02	0,03	0,06	0,01	0,02	0,00	0,00	0,02
Na ₂ O	0,57	0,56	0,44	0,40	0,40	0,35	0,44	0,40	0,40	0,50
K ₂ O	9,40	9,08	9,25	8,79	8,65	8,73	8,87	8,70	8,94	9,54
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	95,81	91,47	95,11	94,86	94,76	94,77	95,41	96,22	96,82	94,67
Fe ₂ O ₃	9,88	11,21	8,23	8,78	7,88	7,19	8,58	9,75	7,52	8,82
R ²⁺	31,52	32,65	30,62	28,56	26,16	26,79	28,77	27,09	27,79	31,58
Fe ³⁺	24,59	21,86	23,78	31,43	31,68	33,95	31,98	47,28	45,83	19,67
Mg	43,89	45,49	43,60	40,01	42,16	39,26	39,25	23,63	26,38	48,65
Fe ²⁺	27,77	25,98	29,40	34,45	34,76	38,01	35,54	33,82	31,70	22,52
Fe ³⁺	22,04	24,93	20,11	19,84	17,52	16,46	19,42	15,93	17,58	20,27
Mg	30,19	31,09	30,49	45,71	47,72	45,53	45,04	30,20	30,72	57,41
mg [*]	0,502	0,511	0,505	0,457	0,477	0,455	0,450	0,302	0,307	0,574

Amostra	18B	18B	18B	25B	25B	25B	36A	36A	36A	36A
Caracterização	mfs	mfb	mfs	m	mfb	mfs	fb	fs	fb	fs
Localização	MP	MP	MP	SQ	SQ	SQ	SQ-Dx-U	SQ-Dx-U	SQ-Dx-U	SQ-Dx-U
SiO ₂	38,38	33,86	34,37	38,78	41,45	38,77	35,20	35,25	34,51	34,93
TiO ₂	1,42	4,19	4,20	2,88	0,47	0,18	5,64	5,59	5,74	4,55
Al ₂ O ₃	14,41	16,44	16,50	7,64	13,15	12,49	14,44	14,43	14,20	17,87
FeO _{tot}	17,65	17,51	17,13	26,33	12,34	16,35	20,54	20,63	20,39	17,90
MnO	0,42	0,18	0,25	0,60	1,13	0,74	0,55	0,47	0,44	0,39
MgO	12,94	12,10	12,40	9,37	17,93	15,34	11,81	11,19	11,90	12,47
CaO	0,01	0,10	0,02	0,03	0,19	0,18	0,04	0,03	0,00	0,00
Na ₂ O	0,52	0,58	0,48	0,04	0,23	0,10	0,24	0,29	0,32	0,40
K ₂ O	5,64	8,29	8,42	9,51	8,72	8,06	8,74	8,64	8,77	8,72
Cr ₂ O ₃	0,01	0,06	0,02	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	95,40	95,11	93,79	95,18	95,69	92,21	94,98	94,52	94,27	94,43
Fe ₂ O ₃	11,36	7,02	8,16	10,17	8,15	8,91	10,20	9,25	10,99	8,76
R ²⁺	33,30	30,90	31,34	22,28	23,65	23,99	30,12	29,53	30,98	30,11
Fe ³⁺	16,95	22,72	21,46	40,09	12,33	18,95	24,96	27,53	23,50	22,31
Mg	49,75	46,58	47,20	37,63	64,02	57,06	44,92	42,94	45,52	47,58
Fe ²⁺	18,25	26,57	27,03	39,93	11,31	19,07	27,32	30,34	25,24	24,98
Fe ³⁺	25,11	18,25	11,96	38,80	16,53	18,36	22,08	20,51	23,78	19,64
Mg	56,64	55,18	61,01	21,27	72,14	62,57	30,60	49,15	50,98	53,38
mg [*]	0,566	0,552	0,563	0,388	0,721	0,626	0,306	0,492	0,510	0,554

Tabela 4 - Composição química de biotitas das rochas investigadas. Para fins de cálculo, R²⁺ = Al + Fe³⁺ + Ti e mg* = MgO/MgO + FeO. Abreviações e siglas conforme Tabela 1.

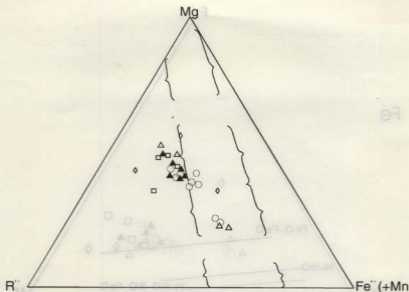


Figura 10 - Diagrama R'' ($Al^{IV} + Fe^{2+} + Ti$) - Fe^{2+} (+Mn) - Mg de Foster (1960) para biotitas das rochas investigadas. Legendas como na Fig. 2.

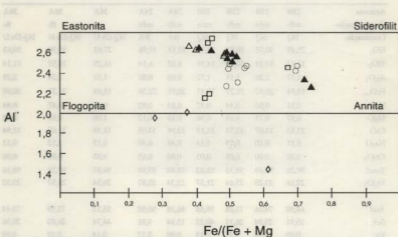


Figura 11 - Diagrama $Al^{IV}/Fe/(Fe+Mg)$ para biotitas das rochas investigadas. Legendas como na Fig. 2.

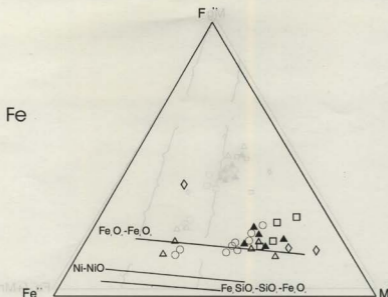


Figura 12 - Diagrama Fe^{3+} - Fe^{2+} - Mg para biotitas das rochas investigadas. Legendas como na Fig. 2.

Amostra	23B	23B	23B	23B	24A	24A	36A	36A	36A
Caracterização	mfb	mfn	mfb	mfn	mfb	mfn	m	fb	fn
Localização	SQ	SQ	SQ	SQ	BA	BA	SQ-Dr.U	SQ-Dr.U	SQ-Dr.U
SiO ₂	29,49	30,92	30,81	28,49	33,64	33,96	27,63	30,30	30,63
TiO ₂	13,12	10,39	10,28	14,31	8,02	6,14	16,25	10,59	11,14
Al ₂ O ₃	1,37	2,20	1,18	1,72	0,88	0,80	1,39	2,24	2,28
FeO _{tot}	19,94	20,92	21,27	19,41	20,91	22,56	18,48	21,21	20,98
MnO	0,51	0,36	0,44	0,37	0,83	0,92	0,46	0,47	0,44
MgO	0,87	0,73	0,68	0,96	0,10	0,12	1,06	0,58	0,62
CaO	33,83	33,07	33,53	33,19	33,96	33,05	31,38	31,65	31,94
Na ₂ O	0,11	0,10	0,09	0,14	0,46	0,40	0,19	0,12	0,13
Cr ₂ O ₃	0,02	0,00	0,05	0,03	0,00	0,03	0,03	0,05	0,00
Total	99,26	98,69	98,33	98,62	98,80	97,98	96,87	97,21	98,16
Fe ₂ O ₃	22,16	23,25	23,64	21,57	23,24	25,07	20,54	23,57	23,32
And	64,00	74,06	73,68	59,65	86,16	90,02	55,12	73,79	73,44
Sch	35,91	25,94	26,11	40,22	13,84	9,86	44,74	26,02	26,56
Uv	0,09	0,00	0,21	0,13	0,00	0,12	0,14	0,19	0,00

Tabela 5 - Composição química de granadas das rochas investigadas e porcentagens dos componentes moleculares andradita (And), schorlomita (Sch) e uvarovita (Uv). Abreviações e siglas conforme Tabela 1.

Granadas

Granadas são minerais pouco comuns, estando presentes apenas nos nefelinitos fonolíticos e nos fonolitos peralcalinos do Banhadão. Estão representadas por cristais de coloração castanho-avermelhada, aparecendo como fenocristais e microfenocristais idiomórficos ou como constituintes da matriz nos nefelinitos fonolíticos. São encontradas ainda na forma de microfenocristais em pequenos agregados de cristais hipidiomórficos a idiomórficos nos fonolitos peralcalinos. As granadas são minerais de cristalização tardia e contêm em geral numerosas inclusões de feldspato ou biotita.

As análises por microsonda constam da Tabela 5. FeO foi obtido como FeO, sendo Fe_2O_3 calculado a partir do programa PAP-Cameca, com base no balanço de cargas. A caracterização desses minerais é feita a partir das proporções dos componentes andradita (And)-schorlomita (Sch)-uvarovita (Uv), calculadas, respectivamente, a partir das porcentagens de Fe_2O_3 , TiO_2 e Cr_2O_3 .

Os valores de TiO_2 variam de 6,14 a 8,02, no fonolito peralcalino do Banhadão até 16,25%, no nefelinito fonolítico do dique SQ36, permitindo assim, com base na classificação de Deer et al. (1982), classificá-las como granadas titaníferas do tipo melanita ($Fe^{3+} > Ti$), com $And_{90}Sch_{10}$, ou schorlomita ($Fe^{3+} < Ti$), com $And_{55}Sch_{45}$, esta última encontrada apenas em cristais da matriz de nefelinitos fonolíticos.

Zoneamento composicional é inicialmente reconhecido ao

microscópio devido à variação concêntrica de cor, com o núcleo dos cristais exibindo coloração castanho mais escura que a das bordas. Esta variação acha-se quimicamente bem definida nos microfenocristais do nefelinito fonolítico de Sete Quedas, notando-se diminuição em Fe_2O_3 e aumento em TiO_2 das bordas para o núcleo dos minerais. Segundo Gomes (1969), o aumento em TiO_2 é o responsável pela coloração mais escura dos cristais e caracteriza um padrão de zoneamento comum para esses minerais. SiO_2 e MgO também diminuem das bordas para o núcleo dos grãos, porém, em quantidades menos significativas.

Os dados obtidos apontam para o caráter cálcico-férrico desses minerais, como indicado pelo enriquecimento no componente And.

Anfibólios

Anfibólios são descritos apenas nos fonolitos do Mato Preto, onde ocorrem como fenocristais, microfenocristais e membros da matriz. Os cristais são geralmente hipidiomórficos a xenomórficos e com coloração castanha intensa. A Tabela 6 apresenta as análises químicas realizadas. FeO foi analisado como FeO e a porcentagem de Fe_2O_3 calculada a partir do balanço de cargas e emprego do programa PAP-Cameca.

Com base na classificação de Leake (1978), todos os anfibólios analisados são enquadrados como cálcicos, com $(Ca+Na)B$ superior ou igual a 1,34, $NaB < 0,67$ e com $CaB > 1,34$. O diagrama mg ($Mg/Mg+Fe^{2+}$) vs. Si de Leake (1978)

(Fig. 13) define os fenocristais como sendo kaersutita, os microfenocristais como kaersutita no núcleo e ferro-kaersutita nas bordas e as fases da matriz como ferro-pargasita. A variação composicional nos microfenocristais é caracterizada pelo aumento em Fe e diminuição em Ti e Mg, do núcleo para as bordas dos grãos, sendo esta diferença também observada a partir dos fenocristais até as fases da matriz.

As proporções moleculares de Ca-Mg(Fe = Fe²⁺ + Fe³⁺ + Mn) indicam teores constantes do componente Ca e grande variação na razão Mg/Fe, além do maior enriquecimento em Fe junto aos cristais da matriz e periferia cristais da matriz e periferia dos microfenocristais.

Opacos

Minerais opacos estão representados por óxidos de Fe, sendo encontrados apenas nos fonolitos do Mato Preto, na forma de microfenocristais ou como constituintes da matriz.

Os dados obtidos por microsonda são fornecidos na Tabela 7. FeO_{tot} foi estimado como FeO e a porcentagem de Fe₂O₃ obtida por balanço de cargas, com auxílio do programa PAP-Cameca. Com base no teor de TiO₂, que varia de 13,96 a 15,69%, esses minerais são classificados como titânio-magnetita.

Zeólitas

Zeólitas representam a principal fase de alteração da nefelina ou então ocorrem substituindo o feldspato

alcalino. São encontradas na maioria das rochas na forma de agregados fibrorradiados de dimensões variadas, desde submilimétricos a milimétricos. Nos produtos de alteração da nefelina, aparecem geralmente associada a cancrinita.

Os dados químicos (Tabela 8) revelam minerais ricos em Na₂O (8-11,5%) que, quando comparados com os dados de Deer et al. (1981), indicam tratar-se de natrólitais.

CONCLUSÕES

O estudo do quimismo da mineralogia das rochas de diques e "plugs" alcalinos do Vale do Ribeira permite reconhecer feldspato alcalino, preferencialmente rico no componente ortoclásio; clinopiroxênios, classificados como cálcicos (diopsídio, hedembergita e augita), sódico-cálcicos (egirina-augita) e sódicos (egirina); e nefelina como sendo os seus principais constituintes. Subordinadamente, ocorrem biotita, descrita apenas nos fonolitos peralcalinos de Barra do Ponta Grossa, Cerro Azul, Mato Preto, Morro do Chapéu e SQ40 e nos nefelinitos fonolíticos, e definidas como magnésio-biotita (mais comum) e ferro-biotita; granadas de composição melanítica a schorlomítica, observadas nos fonolitos peralcalinos do Banhadão e nos nefelinitos fonolíticos; anfíbios, identificados somente nos fonolitos do Mato Preto, de composição variada entre kaersutita e ferro-kaersutita; opacos, também descritos somente nos fonolitos s.s., classificados como titânio-magnetita; e zeólitas (natrólitais), ocorrendo como produto de alteração de nefelina e

Amostra	22B	22B	22B	22B	22B	22B
Caracterização	m	m	fb	fn	mfb	
Localização	MP	MP	MP	MP	MP	
SiO ₂	37,36	37,35	38,07	39,68	37,32	38,39
TiO ₂	3,41	3,93	4,61	4,63	4,29	4,58
Al ₂ O ₃	14,12	14,08	14,02	13,80	13,55	14,06
FeO _{tot}	15,12	16,01	12,37	11,45	17,07	12,39
MnO	0,28	0,33	0,20	0,16	0,47	0,25
MgO	9,55	8,99	11,14	12,29	7,86	10,91
CaO	11,10	11,40	11,00	11,89	11,02	11,04
Na ₂ O	2,54	2,32	2,22	2,15	2,30	2,24
K ₂ O	1,63	1,62	1,78	1,74	1,69	1,76
Total	95,11	96,03	95,41	97,79	95,57	95,62
Fe ₂ O ₃	0,97	0,65	0,86	0,06	0,16	0,43
Ca	31,26	31,71	30,95	31,39	31,34	31,03
Mg	37,41	34,79	43,59	45,12	31,09	42,64
Fe ⁺	31,33	33,50	25,46	23,49	37,57	26,33
mg*	0,54	0,51	0,63	0,66	0,45	0,62

Tabela 6 - Composição química de anfibólios das rochas investigadas. Para fins de cálculo, Fe⁺ = Fe²⁺ + Fe³⁺ + Mn e mg* = MgO/MgO+FeO. Abreviações e siglas conforme Tabela 1.

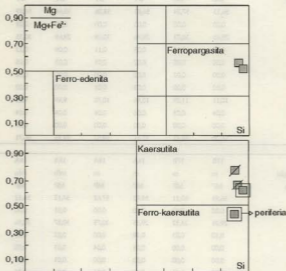


Figura 13 - Diagrama Si-Mg/Mg+Fe²⁺ de Leake (1978) para anfibólios dos fonolitos de Mato Preto. Legenda: quadrado cheio cortado, fenoicristais; quadrado parcialmente cheio, microfenoicristais; quadrado cheio, matriz.

Amostra	22B	22B	22B
Caracterização	m	mfp	
Localização	MP	MP	
TiO ₂	15,69	14,22	13,96
Al ₂ O ₃	1,61	2,67	2,85
FeO _{tot}	75,65	77,57	76,52
MnO	1,99	1,76	1,39
MgO	0,37	0,67	1,21
Cr ₂ O ₃	0,03	0,10	0,02
Total	95,34	96,99	95,95
Fe ₂ O ₃	36,27	39,30	39,23

Tabela 7 - Composição química de minerais opacos das rochas investigadas. Abreviações e siglas conforme Tabela 1.

Amostra	7B	7B	10A	10A	10A	10A	17B
Caracterização	mfb	mfn	m	mfb	mfn	mfn	m
Localização	MC	MC	BT	BT	BT	BT	MP
SiO ₂	56,13	57,24	56,83	58,06	55,64	56,89	55,64
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Al ₂ O ₃	29,65	30,73	29,96	30,09	29,65	30,35	29,57
FeO _{tot}	0,07	0,08	0,05	0,11	0,09	0,12	0,02
MnO	0,00	0,00	0,02	0,01	0,03	0,05	0,04
MgO	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,02	0,00	0,03	0,01	0,00	0,02	0,03
Na ₂ O	10,11	11,29	10,86	10,70	8,89	9,21	9,61
K ₂ O	0,04	0,03	0,06	0,04	0,04	0,04	0,01
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
Total	96,00	99,41	97,81	99,02	94,35	96,71	94,91
Amostra	17B	17B	18A	18A	18A	18A	42A
Caracterização	m	m	m	m	mfb	mfn	m
Localização	MP	MP	MP	MP	MP	MP	CA
SiO ₂	56,95	60,11	55,72	57,62	57,12	56,12	57,22
TiO ₂	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	29,26	24,32	29,35	30,75	30,87	30,56	28,20
FeO _{tot}	0,10	0,03	0,18	0,00	0,02	0,15	0,18
MnO	0,00	0,00	0,04	0,04	0,03	0,00	0,01
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01
CaO	0,04	0,04	0,11	0,04	0,04	0,00	1,25
Na ₂ O	9,54	10,03	10,8	10,82	11,05	9,97	8,80
K ₂ O	0,05	0,04	0,07	0,06	0,04	0,02	0,26
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,06
Total	95,95	94,56	96,27	99,32	99,19	96,82	95,97

Tabela 8 - Composição química de zeólitas das rochas investigadas. Abreviações e siglas conforme Tabela 1.

feldspato alcalino.

A variação mineral indica uma evolução a partir de rochas menos evoluídas, como os nefelinitos fonolíticos e fonolitos, que possuem minerais mais enriquecidos em CaO e MgO, estes representados principalmente por clinopiroxênios cálcicos, até as mais evoluídas. Estas últimas são definidas pelos teores mais elevados de Na₂O, K₂O e SiO₂ na composição dos minerais e caracterizam a maioria dos fonolitos peralcalinos.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq por ceder bolsa de doutorado "sanduíche" a um dos autores (E.M.G.V.) na Itália, o que proporcionou a realização das análises por microsonda eletrônica. À Universidade de Pádua, Itália, pela utilização do equipamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. (1981) Minerais constituintes das rochas - uma introdução. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 558p. (Tradução: L.E.N. Conde.)
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. (1982) Rock-forming minerals. 2nd ed. New York, Longman. v. 1A.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. (1992) An introduction to the rock-forming minerals. 2nd ed. Harlow, Longman Scientific & Technical, 696p.
- FOSTER, M.D. (1960) Interpretation of the composition of trioctahedral micas. U. S. Geological Survey. Professional Paper, n. 354-B, p. 1-48.
- GOMES, C.B. (1969) Electron microprobe analysis of zoned garnets. *American Mineralogist*, v. 54, p. 1654-1661.
- GOMES, C.B.; BARBIERI, M.; BECCALUVA, L.; BROTZU, P.; CONTE, A.; GARBARINO, C.; MACCIOTTA, G.; MELLUSO, L.; MORBIDELLI, L.; RUBERTI, E.; SCHEIBE, L.F.; TAMURA, R.M.; TRAVERSA, G. (1987) Petrological and geochemical studies of alkaline rocks from Continental Brazil. 2. The Tunas massif, State of Paraná. *Geochimica Brasiliensis*, v. 1, n. 2, p. 201-234.
- HAMILTON, D.L. (1961) Nephelines as crystallization temperature indicators. *Journal of Geology*, v. 69, n. 3, p. 321-329.
- HAMILTON, D.L.; MACKENZIE, W.S. (1965) Phase-equilibrium studies in the system NaAlSi₃O₈ (nepheline)-KAlSi₃O₈ (kalsilitite)-SiO₂-H₂O. *Mineralogical Magazine*, v. 34, p. 214-231.
- LEAKE, B.E. (1978) Nomenclature of amphiboles. *Bulletin de Mineralogie*, v. 101, n. 4, p. 453-467.
- MORIMOTO, N. (1988) Nomenclature of pyroxenes. *Mineralogical Magazine*, v. 52, n. 4, p. 535-550.

PAPIKE, J.J.; CAMERON, K.L.; BALDWIN, K. (1974) Amphiboles and pyroxenes: characterization of other than quadrilateral components and estimates of ferric iron from microprobe data. Geological Society of America, Abstracts with Programs, v. 6, p. 1035-1050.

ROCK, N.M.S. (1982) Chemical mineralogy of the Monchique alkaline complex, Southern Portugal. Contributions to Mineralogy and Petrology, v. 81, p. 64-78.

RUBERTI, E. (1984) Petrologia do maciço alcalino do Banhadão. PR. São Paulo, 248p. (Tese de Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

SALVIULO, G.; PRINCIVALLE, F.; DEMARCHI, G.; FABRO, C. (1992) Effects of Ca-Mg substitution in C2/c pyroxene structure on natural clinopyroxenes from spinel peridotite nodules (Pico Cabugi, Brazil). Physics and Chemistry of Minerals, v. 19, n. 4, p. 213-219.

VASCONCELLOS, E.M.G. (1995) Petrologia e geoquímica de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo. São Paulo, 202p. (Tese de Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

VASCONCELLOS, E.M.G.; GOMES, C.B. (1998) Diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo: Características petrográficas e geoquímicas. Geochimica Brasiliensis (no prelo).

WONES, D.R.; EUGSTER, H.P. (1965) Stability of biotite: experiment, theory, and application. American Mineralogist, v. 50, n. 9, p. 1228-1272.

AGRADECIMENTOS

Ào CNPq por ceder parte de dotação "sanduíche" a um dos autores (E.M.G.V.) na falta o que proporcionou a realização das análises por microsonda eletrônica. À Universidade de Friburgo, Itália, pela utilização do equipamento.

REFERÊNCIAS

- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. (1981) Minerals cores from the rocks - uma introdução. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 258p. (Tradução: E.N. Costa)
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. (1982) Rock-forming minerals. 2nd ed. New York, Longman, 614 p.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. (1992) An introduction to the rock-forming minerals. 2nd ed. Harlow, Longman Scientific &