UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PETROLOGIA E GEOQUÍMICA DE DIQUES E "PLUGS"
ALCALINOS DA REGIÃO DO VALE DO RIBEIRA, DIVISA
DOS ESTADOS DO PARANÁ E SÃO PAULO

Eleonora Maria Gouvêa Vasconcellos

Orientador: Prof. Dr. Celso de Barros Gomes

TESE DE DOUTORAMENTO

COMISSÃO JULGADORA

	nome
Presidente:	<u>Celso de Barros Gomes</u>
Examinadores:	<u>Excelso Ruberti</u>
	<u>João Carlos Biondi</u>
	<u>Enzo M. Piccirillo</u>
	<u>Luiz Fernando Scheibe</u>

ass.

São Paulo

1995

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

DEDALUS - Acervo - IGC

30900005870

**PETROLOGIA E GEOQUÍMICA DE DIQUES E "PLUGS"
ALCALINOS DA REGIÃO DO VALE DO RIBEIRA, DIVISA
DOS ESTADOS DO PARANÁ E SÃO PAULO**

Eleonora Maria Gouvêa Vasconcellos

Orientador: Prof. Dr. Celso de Barros Gomes

TESE DE DOUTORAMENTO

Programa de Pós-Graduação em Mineralogia e Petrologia

São Paulo

1995

"Não é o desafio com que nos deparamos
que determina quem somos
e o que estamos nos tornando,
mas a maneira com que respondemos ao desafio.
Somos combatentes, idealistas,
mas plenamente conscientes,
porque o ter consciência
não nos obriga a ter teoria sobre as coisas,
só nos obriga a sermos conscientes.
Problemas para vencer, liberdade para provar. E,
enquanto acreditarmos no nosso sonho, nada é por
acaso."

(Henfil)

SUMÁRIO

	página
AGRADECIMENTOS.....	xii
RESUMO.....	xiv
ABSTRACT.....	xvi
 I. INTRODUÇÃO.....	 01
I.1. Objetivos.....	03
 II. MÉTODOS DE TRABALHO.....	 05
II.1.Trabalhos de campo.....	05
II.2.Trabalhos de laboratório.....	06
II.2.1. Petrografia.....	06
II.2.2. Química de rochas.....	06
II.2.3. Química mineral.....	07
II.2.4. Geocronologia e isotopia.....	08
II.2.5. Simbologia utilizada nas figuras.....	09
 III. GEOLOGIA E TRABALHOS ANTERIORES.....	 10
III.1. Trabalhos regionais.....	12
III.2. Complexo de Itapirapuã.....	14
III.3. Complexo do Banhadão.....	15
III.4. Complexo do Mato Preto.....	16
 IV. PETROGRAFIA.....	 18
IV.1. Fonolitos peralcalinos.....	18
IV.2. Fonolitos.....	25
IV.3. Traquifonolitos.....	27
IV.4. Nefelinitos fonolíticos.....	30

IV.5. Microssienitos.....	32
V. QUÍMICA MINERAL.....	34
V.1. Feldspatos alcalinos.....	34
V.2. Nefelinas.....	36
V.3. Piroxênios.....	37
V.4. Biotita.....	44
V.5. Granadas.....	54
V.6. Anfibólios.....	56
V.7. Óxidos de Fe.....	57
V.8. Zeólitas.....	57
VI. GEOQUÍMICA.....	61
VI.1. Elementos maiores.....	61
VI.2. Elementos traços.....	66
VI.3. Elementos Terras Raras (ETR).....	71
VI.4. "Spidergrams".....	71
VII. ASPECTOS PETROGENÉTICOS.....	81
VII.1. Cristalização fracionada.....	81
VIII. GEOQUÍMICA ISOTÓPICA.....	91
IX. GEOLOGIA ECONÔMICA.....	98
X. COMPLEXO DE TUNAS.....	102
X.1. Trabalhos anteriores.....	102
X.2. Petrografia.....	103
X.3. Química mineral.....	105
X.4. Geoquímica.....	109
X.5. Aspectos petrogenéticos.....	115
X.6. Isótopos.....	116

X.7. Geologia econômica.....	118
XI. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	119
XI.1. A origem dos fonolitos.....	119
XI.2. Origem dos traquitos vs. origem dos fonolitos.....	128
XI.3. Relações cogenéticas entre os fonolitos l.s. dos diferentes diques e "plugs" da região do Vale do Ribeira.....	130
XI.4. Relação dos fonolitos l.s. com ocorrências congêneres mais próximas.....	139
XI.4.1. Complexo de Lages, SC.....	140
XI.4.2. Suíte fonolítica de Piratini, RS.....	140
XI.4.3. Complexo de Sapucaí, Paraguai Oriental.....	142
XI.4.4. Complexos de Jacupiranga e Juquiá, SP.....	143
XII. CONCLUSÕES.....	144
XIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	147
APÊNDICE.....	161

LISTA DE FIGURAS

		página
Figura 1	- Mapa de localização da região estudada.....	02
Figura 2	- Diagrama R1R2 de De La Roche et al. (1980).....	19
Figura 3	- Diagrama TAS $\{(Na_2O+K_2O)-SiO_2\}$ de Le Maite (1989).	20
Figura 4	- Diagrama Ortoclásio (Or)-Albita (Ab)-Anortita (An) para os feldspatos.....	35
Figura 5	- Diagrama Kalsilita (Ks)-Nefelina (Ne)-Quartzo (Qz) de Hamilton & Mackenzie (1965) para as nefelinas.	38
Figura 6	- Diagrama Quad $(Ca+Mg+Fe^{2+})-J (2Na)$ de Morimoto (1988) para piroxênios.....	40
Figura 7	- Diagrama Wollastonita (Wo)-Enstatita (En)-Ferrossilita (Fs) de Morimoto (1988) para piroxênios.....	41
Figura 8	- Diagrama Wollastonita+Enstatita+Ferrossilita (Q)-Jadeíta (Jd)-Egirina (Ae) de Morimoto (1988) para piroxênios.....	42
Figura 9	- Diagramas de variação Na, Si, Ti e Fe^{3+} (afu) contra mg $(Mg/Mg+Fe)$ para piroxênios.....	45
Figura 10	- Diagrama Cao vs. MgO (% peso) para piroxênios....	46
Figura 11	- Diagrama Na-Mg- Fe^* $\{Fe^{2+}+Mn+(Fe^{3+}-Na)\}$ para piroxênios.....	47
Figura 12	- "Trends" composicionais para piroxênios de diversos complexos alcalinos do Brasil.....	48
Figura 13	- Diagrama convencional Ca-Mg- Fe^* para piroxênios de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.....	49
Figura 14	- Histograma calculado com base na razão Ti/Al (afu) de piroxênios de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.....	50

Figura 15 -	Diagrama R^{3+} ($Al^{IV}+Fe^{3+}+Ti$)- Fe^{2+} -Mg de Foster (1960) para biotitas.....	51
Figura 16 -	Diagrama Al-Mg- Fe^{2+} para biotitas.....	52
Figura 17 -	Diagrama Al^{IV} -Fe/(Fe+Mg) para biotitas.....	53
Figura 18 -	Diagrama Fe^{3+} - Fe^{2+} -Mg para biotitas.....	54
Figura 19 -	Projeção dos componentes Andradita (And)-Schorlomita (Sch)-Uvarovita (Uv) de granadas.....	56
Figura 20 -	Diagrama Si-Mg/Mg+ Fe^{2+} de Leake (1978) para os anfibólios dos fonolitos do complexo do Mato Preto, PR.....	58
Figura 21 -	Projeção das proporções moleculares Ca-Mg- Fe^* ($Fe^{2+}+Fe^{3+}+Mn$) para anfibólios dos fonolitos do complexo do Mato Preto, PR.....	59
Figura 22 -	Diagrama CaO/Na_2O vs. Al_2O_3/TiO_2 de Rock (1987) para anfibólios dos fonolitos do complexo do Mato Preto, PR.....	60
Figura 23 -	Diagrama K_2O-Na_2O de Midlemost (1975).....	63
Figura 24 -	Diagramas de variação usando elementos maiores (% peso) vs. ID (índice de variação).....	65
Figura 25 -	Diagrama AFM ($Na_2O+K_2O-FeO_{tot}-MgO$).....	67
Figura 26 -	Diagramas de variação usando elementos traços (ppm) vs. ID.....	68
Figura 27 -	Diagrama Cr (ppm, em escala logarítmica) vs. ID..	70
Figura 28 -	Diagramas de variação reunindo Ni (ppm) contra os demais elementos traços (ppm).....	72
Figura 29 -	Diagrama Ni (ppm)-MgO (% peso).....	73
Figura 30 -	Diagramas de variação usando os elementos Terras Raras (ppm), analisados por fluorescência de raios X.....	74
Figura 31 -	"Spidergrams" para os elementos incompatíveis, analisados por fluorescência de raios X.....	76
Figura 32 -	"Spidergrams" para os elementos incompatíveis, analisados por plasma ICP.....	77
Figura 33 -	"Spidergrams" para os elementos Terras Raras, analisados por plasma ICP.....	79
Figura 34 -	Razão calculado/observado (C/O) obtida nos	

	cálculos de balanço de massas, admitindo-se processos de cristalização fracionada para as rochas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.....	89
Figura 35 -	Diagrama $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vs. $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	93
Figura 36 -	Diagrama $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ contra Sr (ppm).....	95
Figura 37 -	Diagrama $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ vs. SiO_2 (% óxido).....	96
Figura 38 -	Diagrama $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ vs. $1/(\text{Sr} \times 1000)$	96
Figura 39 -	Histograma construído a partir das razões iniciais das rochas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.....	97
Figura 40 -	Diagramas de variação relacionando a somatória de elementos Terras Raras (ETR), U, Th e Cs (ppm) contra ID.....	100
Figura 41 -	Diagrama R1R2 de De La Roche et al. (1980) para as rochas de diques alcalinos do complexo de Tunas, PR.....	104
Figura 42 -	Diagrama TAS ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ vs. SiO_2) para as rochas de diques alcalinos do complexo de Tunas, PR.....	104
Figura 43 -	Diagrama Ortoclásio (Or)-Albita (Ab)-Anortita (An) para os feldspatos dos traquitos do complexo de Tunas, PR.....	106
Figura 44 -	Diagrama Wollastonita (Wo)-Enstatita (En)-Ferrossilita (Fs) de Morimoto (1988) para piroxênios dos traquitos do complexo de Tunas, PR.	107
Figura 45 -	Diagrama Na-Mg-Fe* $\{\text{Fe}^{2+}+\text{Mn}+(\text{Fe}^{3+}-\text{Na})\}$ para piroxênios dos traquitos do complexo de Tunas, PR.	108
Figura 46 -	Diagrama mg ($\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}^{2+}$) vs. Si de Leake (1978) para anfibólios dos traquitos do complexo de Tunas, PR.....	109
Figura 47 -	Diagrama Na_2O vs. K_2O de Midlemost (1975) para os traquitos do complexo de Tunas, PR.....	111
Figura 48 -	Diagramas de variação usando elementos maiores (%)	

	peso) vs. ID (índice de diferenciação) para as rochas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo, incluindo os traquitos de Tunas.....	112
Figura 49 -	Diagramas de variação usando elementos traços (ppm) vs. ID para as rochas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo, incluindo os traquitos de Tunas.....	113
Figura 50 -	Diagramas de variação usando elementos Terras Raras (ppm) vs. ID para as rochas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo, incluindo os traquitos de Tunas.....	114
Figura 51 -	"Spidergrams" para: a) elementos incompatíveis analisados por fluorescência de raios X; e b) analisados por plasma ICP, normalizados pelo manto primordial de Wood et al. (1979); c) elementos Terras Raras, normalizados para os condritos de Boyton (1984), para os traquitos de Tunas, PR....	117
Figura 52 -	Diagramas Zr/Nb vs. Zr e Zr/Y vs. Zr.....	132
Figura 53 -	Diagramas Zr/Nb vs. Ba/Nb e Nb/Ba vs. La/Ba.....	134
Figura 54 -	Diagramas de variação Nb-Y e Cs-Y (ppm).....	135
Figura 55 -	Diagramas de variação utilizando elementos traços, Nb, La e Zr (ppm) de análise de rocha total contra Na (afu) de piroxênios de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.....	137
Figura 56 -	Diagramas de variação utilizando La(ppm) contra CaO e FeO (% peso) e mg ($Mg/Mg+Fe^{2+}$, afu) de piroxênios de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.....	138

LISTA DE TABELAS

página

Tabela 1	-	Composição química de feldspatos de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.....	162
Tabela 2	-	Composição química de nefelinas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.....	168
Tabela 3	-	Composição química de piroxênios de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.....	171
Tabela 4	-	Composição química de biotitas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.....	181
Tabela 5	-	Composição química de granadas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.....	185
Tabela 6	-	Composição química de anfibólios de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.....	186
Tabela 7	-	Composição química de minerais opacos de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.....	187
Tabela 8	-	Composição química de zeólitas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.....	188
Tabela 9	-	Composição química e norma CIPW de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.....	189
Tabela 10	-	Elementos traços e Terras Raras analisados por plasma ICP em diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e	

	São Paulo.....	195
Tabela 11 -	Composição química das litologias e fases minerais utilizadas nos cálculos de balanço de massas.....	197
Tabela 12 -	Coeficientes de partição empregados nos cálculos de balanço de massas.....	199
Tabela 13 -	Análise isotópica da razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ para diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.....	201
Tabela 14 -	Composição química de olivinas dos traquitos do complexo de Tunas, Paraná.....	202

LISTA DE FOTOS

página

Foto 1	-	Corte na estrada Sete Quedas-Dr. Ulisses (ponto 37) onde observa-se contato entre dique de fonolito peralcalino e o granito Três Córregos...	11
Foto 2	-	Fenocristal de nefelina, em fonolito peralcalino de Barra do Ponta Grossa, envolvido por piroxênio acicular, orientado segundo as faces do cristal..	23
Foto 3	-	Fenocristal de nefelina, em fonolito peralcalino de Barra do Teixeira, substituído por zeólita fibrorradiada.....	23
Foto 4	-	Agregados hexagonais de piroxênio envolvendo fenocristais de nefelina em fonolito peralcalino de Barra do Ponta Grossa.....	24
Foto 5	-	Fenocristal idiomórfico de piroxênio zonado, variando de diopsídio no centro, a augita nas bordas, em fonolito peralcalino de Barra do Teixeira.....	24
Foto 6	-	Fenocristal idiomórfico de melanita zonada em fonolito peralcalino do Banhadão.....	28
Foto 7	-	Xenólito constituído por piroxênio, opacos e olivina, envolvido por matriz formada por anfibólio, feldspato e opacos, em fonolito do Mato Preto.....	28
Foto 8	-	Xenólito constituído por feldspato alcalino, plagioclásio, anfibólio e opacos, em fonolito do Mato Preto.....	29
Foto 9	-	Cavidade preenchida por olivina no centro, envolvida por opacos, piroxênio, anfibólio e biotita, em fonolito do Mato Preto.....	29
Foto 10	-	Textura traquítica, definida pela orientação de cristais aciculares de piroxênio e cristais ripiformes de feldspato alcalino, em traquifonolito do Mato Preto.....	31

Foto 11 -	Nefelinito fonolítico (dique SQ36) caracterizado pela grande quantidade de cristais de melanita na matriz.....	31
Foto 12 -	Microssienito de Itapirapuã constituído por fenocristais de piroxênio em meio a uma matriz formada de piroxênio e feldspato alcalino.....	33
Foto 13 -	Textura traquítica dada pela orientação de feldspato alcalino ripiforme, em traquito do complexo de Tunas.....	105

AGRADECIMENTOS

*"Certos gestos são tão grandes, tão imensos
em sua silenciosa aparição,
que as palavras, ou outros gestos esboçados,
não conseguem traduzir nossa emoção!
Cada gesto permanece, quando passa,
mas não passa o imenso bem que ele gerou..."*
(Gratidão, M.J.B.L.Silva)

Escrever uma tese é uma tarefa que exige muito tempo e depende do apoio e estímulo de todos. Ao iniciar essa pesquisa com todo meu entusiasmo, jamais imaginava a jornada que iria seguir. Durante a mesma encontrei pessoas que a incentivaram com seu conhecimento; pessoas que trabalharam comigo acreditando naquilo que eu estava pretendendo; e pessoas que estiveram próximas, silenciosas, dando-me seu apoio. A todos devo minha gratidão e respeito:

- ao Prof. Dr. Celso de Barros Gomes por haver tornado este trabalho possível com sua orientação, seu apoio, incentivo e confiança;
- ao Prof. Dr. Enzo M. Piccirillo, orientador e amigo, ao qual, através do seu companheirismo devo o fato de fazer da Itália a minha segunda casa;
- ao Prof. Dr. João Carlos Biondi pelo acompanhamento nos trabalhos de campo;
- ao Prof. Dr. Giulliano Bellieni pela orientação nas análises de microsonda eletrônica, desenvolvidas na Universidade de Pádua;
- ao Prof. Dr. Ricardo Petrini, pela execução das análise isotópicas realizadas na Universidade de Pisa;
- ao Prof. Dr Paolo Censi, pela execução das análises por plasma ICP na Universidade de Palermo;
- ao amigo e companheiro Angelo De Min com quem sempre pude contar nas horas que precisei de sua ajuda e de sua amizade e que me acompanhou em toda a jornada italiana;
- a i miei cari compagni di lavoro, Paolo, Andrea, Max, Luigi, Marco, Grazia e Adriano, per i momenti che siamo stati insieme ai computer, nei laboratori e, anche, al caffè;

- aos profs. Dr. Francesco Princivalle e Dr. Piero Comin-Chiaramonti por sua solicitude;
- ao Romano pela confecção das lâminas delgadas na Universidade de Trieste;
- ao Lorenzo por toda a ajuda prestada na preparação de amostras para as diversas análises;
- a todas as demais pessoas do Instituto de Mineralogia e Petrografia da Universidade de Trieste, que direta ou indiretamente estiveram sempre dispostas a colaborar no desenvolvimento deste trabalho;
- a Raul, Ana Fioretti e Claudio Mazzolli pelo acompanhamento no laboratório de microsonda eletrônica da Universidade de Pádua;
- a Aurelio Giaretta, do laboratório de análises químicas da Universidade de Pádua, pela sua paciência e grande colaboração;
- a Oto Laurentino Rosa, desenhista do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná, pela dedicação com que confeccionou o mapa geológico;
- ao companheiro Prof. Dr. José Manoel dos Reis Neto pelas discussões a respeito dos dados isotópicos;
- aos amigos Machiavelli e Loiri pela hospitalidade que me receberam em sua casa em São Paulo no período em que cursei as disciplinas da pós-graduação;
- ao CNPq, por bolsa de estudos "sanduíche";
- ai miei fratellini italiani Gaetano, Marco, Clara e Daniela che, con affetto, bontà e dedicazione, mi hanno dato, nei miei più difficili e nostalgici momenti una nuova e cara famiglia.

RESUMO

Diques e "plugs" alcalinos de composição fonolítica l.s., encontrados na região do Vale do Ribeira, são estudados do ponto de vista geoquímico e petrológico.

Essas rochas ocorrem associadas aos complexos do Banhadão, Itapirapuã e Mato Preto, e aos "plugs" de Sete Quedas e Barra do Teixeira, ou ocorrem como diques cortando o granito Três Córregos, nas localidades de Barra do Ponta Grossa, Morro do Chapéu, Cerro Azul e na estrada entre Sete Quedas e Dr. Ulisses (SQ-DR.U). Quimicamente, esses corpos são classificados como: fonolitos peralcalinos (mais comuns); fonolitos e traquifonolitos (presentes somente no Mato Preto); e nefelinitos fonolíticos (observados em Sete Quedas e em um dos diques SQ-DR.U). O fonolito peralcalino de Itapirapuã é petrograficamente descrito como um microssienito, devido à ausência de nefelina modal.

Quanto à mineralogia são rochas constituídas, essencialmente, por feldspato alcalino (em geral rico em K_2O e, menos comumente, em Na_2O); piroxênio variando de cálcicos (diopsídio, hedembergita e augita) a sódico-cálcicos (egirina-augita) e sódicos (egirina) e nefelinas. Subordinadamente, ocorrem biotitas; granadas titaníferas (nos nefelinitos fonolíticos e no fonolito peralcalino do Banhadão); anfibólios (no fonolito do Mato Preto) e minerais opacos (fonolito do Mato Preto).

A geoquímica de elementos maiores, traços e Terras Raras (ETR) indica a derivação dos fonolitos peralcalinos a partir dos nefelinitos fonolíticos, tendo fonolitos peralcalinos menos evoluídos como termos intermediários. Os fonolitos, traquifonolitos e microssienitos são derivados diretamente do fracionamento dos nefelinitos fonolíticos. Estas passagens são testadas por meio de cálculos de balanço de massas a partir de modelos de cristalização fracionada, com base nos elementos maiores e traços.

O estudo de "spidergrams", construídos com base nos elementos traços ou ETR, revela grande afinidade entre todas as rochas estudadas, com variações apenas na intensidade das anomalias.

Aliando-se o estudo de diagramas de variação aos padrões de elementos traços e Terras Raras, as rochas estudadas são separadas em dois grupos principais: o primeiro rico em MgO (nefelinitos fonolíticos, fonolitos, microssienitos e fonolitos peralcalinos menos evoluídos); e o segundo pobre em MgO (demais rochas), dividido em: rochas ricas em elementos traços e ETR (Mato Preto); rochas pobres em ETRP (Barra do Ponta Grossa, Cerro Azul e Sete Quedas) e rochas intermediárias (Morro do Chapéu, Barra do Teixeira e diques SQ-DR.U).

Os fonolitos l.s. possuem razões isotópicas $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ com valores entre 0,704834 (nefelinito fonolítico de Sete Quedas) e 0,71051 (dique SQ-DR.U).

Os diques que compõem o complexo de Tunas, de composição traquítica, são examinados separadamente, uma vez que formam um grupo quimicamente diferente daqueles definidos para as rochas fonolíticas l.s.; admite-se, assim, fontes diversas para a geração dessas rochas.

Com relação ao potencial econômico, as rochas do Mato Preto são definidas como bons indicadores do alto conteúdo em ETR e elementos traços.

ABSTRACT

Alkaline dikes and plugs of phonolitic composition found in Ribeira Valley area, Brazil were studied on its geochemical and petrological aspects.

Those rocks are present either associated to the Banhadão, Itapirapuã and Mato Preto complexes or as dikes cutting the granites rocks of the Três Córregos Complex in the cities of Barra do Ponta Grossa, Morro do Chapéu, Cerro Azul and along the road between Sete Quedas and Dr. Ulisses (SQ-DR.U). Chemically, those bodies are classified as peralkaline phonolites (the most usually found); phonolites and trachyphonolites (found in Mato Preto complex); and phonolitic nephelinite (found in Sete Quedas and in one of the SQ-DR.U dikes). The peralkaline phonolite from Itapirapuã is described petrographically as microsyenite due to the absence of modal nepheline.

From the mineralogical point of view they are formed essentially by alkali feldspars, usually, potassium-rich feldspar and in less extent, sodium-rich feldspar; pyroxene, covering the range from calcium (diopside, hedenbergite and augite) to calcium-sodium (aegirine-augite) and sodium pyroxenes (aegirine) and nephelines. Secundarily, biotites are found, as well as titanian garnet (in the phonolitic nephelinite and in the peralkaline phonolite from Banhadão; amphibole and opaques (in the phonolite from Mato Preto).

The geochemistry of trace, major and Rare Earth (REE) elements indicates that the peralkaline phonolites are originated from phonolitic nephelinite, occurring more primitive peralkaline phonolites as intermediate terms. The phonolites, trachyphonolites and microsyenites are derived directly from phonolitic nephelinite. These changes are tested through mass-balance calculations from fractional crystallization models based on trace and major elements.

The study of spidergrams built on bases of trace elements or REE shows great affinity among all studied rocks, only the anomalies intensity presenting variations.

The analysis of variation diagrams and the traces and REE pattern together lead to the conclusion that the rocks can be

divided in two main groups, according to the MgO content; rocks enriched in MgO (phonolitic nephelinite, phonolites and more primitive peralkaline phonolite). All the others are poor in MgO and can be subdivided in three compositional groups; rocks enriched in trace elements and REE (Mato Preto); rocks poor in HREE (Barra do Ponta Grossa, Cerro Azul and Sete Quedas) and rocks with intermediate composition (Morro do Chapéu, Barra do Teixeira and the SQ-DR.U dikes).

The phonolites l.s. present isotopic ratio $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ between 0,704834 (phonolitic nephelinite from Sete Quedas) and 0,71051 (SQ-DR.U dike).

The Tunas Complex dikes of trachytic composition are taken separately, since they form a chemically different group from the ones defined as phonolitic rocks; for that reason, one attributes different sources to the generation of both groups.

The high content of trace elements and REE in the rocks found in Mato Preto define them as good indicators, from the view point of economical potencial.

I. INTRODUÇÃO

A região do Vale do Ribeira é uma das áreas mais ricas em corpos alcalinos do Sul do Brasil, contando com várias ocorrências maiores: complexos de Tunas, Itapirapuã, Mato Preto, Barra do Itapirapuã e Banhadão; diques e "plugs" menores, alguns já conhecidos na literatura: Barra do Teixeira, Sete Quedas, Barra do Ponta Grossa; e os demais, de conhecimento mais restrito: Morro do Chapéu, Cerro Azul e diques na estrada Sete Quedas-Dr. Ulisses.

O estudo dessas rochas tem sempre despertado a atenção de pesquisadores, dispensando-se maior importância àquelas de interesse econômico, como, por exemplo, os complexos associados a carbonatitos, como Mato Preto e Barra do Itapirapuã.

Alguns trabalhos de detalhe, voltados aos estudos petrológicos de alguns complexos, podem ser destacados: Gomes (1970), Itapirapuã; Fuck (1972), Gomes et al. (1987) e Vasconcellos (1991), Tunas; Ruberti (1984), Banhadão; e Jenkins II (1987), Mato Preto.

As ocorrências alcalinas citadas, à exceção do complexo de Tunas, situam-se às margens do Rio Ribeira, próximas às localidades homônimas (Fig. 1), todas ao norte da cidade de Curitiba, capital do Estado. Tunas localiza-se na Estrada da Ribeira, mais ao sul do Rio Ribeira.

O acesso às áreas se dá, principalmente, pela BR476, conhecida como "Estrada da Ribeira" e pela PR092, também chamada de "Rodovia dos Minérios". Acessos secundários são feitos pelas estradas: Cerro Azul-Tunas (PR340), Cerro Azul-Mato Preto, Cerro Azul-Barra do Teixeira, e a partir desta, Sete Quedas-Dr. Ulisses (Fig. 1).

Os complexos alcalinos, diques e "plugs" fonolíticos encontram-se encaixados em rochas metassedimentares e metaígneas dos Grupos Açungui e Setuva, e rochas graníticas do complexo Três Córregos (Anexo).

O objetivo principal deste trabalho é o de correlacionar os diversos corpos e verificar a sua possível geração a partir de um único magma ou de magmas diversos. Com isso pretende-se contribuir ao melhor entendimento sobre a geotectônica

FIGURA 1: Mapa de localização da região estudada.

da área no sentido de definir o Lineamento Ribeira para a colocação dessas rochas, buscando respostas para os diferentes tipos litológicos (sienitos, carbonatitos, melteigitos, malignitos, nefelina sienitos, etc.) posicionados lado a lado por esse fenômeno. Com base neste estudo, objetiva-se também a caracterização das rochas fonolíticas l.s. como indicadoras da importância econômica dos complexos aos quais estão associadas, procurando-se indícios de enriquecimento em elementos Terras Raras (ETR), Nb, fosfatos, Ti, entre outros.

As rochas fonolíticas l.s. constituem o objeto de estudo deste trabalho e, portanto, serão aqui caracterizados apenas os corpos aos quais elas se mostram comuns: complexos de Itapirapuã (ponto 34 no mapa em anexo), Banhadão (ponto 24) e Mato Preto (pontos 19 a 22); "plugs" de Barra do Teixeira (ponto 10), Sete Quedas (ponto 23); e diques de Barra do Ponta Grossa (pontos 6 e 12), Morro do Chapéu (pontos 7 e 9), Cerro Azul (ponto 42) e Sete Quedas-Dr. Ulisses (pontos 36, 37, 39, 40 e 41, doravante referidos, respectivamente, como diques SQ36, SQ37, SQ39, SQ40 E SQ41).

Os diques associados ao complexo de Tunas (ponto 44) são, principalmente, traquitos, apresentando características químicas bastante diferentes dos fonolitos l.s.. A correlação dessas rochas com as demais é dificultada, uma vez que os traquitos se distinguem na maioria dos diagramas formando sempre um grupo isolado. Por este motivo o complexo de Tunas será estudado em um capítulo à parte, procurando-se, assim, a sua melhor caracterização.

I.1. Objetivos

1. Definição geológica dos corpos fonolíticos l.s., em complexos, "plugs" e diques alcalinos já conhecidos na região do Vale do Ribeira e em suas adjacências.

2. Caracterização petrográfica, geoquímica e isotópica, visando à associação do material fonolítico com ocorrências congêneres vizinhas.

3. Determinação do quimismo mineral, com análise por microsonda eletrônica de fenocristais, microfenocristais e minerais constituintes da matriz.

4. Estudo da evolução petrogenética do magmatismo alcalino mesozóico que afetou a região, através de cálculos de balanço de massa, com tentativas de caracterização dos processos de cristalização fracionada.

5. Correlação geoquímica dos diversos corpos, a fim de verificar a sua possível geração a partir de um único magma ou de magmas diversos.

6. Caracterização da importância econômica dessas rochas, uma vez que, em geral, mostram-se ricas em matérias primas. Através das associações paragenéticas pretende-se um melhor conhecimento da metalogênese associada, objetivando-se a definição das rochas fonolíticas l.s. como indicadoras do enriquecimento em ETR e elementos traços em complexos alcalinos.

7. Compreensão do quadro evolutivo a partir de levantamento isotópico.

II. MÉTODOS DE TRABALHO

A pesquisa foi dividida em trabalhos de campo e atividades de laboratório, sendo que as últimas incluíram análises petrográficas, geoquímica de rochas, química mineral e análises isotópicas.

II.1. Trabalhos de campo

Os trabalhos de campo tiveram como objetivo a delimitação, caracterização e coleta de amostras dos diques e "plugs" fonolíticos l.s.. Inicialmente realizou-se levantamento bibliográfico e interpretação de fotos aéreas em escala 1:70.000 (Cruzeiro do Sul, 1962), com confecção de mapa de caminamento da área e localização dos principais complexos alcalinos e rochas fonolíticas já descritas. Nesse mapa, de escala 1:100.000, foram também projetados os dados aerogeofísicos do Projeto Serra do Mar Sul (1978) numa tentativa de delimitação de novas ocorrências. Os trabalhos foram divididos em três etapas: na primeira, realizada em setembro de 1991, foram amostrados os diques de Barra do Ponta Grossa e Morro do Chapéu, o "plug" de Barra do Teixeira e diques do complexo de Mato Preto. Na segunda etapa, em abril de 1992, concluiu-se a amostragem de Mato Preto, e foram também estudados o "plug" de Sete Quedas e diques associados ao complexo Banhadão. Durante a terceira etapa (agosto de 1992), caracterizaram-se os diques relacionados com os complexos de Itapirapuã e Tunas, e foram localizados diversos outros cortando o granito Três Córregos, na estrada que une as localidades de Sete Quedas e Dr. Ulisses (antiga Vila Branca). Nesta última etapa, amostrou-se, também, o dique que ocorre na estrada Cerro Azul-Tunas, descrito por Pinese (1989). A área estudada está incluída na Folha de Cerro Azul (SG.22-X-B-IV) do Projeto Integração e Detalhe Geológico do Vale do Ribeira (CPRM, 1980) e cobre cerca de 230 km², sendo que as rochas alcalinas perfazem uma pequena porcentagem dessa região (Anexo).

II.2. Trabalhos de laboratório

II.2.1. Petrografia

Foram selecionadas 56 amostras entre os diques e "plugs" fonolíticos l.s. da região do Vale do Ribeira e confeccionadas secções delgadas para fins de investigação microscópica.

Nessa etapa procurou-se caracterizar a composição dos fenocristais, microfenocristais e matriz das rochas estudadas, sendo também dado enfoque à descrição textural. A análise modal não foi possível de ser realizada devido à granulação muito fina da maioria das rochas. O objetivo principal da análise foi o de separar grupos textural ou mineralogicamente semelhantes, numa primeira tentativa de caracterizar séries ou suítes correlatas.

II.2.2. Química de rochas

As amostras selecionadas para a análise petrográfica foram, também, estudadas do ponto de vista químico. Empregou-se o método da fluorescência de raios X para os elementos maiores, alguns elementos traços e três Terras Raras (La, Ce e Nd). Em apenas 15 amostras foram analisados os demais traços e Terras Raras por meio de plasma ICP.

Fluorescência de raios X

As 56 amostras foram, inicialmente, moídas e, depois, montadas em pastilhas de ácido bórico e cera. As análises foram realizadas em fluorescência automática, de marca Philips, modelo PW 1404, do Instituto de Mineralogia e Petrografia da Universidade de Trieste, Itália. Foram usadas curvas de padronização construídas com padrões internacionais (Bellieni et al., 1983).

SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, FeO, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, P₂O₅ Cr, Ni, Zr, Y, Rb e Sr foram analisados com tubo de Rh, utilizando-se os seguintes cristais:

PET: Si, Al, K e P

PX1: Mg e Na

LIF (220): Fe, Cr, Nb, Ni, Rb, Sr, Y e Zr

LIF (200): Ca, Mn e Ti

Os elementos Terras Raras (La, Ce e Nd), além do Ba, foram determinados com tubo de W e cristal LIF (220). A exatidão para os elementos maiores varia entre 2 e 5%, enquanto que para os traços ela é de 10%.

Com os dados obtidos e empregando-se o programa "DBASE IGOR", foram confeccionadas tabelas, onde as porcentagens dos óxidos acham-se recalculadas para 100%, os elementos traços e Terras Raras fornecidos em ppm, e calculados os valores de R1 e R2 (De La Roche et al., 1980), mg (MgO/MgO+FeO), Na₂O+K₂O e o índice agpaítico (Na+K/Al mol).

Ainda com o programa "DBASE IGOR", e base anidra, foi calculada a norma CIPW, usando-se o valor de 0,20 para a razão Fe₂O₃/FeO das rochas alcalinas.

As amostras trabalhadas por fluorescência de raios X foram também analisadas para perda ao fogo (L.O.I.) e FeO, no laboratório de química do Departamento de Mineralogia e Petrologia da Universidade de Pádua, Itália.

A análise de perda ao fogo foi feita por calcinação da amostra a 920°C, sendo corrigida para a oxidação de Fe²⁺ a Fe³⁺. FeO foi determinado por titulação com KMnO₄ N/10, pelo método de Pratt & Washington.

Plasma ICP

Foram selecionadas 15 amostras, com base nos dados da fluorescência de raios X, levando-se em consideração os diversos corpos e as diferenças químicas observadas. Essas amostras foram preparadas e analisadas pelo Prof. Dr. Paulo Censi, junto ao laboratório do Instituto de Mineralogia, Petrografia e Geoquímica da Universidade de Palermo, Itália, conforme método analítico descrito em Caseta et al. (1990).

II.2.3. Química mineral

Com base na descrição petrográfica foram selecionadas 23 amostras de rochas fonolíticas l.s. para análise da química mineral.

A composição química das principais fases minerais foi obtida por meio de microsonda eletrônica, de fabricação francesa, marca CAMECA-CAMEBAX, do laboratório do Departamento de Mineralogia e Petrologia da Universidade de Pádua, Itália, operando-se a 15 kV e 5 nA. Usou-se o programa PAP-CAMECA para converter a contagem de raios X em % peso dos óxidos correspondentes. Consideraram-se aceitáveis os resultados apresentando erros de 1-2% para elementos maiores e 5% para menores (Salviulo et al., 1992).

Analisaram-se 10 elementos, utilizando-se quatro espectrômetros e os seguintes cristais:

TAP: Si, Al, Mg e Na

PET: Ti, Ca e K

LIF: Fe, Mn e Cr

A concentração de O foi obtida por estequiometria, e os padrões empregados foram os seguintes:

Standard nº 1: Na (8,52%), Mg (0,09%), Al (10,12%), Si (31,94%),

K (0,18%), Ca (0,45%), Fe (0,05%), O (48,65%);

Standard nº 2: K (13,03%), Na (0,33%), Al (9,09%), Si (30,56%),

Fe (0,88%), O (46,11%);

Standard nº 3: Mg (60,32%), O (39,68%);

Standard nº 4: Fe (69,94%), O (30,06%);

Standard nº 5: Al (52,93%), O (47,07%);

Standard nº 6: Ca (34,50%), Si (24,18%), O (41,32%);

Standard nº 7: Mn (36,42%), Ti (31,76%), O (31,82%);

Standard nº 8: Cr (68,42%), O (31,58%).

No total, foram analisados 296 pontos, incluindo minerais da matriz (1 ponto por cristal), microfenocristais e fenocristais (2 pontos por cristal, sendo um no núcleo e o outro nas bordas). Os principais minerais estudados foram: feldspatos, nefelinas, piroxênios, biotitas e granadas e, subordinadamente, anfibólios, opacos, zeólitas e olivinas.

II.2.4. Geocronologia e isotopia

Para o estudo isotópico recorreu-se a 13 das amostras selecionadas para a análise dos elementos Terras Raras. As rochas foram primeiramente preparadas no laboratório do

Instituto de Mineralogia e Petrografia da Universidade de Trieste, e as razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, para rocha total, determinadas por espectrômetro de massa no Instituto de Geocronologia e Geoquímica Isotópica da Universidade de Pisa, seguindo-se metodologia descrita em Petrini *et al.* (1987). A razão inicial $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0$ foi calculada usando-se idade de 70 Ma ou 110 Ma, dependendo do complexo e com base em dados bibliográficos; como constantes foram usadas:

$$^{87}\text{Rb} = 1,42 \times 10^{-11}$$

$$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr} = \text{Rb}/\text{Sr} \times 2,89362$$

As determinações das concentrações de Rb e Sr foram feitas por fluorescência de raios X e confirmadas pelas análises por plasma ICP.

II.2.5. Simbologia utilizada nas figuras

Devido ao grande número de variáveis a ser usado nas figuras, combinando-se diferentes corpos e litologias, optou-se pelo emprego de um mesmo símbolo para todas as rochas de uma mesma ocorrência (complexo, "plug" ou dique), com os tipos litológicos diferenciados por cores.

Assim, no complexo do Mato Preto, todos os pontos acham-se representados por quadrados: quadrados vazios indicam fonolitos peralcalinos; quadrados cinzas, traquifonolitos e quadrados pretos, fonolitos. No "plug" de Sete Quedas, os dados são indicados por losangos: pretos, fonolitos peralcalinos; cinzas, nefelinitos fonolíticos. Para os diques da estrada Sete Quedas-Dr. Ulisses e para o dique de Cerro Azul, recorreu-se a triângulos: pretos, fonolitos peralcalinos; cinzas, nefelinitos fonolíticos. O asterisco do complexo de Itapirapuã representa os microssienitos. Todos os demais símbolos caracterizam fonolitos peralcalinos.

III. GEOLOGIA E TRABALHOS ANTERIORES

As rochas alcalinas do Vale do Ribeira, incluindo complexos, diques e "plugs" ocorrem cortando rochas de idade Proterozóica dos Grupos Açungui e Setuva, além do complexo batolítico de Três Córregos, de idade entre 510-640 Ma (Issler & Freire, 1985).

A região é afetada por grandes falhamentos de direção NE que limitam três grandes blocos tectônicos (Ronchi et al. 1993). As principais feições estruturais são as falhas da Lancinha e de Morro Agudo. As ocorrências alcalinas localizam-se, preferencialmente, ao norte da Falha de Morro Agudo e ao sul da Falha de Itapirapuã, situadas no compartimento Cerro Azul (Góis et al. 1985), com exceção do complexo de Tunas que aparece ao sul da Falha de Morro Agudo. O complexo de Mato Preto ocorre ao longo desta última falha.

Outra feição importante na região é o Lineamento Ribeira, considerado por Fiori (1985), como uma falha sintética à de Morro Agudo.

As rochas fonolíticas l.s. só podem ser divididas em diferentes tipos litológicos, com base em classificações químicas. No campo, todas as ocorrências são muito semelhantes, dificilmente formando bons afloramentos; são encontradas em blocos rolados, normalmente muito intemperizados. Macroscopicamente, podem ser separadas apenas com base na cor e na textura. Quanto à cor, são definidos dois grupos principais: o primeiro, de coloração acinzentada, engloba os fonolitos l.s. de Barra do Ponta Grossa, Morro do Chapéu, Banhadão, Itapirapuã, Cerro Azul e os diques SQ36, SQ39 e SQ40; o segundo, menos comum e de coloração esverdeada, inclui as rochas de Sete Quedas, Mato Preto e os diques SQ37 e SQ41. Dos diques presentes em Mato Preto, dois possuem variação entre os tipos acinzentado e esverdeado. Com relação à textura, foram caracterizados como porfiríticos (mais comum) e não-porfiríticos. O primeiro tipo é comum à maioria dos casos, à exceção dos diques de Mato Preto, do "plug" de Sete Quedas e do dique SQ39.

As relações de contato dessas rochas com as encaixantes são em geral indefinidas, visto que elas ocorrem comumente na forma de blocos de tamanhos variados com elevado grau de alte-

ração. Apenas na estrada Sete Quedas-Dr. Ulisses foi possível observar contato bem definido entre os fonolitos l.s. e o granito Três Córregos, onde foi reconhecida auréola de contato de aproximadamente 1-2 m para cada lado dos diques (Foto 1).

A delimitação de diques ou "plugs" é feita apenas por foto aérea. Contudo quando os primeiros ocorrem cortando os complexos alcalinos, essa delimitação se mostra, em geral, impossível. No Mato Preto, nas frentes de lavra de fluorita observam-se diques verticais de natureza fonolítica e já completamente intemperizados, penetrando as rochas carbonatíticas. As relações de contato são mascaradas pela intensa alteração intempérica.

De maneira geral, os corpos fonolíticos l.s. são caracterizados por sua granulação muito fina, coloração acinzentada ou esverdeada, e pela presença de fenocristais de feldspato ou nefelina de coloração rósea ou branca nas variedades porfiríticas.

Foto 1: Corte na estrada Sete Quedas-Dr. Ulisses (ponto 37) onde observa-se contato entre dique de fonolito peralcalino (porção mais clara) e o granito Três Córregos (porção castanha).

III.1. Trabalhos regionais

As rochas alcalinas do Estado do Paraná foram citadas pela primeira vez por Carvalho & Pinto (1937), que encontraram rochas sieníticas, cortadas por diques de traquito, próximo à localidade de Tuneiras.

O primeiro trabalho de detalhe sobre o assunto foi o de Trein et al. (1967), que descreveu o complexo de Tunas do ponto de vista petrográfico, com vistas a correlacioná-lo com as demais ocorrências de rochas alcalinas do Brasil. Os autores citaram a ocorrência de fonolito nos Rios Mato Preto e Ponta Grossa, na confluência do Ribeirão Claro com o Rio Turvo, no Rio Sete Quedas e no Ribeirão Bonsucesso.

Cordani & Hasui (1968), realizaram datação pelo método K-Ar das rochas sieníticas de Tunas e fonolíticas do Mato Preto e de Barra do Teixeira. Para as primeiras obtiveram idades entre 70 e 110 Ma e para as variedades fonolíticas, 70 Ma, caracterizando, assim, duas fases de magmatismo alcalino na região de Cerro Azul. Segundo esses autores, o complexo de Tunas teria sido "formado em fases magmáticas sucessivas, durante certo intervalo de tempo".

Algarte (1972) assinalou que as ocorrências de rochas alcalinas nos estados do Paraná e São Paulo seguem um alinhamento NW, paralelo ao Arco de Ponta Grossa, e relacionou a sua formação à reativação Wealdeniana, que ocorreu durante o Mesozóico, com os efeitos se estendendo até o Terciário.

Herz (1977) associou a formação de rochas alcalinas do então chamado Grupo Tunas a "hot spots", correspondendo a um dos braços de uma junção triplíce, durante a abertura do Atlântico Sul, fazendo parte do segundo estágio que ocorreu no Aptiano-Santoniano e do terceiro estágio, no Santoniano, Paleoceno Inferior.

Com base em levantamento aeromagnético-cintilométrico nos estados do Paraná e São Paulo, Ferreira & Algarte (1979) delimitaram uma possível subcâmara magmática de cerca de 400 km², alongada segundo E-W, que representaria as raízes do distrito alcalino de Cerro Azul. Essa câmara estaria representada na superfície por inúmeros e pequenos corpos fonolíticos, que são descritos no polígono formado pelas alcalinas do Banhadão-

Itapirapuã-Mato Preto-Cerro Azul. Os autores confirmaram, a partir de mapas aerogeofísicos, o condicionamento estrutural NW dos complexos de Tunas, Cerro Azul, Mato Preto, Barra do Itapirapuã e Itapirapuã.

Ulbrich & Gomes (1981) fizeram uma revisão de grande número de rochas alcalinas do Brasil do ponto de vista geológico e petrográfico, agrupando-as em oito associações, sendo que: o complexo do Banhadão faz parte do tipo I, sienítico saturado a insaturado; Tunas do tipo IV, associação gabro alcalino máfico-ultramáfico; Barra do Teixeira, Sete Quedas e Mato Preto do tipo V, associação basalto alcalino-traquito-fonolito. As rochas são também divididas em grupos de idade: Mato Preto e Barra do Teixeira, 40-90 Ma; Tunas e Itapirapuã, 100-110 Ma. Os autores colocaram ainda as rochas de Tunas, Itapirapuã, Banhadão, Barra do Teixeira, Mato Preto, Barra do Ponta Grossa e Sete Quedas como integrando uma única província, a qual denominaram Província de Tunas.

D'Elboux et al. (1982) sugeriram que os alinhamentos estruturais de direção E-W, na região do Vale do Ribeira, representariam um sistema utilizado para o "emplacement" dos corpos de rochas alcalinas, sendo estas responsáveis por anomalias radioativas e por alguns tipos de mineralizações a elas associadas. Os autores interpretaram a evolução genética dessas rochas como importante processo remobilizador e reconcentrador de mineralizações.

Ferreira (1982), estudando a evolução tectônica do Arco de Ponta Grossa durante a reativação Wealdeniana, propôs que a geração das rochas alcalinas de Tunas, Mato Preto, Barra do Ponta Grossa, Sete Quedas, Barra do Teixeira e Banhadão se deu em uma segunda fase, entre o Aptiano e o Eoceno, tomando-as ainda como o resultado de pulsações vulcânicas controladas pelo alinhamento São Jerônimo-Curiúva.

Almeida (1983) relacionou o magmatismo mesozóico na região sul da Plataforma Sul-Americana ao fenômeno diastrófico que levou à ruptura da primitiva placa continental, sucedida pela abertura do Oceano Atlântico. O autor agrupou as rochas alcalinas em doze províncias dispostas ao redor das bordas da Bacia do Paraná, próximo à Bacia de Santos e no interior cratônico da Bolívia.

Soares (1984), discutindo o conceito de Província Petrográfica Alcalina, considerou os complexos alcalinos do Vale do Ribeira (Tunas, Itapirapuã, Mato Preto e Banhadão) como parte da Província do Arco de Ponta Grossa, sendo esta uma subprovíncia alcalina do Brasil Meridional. A autora fez um levantamento dos dados petrográficos e químicos dos diferentes complexos, assinalando que seria interessante investigar a razão geológica condicionante da diferenciação geoquímica definida em análises modais, normativas e fatoriais.

Soares (1986) estabeleceu um modelo de variação composicional para as rochas alcalinas do Brasil Meridional, caracterizando a sua formação por fusão parcial e cristalização fracionada a partir de rochas do manto, a grandes profundidades e altas pressões, o que viria explicar a variação química contínua entre os campos subsaturado e saturado.

No livro sobre as rochas alcalinas e carbonatíticas do mundo, Wooley (1987) fez uma pequena revisão bibliográfica sobre os complexos de Itapirapuã, Banhadão, Mato Preto e Tunas e dos "plugs" de Sete Quedas e Barra do Teixeira, levando em consideração aspectos petrográficos e radiométricos.

Mais recentemente, em trabalho de revisão das rochas carbonatíticas brasileiras, Gomes et al. (1990) reuniram informações gerais sobre as ocorrências de Barra do Itapirapuã, Itapirapuã e Mato Preto.

III.2. Complexo de Itapirapuã

Foi estudado detalhadamente por Gomes (1970), sendo constituído de nefelina sienitos, biotita melteigito, melanita malignito, wollastonita-melanita-nefelina sienito, pulaskito, cancrinita mariupolito e tinguaitos. Mineralogicamente, as rochas do complexo são formadas por nefelina, ortoclásio pertítico e piroxênio (Na-augita, egirina-augita e egirina), além de melanita. Os principais acessórios são magnetita, apatita e titanita. São rochas pobres em Si e Mg, com enriquecimento em Ca, álcalis e voláteis, com altas concentrações em V, Nb, Y, Cu e Ba. Ainda segundo aquele autor, a variação química encontrada indica para as rochas de Itapirapuã formação por processos de

cristalização fracionada a partir de magma de composição basáltica.

Os tinguaítos, material de interesse deste estudo, são definidos por Gomes (1970) como rochas de coloração esverdeada constituídas de nefelina, feldspato alcalino e piroxênio; a textura é tipicamente tinguaítica e porfirítica, sendo os fenocristais de nefelina e feldspato e, subordinadamente, piroxênio. Como acessórios citam-se magnetita e titanita e, como produtos de alteração da nefelina, ocorrem cancrinita, sodalita, calcita e zeólitas.

Gomes & Dutra (1970) observaram que todas as rochas do complexo, com exceção do tinguaíto, caem no vale térmico do diagrama Ne-Ks-Qz e que essas rochas seriam formadas por diferenciação magmática a partir de magma parental de composição basáltica, e por processos metassomáticos e de assimilação de calcários.

Quanto à idade, foram datados pelo método K-Ar um nefelina sienito (feldspato) e um melteigito (biotita), com idades de 104,8 e 101,4 Ma, respectivamente (Amaral et al., 1967). Um tinguaíto, datado por Gomes & Cordani, (1965; in Hama et al., 1977), possui idade de $65,6 \pm 3,3$ Ma.

III.3. Complexo do Banhadão

Descrito pela primeira vez por Algarte (1972), como formado por sienitos nefelínicos e fonolitos, foi preliminarmente caracterizado por Kaefer & Algarte (1972), como sendo um corpo de 11 km², composto por sienitos nefelínicos, fonolitos e ijolitos, encaixados nas rochas graníticas do Três Córregos. Os fonolitos, de coloração acinzentada e textura traquítica, constituem-se de feldspato alcalino, nefelina e egirina-augita como fases dominantes, além de sodalita e biotita. Apatita, epidoto, opacos, titanita e rutilo são os principais acessórios e, secundariamente, aparecem cancrinita e calcita (Kaefer & Algarte, 1972).

O complexo foi datado pelo método K-Ar (Hama et al., 1977), e obtidas idades de 118 ± 4 Ma em biotita de malignito e 68 ± 1 Ma em anortoclásio de foiaíto. Admitem-se pulsações suces-

sivas para justificar a diferença de 50 Ma entre as duas datações.

Ruberti (1984) desenvolveu tese de doutoramento sobre a petrologia do complexo alcalino do Banhadão, estudando-o do ponto de vista petrográfico, geoquímico, isotópico e de química mineral. Os dados permitiram distinguir três associações magmáticas distintas: a primeira inclui rochas ultrabásicas a intermediárias, com melanita-nefelina sienitos, nefelina sienitos I, nefelina sienitos II-róseos e nefelina sienitos II-cinzas; a segunda engloba rochas ultrabásicas a básicas, com flogopita melteigitos, malignitos e feldspato-melanita ijolitos; a terceira, formada por rochas de granulação fina a afanítica, é denominada genericamente de fonolitos. O autor sugere que as rochas foram formadas em intrusões sucessivas, a partir de magmas bem distintos, sendo os fonolitos gerados de um magma de composição nefelinítica.

Idades determinadas pelo método K-Ar forneceram os seguintes dados: 127 Ma para micro melanita-nefelina sienito; 108 Ma para flogopita melteigitos; e 95 e 102 Ma para os fonolitos (Ruberti, 1984).

Os fonolitos descritos por Ruberti (1984) são rochas esverdeadas constituídas por feldspato alcalino, piroxênio e nefelina como microfenocristais em matriz consistindo de feldspato alcalino, nefelina, piroxênio, cancrinita, mineral do grupo da sodalita e, raramente, fluorita, sendo a textura traquítica.

III.4. Complexo do Mato Preto

Lapido-Loureiro & Tavares (1983) reconheceram a ocorrência de carbonatitos em Mato Preto e caracterizaram quatro fases de magmatismo para a formação do complexo: a primeira, de resfriamento lento, gerou ijolitos e nefelina sienitos; a segunda, de caráter explosivo, originou tufos e brechas vulcânicas com matriz sílico-carbonática; a terceira formou os carbonatitos calcíticos; e a quarta, de caráter extrusivo, é responsável pela formação de fonolitos e fonolitos porfiríticos.

Jenkins II (1987), estudando o depósito de fluorita de Mato Preto, descreveu rochas fonolíticas e tinguaíticas na

área do corpo mineralizador. Os fonolitos são rochas porfiríticas a afaníticas, de coloração verde escuro a preto-esverdeado, compostas por 40-70% de nefelina, 30-40% de egirina-augita e 25% de feldspato alcalino e, como traços: biotita, magnetita, apatita e pirita. Tinguaitos são similares, porém possuem mais nefelina e menos piroxênio. Fonolitos e tinguaítos gradam de um para o outro, não sendo mapeáveis separadamente.

Santos & Dardenne (1988) propuseram um esquema evolutivo em sete etapas para a estrutura circular que aloja o depósito de fluorita "clugger"; a formação dos fonolitos teria ocorrido durante o alojamento dos sienitos na 1ª etapa e depois durante a reativação do falhamento de Morro Agudo, na 5ª etapa.

Com base no estudo dos isótopos de C e O dos carbonatitos de Mato Preto, Santos *et al.* (1990) consideraram esse complexo como sendo de natureza vulcânica-subvulcânica, observando-se nítido processo de diferenciação isotópica que obedece à destilação de Rayleigh para magmas carbonatíticos.

Diques fonolíticos datados pelo método K-Ar (Cordani & Hasui 1968), forneceram idades de $65,2 \text{ Ma} \pm 3,3 \text{ Ma}$ e $60,0 \pm 3,4 \text{ Ma}$.

IV. PETROGRAFIA

As rochas aqui estudadas são classificadas com base nas análises químicas, a partir do diagrama de De La Roche et al. (1980), e do índice agpaítico $\{IA = (Na_2O + K_2O) / Al_2O_3\}$. Foram separadas em: fonolitos peralcalinos, tipo mais comum, incluindo as amostras projetadas no campo dos fonolitos, com IA maior que 1; fonolitos, com IA menor que 1; e traquifonolitos, que aparecem somente no complexo de Mato Preto; nefelinitos fonolíticos, caindo no limite entre os campos dos fonolitos e nefelinitos do diagrama R1R2 ocorrem no "plug" Sete Quedas e no dique SQ36 (Fig. 2). O nome nefelinito fonolítico é usado conforme dados de Le Bas (1977) e Le Bas (1989).

No complexo de Itapirapuã os diques são quimicamente classificados como consistindo de fonolitos peralcalinos, porém, com base na análise petrográfica, devido à ausência de nefelina modal, as rochas são aqui denominadas de microssienitos.

Apenas para fins comparativos os dados foram também projetados no diagrama TAS $\{(Na_2O + K_2O) / SiO_2\}$ de Le Maitre (1989), sendo que os nefelinitos fonolíticos situam-se no campo dos foiditos ou dos tefrifonolitos; os traquifonolitos no limite entre fonolitos e traquitos; e as demais rochas no campo dos fonolitos (Fig. 3).

IV.1. Fonolitos peralcalinos

São os tipos mais comumente encontrados, com $IA > 1$, variando de 1,039 (Mato Preto) até 1,548 (Barra do Ponta Grossa). São rochas de granulação muito fina a afanítica, de coloração gradando entre tipos esverdeados e acinzentados, com textura porfirítica a pouco porfirítica e subafírica. Os fenocristais mais comuns são de feldspato idiomórfico a hipidiomórfico, de coloração esbranquiçada e hábito prismático, e nefelina idiomórfica rósea, em secções quadradas ou hexagonais. Em alguns fonolitos, como os do "plug" de Barra do Teixeira, ocorrem fenocristais octagonais constituídos por feldspato fino esbranquiçado, envolvido por zeólitas fibrorradiadas.

A presença de fluorita, de coloração violeta, é verificada em amostras do Morro do Chapéu e Barra do Teixeira.

Figura 2: Diagrama R1R2 de De La Roche et al. (1980) para as rochas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo. (PG=Barra do Ponta Grossa; MC=Morro do Chapéu; BT=Barra do Teixeira; IT=Itapirapuã; MP=Mato Preto; BA=Banhadão; SQ=Sete Quedas; SQ-DR.U=Sete Quedas-Dr. Ulisses; CA=Cerro Azul; Traqfon=traquifonolito; neffon=nefelinito fonolítico.

Figura 3: Diagrama TAS {(Na₂O+K₂O)-SiO₂} de Le Maitre (1989) para as rochas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.

Superficialmente, devido à intensa alteração dos feldspatos, essas rochas possuem grande quantidade de cavidades, destacando a textura porfirítica.

Microscopicamente, os fonolitos peralcalinos são rochas de textura porfirítica em matriz holocristalina ou traquítica ou ainda pobremente porfiríticos ou subafíricos em matriz hipocristalina. No complexo de Mato Preto ocorrem tipos mais afaníticos com matriz rica em vidro.

Estimativa da porcentagem dos minerais não é possível de ser realizada devido à granulação da matriz ser muito fina.

Essas rochas são formadas essencialmente por feldspato alcalino, que é o principal constituinte da matriz, aparecendo também como fenocristais e microfenocristais. Na matriz, os feldspatos são xenomórficos a hipidiomórficos prismáticos, sendo estes últimos geralmente orientados e definindo estrutura de fluxo. Quando xenomórficos, os cristais são intersticiais às demais fases minerais.

Os fenocristais de feldspato são idiomórficos a hipidiomórficos, em secções prismáticas, às vezes, com as bordas reabsorvidas pela matriz. Ocorrem cristais já completamente substituídos por finos agregados de feldspato xenomórfico e nefelina hipidiomórfica, restando apenas pseudomorfos. Em poucos casos observa-se zoneamento dos fenocristais.

Os feldspatos alcalinos estão presentes, em algumas rochas, associados a carbonatos secundários, que se formam preenchendo fraturas nos cristais maiores. Sericitização é incipiente a moderada. Pertitas são descritas nos feldspatos dos fonolitos peralcalinos de Barra do Teixeira, Sete Quedas e dique SQ41.

Os fenocristais de feldspato das rochas do Banhadão possuem grande quantidade de inclusões de piroxênio.

Outro constituinte importante dos fonolitos peralcalinos é a nefelina que ocorre como fenocristais e microfenocristais hipidiomórficos a idiomórficos em secções quadradas ou hexagonais. Nefelina é também descrita na matriz, onde os cristais são muito finos, idiomórficos, em secções quadradas, ou xenomórficos intersticiais. Os cristais maiores de nefelina são envolvidos por piroxênio acicular, orientado paralelamente às faces dos cristais (Foto 2).

Normalmente, os fenocristais de nefelina estão sendo substituídos por zeólitas fibrorradiadas (Foto 3), determinadas por suas características ópticas como sendo natróлита, associada a minerais isotrópicos do grupo da sodalita e a pequenos cristais de cancrinita.

Em Barra do Teixeira ocorrem pseudomorfos de fenocristais em secções de oito lados, completamente substituídos por agregados de feldspato mais fino e nefelina, com zeólitas nas bordas.

A principal fase máfica dessas rochas é o piroxênio, que a exemplo dos feldspatos e nefelinas aparece na forma de fenocristais, microfenocristais e na matriz. Geralmente são minerais de coloração variada entre tonalidades de verde e castanho.

Na matriz, os piroxênios são muito finos, aciculares, com tonalidades de verde mais intenso, geralmente dispostos aleatoriamente, ou como nos fonolitos de Sete Quedas, orientados definindo estrutura de fluxo, ou ainda, formando agregados radiados. São também observados ao redor de nefelinas com cancrinita na forma de agregados hexagonais (Foto 4). São caracterizados como sendo egirinas.

Os fenocristais e microfenocristais de piroxênio são idiomórficos a hipidiomórficos, de granulação média a grossa, ocorrendo em secções basais de 6 ou 8 lados ou secções prismáticas. Em poucos cristais nota-se zoneamento dado pela variação de cor, que vai de incolor ou verde claro no núcleo até verde mais intenso nas bordas (Foto 5). Opticamente são minerais com ângulos de extinção e 2V variados, em geral biaxiais positivos, podendo também estar presentes cristais negativos. São definidos como de composição entre diopsídio, augita ou egirina augita, quando comparados com os dados de Deer et al. (1992). Às vezes, os piroxênios estão associados à biotita, formando finos agregados ou envolvendo-a.

Biotita é descrita apenas nos fonolitos peralcalinos de Morro do Chapéu, Barra do Teixeira, Mato Preto, Cerro Azul e diques SQ40 e SQ41, sendo bastante restrita. Ocorre normalmente na matriz dessas rochas, em associação com os piroxênios, aparecendo fenocristais e microfenocristais em quantidade subordinada.

Foto 2: Fenocristal de nefelina, em fonolito peralcalino de Barra do Ponta Grossa, envolvido por piroxênio acicular, orientado segundo as faces do cristal. Pol//, filtro azul.

Foto 3: Fenocristal de nefelina, em fonolito peralcalino de Barra do Teixeira, substituído por zeólita fibrorradiada. PolX, filtro azul.

Foto 4: Agregados hexagonais de piroxênio envolvendo fenocristais de nefelina em fonolito peralcalino de Barra do Ponta Grossa. Pol//, filtro azul.

Foto 5: Fenocristal idiomórfico de piroxênio zonado, variando de diopsídio no centro, a augita nas bordas, em fonolito peralcalino de Barra do Teixeira. Pol X, filtro azul.

Os cristais menores formam finos agregados inclusos em fenocristais de nefelina ou feldspato, ou ainda, dispostos nas bordas dos piroxênios. Os fenocristais são hipidiomórficos e de coloração castanha.

Os principais acessórios identificados são: apatita idiomórfica, em pequenos cristais hexagonais presentes na matriz dos fonolitos peralcalinos ou como microfenocristais; titanita associada a fenocristais de piroxênio ou, como no Morro do Chapéu, formando microfenocristal, com as bordas reabsorvidas pela matriz; zircão, de ocorrência muito restrita, incluso em fenocristais de feldspato.

Cortando a maioria dessas rochas é comum reconhecer-se a presença de microfraturas ou cavidades preenchidas por carbonato fino, xenomórfico, associado à fluorita de coloração violeta. Carbonatos são também encontrados em finos agregados na matriz ou substituindo cristais de nefelina junto às zeólitas.

Minerais opacos são bastante raros e, quando ocorrem, exibem granulação fina; às vezes, são avermelhados e em geral associam-se aos fenocristais de piroxênio ou preenchem fraturas junto aos carbonatos. Macroscopicamente são definidos como sendo sulfetos.

Vidro intersticial, em quantidade subordinada, é descrito na matriz da maioria dos fonolitos peralcalinos, ocorrendo em maior porcentagem naqueles do Mato Preto.

Melanita é encontrada apenas nas rochas do Banhadão, na forma de microfenocristais, fenocristais ou como agregados de cristais xenomórficos finos na matriz. Os fenocristais são idiomórficos em secções hexagonais (mais comum) ou quadradas, possuem zoneamento moderado, sendo castanho mais escuro no núcleo e mais claro nas bordas (Foto 6). A porcentagem estimada do mineral é de aproximadamente 10%.

IV.2. Fonolitos

Fonolitos s.s. com $IA < 1$ estão presentes somente no complexo de Mato Preto. São muito semelhantes aos fonolitos peralcalinos, de coloração acinzentada, porém com maior quantidade de fenocristais.

Macroscopicamente, são observados fenocristais de feldspato, piroxênio e biotita em meio a uma matriz muito fina a afanítica. Pequenos xenólitos de composição mais máfica são também identificados.

Ao microscópio, são rochas de textura porfirítica, com fenocristais de feldspato, piroxênio, anfibólio e biotita envolvidos por matriz afanítica de coloração esverdeada, de difícil caracterização e consistindo de feldspato alcalino, piroxênio e nefelina. A principal diferença entre essas rochas e os fonolitos peralcalinos é a presença de anfibólio, não encontrado nos fonolitos peralcalinos.

Feldspato alcalino é o principal constituinte dos fonolitos. Ocorre como fenocristais e microfenocristais hipidiomórficos a idiomórficos prismáticos, moderadamente fraturados. Na matriz, quando visível, é xenomórfico a hipidiomórfico, além de prismáticos.

Os fenocristais e microfenocristais de piroxênio são hipidiomórficos a idiomórficos de coloração variada, ocorrendo cristais castanho claro e verde intenso a verde-amarelado. Por vezes os cristais verdes apresentam zoneamento, sendo mais amarelados no núcleo. Os piroxênios da matriz são muito finos, xenomórficos a hipidiomórficos e de coloração verde.

Anfibólios são apenas descritos como fenocristais e microfenocristais, não ocorrendo na matriz dos fonolitos. Os cristais exibem tamanhos e formas variadas, sendo hipidiomórficos prismáticos a xenomórficos arredondados, de coloração castanho intenso e pleocroísmo forte a fraco; o ângulo de extinção varia de 10-15°. Inclusões de apatita são comuns. A maioria dos cristais possui as bordas corroídas pela matriz.

Biotita é também descrita apenas como fenocristais e microfenocristais. É hipidiomórfica, de coloração castanho escuro e ocorre normalmente associada a grande quantidade de minerais opacos nas suas bordas ou preenchendo suas clivagens.

Nefelina, muito fina, aparece somente na matriz, sendo, em geral xenomórfica intersticial. Mineral do grupo da sodalita ocorre em cristais maiores associados a zeólitas.

Acessórios comuns são a apatita e a titanita caracterizadas por cristais hipidiomórficos a idiomórficos, normalmente como inclusões em piroxênio ou anfibólio.

Nos fonolitos reconhecem-se ainda xenólitos de pequenas dimensões constituídos principalmente de: piroxênio hipidiomórfico a xenomórfico, de granulação grossa e coloração castanho claro; olivina anédrica, incolor, passando a serpentina; e minerais opacos xenomórficos a hipidiomórficos. Estes minerais estão envolvidos por uma matriz formada por: anfibólio hipidiomórfico, castanho escuro, de pleocroísmo moderado; minerais opacos e feldspato intersticial (Foto 7).

Outro tipo de xenólito possui essencialmente feldspato alcalino xenomórfico; plagioclásio de granulação variada, de composição andesítica; e subordinadamente anfibólio castanho e minerais opacos (Foto 8).

Os contatos dos xenólitos com a matriz dos fonolitos são bastante nítidos, não sendo observadas bordas de reação.

Em uma das secções estudadas é também descrita uma cavidade arredondada preenchida por olivina serpentizada no núcleo, envolvida por minerais opacos, piroxênio, anfibólio e biotita (Foto 9).

IV.3. Traquifonolitos

A separação dos traquifonolitos dos fonolitos peralcalinos só foi possível através das análises químicas, pois estas rochas, tanto macro como microscopicamente são muito semelhantes.

Assim como os fonolitos *s.s.*, os traquifonolitos são encontrados somente no complexo de Mato Preto. São rochas de granulação muito fina, com poucos fenocristais e coloração esverdeada.

Em lâmina, a textura é normalmente subafírica em matriz traquítica hipocristalina, com os minerais fortemente orientados definindo uma estrutura de fluxo (Foto 10). Essas rochas compõem-se principalmente de: feldspato alcalino, piroxênio e nefelina.

Os feldspatos formam fenocristais idiomórficos a hipidiomórficos prismáticos ou ocorrem na matriz com hábito xenomórfico a hipidiomórfico prismático, com moderada orientação.

Foto 6: Fenocristal idiomórfico de melanita zonada em fonolito peralcalino do Banhadão. Pol//, filtro azul.

Foto 7: Xenólito constituído por piroxênio, opacos e olivina, envolvido por matriz formada por anfibólio, feldspato e opacos, em fonolito do Mato Preto. Pol X, filtro azul.

Foto 8: Xenólito constituído por feldspato alcalino, plagioclásio, anfibólio e opacos, em fonolito do Mato Preto. Pol X, filtro azul.

Foto 9: Cavidade preenchida por olivina no centro, envolvida por opacos, piroxênio, anfibólio e biotita, em fonolito do Mato Preto. Pol X, filtro azul.

Alguns fenocristais estão completamente substituídos por cristais mais finos de feldspato da matriz, restando apenas pseudomorfos.

Piroxênio é encontrado principalmente na matriz em cristais finos, xenomórficos ou aciculares hipidiomórficos; normalmente exibem coloração verde. Quando ocorrem microfenocristais, estes são hipidiomórficos, zonados, sendo verde mais claro a incolor no centro e mais escuro nas bordas.

Nefelina aparece como cristais finos intersticiais xenomórficos a hipidiomórficos em secções quadradas fazendo parte da matriz. Fenocristais e microfenocristais são idiomórficos a hipidiomórficos estão presentes em quantidade subordinada.

Na matriz, há ainda a presença de vidro intersticial e de carbonato secundário na forma de finos agregados xenomórficos. Raros opacos ocorrem na matriz ou associados aos fenocristais de nefelina. Como acessório tem-se titanita como microfenocristais hipidiomórficos.

IV.4. Nefelinitos fonolíticos

Nefelinitos fonolíticos são descritos no "plug" de Sete Quedas e no dique SQ36 e diferenciam-se das demais rochas, em análise microscópica, pela grande porcentagem de melanita (Foto 11).

Macroscopicamente, são muito semelhantes aos fonolitos peralcalinos; apresentam granulação muito fina, coloração acinzentada e textura porfirítica.

Microscopicamente, são porfiríticos a subafíricos em matriz holocristalina, com granulação variando de fina a muito fina. Os fenocristais e microfenocristais principais são: feldspato alcalino, piroxênio, nefelina, melanita e, subordinadamente, biotita. A matriz é formada de: feldspato alcalino, piroxênio, nefelina e melanita.

Os fenocristais de feldspato alcalino são hipidiomórficos a xenomórficos e encontram-se intensamente reabsorvidos pela matriz, com muitas inclusões de piroxênio e associados a carbonatos. Na matriz, são também hipidiomórficos a xenomórficos, intersticiais.

Foto 10: Textura traquítica, definida pela orientação de cristais aciculares de piroxênio e cristais ripiformes de feldspato alcalino, em traquifonolito do Mato Preto. Pol //, filtro azul.

Foto 11: Nefelinito fonolítico (dique SQ36) caracterizado pela grande quantidade de cristais de melanita na matriz. Pol //, filtro azul.

Os fenocristais de piroxênio são mais raros, aparecendo às vezes como microfenocristais. Mostram-se hipidiomórficos a idiomórficos e formam bordas de reação com a matriz; são esverdeados a acastanhados, com poucos cristais zonados, sendo o núcleo verde mais claro que as bordas. Na matriz, os piroxênios aparecem esverdeados ou verde amarelados, xenomórficos a hipidiomórficos prismáticos, normalmente com óxidos associados.

Nefelina ocorre preferencialmente na matriz, onde é hipidiomórfica a idiomórfica em secções quadradas, com poucos fenocristais hipidiomórficos; apresenta bordas reabsorvidas e inclusões de piroxênio. Cancrinita e mineral do grupo da sodalita são os principais produtos de alteração da nefelina.

A melanita é mais comumente encontrada em microfenocristais e fenocristais do que na matriz dos nefelinitos fonolíticos. Os cristais maiores são idiomórficos em secções hexagonais ou quadradas de coloração castanho escuro avermelhado, às vezes zonados com intercalação de bandas mais claras e mais escuras. Os fenocristais possuem inclusões de feldspato e piroxênio. Os minerais da matriz são idiomórficos quadrados ou hexagonais ou xenomórficos arredondados, de granulação fina.

Biotita ocorre subordinadamente como fenocristais hipidiomórficos associados aos fenocristais de melanita e, mais raramente, aos de feldspato. Aparece também substituindo fenocristais de piroxênio.

Os principais acessórios são: apatita em microfenocristais idiomórficos a hipidiomórficos prismáticos ou hexagonais; e titanita idiomórfica está presente como inclusão em feldspato.

Opacos raros são descritos como sulfetos e ocorrem somente na matriz, associados aos piroxênios.

Pseudomorfos de fenocristais de nefelina são também observados, completamente substituídos por zeólitas fibrorradiadas.

IV.5. Microssienitos

Os microssienitos são separados dos fonolitos peralcalinos apenas petrograficamente, uma vez que não possuem nefelina modal e têm granulação um pouco mais grossa que as outras

rochas anteriormente descritas. Quimicamente, os microssienitos são classificados no campo dos fonolitos, com $IA=1,095$.

Macroscopicamente, essas rochas possuem granulação fina, coloração acinzentada e textura porfirítica.

Microscopicamente (Foto 12), consistem essencialmente de feldspato alcalino em agregados finos a médios, em geral xenomórficos, com poucos cristais hipidiomórficos, que fazem parte da matriz. Fenocristais e microfenocristais são hipidiomórficos e possuem inclusões de piroxênio.

Piroxênios aparecem como fenocristais, microfenocristais e integrando a matriz; são geralmente xenomórficos de coloração verde intenso, com pleocroísmo para tonalidades verde-amareladas. Alguns fenocristais exibem zoneamento, com o núcleo amarelado ou incolor e as bordas mais esverdeadas.

Como acessórios ocorrem pequenos cristais hipidiomórficos a idiomórficos de titanita; apatita hipidiomórfica; e zircão em cristais hipidiomórficos.

Carbonatos são vistos preenchendo fraturas e associados a opacos.

Foto 12: Microssienito de Itapirapuã constituído por fenocristais de piroxênio em meio a uma matriz formada de piroxênio e feldspato alcalino. Pol X, filtro azul.

V. QUÍMICA MINERAL

As rochas fonolíticas l.s. do Vale do Ribeira constituem-se, essencialmente, de feldspato alcalino, nefelina e piroxênio, que ocorrem como fenocristais, microfenocristais e membros integrantes da matriz.

Nos nefelinitos fonolíticos e em raros fonolitos peralcalinos observam-se ainda cristais de biotita e melanita. Anfibólio e magnetita são descritos somente nos fonolitos de Mato Preto.

Zeólitas são o principal produto de alteração das nefelinas na maioria das rochas fonolíticas l.s., geralmente acompanhadas de pequenos cristais de cancrinita.

V.1. Feldspatos alcalinos

Os feldspatos são a principal fase mineral em todas as rochas fonolíticas do Vale do Ribeira. São representados por fenocristais, microfenocristais e cristais constituintes da matriz, de composição alcalina, com teor máximo de An de 5% nos nefelinitos fonolíticos. As análises químicas dos feldspatos são fornecidas na Tabela 1 (Apêndice), onde constam as proporções moleculares dos componentes Or (ortoclásio)-Ab (albita)-An (anortita), calculadas, respectivamente, com base nos teores de K_2O , Na_2O e CaO .

Quando os dados são projetados em diagramas ternários Or-Ab-An (Fig. 4), nota-se que os fonolitos peralcalinos são, em geral, enriquecidos no componente ortoclásio ($Or > 50$). Os maiores teores em Ab são encontrados no dique de Cerro Azul, onde varia de 50-35%, e para um dos diques do Mato Preto, com Ab entre 50-40%. Os nefelinitos fonolíticos também possuem alta concentração em Or (95-80%).

Nos fonolitos do Mato Preto verificam-se feldspatos de composição intermediária com $Or_{65-55}Ab_{35-42}An_{0-3}$, enquanto os traquifonolitos são ricos em Ab (91-94%).

Variação composicional do núcleo para as bordas dos cristais é pouco significativa ou quase inexistente, porém, quando presente, verifica-se aumento no componente Or. As variações observadas vão de $Or_{74}Ab_{26}$ (núcleo)- $Or_{80}Ab_{20}$ (periferia) em fenocristal de

Figura 4: Diagrama Ortoclásio (Or)-Albita (Ab)-Anortita (An) para os feldspatos de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.

feldspato do dique de Barra do Ponta Grossa, até $Or_{58}Ab_{41}An_1$ (núcleo)- $Or_{93}Ab_7$ (periferia) em microfenocristal no dique de fonolito peralcalino do complexo de Mato Preto.

O aumento em Or é também visível seja nos fenocristais aos cristais constituintes da matriz, caso do fonolito peralcalino de Barra do Ponta Grossa, onde os fenocristais possuem composição de $Or_{80-75}Ab_{20-25}$ e a matriz de $Or_{97}Ab_1An_2$.

Pode-se concluir, então, com base nas variações químicas, que, à exceção dos traquifonolitos, os feldspatos são, em geral, potássicos com baixo teor em Na_2O , ocorrendo poucos casos em que os minerais se mostram enriquecidos no componente Ab.

V.2. Nefelinas

Nefelina é o feldspatóide mais comum dos diques e "plugs" alcalinos do Vale do Ribeira, ocorrendo na maioria dos tipos litológicos, com exceção do microssienito de Itapirapuã, onde a presença do mineral acha-se indicada apenas na norma.

Os fenocristais e microfenocristais são normalmente idiomórficos, em secções quadradas e hexagonais, ou hipidiomórficos, e os minerais da matriz comumente xenomórficos, intersticiais.

A Tabela 2 (Apêndice) reúne os dados das análises químicas das nefelinas e as proporções moleculares dos componentes Kalsilita (Ks)-Nefelina (Ne)-Quartzo (Qz), e também de Anortita (An) calculados, respectivamente, a partir das porcentagens de K_2O , Na_2O , SiO_2 e CaO .

Os dados mostram certa homogeneidade nas porcentagens de K_2O e Na_2O , embora as rochas do Mato Preto, tanto fonolitos peralcalinos quanto traquifonolitos, possuam quantidades pouco menores de K_2O (entre 4-4,5%); nas demais elas situam-se entre 6-8% de K_2O .

Um fato interessante é a porcentagem muito baixa ou mesmo inexistente de CaO em todas as nefelinas. À exceção do nefelinito fonolítico SQ36, quando as análises são comparadas àquelas de Deer et al. (1992), verifica-se que todos os cristais contêm teores inferiores de CaO , entre 0 e 0,6%; para aqueles autores o mínimo encontrado é de 0,7%. No nefelinito fonolítico (am. 36A) CaO varia de

0,5%, no núcleo de fenocristal, até 0,85%, nas bordas. Ruberti (1984) valendo-se da mesma observação, concluiu que a quantidade insignificante de CaO em nefelinas é devida à análise por microsonda, onde consegue-se evitar a influência de calcita e cancrinita, minerais típicos de alteração das nefelinas.

Nos fonolitos peralcalinos a nefelina ocorre como fenocristais, microfenocristais e membros da matriz. Composicionalmente, Ks varia de 27-13%; Ne de 68-78% e Qz de 19-1%, com o maior conteúdo de Qz verificado em cristal da matriz em dique do Mato Preto (am. 20B).

Zoneamento do núcleo para as bordas dos fenocristais e microfenocristais é sugerido em poucos casos pelo aumento pouco significativo do componente Qz, como, por exemplo, em fenocristal do dique SQ39, que varia de $Ks_{20}Ne_{74}Qz_6$ (núcleo) a $Ks_{18}Ne_{72}Qz_{10}$ (periferia). Variação química a partir dos fenocristais para os cristais da matriz é também definida pelo aumento em Qz, como no dique de Barra do Ponta Grossa, que vai de $Ks_{26}Ne_{73}Qz_1$ (núcleo de microfenocristal) até $Ks_{21}Ne_{71}Qz_8$ (matriz).

Os traquifonolitos são caracterizados por fenocristais e microfenocristais de composição $Ks_{14}Ne_{77}Qz_9$, e não apresentam zoneamento.

Nos nefelinitos fonolíticos são encontrados fenocristais constituídos por $Ks_{23}Ne_{73-76}Qz_{4-1}$.

Quando os dados das análises são projetados no diagrama Ks-Ne-Qz de Hamilton & Mackenzie (1965) (Fig. 5), define-se uma concentração dos pontos no campo de solução sólida da nefelina, sendo as rochas do Mato Preto mais enriquecidas nos componentes Ne e Qz que as demais. Comparando-se essa projeção com as isotermas de Hamilton (1961), tem-se que as nefelinas estudadas foram formadas em temperaturas variadas, indo de menos de 500°C até mais de 775°C (Fig. 5).

V.3. Piroxênios

Os piroxênios apresentam ampla variação composicional, ocorrendo tipos cálcicos, sódico-cálcicos e sódicos. Representam a principal fase máfica em todas as rochas fonolíticas l.s. e formam fenocristais, microfenocristais e cristais constituintes da matriz.

Figura 5: Diagrama Kalsilita (Ks)-Nefelina (Ne)-Quartzo (Qz) de Hamilton & Mackenzie (1965) para as nefelinas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo. Isothermas segundo Hamilton (1961).

A análise microscópica mostra piroxênios de cores variadas, desde cristais incolores, castanho claros até tipos mais esverdeados, com forte pleocroísmo para o amarelo. Composicionalmente, pode-se dizer, com base na cor e demais propriedades ópticas, que variam desde diopsídios (incolores) a augitas (castanhas) e egirina-augitas e egirinas (verdes).

As análises químicas de elementos maiores e alguns menores, como o Cr_2O_3 , são fornecidas na Tabela 3 (Apêndice), onde constam também a fórmula estrutural calculada com base em 6 oxigênios e 4

cátions e a porcentagem dos componentes Wollastonita (Ca , $\text{Ca}_2\text{Si}_2\text{O}_6$)-Enstatita (Mg , $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$)-Ferrossilita (Fe , $\text{Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_6$) e de Na-Mg-Fe* $\{\text{Fe}^* = \text{Fe}^{2+} + \text{Mn} + (\text{Fe}^{3+} - \text{Na})\}$. Os valores de mg ($\text{MgO}/\text{MgO} + \text{FeO}$) são também fornecidos.

FeO_{tot} foi estimado como FeO e os valores de Fe_2O_3 calculados com base em Papike et al. (1974), a partir do programa PAP-CAMECA.

Para a classificação dos piroxênios foram usados os diagramas de Morimoto (1988). Inicialmente, usando-se a soma $\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Fe}^{2+}$ contra 2Na (Fig. 6), observa-se a grande variação composicional desses minerais, passando de tipos ricos em $\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Fe}^{2+}$ (tipo *Quad* de Morimoto) até muito ricos em Na (tipo sódico de Morimoto). Verifica-se que o enriquecimento em Na se dá nos fonolitos peralcalinos de IA (índice agpaítico) maiores, ou seja, nas rochas mais evoluídas.

Os piroxênios do campo *Quad* foram projetados no diagrama Wo-En-Fs (Fig. 7) de Morimoto (1988) e os dos campos Ca-Na e Na no diagrama Quad-Jd (jadeíta)-Eg (egirina) (Fig. 8).

Com base nesses gráficos, nota-se que os piroxênios cálcicos (diopsídio, hedembergita e augita, Fig. 7) ocorrem preferencialmente formando fenocristais e microfenocristais e, em poucos casos, como formadores da matriz; já os tipos sódico-cálcicos (egirina-augita, Fig. 8) são mais comuns na matriz das rochas, podendo aparecer também na forma de fenocristais e microfenocristais. Piroxênios sódicos, definidos como egirina (Fig. 8) acham-se restritos à matriz dos fonolitos peralcalinos, e identificados apenas no "plug" de Sete Quedas e no dique SQ37.

Nos fonolitos descrevem-se microfenocristais e fenocristais de diopsídio e cristais de egirina-augita e augita na matriz.

Os fenocristais dos traquifonolitos variam de diopsídio a hedembergita, enquanto na matriz ocorre apenas egirina-augita.

Nos nefelinitos fonolíticos tem-se somente piroxênios cálcicos (diopsídio e hedembergita) na forma de fenocristais, microfenocristais ou como parte da matriz.

Figura 6: Diagrama Quad (Ca+Mg+Fe²⁺)-J (2Na) de Morimoto (1988) para piroxênios de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.

Figura 7: Diagrama Wollastonita (Wo)-Enstatita (En)-Ferrossilita (Fs) de Morimoto (1988) para piroxênios de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo. Símbolos como na Fig. 6.

Figura 8: Diagrama Wollastonita+Enstatita+Ferrossilita (Q)-Jadeíta (Jd)-Egirina (Ae) de Morimoto (1988) para piroxênios de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo. Símbolos como na Fig. 6.

Zoneamento composicional está presente principalmente nos piroxênios dos fonolitos peralcalinos e, em menor escala, nos nefelinitos fonolíticos. A variação é definida pelo aumento em Na e Fe^{3+} e pela diminuição em Ca e Mg do núcleo para as bordas dos cristais; essa mudança no quimismo se reflete diretamente na coloração, que se torna mais esverdeada junto às margens dos grão.

O acréscimo em Na é também registrado a partir de rochas menos evoluídas (nefelinitos fonolíticos) para as mais evoluídas (fonolitos peralcalinos). O componente Eg ($\text{NaFe}^{3+}\text{Si}_2\text{O}_6$) de Morimoto (1988) varia de 1 a 8% nos nefelinitos fonolíticos; de 1 a 16% nos fonolitos; de 4 a 18% nos traquifonolitos; de 1 a 90% nos fonolitos peralcalinos, sendo os cristais mais enriquecidos em Na aqueles constituintes da matriz. O componente acmita (Ac) varia de 2-7% nos nefelinitos fonolíticos; 2-11% nos fonolitos; 5-13% nos traquifonolitos a 5-50% nos fonolitos peralcalinos. Essa variação também se faz evidente quando se projetam os dados dos minerais da matriz no diagrama Na (afu, átomos por unidade de fórmula) contra *mg* ($\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}^{2+})$) (Fig. 9). Os valores mais elevados de *mg* registrados na matriz das rochas são aqueles de piroxênios dos nefelinitos fonolíticos do dique SQ36 (0,777); dos fonolitos de Mato Preto (0,813); e do microssienito de Itapirapuã (0,907), que possuem os valores mais baixos de Na (afu), respectivamente: 0,046; 0,041; e 0,013.

Essa evolução é da mesma forma observada na projeção dos valores de Si, Ti e Fe^{3+} (afu) contra *mg* (Fig.9), havendo aumento desses três elementos a partir das rochas mais primitivas até as mais evoluídas.

Diagrama usando as porcentagens dos óxidos CaO e MgO dos piroxênios caracteriza muito bem essa evolução, com os nefelinitos fonolíticos e fonolitos mostrando-se enriquecidos nesses elementos e os fonolitos peralcalinos com valores bastante reduzidos, às vezes tendendo a zero (Fig. 10).

No diagrama Na-Mg- Fe^* $\{\text{Fe}^* = \text{Fe}^{2+} + \text{Mn} + (\text{Fe}^{3+} - \text{Na})\}$, distinguem-se dois "trends" evolutivos indicativos do enriquecimento em Na e diminuição em Mg a partir de rochas menos evoluídas até as mais evoluídas (Fig. 11). Os diagramas foram separados em fenocristais e

microfenocristais e minerais da matriz para se obter uma melhor visualização dos dados.

Quando comparados com dados da literatura para outros complexos alcalinos brasileiros (Gomes et al., 1987), os "trends" são semelhantes ao dos piroxênios dos fonolitos do Banhadão (Ruberti, 1984), caracterizados pelo grande enriquecimento em Na (Fig. 12).

Na projeção convencional Ca-Mg-Fe* ($\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+} + \text{Mn}$), os piroxênios mostram forte enriquecimento no componente Fe*, originando assim "trends" tipicamente alcalinos (Fig. 13).

Histogramas calculados com base na razão Ti/Al (afu) (Fig. 14) evidenciam que a grande maioria dos piroxênios, desde fonolitos peralcalinos até nefelinitos fonolíticos, possui razões entre 0,0 e 0,4, indicando que existe pouca variação na relação entre esses elementos, independente do tipo de rocha, sendo que fonolitos peralcalinos podem atingir valores de até 1,63.

V.4. Biotita

Biotitas estão presentes em quantidade subordinada em poucos fonolitos peralcalinos (Barra do Ponta Grossa, Morro do Chapéu, Mato Preto, Cerro Azul e dique SQ40) e nos nefelinitos fonolíticos, formando em geral microfenocristais e menos comumente fenocristais, ou então como minerais da matriz. Normalmente exibem coloração castanha-avermelhada a amarelada e associam-se a agregados de piroxênio, sendo reconhecidas nas bordas destes minerais, ou ocorrem como cristais isolados. Às vezes, formam agregados de finos cristais xenomórficos intersticiais, ou ainda, como inclusões em fenocristais de nefelina ou feldspato.

As biotitas foram analisadas para 10 óxidos, sendo sua fórmula estrutural calculada na base de 22 átomos de oxigênio e 16 cátions (Tabela 4, Apêndice). FeO_{tot} foi estimado como FeO, calculando-se Fe_2O_3 a partir de balanço de cargas, com o auxílio do programa FORMICA.

A Tabela 4 (Apêndice) fornece também os valores de mg ($\text{MgO}/\text{MgO}+\text{FeO}$) e as proporções de $\text{Mg}-\text{Fe}^+-\text{Al}$; R^{3+} ($\text{Al}+\text{Fe}^{3+}+\text{Ti}$)- $\text{Fe}^{2+}-\text{Mg}$; $\text{Fe}^{2+}-\text{Fe}^{3+}-\text{Mg}$.

Figura 9: Diagramas de variação Na, Si, Ti e Fe³⁺ (afu) contra mg (Mg/Mg+Fe) para piroxênios de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.

Figura 10: Diagrama CaO vs. MgO (% peso) para piroxênios de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.

Figura 11: Diagrama Na-Mg-Fe* ($\text{Fe}^{2+} + \text{Mn} + (\text{Fe}^{3+} - \text{Na})$) para piroxênios de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo. Símbolos como na Fig. 6.

Figura 12: "Trends" composicionais para piroxênios de diversos complexos alcalinos do Brasil. 1. Tunas (Gomes et al., 1987); 2. Itapirapuã (Gomes et al., 1970); 3. Rio de Janeiro: a) Tanguá-Rio Bonito-Itaúna-Morro de São João, b) Soarinho (Valença, 1980); 4. Banhadão (Ruberti, 1984); 5. Ilha de Vitória (Motoki, 1986); 6. Piratini (Barbieri et al., 1987). Extraído de Gomes et al. (1987). 7. Sapucaí, Paraguai Oriental (De Min, 1992).

Figura 13: Diagrama convencional Ca-Mg-Fe* ($\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+} + \text{Mn}$) para piroxênios de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo. Símbolos como na Fig. 10.

Figura 14: Histograma calculado com base na razão Ti/Al (afu) de piroxênios de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.

Todos os minerais analisados são classificados como biotitas, segundo o limite estabelecido por Heinrich et al. (1953, in Ruberti, 1984), que consideram como biotitas as micas possuindo razão Mg/Fe menor que 2,0.

Os dados obtidos foram inicialmente projetados no diagrama R^{3+} - Fe^{2+} -Mg de Foster (1960) (Fig. 15), onde observa-se grande variação na proporção de Mg e Fe^{2+} , sendo os minerais definidos como Mg-biotitas (mais comuns) e Fe-biotitas. A proporção de R^{3+} é praticamente constante, oscilando entre 25 e 35%. As biotitas mais ricas em Fe são aquelas dos diques de Barra do Ponta Grossa e Cerro Azul e as mais enriquecidas em Mg são as dos nefelinitos fonolíticos e do dique SQ40 (Fig. 15).

Figura 15: Diagrama R^{3+} ($Al^{IV}+Fe^{3+}+Ti$)- Fe^{2+} -Mg de Foster (1960) para biotitas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.

A variação da razão Mg/Fe é também marcante no diagrama Al-Mg- Fe^{2+} de Rock (1982) (Fig. 16), onde todos os minerais analisados acham-se projetados acima do limite flogopita/annita. Esta relação é aleatória ao tipo de rocha, sendo colocadas lado a lado micas dos nefelinitos fonolíticos e dos fonolitos peralcalinos, ou seja, a razão Mg/Fe independe, nesse diagrama, do estágio de evolução da rocha.

O gráfico Al^{IV} contra Fe^* ($Fe/Fe+Mg$), por sua vez, caracteriza enriquecimento em Fe a partir dos nefelinitos fonolíticos até os fonolitos peralcalinos, sendo os minerais projetados, novamente,

acima do limite flogopita-annita, com Al^{IV} em geral maior que 2,0 (Fig. 17).

Rock (1982) classifica biotitas com base no conteúdo molar de Ti, separando-as em biotita ($Ti < 0,05$), biotita titanífera ($0,05 < Ti < 0,25$) e Ti-biotita ($Ti > 0,25$). Os minerais aqui estudados possuem Ti entre 0,02 e 0,7, sendo portanto enquadrados como Ti-biotita (mais comum) e biotita titanífera (nefelinito fonolítico de Sete Quedas).

A projeção dos dados no gráfico Fe^{3+} - Fe^{2+} -Mg de Wones & Eugster (1965) mostra uma fugacidade de oxigênio bastante elevada, com os pontos colocados geralmente acima do "buffer" hematita-magnetita (Fig. 18); os valores mais baixos correspondem a fonolitos peralcalinos mais evoluídos.

Figura 16: Diagrama Al-Mg- Fe^{2+} para biotitas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos estados do Paraná e São Paulo. Símbolos como na Fig. 15.

Figura 17: Diagrama Al^{IV} - $Fe/(Fe+Mg)$ para biotitas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo. Símbolos como na Fig.15.

Figura 18: Diagrama Fe^{3+} - Fe^{2+} -Mg para biotitas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos estados do Paraná e São Paulo. Símbolos como na Fig. 15.

V.5. Granadas

Granadas de coloração castanha-avermelhada são descritas somente nos nefelinitos fonolíticos e em fonolitos peralcalinos do Banhadão. Nos primeiros, aparecem como fenocristais e microfenocristais idiomórficos ou como constituintes da matriz; nos últimos formam apenas microfenocristais em pequenos agregados de cristais hiplidiomórficos a idiomórficos. Nos nefelinitos fonolíticos ocorrem granadas poiquilíticas com inclusões de feldspato ou biotita, indicando, assim, sua cristalização tardia. Também nessas rochas estão presentes microfenocristais apresentando variação concêntrica de

cor, sendo o núcleo de coloração castanha mais escura que as bordas.

As análises por microsonda eletrônica estão representadas na Tabela 5 (Apêndice), onde constam também as fórmulas estruturais calculadas na base de 24 oxigênios. FeO_{tot} foi estimado como FeO, sendo Fe_2O_3 calculado a partir do programa PAP-CAMECA, com base no balanço de cargas. As 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 , são também fornecidas.

As granadas caracterizam-se, principalmente, pelo alto conteúdo em TiO_2 , variando de 6 a 8% no fonolito peralcalino até 16% no nefelinito fonolítico do dique SQ36. Com base na classificação de Deer et al. (1982), elas são definidas como granadas titaníferas e, composicionalmente passam de melanita ($\text{Fe}^{3+} > \text{Ti}$), com $\text{And}_{90}\text{Sch}_{10}$, até schorlomita ($\text{Fe}^{3+} < \text{Ti}$), com $\text{And}_{55}\text{Sch}_{45}$, sendo esta última encontrada apenas em cristais da matriz de nefelinitos fonolíticos.

O zoneamento reconhecido ao microscópio é também constatado quimicamente nos microfenocristais do nefelinito fonolítico de Sete Quedas, onde tem-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 zoneamento normal. Pequenas diferenças são ainda notadas nas quantidades de SiO_2 e MgO , que, a exemplo do Fe_2O_3 , diminuem das bordas para o núcleo.

A projeção das porcentagens dos componentes And-Sch-Uv em diagrama triangular evidencia o grande enriquecimento de todos os cristais no componente And, o qual varia de 55 a 90%. A proporção de Uv, calculada com base na concentração de Cr_2O_3 , é muito baixa (0,1-0,2%) ou mesmo inexistente (Fig. 19). O aumento no componente Sch das bordas para o núcleo dos cristais dos nefelinitos fonolíticos também é observado, havendo pequena inversão no fonolito peralcalino do Banhadão, cujo núcleo é mais rico em And. A análise desse diagrama e da Tabela 5 aponta para o caráter cálcico-férrico desses minerais, onde And é o principal componente molecular.

Figura 19: Projeção dos componentes Andradita (And)-Schorlomita (Sch)-Uvarovita (Uv) de granadas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo. Símbolos como na Fig. 6.

V.6. 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, de coloração castanha intensa.

Os dados das análises químicas e a fórmula estrutural, calculada na base de 23 oxigênios, são fornecidos na Tabela 6 (Apêndice). FeO_{tot} foi obtido como FeO e a porcentagem de Fe_2O_3 calculada a partir do balanço de cargas e com o auxílio do programa PAP-CAMECA.

Com base na classificação de Leake (1978), todos os cristais são definidos como anfibólios cálcicos com $(Ca+Na)_B > \text{ou} = 1,34$ e $Na_B < 0,67$ e com $Ca_B > 1,34$. A projeção dos dados no diagrama mg ($Mg/Mg+Fe^{2+}$) vs. Si de Leake (1978) coloca os fenocristais como sendo kaersutita, os microfenocristais como kaersutita no núcleo e Fe-kaersutita nas bordas e as fases da matriz como Fe-pargasita (Fig. 20). Essa variação nos microfenocristais é devida ao aumento em Fe e diminuição em Ti e Mg do núcleo para as bordas dos minerais, sendo esta diferença composicional também observada a partir dos fenocristais até os minerais da matriz.

As proporções moleculares de $Ca-Mg-Fe^*$ ($Fe^{2+}+Fe^{3+}+Mn$) foram calculadas (Tabela 6) e projetadas em diagrama triangular (Fig. 21), com os dados indicando teores bastante constantes do componente Ca e grande variação na razão Mg/Fe^* ; vê-se também enriquecimento em Fe^* nos cristais da matriz e na periferia dos microfenocristais.

A análise dos dados no diagrama de Rock (1987), que utiliza a razão CaO/Na_2O contra a razão Al_2O_3/TiO_2 , coloca todos os anfibólios no campo das rochas lamprofíricas alcalinas, longe dos limites correspondentes aos tipos cálcio-alcalinos e ultramáficos (Fig. 22).

V.7. Óxidos de Fe

Minerais opacos, caracterizados como óxidos de Fe, são encontrados apenas nos fonolitos do Mato Preto e ocorrem como microfenocristais ou como constituintes da matriz.

Os dados obtidos por microsonda e a fórmula estrutural, calculada na base de 32 oxigênios, são fornecidos na Tabela 7 (Apêndice). FeO_{tot} foi estimado como FeO e a porcentagem de Fe_2O_3 obtida por balanço de cargas, com auxílio do programa PAP-CAMECA.

Com base no teor de TiO_2 , que varia de 13 a 16%, são classificados como Ti-magnetita.

V.8. Zeólitas

Zeólitas são encontradas na maioria das rochas como produto de alteração das nefelinas ou substituindo feldspatos alcalinos, e

formam agregados fibrorradiados de dimensões variadas, desde submilimétricos a milimétricos. Nas alterações de nefelina ocorrem geralmente associadas a pequenos cristais de cancrinita.

A análise por microsonda eletrônica (Tabela 8, Apêndice) revela minerais ricos em Na_2O (8-11,5%), que, quando comparados com os dados de Deer et al. (1981), indicam tratar-se de natrólitos.

Figura 20: Diagrama Si-Mg/Mg+Fe²⁺ de Leake (1978) para anfibólios dos fonolitos do complexo do Mato Preto, PR. ▴ = fenocristais; ▣ = microfenocristais; □ = matriz.

Figura 21: Projeção das proporções moleculares Ca-Mg-Fe* ($\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+} + \text{Mn}$) para anfibólios dos fonolitos do complexo do Mato Preto, PR.

Figura 22: Diagrama $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}$ vs. $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ de Rock (1987) para anfibólios dos fonolitos do complexo do Mato Preto, PR. ■ = fonolitos. CAL = lamprófiros cálcio-alcálinos; UML = lamprófiros ultramáficos; AL = lamprófiros alcalinos; LL = lamproítos.

VI. GEOQUÍMICA

As rochas de diques e "plugs" alcalinos do Vale do Ribeira foram analisadas para elementos maiores, traços e Terras Raras (ETR), objetivando a sua caracterização química e verificação de possíveis tendências e afinidades geoquímicas.

VI.1. Elementos maiores

Foram analisados 10 elementos maiores por fluorescência de raios X, sendo FeO_{tot} obtido como FeO. A análise de Fe_2O_3 foi feita por titulação e a perda ao fogo por calcinação, conforme descrito no Capítulo 2. A Tabela 9 (Apêndice) relaciona todos esses dados, além dos valores da norma CIPW, calculada com base anidra e utilizando-se o programa "DBASE-IGOR". A tabela fornece, ainda, os índices agpaítico IA $\{(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ molecular}\}$ e de diferenciação ID (Or+Ab+Qz+Ne normativos) e os valores de mg ($\text{MgO}/(\text{MgO}+\text{FeO})$), R1R2 e Fe_2O_3 e FeO, os dois últimos calculados a partir da razão 0,20.

Ruberti (1984), discutindo a utilização do IA para separar as rochas em miasquíticas e agpaíticas, conclui que a utilização dos limites propostos por vários autores para fins de classificação seria desaconselhável, uma vez que rochas com índices tipicamente agpaíticos, ou seja, IA elevados, normalmente maiores que 1,0, não apresentam minerais agpaíticos, minerais raros (rinkita, eudialita, enigmatita etc...).

O IA das rochas aqui estudadas varia de 0,951 (nefelinitos fonolíticos) até 1,549 (fonolitos peralcalinos), sendo que nos nefelinitos fonolíticos ele se situa entre 0,951 e 1,180; nos fonolitos peralcalinos entre 1,039 (Mato Preto) e 1,549 (Barra do Ponta Grossa); nos fonolitos entre 0,988 e 0,997; e nos traquifonolitos entre 0,989 e 1,017. Verifica-se, portanto, que os valores são na maioria superiores a 1,0 e, no caso dos fonolitos peralcalinos, muito elevados; entretanto, a mineralogia dessas rochas é comum (feldspato alcalino, nefelina e piroxênio), não ocorrendo minerais raros. Com base em considerações de Ruberti (1984), que coloca todas as rochas do Banhadão, independentemente dos seus valores de IA,

como sendo de natureza miasquítica, os diques e os "plugs" alcalinos, serão também classificados como tal, levando-se em consideração apenas a mineralogia; os valores do IA serão utilizados somente para a distinção de fonolitos peralcalinos dos fonolitos s.s.. O aparecimento de zeólitas ricas em Na_2O , como produto de alteração de nefelinas e feldspatos alcalinos, e de minerais do grupo da sodalita poderia explicar o alto conteúdo em Na_2O (5,43 a 13,36%) nas análises de rocha total, de forma a elevar, conseqüentemente, os valores de IA. O alto teor em Na_2O acha-se também refletido na elevada porcentagem em nefelina normativa (nef), que passa de 10% no microssienito de Itapirapuã a 31% nos fonolitos peralcalinos; nos nefelinitos fonolíticos situa-se entre 28-35%; nos fonolitos é de 26% e nos traquifonolitos varia de 11 a 14% (Tabela 9).

A análise dos elementos maiores permite ainda a caracterização do alto grau de evolução das rochas dos diques e "plugs" do Vale do Ribeira, que possuem mg com valores muito baixos, variando de 3 a 26 nos fonolitos peralcalinos, 24 a 31 nos traquifonolitos, 28 nos microssienitos, 40 a 42 nos fonolitos e 25 a 48 nos nefelinitos fonolíticos, tendo estas últimas caráter pouco mais primitivo que as demais.

As normas CIPW (Tabela 9) ressaltam a natureza altamente insaturada dessas rochas, pela presença de nef em todas as amostras. Leucita normativa (Lc) é registrada apenas nos nefelinitos fonolíticos (5-24%), nos fonolitos peralcalinos do Banhadão (2-16%) e nos diques SQ40 e SQ41 (1-2,5%). A presença de acmita normativa (Ac) na maioria das rochas, à exceção dos fonolitos do Mato Preto, evidencia sua afinidade alcalina. Ac varia de 1-4%, sendo os valores mais elevados encontrados nos nefelinitos fonolíticos. A alcalinidade dessas rochas é também destacada no diagrama TAS $\{(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) \text{ vs. } \text{SiO}_2\}$ (Fig. 3), onde todos os pontos acham-se projetados acima da linha de MacDonald & Katsura (1964), no campo das rochas alcalinas.

Projetando-se os dados no diagrama K_2O vs. Na_2O e utilizando-se os limites de Middlemost (1975), as rochas são divididas em potássicas e sódicas (Fig. 23), com a razão $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ normalmente

• PG.MC	+ BT	* IT	□ MP	× BA	♦ SQ
▲ SQ-DR.U/CA	■ Traqfon	■ fonolito	♦ neffon	▲ neffon	

Figura 23: Diagrama K₂O-Na₂O de Midlemost (1975) para as rochas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo. As linhas pontilhadas indicam as razões Na₂O/K₂O.

entre 1:1 e 2:1. Razões menores que 1:1, com $K_2O > Na_2O$, são obtidas em rochas do Banhadão e de Itapirapuã e em um dique de fonolito peralcalino do Mato Preto. Razões maiores que 2:1 são verificadas em diques de Barra do Ponta Grossa, Morro do Chapéu, Cerro Azul e em fonolitos peralcalinos do Mato Preto e de Sete Quedas (Fig. 23).

Para melhor caracterizar as variações presentes nas rochas estudadas, os dados químicos foram projetados em diagramas do tipo Harker, usando-se o índice de diferenciação ID de Thorton & Tuttle (1960) como parâmetro de referência. A escolha de ID baseou-se na sua maior variação em relação a outros índices conhecidos e devido à melhor visualização da variação dos elementos quando projetados em função do mesmo (Fig. 24). ID varia de 53-60% nos nefelinitos fonolíticos, 78-79% nos fonolitos, 70-88% nos fonolitos peralcalinos e 87-89% nos traquifonolitos. Como já assinalado por Soares (1984) para as rochas alcalinas da Província do Brasil Meridional, a lacuna entre 60-69% também se faz presente (Fig. 24).

Os diagramas revelam inicialmente dois grupos bem distintos: o primeiro, caracterizado por rochas mais primitivas, engloba os nefelinitos fonolíticos com $ID < 60$; o segundo formado de rochas mais evoluídas, inclui de fonolitos peralcalinos até traquifonolitos (Fig. 24). Esta variação é dada pelo aumento marcante em SiO_2 e Al_2O_3 e diminuição em TiO_2 , FeO_{tot} , MgO , CaO e P_2O_5 do primeiro ao segundo grupo, indicando uma possível diferenciação de nefelinitos fonolíticos a traquifonolitos e fonolitos peralcalinos, com precipitação de minerais como ilmenita, piroxênio e apatita. Maiores considerações serão feitas no Capítulo 7.

Assumindo-se esta linha evolutiva, o comportamento do Na_2O é semelhante ao SiO_2 e Al_2O_3 . Embora a distribuição dos dados para esse elemento seja um pouco difusa, nota-se aumento em Na_2O a partir das rochas menos evoluídas até as mais evoluídas. K_2O é praticamente constante, definindo-se elevação pouco significativa do teor no sentido das rochas do segundo grupo; os valores mais altos correspondem aos diques do Banhadão, Itapirapuã, a um dos fonolitos peralcalinos do Mato Preto e ao "plug" de Barra do Teixeira.

Figura 24: Diagramas de variação usando elementos maiores (% peso) vs. ID (índice de diferenciação) para as rochas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo. Símbolos como na Fig. 23.

A projeção dos dados para MnO caracteriza uma nova divisão para as rochas em estudo, onde, no grupo das mais evoluídas, os diques do Mato Preto (fonolitos, fonolitos peralcalinos e traquifonolitos) destacam-se prontamente por possuírem teores bastante elevados do elemento. Se excluídas essas litologias, verifica-se diminuição de MnO a partir dos tipos menos evoluídos até os mais evoluídos (Fig. 24).

Considerando-se o diagrama para MgO, as rochas podem ser ainda divididas em ricas em MgO ($>0,86$) e pobres em MgO. As primeiras incluem os nefelinitos fonolíticos, tanto de Sete Quedas quando do dique SQ36; os fonolitos peralcalinos do Banhadão e SQ40, o microssienito de Itapirapuã e os fonolitos s.s. do Mato Preto. Os traquifonolitos encontram-se no limite entre os dois grupos e as demais rochas são classificadas como pobres em MgO.

O aumento em álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) é melhor definido quando os dados são projetados no gráfico AFM ($(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{FeO}_{\text{tot}} - \text{MgO})$, onde verifica-se alta concentração dos pontos no lado AF e sempre próximos ao vértice A do triângulo, com pequena dispersão para os traquifonolitos do Mato Preto e nefelinito fonolítico do dique SQ36 (Fig. 25). Quando esses dados são comparados aos obtidos por Ruberti (1984) para o complexo do Banhadão e àqueles de Gomes (1970) para o complexo de Itapirapuã, tem-se grande similaridade, sendo em todos os casos as variedades mais diferenciadas as mais ricas em álcalis (Fig. 25).

VI.2. Elementos traços

Em 57 amostras dos diques e "plugs" alcalinos do Vale do Ribeira foram analisados oito elementos traços (ET: Cr, Ni, Ba, Rb, Sr, Zr, Y e Nb), além de três ETR: (La, Ce e Nd), por fluorescência de raios X (Tabela 9, Apêndice) e em apenas 14 dessas amostras foi feita análise por plasma ICP de mais dezessete ET e de doze ETR (Tabela 10, Apêndice).

A interpretação dos dados é feita inicialmente com base apenas nos resultados fornecidos por fluorescência, onde pode-se observar uma melhor distribuição dos elementos devido à maior quanti-

dade de amostragem. Posteriormente, para maior detalhamento, são comparados os dados obtidos por plasma ICP.

Figura 25: Diagrama AFM ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{FeO}_{\text{tot}}-\text{MgO}$) para rochas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo. Símbolos como na Fig. 23.

Utilizando-se ID como parâmetro de variação, foram construídos diagramas do tipo Harker para os elementos traços (Fig. 26). Na maioria dos casos verifica-se para as rochas do Mato Preto comportamento diferenciado das demais, apresentando enriquecimento marcante em Rb, Nb, Zr e Y. Para o Rb o aumento se dá a partir das rochas menos evoluídas (92 ppm no dique SQ36) até as mais evoluídas (191 ppm no fonolito peralcalino de Sete Quedas), sendo que os diques do Mato Preto possuem valores significativamente mais elevados, com Rb passando de 142 ppm (fonolito) a 457 ppm (fonolito peralcalino).

Figura 26: Diagramas de variação usando elementos traços (ppm) vs. ID para as rochas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo. Símbolos como na Fig. 23.

Zr, com comportamento semelhante ao do Rb varia de 438 ppm (nefelinito fonolítico SQ36) até 1659 ppm no fonolito peralcalino de Barra do Ponta Grossa; faz exceção o nefelinito fonolítico de Sete Quedas que contém 3192 ppm. Nas rochas de Mato Preto, Zr situa-se entre 858 ppm e 2623 ppm (Fig. 26).

Seguindo esta mesma linha, Nb exhibe variações entre 259 ppm (nefelinito fonolítico SQ36) e 711 ppm (fonolito peralcalino de Sete Quedas), com alguns valores entre 165 e 206 ppm para os fonolitos peralcalinos de Morro do Chapéu; 176 ppm para o Banhadão; 142 a 164 ppm para o dique SQ39. Nos diques do Mato Preto, à exceção do fonolito (209-216 ppm), as demais rochas possuem entre 378 e 1148 ppm de Nb (Fig. 26).

Para o Y, a variação é um pouco diferente, havendo empobrecimento a partir dos nefelinitos fonolíticos (68 ppm no dique SQ36) até os fonolitos peralcalinos (15 ppm no dique de Cerro Azul), com exceção para as rochas do Mato Preto, que, mais uma vez mostram grande enriquecimento no elemento (32 ppm para o fonolito até 135 ppm no fonolito peralcalino) (Fig. 26).

Ba e Sr, de maneira geral, diminuem de concentração das rochas menos evoluídas para as mais evoluídas, caracterizando um fracionamento dominado por feldspatos (Fig. 26). O Ba possui valor máximo de 2945 ppm no nefelinito fonolítico SQ36 e mínimo de 54 ppm em fonolito peralcalino do Mato Preto. Os fonolitos do Mato Preto apresentam valores entre 2007 e 2112 ppm de Ba, porém, neste caso, não se destacam das demais rochas do complexo. Sr varia de 1918 ppm (nefelinito fonolítico SQ36) e 2216 ppm (fonolito peralcalino SQ40) até 191 ppm (fonolito peralcalino do Mato Preto). Há enriquecimento em Sr a partir do dique SQ36 até SQ40 e, a partir deste, empobrecimento abrupto até o fonolito peralcalino do Mato Preto (Fig. 26), sugerindo novamente fracionamento dominado pela precipitação de feldspatos alcalinos.

Ni tem comportamento similar ao Y, havendo empobrecimento desde os nefelinitos fonolíticos (14 ppm) até o fonolito peralcalino de Cerro Azul (4 ppm); as rochas do Mato Preto se mostram enriquecidas no elemento (7-33 ppm), sendo os valores mais altos fornecidos pelos fonolitos (Fig. 26).

Cr possui variação pouco significativa, apresentando em geral valores muito baixos (1-17 ppm), com a maioria das rochas entre 1 e 5 ppm, exceção feita aos fonolitos do Mato Preto, que possuem teores entre 57-75 ppm (Fig. 26). Este grande aumento nos fonolitos se deve provavelmente à presença de Ti-magnetita e da maior porcentagem de piroxênio modal nessas rochas. Se usada escala logarítmica para melhor representar a distribuição do elemento, tem-se, excluindo os fonolitos, empobrecimento em Cr a partir dos nefelinitos fonolíticos até os fonolitos peralcalinos (Fig. 27).

Figura 27: Diagrama Cr (ppm, em escala logarítmica) vs. ID para as rochas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.

Recorrendo-se à divisão anterior de rochas ricas e pobres em MgO, verifica-se que as primeiras se mostram mais enriquecidas em Ni e Sr e empobrecidas em Zr e Nb em relação àquelas com MgO mais baixo.

Diagramas de variação, reunindo um elemento menos incompatível, como o Ni, e outros elementos traços, excetuados o Cr e o Ba,

destacam novamente o grande enriquecimento em ET nas rochas do Mato Preto (Fig. 28). Os fonolitos se sobressaem em todos os casos devido ao seu conteúdo elevado em Ni.

O Ni foi ainda usado como índice em relação ao MgO com vistas à possibilidade de ter-se fracionamento de olivina nessas rochas; contudo, quando o diagrama (Fig.29) é comparado com aquele de Alibert et al. (1987), observa-se que os dados se dispõem fora dos limites de precipitação da olivina, inviabilizando assim a atuação daquele mecanismo.

VI.3. Elementos Terras Raras (ETR)

A variação dos três elementos analisados por fluorescência de raios X (La, Ce e Nd) é mostrada em diagramas do tipo Harker empregando-se ID como índice de variação (Fig. 30).

O seu comportamento é muito semelhante entre si e análogo ao dos elementos traços Y, Nb e Ni, em que se tem um pequeno empobrecimento a partir dos nefelinitos fonolíticos até os fonolitos peralcalinos; as rochas do Mato Preto, apresentando em todos os gráficos grande enriquecimento em ETR, constituem exceção (Fig. 30).

Os menores valores registrados nas rochas do Mato Preto são para os fonolitos: 173 ppm de La, 252-254 ppm de Ce e 72-74 ppm de Nd; os maiores são encontrados em fonolitos peralcalinos com até 697 ppm de La, 857 ppm de Ce e 212 ppm de Nd (Tabela 9, Apêndice).

Os demais ETR (Tabela 10, Apêndice), analisados por plasma ICP, serão tratados no item seguinte.

VI.4. "Spidergrams"

Os elementos traços e terras raras descritos acima acham-se também representados em "spidergrams". Os primeiros foram normalizados pelo manto primordial de Wood et al. (1979) e os ETR normalizados pelos condritos de Boyton (1984) (Figs. 31, 32 e 33).

Primeiramente, os gráficos foram construídos apenas com os elementos incompatíveis analisados por fluorescência visando-se dessa forma obter maior quantidade de dados para comparação.

Figura 28: Diagramas de variação reunindo Ni (ppm) contra os demais elementos traço (ppm) para as rochas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo. Símbolos como na Fig. 23.

Figura 29: Diagrama Ni (ppm)-MgO (% peso) para as rochas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo. No canto superior direito, diagrama de Alibert et al. (1987) indicando os "trends" de fracionamento da olivina (linhas tracejadas).

Figura 30: Diagramas de variação usando os elementos Terras Raras (ppm), analisados por fluorescência de raios X, para as rochas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo. Símbolos como na Fig. 29.

De maneira geral, todas as rochas estudadas têm padrões muito similares, porém, são possíveis algumas distinções. Os fonolitos peralcalinos de Barra do Ponta Grossa, Morro do Chapéu, Barra do Teixeira, Sete Quedas, Cerro Azul e SQ37, SQ39 e SQ41 apresentam anomalias negativas, de intensidades variadas, para Ba, Sr, P e Ti; adicionalmente, exibem fortes anomalias positivas de Nb e Zr e mais suaves de Nd (Fig. 31).

As rochas do Mato Preto, com exceção dos fonolitos, comportam-se de forma semelhante às anteriores, contudo, suas anomalias são mais marcantes. Ba, embora geralmente exiba grandes anomalias negativas, pode apresentar anomalias positivas mais suaves, como no caso da amostra 18B. Fortes anomalias negativas para Sr, P e Ti, além de positivas para Nb, Nd e Zr são reconhecidas. Mais uma vez a destacar o grande enriquecimento em ETR nessas rochas (Fig. 31).

Os nefelinitos fonolíticos de Sete Quedas e do dique SQ36, os fonolitos de Mato Preto, os fonolitos peralcalinos do Banhadão e do dique SQ40 e o microssienito de Itapirapuã, separados anteriormente como rochas ricas em MgO, não diferem muito do padrão geral, porém, suas anomalias são menos expressivas em relação às das demais rochas. O Ba possui pequena anomalia negativa na maioria dos casos e positiva no nefelinito fonolítico SQ36. P e Ti são novamente caracterizados por anomalias negativas e Nb, Nd e Zr por positivas, todas elas, no entanto, mais suaves que nos casos anteriores. O microssienito de Itapirapuã destaca-se pela menor quantidade em ETR (Fig. 31).

Para as 14 amostras analisadas por plasma ICP (Tabela 10, Apêndice) foram confeccionados novos "spidergrams" contendo maior quantidade de elementos traços, normalizados pelo manto primordial de Wood et al. (1979) (Fig. 32).

Embora novamente as assinaturas sejam muito similares é possível observar-se algumas pequenas diferenças em grupos distintos. Os fonolitos peralcalinos de Morro do Chapéu, Barra do Teixeira e dos diques SQ37, SQ39 e SQ41 possuem anomalias negativas marcantes para Ba, Sr, P e Ti e positivas para Zr e Tb, e menos intensas para Rb, Th, U e Nb. O dique SQ41 apresenta ainda anomalia negativa para Ta (Fig. 32).

Figura 31: "Spidergrams" para os elementos incompatíveis, analisados por fluorescência de raios X, para as rochas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo. Elementos normalizados pelo manto primordial de Wood et al. (1979).

Figura 32: "Spidergrams" para os elementos incompatíveis, analisados por plasma ICP, para as rochas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo. Elementos normalizados pelo manto primordial de Wood et al. (1979).

Os fonolitos peralcalinos de Barra do Ponta Grossa, Sete Quedas e Cerro Azul, que faziam parte do grupo acima descrito, na análise dos diagramas por fluorescência, podem ser agora separados face à presença de anomalias mais marcantes, ainda que o padrão geral para os dois conjuntos seja mantido. Este segundo agrupamento de rochas exibe grandes anomalias negativas em Ba, Sr e P e menores para o K. A anomalia negativa de Ti, típica dos demais diagramas, não é aqui constatada. Anomalias positivas são verificadas para U, Ta, Nd, Hf e Zr, sendo mais fortes para Ta, Nd e Zr (Fig. 32).

Um terceiro grupo, novamente formado pelas rochas ricas em MgO, possui anomalias mais suaves ou quase inexistentes em relação aos dois anteriores. Essas rochas são caracterizadas por pequenas anomalias negativas em P e Ti, além de positivas em Th, Nb, Nd, Zr e Tb. O nefelinito fonolítico SQ36 apresenta algumas particularidades, anomalias negativas em Th e Hf, aliadas ao maior empobrecimento em vários ET (Fig. 32).

No complexo de Mato Preto apenas o traquifonolito foi analisado por plasma ICP. O seu "spidergram" é muito parecido com aqueles do primeiro grupo, com anomalias negativas de Ba, Sr, P e Ti e positivas para Th, U, Nb, Nd, Zr e Tb, diferenciando-se, contudo, pelo enriquecimento maior em Th, U, Nb, Tb, Y e ETR (Fig. 32).

A partir dos Elementos Terras Raras (Tabela 10, Apêndice), normalizados pelos condritos de Boyton (1984), as rochas são divididas em apenas dois grupos distintos (Fig. 33). O primeiro grupo é formado pelos fonolitos peralcalinos de Morro do Chapéu, Barra do Teixeira, Banhadão, e dos diques SQ37, SQ39, SQ40 e SQ41, além do traquifonolito de Mato Preto, do microssienito de Itapirapuã e do nefelinito fonolítico de Sete Quedas. Estas rochas exibem enriquecimento em Terras Raras leves (ETRL), com as rochas do Mato Preto e do dique SQ40 possuindo os valores mais elevados. O traquifonolito também se destaca pelos teores mais altos em Terras Raras pesadas (ETRP) (Fig. 33).

O segundo grupo é constituído pelos fonolitos peralcalinos de Barra do Ponta Grossa, de Cerro Azul e de Sete Quedas e pelo nefelinito fonolítico SQ36. Aqui observa-se um empobrecimento em ETRP muito mais marcante que no primeiro grupo (Fig. 33).

Figura 33: "Spidergrams" para os elementos Terras Raras, analisados por plasma ICP, para as rochas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo. Elementos normalizados para os condritos de Boyton (1984).

Nas duas séries nota-se importante fracionamento entre ETRL e ETRP, com os valores para a razão La/Lu_{cn} situando-se entre 10,58 (microssienito de Itapirapuã) e 56,57 (fonolito peralcalino do Banhadão) (Tabela 10). O somatório dos ETR é também muito variado, tendo como valores extremos 182 ppm no fonolito peralcalino de Cerro Azul e 945 ppm no traquifonolito do Mato Preto (Tabela 10).

O comportamento dos ETR aponta para uma forte correspondência entre as rochas mais primitivas e as mais evoluídas entre os diques e "plugs" alcalinos do Vale do Ribeira, colocadas lado a lado em razão das assinaturas muito similares (Fig. 33).

VII. ASPECTOS PETROGENÉTICOS

VII.1. Cristalização fracionada

A partir dos diagramas de variação para elementos maiores ou traços, discutidos no Capítulo 6, visualiza-se a possibilidade de um fracionamento partindo-se de rochas mais primitivas, como nefelinitos fonolíticos ou fonolitos peralcalinos com valores de *mg* mais altos, até rochas mais evoluídas, como fonolitos peralcalinos, fonolitos e traquifonolitos com *mg* inferiores. Os diagramas sugerem processos de cristalização fracionada, com precipitação, principalmente, de feldspato alcalino, nefelina e piroxênios e de fases menores, como biotita ou titanita ou apatita ou melanita.

Baseando-se nos dados químicos obtidos foram realizados cálculos de balanço de massa a partir dos elementos maiores, com o auxílio do programa "XFRAC". As fases minerais empregadas acham-se relacionadas na Tabela 11 (Apêndice), bem como a composição das diferentes litologias. Para os fracionamentos que resultaram em res^2 (soma dos quadrados dos resíduos) menor que 1,0 foram efetuadas as razões calculado/observado (C/O) a partir dos elementos traços, com os programas "PRIMITIVI" e "EVOLUTI" e utilizando-se a equação de Rayleigh (Cox et al., 1979):

$$C_1 = C_0 \cdot F^{(D-1)}$$

onde:

C_1 = concentração do elemento no líquido residual;

C_0 = concentração do elemento no líquido inicial;

F = fração líquida residual;

D = coeficiente de partição.

Os coeficientes de partição usados para os cálculos constam da Tabela 12 (Apêndice).

Tomando-se apenas os elementos maiores é possível derivar-se todas as rochas investigadas a partir dos nefelinitos fonolíticos. Algumas passagens são diretas, sem rochas intermediárias; em outras, faz-se necessária, primeiramente, a formação de um fonolito peralcalino mais primitivo, como aquele do dique SQ40, e, posteriormente, o seu fracionamento até o fonolito peralcalino mais evoluído.

A formação do fonolito peralcalino SQ40 a partir do nefelinito fonolítico SQ36 se dá pelo fracionamento de 44% de piroxênio, 28% de feldspato alcalino, 18% de nefelina, 1% de biotita, 6% de magnetita e 3% de apatita, com $res^2 = 0,5254$ e $F = 0,4336$. As composições utilizadas foram as das amostras 36B e 40B (Tabela 11).

A partir do fonolito peralcalino SQ40 podem ser gerados os fonolitos peralcalinos de Barra do Ponta Grossa, Morro do Chapéu, Barra do Teixeira, Mato Preto, Sete Quedas, SQ37, SQ39, SQ41 e Cerro Azul, conforme dados abaixo relacionados:

Passagem: fonolito peralcalino 40A - fonolito peralcalino de Barra do Ponta Grossa 6B (Tabela 11)

$$res^2 = 0,6840; F = 0,671$$

fases fracionadas: 22% de piroxênio + 31% de feldspato alcalino + 29% de nefelina + 4% de biotita + 11% de magnetita + 3% de apatita

Passagem: fonolito peralcalino 40B - fonolito peralcalino de Barra do Ponta Grossa 12A (Tabela 11)

$$res^2 = 0,0025; F = 0,5854$$

fases fracionadas: 13% de piroxênio + 38% de feldspato alcalino + 29% de nefelina + 4% de biotita + 7% de magnetita + 1% de apatita + 8% de melanita

Passagem: fonolito peralcalino 40B - fonolito peralcalino de Morro do Chapéu 9C (Tabela 11)

$$res^2 = 0,6994; F = 0,2098$$

fases fracionadas: 29% de piroxênio + 24% de feldspato alcalino + 42% de nefelina + 1% de apatita + 4% de titanita

Passagem: fonolito peralcalino 40B - fonolito peralcalino de Barra do Teixeira 10A (Tabela 11)

$$res^2 = 0,1804; F = 0,2926$$

fases fracionadas: 30% de piroxênio + 24% de feldspato alcalino + 41% de nefelina + 1% de apatita + 4% de titanita

Passagem: fonolito peralcalino 40B - fonolito peralcalino de Mato Preto 18C2 (Tabela 11)

$$\text{res}^2 = 0,6543; F = 0,1343$$

fases fracionadas: 27% de piroxênio + 26% de feldspato alcalino + 42% de nefelina + 1% de apatita + 4% de titanita

Passagem: fonolito peralcalino 40B - fonolito peralcalino de Sete Quedas 23C (Tabela 11)

$$\text{res}^2 = 0,4862; F = 0,1329$$

fases fracionadas: 27% de piroxênio + 27% de feldspato alcalino + 41% de nefelina + 1% de apatita + 4% de titanita

Passagem: fonolito peralcalino 40B - fonolito peralcalino SQ37A (Tabela 11)

$$\text{res}^2 = 0,4490; F = 0,1458$$

fases fracionadas: 28% de piroxênio + 26% de feldspato alcalino + 42% de nefelina + 1% de apatita + 3% de titanita

Passagem: fonolito peralcalino 40B - fonolito peralcalino SQ39B (Tabela 11)

$$\text{res}^2 = 0,2639; F = 0,2112$$

fases fracionadas: 28% de piroxênio + 25% de feldspato alcalino + 42% de nefelina + 1% de apatita + 4% de titanita

Passagem: fonolito peralcalino 40B - fonolito peralcalino SQ41B (Tabela 11)

$$\text{res}^2 = 0,1513; F = 0,5826$$

fases fracionadas: 35% de piroxênio + 12% de feldspato alcalino + 47% de nefelina + 1% de apatita + 5% de titanita

Passagem: fonolito peralcalino 40B - fonolito peralcalino de Cerro Azul 42A (Tabela 11)

$$\text{res}^2 = 0,3682; F = 0,1874$$

fases fracionadas: 28% de piroxênio + 27% de feldspato alcalino + 41% de nefelina + 1% de apatita + 3% de titanita

O traquifonolito e o fonolito de Mato Preto, o fonolito peralcalino do Banhadão e o microssienito de Itapirapuã são formados diretamente a partir dos nefelinitos fonolíticos, como segue:

Passagem: nefelinito fonolítico 36B - traquifonolito do Mato Preto 19A (Tabela 11)

$$\text{res}^2 = 0,6204; F = 0,3034$$

fases fracionadas: 38% de piroxênio + 22% de feldspato alcalino + 26% de nefelina + 2% de biotita + 6% de magnetita + 4% de apatita + 2% de melanita

Passagem: nefelinito fonolítico 36B - fonolito do Mato Preto 22B (Tabela 11)

$$\text{res}^2 = 0,5191; F = 0,4299$$

fases fracionadas: 39% de piroxênio + 27% de feldspato alcalino + 20% de nefelina + 1% de biotita + 8% de magnetita + 4% de apatita + 1% de melanita

Passagem: nefelinito fonolítico 36B - fonolito peralcalino do Banhadão 24A (Tabela 11)

$$\text{res}^2 = 0,4930; F = 0,5775$$

fases fracionadas: 66% de piroxênio + 22% de nefelina + 1% de biotita + 8% de magnetita + 3% de apatita

Passagem: nefelinito fonolítico 36B - microssienito de Itapirapuã 34C (Tabela 11)

$$\text{res}^2 = 0,1706; F = 0,4834$$

fases fracionadas: 43% de piroxênio + 39% de nefelina + 7% de biotita + 7% de magnetita + 4% de apatita

Cálculos comparativos empregando-se os elementos traços mostram, por sua vez, que nem todas as passagens relacionadas acima são confirmadas no tocante à razão C/O. Os coeficientes de partição usados no cálculo do balanço de massas (Tabela 12) são os fornecidos por De Min (1992), que os divide em coeficientes para magmas pouco evoluídos (programa "PRIMITIVI") e coeficientes para magmas evoluí-

dos (programa "EVOLUTII"). Para os fonolitos l.s estudados, a utilização dos dois programas prendeu-se ao tipo de passagem feita para os elementos maiores e à obtenção de melhores resultados para a razão C/O. Em diversos casos, mesmo variando o coeficiente de partição, chegou-se a valores de C/O pouco satisfatórios (os mais aceitáveis situam-se próximos de 1,0).

As melhores razões obtidas foram nas passagens do fonolito peralcalino SQ40 para os fonolitos peralcalinos de Barra do Ponta Grossa, Barra do Teixeira e Mato Preto, para os traquifonolitos do Mato Preto e na passagem nefelinito fonolítico-fonolito e nefelinito fonolítico-fonolito peralcalino SQ40, conforme valores relacionados abaixo e Fig. 34:

SQ36-SQ40

	Cr	Ni	Ba	Rb	Sr	La	Ce	Nd	Zr	Y	Nb
C/O =	0,20	0,17	1,38	1,70	0,45	1,44	1,18	1,23	1,18	1,32	1,23

SQ40-6B

	Cr	Ni	Ba	Rb	Sr	La	Ce	Nd	Zr	Y	Nb
C/O =	1,22	0,66	1,66	1,59	1,04	1,33	1,21	1,29	0,71	1,77	0,97

SQ40-12A

	Cr	Ni	Ba	Rb	Sr	La	Ce	Nd	Zr	Y	Nb
C/O =	1,09	1,30	1,15	1,72	0,85	1,66	1,63	1,09	0,60	0,67	1,04

SQ40-10A

	Cr	Ni	Ba	Rb	Sr	La	Ce	Nd	Zr	Y	Nb
C/O =	0,96	1,00	0,94	2,19	1,68	1,93	0,53	0,06	1,52	1,00	0,36

SQ40-18C2

	Cr	Ni	Ba	Rb	Sr	La	Ce	Nd	Zr	Y	Nb
C/O =	1,79	0,32	1,17	1,41	1,79	0,30	0,06	0,01	1,41	0,15	0,07

SQ40-19A

	Cr	Ni	Ba	Rb	Sr	La	Ce	Nd	Zr	Y	Nb
C/O =	0,25	0,14	1,76	1,01	1,50	0,61	0,57	0,88	0,88	0,48	1,37

SQ36-22B

	Cr	Ni	Ba	Rb	Sr	La	Ce	Nd	Zr	Y	Nb
C/O =	0,01	0,08	0,93	1,67	0,48	1,11	0,93	1,15	2,43	1,43	1,97

Com exceção do traquifonolito e do fonolito de Mato Preto, em todas as demais passagens os coeficientes de partição empregados foram os correspondentes a magmas evoluídos. Note-se que em vários casos os valores de Cr e Ni calculados são muito inferiores aos observados, refletindo, como sugerido por De Min (1992), a ausência de pequenos percentuais de sulfetos não inclusos nos cálculos. Outro fato importante é o baixo percentual em ETR e Y calculado para o traquifonolito e fonolito peralcalino do Mato Preto, que, como já visto anteriormente, são rochas que se destacam pelo seu alto conteúdo nesses elementos. Neste caso, a utilização inadequada de coeficientes de partição talvez tenha sido o fator responsável pela distorção.

Para os fonolitos peralcalinos de Morro do Chapéu, Sete Quedas, Cerro Azul e Banhadão, os valores de C/O são aceitáveis para quase todos os elementos, havendo algumas restrições onde $C/O > 2,0$ ou muito inferior a 1,0 (Fig.34), conforme segue:

SQ40-9C

	Cr	Ni	Ba	Rb	Sr	La	Ce	Nd	Zr	Y	Nb
C/O =	0,45	0,46	0,76	2,45	1,42	0,89	0,20	0,02	2,03	0,48	0,35

SQ40-23C

	Cr	Ni	Ba	Rb	Sr	La	Ce	Nd	Zr	Y	Nb
C/O =	1,72	0,37	0,71	2,14	1,73	1,99	0,31	0,01	1,10	0,52	0,13

SQ40-42A

	Cr	Ni	Ba	Rb	Sr	La	Ce	Nd	Zr	Y	Nb
C/O =	0,26	1,02	0,75	2,97	1,85	3,06	1,11	0,04	0,98	1,41	0,81

SQ36-24A

	Cr	Ni	Ba	Rb	Sr	La	Ce	Nd	Zr	Y	Nb
C/O =	0,65	0,30	4,95	1,07	1,97	1,74	1,21	1,22	0,73	1,93	0,80

Para Morro do Chapéu e Sete Quedas, os coeficientes de partição utilizados nos cálculos foram os para magmas evoluídos; para Cerro Azul e Banhadão, os para magmas menos evoluídos. Novamente, Cr e Ni apresentam valores em geral baixos, como resultado da ausência de sulfetos. A destacar os altos valores em Rb nas rochas onde não houve o fracionamento de biotita; porém, se esta fase for usada nos cálculos para elementos maiores, ela deverá ser adicionada e não precipitada. O mesmo acontece com o Ba no fonolito peralcalino do Banhadão, onde não teve lugar o fracionamento do feldspato alcalino.

Para os diques SQ37, SQ39 e SQ41, os cálculos mostram várias restrições, com valores para diversos elementos maiores que 1,0 ou muito inferiores a 1,0. Empregando-se seja os coeficientes para magmas evoluídos, seja menos evoluídos os melhores resultados alcançados são os seguintes (Fig. 34):

SQ40-SQ37A

	Cr	Ni	Ba	Rb	Sr	La	Ce	Nd	Zr	Y	Nb
C/O =	1,74	0,38	1,26	2,71	3,30	1,65	0,34	0,01	2,26	0,47	0,30

SQ40-SQ39B

	Cr	Ni	Ba	Rb	Sr	La	Ce	Nd	Zr	Y	Nb
C/O =	0,48	0,64	3,75	2,17	1,47	1,20	0,50	0,02	1,36	0,48	2,89

SQ40-SQ41B

	Cr	Ni	Ba	Rb	Sr	La	Ce	Nd	Zr	Y	Nb
C/O =	0,56	1,11	0,91	1,09	2,48	2,26	1,05	0,27	2,03	1,01	0,61

No microssienito de Itapirapuã, os valores são inaceitáveis, com C/O normalmente maior que 2,0, uma vez recorrendo-se aos coeficientes para magmas pouco evoluídos; para aqueles correspondentes a magmas evoluídos, os resultados são ainda menos satisfatórios:

SQ36-34C

	Cr	Ni	Ba	Rb	Sr	La	Ce	Nd	Zr	Y	Nb
C/O =	0,04	0,25	2,64	1,07	1,50	3,44	2,40	2,56	1,58	2,43	2,24

Na literatura sobre rochas fonolíticas são encontrados valores para coeficientes de partição muito diversos daqueles usados por De Min (1992). Tentativamente, procurou-se obter melhores resultados, sobretudo para o complexo de Itapirapuã. Com base nos dados de Baker et al. (1977), de Marsh (1987) e de Wörner et al. (1983) (Tabela 12, Apêndice) os cálculos de C/O para o microssienito foram refeitos, sendo os novos valores obtidos muito mais aceitáveis (Fig. 34):

	Cr	Ni	Ba	Rb	Sr	La	Ce	Nd	Zr	Y	Nb
C/O =	0,14	0,97	2,61	1,07	1,50	1,01	1,78	2,21	1,58	1,94	0,84

A partir desses resultados, pode-se dizer que a formação das rochas de diques e "plugs" alcalinos do Vale do Ribeira é compatível com o modelo de cristalização fracionada, apresentando seqüências diversas de fracionamento. Essas rochas podem ser divididas em três linhas principais, sendo a primeira constituída pelos tipos litológicos mais ricos em MgO e o traquifonolito do Mato Preto, que derivam diretamente dos nefelinitos fonolíticos. O segundo grupo inclui as rochas originadas a partir do fonolito peralcalino SQ40, pelo fracionamento de piroxênio, feldspato alcalino, nefelina, biotita, magnetita e apatita. Desse grupo fazem parte somente as variedades de Barra do Ponta Grossa. O terceiro grupo engloba as rochas formadas a partir do dique SQ40, ou seja, os demais fonolitos peralcalinos, e diferencia-se do segundo por resultarem do fracionamento de piroxênio, feldspato alcalino, nefelina, apatita e titanita, não aparecendo nem biotita, nem magnetita.

Para as rochas do primeiro grupo, tem-se ainda que elas podem ser separadas em três conjuntos menores: o primeiro, formado pelo fonolito e pelo traquifonolito do Mato Preto, com derivação, a partir de nefelinito fonolítico, pela precipitação de piroxênio, feldspato alcalino, nefelina, biotita, magnetita, apatita e melanita; o segundo, reunindo as rochas do Banhadão e de Itapirapuã, e originado pela precipitação de piroxênio, nefelina, biotita, magnetita e apatita; e o terceiro, que inclui apenas o dique SQ40, gerado pelo fracionamento de piroxênio, feldspato alcalino, nefelina, biotita, magnetita e apatita.

Figura 34: Razão calculado/observado (C/O) obtida nos cálculos de balanço de massas, admitindo-se processos de cristalização fracionada para as rochas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.

Figura 34: (Cont.).

VIII. GEOQUÍMICA ISOTÓPICA

Análises isotópicas para Sr foram feitas em 13 amostras selecionadas, com os dados obtidos para $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ constando da Tabela 13 (Apêndice). O cálculo da razão inicial ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)₀ baseou-se em dados da literatura, sendo as idades utilizadas para esse propósito as presentemente disponíveis para os diversos complexos e "plugs" alcalinos do Vale do Ribeira.

As concentrações de Sr e Rb foram determinadas por fluorescência de raios X. As amostras contêm teores de Sr entre 203 ppm (fonolito peralcalino SQ37) e 1918 ppm (nefelinito fonolítico SQ36), e de Rb entre 92 ppm (nefelinito fonolítico SQ36) e 319 ppm (traquifonolito do Mato Preto), resultando em valores para a razão Rb/Sr entre 0,05 e 0,86 (Tabela 13).

As razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ encontradas para os fonolitos l.s. são muito variadas, indo de valores relativamente baixos ($0,704834 \pm 32$) até mais elevados ($0,71051 \pm 3$), a permitir a separação das rochas em dois grupos principais: o primeiro com menor razão isotópica, valores entre $0,704834 \pm 32$ (nefelinito fonolítico de Sete Quedas) e $0,70649 \pm 2$ (fonolito peralcalino SQ41), e incluindo a maioria das litologias; o segundo, com alta razão, e constituído apenas pelos fonolitos peralcalinos de Sete Quedas ($0,709437 \pm 4$) e SQ37 ($0,71051 \pm 3$).

Gomes & Cordani (1965) determinaram, pelo método K/Ar, idade de $108,4 \pm 2,8$ Ma para uma amostra de tinguaito de Itapirapuã. No complexo de Mato Preto, Cordani & Hasui (1968) obtiveram idades K/Ar entre $63,2 \pm 1,3$ Ma e $71,7 \pm 7,7$ Ma para os fonolitos; estes resultados foram recalculados por Sonoki & Garda (1988), com os novos valores indicando, respectivamente $65,6 \pm 3,3$ Ma e $67,0 \pm 3,4$ Ma. Os fonolitos do Banhadão foram datados por Ruberti (1984), que chegou a uma idade K/Ar entre $94,8 \pm 1,2$ e $111 \pm 3,1$ Ma para essas rochas. No "plug" de Barra do Teixeira, Cordani & Hasui (1968) obtiveram idade K/Ar de $78,0 \pm 3,9$ Ma em amostra de fonolito.

Com base nesses dados, as idades foram aproximadas, utilizando-se 70 Ma para o cálculo de ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)₀ nas amostras do Mato Preto e de Barra do Teixeira e 100 Ma nas dos complexos de Itapirapuã e do Banhadão. Para as demais rochas, os cálculos foram

efetuados com as duas idades, procurando-se sempre obter a melhor correlação entre elas (Tabela 13). Os valores conseguidos para 70 Ma variam de 0,70461, no nefelinito fonolítico de Sete Quedas, a 0,70749, no fonolito peralcalino SQ37. Para 100 Ma a razão inicial é de 0,704435 para a primeira e de 0,706195 para a última.

Projetando-se os dados em gráfico do tipo $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vs. $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ (Fig. 35), com a tentativa de buscar-se uma isócrona de referência, observa-se que eles exibem alguma dispersão, atingindo principalmente as análises com baixa razão isotópica. Utilizando-se as divisões definidas pela geoquímica e separando-se, inicialmente, as amostras portadoras de alto conteúdo em MgO das empobrecidas neste elemento, não se chegou a resultados convincentes, sendo os valores de MSWD muito elevados. Em seguida, a partir da separação das rochas empobrecidas em MgO em rochas com baixo ETRP e rochas intermediárias, obteve-se, para as primeiras, uma idade de 128 ± 31 Ma, com $\text{MSWD} = 72,36$, e para as últimas, uma idade de $127,6 \pm 6,9$ Ma, com $\text{MSWD} = 2,53$. Neste segundo cálculo foi excluída a amostra SQ41, de forma a alcançar-se melhores valores. Portanto, para as rochas com baixo ETRP, tem-se para apenas três pontos um valor de MSWD muito elevado, o que torna o resultado inaceitável para as rochas intermediárias, o valor de MSWD é baixo, porém, existe a ressalva de ter sido excluído um ponto do cálculo. A razão inicial encontrada para essas rochas foi de $0,704997 \pm 71$ (Fig. 35).

Para as rochas do Mato Preto, ricas em ET e ETR não foi possível a realização de qualquer cálculo, uma vez que o grupo conta apenas com uma amostra analisada.

A idade de $127,6 \pm 6,9$ Ma obtida para os fonolitos l.s. intermediários é muito alta, podendo, talvez, representar, a idade de alojamento desses corpos. Contudo, a ausência de dados isocrônicos K/Ar para essas amostras impossibilita análise mais detalhada e conclusiva.

A partir da análise do diagrama $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ contra Sr (ppm) verifica-se que os pontos correspondentes ao grupo com baixa razão isotópica possuem um alinhamento incipiente, em torno de 0,706; os valores mais altos de Sr são encontrados nas amostras de nefelinitos fonolíticos, que possuem as razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ mais baixas (Fig. 36). Os

Figura 35: Diagrama $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vs. $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ para as rochas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo. A linha indica uma possível isócrona de referência.

dois pontos com alta razão isotópica são os que apresentam a menor concentração de Sr. Com base no trabalho de De Paolo (1981), procurou-se traçar uma hipérbole de união entre os dois grupos, na tentativa de examinar-se uma possível ação de processos de contaminação sobre essas rochas (Fig. 36).

Para encontrar-se um possível agente contaminante, recorreu-se ao trabalho de Petrini et al. (1987) e construiu-se um diagrama reunindo a razão inicial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e a porcentagem de SiO_2 (Fig. 37). Observa-se no gráfico que os pontos correspondentes às maiores razões são os mais enriquecidos em SiO_2 , o que, segundo aqueles autores, poderá ser visto como sugestivo da presença de um contaminante rico em sílica, de composição granítica. No caso particular da região do Vale do Ribeira, onde a maioria das rochas alcalinas encontra-se encaixada no granito Três Córregos, essa possibilidade poderia ser analisada recorrendo-se às equações de De Paolo (1981). Para tanto, seria necessário ter-se os dados isotópicos referentes ao granito.

Considerando-se a projeção dos pontos no diagrama $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ vs. $1000/\text{Sr}$ (Fig. 38) tem-se uma maior concentração dos dados entre 0,7048 e 0,706, com as amostras de alta razão isotópica situadas entre 0,707 e 0,708. Powel & Bell (1974) associaram as rochas alcalinas com razões iniciais entre 0,702 e 0,706 a uma origem no manto. Scheibe (1986) considerou que a geração das rochas de Lages, apresentando razões iniciais entre 0,7052 e 0,7059, é compatível com uma origem mantélica, sem evidências de contaminação crustal.

Segundo Morbidelli et al. (1993), que fizeram uma síntese sobre a petrologia e geoquímica de distritos alcalinos brasileiros, os dados isotópicos referentes a essas rochas são compatíveis com uma derivação mantélica. Os autores interpretaram a ocorrência de valores mais altos para a razão em alguns complexos (0,710 em Lages, Tunas e Juquiá) como sendo devidos a efeitos locais de contaminação crustal.

Pode-se, portanto, admitir para as rochas fonolíticas l.s. do Vale do Ribeira uma origem mantélica para os seus magmas

Figura 36: Diagrama $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ contra Sr (ppm) para as rochas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.

Figura 37: Diagrama $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ vs. SiO_2 (% óxido) para as rochas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.

Figura 38: Diagrama $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ vs. $1/(\text{Sr} \times 1000)$ para as rochas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.

parentais, tendo as rochas com $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i > 0,706$ sido afetadas, muito possivelmente, por processos de contaminação crustal.

Construindo-se um histograma a partir das razões iniciais das rochas estudadas, e comparando-o com o fornecido por Morbidelli et al. (1993) para as alcalinas do Brasil, nota-se que elas são muito semelhantes, com uma maior concentração de dados entre 0,7045 e 0,706; as maiores razões parecem resultar de processos de contaminação crustal (Fig. 39).

Figura 39: Histograma construído a partir das razões iniciais das rochas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo. No canto superior direito, histograma de Morbidelli et al. (1993) para as rochas alcalinas associadas à Bacia do Paraná.

IX. GEOLOGIA ECONÔMICA

As rochas alcalinas em geral são fontes importantes de elementos traços ou terras raras, demonstrando elevado potencial econômico. Segundo van Wambeke (1964, in Scheibe, 1989), elas se caracterizam por exibir aumento progressivo em ETR desde as litologias mais básicas, como olivina nefelinitos até as mais ácidas, como os fonolitos, sendo os valores máximos encontrados na fase carbonatítica. Semenov (1974) cita vários minerais importantes economicamente e que ocorrem nessas rochas, destacando-se entre eles os assim chamados agpaíticos, ricos em vários elementos traços (Nb, Ti, Zr, Be) e em ETR. Apatita também aparece, descrita como fonte de P. O autor descreve ainda zeólitas como depósitos de Na. Outros elementos econômicos associados às rochas alcalinas, segundo o autor, são: Mo, Pb, U, Th, Al, Ga, Fe, Sr, Ba, Cs, Rb, K, F, Cu.

Na região do Vale do Ribeira, o único complexo que, presentemente, está sendo explorado é o do Mato Preto, que possui importantes jazidas de fluorita associadas a carbonatitos. Estudos geoquímicos desse corpo (Scheibe, 1989) revelam altos teores em ETR nos carbonatitos. O autor descreveu sovitos mineralizados em pirocloro e minerais de/ou com ETR; magnetita sovitos com altos teores de ETR, P, Mn e Th, além de Fe no complexo do Mato Preto.

O complexo de Barra do Itapirapuã é também citado na literatura (Scheibe, 1989; Gomes et al., 1990) por seu enriquecimento em ETR associado a rochas carbonatíticas.

Em Itapirapuã, embora tenha sido registrada a ocorrência de carbonatitos, o corpo é economicamente conhecido por suas mineralizações em ferro (magnetita), que vinham sendo exploradas até alguns anos atrás. No momento, as lavras estão desativadas.

Por meio do estudo dos fonolitos l.s. do Vale do Ribeira pretende-se definir a potencialidade econômica das rochas alcalinas da região.

Com base na mineralogia presente, os possíveis elementos metalogenéticos que poderiam ocorrer associados a essas rochas seriam: ETR, Nb, Zr, P, F, Ba, U, Th, Hf, Y, Ti e Sr.

A partir dos diagramas de variação, estudados no Capítulo 6, tem-se que os fonolitos peralcalinos e traquifonolitos do Mato Preto se mostram mais enriquecidos em ETRL (La, Ce e Nd) e em Rb, Zr, Nb, Y e MnO que as demais rochas. Este enriquecimento reflete o que já foi assinalado por outros autores nos carbonatitos associados a esse corpo. O aumento em ETRL é confirmado na análise do "spidergram" da Fig. 33, que igualmente realça o enriquecimento em ETRP (Er, Tm, Yb e Lu) no traquifonolito do Mato Preto quando comparado com as demais rochas estudadas. O somatório em ETR (Tabela 10, Apêndice) aponta novamente para maiores concentrações (945 ppm) nesse complexo. A Fig. 40 destaca esse aumento em diagramas de variação construídos a partir do somatório em ETR vs. ID. O traquifonolito é ainda enriquecido em U, Th e Cs (Fig. 40) quando comparado com as demais rochas analisadas.

Semenov (1974) considera rochas alcalinas ricas em P_2O_5 aquelas com 20% ou mais do óxido, alojado em apatitas; portanto, as rochas investigadas encontram-se muito abaixo desse limite, ($P_2O_5 < 1\%$) e, dessa forma, não podem ser vistas como fonte desse elemento, uma vez que a apatita aparece sempre como mineral acessório e em quantidades subordinadas.

Alguns elementos importantes nos fonolitos l.s. do Vale do Ribeira, além dos já citados para o complexo do Mato Preto, são (Tabela 9, Apêndice): Na_2O , que varia de 5,43% (microssienito de Itapirapuã) a 13,36% (fonolito peralcalino de Barra do Ponta Grossa); K_2O , com porcentagens entre 4,81% (fonolito peralcalino de Sete Quedas) e 9,46% (fonolito peralcalino do Banhadão); Rb, com valores superiores a 100 ppm; Ba, passando de 59 ppm (fonolito peralcalino do Mato Preto) a 2945 ppm (nefelinito fonolítico SQ36); e Sr, com 192 ppm (fonolito peralcalino do Mato Preto) a 2216 ppm (fonolito peralcalino SQ40).

Semenov (1974) e Gomes et al. (1990) citam a importância econômica dos processos de intemperismo, que concentram vários elementos maiores e traços, associados a complexos alcalinos, principalmente os portadores de carbonatitos. Embora os diques e "plugs" alcalinos do Vale do Ribeira estejam intensamente intemperizados não

Figura 40: Diagramas de variação relacionando a somatória de elementos Terras Raras (ETR), U, Th e Cs (ppm) contra ID para as rochas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.

foram realizadas análises de solos, disso resultando ser impossível tecer-se considerações a respeito.

O estudo do quimismo das rochas fonolíticas l.s. revela, então, que as rochas associadas a carbonatitos mineralizados em ETR, caso do complexo do Mato Preto, são também enriquecidas nesses elementos, como evidenciado na maioria dos diagramas analisados. Neste caso, os fonolitos peralcalinos e traquifonolitos podem ser usados como indicadores do aumento em ETR no complexo de Mato Preto. Entretanto, para rochas enriquecidas em FeO, como em Itapirapuã, o aumento não é visível nas rochas de dique, aqui representadas pelos microssienitos daquele complexo.

As demais variações presentes nas rochas dos outros diques e "plugs" alcalinos investigados, podem ser também caracterizadas como indicadoras de fontes de outros elementos, tais como, o Ba, o Sr ou o Rb, ou ainda o Na e o K, sendo porém necessários estudos de maior detalhe nas rochas encaixantes desses corpos para fins de verificar a possibilidade dessas relações.

X. COMPLEXO DE TUNAS

X.1. Trabalhos anteriores

Fuck (1972) estudou detalhadamente a petrografia do complexo de Tunas, definindo-o como sendo constituído por sienitos, pulasquitos, gabros alcalinos, sienodioritos, dioritos, rochas filonianas e brechas vulcânicas. O autor propôs a formação do corpo por diferenciação magmática a partir de magma basáltico alcalino, sendo relacionada à passagem do primeiro ao segundo estágio da reativação Wealdeniana da Plataforma Brasileira.

Silva et al. (1981) descreveram sienitos alcalinos, pulasquitos, gabros, dioritos e brechas vulcânicas, além de diques de bostonito e foiaíto, formando um complexo de caráter alcalino feldspático, levemente subsaturado, com tendência alcalina equerítica.

Gomes et al. (1987), recorreram a datações pelos métodos K-Ar e Rb-Sr, obtiveram para as rochas do complexo idades entre 60 e 120 Ma, com frequência maior entre 80 e 90 Ma. Sugeriram que elas teriam sido originadas por cristalização fracionada de olivina, opacos, clinopiroxênio e plagioclásio, como fases dominantes, além de apatita, anfibólio, biotita, titanita e feldspato alcalino, a partir de magma parental gábrico alcalino a sienítico alcalino, com resíduo representando mais de 2% da fração líquida inicial. A evolução teria ocorrido a níveis profundos, com temperaturas iniciais de 1200°C, nos gabros, a 700°C, nos sienitos.

Vasconcellos (1991) estudou o complexo do ponto de vista petrográfico, distinguindo sienitos, sienitos alcalinos, gabros, monzogabros, dioritos, monzodioritos, veios pegmatóides, diques alcalinos (traquitos, microssienitos e bostonitos) e brechas vulcânicas. O trabalho deu ênfase à descrição das brechas vulcânicas, classificadas como intrusivas de conduto e tufisíticas, sendo também caracterizadas com base na química mineral, a partir do estudo de feldspatos e piroxênios da sua matriz.

As rochas filonianas (traquitos, microssienitos e bostonitos) consistem, principalmente, de feldspato alcalino e, em menor

quantidade, de piroxênio e anfibólio; como acessórios, aparecem apatita, zircão e opacos. Elas foram classificadas, com base na textura, por Vasconcellos (1991).

X.2. Petrografia

Os diques aqui estudados são classificados a partir do diagrama de De La Roche et al. (1980), como traquitos (Fig. 41). No diagrama TAS acham-se também projetados no campo das rochas traquíticas (Fig. 42).

Macroscopicamente, os traquitos variam de tipos cinza-esverdeado (menos alterados) a cinza-esbranquiçado (maior grau de intemperismo). São rochas de granulação fina a muito fina, de textura porfirítica e ocorrem, em geral, como pequenos diques cortando as variedades sieníticas. As relações de contato desses diques são marcantes, com limites bem definidos, ressaltados pela concentração de piroxênio nas bordas dos corpos.

Quanto à textura, eles são porfiríticos em matriz tipicamente traquítica, com estrutura de fluxo definida pela orientação de feldspato alcalino ripiforme (Foto 13), ou ainda, microssienítica com estrutura maciça. Os feldspatos alcalinos ocorrem como fenocristais, microfenocristais e minerais da matriz, e se apresentam hipidiomórficos ripiformes a xenomórficos.

Piroxênio de coloração esverdeada, com forte pleocroísmo para o amarelo, é o principal mineral máfico, ocorrendo como fenocristais a microfenocristais, xenomórficos, ou ainda, como constituinte da matriz.

Cristais finos a médios de olivina formam níveis intercalados aos feldspatos, em agregados granulares de cristais xenomórficos. Estão incipientemente alterados, passando a iddingsita, e associam-se a minerais opacos.

Subordinadamente, aparece anfibólio, em pequenos cristais hipidiomórficos de coloração verde-azulado, e guardando associação com os níveis de olivina. Minerais opacos estão presentes junto às olivinas ou aos piroxênios. O principal acessório é o zircão, que ocorre como inclusão em cristais de feldspato.

Figura 41: Diagrama R1R2 de De La Roche et al. (1980) para as rochas de diques alcalinos do complexo de Tunas, PR.

Figura 42: Diagrama TAS ($Na_2O + K_2O$ vs. SiO_2) para as rochas de diques alcalinos do complexo de Tunas, PR.

Vasconcellos (1991) descreve ainda a presença de plagioclásio, em pequena porcentagem, na forma de microfenocristais hipidiomórficos.

| 0,1 mm |

Foto 13: Textura traquítica dada pela orientação de feldspato alcalino ripiforme, em traquito do complexo de Tunas, PR. Pol X, filtro azul.

X.3. Química mineral

Nos traquitos de Tunas foram analisados, por microsonda eletrônica, feldspatos, piroxênios, anfibólios, olivinas e minerais opacos.

Os feldspatos alcalinos representam a principal fase mineral dessas rochas, com os dados químicos constando da Tabela 1 (Apêndice). A partir da sua projeção no diagrama ternário Or-Ab-An (Fig. 43), verifica-se que os minerais são enriquecidos no componente Ab, com pequena porcentagem de An (1-1,5%). A composição dos fenocristais varia de $Or_{33}Ab_{66}An_1$, no núcleo, a $Or_{28}Ab_{71}An_1$, na periferia, caracterizando assim, um zoneamento definido pelo aumento em Na_2O do núcleo para as bordas dos cristais. A composição dos cristais da matriz é $Or_{27}Ab_{72}An_1$.

Figura 43: Diagrama ortoclásio (Or)-albita (Ab)-anortita (An) para feldspatos dos traquitos do complexo de Tunas, PR.

As análises dos piroxênios de Tunas são fornecidas na Tabela 3 (Apêndice). Com base no diagrama $\text{Ca}+\text{Mg}+\text{Fe}^{2+}-2\text{Na}$ de Morimoto (1988), eles são todos enquadrados no tipo *Quad*. Quando colocados no diagrama ternário Wo-En-Fs, eles correspondem, tanto os fenocristais como os microfenocristais, a augitas; na matriz, prevalece hedembergita (Fig. 44).

Zoneamento composicional não é proeminente, reconhecendo-se apenas um pequeno aumento em Fe^{2+} a partir dos fenocristais (0,747 afu no núcleo) até os cristais da matriz (0,790 afu).

Comparando-se os piroxênios de Tunas com aqueles dos demais fonolitos l.s. do Vale do Ribeira, no diagrama triangular Na-Mg- Fe^* ($\text{Fe}^{2+}+\text{Mn}+(\text{Fe}^{3+}-\text{Na})$) (Fig. 45), nota-se que os minerais dos traquitos exibem pronunciado enriquecimento em Fe^* , projetando-se fora dos "trends" evolutivos traçados na Fig. 11 do Capítulo 5.

Com relação à razão Ti/Al (afu), os valores encontrados (0,09, matriz; 0,5, núcleo de fenocristal) são semelhantes aos obtidos para os piroxênios das rochas fonolíticas l.s.

Figura 44: Diagrama Wollastonita (Wo)-Enstatita (En)-Ferrossilita (Fs) de Morimoto (1988) para piroxênios dos traquitos do complexo de Tunas, PR. (TU-FEN-MIC = Tunas, fenocristal ou microfenocristal; TU-MZ = Tunas, matriz).

Figura 45: Diagrama Na-Mg-Fe* ($\text{Fe}^{2+} + \text{Mn} + (\text{Fe}^{3+} - \text{Na})$) para piroxênios dos traquitos do complexo de Tunas, PR. As linhas indicam os "trends" traçados na Fig. 11 para os fonolitos l.s. Símbolos como na Fig. 44.

Anfibólios são descritos apenas em microfenocristais, com os dados químicos disponíveis fornecidos na Tabela 6 (Apêndice).

Utilizando-se a classificação de Leake (1978), eles são definidos como de natureza sódico-cálcica e classificados como ferro-richterita, nas bordas dos grãos e kataforita, junto ao núcleo (Fig. 46). O zoneamento composicional é dado, portanto, pelo aumento em Fe e Si (afu) do núcleo para a periferia dos cristais.

Figura 46: Diagrama mg ($Mg/Mg+Fe^{2+}$) vs. Si de Leake (1978) para anfibólios dos traquitos do complexo de Tunas, PR.

Minerais opacos estão presentes na matriz dos traquitos. As análises químicas obtidas (Tabela 7, Apêndice) indicam tratar-se de Ti-magnetita, quando comparados com os dados de Deer et al. (1992).

Olivinas foram encontradas como microfenocristais ou na matriz das rochas traquíticas. São minerais de composição faialítica, com 63% de FeO_t e 1 a 2% de MgO (Tabela 14, Apêndice); zoneamento composicional não é verificado.

X.4. Geoquímica

Assim como os fonolitos l.s., os traquitos de Tunas foram analisados para elementos maiores e traços (fluorescência de raios X) e Terras Raras (plasma ICP), sendo os dados apresentados na Tabela 9 (Apêndice).

O valor de IA nos traquitos é igual a 1,026, caracterizando, assim, as rochas como miasquíticas; não foram também reconhe-

cidos minerais raros, típicos de variedades agpaíticas. Em relação aos fonolitos l.s., os traquitos são litologias ainda mais evoluídas, com valores de *mg* entre 2 e 3 (Tabela 9). Nos fonolitos peralcalinos, tidos como as rochas mais evoluídas do primeiro grupo, o menor valor para *mg* foi 3.

Do ponto de vista normativo, os traquitos são definidos como rochas saturadas em SiO_2 , com 4,47 a 5,16% de hiperstênio (Hy) e 0,33 a 0,86% de quartzo (qz). A sua afinidade alcalina é dada pela presença de acmita normativa (1,53-1,62%) e por se projetarem acima do limite de MacDonald & Katsura (1964) no diagrama TAS (Fig. 42).

No diagrama de Midlemost (1975), eles são classificados como rochas pertencentes à série potássica, com 5,35 a 5,41% de K_2O e 7,18 a 7,20% de Na_2O (Fig. 47).

Os diagramas de variação das Figs. 48 a 50 são os mesmos empregados no estudo das rochas de diques e "plugs" alcalinos do Vale do Ribeira, com a adição das análises dos traquitos. O índice de diferenciação (ID), utilizado como parâmetro de referência nesses gráficos varia nos traquitos de 90,90 a 90,96%. Para os elementos maiores (Fig. 48) verifica-se que os traquitos são rochas muito diferenciadas em relação aos nefelinitos fonolíticos, destacando-se sobretudo, o maior conteúdo em SiO_2 e menor em TiO_2 , FeO_{tot} , MgO e CaO . Os diagramas para Al_2O_3 , MnO , Na_2O e K_2O são menos esclarecedores, mas considerando-se a seqüência evolutiva nefelinito fonolítico-traquito, pode-se dizer que os traquitos são empobrecidos em MnO e enriquecidos nos demais elementos.

Para os elementos traços, (Fig. 49) as correlações entre os traquitos e as demais rochas são, em vários casos, semelhantes àquelas observadas entre os nefelinitos fonolíticos e os fonolitos peralcalinos. Para fins comparativos, os nefelinitos fonolíticos são novamente utilizados, com os dados indicando que os traquitos possuem enriquecimento apenas em Zr e diminuição em Ni, Ba, Sr, Nb e Y. Para os demais traços (Rb e Cr), os valores para as duas litologias são comparáveis, não se registrando aumentos ou diminuições (Fig. 49).

Figura 47: Diagrama Na_2O vs. K_2O de Midlemost (1975) para os traquitos do complexo de Tunas, PR.

Em relação aos elementos Terras Raras (La, Ce e Nd), os traquitos se mostram mais empobrecidos que todas as demais rochas (Fig. 50).

A representação dos elementos traços e ETR, normalizados pelo manto primordial de Wood et al. (1979), em "spidergrams" evidencia diferenças marcantes em relação às demais rochas investigadas (Fig. 51a). As anomalias são mais pronunciadas, destacando-se, principalmente, as negativas em Sr, P e Ti e positivas em Nd e Zr. Observam-se, ainda, anomalias mais suaves: negativa para Ba e positiva para K e Nb. Comparando-se esse "spidergram" com os da Fig. 31, nota-se que os traquitos de Tunas exibem concentrações menores para todos os elementos, em relação aos fonolitos peralcalinos, fonolitos, traquifonolitos e nefelinitos fonolíticos. Entretanto, apesar das diferenças, tem-se que o comportamento dos elementos traços nas rochas de Tunas é, em linhas gerais, similar ao dessas rochas, apresentando os mesmos tipos de anomalias.

Figura 48: Diagramas de variação usando elementos maiores (% peso) vs. ID (índice de diferenciação) para as rochas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo, incluindo os traquitos de Tunas ($\triangle$). Símbolos como na Fig. 23.

• PG.MC + BT * IT □ MP × BA ◆ SQ
 ▲ SQ-DR.U/CA △ TUNAS ■ Traqfon ■ fonolito ◆ neffon ◆ neffon

Figura 49: Diagramas de variação usando elementos traço (ppm) vs. ID para as rochas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo, incluindo os traquitos de Tunas.

Figura 50: Diagramas de variação usando os elementos Terras Raras (ppm), analisados por fluorescência de raios X, para as rochas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo, incluindo os traquitos de Tunas. Símbolos como na Fig. 49.

No "spidergram" construído a partir dos elementos traço e ETR analisados por plasma ICP (Fig. 51b), realça-se novamente a menor concentração dos diversos elementos, nos traquitos, quando comparado com os fonolitos l.s.; contudo, não se reconhecem diferenças na intensidade das anomalias.

Com base no "spidergram" para os ETR, normalizados pelos condritos de Boyton (1984), os traquitos de Tunas podem ser comparados àqueles do primeiro grupo da Fig. 33, que inclui as rochas de Morro do Chapéu, Barra do Teixeira, Itapirapuã, Banhadão, Sete Quedas e diques SQ37, SQ39, SQ40 e SQ41. Porém, apesar da similaridade nas assinaturas das Terras Raras, eles se destacam, mais uma vez por serem menos fracionados que as outras rochas, mostrando valores inferiores para todos os elementos (Fig. 51c).

O fracionamento entre ETRL e ETRP é marcado pela razão $La/Lu_{cn} = 5,40$, muito inferior à dos fonolitos l.s., sendo o somatório dos ETR = 134 ppm (Tabela 10, Apêndice).

X.5. Aspectos petrogenéticos

Na análise dos diagramas de variação para elementos maiores, comparando-se nefelinitos fonolíticos e traquitos, tem-se a possibilidade do fracionamento destes últimos a partir dos primeiros. Com base apenas nos elementos maiores, é possível a formação do traquito 44B a partir do nefelinito fonolítico 36B (Tabela 11, Apêndice), como segue:

Passagem: nefelinito fonolítico 36B - traquito 44B

$$res^2 = 0,7600; F = 0,2172$$

fases fracionadas: 37% de piroxênio + 23% de feldspato alcalino + 29% de nefelina + 1% de biotita + 7% de magnetita + 3% apatita

Para os elementos traços, utilizando-se o fracionamento de Rayleigh (Cox et al., 1979), a passagem é impossível de ser realizada, obtendo-se valores muito elevados para a razão C/O. Empregando-se os coeficientes de partição do programa PRIMITIVI para magmas pouco evoluídos (Tabela 12, Apêndice), chega-se a:

	Cr	Ni	Ba	Rb	Sr	La	Ce	Nd	Zr	Y	Nb
C/O =	0,09	0,23	8,80	3,25	57,51	7,15	3,59	3,67	1,20	2,69	5,80

ou seja, apenas o valor para o Zr está próximo de 1,00, não se podendo aceitar os demais.

Se o cálculo de C/O for feito com os coeficientes para magmas evoluídos, os resultados são ainda mais altos, reforçando, assim, a impossibilidade do fracionamento.

Tentativamente, procurou-se obter a formação dos traquitos a partir do fracionamento dos gabros do referido complexo, porém, aqui também os resultados obtidos foram insatisfatórios, com valores de C/O muito elevados.

Segundo Price et al. (1985), os modelos matemáticos quantitativos para as rochas traquíticas são muito sensíveis às variações das composições minerais, com os modelamentos requerendo informações mais detalhadas.

Dessa forma, pode-se dizer que apenas a origem dos traquitos é diversa daquela dos fonolitos l.s. estudados; para encontrar-se a rocha geradora dos traquitos de Tunas faz-se necessário um levantamento maior sobre a composição mineral de magmas gabróicos, suas possíveis fontes de formação.

X. 6. Isótopos

Dados isotópicos para as rochas de Tunas são aqueles disponíveis na literatura, pois os traquitos analisados possuem valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ abaixo dos limites de detecção, tendo sido, portanto, rejeitados. Gomes et al. (1987) encontraram, para rochas de dique de Tunas, idade K/Ar de $81,1 \pm 1,1$ Ma. As razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ obtidas pelos autores para sienitos alcalinos e sienitos de diques situam-se entre $0,70695 \pm 2$ e $0,706923 \pm 3$, estando a razão inicial entre 0,70648 e 0,70806.

Figura 51: "Spidergrams" para: a) elementos incompatíveis analisados por fluorescência de raios X; e b) analisados por plasma ICP, normalizados pelo manto primordial de Wood et al. (1979); c) elementos Terras Raras, normalizados para os condritos de Boyton (1984), para os traquitos de Tunas, PR.

X.7. Geologia econômica

Atualmente o complexo de Tunas é economicamente explorado para rochas ornamentais. Grandes pedreiras em atividade estão lavrando duas variedades principais de sienito: o "verde Tunas" e o "cinza mar" (Nagalli, 1990), que são sienitos alcalinos.

Quimicamente, não foram encontrados indícios de mineralizações, sendo os teores em elementos traços e Terras raras muito baixos. O estudo dos traquitos ressalva esta afirmativa, pois como observado em diagramas de variação e em "spidergrams" os valores para esses elementos são sempre inferiores aos presentes nos fonolitos l.s. Comparando-se os traquitos com as rochas de diques alcalinos do complexo do Mato Preto, considerado como sendo importante fonte de Terras Raras, nota-se a grande disparidade nos teores desses elementos para as duas ocorrências: no traquifonolito do Mato Preto o somatório de ETR é de 945 ppm, enquanto no traquito de Tunas alcança 134 ppm.

XI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

XI.1. A origem dos fonolitos

A origem das rochas alcalinas em geral é muito discutida. Muitos autores preocupam-se com o assunto e vários modelos genéticos têm sido propostos a respeito, e a partir desses muito se tem falado sobre as rochas fonolíticas.

Bowen (1937) sugeriu que o equilíbrio cristal-líquido tem sido o controle dominante na produção de riólitos, traquitos e fonolitos, como líquidos residuais de magmas que estão se cristalizando.

Carmichael (1964) e Hamilton & Mackenzie (1965), com base em estudos experimentais do sistema $\text{NaAlSiO}_4\text{-KAlSiO}_4\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$, discutiram a geração de fonolitos produzidos a partir de diferenciados traquíticos. Nash et al. (1969) admitiram esse mecanismo para as rochas de Monte Suswa, Kenya, relacionando a associação traquitos e fonolitos no tempo e no espaço, e sugerindo que líquidos traquíticos insaturados são parentais aos fonolitos.

Bailey & Schairer (1966) definiram o sistema experimental $\text{Na}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$, a 1 atm, para explicar a geração de rochas a partir de líquidos com razão álcali/alumina > 1, que não pode ser justificada pelo Sistema Residual da Petrogênese de Bowen (1937). Os autores observaram que rochas fonolíticas formam-se em um ponto eutético quaternário a temperatura de 715°C e tendo na composição nefelina+albita+dissilicato sódico+líquido, no sistema sintético e que isto pode ser tomado como a representação de um ponto similar de cristalização na natureza. O dissilicato sódico não representa uma fase mineral.

Este sistema tem sido chamado "Sistema Residual Peralcalino" (Gittins, 1979) e é caracterizado pelo equilíbrio envolvendo acmita, albita, nefelina, quartzo e um líquido peralcalino. Devido à complexidade do sistema, foi construído um diagrama de fluxo por Bailey & Schairer (1966), onde são mostrados os planos e linhas de equilíbrio univariante e pontos invariantes relacionados no tetraedro. Esse diagrama, simplificado por Gittins (1979), foi elaborado tendo as maiores temperaturas no topo e as menores na base.

Lippard (1973), estudando os fonolitos do Kenya Rift, distinguiu três tipos diferentes, cuja formação se deu a partir de fontes magmáticas distintas. O tipo Kenya, por suas associações e petroquímica, derivou de lavas traquíticas medianamente insaturadas, sendo o líquido parental provavelmente de composição olivina basalto alcalino. Os fonolitos do tipo Plateau são rochas muito diferenciadas e que, muito possivelmente, foram originadas por fusão parcial, seguida de cristalização fracionada, a partir de um líquido parental de composição basanitóide, insaturado. O tipo Gwasi, por ser mais complexo que os anteriores, não foi interpretado.

Sorensen (1974) procurou advogar que traquitos e fonolitos de ilhas oceânicas representam o produto de cristalização de líquidos residuais derivados de grandes volumes de olivina basaltos alcalinos, porém sua origem, como indicado por dados isotópicos parece contraditória. Origem por diferenciação magmática é também proposta para algumas regiões continentais.

MacDonald (1974) definiu que, sob condições de forte fracionamento, o magma traquítico pode produzir resíduo fonolítico ou riolítico alcalino. Magmas basaníticos e nefeliníticos seguem caminhos de cristalização grandemente insaturados e são capazes de gerar derivados fonolíticos sem um estágio intermediário traquítico. Kuno (1968) e Coombs & Wilkinson (1969, ambos in MacDonald, 1974), em trabalho de revisão dos possíveis "trends" de fracionamento de magmas básicos alcalinos, demonstraram que há um espectro contínuo de linhagens de líquidos básicos a sálicos, dependendo da composição do magma parental. Esses autores reconheceram três séries gerais sódicas e duas potássicas, sendo as sódicas:

1. basalto alcalino-hawaiito-mugearito-benmoreito-traquito;
2. basanito-nefelina hawaiito-nefelina mugearito-nefelina benmoreito-fonolito;
3. séries nefeliníticas ? (dados insuficientes);

e as potássicas:

4. traquibasalto-traquiandesito-tristanito-traquito;
5. sanidina basanito-nefelina traquiandesito-nefelina tristanito-fonolito.

MacDonald (1974) concluiu então que magmas básicos insaturados podem evoluir para uma composição fonolítica ao longo de diversos "trends" magmáticos. Uma linhagem descende próxima ao plano crítico de subsaturação em sílica para o estágio traquítico, mas por contínuo fracionamento de feldspato é passível de evoluir para um ponto final mais insaturado. Em um outro extremo, líquidos fonolíticos podem formar-se a partir de magmas parentais nefelínicos com somente uma pequena história intermediária de cristalização. No caso intermediário, tem-se, eventualmente, o fracionamento de basanitos para fonolitos via traquibasaltos feldspatoidais.

Segundo Rock (1976), na formação de rochas alcalinas sob baixa P_{CO_2} , ocorre separação de plagioclásio, olivina e piroxênio levando a um "trend" normal de diferenciação de basaltos alcalinos; o membro final da sequência acha-se representado por traquitos. Sob P_{CO_2} alta, a formação da molécula de anortita é completamente suprimida e a olivina separada anteriormente, seguida por piroxênio alcalino, gerando uma série grandemente insaturada que chega a fonolitos e ijolitos.

Gittins (1979), utilizando-se do trabalho experimental de Hamilton & Mackenzie (1965), e com base em exemplos diversos, defendeu que fonolitos possuem como magma parental traquitos pouco insaturados e que se formam por remoção de feldspato a partir de fracionamento, restando um resíduo fonolítico.

No leste do Kenya, nas montanhas de Nyambeni, Aurisicchio et al. (1983) interpretaram fusões basaníticas como possível magma parental que leva a derivados fonolíticos de baixa pressão, por processos de cristalização fracionada. Em alguns basanitos, a composição do piroxênio rico em Ca indica alta pressão de cristalização, sugerindo a possibilidade de estágios evolutivos de fusões primitivas que ocorreram a altas pressões. Nos fonolitos, nefelina e feldspato alcalino caracterizam $P_{H_2O} < 1 \text{ kb}$ e $T > 1000^\circ\text{C}$, obtendo-se temperatura de aproximadamente 1105°C para essas rochas; porém, se for assumida $T < 1000^\circ\text{C}$, a evolução a partir de basanitos e fonolitos peralcalinos teria se desenvolvido entre $200\text{--}250^\circ\text{C}$.

Price et al. (1985), na região do Monte Kenya, sugeriram que os fonolitos e traquitos representam magmas evoluídos por cris-

talização fracionada, que tomaram lugar entre a crosta e o manto superior. Alguns membros dessas suítes mostram evidências do envolvimento de feldspato em sua gênese, com grande empobrecimento de Eu, Ba, Sr e Ca, e que se desenvolveram na crosta a partir de basaltos ou magmas mais evoluídos. Algumas rochas fonolíticas são caracterizadas por baixo SiO_2 , relativamente alto MgO , CaO , TiO_2 , P_2O_5 , Sr e Ba, eventualmente álcalis total e Rb, Zr, Nb e Th muito altos. Essas rochas podem ter se derivado de magmas parentais fortemente insaturados, enriquecidos em grandes íons litófilos e grandes cátions, com feldspato como o fator menos significativo em sua evolução.

Estudando a gênese de magmas alcalinos, com ênfase em sua região fonte, Edgar (1987) definiu que fonolitos são formados pelo fracionamento de clinopiroxênio + biotita a partir de magmas basaníticos.

Le Bas (1987), investigando a associação nefelinito-carbonatito, observou que nefelinitos pobres em olivina podem fracionar para nefelinitos sem olivina e para fonolitos. Esses fonolitos são vítreos e comumente ocorrem como diques e "plugs" (tipo Gwasi de Lippard, 1973). Os tipos Plateau e Kenya formam lavas extensas de baixa viscosidade, originados de basanitos e fontes basálticas. Os fonolitos derivados de nefelinitos são ricos em Sr e Ba e mostram-se mais enriquecidos no total de álcalis que em sílica em relação àqueles derivados de magmas com plagioclásio, onde Sr e Ba são menores que 100 ppm. O autor, com base nas lavas miocênicas do vulcão Kisingiri, no oeste do Kenya, caracterizou a associação como um bom exemplo de um "trend" de fracionamento normal a partir de nefelinitos pobres em olivina. Os estágios primários de fracionamento são dominados pela precipitação de muito clinopiroxênio, mais uns poucos óxidos e alguma olivina, produzindo aumento mínimo de SiO_2 no magma com fracionamento. A produção de fonolitos a partir de nefelinito pobre em olivina é acompanhada pela queda em Ca, Mg, Fe_{tot} , P e algumas vezes Ti, com aumento em Si, Al, Na, K e nas razões Fe/Mg e K/Na.

Woolley & Jones (1987), com base na petroquímica da parte norte da Província Alcalina de Chilwa, Malawi, e no trabalho de Garson (1962, in Woolley & Jones, 1987), consideraram que a grande

variação de rochas do complexo carbonatítico evoluiu de um magma primário kimberlítico ou mica peridotítico pela combinação de cristalização fracionada, fenitização e reomorfismo, incluindo a produção de traquitos e fonolitos pela mobilização de fenitos feldspáticos e nefelinizados.

No Maciço Central, França, o fracionamento de anfibólio em profundidade nos basaltos e hawaitos causa um "trend" de saturação em sílica, aparecendo mugearitos. O fracionamento de clinopiroxênio, olivina, plagioclásio e óxidos de Fe e Ti em câmaras magmáticas em níveis menos profundos causa diferenciação para tefritos ou traquiandesitos. A 50% de SiO_2 cessa o fracionamento de olivina como uma fase maior e a remoção de clinopiroxênio, plagioclásio, anfibólio e opacos, com a composição do líquido derivando para traquitos e fonolitos (Downes, 1987).

Barbieri et al. (1987) admitiram um possível magma parental basanítico para os fonolitos de Piratini, Brasil, com base nos cálculos de balanço de massas a partir da distribuição de elementos maiores, com fracionamento de 25% do líquido. Se o fracionamento se der a partir de fonolitos tefríticos (menos diferenciados), a taxa de fracionamento seria então de 32% de fases sólidas, estas consistindo em clinopiroxênio, plagioclásio e sanidina. Os fonolitos peralcalinos mais evoluídos podem ter se derivado de fonolitos por 53% de remoção de sólido envolvendo predominantemente feldspato alcalino, responsável pela transição para líquidos peralcalinos.

A formação de fonolitos por processos de cristalização fracionada é também admitida por Price & Taylor (1973) para as rochas do vulcão Dunedin, Nova Zelândia; Kyle & Rankin (1976), para as lavas alcalinas do grupo vulcânico McMurdo, Antártica; Garcia et al. (1986), para as rochas da Ilha de Kaula, Hawai; Marsh (1987), para a suíte fonolítica de Klinghardt Mountains, Namíbia; Comin-Chiaramonti et al. (1992), para os fonolitos de Sapucaí, porção centro-oriental do Paraguai; e Vanecková et al. (1993) para a suíte vulcânica alcalina da zona tectono-vulcânica de Labe, República Czech.

A origem de fonolitos por outros processos como imiscibilidade de líquidos ou fusão parcial é eventualmente aceita, porém,

esses processos devem estar sempre associados à cristalização fracionada.

Sorensen (1974) considerou, entretanto, que magmas félsicos são gerados em grande escala por fusão parcial da crosta profunda, sendo que fonolitos são o magma típico de níveis crustais profundos.

O modelo aqui proposto para a gênese dos fonolitos l.s. dos diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira também considera a cristalização fracionada sendo o principal processo responsável pela formação dessas rochas.

Com base na geoquímica de elementos maiores, confirma-se a presença de rochas mais primitivas, os nefelinitos fonolíticos, associadas a litologias muito evoluídas, os fonolitos peralcalinos, e observa-se a existência de várias seqüências evolutivas de derivação a partir dos tipos menos evoluídos até os fonolitos peralcalinos.

Com base nos diagramas de variação para elementos maiores e a partir dos cálculos de balanço de massas admite-se a possibilidade de existirem diversas linhas de evolução para as rochas em estudo. O grupo de litologias exibindo maior riqueza em MgO (nefelinitos fonolíticos do dique SQ36 e do "plug" de Sete Quedas; fonolito do Mato Preto; microssienito de Itapirapuã e fonolitos peralcalinos do Banhadão e do dique SQ40) corresponde em verdade a um conjunto de rochas pouco mais primitivas que os demais fonolitos peralcalinos e traquifonolitos, da área. Nessa seqüência de rochas ricas em MgO, os nefelinitos fonolíticos representam o tipo mais primitivo, a partir do qual, os outros termos do grupo podem ser gerados diretamente. Embora os traquifonolitos do Mato Preto não façam parte do conjunto, o seu fracionamento também pode se dar diretamente a partir dos nefelinitos fonolíticos.

Os fonolitos peralcalinos, que integram o grupo empobrecido em MgO, e que são tidos como as rochas alcalinas mais evoluídas da região são derivados a partir do fonolito peralcalino SQ40; portanto, de maneira generalizada, tem-se a seguinte linha evolutiva:

A cristalização se dá, principalmente, pelo fracionamento de quantidades variáveis de feldspato alcalino, nefelina e piroxênio e, subordinadamente, de biotita, titanita, apatita, magnetita e melanita, conforme descrito no Capítulo 7.

Para a definição do magma parental aos nefelinitos fonolíticos, baseando-se nas informações da literatura, podem ser consideradas várias hipóteses, entre elas: o fracionamento a partir de nefelinitos ricos em olivina, como sugerido por Le Bas (1987); o fracionamento a partir de magmas basaníticos, como admitido por Lippard (1973), MacDonald (1974), Aurisicchio et al. (1983), Edgar (1987) e Barbieri et al. (1987); a formação de rochas fonolíticas a partir de magma parental traquítico (Carmichael, 1964; Hamilton & Mackenzie, 1965; Nash et al., 1969; Gittins, 1979); ou ainda, o fracionamento a partir de basaltos alcalinos (Sorensen, 1974; Downes, 1987).

A possibilidade de derivação das rochas estudadas a partir de traquitos foi tentativamente explorada recorrendo-se à composição dos traquitos de Tunas como magma parental. Os resultados dos cálculos do balanço de massas foram insatisfatórios, levando a uma porcentagem dos resíduos superior à do magma inicial, e, como resultado, dando valor negativo para F.

Comparando-se os dados químicos obtidos com os existentes na literatura para diversas ocorrências de rochas fonolíticas, o modelo que melhor se aplica aos fonolitos l.s. do Vale do Ribeira é aquele sugerido por Le Bas (1987) onde tem-se a derivação de nefelinitos pobres em olivina a nefelinitos sem olivina e posteriormente, a fonolitos se considerarmos que os nefelinitos sem olivina desse autor estão representados na região de estudo, pelos nefelinitos fo-

nolíticos. As características principais que levam a essa analogia são: o enriquecimento em Sr e Ba na maioria das rochas, à exceção dos diques do complexo do Mato Preto; a diminuição em CaO, MgO, FeO_{tot} , P_2O_5 e TiO_2 ; o aumento em SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O e K_2O , como definido pelo autor para as rochas do vulcão Kisingiri, no oeste do Kenya.

Outro fator importante de comparação é que Le Bas (1987) admite o mesmo esquema de fracionamento para os fonolitos do tipo Gwasi de Lippard (1973). Dentre os três tipos de fonolitos descritos por este último autor, o que mais se assemelha aos fonolitos l.s. do Vale do Ribeira é o Gwasi (Vasconcellos et al., 1993), caracterizado por rochas ocorrendo na forma de diques ou "plugs". Petrograficamente, o tipo Gwasi é gradacional a um nefelinito fonolítico e constitui-se por fenocristais de nefelina, egirina-augita, egirina, feldspato alcalino, titanita, apatita e opacos, em matriz formada por piroxênio egirínico, feldspato alcalino, opacos e zeólitas. Quimicamente, se registram várias similaridades, principalmente em relação aos elementos traços, onde tem-se, nos dois casos, nefelinitos fonolíticos mais enriquecidos em Sr e Ba e mais empobrecidos em Nb e Zr que os fonolitos.

A constatação desse fracionamento poderia ser testada com o auxílio do programa "XFRAC", que se baseia no balanço de massas a partir de elementos maiores, e que consiste em adicionar-se ou subtrair-se fases minerais a/de uma litologia conhecida, na tentativa de encontrar-se os magmas parentais ou os seus derivados (ver por exemplo, De Min, 1992). No entanto, os nefelinitos fonolíticos, que são as rochas mais primitivas estudadas, e as quais deveriam ser adicionadas fases minerais, possuem *mg* muito baixo, entre 25 e 48, enquanto que os magmas primitivos, aos quais se pretenderia chegar, devem apresentar valores superiores a 67 (Roeder & Emslie, 1970, in De Min, 1992), o que levam a uma adição de quantidade muito grande de material e, como resultado, a obtenção de dados pouco confiáveis.

As condições de formação de rochas fonolíticas (T , P , f_{O_2} , fluidos) são também discutidas na literatura. Price & Taylor (1973) observaram que o aparecimento de kaersutita como fase líquida indica elevadas condições de $P_{\text{H}_2\text{O}}$ em séries feldspatóidicas, como a derivação de fonolitos. Price & Chappell (1975) verificaram que fonolitos for-

mados a baixas pressões, envolvendo o fracionamento de plagioclásio e feldspato alcalino, são claramente diferentes daqueles derivados a altas pressões (manto superior). Estes exibem elevados conteúdos de Sr e Ba e ausência de anomalias de Eu e são originados de líquidos basaníticos por remoção de olivina, clinopiroxênio, Ti-magnetita e kaersutita. Rock (1976) relacionou a formação de fonolitos a elevadas pressões de CO_2 .

Brotzu et al. (1983), investigando o magmatismo alcalino no Kenya, relacionaram a existência de material fortemente insaturado, como basanitos e nefelinitos, com a ocorrência de vulcanismo carbonatítico portador de CO_2 no material fonte, do qual os magmas fortemente insaturados se originaram.

Algumas considerações com respeito às condições de formação das rochas estudadas são feitas a seguir. A caracterização de biotitas em nefelinitos fonolíticos e alguns fonolitos peralcalinos mostra no diagrama Fe^{3+} - Fe^{2+} -Mg de Wones & Eugster (1965) (Fig. 18) que esses minerais tiveram origem em condições de alta fugacidade de O_2 , sendo os pontos projetados próximos ou acima do "buffer" ilmenita-magnetita. Wones & Eugster (1965) descreveram que biotitas cristalizadas a partir de um magma podem seguir dois "trends" diversos, um rico em ferro e o outro rico em magnésio, dependendo das condições de f_{O_2} durante o resfriamento. Se f_{O_2} decresce com a temperatura, a razão Mg/Fe de fases anidras e a quantidade de magnetita diminui ou varia muito pouco. O "trend" rico em Mg é representado pelo aumento de f_{O_2} , ou sua manutenção, levando à elevação da quantidade de magnetita e da razão Mg/Fe de fases ferro-magnesianas associadas. Os dois "trends" podem representar, respectivamente, subsaturação ou saturação da fusão com relação a H_2O .

A partir dos nefelinitos fonolíticos até os fonolitos peralcalinos mais evoluídos nota-se aumento na quantidade de Fe das biotitas, portanto, pode-se dizer que essas seguem um "trend" rico em Fe. A ausência de magnetita nessas rochas ressalta a possibilidade de sua formação com a diminuição de f_{O_2} a partir das rochas menos às mais evoluídas e, sendo assim, em condições de subsaturação de H_2O , como admitido por Wones & Eugster (1965).

A projeção das análises químicas de nefelinas no diagrama de Hamilton & Mackenzie (1965) (Fig. 5) define temperaturas de cristalização muito variadas, quando comparadas com as isotermas de Hamilton (1961). Elas vão de menos 500°C a mais de 775°C, sendo as temperaturas mais elevadas registradas em nefelinas dos diques do Mato Preto e as mais baixas em nefelinas do fonolito peralcalino de Barra do Ponta Grossa e do nefelinito fonolítico SQ36.

Price et al. (1985) advogaram que baixos graus de fusão a alta f_{CO_2} podem desenvolver produtos relativamente enriquecidos em Ti, P, Sr, Rb, Zr, Nb e Ba; por outro lado altos graus de fusão poderiam levar à formação de líquidos basálticos menos insaturados e menos enriquecidos nestes elementos. A maioria das litologias aqui estudadas é correlacionável às rochas formadas a alta f_{CO_2} , mostrando-se enriquecidas, principalmente, nos elementos traços.

XI.2. Origem dos traquitos vs. origem dos fonolitos

Em muitas regiões do mundo a associação traquito-fonolito está presente. Embora os traquitos de Tunas não ocorram diretamente associados aos fonolitos l.s. do Vale do Ribeira, o complexo de Tunas é tido como parte integrante da mesma província alcalina incluindo os demais complexos, diques e "plugs" alcalinos estudados. Portanto, é interessante ressaltar as diferenças que existem na formação de rochas traquíticas e fonolíticas.

Price & Taylor (1973) admitiram, no estudo do vulcão de Dunedin, Nova Zelândia, que os traquitos constituem um grupo magmático separado dos fonolitos. Os autores consideraram que os traquitos representam uma acumulação de feldspato alcalino ou são derivados na crosta inferior por fusão parcial envolvendo sobretudo feldspato alcalino; já os fonolitos seriam rochas fortemente fracionadas, desenvolvidas por remoção de plagioclásio de magmas fonolíticos e benmoreíticos. Como também observado nos traquitos de Tunas em relação aos fonolitos l.s., Price & Taylor (1973) verificaram que os primeiros são empobrecidos em ETR relativamente aos últimos e que os traquitos apresentam razões anômalas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$.

Price & Chappell (1975), ainda estudando o vulcão de Dunedin, ressaltaram que os traquitos são distintos das demais lavas (fonolitos) do vulcão e que correspondem a uma série separada, evoluída a partir de fonte magmática, isotopicamente diferente, por fusão parcial ou cristalização fracionada.

Rock (1976) separou os traquitos dos fonolitos pelas diferenças que teriam ocorrido na pressão de CO₂ durante a geração dessas rochas, com os traquitos formando-se a baixas pressões e os fonolitos a altas pressões.

Para Price et al. (1985), na região do Monte Kenya, tanto fonolitos como traquitos representam rochas formadas por cristalização fracionada, em vários níveis da crosta e do manto superior. Contudo, os traquitos se diferenciam por serem derivados a baixa pressão pelo fracionamento de um magma parental transicional basáltico; os fonolitos, por sua vez, seriam formados a altas pressões a partir de magmas basálticos insaturados.

Gwalani et al. (1993), estudando as rochas alcalinas e carbonatitos de Amba Dongar, Índia, concluíram pela geração de traquitos supersaturados e peraluminosos, a partir de magmas parentais toleíticos, pela combinação de fusão parcial e cristalização fracionada.

Portanto, o que se pode dizer é que traquitos e fonolitos formam-se seguindo linhas diversas de diferenciação, sendo que, normalmente, faz-se necessária a existência de fontes magmáticas diferentes para gerar esses dois tipos de rochas; alternativamente, no caso de uma mesma fonte, ter-se-iam pressões variadas ou graus de fusão diversos.

Como já descrito no Capítulo 10, os traquitos de Tunas destacam-se na maioria dos diagramas de variação e também nos "spidergrams", em relação às demais rochas investigadas. Nos últimos, observa-se que eles apresentam padrões semelhantes de ETR quando comparados aos fonolitos *l.s.*, porém, com baixa abundância desses elementos, ainda que mostrem um enriquecimento distinto no confronto com os condritos. Segundo Alibert et al. (1987) rochas exibindo padrões semelhantes de ETR são interpretadas como geradas por um mesmo grau de fusão a partir de fontes magmáticas diferentes.

Levando-se em consideração as similaridades existentes entre os "spidergrams" para as rochas de Tunas e para os diques e "plugs" alcalinos do Vale do Ribeira, acredita-se na hipótese de fontes diferentes para a formação dessas litologias.

XI.3. Relações cogenéticas entre os fonolitos l.s. dos diferentes diques e "plugs" da região do Vale do Ribeira

Os dados geoquímicos obtidos em fonolitos peralcalinos, fonolitos, traquifonolitos, microssienitos e nefelinitos fonolíticos do Vale do Ribeira mostram a existência de grupos distintos para essas rochas. A primeira divisão é feita com relação aos elementos maiores. Considerando-se a concentração de MgO, tem-se dois grupos diferentes: um mais enriquecido em MgO ($>0,86$), englobando, principalmente, as rochas mais primitivas (nefelinitos fonolíticos de Sete Quedas e do dique SQ36, além dos fonolitos do Mato Preto, microssienitos de Itapirapuã e fonolitos peralcalinos do Banhadão e do dique SQ40); o outro, mais pobre em MgO, inclui os demais fonolitos peralcalinos. Os traquifonolitos do Mato Preto acham-se no limite dos dois grupos.

A segunda divisão é dada pelo conteúdo de MnO e de alguns elementos traços (Rb, Zr, Nb e Y) e ETRL (La, Ce e Nd), onde tem-se, no grupo empobrecido em MgO, rochas ricas em MnO, ET e ETRL, que são os fonolitos peralcalinos e traquifonolitos do Mato Preto, e, como tipos mais pobres, os demais fonolitos peralcalinos.

Os "spidergrams" para ET (Figs. 31 e 32) realçam esta segunda separação, evidenciando o grande enriquecimento para os elementos citados acima, e também em Cs, Th, U e Tb, nas rochas do Mato Preto. Os diagramas das Figs. 31 e 32 ressaltam, ainda, as diferenças existentes entre as rochas ricas e pobres em MgO.

Na Fig. 32, um novo conjunto de rochas é caracterizado, com os fonolitos peralcalinos de Barra do Ponta Grossa, Sete Quedas e Cerro Azul exibindo anomalias mais acentuadas que as presentes nas demais rochas do grupo com baixo MgO. Este novo agrupamento é também evidente nos padrões de ETR (Fig. 33), sendo marcado por rochas que apresentam fracionamento menor em ETR médios e pesados. Quanto ao

comportamento desses elementos, ao grupo junta-se também o nefelinito fonolítico do dique SQ36.

Portanto, considerando-se o estudo geoquímico executado, os diques e "plugs" do Vale do Ribeira podem ser separados, inicialmente, em duas séries ou grupos principais:

1. rochas ricas em MgO: nefelinitos fonolíticos de Sete Quedas e SQ36, fonolitos do Mato Preto, microssienitos de Itapirapuã e fonolitos peralcalinos SQ40 e do Banhadão;
2. rochas pobres em MgO: demais fonolitos peralcalinos.

E, a partir do grupo 2, tem-se outra divisão em três novas séries ou grupos:

1. rochas ricas em ET e ETR: fonolitos peralcalinos e traquifonolitos do Mato Preto;
2. rochas pobres em ETRP: fonolitos peralcalinos de Barra do Ponta Grossa, Cerro Azul e Sete Quedas;
3. rochas intermediárias entre 1 e 2: fonolitos peralcalinos de Morro do Chapéu, Barra do Teixeira e diques SQ37, SQ39 e SQ41.

Geograficamente alguns desses conjuntos de rochas definem linhas de direção NW-SE, coincidentes com os diques básicos da Formação Serra Geral. As rochas do primeiro grupo localizam-se mais ao norte da região (Anexo) e, claramente, podem ser alinhadas segundo NW-SE. As ocorrências pobres em ETRP, que ocorrem mais ao sul, também definem um alinhamento nítido. Entre as rochas intermediárias podem ser traçadas linhas unindo as ocorrências de Barra do Teixeira e do Morro do Chapéu; e entre os diques SQ37, SQ39 e SQ41.

Para melhor caracterizar essas séries foram construídos diagramas utilizando-se razões entre os elementos traços. Na maioria dos diagramas é definida uma nítida separação entre os dois primeiros grupos.

Com base no trabalho de Pearce & Norry (1979), foram confeccionados inicialmente diagramas utilizando-se as razões Zr/Nb e Zr/Y contra Zr (Fig. 52). No primeiro, o grupo com alto MgO possui baixa razão Zr/Nb (<2), enquanto as rochas pobres em MgO mostram razão maior ou igual a 2, variando até 5 (Fig. 52, superior). Neste gráfico, ressaltam-se ainda os traquitos de Tunas, que se sobressaem

Figura 52: Diagramas Zr/Nb vs. Zr e Zr/Y vs. Zr para as rochas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.

por suas razões maiores que 10, ou seja, o dobro da maior razão encontrada nos fonolitos peralcalinos.

No diagrama Zr/Y vs. Zr (Fig. 52, inferior), tem-se razões menores que 17 para as rochas com alto MgO e superiores a 20 para o segundo grupo, sendo que as rochas do Mato Preto e do dique SQ39 apresentam valores intermediários entre as duas séries.

Segundo Pearce & Norry (1979), a maioria das variações observadas nessas razões podem ser atribuídas a heterogeneidades na fonte, ou ainda, a sítios tectônicos diversos, onde os magmas teriam sido gerados.

Diagrama relacionando as razões Zr/Nb e Ba/Nb (Fig. 53, superior) separa as rochas ricas em MgO, com baixa razão Zr/Nb e com alto Ba/Nb (>2) das pobres em MgO, com alto Zr/Nb e baixo Ba/Nb (<2). O traquifonolito do Mato Preto e o fonolito peralcalino SQ42 encontram-se no limite entre os dois grupos, com relação ao Zr/Nb, porém, pertencem, claramente, ao segundo grupo, considerando-se a razão Ba/Nb. Neste gráfico, foram usadas apenas as amostras analisadas por plasma ICP, para obter-se uma melhor visualização dos dados.

Empregando-se as razões Nb/Ba vs. La/Ba (Fig. 53, inferior) essa divisão é novamente ressaltada, sendo que as rochas do primeiro grupo contêm razão Nb/Ba menor que as do segundo. Para La/Ba não se distingue qualquer limite.

A partir de diagramas de variação, utilizando-se apenas elementos traços como Nb vs. Y ou Cs vs. Y (Fig. 54), são destacadas as rochas pobres em ETR (Barra do Ponta Grossa, Sete Quedas e Cerro Azul). Com base nas razões Nb/Y, tem-se para essas rochas uma razão 1:17, enquanto para as demais ela é de aproximadamente 1:6 (Fig. 54, superior). No caso do Cs vs. Y, esse grupo apresenta razão Cs/Y de 2,5:1 contra 1:6 nos demais casos (Fig. 54, inferior). Nesta figura, consegue-se também separar o traquifonolito do Mato Preto, com razão Cs/Y=0,7 dos outros dois grupos.

Aliando-se a geoquímica à química mineral, foram construídos diagramas relacionando piroxênios, exibindo ampla variação composicional, e elementos traços. Empregando-se Na (afu) vs. Nb, La ou Zr (Fig. 55), tem-se a distinção de dois grupos: um rico em Na, que engloba as rochas pobres em ETR mais o dique SQ37 e um dos fono-

Figura 53: Diagramas Zr/Nb vs. Ba/Nb e Nb/Ba vs. La/Ba para as rochas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.

Figura 54: Diagramas de variação Nb-Y e Cs-Y (ppm) para as rochas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.

lítos peralcalinos do Mato Preto; e um outro pobre em Na, reunindo as rochas ricas em MgO e demais fonolitos peralcalinos. Os piroxênios ricos em Na, pertencentes ao primeiro grupo, são caracterizados por baixo Ca e mg ($Mg/Mg+Fe^{2+}$) e alto Fe (Fig. 56). As rochas do Mato Preto destacam-se nesses diagramas por não se encaixarem em nenhum dos dois grupos, variando de um para o outro; elas podem conter seja piroxênios ricos em Na, como em Ca (Figs. 55 e 56).

Os dados isotópicos dividem as rochas investigadas em apenas dois grupos, um com alta razão $^{87}Sr/^{86}Sr$ (0,709437±4 a 0,710510±3), constituído pelos fonolitos peralcalinos SQ37 e Sete Quedas, e outro com baixa razão $^{87}Sr/^{86}Sr$ (0,704834±32 a 0,70649±2), sendo o menor valor encontrado no nefelinito fonolítico de Sete Quedas. As rochas do primeiro grupo são as únicas que apresentam piroxênio tipicamente sódico, de composição egrínica, sendo, assim, separadas das demais e classificadas como rochas agpaíticas, numa tentativa de explicar-se suas elevadas razões isotópicas.

As variações dos dados geoquímicos e isotópicos caracterizam, portanto, a existência de grupos distintos de rochas alcalinas na região do Vale do Ribeira. A primeira grande divisão é em relação aos traquitos de Tunas e demais ocorrências, já discutida anteriormente, seguida de divisões menores, que separam o complexo do Mato Preto por seu enriquecimento em ETR e ET; as rochas pobres em MgO, geralmente mais primitivas; as rochas empobrecidas em ETRP; e as rochas definidas como agpaíticas. Para explicar essas variações são admitidas várias hipóteses:

1. existência de magmas diversos responsáveis pela formação dos diferentes grupos;
2. geração das rochas a partir de uma mesma fonte, porém com diferentes graus de fracionamento;
3. contaminação crustal.

A primeira hipótese baseia-se na ocorrência de rochas mostrando padrões semelhantes de ETR, que indicam mesmo grau de fusão a partir de fontes diversas, como discutido por Alibert *al.* (1987).

A segunda considera os cálculos de balanço de massas, onde verifica-se a possibilidade de geração de todas as rochas estudadas,

Figura 55: Diagramas de variação utilizando elementos traços, Nb, La e Zr (ppm) de análise de rocha total contra Na (afu) de piroxênios de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.

Figura 56: Diagramas de variação utilizando La (ppm) contra CaO e FeO (% peso) e *mg* (Mg/Mg+Fe²⁺, afu) de piroxênios de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.

com exceção dos traquitos, a partir de rochas mais primitivas, os nefelinitos fonolíticos, tendo estes últimos sido formados a partir de um magma nefelinítico ou basanítico.

A terceira hipótese é embasada no aumento em SiO_2 em relação ao aumento da razão inicial R_0 . Petrini et al. (1987), no estudo dos basaltos da Bacia do Paraná, discutiram a possibilidade da contaminação de basaltos com alto R_0 , por um contaminante granítico rico em SiO_2 .

Marsh (1987) atribuiu a variação composicional, em suítes fonolíticas a processos de cristalização fracionada, que se fizeram acompanhar de transferência de voláteis, acarretando interação entre rochas crustais e os fonolitos mais evoluídos. O autor descreveu ainda que os fonolitos não são membros de um único "trend", mas representam diversas linhagens de cristalização fracionada a partir de um número de fonolitos primitivos subparentais de composições similares.

Os modelos de "mixing" de DePaolo & Wasserburg (1979) e de DePaolo (1981), que tratam da contaminação ou assimilação crustal, não puderam ser testados devido à falta de dados relativos ao granito Três Córregos, possível contaminante das rochas estudadas.

Sendo assim, as três hipóteses discutidas acima são aceitáveis para a formação das rochas em questão, considerando-se fontes diversas para a geração de fonolitos l.s. e de traquitos; diferentes graus de fracionamento, a partir de seqüências distintas, capazes de formar diferentes séries; contaminação crustal, responsável pelas variadas razões isotópicas. Entretanto, a hipótese de fontes diversas para gerar os vários grupos de rochas fonolíticas l.s. não é descartada.

XI.4. Relações dos fonolitos l.s. com ocorrências congêneres mais próximas

Não muito distante da região do Vale do Ribeira, as principais ocorrências de rochas alcalinas, onde rochas fonolíticas ocorrem de forma expressiva são: Lages em Santa Catarina; Piratini, no Rio Grande do Sul; e Sapucaí no Paraguai Oriental.

XI.4.1. Complexo de Lages, SC

O complexo de Lages, SC, descrito por Scheibe (1986), consiste em analcita traquitos, fonolitos agpaíticos, nefelina sienitos porfiríticos, olivina melilititos e olivina nefelinitos, além de brechas vulcânicas. Os fonolitos são tipicamente agpaíticos, e portadores de fases minerais raras, como pectolita, eudialita-eucolita, astrofilita, lovenita, murmanita e neptunita. Contudo, os tipos porfiríticos assemelham-se aos fonolitos s.s. do Mato Preto. A química mineral, notadamente feldspatos e nefelinas, mostra rochas muito semelhantes entre as ocorrências do Vale do Ribeira e de Lages.

Com relação às variações em elementos traços, tem-se em comum o enriquecimento em Rb e Zr, enquanto que para os demais elas são muito distintas. A quantidade de Ba, Sr e Nb nos fonolitos l.s. estudados é muito maior que a dos fonolitos de Lages, estes, geralmente, possuindo valores entre 0 e 100 ppm. O La é similar nos dois casos, porém, as rochas do Vale do Ribeira se mostram um pouco mais enriquecidas, isto sem considerar os diques do Mato Preto, que possuem valores muito mais elevados.

A partir dos resultados isotópicos, as diferenças entre os fonolitos de Lages e Vale do Ribeira são ainda mais evidentes, uma vez que os primeiros apresentam razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ sensivelmente superiores, variando entre $0,7080 \pm 16$ e $0,7341 \pm 4$.

Scheibe (1986) sugeriu a formação dos fonolitos a partir da fusão parcial de um manto metassomatizado, com a presença de CO_2 , com formação de magmas parentais nefeliníticos, que, por cristalização fracionada de líquidos remanescentes, evoluíram até os fonolitos.

XI.4.2. Suíte fonolítica de Piratini, RS

A suíte fonolítica de Piratini foi examinada por Barbieri et al. (1987), sendo a que mais se assemelha às ocorrências do Vale do Ribeira. Os fonolitos de Piratini formam condutos, domos suaves e diques cortando o embasamento precambriano, e têm idade K/Ar de 99,3 a 76,0 Ma. Essas rochas são classificadas como fonolitos tefríticos, fonolitos e fonolitos peralcalinos, representando "um aumento pro-

gressivo de diferenciação" (Barbieri et al., 1987). Petrograficamente, os fonolitos de Piratini assemelham-se aos fonolitos s.s. do Mato Preto pela presença de magnetita. Os fonolitos peralcalinos são similares aos fonolitos peralcalinos do Banhadão, pois contêm melanita. Já os fonolitos tefríticos, portadores de plagioclásio, diferenciam-se das rochas estudadas, posto que nestas não foi constatada a presença do mineral.

Com relação à química mineral, os dois grupos de rochas são muito parecidos devido à presença de feldspatos alcalinos com baixo teor em Ca; nefelinas passando a zeólitas e cancrinita; melanita; e piroxênios que variam de tipos cálcicos até variedades sódicas. O diagrama Na-Mg-Fe* para os piroxênios de Piratini (Fig. 12) também exhibe "trend" semelhante ao dos minerais do Vale do Ribeira.

As variações químicas para elementos maiores e traços são as mesmas nos dois casos, bem como os padrões de ETR. As razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ em Piratini variam de 0,70461 a 0,70568, ou seja, são um pouco inferiores às dos fonolitos l.s. do Vale do Ribeira.

Barbieri et al. (1987) interpretaram a gênese dos fonolitos de Piratini como devida a processos de cristalização fracionada a partir de magmas parentais basaníticos. A hipótese dessas rochas terem sido formadas a partir de nefelinitos é descartada pelos autores com base na análise do sistema Ne-Ab-Di-Fo. Os tefritos fonolíticos possuem composições de acordo com a ordem de cristalização clinopiroxênio, plagioclásio, nefelina, formando um "trend" distinto com respeito ao de fusões mais insaturadas, típicos de nefelinitos, para os quais a cristalização do cotético olivina-clinopiroxênio une-se à nefelina e ao feldspato tardio.

Portanto, os fonolitos de Piratini e do Vale do Ribeira podem ser vistos como cogenéticos relativamente à geoquímica, à química mineral e às razões isotópicas. Contudo, com relação ao material fonte, gerador dessas rochas, formam grupos cogeneticamente distintos.

XI.4.3. Complexo de Sapucaí, Paraguai Oriental

A atividade filoniana associada ao gráben de Sapucaí no Paraguai Oriental é relatada por Gomes et al. (1989), Comin-Chiaromonti et al. (1992) e De Min (1992). O magmatismo que afetou a região é tipicamente potássico, representado por um manto de lavas composto de basaltos e basanitos leucíticos, atravessado por variedades extrusivas, como tefritos, basaltos leucíticos e olivínicos, além de material plutônico de natureza predominantemente sienodiorítica-essexítica, com sienitos (basaltos e basanitos leucíticos a pseudoleucíticos) subordinados. Este conjunto de rochas é cortado por diques, principalmente de direção NW-SE, de composição basáltica, tefrítica e fonolítica (Gomes et al., 1989).

Os fonolitos de Sapucaí são divididos em quatro tipos segundo Comin-Chiaromonti et al. (1992): tipo-A com megacristais de pseudoleucita, com IA de 0,95-0,96, $MgO > 3\%$; tipo-B, com megacristais de plagioclásio, IA=0,70-0,74, $MgO = 1,5-3,0\%$; tipo-C, com megacristais de nefelina e feldspato alcalino; IA=0,90-0,94; $MgO < 1,5\%$; peralcalinos, com microfenocristais de granada e titanita; IA=1,1-1,3, $MgO < 0,5$. Portanto, os fonolitos do tipo-C e os peralcalinos são os que mais se assemelham aos fonolitos l.s. do Vale do Ribeira.

Petrograficamente, segundo dados de De Min (1992), os fonolitos e fonolitos peralcalinos de Sapucaí diferenciam-se dos fonolitos l.s. aqui investigados pela presença, nos primeiros, de anfibólios, pseudoleucita e opacos.

Com base na química mineral, os dois grupos são também distintos. Os piroxênios dos fonolitos de Sapucaí são mais magnesianos e distanciam-se do vértice rico em Na no diagrama Na-Mg-Fe⁺ (Fig. 12); os feldspatos possuem composições entre $Or_{46-92}Ab_{50-8}An_2$; a presença de anfibólios e opacos é comum em todas as rochas. Em relação às biotitas, feldspatóides e granadas as rochas dos dois grupos se assemelham.

A variação química para os elementos maiores apresenta também similaridades, enquanto que para os elementos traços algumas diferenças se fazem presentes: valores inferiores para Ba, Nb, Y, Zr e Rb e superiores para Sr nas rochas paraguaias. Com exceção dos dados

para o complexo do Mato Preto, os valores para La, Ce e Nd, são similares para as duas ocorrências.

Os padrões de ETR demonstram que os fonolitos de Sapucaí são mais empobrecidos em ETRP que os correspondentes do Vale do Ribeira. Constituem exceção os fonolitos peralcalinos classificados como pobres em ETRP (Barra do Ponta Grossa, Sete Quedas e Cerro Azul), que se assemelham às rochas paraguaias.

Com relação aos aspectos petrogenéticos, os fonolitos de Sapucaí são derivados por cristalização fracionada a partir de tefritos, pela precipitação de olivina, clinopiroxênio, plagioclásio e magnetita ou a partir de fonotefritos, (De Min, 1992), com os magmas primários representando diferentes graus de fusão de uma fonte mantélica de natureza peridotítica ou, alternativamente, os produtos de diversas fontes (De Min, 1992).

XI.4.4. Complexos de Jacupiranga e Juquiá, SP

Embora sejam encontrados diques de composição fonolítica nos complexos de Jacupiranga e Juquiá, no Vale do Ribeira, os dados químicos disponíveis na literatura são muito escassos, dificultando, assim, uma análise comparativa com os fonolitos l.s. objeto deste trabalho.

XII. CONCLUSÕES

1. Na região do Vale do Ribeira, rochas de composição fonolítica l.s. são reconhecidas nos complexos do Banhadão, Itapirapuã e Mato Preto; nos "plugs" de Sete Quedas e Barra do Teixeira e diques de Barra do Ponta Grossa, Morro do Chapéu, Cerro Azul e SQ36, SQ37, SQ39, SQ40 e SQ41 (os cinco últimos localizados na estrada Sete Quedas-Dr. Ulisses);
2. As rochas são classificadas como: fonolitos peralcalinos (mais comuns); fonolitos e traquifonolitos no complexo do Mato Preto; nefelinitos fonolíticos em Sete Quedas e dique SQ36; e microssienitos em Itapirapuã;
3. No complexo de Tunas, os diques alcalinos correspondem a traquitos;
4. Petrograficamente, as rochas fonolíticas l.s. são subafíricas a porfiríticas, constituídas por fenocristais de feldspato alcalino, nefelina e piroxênio (mais comuns), além de biotita e melanita em alguns casos; a matriz é formada pelas mesmas fases mais vidro, zeólitas e cancrinita. Os fonolitos diferenciam-se dos fonolitos peralcalinos por sua riqueza em anfibólios; os nefelinitos fonolíticos distinguem-se por conterem melanita como fenocristais, microfenocristais ou como constituinte da matriz; os traquifonolitos só são diferenciados quimicamente; e os microssienitos recebem esta denominação devido à ausência de textura traquítica, comum nas demais rochas e pela ausência de nefelina modal;
5. Os traquitos de Tunas são distinguidos pela ausência de nefelina modal e pela presença de olivina, anfibólios e opacos;
6. Por meio da química mineral são determinados: feldspatos alcalinos, que variam de tipos ricos no componente ortoclásio (Or) até variedades mais ricas em albita (Ab); nefelinas; piroxênios, classificados como cálcicos (diopsídio, hedembergita e augita), sódico-cálcicos (egirina-augita) e sódicos (egirina); biotitas, encontradas apenas nos fonolitos peralcalinos de Barra do Ponta Grossa, Morro do Chapéu, Mato Preto, Cerro Azul e SQ40 e nos nefelinitos fonolíticos, são definidas como Mg-biotitas (mais comuns) e Fe-biotitas; granadas de composição melanítica a schorlomítica,

descritas nos fonolitos peralcalinos do Banhadão e nos nefelinitos fonolíticos; anfibólios, identificados somente nos fonolitos do Mato Preto, de composição variada entre kaersutita e Fe-kaersutita; opacos, também descritos somente nos fonolitos s.s., classificados como Ti-magnetita; e zeólitas (natrólitais), ocorrendo como produto de alteração de nefelinas e feldspatos alcalinos;

7. Nos traquitos, são descritos feldspatos alcalinos enriquecidos em Ab; piroxênios, classificados como augitas ou hedembergitas; anfibólios variando de Fe-richterita a kataforita; opacos, definidos como Ti-magnetita; e olivinas faialíticas;
8. O estudo geoquímico, aliado à química mineral, caracteriza os fonolitos l.s. como sendo rochas muito evoluídas, devido aos baixos valores de mg e à ausência de minerais opacos, plagioclásios e olivinas. A partir do estudo dos elementos maiores, reconhece-se uma variação desde nefelinitos fonolíticos até fonolitos peralcalinos com aumento em SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O e K_2O e empobrecimento em TiO_2 , FeO_{tot} , MgO , CaO , P_2O_5 e MnO . Para os elementos traços tem-se aumento em Rb, Zr, Nb e Y e diminuição em Ni, Ba e Sr. As rochas do Mato Preto destacam-se prontamente pela sua maior riqueza em Rb, Zr, Nb e Y;
9. "Spidergrams", com base nos elementos traços, mostram geralmente anomalias negativas para Ba, Sr, P e Ti e positivas para Nb, Nd e Zr. Quanto aos ETR, distinguem-se rochas enriquecidas em ETRL e empobrecidas em ETRP, sendo o empobrecimento mais marcante nos fonolitos peralcalinos de Barra do Ponta Grossa, Cerro Azul e Sete Quedas e no nefelinito fonolítico SQ36;
10. Considerando-se a geoquímica e os padrões de ETR, as rochas são divididas em quatro grupos distintos: um grupo rico em MgO (nefelinitos fonolíticos, fonolitos, microssienitos e fonolitos peralcalinos do Banhadão e SQ40); um grupo pobre em MgO, dividido, por sua vez, em rochas ricas em elementos traços e ETR (Mato Preto); rochas pobres em ETRP (Barra do Ponta Grossa, Cerro Azul e Sete Quedas) e rochas intermediárias (Morro do Chapéu, Barra do Teixeira, SQ37, SQ39 e SQ41);

11. Ainda com base na geoquímica e recorrendo-se a cálculos de balanço de massas, são definidos "trends" de fracionamento a partir dos nefelinitos fonolíticos, com formação, por processos de cristalização fracionada, de fonolitos peralcalinos menos evoluídos, fonolitos, traquifonolitos e microssienitos, e a partir dos fonolitos peralcalinos menos evoluídos, a geração dos demais fonolitos peralcalinos mais evoluídos;
12. As razões isotópicas $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ evidenciam grande dispersão, com valores variando de 0,704834 (nefelinito fonolítico de Sete Quedas) a 0,71051 (dique SQ37). Aqui se distinguem dois grupos, um com baixa razão isotópica (0,704834 a 0,70649), que inclui a maioria das rochas; e outro constituído apenas pelos fonolitos peralcalinos de Sete Quedas e SQ37, de alta razão isotópica (0,709437 e 0,71051, respectivamente), que possivelmente foram afetados por contaminação crustal;
13. Como indicadores do potencial econômico, as rochas do Mato Preto são definidas como as melhores ocorrências, pois destacam-se pelos seus elevados conteúdos em elementos traços e ETR;
14. Quanto à gênese, admitem-se para os fonolitos l.s. e para os traquitos fontes diversas, sendo os primeiros gerados a partir de magmas parentais nefeliníticos, com f_{O_2} variada, diminuindo dos nefelinitos fonolíticos para os fonolitos peralcalinos; temperaturas variadas e alta P_{CO_2} . A geração dos traquitos não é discutida devido à pequena quantidade de dados disponíveis para essas rochas;
15. Comparados com ocorrências congêneres vizinhas, os fonolitos l.s. do Vale do Ribeira assemelham-se à suíte fonolítica de Piratini, RS.

XIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALGARTE, J.P. 1972. A influência dos arqueamentos cratônicos no condicionamento das alcalinas nos Estados de São Paulo e Paraná. In: Congr. Bras. Geol., 26, Belém, 1972. Anais... Belém, SBG. vol. 1, p. 65-69.
- ALIBERT, C.; LETERRIER, J.; PANASIUK, M. & ZIMMERMANN, J.L. 1987. Trace and isotope geochemistry of the alkaline Tertiary volcanism in southwestern Poland. *Lithos*, **20**:311-321.
- ALMEIDA, F.F.M. 1983. Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozóicas da região meridional da plataforma Sul-Americana. *Rev.Bras. Geoc.*, **13**:139-158.
- AMARAL, G.; BUSHEE, J.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K. & REYNOLDS, J.H. 1967. Potassium-argon ages of alkaline rocks from southern Brasil. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, **31**:117-142.
- AURISICCHIO, C.; BROTZU, P.; MORBIDELLI, L.; PICCIRILLO, E.M. & TRAVERSA, G. 1983. Basanite to peralkaline suite: quantitative crystal fractionation model (Nyambeni range, East Kenya Plateau). *Neu. Jb. Miner. Abh.*, **148**:113-140.
- BAILEY, D.K. & SCHAIRER, J.F. 1966. The system $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ at 1 atmosphere, and the petrogenesis of alkaline rocks. *J. Petrol.*, **7**:114-170.
- BAKER, B.H.; GOLES, G.G.; LEEMAN, W.P. & LINDSTROM, M.M. 1977. Geochemistry and petrogenesis of a basalt-benmoreite-trachyte suite from the southern part of the Gregory Rift, Kenya. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **64**:303-332.
- BARBIERI, M.; BECCALUVA, L.; BROTZU, P.; CONTE, A.; GARBARINO, C.; GOMES, C.B.; LOSS, E.L.; MACCIOTTA, G.; MORBIDELLI,

- L.; SCHEIBE, L.F.; TAMURA, R.M.; TRAVERSA, G. 1987. Petrological and geochemical studies of alkaline rocks from continental Brazil. 1. The phonolite suite from Piratini, RS. *Geochim. Brasil.*, 1:109-138.
- BELLIENI, G.; BROTZU, P.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; ERNESTO, M.; MELFI, A.J.; PACCA, I.G.; PICCIRILLO, E.M. & STOLFA, D. 1983. Petrological and paleomagnetic data on the plateau basalt to rhyolite sequences of southern Paraná basin (Brazil). *An. Acad. bras. Ciênc.*, 55:355-383.
- BOWEN, N.L. 1937. Recent high-temperature research on silicates and its significance in igneous geology. *Amer. J. Sci.*, 33:1-21.
- BOYTON, W.V. 1984. Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: HENDERSON, P. (ed.) *Rare earth element geochemistry*. Amsterdam, Elsevier, p.63-114.
- BROTZU, P.; MORBIDELLI, L.; PICCIRILLO, E.M. & TRAVERSA, G. 1983. The basanite suite of the plioquaternary Nyambeni multicentre volcanic range (East Kenya Plateau). *Neu. Jahrb. Min. Abh.*, 147:253-280.
- CARMICHAEL, I.S.E. 1964. Natural liquids and the phonolitic minimum. *J. Geol.*, 4:55-60.
- CARVALHO, P.F. & PINTO, E.A. 1937. Reconhecimento geológico na Série Assunguy. *Serv. Geol. Mineral. Brasil.*, 71:29p.
- CASSETTA, B.; GIARETTA, A. & MEZZACASA, G. 1990. Determination of rare earth and other trace elements in rock samples by ICP - mass spectrometry: comparison with other techniques. *Atom. Spec.*, 11:222-228.

- COMIN-CHIARAMONTI, P.; CUNDARI, A.; GOMES, C.B.; PICCIRILLO, E.M.; CENSI, P.; DE MIN, A.; BELLINI, G.; VELÁZQUEZ, V.F. & ORUÉ, D. 1992. Potassic dyke swarm in the Sapucaí Graben, Eastern Paraguay: petrographical, mineralogical and geochemical outlines. *Lithos* 28:283-301.
- CORDANI, U.G. & HASUI, Y. 1968. Idades K-Ar de rochas alcalinas do primeiro planalto do Estado do Paraná. In: Congr. Bras. Geol., 22, Ouro Preto, 1968. *Anais...* Ouro Preto, SBG. P.149-153.
- COX, K.G.; BELL, J.D. & PANKHURST, R.J. 1979. *The interpretation of the igneous rocks*. George Allen & Unwin, London, 450p.
- CPRM. 1980. Projeto integração e detalhe geológico no Vale do Ribeira, Relatório Final, vol. II (anexo I). 7-Folha Cerro Azul (SG.22-X-B-IV).
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A. & ZUSSMAN, J. 1981. *Minerais constituintes das rochas - uma introdução*. Tradução: CONDE, L.E.N., Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 558p.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A. & ZUSSMAN, J. 1982. *Rock-forming minerals*, vol. 1A - Orthosilicates. 2nd. New York, Longman, 919p.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A. & ZUSSMAN, J. 1992. *An introduction to the rock-forming minerals*. 2nd. Longman Scientific & Technical, Hong Kong, 696p.
- DE LA ROCHE, H.; LETERRIER, J.; GRANDCLAUDE, P. & MARCHAL, M. 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using R_1R_2 - diagram and major element analyses - its relationships with current nomenclature. *Chem. Geol.*, 29:183-210.

- D'ELBOUX, C.V.; TAVARES, J.R.P. & PAIVA, I.B. 1982. Proposição de modelo mineralizador básico-alcálico para pesquisa mineral na região meridional do Escudo Pré-Cambriano brasileiro. In: Congr. Bras. Geol., 32, Salvador, 1982. Anais... Salvador, SBG. Vol.3, p.1061-1072.
- DE MIN, A. 1992. *Il magmatismo mesozoico K-alcálico del Paraguai Orientale: aspetti petrogenetici ed implicazioni geodinamiche*. Tese de Doutorado. Universidade de Trieste, 242p.
- DE PAOLO, D.J. 1981. Trace elements and isotopic effects of combined wallrock assimilation and fractional crystallization. *Earth Plan. Sci. Lett.*, **53**:189-202.
- DE PAOLO, D.J. & WASSERBURG, G.J. 1979. Petrogenetic mixing models and Nd-Sr isotopic patterns. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **43**:615-627.
- DNPM/CPRM. 1978. *Projeto Serra do Mar Sul*. Mapa de contorno de contagem total.
- DOWNES, H. 1987. Tertiary and Quaternary volcanism in the Massif Central, France. In: FITTON, J.G. & UPTON, B.G.J. (eds.) *Alkaline igneous rocks*. Geol. Soc. Spec. Publ., **30**:1-13.
- EDGAR, A.D. 1987. The genesis of alkaline magmas with emphasis on their source regions: inferences from experimental studies. In: FITTON, J.G. & UPTON, B.G.J. (eds.) *Alkaline igneous rocks*. Geol. Soc. Spec. Publ., **30**:29-52.
- FERREIRA, F.J.F. 1982. *Integração de dados aeromagnéticos e geológicos: configuração e evolução tectônica do Arco de*

Ponta Grossa. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, 170p.

- FERREIRA, F.J.F. & ALGARTE, J.P. 1979. O comportamento aeromagnetométrico-cintilométrico das principais rochas alcalinas dos Estados de São Paulo e Paraná. In: Simp. Reg. Geol., 2, Rio Claro, 1979. Atas... Rio Claro, SBG. vol.2, p.195-208.
- FIORI, A.P. 1985. As falhas da Lancinha e de Morro Agudo e estruturas secundárias associadas. In: Simp. Sul-Bras. Geol., 2, Florianópolis, 1985. Anais... Florianópolis, SBG, p.146-158.
- FOSTER, M.D. 1960. Interpretation of the composition of trioctahedral micas. *U.S. Geol. Survey Prof. Paper* 354-B, 48p.
- FUCK, R.A. 1972. *Geologia do maciço alcalino de Tunas, Paraná, Brasil*. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 82p.
- GARCIA, M.O.; FREY, A.F. & GROOMS, D.G. 1986. Petrology of volcanic rocks from Kaula Island, Hawaii. Implications for the origin of Hawaiian phonolites. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 94:461-471.
- GITTINS, J. 1979. The feldspathoidal alkaline rocks. In: YODER Jr., H.S. (ed.) *The evolution of the igneous rocks*. New Jersey, Princeton University Press, p.351-390.
- GÓIS, J.R.; SALAMUNI, E. & FIORI, A.P. 1985. Lineamentos e compartimentos tectônicos do Pré-Cambriano Paranaense. In: Simp. Sul-Bras. Geol., 2, Florianópolis, 1985. Anais... Florianópolis, SBG, p.159-171.

- GOMES, C.B. 1969. Electron microprobe analysis of zoned garnets. *Amer. Miner.*, **54**:1654-1661.
- GOMES, C.B. 1970. Petrologia do maciço alcalino de Itapirapuã, São Paulo. *Bol. IGA.*, **1**:77-197.
- GOMES, C.B. & CORDANI, U.G. 1965. Geocronologia do maciço alcalino de Itapirapuã (SP). *An. Acad. bras. Ciênc.*, **37**:497-501.
- GOMES, C.B. & DUTRA, C.V. 1970. Some geochemical features of the alkaline rocks of Itapirapuã, São Paulo, Brazil. *An. Acad. brasil. Ciênc.*, **42**:521-534.
- 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. *Geochim. Brasil.*, **1**:201-234.
- GOMES, C.B.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; DE MIN, A.; MELFI, A.J.; BELLINI, G.; ERNESTO, M.; CASTILLO, A.M.C.; VELAZQUEZ, J.C.; VELÁZQUEZ, V.F. & PICCIRILLO, E.M. 1989. Atividade filoniana associada ao complexo alcalino de Sapukai, Paraguai Oriental. *Geochim. Brasil.*, **3**:93-114.
- GOMES, C.B.; RUBERTI, E. & MORBIDELLI, L. 1990. Carbonatite complexes from Brazil: a review. *J. South Amer. Earth Sci.*, **3**:51-63.
- GWALANI, L.G.; ROCK, N.M.S.; CHANG, W.J.; FERNANDEZ, S.; ALLÈGRE, C.J. & PRINZHOFER, A. 1993. Alkaline rocks and carbonatites of Amba Dongar and adjacent areas, Deccan Igneous Province,

- Gujarat, India:1. Geology, petrography and petrochemistry. *Miner. Petrol.*, **47**:219-253.
- HAMA, M.; ALGARTE, J.P.; PAIVA, I.P. & RODRIGUES, J.C. 1977. Idades K-Ar do maciço alcalino do Banhadão e do complexo Bairro da Cruz. In: *Simp. Reg. Geol.*, 1, São Paulo, 1977. *Atas...* São Paulo, SBG, vol.1, p.170-178.
- HAMILTON, D.L. 1961. Nephelines as crystallization temperature indicators. *J. Geol.*, **69**:321-329.
- HAMILTON, D.L. & MACKENZIE, W.S. 1965. Phase-equilibrium studies in the system NaAlSiO_4 (nepheline)- KAlSiO_4 (kalsilite)- SiO_2 - H_2O . *Miner. Mag. (Tilley Volume.)*, **34**:214-231.
- HERZ, N. 1977. Timing of spreading in the South Atlantic: information from Brazilian alkalic rocks. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **88**:101-112.
- ISSLER, R.S. & FREIRE, F.A. 1985. A diversidade dos granitos da região Sul do Brasil. In: *Simp. Sul-Bras. Geol.*, 2, Florianópolis, 1985. *Anais...* Florianópolis, SBG, p.89-101.
- JENKINS II, R.E. 1987. Geology of the clugger fluorite deposit, Mato Preto, Paraná, Brazil. *Rev. Bras. Geoc.*, **17**:288-294.
- KAEFER, L.Q. & ALGARTE, J.P. 1972. Maciço alcalino do Banhadão, estudos preliminares. In: *Cong. Bras. Geol.*, 26, Belém, 1972. *Anais...* Belém, SBG, p.55-64.
- KYLE, P.R. & RANKIN, P.C. 1976. Rare earth element geochemistry of Late Cenozoic alkaline lavas of the McMurdo Volcanic Group, Antarctica. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **40**:1497-1507.

- LEAKE, B.E. 1978. Nomenclature of amphiboles. *Bull. Mineral.*, **101**:453-467.
- LE BAS, M.J. 1977. *Carbonatite-nephelinite volcanism*. John Wiley & Sons, 347p.
- LE BAS, M.J. 1987. Nephelinites and carbonatites. In: FITTON, J.G. & UPTON, B.G.J. (eds.) *Alkaline igneous rocks*. Geol. Soc. Spec. Publ., **30**:53-83.
- LE BAS, M.J. 1989. Nephelinitic and basanitic rocks. *J. Petrol.*, **30**:1299-1312.
- LE MAITRE, R.W. 1989. *A classification of igneous rocks and glossary terms*. 2nd. Blackwell Scientific Publications, 193p.
- LAPIDO-LOUREIRO, F.E. & TAVARES, J.R. 1983. Duas novas ocorrências de carbonatitos: Mato Preto e Barra do Rio Itapirapuã. *Rev. Bras. Geoc.*, **13**:7-11.
- LIPPARD, S.J. 1973. The petrology of phonolites from Kenya rift. *Lithos*, **6**:217-234.
- MACDONALD, G.A. & KATSURA, T. 1964. Chemical composition Hawaiian lavas. *J. Petr.*, **5**:82-133.
- MACDONALD, R. 1974. The role of fractional crystallization in the formation of the alkaline rocks. In: SORENSEN, H. (ed.) *The alkaline rocks*. John Wiley & Sons, 622p.
- MARSH, J.S. 1987. Evolution of a strongly differentiated suite of phonolites from the Klinghardt Mountains, Namibia. *Lithos*, **20**:41-58.

- MIDLEMOST, E.A.K. 1985. *Magma and magmatic rocks: an introduction to igneous petrology*. Longman Scientific & Technical, 266p.
- MORBIDELLI, L.; GOMES, C.B.; BECCALUVA, L.; BROTZU, P.; CONTE, A.M.; MACCIOTTA, G., RUBERTI, E. & TRAVERSA, G. 1993. Petrologia e geoquímica de distritos alcalinos brasileiros: uma síntese. In: Cong. Bras. Geoq., 4, Brasília, 1993. Volume de Resumos Expandidos... Brasília, SBGq, p.33-37.
- MORIMOTO, N. 1988. Nomenclature of pyroxenes. *Miner. Mag.*, 52:535-550.
- MOTOKI, A. 1986. *Geologia e petrologia do maciço alcalino da Ilha de Vitória, SP*. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 245p.
- NAGALLI, J.T. 1990. *Perfil do setor de granitos e mármore do Estado do Paraná*. Minerais do Paraná S.A. Gerência de Fomento e Economia Mineral, 32p.
- NASH, W.P.; CARMICHAEL, J.S.E. & JOHNSON, R.W. 1969. The mineralogy and petrology of Mount Suswa, Kenya. *J. Petrol.*, 10:409-439.
- 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. *Geol. Soc. Amer. Abstracts with Programs*, 6:1035-1050.
- PEARCE, J.A. & NORRY, M.J. 1979. Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks. *Contrib. Mineral. Petrol.*, p.33-47.

- PETRINI, R.; CIVETTA, L.; PICCIRILLO, E.M.; BELLINI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MARQUES, L.S. & MELFI, A.J. 1987. Mantle heterogeneity and crustal contamination in the genesis of low-Ti continental flood basalts from Paraná plateau (Brazil): Sr-Nd isotope and geochemical evidence. *J. Petrol.*, **28**:701-726.
- PINESE, J.P.P. 1989. *Caracterização petrológica e geoquímica dos diques do Arco de Ponta Grossa*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- POWELL, J.L. & BELL, K. 1974. Isotopic composition of strontium in alkaline rocks. In: SORENSEN, H. (Ed.) *The alkaline rocks*. John Wiley & Sons, p.412-421.
- PRICE, R.C. & CHAPPELL, B.W. 1975. Fractional crystallisation and the petrology of Dunedin Volcano. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **53**:157-182.
- PRICE, R.C. & TAYLOR, S.R. 1973. The geochemistry of the Dunedin Volcano, East Otago, New Zealand: rare earth elements. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **40**:195-205.
- PRICE, R.C.; JOHNSON, R.W.; GRAY, C.M. & FREY, F.A. 1985. Geochemistry of phonolites and trachytes from summit region of Mt. Kenya. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **89**:394-409.
- ROCK, N.M.S. 1976. The role of CO₂ in alkali rock genesis. *Geol. Mag.*, **113**:97-192.
- ROCK, N.M.S. 1982. Chemical mineralogy of the Monchique alkaline complex, Southern Portugal. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **81**:64-78.

- ROCK, N.M.S. 1987. The nature and origin of lamprophyres: an overview. In: FITTON, J.G. & UPTON, B.G.J. (eds.) *Alkaline igneous rocks*. Geol. Soc. Spec. Publ., **30**:191-226.
- RONCHI, L.H.; TOURAY, J.C.; MICHARD, A. & DARDENNE, M.A. 1993. The Ribeira fluorite district, southern Brazil. *Mineral Deposita*, **28**:1-14.
- RUBERTI, E. 1984. *Petrologia do maciço alcalino do Banhadão*, PR. São Paulo. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 248p.
- 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). *Phys. Chem. Minerals.*, **19**:213-219.
- SANTOS, R.V. & DARDENNE, M.A. 1988. Fluorita de Mato Preto: um caso particular de mineralização de fluorita associada a complexo alcalino carbonatítico. In: Congr. Bras. Geol., 35, Belém, 1988. *Anais...* Belém, SBG, vol.3, p.1251-1261.
- SANTOS, R.V.; DARDENNE, M.A. & MATSUI, E. 1990. Geoquímica de isótopos de carbono e oxigênio dos carbonatitos do complexo alcalino de Mato Preto, Paraná, Brasil. *Rev. Bras. Geoc.*, **20**:153-158.
- SCHEIBE, L.F. 1986. Geologia e petrologia do distrito alcalino de Lages, SC. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 224p.
- SCHEIBE, L.F. 1989. A geoquímica dos elementos terras raras nas rochas alcalinas, carbonatitos e kimberlitos, estudos de ocorrências brasileiras. In: FORMOSO, M.L.L.; NARDI, L.V.S. &

- HARTMANN, L.A. (eds.) *Geoquímica dos elementos terras raras no Brasil*. CPRM/DNPM, p.37-46.
- SEMENOV, E.I. 1974. Economic mineralogy of alkaline rocks. In: SORENSEN, H. (ed.) *The alkaline rocks*. John Wiley & Sons, p.543-552.
- SILVA, D.C.; FELIPE, R.S. & PONTES, J.B. 1981. Notas sobre as ocorrências de fluorita do Vale do Ribeira (PR). In: Simp. Reg. Geol., 3, Curitiba, 1981. Atas... São Paulo, SBG, vol.1, p.21-35.
- SOARES, R.M.C. 1984. *Tratamento de dados químicos e petrográficos de rochas alcalinas do Brasil Meridional*. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 316p.
- SOARES, R.M.C. 1986. Modelo de variação química de rochas alcalinas do Brasil Meridional. In: Cong. Bras. Geol., 34, Goiânia, 1986. Anais... Goiânia, SBG, vol.4, p.1495-1507.
- SONOKI, I.K. & GARDA, G.M. 1988. Idades K-Ar de rochas alcalinas do Brasil Meridional e Paraguai Oriental: compilação e adaptação às novas constantes de decaimento. *Bol. IG-USP, Série Cient.*, **19**:63-85.
- SORENSEN, H. 1974. *The alkaline rocks*. John Wiley & Sons, 622p.
- THORTON, C.P. & TUTTLE, O.F. 1960. Chemistry of igneous rocks. 1. Differentiation index. *Amer. J. Sci.*, **258**:664-684.
- TREIN, E.; MARINI, O.J. & FUCK, R.A. 1967. Rochas alcalinas no Primeiro Planalto do Estado do Paraná. *Bol. Paran. Geoc.*, **23-25**:325-347.

- ULBRICH, H.H.G.J. & GOMES, C.B. 1981. Alkaline rocks from continental Brazil. *Earth Sci. Rev.*, 17:135-154.
- VALENÇA, J.G. 1980. Geology, petrography and petrogenesis of some alkaline igneous complexes of Rio de Janeiro State, Brazil. Tese de Doutorado. Universidade de Ontario, 248p.
- VANECKOVÁ, M.; HOLUB, F.V.; SOUCEK, J. & BOWES, D.R. 1993. Geochemistry and petrogenesis of the Tertiary alkaline volcanic suite of the Labe Tectono-volcanic zone, Czech Republic. *Mineral. Petrol.*, 48:17-34.
- VASCONCELLOS, E.M.G. 1991. *Investigações geológicas e petrológicas das brechas vulcânicas do maciço de Tunas, PR.* Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 128p.
- VASCONCELLOS, E.M.G.; GOMES, C.B.; PICCIRILLO, E.M. & DE MIN, A. 1993. Geoquímica de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo. In: Congr. Bras. Geoq., 4, Brasília, 1993. *Volume de Resumos Expandidos...* Brasília, SBGq, p.49-51.
- WONES, D.R. & EUGSTER, H.P. 1965. Stability of biotite: experiment, theory, and application. *Amer. Miner.*, 50:1228-1272.
- WOOD, D.A.; JORON, J.L.; TREUIL, M.; NORRY, M. & TARNEY, J. 1979. Elemental and Sr isotope variations in basic lavas from iceland and surrounding ocean floor. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 70:319-339.
- WOOLEY, A.R. 1987. *Alkaline rocks and carbonatites of the world, part 1: North and South America.* London, British Museum, Natural History, 216p.

WOOLEY, A.R. & JONES, G.C. 1987. The petrochemistry of the northern part of the Chilwa alkaline province, Malawi. In: FITTON, J.G. & UPTON, B.G.J. (eds.) *Alkaline igneous rocks*. Geol. Soc. Spec. Publ., **30**:335-355.

WORNER, G.; BEUSEN, J.M.; DUCHATEAU, N.; GIJBELS, R. & SCHMINCKE, H.U. 1983. Trace element abundances and mineral/melt distribution coefficients in phonolites from the Laacher See Volcano (Germany). *Contrib. Mineral. Petrol.*, **84**:152-173.

APÊNDICE

TABELA 1

Composição química de feldspatos de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.

AMOSTRA	6B MZ	7B MZ	9B MZ	9B MZ	9B MZ	9B MZ	10A MZ	12B MZ	12B FEPE	12B FENU	12B FEPE	12B FEPE
LOCALIZAÇÃO	BPG	MC	MC	MC	MC	MC	BT	BPG	BPG	BPG	BPG	BPG
SiO ₂	64,31	64,69	64,69	65,16	64,71	64,73	63,38	65,49	65,37	65,46	65,60	65,52
TiO ₂	0,03	0,01	0,00	0,03	0,00	0,00	0,65	0,03	0,03	0,01	0,02	0,02
Al ₂ O ₃	18,55	18,30	18,30	18,43	18,32	18,31	17,98	18,53	18,57	18,57	18,62	18,58
FeO _{tot}	0,21	0,11	0,10	0,11	0,07	0,05	2,13	0,11	0,12	0,16	0,13	0,16
CaO	0,29	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,04	0,00	0,06	0,04	0,05	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	2,96	2,75
K ₂ O	16,52	16,86	16,90	14,78	16,83	16,88	14,44	13,39	13,54	13,24	12,62	12,92
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Or%peso	97,85	99,74	99,91	87,46	99,52	99,74	87,77	79,24	80,14	78,32	74,67	76,47
Ab%peso	0,69	0,26	0,09	12,54	0,43	0,26	12,03	20,76	19,55	21,48	25,07	23,32
An%peso	1,46	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,20	0,00	0,31	0,21	0,26	0,21
Or%mol	97,81	99,73	99,91	86,79	99,49	99,73	87,12	78,24	79,19	77,30	73,54	75,39
Ab%mol	0,73	0,27	0,09	13,21	0,46	0,27	12,68	21,76	20,51	22,50	26,20	24,40
An%mol	1,46	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,20	0,00	0,30	0,20	0,26	0,21

BPG = Barra do Ponta Grossa; MC = Morro do Chapéu; BT = Barra do Teixeira; MZ = matriz; FE = fenocristal; PE = periferia; NU = núcleo.

TABELA 1 - (Continuação)

AMOSTRA	17B FEPE	17B FENU	17B MIPE	17B MINU	18B MZ	18B FEPE	18B FENU	18B MIPE	18B MINU	19A MZ	19A MZ	19A MZ
LOCALIZAÇÃO	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP
SiO ₂	64,94	64,87	64,87	65,02	65,15	65,08	65,08	64,97	66,20	67,99	68,05	67,84
TiO ₂	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	18,38	18,35	18,35	18,39	18,43	18,41	18,41	18,39	18,90	19,51	19,49	19,45
FeO _{tot}	0,02	0,04	0,03	0,00	0,16	0,04	0,11	0,07	0,03	0,29	0,29	0,50
CaO	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,14	0,23	0,20	0,21
Na ₂ O	0,61	0,41	0,42	0,81	1,54	1,05	1,21	0,82	4,81	10,92	10,99	10,81
K ₂ O	16,04	16,33	16,32	15,77	14,69	15,42	15,17	15,74	9,92	1,06	0,98	1,19
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Or%peso	94,75	96,52	96,46	93,17	86,96	91,13	89,74	93,03	58,64	6,26	5,82	7,04
Ab%peso	5,20	3,48	3,55	6,84	13,04	8,87	10,26	6,92	40,66	92,60	93,20	91,92
An%peso	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,70	1,14	0,98	1,04
Or%mol	94,45	96,32	96,25	92,78	86,27	90,63	89,18	92,64	57,21	5,93	5,51	6,67
Ab%mol	5,50	3,68	3,75	7,22	13,73	9,37	10,82	7,31	42,11	92,99	93,57	92,35
An%mol	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,68	1,08	0,92	0,98

MP = Mato Preto; MZ = matriz; FE = fenocristal; MI = microfenocristal; PE = periferia; NU = núcleo.

TABELA 1 - (Continuação)

AMOSTRA	20B MIPE	20B MINU	20B MINU	22B MZ	22B FEPE	22B FENU	22B MIPE	22B MINU	23B MZ	23C MZ	23C FEPE	23C FENU
LOCALIZAÇÃO	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	SQ	SQ	SQ	SQ
SiO ₂	66,09	66,53	66,48	65,96	65,76	66,22	65,73	65,70	64,49	64,72	64,72	64,77
TiO ₂	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01	0,04	0,00	0,00	0,01	0,00
Al ₂ O ₃	18,79	18,91	18,82	18,68	18,96	18,89	19,25	19,21	18,24	18,31	18,38	18,32
FeO _{tot}	0,26	0,23	0,22	0,10	0,09	0,09	0,20	0,16	0,83	0,11	0,00	0,04
CaO	0,08	0,07	0,01	0,02	0,30	0,13	0,54	0,52	0,00	0,00	0,06	0,00
Na ₂ O	4,76	5,94	5,59	3,90	4,10	4,97	5,01	4,85	0,82	0,12	0,10	0,11
K ₂ O	10,00	8,32	8,89	11,31	10,79	9,68	9,26	9,51	15,61	16,73	16,73	16,76
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Or%peso	59,26	49,27	52,61	66,91	63,81	57,26	54,80	56,30	93,00	98,96	98,84	99,05
Ab%peso	40,34	50,38	47,34	32,99	34,70	42,08	42,50	41,12	7,00	1,04	0,86	9,95
An%peso	0,40	0,35	0,05	0,10	1,49	0,66	2,70	2,58	0,00	0,00	0,30	0,00
Or%mol	57,83	47,79	51,12	65,58	62,48	55,82	53,41	54,91	92,60	98,90	98,79	98,99
Ab%mol	41,78	51,87	48,83	34,32	36,07	43,53	43,96	42,57	7,40	1,10	0,91	1,01
An%mol	0,39	0,34	0,05	0,10	1,45	0,65	2,63	2,52	0,00	0,00	0,30	0,00

MP = Mato Preto; SQ = Sete Quedas; MZ = matriz; FE = fenocristal; MI = microfenocristal; PE = periferia;
NU = núcleo.

TABELA 1 - (Continuação)

AMOSTRA	23C MIPE	23C MINU	24A MZ	24A MZ	34C MZ	34C MZ	34C FEPE	34C FENU	34C FENU	34C MIPE	34C MINU	36A MZ
LOCALIZAÇÃO	SQ	SQ	BA	BA	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	SQ- DR.U
SiO ₂	64,74	64,76	64,85	64,68	65,37	65,46	65,12	65,24	65,24	65,20	65,21	64,12
TiO ₂	0,00	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00
Al ₂ O ₃	18,31	18,32	18,35	18,30	18,49	18,52	18,42	18,48	18,47	18,44	18,45	19,33
FeO _{tot}	0,09	0,03	0,24	0,52	0,42	0,36	0,19	0,35	0,24	0,18	0,15	0,14
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,98
Na ₂ O	0,12	0,08	0,78	0,78	2,68	2,80	1,43	2,17	1,98	1,67	1,66	1,50
K ₂ O	16,74	16,80	15,77	15,72	13,01	12,86	14,85	13,74	14,05	14,50	14,52	13,93
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Or%peso	98,97	99,31	93,39	93,36	77,22	76,27	87,88	81,47	83,19	85,84	85,92	82,42
Ab%peso	1,03	0,69	6,61	6,64	22,78	23,73	12,12	18,43	16,76	14,16	14,08	12,71
An%peso	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,05	0,00	0,00	4,87
Or%mol	98,90	99,27	93,01	92,99	76,16	75,18	87,23	80,56	82,35	85,10	85,19	81,78
Ab%mol	1,10	0,73	6,99	7,01	23,84	24,82	12,77	19,34	17,60	14,90	14,81	13,39
An%mol	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,05	0,00	0,00	4,84

SQ = Sete Quedas; BA = Banhadão; IT = Itapirapuã; SQ-DR.U = estrada Sete Quedas-Dr. Ulisses; MZ = matriz; FE = fenocristal; MI = microfenocristal; PE = periferia; NU = núcleo.

TABELA 1 - (Continuação)

AMOSTRA	37A MZ	37A FEPE	37A FENU	37A FENU	39A MZ	39A MIPE	39A MINU	40A MZ	40A MIPE	40A MINU	41A MZ	41A MZ
LOCALIZAÇÃO	SQ- DR.U	SQ- DR.U	SQ- DR.U	SQ- DR.U	SQ- DR.U	SQ- DR.U	SQ- DR.U	SQ- DR.U	SQ- DR.U	SQ- DR.U	SQ- DR.U	SQ- DR.U
SiO ₂	67,83	65,60	66,32	65,17	64,73	65,04	64,63	64,70	64,76	65,04	64,86	64,72
TiO ₂	0,01	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02
Al ₂ O ₃	19,19	18,56	18,76	18,44	18,31	18,40	18,44	18,30	18,32	18,40	18,35	18,33
FeO _{tot}	0,16	0,03	0,17	0,00	0,09	0,07	0,09	0,15	0,21	0,07	0,25	0,34
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
Na ₂ O	9,44	2,58	5,04	1,24	0,15	0,96	0,23	0,14	0,42	0,98	0,80	0,65
K ₂ O	3,38	13,22	9,68	15,15	16,69	15,54	16,47	16,71	16,30	15,51	15,74	15,93
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Or%peso	20,00	78,14	57,29	89,50	98,70	91,84	97,41	98,86	96,47	91,71	93,21	94,42
Ab%peso	80,00	21,86	42,71	10,50	1,30	8,16	1,93	1,14	3,53	8,29	6,79	5,48
An%peso	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10
Or%mol	19,06	77,10	55,83	88,93	98,62	91,38	97,29	98,79	96,27	91,25	92,82	94,10
Ab%mol	80,94	22,90	44,17	11,08	1,38	8,62	2,04	1,21	3,73	8,75	7,18	5,80
An%mol	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10

SQ-DR.U = estrada Sete Quedas-Dr. Ulisses; MZ = matriz; FE = fenocristal; MI = microfenocristal; PE = periferia; NU = núcleo.

TABELA 1 - (Conclusão)

AMOSTRA	41A FEPE	41A FEPE	41A FENU	41A FENU	41A MIPE	41A MINU	41A MIPE	42A MZ	42A MZ	44A MZ	44A FEPE	44A FENU
LOCALIZAÇÃO	SQ- DR.U	SQ- DR.U	SQ- DR.U	SQ- DR.U	SQ- DR.U	SQ- DR.U	SQ- DR.U	CA	CA	TU	TU	TU
SiO ₂	65,11	65,22	65,29	65,13	63,16	64,79	64,81	65,21	64,98	67,19	67,13	66,82
TiO ₂	0,02	0,00	0,00	0,00	0,10	0,04	0,02	0,35	0,09	0,01	0,00	0,04
Al ₂ O ₃	18,43	18,48	18,48	18,42	17,87	18,33	18,33	18,64	18,90	19,26	19,22	19,25
FeO _{tot}	0,33	0,34	0,28	0,32	2,62	0,16	0,16	1,55	0,85	0,31	0,35	0,31
CaO	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,43	0,21	0,19	0,28
Na ₂ O	1,76	2,11	2,15	1,73	0,50	0,51	0,52	5,54	3,85	8,50	8,34	7,72
K ₂ O	14,34	13,83	13,79	14,40	15,75	16,16	16,16	8,55	10,90	4,53	4,77	5,58
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Or%peso	84,99	81,98	81,68	85,33	95,63	95,68	95,62	51,46	65,03	26,84	28,25	33,07
Ab%peso	14,96	17,92	18,27	14,67	4,37	4,32	4,38	47,72	32,84	72,11	70,79	65,51
An%peso	0,05	0,10	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,82	2,13	1,05	0,96	1,42
Or%mol	84,22	81,09	80,77	84,57	95,37	95,42	95,36	50,00	63,74	25,70	27,07	31,79
Ab%mol	15,73	18,81	19,18	15,43	4,63	4,58	4,64	49,21	34,16	73,30	70,78	66,85
An%mol	0,05	0,10	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,79	2,10	1,00	0,95	1,36

SQ-DR.U = estrada Sete Quedas-Dr. Ulisses; CA = Cerro Azul; TU = Tunas; MZ = matriz; FE = fenocristal; MI = microfenocristal; PE = periferia; NU = núcleo.

TABELA 2

Composição química de nefelinas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.

AMOSTRA	6B FEPE	6B FENU	6B MIPE	6B MINU	9B FEPE	9B FENU	9B FENU	10A FEPE	10A FENU	10A MIPE	10A MINU	12B MZ
LOCALIZAÇÃO	BPG	BPG	BPG	BPG	MC	MC	MC	BT	BT	BT	BT	BPG
SiO ₂	42,69	41,92	42,03	41,77	43,84	43,24	43,02	43,16	41,69	41,54	43,21	45,79
TiO ₂	0,02	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,00
Al ₂ O ₃	33,90	34,43	34,22	34,25	33,13	33,43	33,62	33,38	34,51	34,59	33,60	32,22
FeO _{tot}	0,05	0,03	0,24	0,42	0,53	0,73	0,52	0,81	0,07	0,07	0,14	0,28
CaO	0,00	0,02	0,00	0,00	0,34	0,30	0,23	0,26	0,00	0,00	0,05	0,17
Na ₂ O	15,37	15,73	15,62	15,61	15,16	15,57	15,51	15,43	15,70	15,75	15,38	15,29
K ₂ O	7,97	7,88	7,90	7,93	7,01	6,73	7,12	6,97	8,03	8,03	7,60	6,25
Total	100,00	100,00	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	25,62	20,24
Ne	69,92	71,52	71,66	72,02	68,27	72,30	71,47	71,79	71,89	72,49	70,74	67,58
Qz	2,73	1,34	1,71	1,42	4,72	3,91	3,42	3,89	1,02	0,79	3,63	7,55
An	0,00	0,09	0,00	0,00	1,48	1,34	1,03	1,16	0,00	0,00	0,22	0,72
Ks	26,77	26,49	26,58	26,75	24,07	23,10	24,30	23,90	26,97	26,97	25,62	21,23
Ne	70,48	72,16	71,71	71,84	71,03	72,96	72,25	72,19	72,01	72,25	70,75	70,86
Qz	2,75	1,35	1,71	1,42	4,91	3,94	3,46	3,91	1,02	0,78	3,63	7,91

BPG = Barra do Ponta Grossa; MC = Morro do Chapéu; BT = Barra do Teixeira; MZ = matriz; FE = fenocristal; MI = microfenocristal; PE = periferia; NU = núcleo.

TABELA 2 - (Continuação)

AMOSTRA	12B MIPE	12B MINU	18A FEPE	18A FENU	19A FEPE	19A FENU	19A MIPE	19A MINU	20B MZ	20B MZ	24A FEPE	24A FENU
LOCALIZAÇÃO	BPG	BPG	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	BA	BA
SiO ₂	41,87	41,41	46,40	46,35	45,52	46,16	46,22	47,34	51,90	48,20	43,13	43,16
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,02
Al ₂ O ₃	34,45	34,70	32,12	32,22	32,66	32,34	32,21	31,47	28,26	30,41	33,41	33,30
FeO _{tot}	0,13	0,09	0,61	0,50	0,62	0,51	0,56	0,66	1,29	1,35	0,92	0,99
CaO	0,00	0,00	0,36	0,31	0,49	0,55	0,16	0,14	0,00	0,06	0,04	0,05
Na ₂ O	15,94	15,91	16,48	16,61	16,65	16,41	16,62	16,27	14,60	15,45	15,97	15,81
K ₂ O	7,61	7,89	4,03	4,02	4,05	4,03	4,23	4,13	3,93	4,52	6,53	6,67
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Ks	25,08	26,42	13,36	13,46	13,40	13,43	14,00	13,63	12,52	15,01	22,02	22,76
Ne	71,70	72,67	74,59	75,92	75,09	74,69	75,01	73,35	63,41	69,96	73,54	73,63
Qz	1,25	0,52	8,44	8,37	6,93	8,00	8,14	10,09	17,64	12,21	3,78	3,98
An	0,00	0,00	1,61	1,39	2,15	2,46	0,72	0,63	0,00	0,27	0,18	0,22
Ks	25,58	26,52	13,86	13,77	14,04	13,97	14,41	14,04	13,38	15,44	22,17	22,68
Ne	73,14	72,95	77,38	77,67	78,70	77,71	77,21	75,56	67,77	71,99	74,02	73,36
Qz	1,28	0,53	8,76	8,56	7,26	8,32	8,38	10,40	18,85	12,57	3,81	3,96

BPG = Barra do Ponta Grossa; MP = Mato Preto; BA = Banhadão; MZ = matriz; FE = fenocristal; MI = microfenocristal; PE = periferia; NU = núcleo.

TABELA 2 - (Conclusão)

AMOSTRA	24A MIPE	24A MIPE	24A MINU	36A FEPE	36A FENU	39A MZ	39A FEPE	39A FENU				
LOCALIZAÇÃO	BA	BA	BA	SQ- DR.U	SQ- DR.U	SQ- DR.U	SQ- DR.U	SQ- DR.U				
SiO ₂	43,78	44,10	45,61	41,47	42,88	44,95	46,99	44,13				
TiO ₂	0,01	0,04	0,00	0,03	0,05	0,00	0,01	0,02				
Al ₂ O ₃	32,90	32,62	32,02	34,43	33,50	32,72	31,31	33,01				
FeO _{tot}	1,07	1,17	0,89	0,94	0,97	0,10	0,85	0,75				
CaO	0,02	0,04	0,05	0,85	0,51	0,00	0,09	0,27				
Na ₂ O	15,70	15,47	15,55	15,63	15,42	15,43	15,45	15,85				
K ₂ O	6,52	6,57	5,89	6,65	6,68	6,80	5,29	5,96				
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00				
Ks	22,22	22,26	20,04	22,96	22,49	22,46	17,49	20,01				
Ne	73,04	71,47	72,25	73,72	70,83	69,60	69,69	72,62				
Qz	5,09	5,71	7,99	0,93	3,41	6,29	9,94	5,23				
An	0,09	0,18	0,22	3,90	2,28	0,00	0,40	1,21				
Ks	22,15	22,38	19,99	23,52	23,25	22,84	18,01	20,45				
Ne	72,78	71,87	72,05	75,53	73,23	70,77	71,75	74,20				
Qz	5,07	5,75	7,97	0,95	3,52	6,39	10,24	5,35				

BA = Banhadão; SQ-DR.U = estrada Sete Quedas-Dr. Ulisses; MZ = matriz; FE = fenocristal; MI = microfenocristal; PE = periferia; NU = núcleo.

TABELA 3

Composição química de piroxênios de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.

AMOSTRA	6B MZ	6B MZ	7B MZ	7B MZ	7B FEPE	7B FENU	7B MIPE	7B MINU	7B MIPE
LOCALIZAÇÃO	BPG	BPG	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
TiO ₂	2,54	3,56	2,64	0,41	0,78	1,07	0,69	1,12	0,36
Al ₂ O ₃	1,16	1,39	6,79	0,70	2,33	3,60	0,62	3,83	0,92
FeO _{tot}	26,29	24,86	10,86	25,35	16,61	13,82	26,93	12,94	21,94
MnO	0,93	1,02	0,28	1,67	0,77	0,52	1,34	0,53	1,52
MgO	0,69	0,71	9,59	1,56	7,32	8,58	0,36	8,98	3,69
CaO	5,59	5,32	22,04	15,65	19,80	20,58	10,83	21,16	17,64
Na ₂ O	10,73	10,15	1,46	4,40	2,59	2,18	7,51	2,00	3,51
Cr ₂ O ₃	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,04	0,00
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fe ₂ O ₃	23,19	16,87	6,06	10,88	8,44	6,43	17,00	6,45	9,19
Si	1,965	2,007	1,742	1,978	1,900	1,878	2,002	1,864	1,966
Al ^{IV}	0,035	0,000	0,258	0,022	0,100	0,122	0,000	0,136	0,034
Total	2,000	2,007	2,000	2,000	2,000	2,000	2,002	2,000	2,000
Al ^{VI}	0,017	0,062	0,043	0,011	0,005	0,038	0,028	0,034	0,008
Fe ²⁺	0,171	0,307	0,170	0,512	0,288	0,254	0,377	0,226	0,445
Fe ³⁺	0,659	0,481	0,172	0,322	0,242	0,183	0,495	0,183	0,270
Cr ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000
Mg	0,039	0,040	0,537	0,092	0,417	0,484	0,021	0,505	0,214
Mn	0,030	0,033	0,009	0,056	0,025	0,017	0,044	0,017	0,050
Ti	0,072	0,101	0,075	0,012	0,022	0,030	0,020	0,032	0,011
Ca	0,226	0,216	0,888	0,660	0,809	0,834	0,449	0,856	0,737
Na	0,786	0,746	0,107	0,336	0,192	0,160	0,563	0,146	0,265
Total	2,000	1,986	2,001	2,001	2,001	2,000	1,997	2,000	2,000
Ca	20,09	20,06	50,00	40,19	45,42	47,07	32,40	47,90	42,95
Mg	3,47	3,71	30,24	5,60	23,41	27,31	1,51	28,26	12,47
Fe ⁺	76,44	76,23	19,76	54,21	31,17	25,62	66,09	23,84	44,58
Na	87,43	86,64	12,05	34,22	19,75	17,06	60,09	15,68	27,07
Mg	4,34	4,65	60,47	9,37	42,90	51,60	2,24	54,24	21,86
Fe	8,23	8,71	27,48	56,41	37,35	31,34	37,67	30,08	51,07
mg	0,186	0,115	0,760	0,152	0,591	0,656	0,053	0,691	0,325

BPG = Barra do Ponta Grossa; MC = Morro do Chapéu; MZ = matriz; FE = fenocristal; MI = microfenocristal; PE = periferia; NU = núcleo; Fe⁺ = Fe²⁺+Fe³⁺+Mn; Fe⁺ = Fe²⁺+Mn+(Fe³⁺-Na); mg = MgO/MgO+FeO.

TABELA 3 - (Continuação)

AMOSTRA	9B MZ	9B MZ	9B MIPE	9B MIPE	9B MINU	9B MINU	10A MZ	10A FEPE	10A FENU
LOCALIZAÇÃO	MC	MC	MC	MC	MC	MC	BT	BT	BT
SiO ₂	52,39	47,31	50,85	50,35	50,47	49,94	49,87	50,86	50,59
TiO ₂	0,63	1,64	0,71	0,76	0,68	0,82	1,00	0,66	0,63
Al ₂ O ₃	1,05	4,90	2,15	2,23	2,14	2,18	1,79	1,92	2,14
FeO _{tot}	18,24	14,84	18,66	18,58	18,96	19,72	16,78	14,60	14,91
MnO	0,66	0,45	0,91	0,85	0,84	0,86	0,99	0,56	0,47
MgO	6,12	7,72	5,80	5,93	5,80	5,42	7,11	8,62	8,36
CaO	16,11	21,84	17,24	17,71	17,44	17,35	19,97	20,23	20,39
Na ₂ O	4,77	1,28	3,68	3,58	3,61	3,64	2,46	2,55	2,51
Cr ₂ O ₃	0,03	0,02	0,00	0,01	0,06	0,07	0,03	0,00	0,01
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fe ₂ O ₃	10,38	5,46	8,47	9,36	9,19	9,88	7,13	7,64	7,76
Si	1,981	1,811	1,946	1,926	1,933	1,918	1,913	1,923	1,916
Al ^{IV}	0,019	0,189	0,054	0,074	0,067	0,082	0,081	0,077	0,084
Total	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	1,994	2,000	2,000
Al ^{VI}	0,028	0,032	0,043	0,026	0,030	0,017	0,000	0,009	0,011
Fe ²⁺	0,282	0,318	0,354	0,325	0,342	0,348	0,333	0,244	0,251
Fe ³⁺	0,304	0,157	0,244	0,269	0,265	0,285	0,206	0,217	0,221
Cr ³⁺	0,001	0,001	0,000	0,000	0,002	0,002	0,001	0,000	0,000
Mg	0,345	0,441	0,331	0,338	0,331	0,310	0,407	0,486	0,472
Mn	0,021	0,015	0,029	0,027	0,027	0,028	0,032	0,018	0,015
Ti	0,018	0,047	0,020	0,022	0,020	0,024	0,029	0,019	0,018
Ca	0,652	0,895	0,707	0,726	0,716	0,714	0,821	0,820	0,827
Na	0,349	0,095	0,273	0,266	0,268	0,271	0,183	0,187	0,184
Total	2,000	2,001	2,001	1,999	2,001	1,999	2,012	2,000	1,999
Ca	40,93	49,01	42,46	43,09	42,59	42,37	45,64	45,94	46,30
Mg	21,59	24,15	19,88	20,06	19,69	18,40	22,62	27,23	26,43
Fe ⁺	37,48	26,84	37,66	36,85	37,72	39,23	31,74	26,83	27,27
Na	36,66	49,01	28,50	27,74	27,77	27,91	18,71	19,38	19,19
Mg	36,24	24,15	34,55	35,25	34,30	31,93	41,62	50,36	49,22
Fe ⁺	27,10	26,84	36,95	37,01	37,93	40,16	39,67	30,26	31,59
mg	0,550	0,581	0,483	0,510	0,492	0,471	0,550	0,665	0,653

MC = Morro do Chapéu; BT = Barra do Teixeira; MZ = matriz; FE = fenocristal; MI = microfenocristal; PE = periferia; NU = núcleo; Fe⁺ = Fe²⁺+Fe³⁺+Mn; Fe⁺ = Fe²⁺+Mn+(Fe³⁺-Na); mg = MgO/MgO+FeO.

TABELA 3 - (Continuação)

AMOSTRA	10A MIPE	10A MINU	12B MZ	17B MZ	18B MZ	18B MZ	18B MIPE	18B MINU	19A MZ
LOCALIZAÇÃO	BT	BT	BPG	MP	MP	MF	MP	MP	MP
SiO ₂	51,64	51,61	51,51	50,01	51,67	51,11	50,66	50,31	49,61
TiO ₂	0,46	0,48	1,57	0,83	0,58	0,52	0,60	0,65	0,88
Al ₂ O ₃	1,68	1,25	7,43	2,84	1,47	1,42	1,44	1,44	2,06
FeO _{tot}	13,63	12,40	21,17	25,12	16,54	15,19	19,94	19,13	21,61
MnO	0,60	0,66	0,92	1,73	0,86	0,85	1,06	0,99	1,31
MgO	9,03	10,12	1,19	0,81	7,15	8,49	5,14	5,88	3,64
CaO	20,73	21,93	6,41	13,26	19,58	20,42	18,07	19,01	17,54
Na ₂ O	2,20	1,50	9,77	5,40	2,13	1,91	3,09	2,54	3,33
Cr ₂ O ₃	0,03	0,05	0,03	0,00	0,02	0,09	0,00	0,05	0,02
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fe ₂ O ₃	5,51	4,45	16,33	10,88	3,15	5,12	7,27	6,70	8,03
Si	1,951	1,950	1,916	1,955	1,984	1,949	1,960	1,946	1,935
Al ^{IV}	0,049	0,050	0,084	0,045	0,016	0,051	0,040	0,054	0,065
Total	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Al ^{VI}	0,026	0,005	0,242	0,085	0,050	0,013	0,025	0,011	0,030
Fe ²⁺	0,274	0,265	0,201	0,501	0,440	0,338	0,433	0,424	0,469
Fe ³⁺	0,157	0,126	0,457	0,320	0,091	0,147	0,212	0,195	0,236
Cr ³⁺	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,003	0,000	0,002	0,001
Mg	0,509	0,570	0,006	0,047	0,409	0,483	0,296	0,339	0,211
Mn	0,019	0,021	0,029	0,057	0,028	0,027	0,035	0,032	0,043
Ti	0,013	0,014	0,044	0,025	0,017	0,015	0,018	0,019	0,026
Ca	0,840	0,888	0,255	0,555	0,805	0,834	0,749	0,788	0,733
Na	0,161	0,110	0,704	0,409	0,159	0,141	0,232	0,191	0,252
Total	2,000	2,000	1,999	1,999	2,000	2,001	2,000	2,001	2,001
Ca	46,69	47,49	25,30	37,50	45,40	45,60	43,42	44,32	43,32
Mg	28,29	30,48	6,55	3,18	23,07	26,41	17,16	19,07	12,47
Fe ⁺	25,02	22,03	68,15	59,32	31,53	27,99	39,42	36,61	44,21
Na	16,79	11,20		44,22	12,07	14,17	23,77	19,29	26,28
Mg	53,08	58,05		5,08	31,06	48,54	30,33	34,24	22,00
Fe ⁺	30,13	30,75		50,70	56,87	37,29	45,90	46,47	51,72
mg	0,650	0,682	0,247	0,086	0,482	0,588	0,406	0,444	0,310

BT = Barra do Teixeira; BPG = Barra do Ponta Grossa; MP = Mato Preto; MZ = matriz; MI = microfenocristal; PE = periferia; NU = núcleo; Fe⁺ = Fe²⁺+Fe³⁺+Mn; Fe^{*} = Fe²⁺+Mn+(Fe³⁺-Na); mg = MgO/MgO+FeO.

TABELA 3 - (Continuação)

AMOSTRA	19A FEPE	19A FENU	20B MZ	22B MZ	22B MZ	22B FEPE	22B FENU	22B FEPE	22B FENU
LOCALIZAÇÃO	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP
SiO ₂	50,39	49,33	48,52	49,04	44,66	46,55	45,89	44,31	43,08
TiO ₂	0,79	0,79	0,84	0,70	2,96	1,96	2,00	2,89	3,42
Al ₂ O ₃	2,72	2,53	1,08	1,33	9,98	7,38	7,66	10,54	11,76
FeO _{tot}	12,38	15,56	26,65	25,96	7,99	10,83	10,94	8,30	8,25
MnO	0,54	0,73	2,14	1,96	0,20	0,42	0,42	0,18	0,12
MgO	9,66	8,08	0,37	0,59	11,19	9,41	9,53	11,34	10,89
CaO	22,30	21,71	16,60	17,59	22,42	22,44	22,54	21,88	21,88
Na ₂ O	1,22	1,27	3,80	2,81	0,56	0,97	0,98	0,55	0,59
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04	0,04	0,04	0,01	0,01
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fe ₂ O ₃	3,78	5,26	9,80	5,90	3,78	4,26	5,65	4,08	4,42
Si	1,908	1,891	1,940	1,967	1,664	1,755	1,729	1,650	1,605
Al ^{IV}	0,092	0,109	0,051	0,033	0,336	0,245	0,271	0,350	0,395
Total	2,000	2,000	1,991	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Al ^{VI}	0,029	0,006	0,000	0,030	0,103	0,083	0,068	0,113	0,122
Fe ²⁺	0,284	0,347	0,596	0,693	0,143	0,221	0,185	0,144	0,133
Fe ³⁺	0,108	0,152	0,295	0,178	0,106	0,121	0,160	0,114	0,124
Cr ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000
Mg	0,545	0,462	0,022	0,035	0,622	0,528	0,535	0,629	0,605
Mn	0,017	0,024	0,073	0,067	0,006	0,013	0,013	0,006	0,004
Ti	0,022	0,023	0,025	0,021	0,083	0,056	0,057	0,081	0,096
Ca	0,905	0,892	0,711	0,756	0,895	0,906	0,910	0,873	0,874
Na	0,089	0,094	0,295	0,219	0,041	0,071	0,072	0,040	0,043
Total	1,999	2,000	2,017	2,000	2,000	2,000	2,001	2,000	2,001
Ca	48,68	47,52	41,90	43,73	50,51	50,64	50,47	49,43	50,23
Mg	29,32	24,61	1,30	2,02	35,10	29,52	29,67	35,62	34,77
Fe ⁺	22,00	27,87	56,80	54,25	14,39	19,84	19,86	14,95	15,00
Na	9,33	9,54	29,92	22,51	4,68	8,04	8,06	4,48	4,97
Mg	57,13	46,90	2,23	3,60	70,92	59,80	59,91	70,44	69,86
Fe ⁺	33,54	43,56	67,85	73,89	24,40	32,16	32,03	25,08	25,17
mg	0,657	0,571	0,036	0,048	0,813	0,705	0,743	0,814	0,820

MP = Mato Preto; MZ = matriz; FE = fenocristal; PE = periferia; NU = núcleo; Fe⁺ = Fe²⁺+Fe³⁺+Mn; Fe⁺ = Fe²⁺+Mn+(Fe³⁺-Na); mg = MgO/MgO+FeO.

TABELA 3 - (Continuação)

AMOSTRA	22B MIPE	22B MINU	22B MIPE	22B MINU	23B MZ	23B FEPE	23B FENU	23B MIPE	23B MINU
LOCALIZAÇÃO	MP	MP	MP	MP	SQ	SQ	SQ	SQ	SQ
SiO ₂	47,63	48,19	46,23	46,62	51,01	49,41	46,80	49,31	49,53
TiO ₂	1,46	1,33	2,15	2,04	0,63	1,47	2,61	1,85	0,71
Al ₂ O ₃	5,40	5,20	9,36	8,98	1,18	3,57	6,63	2,51	2,21
Fe _{tot}	13,43	12,28	6,59	6,68	15,99	11,22	8,01	14,64	15,34
MnO	0,58	0,63	0,10	0,11	0,77	0,28	0,21	0,06	0,77
MgO	8,60	9,02	12,88	12,97	7,15	10,13	10,87	8,01	7,89
CaO	21,82	22,16	22,10	22,02	21,60	22,18	24,27	22,21	21,90
Na ₂ O	1,08	1,13	0,49	0,48	1,67	1,74	0,57	1,41	1,62
Cr ₂ O ₃	0,00	0,06	0,10	0,11	0,00	0,00	0,03	0,03	0,03
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fe ₂ O ₃	4,48	4,22	3,33	3,09	3,73	6,29	3,34	3,79	6,19
Si	1,813	1,826	1,707	1,721	1,963	1,854	1,753	1,887	1,897
Al ^{IV}	0,187	0,174	0,293	0,279	0,037	0,146	0,247	0,113	0,100
Total	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	1,997
Al ^{VI}	0,055	0,059	0,114	0,112	0,017	0,012	0,046	0,001	0,000
Fe ²⁺	0,299	0,269	0,111	0,120	0,407	0,175	0,157	0,360	0,313
Fe ³⁺	0,128	0,120	0,093	0,086	0,108	0,178	0,094	0,109	0,178
Cr ³⁺	0,000	0,002	0,003	0,003	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001
Mg	0,488	0,509	0,708	0,713	0,410	0,567	0,607	0,457	0,450
Mn	0,019	0,020	0,003	0,003	0,025	0,009	0,007	0,002	0,025
Ti	0,042	0,038	0,060	0,057	0,018	0,042	0,074	0,053	0,020
Ca	0,890	0,900	0,874	0,871	0,891	0,892	0,974	0,912	0,898
Na	0,080	0,083	0,035	0,034	0,124	0,127	0,041	0,105	0,120
Total	2,001	2,000	2,001	1,999	2,000	2,002	2,001	2,000	2,005
Ca	48,80	49,50	48,85	48,58	48,40	48,98	52,96	49,57	48,18
Mg	26,75	28,00	39,57	39,77	22,27	31,14	33,01	24,84	24,14
Fe ⁺	24,45	22,50	11,58	11,65	29,33	19,88	14,03	25,59	27,68
Na	8,57	9,04	3,83	3,69	13,05	13,67	4,74	11,31	12,42
Mg	52,25	55,45	77,38	77,33	43,16	61,03	70,17	49,25	46,58
Fe ⁺	39,18	35,51	18,79	18,98	43,79	25,30	25,09	39,44	41,00
mg	0,620	0,654	0,864	0,856	0,502	0,764	0,794	0,559	0,509

MP = Mato Preto; SQ = Sete Quedas; MZ = matriz; FE = fenocristal; MI = microfenocristal; PE = periferia; NU = núcleo; Fe⁺ = Fe²⁺+Fe³⁺+Mn; Fe^{*} = Fe²⁺+Mn+(Fe³⁺-Na); mg = MgO/MgO+FeO.

TABELA 3 - (Continuação)

AMOSTRA	23C MZ	23C FEPE	23C FENU	23C MIPE	23C MINU	24A MZ	34C MZ	34C FEPE	34C FENU
LOCALIZAÇÃO	SQ	SQ	SQ	SQ	SQ	BA	IT	IT	IT
SiO ₂	54,10	51,92	51,62	50,99	51,81	52,94	53,04	51,44	50,22
TiO ₂	2,12	0,49	0,50	4,60	0,75	0,02	0,07	0,34	0,32
Al ₂ O ₃	1,26	1,66	1,33	1,64	1,86	0,66	1,20	1,03	1,68
FeO _{tot}	25,92	20,60	20,80	23,46	21,79	22,45	18,70	19,33	18,57
MnO	1,18	0,65	0,75	0,71	0,68	1,48	0,71	0,92	0,81
MgO	0,51	4,59	4,60	1,75	3,93	3,46	5,73	5,74	6,50
CaO	2,27	14,22	14,92	6,81	12,53	11,53	15,66	17,22	18,96
Na ₂ O	12,64	5,80	5,48	9,97	6,65	7,44	4,89	3,98	2,94
Cr ₂ O ₃	0,00	0,07	0,00	0,07	0,00	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
Fe ₂ O ₃	26,34	13,32	13,43	18,97	15,25	18,07	10,60	10,18	9,49
Si	2,008	1,971	1,965	1,926	1,964	2,002	2,007	1,968	1,925
Al ^{IV}	0,000	0,029	0,035	0,073	0,036	0,000	0,000	0,032	0,075
Total	2,008	2,000	2,000	1,999	2,000	2,002	2,007	2,000	2,000
Al ^{VI}	0,055	0,045	0,025	0,000	0,047	0,030	0,053	0,014	0,001
Fe ²⁺	0,069	0,273	0,277	0,202	0,256	0,196	0,290	0,326	0,321
Fe ³⁺	0,736	0,381	0,385	0,539	0,435	0,514	0,302	0,293	0,274
Cr ³⁺	0,000	0,002	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
Mg	0,028	0,259	0,261	0,099	0,222	0,195	0,323	0,327	0,371
Mn	0,037	0,021	0,024	0,023	0,022	0,047	0,023	0,030	0,026
Ti	0,059	0,014	0,014	0,131	0,021	0,001	0,002	0,010	0,009
Ca	0,090	0,578	0,609	0,276	0,509	0,467	0,635	0,706	0,779
Na	0,909	0,427	0,404	0,730	0,489	0,546	0,359	0,295	0,218
Total	1,983	2,000	1,999	2,002	2,001	1,997	1,987	2,001	1,999
Ca	9,38	38,23	39,14	24,23	35,25	32,91	40,37	41,97	43,99
Mg	2,92	17,13	16,77	8,69	15,37	13,74	20,53	19,44	20,95
Fe ⁺	87,70	44,64	44,09	67,08	49,38	53,35	39,10	38,59	35,06
Na		45,72	42,66	84,59	52,30	57,35	38,27	30,23	21,98
Mg		27,73	27,56	11,47	23,74	20,48	34,43	33,50	37,40
Fe ⁺		26,55	29,78	3,94	23,96	22,17	27,30	36,27	40,62
mg	0,289	0,487	0,485	0,329	0,464	0,499	0,527	0,501	0,536

SQ = Sete Quedas; BA = Banhadão; IT = Itapirapuã; MZ = matriz; FE = fenocristal; MI = microfenocristal; PE = periferia; NU = núcleo; Fe⁺ = Fe²⁺+Fe³⁺+Mn; Fe^{*} = Fe²⁺+Mn+(Fe³⁺-Na); mg = MgO/MgO+FeO.

TABELA 3 - (Continuação)

AMOSTRA	34C FEPE	34C FENU	34C MIPE	34C MINU	34C MIPE	34C MINU	34C MIPE	34C MINU	34C MIPE
LOCALIZAÇÃO	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT
SiO ₂	49,11	49,45	51,41	52,63	52,31	54,81	49,72	50,65	51,69
TiO ₂	1,50	1,69	0,20	0,53	0,24	0,05	1,51	1,53	0,30
Al ₂ O ₃	6,07	6,13	0,94	1,45	1,07	0,50	5,49	5,33	1,02
FeC _{tot}	4,69	4,51	19,17	16,95	17,99	2,96	5,58	5,28	19,51
MnO	0,02	0,00	0,94	0,71	0,94	0,13	0,10	0,15	0,81
MgO	14,09	14,07	6,01	6,75	6,35	16,21	14,28	14,33	5,57
CaO	23,92	23,46	17,11	16,27	16,99	25,15	22,44	21,85	17,00
Na ₂ O	0,44	0,44	4,22	4,71	4,07	0,18	0,88	0,84	4,10
Cr ₂ O ₃	0,16	0,25	0,00	0,00	0,04	0,01	0,00	0,04	0,00
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fe ₂ O ₃	2,67	1,16	11,88	9,97	9,03	0,00	3,48	1,00	9,96
Si	1,803	1,817	1,959	1,983	1,990	2,000	1,823	1,858	1,977
Al ^{IV}	0,197	0,183	0,041	0,017	0,010	0,000	0,177	0,142	0,023
Total	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Al ^{VI}	0,066	0,082	0,001	0,048	0,037	0,021	0,060	0,088	0,023
Fe ²⁺	0,070	0,107	0,270	0,251	0,314	0,090	0,075	0,134	0,337
Fe ³⁺	0,074	0,032	0,340	0,283	0,258	0,000	0,096	0,027	0,287
Cr ³⁺	0,005	0,007	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000
Mg	0,771	0,771	0,342	0,379	0,360	0,881	0,780	0,784	0,318
Mn	0,001	0,000	0,030	0,023	0,030	0,004	0,003	0,005	0,026
Ti	0,041	0,047	0,006	0,015	0,007	0,001	0,042	0,042	0,009
Ca	0,941	0,923	0,699	0,657	0,692	0,983	0,881	0,859	0,697
Na	0,031	0,031	0,312	0,344	0,300	0,013	0,062	0,059	0,304
Total	2,000	2,000	2,000	2,000	1,999	1,993	1,999	1,999	2,001
Ca	50,67	50,35	41,58	41,24	41,84	50,20	48,01	47,49	41,86
Mg	41,52	42,06	20,35	23,79	21,77	44,99	42,51	43,34	19,10
Fe ⁺	7,81	7,59	38,07	34,97	36,39	4,81	9,48	9,17	39,04
Na	3,38	3,41	31,77	36,75	31,19	1,33	6,50	6,21	31,40
Mg	84,17	84,73	34,83	40,49	37,42	90,36	81,76	82,53	32,85
Fe [*]	12,45	11,86	33,40	22,76	31,39	8,31	11,74	11,26	35,75
mg	0,917	0,878	0,559	0,601	0,534	0,907	0,912	0,854	0,485

IT = Itapirapuã; FE = fenocristal; MI = microfenocristal; PE = periferia; NU = núcleo; Fe⁺ = Fe²⁺+Fe³⁺+Mn; Fe^{*} = Fe²⁺+Mn+(Fe³⁺-Na); mg = MgO/MgO+FeO.

TABELA 3 - (Continuação)

AMOSTRA	36A MZ	36A MIPE	36A MINU	36A MINU	37A MZ	37A MZ	37A MIPE	37A MINU	39A MZ
LOCALIZAÇÃO	SQ- DR.U	SQ- DR.U	SQ- DR.U	SQ- DR.U	SQ- DR.U	SQ- DR.U	SQ- DR.U	SQ- DR.U	SQ- DR.U
SiO ₂	49,31	47,67	46,28	45,83	53,33	53,48	52,08	53,49	48,63
TiO ₂	1,64	2,11	2,81	3,10	1,70	1,09	0,95	2,11	2,63
Al ₂ O ₃	4,18	5,94	8,01	7,71	1,12	0,75	1,20	0,99	2,91
FeO _{tot}	8,68	8,40	7,73	7,88	28,57	29,36	25,94	24,04	22,36
MnO	0,31	0,14	0,15	0,22	0,35	0,51	1,15	1,80	0,91
MgO	11,84	11,39	11,09	11,21	0,62	0,63	1,85	1,23	2,81
CaO	23,40	23,45	23,07	23,25	1,83	1,98	7,90	6,06	14,56
Na ₂ O	0,64	0,86	0,86	0,80	12,46	12,19	8,87	10,28	5,19
Cr ₂ O ₃	0,00	0,04	0,00	0,00	0,02	0,01	0,06	0,00	0,00
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fe ₂ O ₃	2,92	4,41	3,68	4,43	27,67	28,04	7,43	20,72	11,66
Si	1,844	1,779	1,725	1,710	1,990	2,001	19,78	2,010	1,882
Al ^{IV}	0,156	0,221	0,275	0,290	0,010	0,000	0,022	0,000	0,118
Total	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,001	2,000	2,010	2,000
Al ^{VI}	0,028	0,040	0,077	0,049	0,039	0,033	0,031	0,044	0,015
Fe ²⁺	0,189	0,138	0,137	0,121	0,115	0,129	0,236	0,170	0,385
Fe ³⁺	0,082	0,124	0,103	0,124	0,777	0,790	0,588	0,586	0,340
Cr ³⁺	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,002	0,000	0,000
Mg	0,660	0,634	0,616	0,624	0,035	0,035	0,104	0,069	0,162
Mn	0,010	0,004	0,005	0,007	0,011	0,016	0,037	0,057	0,030
Ti	0,046	0,059	0,079	0,087	0,048	0,031	0,027	0,060	0,076
Ca	0,938	0,937	0,921	0,930	0,073	0,080	0,321	0,244	0,604
Na	0,046	0,062	0,062	0,058	0,902	0,884	0,653	0,749	0,389
Total	1,999	1,999	2,000	2,000	2,001	1,998	1,999	1,979	2,001
Ca	49,92	51,01	51,68	51,50	7,22	7,62	24,96	21,67	39,71
Mg	35,13	34,51	34,57	34,55	3,46	3,33	8,09	6,13	10,65
Fe ⁺	14,95	14,48	13,75	13,95	89,32	89,05	66,95	72,20	49,64
Na	4,89	6,89	7,20	6,62	96,16	91,13	67,67	84,92	42,42
Mg	70,14	70,44	71,54	71,23	3,73	3,61	10,78	7,82	17,67
Fe ⁺	24,97	22,67	21,25	22,15	0,11	5,26	21,55	7,26	39,91
mg	0,777	0,821	0,818	0,838	0,233	0,213	0,306	0,289	0,296

SQ-DR. U = estrada Sete Quedas-Dr. Ulisses; MZ = matriz; MI = microfenocristal; PE = periferia; NU = núcleo; Fe⁺ = Fe²⁺+Fe³⁺+Mn; Fe^{*} = Fe²⁺+Mn+(Fe³⁺-Na); mg = MgO/MgO+FeO.

TABELA 3 - (Continuação)

AMOSTRA	39A MIPE	39A MINU	40A FEPE	40A FENU	40A MIPE	40A MINU	41A MZ	41A MIPE	41A MINU
LOCALIZAÇÃO	SQ- DR.U	SQ- DR.U	SQ- DR.U	SQ- DR.U	SQ- DR.U	SQ- DR.U	SQ- DR.U	SQ- DR.U	SQ- DR.U
SiO ₂	49,63	49,58	46,67	48,22	48,59	48,33	49,34	50,95	50,23
TiO ₂	0,87	0,97	2,24	2,04	1,75	1,83	1,00	0,55	0,55
Al ₂ O ₃	2,33	2,23	5,71	4,47	4,44	4,47	2,99	1,80	2,11
FeO _{tot}	20,06	19,94	12,23	9,34	10,27	10,63	14,38	18,90	18,18
MnO	0,69	0,81	0,44	0,25	0,37	0,36	0,55	0,73	0,71
MgO	5,33	5,37	9,05	11,38	10,63	10,36	8,68	5,98	6,50
CaO	17,47	17,50	21,88	23,35	22,71	22,82	21,61	17,30	18,59
Na ₂ O	3,62	3,60	1,77	0,95	1,20	1,18	1,43	3,79	3,13
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,01	0,00	0,04	0,02	0,02	0,00	0,00
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fe ₂ O ₃	10,36	10,34	8,03	5,26	5,06	5,24	5,36	9,56	9,15
Si	1,907	1,906	1,760	1,804	1,824	1,818	1,880	1,946	1,921
Al ^{IV}	0,093	0,094	0,240	0,196	0,176	0,182	0,120	0,054	0,079
Total	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Al ^{VI}	0,013	0,007	0,014	0,002	0,020	0,016	0,014	0,028	0,016
Fe ²⁺	0,345	0,342	0,158	0,144	0,179	0,186	0,304	0,329	0,318
Fe ³⁺	0,300	0,299	0,228	0,148	0,143	0,148	0,154	0,275	0,263
Cr ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000
Mg	0,305	0,308	0,508	0,635	0,595	0,581	0,493	0,340	0,370
Mn	0,023	0,027	0,014	0,008	0,012	0,011	0,018	0,023	0,023
Ti	0,025	0,028	0,064	0,057	0,050	0,052	0,029	0,016	0,016
Ca	0,720	0,721	0,884	0,937	0,913	0,920	0,882	0,708	0,761
Na	0,270	0,268	0,130	0,069	0,087	0,086	0,106	0,281	0,232
Total	2,001	2,000	2,000	2,000	2,000	2,001	2,001	2,000	1,999
Ca	42,53	42,49	49,33	50,05	49,57	49,84	47,65	42,27	43,86
Mg	18,02	18,15	28,35	33,92	32,30	31,47	26,63	20,30	21,33
Fe ⁺	39,46	39,36	22,32	16,03	18,13	18,69	25,72	37,43	34,81
Na	27,75	27,46	14,32	7,38	9,36	9,29	10,94	29,06	23,82
Mg	31,35	31,56	55,95	67,91	64,05	62,74	50,88	35,16	37,99
Fe ⁺	40,90	40,98	29,73	24,71	26,59	27,97	38,18	35,78	38,19
mg	0,469	0,474	0,763	0,815	0,769	0,757	0,619	0,508	0,538

SQ-DR. U = estrada Sete Quedas-Dr. Ulisses; MZ = matriz; FE = fenocristal; MI = microfenocristal; PE = periferia; NU = núcleo; Fe⁺ = Fe²⁺+Fe³⁺+Mn; Fe⁺ = Fe²⁺+Mn+(Fe³⁺-Na); mg = MgO/MgO+FeO.

TABELA 3 - (Conclusão)

AMOSTRA	42A MZ	42A FEPE	42A FENU	42A MINU	44A MZ	44A FEPE	44A FENU	44A MIPE	44A MINU
LOCALIZAÇÃO	CA	CA	CA	CA	TU	TU	TU	TU	TU
SiO ₂	52,55	48,64	46,23	51,44	48,78	49,58	49,31	49,19	49,40
TiO ₂	1,44	1,69	2,10	0,77	0,07	0,23	0,23	0,28	0,28
Al ₂ O ₃	1,23	5,06	7,46	3,00	0,48	0,35	0,29	0,46	0,42
FeO _{tot}	26,88	11,13	10,76	11,27	25,98	23,80	24,42	23,91	23,85
MnO	0,46	0,19	0,15	0,21	1,48	1,78	1,76	2,20	2,10
MgO	1,17	10,05	9,77	10,55	2,51	3,94	3,84	3,88	3,68
CaO	6,86	21,75	22,45	21,08	19,81	19,32	19,21	19,31	19,19
Na ₂ O	9,41	1,49	1,06	1,68	0,89	0,96	0,94	0,77	1,04
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,04
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fe ₂ O ₃	19,63	4,84	5,32	3,20	2,92	2,51	2,41	2,14	2,73
Si	1,997	1,826	1,738	1,928	1,972	1,983	1,979	1,975	1,979
Al ^{IV}	0,003	0,174	0,262	0,072	0,023	0,017	0,014	0,022	0,020
Total	2,000	2,000	2,000	2,000	1,995	2,000	1,993	1,997	1,999
Al ^{VI}	0,052	0,050	0,069	0,060	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ²⁺	0,293	0,213	0,187	0,263	0,790	0,721	0,747	0,738	0,716
Fe ³⁺	0,561	0,137	0,151	0,090	0,089	0,076	0,072	0,064	0,082
Cr ³⁺	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001
Mg	0,066	0,562	0,547	0,589	0,151	0,235	0,230	0,232	0,219
Mn	0,015	0,006	0,005	0,007	0,051	0,060	0,060	0,075	0,071
Ti	0,041	0,048	0,059	0,022	0,002	0,007	0,007	0,008	0,008
Ca	0,279	0,875	0,904	0,847	0,858	0,828	0,826	0,830	0,824
Na	0,693	0,109	0,077	0,122	0,070	0,074	0,073	0,060	0,081
Total	2,000	2,000	2,000	2,000	2,011	2,002	2,016	2,007	2,002
Ca	22,98	48,80	50,39	47,16	44,25	43,13	42,66	42,81	43,10
Mg	5,44	31,34	30,49	32,80	7,79	12,24	11,88	11,96	11,45
Fe ⁺	71,58	19,86	19,12	20,04	47,96	44,63	45,46	45,23	45,45
Na	74,12	11,87	8,65	12,86	6,48	6,78	6,58	5,41	7,44
Mg	7,06	61,22	61,46	62,07	13,97	21,52	20,72	20,92	20,13
Fe ⁺	18,82	26,91	29,89	25,07	79,55	71,70	72,70	73,67	72,43
mg	0,184	0,725	0,745	0,691	0,160	0,246	0,235	0,239	0,234

CA = Cerro Azul; TU = Tunas; MZ = matriz; FE = fenocristal; MI = microfenocristal; PE = periferia; NU = núcleo; Fe⁺ = Fe²⁺+Fe³⁺+Mn; Fe⁺ = Fe²⁺+Mn+(Fe³⁺-Na); mg = MgO/MgO+FeO.

TABELA 4

Composição química de biotitas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.

AMOSTRA	6B MZ	6B FEPE	6B FENU	7B FEPE	7B FENU	7B MIPE	7B MINU	12B MIPE
LOCALIZAÇÃO	BPG	BPG	BPG	MC	MC	MC	MC	BPG
SiO ₂	36,04	35,82	36,17	34,83	35,84	35,23	35,05	34,35
TiO ₂	3,97	0,40	3,96	5,09	4,77	5,11	5,19	5,81
Al ₂ O ₃	14,42	14,16	14,32	13,29	12,60	13,33	13,49	13,29
FeO _{tot}	20,09	19,80	19,57	21,61	21,16	21,42	21,85	26,52
MnO	0,14	0,23	0,18	0,57	0,44	0,53	0,45	0,71
MgO	11,36	11,61	11,20	10,21	10,84	10,05	10,05	6,44
CaO	0,02	0,01	0,02	0,03	0,06	0,01	0,02	0,00
Na ₂ O	0,37	0,36	0,44	0,40	0,40	0,35	0,44	0,40
K ₂ O	9,40	9,08	9,25	8,79	8,65	8,73	8,87	8,70
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,01	0,00	0,00
Total	95,81	91,47	95,11	94,86	94,76	94,77	95,41	96,22
Fe ₂ O ₃	9,88	11,21	8,23	8,78	7,88	7,19	8,58	9,75
Si	5,515	5,732	5,558	5,448	5,578	5,498	5,450	5,427
Al ^{IV}	2,485	2,268	2,442	2,450	2,312	2,452	2,472	2,475
Total	8,000	8,000	8,000	7,898	7,890	7,950	7,922	7,902
Al ^{VI}	0,116	0,403	0,152	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ti	0,457	0,048	0,458	0,598	0,558	0,600	0,606	0,690
Fe ²⁺	2,571	2,650	2,515	2,826	2,754	2,796	2,842	3,504
Mn	0,018	0,031	0,023	0,076	0,058	0,070	0,060	0,095
Mg	2,591	2,769	2,565	2,380	2,514	2,338	2,328	1,516
Ca	0,003	0,002	0,003	0,006	0,010	0,002	0,004	0,000
Na	0,110	0,112	0,131	0,122	0,120	0,106	0,132	0,123
K	1,835	1,854	1,813	1,754	1,718	1,738	1,760	1,754
Total	7,701	7,869	7,660	7,762	7,732	7,650	7,732	7,682
Mg	33,12	34,23	33,43	36,91	33,17	36,86	37,19	46,75
Fe ²⁺	33,37	32,76	32,77	31,09	36,33	30,82	30,46	20,23
Al	33,51	33,01	33,80	32,00	30,50	32,32	32,35	33,02
R ³⁺	31,52	32,65	30,62	28,56	26,16	26,79	28,77	27,09
Fe ²⁺	24,59	21,86	25,78	31,43	31,68	33,95	31,98	47,28
Mg	43,89	45,49	43,60	40,01	42,16	39,26	39,25	25,63
Fe ²⁺	27,77	23,98	29,40	34,45	34,76	38,01	35,54	53,82
Fe ³⁺	22,04	24,93	20,11	19,84	17,52	16,46	19,42	15,93
Mg	50,19	51,09	50,49	45,71	47,72	45,53	45,04	30,20
mg	0,502	0,511	0,505	0,457	0,477	0,455	0,450	0,302
Fe ⁺	0,498	0,489	0,495	0,543	0,523	0,545	0,550	0,698

BPG = Barra do Ponta Grossa; MC = Morro do Chapéu; MZ = matriz; FE = fenocristal; MI = microfenocristal; PE = periferia; NU = núcleo; R³⁺ = Al+Fe³⁺+Ti; mg = MgO/MgO+FeO; Fe⁺ = FeO/FeO+MgO.

TABELA 4 - (Continuação)

AMOSTRA	12B MINU	18B MIPE	18B MINU	18B MIPE	18B MINU	23B MZ	23B MIPE	23B MINU
LOCALIZAÇÃO	BPG	MP	MP	MP	MP	SQ	SQ	SQ
SiO ₂	34,77	38,65	38,38	33,86	34,37	38,78	41,45	38,77
TiO ₂	5,66	1,47	1,42	4,19	4,20	2,88	0,47	0,18
Al ₂ O ₃	13,09	14,86	14,41	16,44	16,50	7,64	13,15	12,49
FeO _{tot}	26,68	16,68	17,65	17,51	17,13	26,33	12,34	16,35
MnO	0,64	0,33	0,42	0,18	0,25	0,60	1,13	0,74
MgO	6,64	12,62	12,94	12,10	12,40	9,37	17,93	15,34
CaO	0,00	0,02	0,01	0,10	0,02	0,03	0,19	0,18
Na ₂ O	0,40	0,50	0,52	0,38	0,48	0,04	0,23	0,10
K ₂ O	8,94	9,54	9,64	8,29	8,42	9,51	8,72	8,06
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,01	0,06	0,02	0,00	0,08	0,00
Total	96,82	94,67	95,40	93,11	93,79	95,18	95,69	92,21
Fe ₂ O ₃	7,52	8,82	11,36	7,92	8,16	10,17	8,15	8,91
Si	5,462	5,848	5,804	5,254	5,282	6,180	6,042	5,986
Al ^{IV}	2,424	2,152	2,196	2,746	2,718	1,436	1,958	2,014
Total	7,886	8,000	8,000	8,000	8,000	7,616	8,000	8,000
Al ^{VI}	0,000	0,498	0,374	0,262	0,272	0,000	0,300	0,260
Ti	0,669	0,168	0,162	0,490	0,486	0,346	0,052	0,020
Fe ²⁺	3,505	2,111	2,232	2,272	2,202	3,510	1,504	2,112
Mn	0,085	0,042	0,054	0,024	0,032	0,082	0,140	0,096
Mg	1,555	2,846	2,916	2,798	2,840	2,226	3,894	3,530
Ca	0,000	0,004	0,002	0,016	0,004	0,006	0,030	0,030
Na	0,122	0,146	0,152	0,114	0,144	0,012	0,064	0,030
K	1,792	1,842	1,860	1,642	1,652	1,934	1,622	1,588
Total	7,728	7,657	7,752	7,618	7,632	8,116	7,606	7,666
Mg	46,83	37,41	37,78	34,64	35,36	48,94	19,64	26,68
Fe ²⁺	20,78	27,75	28,92	28,12	27,41	31,04	50,87	44,59
Al	32,39	34,84	33,30	37,24	37,23	20,02	29,49	28,73
R ³⁺	27,79	31,58	33,30	30,90	31,34	22,28	23,65	23,99
Fe ²⁺	45,83	19,67	16,95	22,72	21,46	40,09	12,33	18,95
Mg	26,38	48,65	49,75	46,38	47,20	37,63	64,02	57,06
Fe ²⁺	51,70	22,32	18,25	26,57	27,03	39,93	11,31	19,07
Fe ³⁺	17,58	20,27	25,11	18,25	11,96	38,80	16,55	18,36
Mg	30,72	57,41	56,64	55,18	61,01	21,27	72,14	62,57
mg	0,307	0,574	0,566	0,552	0,563	0,388	0,721	0,626
Fe*	0,693	0,426	0,434	0,448	0,437	0,612	0,279	0,374

BPG = Barra do Ponta Grossa; MP = Mato Preto; SQ = Sete Quedas; MZ = matriz; MI = microfenocristal; PE = periferia; NU = núcleo; R³⁺ = Al+Fe³⁺+Ti; mg = MgO/MgO+FeO; Fe* = FeO/FeO+MgO.

TABELA 4 - (Continuação)

AMOSTRA	36A FEPE	36A FENU	36A FEPE	36A MIPE	346 MINU	36A MIPE	36A MINU	40A FEPE
LOCALIZAÇÃO	SQ-DR.U	SQ-DR.U	SQ-DR.U	SQ-DR.U	SQ-DR.U	SQ-DR.U	SQ-DR.U	SQ-DR.U
SiO ₂	35,20	35,25	34,51	34,93	358,22	34,42	34,37	34,42
TiO ₂	3,64	3,59	3,74	4,55	4,53	3,55	3,68	4,84
Al ₂ O ₃	14,44	14,43	14,20	17,07	14,99	14,32	14,31	13,97
FeO _{tot}	20,54	20,63	20,39	17,90	17,03	20,90	20,71	19,24
MnO	0,33	0,47	0,44	0,39	0,26	0,46	0,48	0,43
MgO	11,81	11,19	11,90	12,47	13,77	11,34	10,82	11,47
CaO	0,04	0,03	0,00	0,00	0,01	0,03	0,08	0,00
Na ₂ O	0,24	0,29	0,32	0,40	0,37	0,32	0,26	0,47
K ₂ O	8,74	8,64	8,77	8,72	8,97	8,73	8,56	8,55
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	94,98	94,52	94,27	94,43	95,15	94,07	93,27	93,39
Fe ₂ O ₃	10,20	9,25	10,99	8,76	10,30	11,50	9,60	8,82
Si	5,441	5,478	5,391	5,367	5,350	5,402	5,431	5,398
Al ^{IV}	2,559	2,522	2,609	2,633	2,650	2,598	2,569	2,582
Total	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	7,980
Al ^{VI}	0,073	0,121	0,007	0,096	0,034	0,051	0,097	0,000
Ti	0,423	0,420	0,439	0,526	0,517	0,419	0,437	0,570
Fe ²⁺	2,655	2,681	2,664	2,300	2,163	2,743	2,737	2,524
Mn	0,043	0,062	0,058	0,051	0,033	0,061	0,064	0,058
Mg	2,721	2,592	2,771	2,855	3,117	2,652	2,548	2,680
Ca	0,007	0,005	0,000	0,000	0,002	0,005	0,014	0,000
Na	0,072	0,087	0,097	0,119	0,109	0,097	0,080	0,142
K	1,724	1,713	1,748	1,709	1,738	1,748	1,726	1,712
Total	7,718	7,681	7,784	7,656	7,713	7,776	7,703	7,686
Mg	33,15	33,86	33,09	29,17	27,16	34,10	34,42	34,42
Fe ²⁺	33,98	32,74	34,43	36,21	39,14	32,97	32,05	32,42
Al	32,87	33,40	32,48	34,62	33,70	32,93	33,53	33,16
R ³⁺	30,12	29,53	30,98	30,11	31,16	32,14	30,26	29,43
Fe ²⁺	24,96	27,53	23,50	22,31	16,96	23,94	27,51	25,74
Mg	44,92	42,94	45,52	47,58	51,88	43,92	42,23	44,83
Fe ²⁺	27,32	30,34	25,24	24,98	18,67	25,67	30,18	28,48
Fe ³⁺	22,08	20,51	23,78	19,64	22,30	25,17	21,61	20,01
Mg	50,60	49,15	50,98	55,38	59,03	49,16	48,21	51,51
mg	0,506	0,492	0,510	0,554	0,590	0,492	0,482	0,515
Fe [*]	0,494	0,508	0,490	0,446	0,410	0,508	0,518	0,485

SQ-DR.U = estrada Sete Quedas-Dr. Ulisses; FE = fenocristal; MI = microfenocristal; PE = periferia; NU = núcleo; R³⁺ = Al+Fe³⁺+Ti; mg = MgO/MgO+FeO; Fe^{*} = FeO/FeO+MgO.

TABELA 4 - (Conclusão)

AMOSTRA	40A FENU	40A MIPE	40A MINU	42A MIPE	42A MINU			
LOCALIZAÇÃO	SQ-DR.U	SQ-DR.U	SQ-DR.U	CA	CA			
SiO ₂	35,16	34,83	35,06	34,82	34,66			
TiO ₂	4,99	5,00	5,24	4,66	4,65			
Al ₂ O ₃	14,34	15,12	15,10	11,95	12,46			
FeO _{tot}	19,44	15,15	15,80	28,52	28,11			
MnO	0,46	0,31	0,36	0,83	0,92			
MgO	11,49	13,90	13,20	5,63	6,16			
CaO	0,00	0,05	0,05	0,15	0,05			
Na ₂ O	0,52	0,57	0,58	0,42	0,44			
K ₂ O	8,74	8,82	8,44	8,41	8,68			
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00			
Total	95,14	93,75	93,84	95,39	96,13			
Fe ₂ O ₃	8,58	9,32	7,02	7,62	9,21			
Si	5,408	5,328	5,360	5,606	5,532			
Al ^{IV}	2,592	2,672	2,640	2,268	2,344			
Total	8,000	8,000	8,000	7,874	7,876			
Al ^{VI}	0,008	0,056	0,082	0,000	0,000			
Ti	0,578	0,576	0,602	0,564	0,558			
Fe ²⁺	2,500	1,938	2,020	3,840	3,752			
Mn	0,060	0,040	0,046	0,114	0,124			
Mg	2,634	3,170	3,008	1,350	1,466			
Ca	0,000	0,008	0,008	0,026	0,008			
Na	0,156	0,172	0,172	0,132	0,136			
K	1,716	1,750	1,646	1,728	1,768			
Total	7,652	7,710	7,584	8,780	7,812			
Mg	34,06	40,45	38,81	18,10	19,39			
Fe ²⁺	32,32	24,74	26,07	51,49	49,61			
Al	33,62	34,81	35,12	30,41	31,00			
R ³⁺	29,45	31,41	28,49	26,12	28,61			
Fe ²⁺	26,32	15,24	21,10	51,10	46,70			
Mg	44,23	53,35	50,41	22,78	24,69			
Fe ²⁺	29,36	16,93	24,11	56,18	50,71			
Fe ³⁺	19,35	21,02	16,07	17,80	21,21			
Mg	51,29	62,05	59,82	26,02	28,08			
mg	0,513	0,621	0,598	0,260	0,281			
Fe*	0,487	0,379	0,402	0,740	0,719			

SQ-DR.U = estrada Sete Quedas-Dr. Ulisses; CA = Cerro Azul; FE = fenocristal; MI = microfenocristal; PE = periferia; NU = núcleo; R³⁺ = Al+Fe³⁺+Ti; mg = MgO/MgO+FeO; Fe* = FeO/FeO+MgO.

TABELA 5

Composição química de granadas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.

AMOSTRA	23B MIPE	23B MINU	23B MIPE	23B MINU	24A MIPE	24A MINU	36A MZ	36A FEPE	36A FENU
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
Si	4,906	5,134	5,160	4,770	5,576	5,674	4,698	5,104	5,104
Al ^{IV}	0,268	0,430	0,232	0,340	0,172	0,158	0,278	0,444	0,448
Fe ³⁺	0,826	0,436	0,608	0,890	0,252	0,168	1,024	0,452	0,448
Total	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
Al ^{VI}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ³⁺	1,950	2,470	2,372	1,826	2,648	2,984	1,604	2,536	2,476
Ti	1,642	1,298	1,294	1,802	1,000	0,772	2,078	1,342	1,396
Cr	0,002	0,000	0,006	0,004	0,000	0,004	0,004	0,006	0,000
Total	3,594	3,768	3,672	3,632	3,648	3,760	3,686	3,884	3,872
Fe ²⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,216	0,180	0,170	0,240	0,024	0,030	0,268	0,146	0,154
Mn	0,072	0,050	0,064	0,052	0,116	0,130	0,066	0,068	0,062
Ca	6,030	5,884	6,016	5,954	6,030	5,916	5,716	5,714	5,704
Na	0,036	0,032	0,030	0,046	0,148	0,130	0,062	0,040	0,042
Total	6,354	6,146	6,280	6,292	6,318	6,206	6,112	5,968	5,962
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

SQ = Sete Quedas; BA = Banhadão; SQ-DR.U = estrada Sete Quedas-Dr. Ulisses; MZ = matriz; FE = fenocristal; MI = microfenocristal; PE = periferia; NU = núcleo; And = andradita; Sch = schorlomita; Uv = uvarovita.

TABELA 6

Composição química de anfibólitos de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.

AMOSTRA	22B MZ	22B MZ	22B FEPE	22B FENU	22B MIPE	22B MINU	44A MIPE	44A MINU
LOCALIZAÇÃO	MP	MP	MP	MP	MP	MP	TU	TU
SiO ₂	37,36	37,35	38,07	39,68	37,32	38,39	46,96	47,18
TiO ₂	3,41	3,93	4,61	4,63	4,29	4,58	1,45	1,37
Al ₂ O ₃	14,12	14,08	14,02	13,80	13,55	14,06	2,77	2,68
FeO _{tot}	15,12	16,01	12,37	11,45	17,07	12,39	29,87	29,75
MnO	0,28	0,33	0,20	0,16	0,47	0,25	1,75	1,58
MgO	9,55	8,99	11,14	12,29	7,86	10,91	3,81	3,78
CaO	11,10	11,40	11,00	11,89	11,02	11,04	7,03	7,08
Na ₂ O	2,54	2,32	2,22	2,15	2,30	2,24	3,21	3,47
K ₂ O	1,63	1,62	1,78	1,74	1,69	1,76	1,02	0,95
Total	95,11	96,03	95,41	97,79	95,57	95,62	97,87	97,84
Fe ₂ O ₃	0,97	0,65	0,86	0,06	0,16	0,43	0,00	0,22
Si	5,818	5,792	5,823	5,899	5,854	5,861	7,478	7,502
Al ^{IV}	2,182	2,208	2,177	2,101	2,146	2,139	0,520	0,498
Total	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	7,998	8,000
Al ^{VI}	0,410	0,366	0,351	0,318	0,360	0,392	0,000	0,004
Ti	0,399	0,458	0,530	0,518	0,506	0,526	0,174	0,164
Fe ³⁺	0,113	0,076	0,099	0,006	0,019	0,049	0,000	0,026
Fe ²⁺	1,856	2,001	1,483	1,417	2,220	1,533	3,978	3,930
Mn	0,037	0,043	0,026	0,020	0,063	0,032	0,236	0,213
Mg	2,216	2,078	2,539	2,723	1,837	2,482	0,904	0,896
Ca	1,852	1,894	1,803	1,894	1,852	1,806	1,199	1,206
Na	0,767	0,698	0,658	0,620	0,699	0,663	0,991	1,070
K	0,324	0,321	0,347	0,330	0,338	0,343	0,207	0,193
Total	7,974	7,935	7,836	7,846	7,894	7,826	7,689	7,702
Ca	31,26	31,71	30,95	31,39	31,34	31,03	19,72	20,00
Mg	37,41	34,79	43,59	45,12	31,09	42,64	14,87	14,85
Fe	31,33	33,50	25,46	23,49	37,57	26,33	65,41	65,15
mg	0,54	0,51	0,63	0,66	0,45	0,62	0,19	0,19

MP = Mato Preto; TU = Tunas; MZ = matriz; FE = fenocristal; MI = microfenocristal; PE = periferia; NU = núcleo; Fe* = Fe²⁺+Fe³⁺+Mn; mg = MgO/MgO+FeO.

TABELA 7

Composição química de minerais opacos de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.

AMOSTRA	22B MZ	22B MIPE	22B MINU	44A MZ	44A MZ
LOCALIZAÇÃO	MP	MP	MP	TU	TU
SiO ₂					
TiO ₂	15,69	14,22	13,96	9,92	13,34
Al ₂ O ₃	1,61	2,67	2,85	0,26	0,10
FeO _{tot}	75,65	77,57	76,52	82,12	80,19
MnO	1,99	1,76	1,39	1,27	1,24
MgO	0,37	0,67	1,21	0,04	0,00
CaO					
Cr ₂ O ₃	0,03	0,10	0,02	0,00	0,04
Total	95,34	96,99	95,95	93,61	94,91
Fe ₂ O ₃	36,27	39,30	39,23	48,49	42,50
Si					
Ti	3,576	3,160	3,120	2,304	3,072
Al	0,576	0,928	1,000	0,096	0,040
Fe ³⁺	8,272	8,728	8,768	11,288	9,800
Fe ²⁺	10,896	10,424	10,232	9,960	10,752
Mn	0,412	0,440	0,352	0,336	0,320
Mg	0,160	0,296	0,536	0,016	0,000
Ca					
Cr	0,008	0,024	0,008	0,000	0,001
Total	24,000	24,000	24,016	24,000	23,985

MP = Mato Preto; TU = Tunas; MZ = matriz; MI = microfenocristal; PE = periferia; NU = núcleo.

TABELA 8

Composição química de zeólitas de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.

AMOSTRA	7B MIPE	7B MINU	10A MZ	10A MIPE	10A MINU	10A MINU	17B MZ
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 MZ	17B MZ	18A MZ	18A MZ	18A MIPE	18A MINU	42A MZ
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	10,80	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

MC = Morro do Chapéu; BT = Barra do Teixeira; MP = Mato Preto; CA = Cerro Azul; MZ = matriz; MI = microfenocristal; PE = periferia; NU = núcleo.

TABELA 9

Composição química e norma CIPW de diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.

AMOSTRA	6A	6B	6C	7A1	7A2	7B	9A1	9A2	9A3
Localização	BPG	BPG	BPG	MC	MC	MC	MC	MC	MC
SiO ₂	56,71	55,54	56,78	57,58	57,68	56,57	57,84	57,01	57,74
TiO ₂	0,45	0,43	0,44	0,45	0,39	0,45	0,44	0,46	0,42
Al ₂ O ₃	19,49	19,28	19,84	19,95	19,42	19,52	19,44	20,07	19,58
FeO _{tot}	3,23	3,07	3,14	3,98	4,23	3,91	4,34	4,00	4,25
MnO	0,25	0,24	0,25	0,19	0,21	0,18	0,21	0,20	0,21
MgO	0,17	0,13	0,15	0,22	0,15	0,10	0,14	0,24	0,08
CaO	3,32	3,01	3,21	1,76	1,24	1,55	1,24	1,73	1,13
Na ₂ O	10,67	12,48	10,90	9,04	9,97	10,89	9,87	10,15	10,15
K ₂ O	5,52	5,65	5,15	6,75	6,66	6,76	6,44	6,08	6,38
P ₂ O ₅	0,19	0,17	0,14	0,06	0,05	0,07	0,04	0,06	0,06
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
L.O.I.	6,25	5,36	6,61	5,90	5,25	4,43	5,22	5,59	5,61
Fe ₂ O ₃	2,07	2,25	1,87	2,44	3,32	2,60	3,32	2,96	3,24
FeO	1,37	1,04	1,46	1,78	1,24	1,57	1,35	1,34	1,33
IA	1,207	1,382	1,185	1,112	1,216	1,293	1,194	1,160	1,205
ID	81,22	78,30	82,10	85,70	84,44	82,43	84,75	84,53	85,02
Q									
Or	32,62	33,39	30,43	39,89	39,35	39,94	38,05	35,93	37,70
Ab	23,88	17,97	26,02	23,11	24,16	18,53	26,10	24,04	26,21
An									
Ne	24,72	26,94	25,65	22,70	20,93	23,96	20,60	24,56	21,11
Ac	1,59	1,50	1,53	1,93	2,08	1,90	2,14	1,96	2,08
Ns	4,41	8,42	3,98	2,15	4,46	6,33	3,94	3,32	4,26
Wo/Di	4,67	4,34	4,50	3,48	2,43	3,02	2,45	3,42	2,17
En/Di	0,42	0,32	0,37	0,33	0,15	0,14	0,14	0,35	0,07
Fs/Di	4,75	4,51	4,62	3,51	2,56	3,24	2,60	3,42	2,37
Wo	1,68	1,42	1,76						
En/Hy									
Fs/Hy									
Fo/Ol				0,14	0,15	0,07	0,14	0,17	0,08
Fa/Ol				1,73	2,90	1,87	2,94	1,86	3,03
Mt									
Il	0,85	0,81	0,83	0,89	0,74	0,85	0,83	0,87	0,79
Ap	0,45	0,40	0,33	0,14	0,11	0,16	0,09	0,14	0,14
Cr	1	1	2	1	2	2	4	3	1
Ni	9	7	7	6	5	5	9	9	7
Ba	463	447	464	1161	369	860	585	770	559
Rb	120	112	96	156	177	156	168	142	158
Sr	1600	1436	1432	740	1072	1142	851	877	714
La	143	131	123	108	114	117	130	107	131
Ce	227	215	198	164	171	174	185	163	180
Nd	78	71	65	47	52	48	45	47	47
Zr	1513	1531	1398	577	984	712	904	764	912
Y	31	30	28	27	34	27	29	27	28
Nb	522	529	446	165	206	170	183	166	180
R ₁	-1403	-2149	-1391	-1075	-1383	-1799	-1289	-1351	-1379
R ₂	746	707	740	591	521	554	521	591	509
Litologia	FON PER	FON PER	FON PER	FON PER	FON PER	FON PER	FON PER	FON PER	FON PER
mg	10	8	9	10	7	5	6	11	4
Fe ₂ O ₃ (0,20)	0,55	0,52	0,53	0,67	0,72	0,66	0,74	0,68	0,72
FeO(0,20)	2,74	2,60	2,66	3,37	3,58	3,31	3,68	3,39	3,60
Na ₂ O+K ₂ O	16,19	18,13	16,05	15,79	16,63	17,65	16,31	16,23	16,53

BPG = Barra do Ponta Grossa; MC = Morro do Chapéu; FON PER = fonolito peralcalino; mg = MgO/MgO+FeO; IA = índice agpaítico; ID = índice de diferenciação.

TABELA 9 - (Continuação)

AMOSTRA	9B	9C	10A	10B	12A	12B	17A	17B	18A
Localização	MC	MC	BT	BT	BPG	BPG	MP	MP	MP
SiO ₂	57,11	57,93	56,07	55,54	54,94	54,48	58,46	58,61	58,95
TiO ₂	0,38	0,38	0,57	0,58	0,48	0,41	0,39	0,23	0,23
Al ₂ O ₃	19,84	20,33	19,89	19,24	19,01	18,49	19,08	19,99	18,91
FeO _{tot}	4,14	4,14	3,68	4,16	3,39	3,25	4,44	4,97	4,89
MnO	0,22	0,25	0,16	0,18	0,25	0,26	0,27	0,38	0,44
MgO	0,13	0,11	0,19	0,17	0,20	0,18	0,13	0,12	0,08
CaO	1,31	0,98	1,60	1,88	2,94	3,20	0,94	1,17	0,82
Na ₂ O	11,18	8,89	10,29	9,93	12,55	13,36	10,04	9,14	10,38
K ₂ O	5,62	6,93	7,45	8,19	6,03	6,15	6,23	5,38	5,30
P ₂ O ₅	0,07	0,06	0,10	0,13	0,21	0,21	0,02	0,01	0,00
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,99	100,00	100,00	100,00
L.O.I.	5,91	5,71	4,51	2,94	0,71	4,66	4,52	6,56	5,77
Fe ₂ O ₃	3,22	3,42	2,56	3,32	2,63	2,21	3,93	4,38	3,86
FeO	1,24	1,06	1,38	1,17	1,02	1,26	0,90	1,03	1,42
IA	1,234	1,088	1,256	1,310	1,429	1,549	1,219	1,043	1,206
ID	83,92	88,17	83,21	80,75	76,69	74,09	84,84	87,34	84,71
Q									
Or	33,21	40,95	44,02	48,40	35,63	36,34	36,81	31,79	31,32
Ab	27,03	25,04	13,63	7,51	13,72	10,43	29,80	35,08	36,42
An									
Ne	23,68	22,18	25,56	24,84	27,34	27,32	18,23	20,47	16,97
Ac	2,02	2,02	1,79	2,05	1,64	1,59	2,16	2,43	2,40
Ns	5,01	1,61	5,63	6,59	9,33	11,72	4,43	0,39	4,03
Wo/Di	2,52	1,86	3,04	3,54	4,92	4,79	1,89	2,39	1,69
En/Di	0,13	0,08	0,28	0,26	0,49	0,44	0,09	0,09	0,04
Fs/Di	2,68	2,00	3,07	3,67	4,94	4,85	2,02	2,59	1,86
Wo					0,58	1,26			
En/Hy									
Fs/Hy									
Fo/Ol	0,12	0,13	0,13	0,11			0,15	0,14	0,10
Fa/Ol	2,73	3,30	1,55	1,68			3,66	4,21	4,76
Mt									
Il	0,72	0,72	1,08	1,10	0,91	0,77	0,74	0,43	0,43
Ap	0,16	0,14	0,23	0,30	0,49	0,49	0,04	0,02	
Cr	2	4	2	3	1	2	2	1	1
Ni	7	9	5	7	8	10	8	11	8
Ba	354	442	502	498	396	365	54	169	97
Rb	138	181	159	156	114	133	327	457	420
Sr	587	681	708	704	1242	1471	312	175	130
La	135	138	64	65	135	127	190	697	541
Ce	201	207	106	133	215	217	276	790	730
Nd	53	55	39	45	76	75	63	207	162
Zr	942	1184	1220	1619	1545	1659	1306	2623	2113
Y	33	38	21	27	30	32	44	128	112
Nb	188	273	337	380	509	534	440	788	835
R ₁	-1605	-1043	-1777	-1871	-2313	-2653	-1261	-744	-1140
R ₂	536	509	571	587	697	714	481	523	463
Litologia	FON PER	FON PER	FON PER	FON PER	FON PER	FON PER	FON PER	FON PER	FON PER
mg	6	5	10	8	11	10	6	5	3
Fe ₂ O ₃ (0,20)	0,70	0,70	0,62	0,71	0,57	0,55	0,75	0,84	0,83
FeO(0,20)	3,51	3,51	3,12	3,53	2,87	2,75	3,76	4,21	4,14
Na ₂ O+K ₂ O	16,80	15,82	17,74	18,12	18,58	19,51	16,27	14,52	15,68

MC = Morro do Chapéu; BT = Barra do Teixeira; BPG = Barra do Ponta Grossa; MP = Mato Preto; FON PER = fonolito peralcalino.

TABELA 9 - (Continuação)

AMOSTRA	18B	18C	18C2	19A	19B	19C	20A	20B	20C
Localização	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP
SiO ₂	57,97	60,12	60,10	60,56	60,26	60,63	58,14	58,21	57,90
TiO ₂	0,46	0,23	0,23	0,27	0,28	0,28	0,19	0,19	0,20
Al ₂ O ₃	18,02	18,42	18,52	18,92	18,87	18,79	19,94	19,28	19,11
FeO _{tot}	6,03	5,00	4,94	4,43	4,51	4,51	5,30	5,15	5,39
MnO	0,38	0,43	0,42	0,24	0,26	0,25	0,42	0,41	0,46
MgO	0,43	0,12	0,12	0,68	0,80	0,95	0,29	0,32	0,39
CaO	2,71	1,13	1,09	1,10	1,19	1,30	0,91	0,93	1,03
Na ₂ O	6,58	9,59	9,68	7,74	8,20	7,52	9,76	10,62	10,34
K ₂ O	7,29	4,95	4,89	6,01	5,60	5,74	5,04	4,88	5,17
P ₂ O ₅	0,13	0,01	0,01	0,05	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
L.O.I.	4,10	4,77	4,74	6,13	6,14	6,29	6,02	5,84	8,75
Fe ₂ O ₃	4,23	4,38	4,09	3,71	3,50	3,78	4,28	4,20	4,33
FeO	2,22	1,06	1,26	1,09	1,36	1,11	1,45	1,37	1,49
IA	1,039	1,147	1,146	1,017	1,036	0,989	1,079	1,180	1,183
ID	81,34	85,10	85,33	88,58	87,19	88,22	86,33	84,19	83,34
Q									
Or	43,08	29,25	28,89	35,51	33,09	33,92	29,78	28,83	30,55
Ab	21,91	42,47	42,75	40,33	40,19	43,27	35,33	35,71	33,03
An						0,56			
Ne	16,35	13,38	13,69	12,74	13,91	11,03	21,22	19,65	19,76
Ac	2,95	2,45	2,43	1,43	2,19		2,60	2,51	2,63
Ns	0,05	2,59	2,58		0,23		1,19	3,49	3,48
Wo/Di	5,25	2,31	2,23	2,14	2,38	2,37	1,85	1,89	2,10
En/Di	0,59	0,09	0,08	0,46	0,55	0,67	0,15	0,18	0,22
Fs/Di	5,19	2,50	2,41	1,82	1,97	1,81	1,90	1,91	2,09
Wo									
En/Hy									
Fs/Hy									
Fo/Ol	0,33	0,14	0,14	0,86	1,00	1,18	0,39	0,43	0,52
Fa/Ol	3,19	4,40	4,38	3,74	3,90	3,53	5,25	5,04	5,27
Mt				0,36		1,10			
Il	0,87	0,43	0,43	0,51	0,53	0,53	0,36	0,36	0,37
Ap	0,30	0,02	0,02	0,11	0,07	0,07	0,02	0,02	0,02
Cr	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ni	7	14	11	11	11	10	11	10	14
Ba	2180	130	143	1172	940	1142	282	139	222
Rb	252	423	431	294	301	319	347	312	372
Sr	1201	364	338	765	928	1045	273	266	267
La	185	475	458	349	336	384	624	509	614
Ce	287	638	626	406	397	432	758	733	857
Nd	78	151	145	87	86	92	206	181	212
Zr	858	2385	2459	1224	1446	1658	2136	1955	2161
Y	24	113	115	73	56	66	135	115	132
Nb	1111	1113	1148	378	461	671	671	608	696
R ₁	-359	-704	-721	-250	-340	-107	-924	-1183	-1179
R ₂	665	488	486	523	537	555	503	494	504
Litologia	FON PER	FON PER	FON PER	TRAQFON	TRAQFON	TRAQFON	FON PER	FON PER	FON PER
mg	13	5	5	24	27	31	10	12	13
Fe ₂ O ₃ (0,20)	1,02	0,85	0,84	0,75	0,76	0,76	0,90	0,87	0,91
FeO(0,20)	5,11	4,24	4,19	3,75	3,82	3,82	4,49	4,36	4,57
Na ₂ O+K ₂ O	13,87	14,54	14,57	13,75	13,80	13,26	14,80	15,50	15,51

MP = Mato Preto; FON PER = fonolito peralcalino; TRAQFON = traquifonolito.

TABELA 9 - (Continuação)

AMOSTRA	22A	22B	22C	22D1	22D2	23A	23B	23C	23D
Localização	MP	MP	MP	MP	MP	SQ	SQ	SQ	SQ
SiO ₂	54,72	54,39	58,71	58,88	58,97	58,69	47,52	59,78	59,66
TiO ₂	0,80	0,81	0,28	0,28	0,28	0,37	1,01	0,35	0,36
Al ₂ O ₃	19,30	19,40	19,13	19,00	18,98	19,78	18,05	19,25	19,10
FeO _{tot}	5,11	5,19	4,50	4,71	4,66	4,19	8,34	3,75	4,13
MnO	0,19	0,19	0,32	0,29	0,30	0,24	0,33	0,27	0,26
MgO	1,60	1,76	0,05	0,10	0,10	0,18	1,36	0,10	0,23
CaO	4,15	4,27	0,82	0,72	0,72	0,97	8,48	0,70	0,90
Na ₂ O	8,04	8,13	10,69	10,34	10,29	9,76	9,38	10,97	8,50
K ₂ O	5,55	5,35	5,47	5,67	5,69	5,76	5,13	4,81	6,82
P ₂ O ₅	0,54	0,51	0,03	0,01	0,01	0,06	0,39	0,02	0,04
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
L.O.I.	4,02	4,18	4,33	5,57	5,51	5,74	3,97	5,74	4,97
Fe ₂ O ₃	2,13	2,18	3,41	3,87	3,77	3,48	6,14	3,06	3,21
FeO	3,19	3,23	1,43	1,23	1,27	1,06	2,81	1,00	1,24
IA	0,997	0,988	1,229	1,218	1,216	1,127	1,163	1,208	1,119
ID	79,36	78,40	84,97	85,10	85,23	87,15	58,96	86,81	87,59
Q									
Or	32,79	31,61	32,32	33,50	33,62	34,04	1,77	28,42	40,30
Ab	21,21	20,80	34,59	34,41	34,66	33,56		42,04	31,96
An	0,18	0,64							
Ne	25,36	25,99	18,06	17,19	16,95	19,55	34,82	16,35	15,33
Ac			2,19	2,31	2,28	2,05	4,07	1,85	2,02
Ns			4,65	4,35	4,31	2,46	2,43	4,30	2,17
Wo/Di	7,04	7,18	1,61	1,46	1,46	1,84	14,42	1,39	1,75
En/Di	2,77	2,95	0,03	0,05	0,05	0,13	3,38	0,06	0,16
Fs/Di	4,36	4,28	1,79	1,59	1,59	1,91	11,92	1,49	1,78
Wo							2,08		
En/Hy									
Fs/Hy									
Fo/Ol	0,84	1,00	0,06	0,13	0,13	0,21		0,12	0,28
Fa/Ol	1,47	1,60	4,11	4,48	4,44	3,42		3,29	3,50
Mt	1,26	1,27							
Il	1,51	1,53	0,53	0,53	0,53	0,70	1,91	0,66	0,68
Ap	1,27	1,20	0,07	0,02	0,02	0,14	0,92	0,04	0,09
Lc							22,37		
Cr	57	75	1	1	1	1	13	1	1
Ni	26	33	10	9	10	11	8	9	9
Ba	2007	2112	103	91	59	69	857	225	142
Rb	147	142	329	351	346	191	125	288	229
Sr	2004	2015	220	193	192	850	1592	334	752
La	173	173	315	345	350	87	150	69	95
Ce	254	252	432	451	450	147	235	111	146
Nd	72	74	95	97	99	49	84	36	52
Zr	361	352	1490	1600	1703	1503	497	3192	1528
Y	32	32	58	64	86	35	57	34	36
Nb	216	209	539	637	697	409	361	711	454
R ₁	-670	-680	-1207	-1214	-1193	-1029	-1622	-1152	-763
R ₂	902	925	466	455	454	501	1329	458	482
Litologia	FON	FON	FON PER	FON PER	FON PER	FON PER	NEF FON	FON PER	FON PER
mg	40	42	2	4	4	8	26	5	10
Fe ₂ O ₃ (0,20)	0,87	0,88	0,76	0,80	0,79	0,71	1,41	0,64	0,70
FeO(0,20)	4,33	4,40	3,81	3,99	3,95	3,55	7,07	3,18	3,50
Na ₂ O+K ₂ O	13,59	13,48	16,16	16,01	15,98	15,52	14,51	15,78	15,32

MP = Mato Preto; SQ = Sete Quedas; FON = fonolito; FON PER = fonolito peralcalino; NEF FON = nefelinito fonolítico.

TABELA 9 - (Continuação)

AMOSTRA	24A	24C	34C	36A	36B	37A	37B	39A	39B
Localização	BA	BA	IT	SQ-DR.U	SQ-DR.U	SQ-DR.U	SQ-DR.U	SQ-DR.U	SQ-DR.U
SiO ₂	54,99	50,83	59,29	46,12	48,84	59,92	59,33	57,60	57,84
TiO ₂	0,49	0,83	0,78	1,57	1,37	0,43	0,45	0,42	0,41
Al ₂ O ₃	19,60	19,06	16,16	15,96	16,88	19,10	18,96	18,52	18,90
FeO _{tot}	4,74	5,86	4,59	8,09	7,85	3,53	3,63	4,31	4,17
MnO	0,19	0,20	0,20	0,26	0,26	0,20	0,24	0,23	0,23
MgO	0,19	0,87	0,86	2,57	3,39	0,11	0,10	0,07	0,05
CaO	2,53	6,82	4,33	11,21	8,70	0,65	0,66	1,05	1,03
Na ₂ O	7,73	7,45	5,43	7,98	6,03	10,50	10,98	10,74	10,67
K ₂ O	9,46	7,55	8,09	5,27	5,67	5,54	5,62	7,03	6,67
P ₂ O ₅	0,08	0,53	0,26	0,96	1,00	0,02	0,03	0,03	0,03
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
L.O.I.	0,89	0,86	0,45	1,93	3,10	1,16	1,70	3,01	3,33
Fe ₂ O ₃	3,98	4,57	2,17	6,03	5,94	2,91	2,99	3,44	3,30
FeO	1,16	1,75	2,64	2,66	2,50	0,91	0,94	1,21	1,20
IA	1,171	1,072	1,095	1,180	0,951	1,218	1,274	1,365	1,311
ID	81,23	70,56	77,85	52,99	59,83	87,12	85,67	81,81	83,19
Q									
Or	52,44	24,31	47,80		27,41	32,74	33,21	41,54	39,41
Ab			20,57			39,01	36,20	21,56	24,51
An					2,24				
Ne	26,08	30,34	9,48	28,57	27,64	15,37	16,26	18,71	19,27
Ac	2,31	2,86	2,25	3,96		1,73	1,79	2,11	2,05
Ns	3,40	0,88	1,23	2,39		4,53	5,73	7,53	6,48
Wo/Di	5,02	9,66	7,96	14,91	14,35	1,29	1,28	2,09	2,05
En/Di	0,35	2,16	2,14	5,73	6,73	0,07	0,06	0,06	0,04
Fs/Di	5,23	8,12	6,22	9,39	7,45	1,37	1,37	2,29	2,27
Wo		3,02	0,30						
En/Hy									
Fs/Hy									
Fo/Ol	0,08			0,46	1,19	0,14	0,12	0,07	0,05
Fa/Ol	1,30			0,84	1,45	2,91	3,07	3,19	3,05
Mt					1,92				
Il	0,93	1,57	1,48	2,98	2,60	0,81	0,85	0,79	0,77
Ap	0,18	1,25	0,61	2,27	2,36	0,04	0,07	0,07	0,07
Lc	2,71	15,91		24,42	4,78				
Cs				4,22					
Cr	1	4	17	3	6	1	1	1	4
Ni	7	14	12	14	14	9	8	5	7
Ba	924	432	1278	1276	2945	155	128	250	245
Rb	194	136	190	92	131	213	231	199	185
Sr	1086	361	1643	1918	1360	203	240	1079	1064
La	108	108	55	135	149	82	108	122	117
Ce	212	213	96	225	244	107	153	176	174
Nd	76	82	34	91	92	43	47	48	46
Zr	931	603	517	482	438	1443	1655	770	720
Y	27	42	21	68	47	38	44	40	38
Nb	430	383	176	291	259	311	350	164	142
R ₁	-1437	-1208	-18	-1258	-467	-1142	-1373	-1751	-1622
R ₂	665	1147	823	1640	1430	450	448	479	483
Litologia	FON PER	FON PER	MICROSS	NEF FON	NEF FON	FON PER	FON PER	FON PER	FON PER
mg	8	24	28	40	48	6	6	3	3
Fe ₂ O ₃ (0,20)	0,80	0,99	0,78	1,37	1,33	0,60	0,62	0,73	0,71
FeO(0,20)	4,02	4,97	3,89	6,86	6,65	2,99	3,08	3,65	3,53
Na ₂ O+K ₂ O	17,19	15,00	13,52	13,25	11,70	16,04	16,60	17,77	17,34

BA = Banhadão; IT = Itapirapua; SQ-DR.U = estrada Sete Quedas-Dr. Ulisses; FON PER = fonolito peralcalino; MICROSS = microssienito; NEF FON = nefelinito fonolítico.

TABELA 9 - (Conclusão)

AMOSTRA	40A	40B	41A	41B	42A	42B	44A	44B
Localização	SQ-DR.U	SQ-DR.U	SQ-DR.U	SQ-DR.U	CA	CA	TU	TU
SiO ₂	51,62	51,82	54,36	54,46	56,83	56,19	65,65	65,51
TiO ₂	1,29	1,29	0,58	0,58	0,57	0,55	0,22	0,18
Al ₂ O ₃	18,29	18,66	18,75	19,09	19,50	19,38	17,15	17,26
FeO _{tot}	5,96	6,03	4,66	4,55	3,93	3,87	3,62	3,81
MnO	0,24	0,24	0,21	0,18	0,12	0,12	0,18	0,17
MgO	0,98	0,94	0,22	0,35	0,25	0,30	0,05	0,04
CaO	4,52	4,39	2,93	3,63	2,28	2,95	0,58	0,41
Na ₂ O	10,29	9,42	9,69	8,79	10,92	11,03	7,18	7,20
K ₂ O	6,59	6,96	8,49	8,14	5,52	5,43	5,35	5,41
P ₂ O ₅	0,22	0,25	0,11	0,23	0,08	0,18	0,02	0,01
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
L.O.I.	4,64	4,19	2,84	2,54	5,77	5,10	0,50	0,50
Fe ₂ O ₃	4,32	4,54	3,31	3,02	2,81	2,52	0,82	0,98
FeO	2,07	1,94	1,68	1,83	1,40	1,60	2,88	2,93
IA	1,316	1,234	1,340	1,219	1,228	1,240	1,026	1,026
ID	69,46	71,48	76,59	77,55	81,78	79,92	90,90	90,96
Q							0,86	0,33
Or	36,38	38,16	49,16	48,10	32,62	32,08	31,61	31,97
Ab				1,79	25,04	22,31	58,43	58,66
An								
Ne	31,08	31,00	26,64	27,66	24,12	25,53		
Ac	2,92	2,95	2,28	2,22	1,93	1,90	1,53	1,62
Ns	6,13	4,45	7,03	4,41	4,80	5,05	0,13	0,09
Wo/Di	8,76	8,41	5,76	6,70	4,50	5,56	1,14	0,82
En/Di	2,24	2,07	0,48	0,87	0,51	0,74	0,02	0,01
Fs/Di	6,99	6,82	5,91	6,46	4,44	5,33	1,26	0,91
Wo				0,19		0,05		
En/Hy							0,09	0,08
Fs/Hy							4,47	5,16
Fo/Ol	0,13	0,18	0,04		0,07			
Fa/Ol	0,45	0,67	0,59		0,73			
Mt								
Il	2,45	2,45	1,10	1,10	1,08	1,04	0,41	0,34
Ap	0,52	0,59	0,26	0,54	0,18	0,42	0,04	0,02
Lc	2,00	2,32	0,79					
Cr	5	3	4	4	7	2	1	1
Ni	8	14	5	7	4	4	6	4
Ba	1407	1422	1496	1441	1065	1181	493	225
Rb	137	140	207	191	146	144	132	118
Sr	2216	2189	1185	992	752	893	30	18
La	148	156	102	57	54	68	40	37
Ce	256	264	149	104	96	108	78	76
Nd	88	91	61	39	31	40	30	28
Zr	753	741	640	527	1103	947	1269	1329
Y	48	47	50	28	15	16	31	25
Nb	357	355	316	260	565	432	113	112
R ₁	-1954	-1720	-1948	-1537	-1506	-1565	465	431
R ₂	891	882	692	780	639	711	401	384
Litologia	FON PER	FON PER	FON PER	FON PER	FON PER	FON PER	TRAQ	TRAQ
mg	26	25	9	14	12	14	3	2
Fe ₂ O ₃ (0,20)	1,01	1,02	0,79	0,77	0,67	0,66	0,53	0,56
FeO(0,20)	5,05	5,11	3,95	3,86	3,33	3,28	3,14	3,30
Na ₂ O+K ₂ O	16,88	16,38	18,18	16,93	16,44	16,46	12,53	12,61

SQ-DR.U = estrada Sete Quedas-Dr. Ulisses; CA = Cerro Azul; TU = Tunas; FON PER = fonolito peralcalino; TRAQ = traquito.

TABELA 10

Elementos traços e Terras Raras analisados por plasma ICP em diques e "plugs" alcalinos do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.

AMOSTRA	9C	10B	12B	19C	23B	23C	24A	34C
LOCALIZAÇÃO	MC	BT	BPG	MP	SQ	SQ	BA	IT
Li	65	15	11	40	13	65	3	7
Be	25	16	19	21	9	47	15	3
V	328	22	14		343	91	83	38
Cr	8		1		2	5	7	27
Co	23	37	45	19	40	23	45	57
Ga	51	52	38	74	53	65	65	62
Rb	189	160	143	295	127	263	202	212
Sr	449	618	146	793	1172	134	903	1349
Y	13	14	2	30	27	6	11	11
Cs	3	2	8	23	3	14	2	1
Ba	207	450		781	708	18	786	1088
Hf	14		29	12	3	36	7	1
Ta	12		220	14	8	24	6	
W	112	14	412	33	46	114	67	73
Pb	64	16	26	48	15	62	11	17
Th	26	33	7	103	18	35	69	12
U	13	8	8	20	4	17	9	2
La	118,24	66,98	118,35	380,31	151,03	58,36	122,72	62,39
Ce	197,53	120,73	199,61	445,30	242,70	102,70	240,39	
Nd	62,31	33,75	68,57	87,81	76,39	33,71	61,68	35,50
Sm	3,86	5,31	1,33	7,11	13,50	5,87	7,74	5,97
Eu	1,55	1,96	0,43	3,04	5,39	0,37	3,45	3,64
Tb	0,96	1,08	0,41	1,91	2,68	0,32	1,59	1,22
Dy	4,39	4,14	0,77	7,36	9,12	1,59	5,25	4,40
Ho	0,83	0,69	0,37	1,49	1,60	0,34	0,65	0,81
Er	2,76	2,03	0,73	4,94	4,63	1,23	2,14	2,27
Tm	0,57	0,48	0,27	1,10	0,81	0,27	0,30	0,58
Yb	2,98	1,96	0,48	4,65	3,17	1,38	1,71	2,53
Lu	0,46	0,24	0,52	0,91	0,54		0,24	0,60
Total	396,44	239,35	391,84	945,93	511,56	206,14	447,86	119,91
La/Lu	257,04	279,08	227,60	417,92	279,68		511,33	103,98
(La/Lu) _{CN}	27,21	30,86	23,87	43,82	28,65		56,57	10,58

MC = Morro do Chapéu; BT = Barra do Teixeira; BPG = Barra do Ponta Grossa; MP = Mato Preto; SQ = Sete Quedas; BA = Banhadão; IT = Itapirapuã.

TABELA 10 - (Conclusão)

AMOSTRA	36A	37A	39A	40A	41A	42A	44A	
LOCALIZAÇÃO	SQ-DR.U	SQ-DR.U	SQ-DR.U	SQ-DR.U	SQ-DR.U	CA	TU	
Li	35	29	35	19	13	34	31	
Be	19	24	11	13	12	23	18	
V	359	38	166	87		176	280	
Cr	14	10	2	2		17	9	
Co	55	62	33	36	18	30	48	
Ga	41	51	47	73	77	34	52	
Rb	85	245	218	137	195	144	154	
Sr	848	209	752	1547	693	109	41	
Y	6	24	16	20	21	1	17	
Cs	1	3	6	3	5	4	2	
Ba	457	114	260	1161	1238	6	344	
Hf	7	14	12	4	4	9	2	
Ta	14		24	9	2	45	15	
W	153	43	253	59	29	111	265	
Pb	19	39	44	28	35	10	18	
Th	3	40	47	33	64	3	7	
U	2	12	13	5	11	12	4	
La	116,81	79,92	108,99	148,42	110,58	49,63	33,33	
Ce	204,78	89,50	161,06	253,44	143,57	98,21	62,93	
Nd	86,32	28,54	44,87	69,51	51,71	29,97	20,91	
Sm	2,85	5,84	5,36	10,84	8,22	3,68	3,60	
Eu	1,53	1,71	2,51	5,23	5,36	0,31	1,28	
Tb	0,55	1,36	1,97	2,12	1,89	0,08	0,84	
Dy	2,39	5,76	5,93	8,38	7,78	0,08	3,79	
Ho	0,44	2,09	2,04	1,25	1,26	0,18	0,95	
Er	0,80	3,25	3,93	3,99	4,25		2,59	
Tm		0,76	1,40	0,57	0,71		0,56	
Yb	1,00	3,38	3,62	2,93	3,03	0,68	3,21	
Lu		0,56	1,51	0,49	0,48	0,17	0,65	
Total	417,47	222,67	343,19	507,17	338,84	182,99	134,64	
La/Lu		142,71	72,18	302,90	230,38	291,94	51,28	
(La/Lu) _{CN}		15,18	7,49	31,93	23,80	32,00	5,40	

SQ-DR.U = estrada Sete Quedas-Dr. Ulisses; CA = Cerro Azul; TU = Tunas.

TABELA 11

Composição química das litologias e fases minerais utilizadas nos cálculos de balanço de massas.

LITOLOGIA	NEF-FON 36B	FON PER 40A	FON PER 40B	FON PER 6B	FON PER 9C	FON PER 10A
SiO ₂	48,84	51,62	51,82	55,54	57,93	56,07
TiO ₂	1,37	1,29	1,29	0,43	0,38	0,57
Al ₂ O ₃	16,88	18,29	18,66	19,28	20,33	19,89
FeO _{tot}	7,85	5,96	6,03	3,07	4,14	3,68
MnO	0,26	0,24	0,24	0,24	0,25	0,16
MgO	3,39	0,98	0,94	0,13	0,11	0,19
CaO	8,70	4,52	4,39	3,01	0,98	1,60
Na ₂ O	6,03	10,29	9,42	12,48	8,89	10,29
K ₂ O	5,67	6,59	6,96	5,65	6,93	7,45
P ₂ O ₅	1,00	0,22	0,25	0,17	0,06	0,10
Total	99,99	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

LITOLOGIA	FON PER 12A	FON PER 18C2	TRAQFON 19A	FON 22B	FON PER 23C	FON PER 24A
SiO ₂	54,94	60,10	60,56	54,39	59,78	54,99
TiO ₂	0,48	0,23	0,27	0,81	0,35	0,49
Al ₂ O ₃	19,01	18,52	18,92	19,40	19,25	19,60
FeO _{tot}	3,39	4,94	4,43	5,19	3,75	4,74
MnO	0,25	0,42	0,24	0,19	0,27	0,19
MgO	0,20	0,12	0,68	1,76	0,10	0,19
CaO	2,94	1,09	1,10	4,27	0,70	2,53
Na ₂ O	12,55	9,68	7,74	8,13	10,97	7,73
K ₂ O	6,03	4,89	6,01	5,35	4,81	9,46
P ₂ O ₅	0,21	0,00	0,05	0,51	0,02	0,08
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

LITOLOGIA	MICROS 34C	FON PER 37A	FON PER 39A	FON PER 41B	FON PER 42A	TRAQ 44B
SiO ₂	59,29	59,92	57,84	54,46	56,83	65,51
TiO ₂	0,78	0,43	0,41	0,58	0,57	0,18
Al ₂ O ₃	16,16	19,10	18,90	19,09	19,50	17,26
FeO _{tot}	4,59	3,53	4,17	4,55	3,93	3,81
MnO	0,20	0,20	0,23	0,18	0,12	0,17
MgO	0,86	0,11	0,05	0,35	0,25	0,04
CaO	4,33	0,65	1,03	3,63	2,28	0,41
Na ₂ O	5,43	10,50	10,67	8,79	10,92	7,20
K ₂ O	8,09	5,54	6,67	8,14	5,52	5,41
P ₂ O ₅	0,26	0,02	0,03	0,23	0,08	0,00
Total	99,99	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

NEF FON = nefelinito fonolítico; FON PER = fonolito peralcalino; FON = fonolito; TRAQFON = traquifonolito; MICROS = microssienito; TRAQ = traquito.

TABELA 11 - (Conclusão)

FASE MINERAL	PX-36A	FA-36A	NEF-36A	BIO-36A	GRA-36A	OP-22B
SiO ₂	45,83	64,12	42,88	35,25	30,63	0,00
TiO ₂	3,10	0,00	0,05	3,59	11,14	14,22
Al ₂ O ₃	7,71	19,33	33,50	14,43	2,28	2,67
FeO _{tot}	7,88	0,14	0,97	20,63	20,98	77,57
MnO	0,22	0,00	0,00	0,47	0,44	1,76
MgO	11,21	0,00	0,00	11,19	0,62	0,67
CaO	23,25	0,98	0,51	0,03	31,94	0,00
Na ₂ O	0,80	1,50	15,42	0,29	0,13	0,00
K ₂ O	0,00	13,93	6,68	8,64	0,00	0,00
P ₂ O ₅	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	100,00	100,00	100,01	94,52	98,16	96,89

FASE MINERAL	PX-40A	FA-40A	BIO-40A	PX-24A	APATITA	TITANITA
SiO ₂	48,22	65,04	35,16	52,94	0,00	30,44
TiO ₂	2,04	0,00	4,99	0,02	0,00	39,66
Al ₂ O ₃	4,47	18,40	14,34	0,66	0,00	0,00
FeO _{tot}	9,34	0,07	19,44	22,45	0,00	0,14
MnO	0,25	0,00	0,46	1,48	0,07	0,05
MgO	11,38	0,00	11,49	3,46	0,00	0,00
CaO	23,35	0,00	0,00	11,53	55,84	27,20
Na ₂ O	0,95	0,98	0,52	7,44	0,00	0,37
K ₂ O	0,00	15,51	8,74	0,00	0,00	0,00
P ₂ O ₅	0,00	0,00	0,00	0,00	42,05	0,00
Total	100,00	100,00	95,14	99,98	97,96	97,86

PX = piroxênio; FA = feldspato alcalino; NEF = nefelina; BIO = biotita; GRA = granada; OP = opaco. Apatita e titanita segundo dados de Deer et al. (1981).

TABELA 12

Coeficientes de partição empregados nos cálculos de balanço de massas, segundo dados de De Min (1992).

Coeficientes para magmas pouco evoluídos.

	Ol	Cpx	Pl	FA	Lc	Nef	Bio	Anf	Mt	Ap	Tit	Gran
Cr	2,10	4,10	0,07	0,40	0,06	0,06	1,00	0,11	30,00	0,01	0,50	0,50
Ni	15,00	5,70	0,05	0,40	0,06	0,06	1,22	0,07	8,00	0,01	0,50	0,50
Ba	0,09	0,07	0,63	4,50	0,18	0,26	10,00	0,60	0,25	0,01	0,40	0,03
Rb	0,03	0,03	0,10	0,50	0,44	0,44	3,00	0,20	0,14	0,01	0,10	0,19
Sr	0,01	0,10	2,50	4,50	0,02	0,02	0,20	0,60	0,15	2,50	0,24	0,05
La	0,01	0,08	0,16	0,23	0,02	0,06	0,02	0,78	0,39	14,00	20,00	1,28
Ce	0,01	0,08	0,12	0,04	0,02	0,03	0,02	1,50	0,39	24,00	35,00	2,09
Nd	0,01	0,35	0,11	0,10	0,02	0,08	0,30	0,35	0,57	20,00	88,00	6,00
Zr	0,05	0,24	0,14	0,15	0,01	0,01	0,08	0,77	0,35	0,01	18,00	26,00
Y	0,01	0,40	0,02	0,20	0,01	0,01	0,80	1,00	0,40	15,00	32,00	9,67
Nb	0,17	0,12	0,09	0,01	0,02	0,01	0,30	1,00	5,00	0,01	22,00	2,00

Coeficientes para magmas evoluídos.

	Ol	Cpx	Pl	FA	Lc	Nef	Bio	Anf	Mt	Ap	Tit	Gran
Cr	2,10	4,10	0,07	0,40	0,06	0,06	1,00	0,11	30,00	0,01	0,50	0,50
Ni	15,00	5,70	0,05	0,40	0,06	0,06	1,22	0,07	8,00	0,01	0,50	0,50
Ba	0,01	0,01	3,90	7,00	0,18	0,26	10,00	0,60	0,01	0,01	2,90	0,03
Rb	0,01	0,01	0,01	0,30	0,44	0,44	3,00	0,20	0,01	0,01	0,01	0,19
Sr	0,01	0,10	2,30	6,00	0,02	0,02	0,20	0,60	0,01	2,50	0,01	0,05
La	0,01	0,25	0,28	0,10	0,02	0,06	0,02	0,78	0,01	14,00	22,00	1,28
Ce	0,01	0,51	0,14	0,04	0,02	0,03	0,02	1,50	0,01	24,00	44,00	2,09
Nd	0,01	0,35	0,11	0,10	0,02	0,08	0,30	0,35	0,57	20,00	88,00	6,00
Zr	0,01	0,27	0,01	0,01	0,01	0,01	0,08	0,77	0,09	0,01	4,00	26,00
Y	0,01	0,40	0,02	0,20	0,01	0,01	0,80	1,00	0,40	15,00	32,00	9,67
Nb	0,01	0,10	0,01	0,01	0,02	0,01	0,30	1,00	0,52	0,01	45,00	2,00

Ol = olivina; Cpx = clinopiroxênio; Pl = plagioclásio; FA = feldspato alcalino; Lc = leucita; Nef = nefelina; Bio = biotita; Anf = anfibólio; Mt = magnetita; Ap = apatita; Tit = titanita; Gran = granada.

TABELA 12 - (Conclusão)

Coefficientes utilizados nos cálculos de balanço de massas do microssienito de Itapirapuã, segundo dados de De Min (1992),
¹Worner et al. (1983), ²Marsh (1987) e ³Baker et al. (1977).

	Ol	Cpx	Pl	FA	Lc	Nef	Bio	Anf	Mt	Ap	Tit	Gran
Cr	2,10	4,10	0,07	0,40	0,06	0,06	1,00	0,11	5,00 ³	0,01	0,50	0,50
Ni	15,00	2,00 ³	0,05	0,40	0,06	0,06	1,22	0,07	4,00 ³	0,01	0,50	0,50
Ba	0,09	0,10 ³	0,63	9,80 ²	0,18	0,26	10,00	0,60	0,25	0,10 ³	0,40	0,03
Rb	0,03	0,03	0,10	0,50	0,44	0,44	3,00	0,20	0,14	0,01	0,10	0,19
Sr	0,01	0,10	2,50	4,50	0,02	0,02	0,20	0,60	0,15	2,50	0,24	0,05
La	0,01	0,49 ²	0,16	0,31 ²	0,02	0,06	0,02	0,78	0,39	50,0 ³	20,00	1,28
Ce	0,01	0,96 ¹	0,12	0,17 ²	0,02	0,11 ²	0,02	1,50	0,39	24,00	35,00	2,09
Nd	0,01	0,77 ²	0,11	0,19 ²	0,02	0,13 ²	0,30	0,35	0,57	20,00	88,00	9,67
Zr	0,05	0,24	0,14	0,15	0,01	0,01	0,08	0,77	0,35	0,01	18,00	6,00
Y	0,01	1,12 ²	0,02	0,20	0,01	0,01	0,80	1,00	0,40	15,00	32,00	26,00
Nb	0,17	0,12	0,09	0,01	0,02	0,01	0,30	1,00	24,6 ²	0,01	22,00	2,00

Ol = olivina; Cpx = clinopiroxênio; Pl = plagioclásio; FA = feldspato alcalino; Lc = leucita; Nef = nefelina; Bio = biotita; Anf = anfibólio; Mt = magnetita; Ap = apatita; Tit = titanita; Gran = granada.

TABELA 13

Análise isotópica da razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ para diques e "plugs" alcalinos da região do Vale do Ribeira, divisa dos Estados do Paraná e São Paulo.

AMOSTRA	Rb (ppm)	Sr (ppm)	Rb/Sr (ppm)	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0$ 70 Ma	$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0$ 100 Ma
9C (MC)	181	681	0,2657	0,7688	0,706411±99	0,70564	0,70531
10B (BT)	156	704	0,2216	0,6412	0,7060974±86	0,70546	0,70519
12B (BPG)	133	1471	0,0904	0,2616	0,705154±12	0,70489	0,70478
19C (MP)	319	1045	0,3053	0,8834	0,70569±2	0,70481	0,70444
23B (SQ)	125	1592	0,0785	0,2271	0,704834±32	0,70461	0,70451
23C (SQ)	288	334	0,8623	2,4952	0,7094369±43	0,70696	0,70589
24A (BA)	194	1086	0,1786	0,5168	0,705514±7	0,70500	0,70478
34C (IT)	190	1643	0,1156	0,3345	0,7061722±45	0,70584	0,70570
36A (SQ-DR.U)	92	1918	0,0480	0,1389	0,705377±9	0,70524	0,70518
37A (SQ-DR.U)	213	203	1,0493	3,0363	0,71051±3	0,70749	0,70620
39A (SQ-DR.U)	199	1079	0,1844	0,5336	0,7059971±49	0,70547	0,70524
41A (SQ-DR.U)	207	1185	0,1747	0,5055	0,70649±2	0,70599	0,70577
42A (CA)	146	752	0,1941	0,5617	0,70542169±47	0,70486	0,70462

MC = Morro do Chapéu; BT = Barra do Teixeira; BPG = Barra do Ponta Grossa; MP = Mato Preto; SQ = Sete Quedas; BA = Banhadão; IT = Itapirapuã; SQ-DR.U = Sete Quedas-Dr. Ulisses; CA = Cerro Azul.

TABELA 14

Composição química de olivinas dos traquitos do complexo de Tunas,
Paraná.

AMOSTRA	44A MZ	44A MIPE	44A MINU
LOCALIZAÇÃO	TU	TU	TU
SiO ₂	28,88	29,37	29,40
TiO ₂	0,03	0,01	0,01
Al ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00
FeO _{tot}	63,53	63,17	63,14
MnO	4,89	4,82	4,84
MgO	1,65	1,76	1,93
CaO	0,12	0,18	0,15
Total	99,10	99,31	99,48
Si	0,982	0,992	0,990
Ti	0,001	0,001	0,001
Al	0,000	0,000	0,000
Fe _{tot}	1,806	1,784	1,779
Mn	0,141	0,138	0,138
Mg	0,084	0,088	0,097
Ca	0,004	0,006	0,007
Total	3,018	3,009	3,012

TU = Tunas; MZ = matriz; MI = microfenocristal; PE = periferia; NU = núcleo.