

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**FEIÇÕES MINERALÓGICAS DE ROCHAS
LAMPROFÍRICAS MESOZÓICAS DA PROVÍNCIA
ALCALINA CENTRAL, PARAGUAI ORIENTAL**

Jaime Leonardo Báez Presser

Orientador: Prof. Dr. Excelso Ruberti

TESE DE DOUTORAMENTO

Programa de Pós-Graduação em Mineralogia e Petrologia

SÃO PAULO
1998

“Buscarei refúgio em Buddha
– **a mente onisciente de Shakyamuni,**
no Dharma
– **sua infinita sabedoria e ensinamentos,**
e no Sangha
– **aqueles que treinam as mentes de acordo com os ensinamentos dele.**
Procurarei refúgio e confiarei por completo nessas três jóias até alcançar a iluminação.
Assim, por favor, conceda ajuda a mim e a todos os seres vivos,
em especial a meus colegas e amigos os professores, os alunos, os funcionários.
Permita-nos receber as percepções corretas de todos os pontos do caminho graduado,
desde a devoção ao Guru até a realização final do pleno despertar”

Ta ya tha om muni muni nahamuniye svaha

Agradecimentos

A consecução deste projeto de pós-graduação (nível doutorado) em toda sua extensão tornou-se factível graças à inestimável cooperação de instituições e pessoas, prestadas na forma de auxílios financeiros e de serviços, e de pequenos e grandes gestos de colegas e amigos prestados através de uma desinteressada cooperação.....

*desta forma deixo aqui registrado a cada um em especial **multíssimo obrigado!!!***

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo-FAPESP, através do projeto "Petrologia e geoquímica de rochas alcalinas" (Proc. 97/01210-4), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq (três anos de bolsa) e

Coordenação de Aperfeiçoamento de pessoal de nível Superior-CAPES (um ano de bolsa), pela assistência financeira que possibilitou a concretização desta tese.

Aos Professores Celso de Barros Gomes, Cláudio Ricomini, Umberto G. Cordani, Horstpeter H. Ulbrich, Marta Mantovani, Jorge Bittencourt e A. Romalino Fragozo Cesar que aportaram contribuições a este trabalho.

À Professora Gianna Garda receba pelas sugestões e inestimáveis contribuições a este trabalho **multiiiiissimoooooooo obrigado!!!**.

Ao Professor Excelso Ruberti, orientador desta tese, receba pelas contribuições pequenas e grandes deste cinco anos de trabalho conjunto **um obrigado do tamanho do sol!!!**.

Aos colegas do departamento (DMP) e amigos do IGc, pela inestimável ajuda, recebam com carinho meus agradecimentos!

Patrícia e William, a vocês, pela imensa amizade e ajuda constante.....o mais gentil e carinhoso obrigado!!!.

ÍNDICE

| | |
|---------------|-----|
| Resumo..... | VII |
| Abstract..... | X |

CAPÍTULO I – Introdução ao problema

| | |
|---|----|
| Introdução ao problema..... | 1 |
| Objetivos..... | 10 |
| Localização da área..... | 11 |
| Trabalhos Anteriores..... | 11 |
| Métodos Utilizados..... | 13 |
| Trabalhos de campo..... | 14 |
| Trabalhos de laboratório..... | 15 |
| Petrografia..... | 16 |
| Química Mineral..... | 17 |
| Recálculo catiónico mineral e classificações..... | 17 |
| Cálculo de Fe_2O_3 em espinélios e ilmenitas..... | 21 |
| Constantes e razões..... | 22 |
| Trabalhos de escritório..... | 23 |
| Observações..... | 23 |

CAPÍTULO 2 – Geologia

| | |
|---|----|
| Introdução..... | 24 |
| O cráton Rio de La Plata..... | 25 |
| Geologia do Paraguai Oriental..... | 37 |
| <i>O rift de Asunción</i> | 40 |
| Magmatismo associado ao rift de Asunción..... | 42 |
| Generalidades..... | 42 |
| Particularidade..... | 45 |
| <i>Rochas ígneas alcalinas do Campo Ybytymí</i> | 45 |
| Intrusões lamprofíricas do Campo Ybytymí..... | 46 |
| <i>Pipe Ymi-1</i> | 47 |
| Diques Ymi-7..... | 55 |
| <i>Pipe Ymi-4</i> | 55 |
| <i>Pipe Ymi-8</i> | 56 |
| <i>Plug Ymi-5</i> | 56 |
| <i>Rochas ígneas alcalinas do Campo Ybytyruzú</i> | 59 |
| Intrusões lamprofíricas do Campo Ybytyruzú..... | 59 |
| Intrusão Yzu-4..... | 61 |
| <i>Sill Yzu-6</i> | 64 |
| Diques de Paso Yobai (Yzu-10)..... | 64 |
| Dique Yzu-1..... | 65 |
| Dique Yzu-2..... | 65 |
| Intrusão Yzu-3..... | 66 |

CAPÍTULO 3 – Petrografia e química mineral

| | |
|---|-----|
| Introdução..... | 67 |
| As rochas lamproílicas junto ao <i>rift de Asunción</i> | 72 |
| “Lamprófiros”..... | 76 |
| <i>Olivina “lamprófiros”</i> | 76 |
| Ymi-1..... | 76 |
| Feições gerais..... | 76 |
| Química Mineral..... | 80 |
| Olivina..... | 80 |
| Ortopiroxênios..... | 80 |
| Clinopiroxênio..... | 82 |
| Micas..... | 82 |
| Espinélios..... | 84 |
| Feldspatóide..... | 88 |
| Feldspato..... | 88 |
| Minerais acessórios..... | 90 |
| Diques Ymi-7 e Yzu-1..... | 90 |
| Feições gerais..... | 90 |
| Química Mineral..... | 94 |
| Olivina..... | 94 |
| Clinopiroxênios..... | 94 |
| Micas..... | 96 |
| Espinélios..... | 98 |
| Feldspatóide/zeólitas..... | 100 |
| Feldspato..... | 100 |
| Anfibólio..... | 100 |
| <i>Mica “lamprófiros”</i> | 102 |
| Feições gerais..... | 102 |
| Química Mineral..... | 104 |
| Micas..... | 104 |
| Clinopiroxênio..... | 106 |
| Espinélios..... | 108 |
| Feldspato..... | 108 |
| Acessórios..... | 108 |
| “Lamproítos”..... | 109 |
| <i>Mica “Lamproítos”</i> | 111 |
| <i>Sill Yzu-6</i> | 111 |
| Feições gerais..... | 111 |
| Química mineral..... | 113 |
| Mica..... | 113 |
| Piroxênios..... | 115 |
| Espinélios..... | 115 |
| Ilmenita..... | 117 |
| Feldspato alcalino..... | 119 |

| | |
|---|-----|
| Minerais acessórios..... | 119 |
| <i>Leucita "Lamproítos"</i> | 121 |
| Feições gerais..... | 121 |
| Química mineral..... | 127 |
| Olivina..... | 127 |
| Mica..... | 128 |
| Piroxênios..... | 129 |
| Espinélios..... | 132 |
| Ilmenita..... | 133 |
| "Leucita"..... | 133 |
| Feldspato alcalino..... | 134 |
| Minerais acessórios..... | 135 |
| Solução Sólida, Substituições em Micas, Piroxênios, Espinélios e Feldspatos..... | 136 |
| Micas..... | 136 |
| Piroxênios..... | 146 |
| Espinélios..... | 151 |
| Feldspatos..... | 154 |

CAPÍTULO 4 – Potencial Econômico

| | |
|---|-----|
| Introdução..... | 156 |
| <i>Pipe Ymi-1</i> | 158 |
| Espinélios..... | 158 |
| Minerais de titânio..... | 163 |
| Turmalina..... | 165 |
| Diamante vs zircão..... | 167 |
| <i>Pipe Ymi-8</i> | 167 |
| Diamante vs zircão..... | 168 |
| Minerais de titânio..... | 168 |
| <u>Intrusões Yzu-4 e as do arroyo Itá</u> | 169 |

CAPÍTULO 5 – Considerações Físico-Químicas dos Pipes

| | |
|-----------------------------------|-----|
| Termobarometria..... | 172 |
| Ambiente redutor vs oxidante..... | 184 |

CAPÍTULO 6 – Considerações e conclusões

| | |
|--|-----|
| Aspectos geodinâmicos sobre o assoalho da Bacia do Paraná: o Paraguai Oriental..... | 188 |
| Relações geodinâmicas com relação as intrusões estudadas..... | 197 |
| <u>Campo Ybytymí</u> | 199 |
| <u>Campo Ybytyruzú</u> | 200 |
| "Lamprófiros" e "lamproítos" vs outras rochas alcalinas: a problemática abordada..... | 201 |
| Solução sólida em micas, piroxênios, espinélios e feldspatos..... | 211 |
| Condições termodinâmicas acusadas nas rochas estudadas..... | 215 |
| Potencial econômico que as rochas estudadas sugerem..... | 217 |

| | |
|---|-----|
| O diamante..... | 217 |
| Ouro nos magmas “lamprófíricos” ?..... | 219 |
| Fugacidade de oxigênio..... | 221 |
| Comentários finais..... | 222 |
| Pós-escrito | 224 |
| Referências | 226 |
| Apêndice –Análises químicas dos minerais. dos “lamprófíros” e dos “lamproítos” | 251 |

Figuras

| | |
|--|-----|
| Figura 1-1 Toponímia e localização das áreas estudadas..... | 12 |
| Figura 2-1 Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná..... | 31 |
| Figura 2-2 Mapa geológico-geotectônico esquemático da Bacia do Paraná..... | 32 |
| Figura 2-3 Mapa gravimétrico do embasamento da Bacia do Paraná..... | 33 |
| Figura 2-4 Mapa aeromagnetométrico da Bacia do Paraná..... | 34 |
| Figura 2-5 Mapa aeromagnetométrico do Paraguai Oriental..... | 35 |
| Figura 2-6 Esquema simplificado das unidades geológico-estruturais no Paraguai Oriental e as províncias alcalinas..... | 38 |
| Figura 2-7 Esquema geológico do Paraguai Oriental..... | 39 |
| Figura 2-8 Corpos de rochas alcalinas no <i>rift de Asunción</i> | 48 |
| Figura 2-9 Mapa litológico do <i>Valle de Acahay</i> e vizinhanças..... | 49 |
| Figura 2-10 O <i>pipe</i> Ymi-1 na área de Kiritó..... | 54 |
| Figura 3-1 Nomenclatura dos espinélios no prisma multicomponente..... | 68 |
| Figura 3-2 Olivina de “lamprófíros”..... | 85 |
| Figura 3-3 Composição dos piroxênios de “lamprófíros” no diagrama de classificação do IMA..... | 87 |
| Figura 3-4 Enriquecimento em termos de Ti e Al nos piroxênios dos “lamprófíros”..... | 89 |
| Figura 3-5 Classificação das micas no diagrama Flogopita-Anninta-Eastonita-Siderofilita..... | 91 |
| Figura 3-6 Diagrama de variação Al vs Ti e Al vs Fe das micas das rochas lamprófíricas..... | 93 |
| Figura 3-7 Espinélios de Ymi-1..... | 95 |
| Figura 3-8 Zoneamento em espinélios..... | 97 |
| Figura 3-9 Espinélios dos “lamprófíros” Ymi-4, Ymi-7 e Yzu-1..... | 99 |
| Figura 3-10 Feldspatos dos “lamprófíros”..... | 101 |
| Figura 3-11 Anfibólios nos “lamprófíros”..... | 103 |
| Figura 3-12 Carbonato nas rochas lamprófíricas..... | 105 |
| Figura 3-13 Zoneamento em fenocristais de mica..... | 107 |
| Figura 3-14 Olivina dos “lamproítos”..... | 114 |
| Figura 3-15 Piroxênio dos “lamproítos”..... | 116 |
| Figura 3-16 Enriquecimento em Ti vs Al em piroxênio dos “lamproítos”..... | 118 |
| Figura 3-17 Espinélios dos “lamproítos”..... | 120 |
| Figura 3-18 Ilmenita dos “lamproítos”..... | 122 |
| Figura 3-19 Classificação dos anfibólios que ocorrem nos “lamproítos”..... | 124 |

| | |
|---|-----|
| Figura 3-20 Feldspato dos "lamproítos"..... | 126 |
| Figura 3-21 Relação entre os sítios catiônicos nas micas dos "lamprófiros" e dos "lamproítos"..... | 137 |
| Figura 3-22 Substituições em micas dos "lamprófiros" e "lamproítos"..... | 139 |
| Figura 3-23 Substituições do Ti nas micas..... | 141 |
| Figura 3-24 Incorporação do Ba..... | 143 |
| Figura 3-25 Solução sólida em micas..... | 145 |
| Figura 3-26 Variação da posição catiônica em piroxênios de "lamprófiros" e "lamproítos"..... | 147 |
| Figura 3-27 Distribuição catiônica em piroxênios de "lamprófiros" e "lamproítos"..... | 149 |
| Figura 3-28 Campo dos espinélios em "lamprófiros" e "lamproítos"..... | 152 |
| Figura 3-29 Diferença entre os espinélios em função de log. Al ₂ O ₃ -demais óxidos nas rochas potássicas do rift de Asunción..... | 153 |
| Figura 4-1 Xenocristais e cristais magmáticos de espinélio..... | 160 |
| Figura 4-2 Espinélios da fácies do diamante..... | 162 |
| Figura 4-3 Minerais de titânio..... | 164 |
| Figura 4-4 Ilmenita dos <i>pipes</i> | 166 |
| Figura 5-1 Correlação dos métodos de temperatura em espinélios..... | 175 |
| Figura 5-2 Histograma do termômetro TMg..... | 177 |
| Figura 5-3 Histograma do termômetro TMg: espinélios do Paraguai..... | 179 |
| Figura 5-4 P-T em espinélios..... | 181 |
| Figura 5-5 P-T em espinélios do Paraguai..... | 183 |
| Figura 5-6 Condições de fugacidade de oxigênio nos espinélios..... | 185 |
| Figura 6-1 O cráton Rio de La Plata..... | 196 |
| Figura 6-2 Diagrama SiO ₂ /TiO ₂ -MgO/FeO..... | 206 |
| Figura 6-3 Composição das micas em "lamprófiros" e "lamproítos"..... | 208 |

Fotografias

| | |
|--|----|
| Fotografia 1 Imagem (falsa cor) da borda W do rift de Asunción..... | 51 |
| Fotografia 2 Cópia da fotografia aérea 1:50.000 do_____..... | 52 |
| Fotografia 3 Paisagem sobre o <i>pipe</i> Ymi-1..... | 53 |
| Fotografia 4 Poço de inspeção na fácies epiclastica situado a SW do <i>pipe</i> Ymi-1..... | 53 |
| Fotografia 5 <i>Pipe</i> Ymi-8..... | 57 |
| Fotografia 6 Parte da fotografia aérea 1:50.000_____..... | 58 |
| Fotografia 7 Imagem de satélite, branco e preto (canal 5), do bloco Oriental do rift de Asunción..... | 60 |
| Fotografia 8 Intrusão de Mbocayaty..... | 62 |
| Fotografia 9 Intrusão Yzu-4..... | 62 |
| Fotografia 10 Cópia ampliada da fotografia aérea 1:65.000_____..... | 63 |

Fotomicrografia

| | |
|--|-----|
| Fotomicrografia 1 Fenocristais em "lamprófiros"..... | 77 |
| Fotomicrografia 2 Detalhes texturais dos "lamprófiros"..... | 79 |
| Fotomicrografia 3 Fenocristais..... | 81 |
| Fotomicrografia 4 Espinélios nos "lamprófiros"..... | 83 |
| Fotomicrografia 5 "Lamproítos"..... | 110 |

| | |
|---|-----|
| Fotomicrografia 6 “Lamproíto” Yzu-2..... | 112 |
| Fotomicrografia 7 Minerais pesados do <i>pipe</i> Ymi-1..... | 157 |
| Fotomicrografia 8 Concentrado de minerais pesados do <i>arroyo</i> Itá (Yzu-10)..... | 170 |

Tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1-1 Comparação entre as variedades de rochas “lamprofíricas”, kimberlitos, orangeítos e lamproítos..... | 9 |
| Tabela 1-2 Minerais comuns em kimberlitos, orangeítos, lamproítos e lamprófiros cálcio-alcálicos, alcálicos e ultramáficos..... | 10 |
| Tabela 2-1 Características geológicas dos crátons, conforme Brito-Neves (1995)... | 25 |
| Tabela 2-2 Algumas características geofísicas dos crátons, conforme Brito-Neves (1995)..... | 26 |
| Tabela 2-3 Idades dos corpos intrusivos das três regiões..... | 43 |
| Tabela 2-4 Intrusões lamprofíricas relacionadas e/ou que ocorrem junto ao <i>rift de Asunción</i> | 47 |
| Tabela 3-1 Composição química do grupo dos espinélios..... | 70 |
| Tabela 3-2 Dados geoquímicos das rochas potássicas a ultrapotássicas vinculadas com o <i>rift de Asunción</i> | 73 |
| Tabela 3-3 Análises modal estimada dos “lamprófiros” e “lamproítos”..... | 75 |

Resumo

O presente trabalho tem por objetivo primordial a caracterização, com base em dados petrográficos e de química mineral, das rochas "lamprofíricas" do Mesozóico (~130 Ma.) que ocorrem junto às rochas basaltóides potássicas na Província Alcalina Central do Paraguai Centro-Oriental. Os estudos da petrografia e química mineral, centraram em alguns corpos dispostos em dois campos separados: Campo Ybytymí a oeste -Ymi-1, Ymi-4, Ymi-5, Ymi-7 e Ymi-8; Campo Ybytyryzú a leste -Yzu-1, Yzu-2, Yzu-3 e Yzu-6. Um grupo adicional de corpos (Yzu-4, Yzu-10) é apresentado em uma descrição preliminar das feições minerais e petrográficas macroscópicas. Adicionalmente, discute-se também aspectos da sua colocação estrutural no contexto tectônico identificado; dos dados termodinâmicos relevantes de alguns minerais; e do potencial econômico que as rochas assinalam.

Os dados gravimétricos definiram para o assoalho da Bacia do Paraná, o cráton Rio de La Plata, um mosaico de blocos soldados por cinturões. O fragmento do embasamento exposto a W do Paraguai, conhecido como *Alto de Caapucú*, os dados geocronológicos são escassos (0.5-0.78 Ga a 2.1 Ga), e esta corresponde à porção W do cráton Rio de La Plata. As informações mostram que nas regiões do Brasil, Uruguai e Argentina onde encontra-se exposto, o cráton Rio de La Plata exhibe fragmentos deste embasamento com raízes Arqueanas soldados por "faixas" de terrenos Proterozóicos. A tudo isto, os dados sísmicos apontaram para o Paraguai Oriental e regiões vizinhas do Brasil hipocentros profundos, evidenciando assim sismicidade típica de zonas de fluxo de calor frio, comparáveis com uma região cratônica similar a do escudo canadense. Estes dados identificaram também profundidades de Moho oscilando entre 38 e 48 km. Já os dados de fluxo térmico superficial ($\pm 40 \text{ mWm}^{-2}$) definem um fluxo de calor característico de regiões cratônicas.

Dentre os blocos gravimetricamente definidos no cráton Rio de La Plata, destaca-se o bloco Paranapanema, estrutura definida como um bloco que possui uma litosfera espessa e resistente (*crátonic-like block*), com largura em torno de 1600 km e espessura variável de ~300 a 600 km. Este bloco adentra-se por vários quilômetros no território paraguaio e representa uma região de plataforma, conquanto esteja encoberto por sedimentos da Bacia do Paraná. Esta porção do bloco se constitui no arcabouço geotectônico que hospeda na sua borda o *rift de Asunción*, i.e. um *rift* pericratônico. Neste ambiente tectônico-estrutural ocorrem as intrusões estudadas neste trabalho.

Na borda pericratônica do bloco a W, entre as intrusões do Campo Ybytymí ocorrem:

O *pipe* **Ymi-1**, que possui forma grosseiramente bilobulada a irregular e dimensões de 2050 m por 1200 e 880 m. Nele destaca-se basicamente duas estruturas: uma muito desenvolvida constituída por sedimentos vulcano-epiclásticos em topografia plano-ondulada onde obtém-se concentrados de minerais pesados como picro-cromita, cromita, magnetitas, pseudobrookita, ilmenita, rutilo, rutilo de Nb, turmalina, diamante, zircão, piroxênio e traços de granada; outra menor, constituída por *plug* de rochas sub-vulcânicas porfíricas escuras e diques interiores (Ymi-1/d) e exteriores (Ymi-1c) ao *pipe* possuindo a mesma composição petrográfica: uma variedade de lamprófiro picrítico (olivina 10 a 25%) cálcio-alcalino ("Kentallemito") composto de fenocristais/microfenocristais de olivina (Fo_{92-75}), diopsídio (titanífero aluminoso), flogopita (titanífera e aluminosa, Ymi-1c), hornblenda magnésiana e cromita, imersos em uma matriz de sanidina (sódica em parte), magnetita titanífera magnésiana, magnetita titanífera, diopsídio (titaníferos aluminosos), flogopita-biotita (titanífera), carbonato e acessórios de apatita, plagioclásio, hornblenda magnésiana, eckemanita, analcima e rutilo.

Vários diques paralelos segundo E-W (**Ymi-7**) de uma variedade de lamprófiro cálcio-alcalino ("kentallemito") com micro-xenólitos peridotíticos, formada por fenocristais/microfenocristais de olivina (Fo_{85-78}), diopsídio (titanífero e aluminoso), hornblenda e flogopita (titanífera aluminosa) imersos em uma matriz essencialmente de sanidina, magnetita titanífera magnésiana, magnetita titanífera, diopsídio (titanífero aluminoso), analcima, hornblenda e acessoriamente apatita, mica e carbonato.

O *pipe* **Ymi-4** têm cerca de 1258 m de comprimento e possui forma bilobulada. Na estrutura acham-se expostas fácies de lava roxa, fortemente vesiculada, de aspecto lamprofínico, cortadas por fácies de brecha (autolítica de conducto) e alguns diques de rocha algo vesiculada de aspecto lamprofínico. As rochas compõem-se de uma variedade de lamprófiro cálcio-alcalino formado por

fenocristais/microfenocristais de olivina serpentizada, flogopita (titanífera e aluminosa), diopsídio (titanífero e aluminoso) e magnetita titanífera magnesiânica imersos em uma matriz formada de sanidina, magnetita titanífera e acessórios de diopsídio (titanífero aluminoso), apatita, carbonato e zeólitas. Os lamprófiros desta intrusão são variedades melhor definidos como *MINETTE*.

O *pipe* **Ymi-8**, apresenta-se nas fotografias aéreas como uma estrutura bilobulada com comprimento de 2750 por 1250 m (lóbulo à N) e 1150 m (lóbulo à S). Nessa estrutura ocorrem predominantemente sedimentos vulcano-epiclásticos e subordinadamente ocorreriam fácies sub-vulcânicas (*plug*). Em vista da falta de exposições de rochas magmáticas, a sua caracterização foi preliminarmente definida como um lamprófiro comparável ao Ymi-1, com base na suite de minerais pesados (pseudobrookita, ilmenita, rutilo, zircão, diamante e traços de espinélio, piroxênios e granadas).

O *plug* **Ymi-5**, representa uma variedade de lamproíto transicional (entre lamproíto e plaguileucito), definido em fotografia aérea como uma intrusão com diâmetro de 200 m. No campo formam um conjunto de blocos de uma rocha basaltóide cinza, fortemente porfírica, com feno-megacristais branco a turquesa esbranquiçados de glomérulos de "leucita" pseudomorizada, junto a diopsídio (titanífero a titanado aluminoso), olivina (serpentizada) e magnetita titanífera magnesiânica, imersos em uma matriz de sanidina (rica em Ba), diopsídio (titanífero aluminoso a pobre em Al), magnetita titanífera, biotita (titanífera pobre em Al a aluminosa e rica em Ba), com acessórios de apatita, perovskita e anfibólio (potássico e titanífero). A Rocha representa um olivina sanidina diopsídio "leucita" lamproíto.

No segmento Oriental, junto ao bloco Paranapanema, encontram-se as intrusões do Campo Ybytyruzú entre as quais ocorrem:

O dique **Yzu-1**, que possui dimensão decimétrica e compõe-se de uma rocha porfírica com aspecto basaltóide bastante fresca. Trata-se de um lamprófiro picrítico (olivina ~15%) calcio alcalino ("kentallemito") com fenocristais de olivina (FO_{89-75}), diopsídio (pobre em Al) e flogopita (titanífera aluminosa) imersos em matriz formada por analcima, sanidina (rica em Fe)-anortoclásio, magnetita titanífera magnesiânica, magnetita titanífera e acessórios de apatita e carbonato.

A intrusão **Yzu-4** têm forma de *pipe* e compõe-se de dois fácies petrográficas: uma lamprofírica e outra basaltóide. A suite de minerais pesados apresentam ilmenita, piroxênios, espinélios e mica.

O conjunto de diques **Yzu-10**, com espessuras decimétricas a métricas, têm marcado caráter lamprofírico e frequentemente encontram-se alterados, associa-se a filões de quartzo aurífero, que se concentram nos rios da região junto a minerais pesados como ilmenita, zircão, espinélios, granada e ilmenita.

O dique **Yzu-2**, representa uma variedade de lamproíto_{ss} com espessura decimétrica, possuindo abundantes pontilhados de leucita pseudomorizada de cor branco beje acompanhados por fenocristais de olivina (FO_{85-81}), diopsídio (pobre em Al) e flogopita (titanífera) imersos em matriz de sanidina (rica em Fe), flogopita-biotita (titanífera e pobre em Al), diopsídio (pobre em Al), magnetita titanífera magnesiânica, ilmenita e acessórios de eckematita ferrosa (potássica e titanífera) e apatita. Trata-se de um olivina-sanidina-flogopita-diopsídio-"leucita" lamproíto.

A intrusão **Yzu-3 (Mbocayaty)** é formada lavas brechosas porfíricas escuras, de aspecto basaltóide, com uma aparente direção de fluxo segundo NNE. São variedades de lamproíto_{ss} com fenocristais/microfenocristais de olivina (FO_{83-81}), diopsídio (pobre em Al), "leucita" e ilmenita, imersos em uma matriz formada por sanidina (em parte rica em Fe), flogopita (titanífera pobre em Al), diopsídio (pobre em Al), magnetita titanífera magnesiânica e acessórios de apatita e anfibólio (titanífero e potássico). Representam um olivina-flogopita-sanidina-diopsídio-leucita lamproíto.

O sill **Yzu-6**, compõe-se de um lamproíto com espessura decimétrica, constituído por rocha cinza esverdeada com fenocristais/microfenocristais de flogopita (titanífera), diopsídio (pobre em Al) e ilmenita imersos em matriz formada de sanidina (rica em Fe, Ba e Na), flogopita-biotita (titanífera), anfibólio e acessórios de ilmenita, apatita, carbonato e rutilo/priderita (?). Correspondem a um diopsídio-flogopita-sanidina lamproíto.

Completando as informações petrográficas e da química mineral, neste trabalho também discutem-se as relações de solução sólida que caracterizam as micas, os piroxênios, os espinélios e os feldspatos estudados nos dois grupos de rochas.

Dados geotérmicos (Termômetro TMg) obtidos em xenocristais de espinélios dos corpos Ymi-1 e Yzu-1 assemelham-se em muito aos obtidos em espinélios de kimberlitos da plataforma Siberiana; i.e. fluxo de calor ~30-40mWm⁻². A variação do barômetro de *Doroshov* (o valor de Cr# multiplicado pelo

teor de Cr_2O_3) ao ser aplicado aos mesmos xenocristais de espinélio de Ymi-1 e Yzu-1 permitiram estimar a profundidade de formação/proveniência correspondente em torno de 10 a 50 Kbars para os magmas lamprofíricos picríticos cálcio-alcálico. Essas feições termo-barométricas sugerem que os lamprófiros picríticos (Ymi-1 e Yzu-1) amostraram peridotitos de um manto litosférico profundo cratonizado, que no Jurássico (~130 Ma) possuía o gradiente geotérmico de $\approx 35\text{mW/m}^2$.

Nos diagramas Cr# vs Fe^{2+} # e MgCr_2O_4 - MgAl_2O_4 - MgFe_2O_4 muitos xenocristais de espinélios de Ymi-1 e algumas inclusões de espinélio em olivinas de Yzu-1 ocuparam campos de espinélios de peridotitos da fácies diamantíferas e/ou associadas ao diamante. Esse fato sugere que eles teriam sido arrancados das raízes do manto peridotítico cratonizado da fácies do diamante, trazidos pelo magma até a superfície.

Os xenocristais de espinélio de Ymi-1 no diagrama $\text{Fe}^{3+}/(\text{Fe}^{3+}+\text{Fe}^{2+})$ vs Cr# indicaram condições de formação abaixo do tampão QFM com concentrações elevadas das inclusões e alguns espinélios dos concentrados no tampão Q-1 e microfenocristais, dos concentrados e de algumas inclusões fugacidade ainda menor, i.e., <I+1 a I+2. Valores desta fugacidade de oxigênio são muito favoráveis à formação do diamante nas raízes cratônicas. As inclusões de espinélio em olivinas de Yzu-1 e Ymi-1 formaram-se num ambiente com tampão Q-1 a I+2 o que indica em favor de condições de transporte com fugacidade de oxigênio favoráveis para a preservação do diamante.

Grãos de ilmenitas de Ymi-1 e Ymi-8, foram também analisadas no sistema MgTiO_3 - FeTiO_3 - Fe_2O_3 observando-se que elas apresentam condições de oxidação/redução em torno do tampão 10⁻⁶ (~buffers wustita-magnetita a 30 kbar e 1300°C). Este dado também reforça o que já foi concluído com relação aos espinélios, ou seja, um ambiente relativamente redutor indicando positivamente para a preservação de diamante. Nesse contexto das informações o diamante poderia estar presente nessas estruturas.

Na região associada às intrusões do arroyo Itá (Campo Ybytyruzú) onde descobriram-se partículas de Au, é uma área muito rica em rochas lamprofílicas assim indicando ser um campo excelente para se pensar numa ligação genética entre as rochas lamprofílicas e as ocorrências de Au.

ABSTRACT

Mesozoic "lamprophyric" rocks from the Ybytymí and Ybytyryzú fields of the Central Alkaline Province of Central-Eastern Paraguay are here characterized based on petrographic data and mineral chemistry. The Province lies along the Asunción Rift, situated at the border of the Paranapanema Block, part of the Rio de La Plata Craton.

The bodies from the Ybytymí Field, western portion of the pericratonic border of the Paranapanema Block, are: 1) **Ymi-1** pipe, with volcanic-epiclastic sediments (containing picrochromite, chromite, magnetite, pseudobrookite, ilmenite, rutile, Nb-bearing rutile, tourmaline, diamond, zircon, pyroxene and traces of garnet as heavy mineral assemblage), plug and associated dikes (Ymi-1/d and Ymi-1c), which constitute calc-alkaline picritic lamprophyres (kentallenite), composed of pheno/microphenocrysts of olivine, (titaniferous-aluminous) diopside, phlogopite, magnesian hornblende and chromite, in a fine-grained matrix made of (sometimes sodic) sanidine, magnesian titaniferous magnetite, titaniferous magnetite, (titaniferous-aluminous) diopside, (titaniferous) phlogopite-biotite, carbonate and accessory apatite, plagioclase, magnesian hornblende, eckermanite, analcime and rutile; 2) several E-W-trending, peridotitic-microxenolith-bearing dikes (**Ymi-7**) of kentallenite-type, composed of pheno/microphenocrysts of olivine, (titaniferous-aluminous) diopside, hornblende and (titaniferous-aluminous) phlogopite in a fine-grained matrix made essentially of sanidine, magnesian titaniferous magnetite, titaniferous magnetite, (titaniferous-aluminous) diopside, analcime, hornblende and accessory apatite, mica and carbonate; 3) the **Ymi-4** pipe, made of a lava facies, crosscut by a conduit breccia facies and slightly vesiculated, lamprophyric dikes, being a variety of calc-alkaline lamprophyre (minette), composed of serpentized pheno/microphenocrysts of olivine, (titaniferous-aluminous) phlogopite, (titaniferous-aluminous) diopside and magnesian titaniferous magnetite in a very fine- to fine-grained matrix made of sanidine, titaniferous magnetite and accessory (titaniferous-aluminous) diopside, apatite, carbonate and zeolites; 4) the **Ymi-8** pipe, with predominant volcanic-epiclastic sediments and subordinated plugs, similar to Ymi-1 regarding the heavy mineral assemblage (pseudobrookite, ilmenite, rutile, zircon, diamond and traces of spinel, pyroxene and garnet); 5) the **Ymi-5** plug, a transitional lamproite (olivine-sanidine-diopside-"leucite" lamproite) with abundant pheno/megacrysts of pseudomorphosed leucite, together with (titaniferous to titaniferous-aluminous) diopside, (serpentized) olivine and magnesian titaniferous magnetite in a fine-grained matrix made of (Ba-rich) sanidine, (titaniferous-aluminous to Al-poor) diopside, titaniferous magnetite, (titaniferous, Al-poor to aluminous, Ba-rich) biotite and accessory apatite, perovskite and (potassic-titaniferous) amphibole.

The intrusions from the Ybytyryzú Field, in the eastern portion close to the Paranapanema Block, are: 1) the **Yzu-1** dike, a fresh, porphyritic basaltoid rock classified as a picritic, calc-alkaline lamprophyre (kentallenite), with 15% of olivine phenocrysts, (Al-poor) diopside and (titaniferous-aluminous) phlogopite in a matrix made of analcime, (Fe-rich) sanidine - anorthoclase, magnesian titaniferous magnetite and accessory apatite and carbonate; 2) the pipe-like **Yzu-4** intrusion, with a lamprophyric and a basaltoid facies and a heavy mineral assemblage composed of ilmenite, pyroxene, spinel and mica; 3) altered, lamprophyric **Yzu-10** dikes, associated to auriferous quartz lodes, which concentrate in the rivers of the region together with ilmenite, zircon, spinel, garnet and ilmenite; 4) the **Yzu-2** lamproitic dike (olivine-sanidine-phlogopite-diopside-"leucite" lamproite), made of abundant microphenocrysts of pseudomorphosed leucite, together with olivine, (Al-poor) diopside and (titaniferous) phlogopite in a fine-grained matrix made of (Fe-rich) sanidine, (titaniferous, Al-poor) phlogopite-biotite, (Al-poor) diopside, magnesian titaniferous magnetite, ilmenite and accessory (potassic-titaniferous) ferrous eckermanite and apatite; 5) the **Yzu-3** body (Mbocayaty), formed by porphyritic breccoid lavas of basaltoid aspect (olivine-phlogopite-sanidine-diopside-"leucite" lamproite), with micropheno/phenocrysts of olivine, (Al-poor) diopside, pseudoleucite and ilmenite, in a fine-grained matrix made of (sometimes Fe-rich) sanidine, (titaniferous, Al-poor) phlogopite, (Al-poor) diopside, magnesian titaniferous magnetite and accessory apatite and (titaniferous-potassic) amphibole; 6) the **Yzu-6** sill (diopside-phlogopite-sanidine lamproite), composed of pheno/microphenocrysts of (titaniferous) phlogopite, (Al-poor) diopside and ilmenite in a medium-grained matrix made of (Fe-Ba-Na-rich) sanidine, (titaniferous) phlogopite-biotite, amphibole and accessory ilmenite, apatite, carbonate and rutile/priderite (?).

Geothermometric data from Ymi-1 and Yzu-1 spinel xenocrysts are very similar to those from the Siberian Platform kimberlites, *i.e.* 30-40 mW/m² heat flow (TMg thermometer). A variation of Doroshev's barometer (Cr# multiplied by the Cr₂O₃ content), when applied to the same Ymi-1 and Yzu-1 spinel xenocrysts, allowed the formation/provenance depth of the calc-alkaline, picritic, lamprophyric magmas to be estimated as equivalent to 10-50 Kb. These data suggest that Ymi-1 and Yzu-1 sampled peridotites from a cratonized, deep lithospheric mantle, which had a 35 mW/m² geothermal gradient in the Jurassic (~130 Ma).

In the Cr# vs. Fe²⁺# and MgCr₂O₄-MgAl₂O₄-MgFe₂O₄ diagrams, many Ymi-1 spinel xenocrysts and some Yzu-1 spinel inclusions in olivines plot in the fields of spinels from peridotites of the diamondiferous facies and/or associated with diamond. This fact suggests that they were pulled away from the roots of the cratonized peridotitic mantle of the diamondiferous facies and brought by the magma to the surface.

The Fe³⁺/(Fe³⁺+Fe²⁺) vs. Cr# diagram indicated for Ymi-1 spinel xenocrysts conditions of formation below the QFM buffer, with high concentration of inclusions and some spinels from the concentrates falling in the Q-1 buffer, and microphenocrysts from concentrates and some inclusions plotting in even lower oxygen fugacity fields, *i.e.* < I+1 to I+2. These fugacity values correspond to very favorable conditions for the formation of diamond in the cratonic roots. Spinel inclusions in olivines from Ymi-1 and Yzu-1 were formed in a Q-1 to I+2 buffer environment, which corroborates to transport conditions corresponding to oxygen fugacities favorable to the preservation of diamond.

Ymi-1 and Ymi-8 ilmenite grains were also analysed in the MgTiO₃-FeTiO₃-Fe₂O₃ system, yielding oxidation/reduction conditions around the 10⁻⁶ buffer (~wustite-magnetite), which corroborated to a relative reducing environment, favorable to the preservation of diamond.

The Arroyo Itá region (Ybytyruzú field), where particles of Au were found, crosscut by lamprophyric rocks, is a possible field to study the genetic link between lamprophyric rocks and Au occurrences.

CAPÍTULO 1

Introdução ao problema

Convencionalmente são referidas como rochas potássicas aquelas que possuem a razão molar K_2O/Na_2O em torno ou algo maior que 1 e com o teor em $MgO > 3\%$, sendo que a restrição no conteúdo de MgO é imposto para assim excluir algumas rochas, como alguns traquitos, dacitos, e riólitos, que possuem elevada razão K_2O/Na_2O como resultado dos processos normais de evolução magmática, assim não implicando numa natureza potássica do magma parental do qual eles teriam derivado (Peccerillo, 1992).

Os esquemas de classificação traçados em torno das rochas potássicas (Sahama 1974; Barton 1979; Mitchell 1985; Foley et al., 1987 e Peccerillo 1992 entre outros), consideram dois tipos principais de rochas potássicas: as **rochas shoshoníticas** (potássicas a meso-potássicas) e as **rochas ultrapotássicas** (rochas com alto potássio). No entanto, os termos potássicos ou ricos em potássio freqüentemente são empregados para caracterizar tanto as rochas shoshoníticas como as rochas ultrapotássicas.

Rochas shoshoníticas, são as rochas menos enriquecidas em potássio. Elas possuem 2-3% de potássio e ostentam a razão K_2O/Na_2O em torno da unidade. Tais rochas possuem tipicamente alto Al_2O_3 (14-20%), baixo TiO_2 (<1.2-1.3%) e, num intervalo máfico, elevado conteúdo de CaO (10-12%). A *suite* de rochas shoshoníticas compreende basaltos shoshoníticos, latitos, e traquitos a riólitos. São rochas máficas a intermediárias na sua composição, assim oscilando de algo subsaturadas a supersaturadas em sílica (Peccerillo, 1992). Esta suite constitui um grupo de rochas que estão associam-se com vulcânicas cálcio-alcalinas ao longo de zona de placas convergentes (Morrison, 1980).

Foley et al. (1987) definem as **rochas ultrapotássicas** como sendo aquelas rochas que possuem razão $K_2O/Na_2O > 2$ e valores de K_2O e $MgO > 3\%$. Elas incluem um

amplo intervalo composicional podendo reconhecer e separar três grupos bem definidos de “rochas ultrapotássicas *end member*”:

Grupo I: são as rochas que ocorrem como pipes, lavas, tufos e corpos hipoabissais (diques, *plugs*) e que possuem natureza ultramáfica a máfica. Dentre os grupos de rochas ultrapotássicas, este grupo é o mais enriquecido em potássio e empobrecido em Na₂O, possuindo de 36 a 60% de SiO₂, <14% de Al₂O₃, <10% de CaO e razão K₂O/Al₂O₃>0.6 (sendo comumente perpotássicas (K₂O/Al₂O₃>1). Este grupo é equivalente ao “Leucite Hills type” de Barton (1979) e ao grupo orendítico de Sahama (1974), recebendo o nome de **lamproítos** (Foley et al., 1987; Foley, 1992). *Standard members* são os lamproítos de W-Austrália e o vulcão de Gaussberg, Antártica. Contudo, observou-se que as feições químicas de algumas ocorrências de lamproítos possuem K₂O/Na₂O<2, como constatado em algumas rochas de Jumilla, Espanha (Salvioli-Mariani & Venturelli 1996); Smoky Buttle, USA (Mitchell et al., 1987); Kapamba, Zambia (Scott-Smith et al., 1989). Esta mesma feição leva a observar que a razão K₂O/Al₂O₃ é inferior a 0.6. Giampaolo et al. (1997) estudando a série de rochas coletadas na seqüência de lavas do Lago Bracciano (Roma, Italia), encontraram progressiva analcimitização nas rochas à expensas da leucita, o que se reflete num incremento progressivo do Na em detrimento do K, Ca e Mg; Fe permanece constante porém aumentando o teor do Fe²⁺. Estas feições levam a crer que os valores anômalos, nas rochas ultrapotássicas em geral, das razões K₂O/Na₂O<2 e K₂O/Al₂O₃<0.6 devem-se a processos de zeolitização (Mitchell et al., 1987; Venturelli et al., 1991). Isto necessariamente leva a caracterizar erroneamente muitas rochas ultrapotássicas como potássicas (p/ex. Foley, 1992). Os lamproítos mostram marcado enriquecimento de elementos terras raras leves (LREE) em relação aos pesados (HREE), com La/Yb elevado; assim como também de elementos LIL sobre os elementos HFS, com Ba/Yb elevado (Bergman, 1987; Mitchel & Bergman, 1991 e Foley et al., 1987). Woolley et al. (1996) observaram que os lamproítos são rochas caracterizadas pela presença, em quantidades variáveis (5-90%), das seguintes fases minerais primárias: (1) fenocristais de flogopita titanífera (2-10% de TiO₂) pobre em Al (5-12% de Al₂O₃); (2) tetraferroflogopita titanífera (5-10% de TiO₂) poiquilítica na matriz; (3) richterita titanífera (3-5% de TiO₂) e potássica (4-6% de K₂O); (4) olivina forsterítica; (5) diopsídio pobre em Al (<1% de Al₂O₃) e Na

(<1% de Na₂O); (6) leucita não estequiométrica rica em Fe (1-4% de Fe₂O₃), e (7) sanidina rica em Fe (tipicamente 1-5% de Fe₂O₃). Ressalta-se que a presença das faces mencionadas não requer uma ordem preferencial para classificar uma rocha como lamproíto. Nenhum dos minerais necessariamente deve ser dominante, e assim, junto a dois ou três outros minerais maiores presentes, basta para determinar o nome petrográfico. Fases menores e acessórios comuns incluem a priderita, wadeita, apatita, perovskita, cromita magnésiana, cromita magnésiana titanífera e magnetita magnésiana titanífera; menos comum, porém, caracteristicamente presentes encontram-se, jeppeita, armalcolita, shcherbakovita, ilmenita e enstatita. A presença dos minerais listados a seguir elimina qualquer rocha do grupo dos lamproítos: plagioclásio primário, melilita, monticellita, kalsilita, nefelina, feldspato alcalino rico em Na, sodalita, noseana, hauyna, melanita, schorlornita ou kimzeyita. Hogarth (1997) estudando alguns lamproítos de Napoleon Bay (Isla de Baffin) descreve kalsilita e nefelina como fases minerais de substituição e como minerais de contato; ver também o trabalho de Scott-Smith et al. (1989).

Grupo II: são as rochas da série de lavas “Katungito, mafurito e ugandito” encontradas no leste Africano (Toro-Ankole, Standard members do grupo). Elas possuem SiO₂<46.0%, Al₂O₃<14%, CaO>10% e a razão K₂O/Al₂O₃<0.9. Desvios destes valores podem ocorrer em virtude de processos de alteração tardia, como por exemplo analcimitização. Foley et al. (1987) sugerem para este grupo de rochas o nome **kamafugitos** em concordância com Sahama (1974). Similarmente aos lamproítos mostram marcado enriquecimento de LREE sobre HREE (La/Yb moderado a alto) e de LILE sobre HFSE (Ba/Yb alto). Conquanto sejam fortemente subsaturadas em sílica, apresentam kalsilita e/ou melilita junto com leucita. Entre os máficos incluem olivina forsterítica, diopsídio-salita aluminosos e titanados (ex. Mitchell & Bergman, 1991). Podendo também estar presente a monticellita, a flogopita e a perovskita (Peccerello, 1992).

Grupo III: são rochas de uma série bem conhecida representada pelos leucita-tefritos, leucititos e leucita fonólitos. Estas rochas são tipicamente encontradas na Província Magmática Romana Itália Central (-Standard members do grupo-) (Peccerillo & Manetti, 1985; Peccerillo, 1994) e em alguns vulcões da Indonésia (Stolz et al., 1988; Leterrier et al., 1990). Estas rochas apresentam conteúdos de SiO₂

que variam dos 42 aos 63% (i.e., rochas máficas à intermediárias), estando enriquecidas, quando comparadas com os dois grupos anteriores, em Al_2O_3 (>11%), empobrecidas em TiO_2 (geralmente <1.2%) e possuem razão $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}<0,5$. As rochas máficas deste grupo possuem altos teores em CaO (tipicamente entre 10-13%) e Na_2O (~ 2-3%). Valores mais elevados do Na sobre o K que vá também acompanhado de perdas de Mg e Ca, deve-se a processos de alteração. De forma geral o grupo apresenta a menor razão La/Yb e Ba/Yb, destacando-se nele uma marcada anomalia negativa em Nb, como propriamente observada em rochas relacionadas a processos de subdução. (Foley et al., 1987). Para este grupo foram propostos os nomes: **rochas ultrapotássicas do tipo Província Romana** (Barton, 1979; Foley et al., 1987; Peccerillo, 1992) e **plagileucito** (Foley, 1992). Este grupo encontra-se associado com outras rochas vulcânicas menos enriquecidas em potássio pelo sendo freqüentemente referidas como “série potássica” comparativamente, elas lembram os shoshonitos (Peccerillo 1992). As faces minerais félsicas típicas encontradas nas rochas máficas às evoluídas são: leucita, plagioclásio e sanidina rica em Na_2O e pobre em Fe_2O_3 , além de nefelina freqüentemente intersticial. Diopsídio (rica em Al e, geralmente pobre em Ti) é a fase máfica comum, encontrada junto a proporções menores a traços de olivina, flogopita-biotita (que mostra um *trend* de enriquecimento em Al-Ti e Al-Fe diretamente proporcional, cf. Mitchell & Bergman 1991.), anfibólio pargasítico, magnetita titanífera, haüina e apatita.

Rochas ultrapotássicas volumetricamente mais importantes são aquelas com feições químicas entre lamproítos e plagileucitos sendo mais raro de observar aquelas com feições entre lamproítos e kamafugitos; essas rochas formam o **Grupo IV ou Grupo transicional** Foley et al (1987). Este tipo de rocha encontra-se freqüentemente associado a lamproítos e/ou plagileucitos e/ou kamafugitos (Foley, 1992). Segundo Foley et al. (1987), os grupos das rochas ultrapotássicas não incluem alguns magmas “kimberlitoídes” como o são os kimberlitos orangeitos e algumas minettes.

Mitchell (1995a) mostra que **kimberlitos** são o grupo de rochas potássicas e ultrabásicas ricas em voláteis (dominantemente CO_2) comumente mostrando distintiva textura inequigranular resultante da presença de macrocristais (ocasionalmente megacristais) imersos em matriz de granularidade fina. A assembléia

de megacristais/macrocrístais consiste de cristais de olivina anhedral, ilmenita magnesiana, piropo titanífero pobre em Cr, diopsídio pobre em Cr (freqüentemente subcálcico), flogopita, enstatita e cromita pobre em Ti. Os macrocrístais de olivina são caraterísticos de todos os kimberlitos, porém não dos fracionados. A matriz contém uma segunda geração de olivina euhedral que ocorre junto com um ou mais de um dos minerais primários: monticellita, flogopita, perovskita, espinélio (solução sólida de ulvoespinélio magnesiano-cromita magnesiana-ulvoespinélio-magnetita), apatita e serpentina. Resulta que a maioria dos kimberlitos contém micas poiquilíticas tardias da série flogopita-kinoshitalita. sulfetos níquelífero e rutilo são os minerais acessórios comuns. É comum a substituição de olivina, flogopita, monticellita e apatita formadas inicialmente por serpentina deutérica e calcita. Os membros evoluídos do grupo podem ser pobres ou isentos de macrocrístais e/ou ser compostos da segunda geração de olivina, calcita, serpentina e magnetita, junto à quantidade menor de flogopita, apatita e perovskita. Kimberlitos não contém diopsídio primário; sua presença representa uma fase secundária de cristalização induzida pela assimilação de xenólitos silicáticos.

Ainda segundo Mitchell (1995a) **orangeítos** são o clã de rochas ultrapotássicas peralcalinas ricas em voláteis (dominantemente H₂O), caraterizadas pela presença de macrocrístais e microcrístais de flogopita em matriz contendo flogopita a tetraferroflogopita. Macrocrístais arredondados e cristais euhedrais de olivina são comum porém não sempre como constituintes maiores. As fases caraterísticas da matriz são: diopsídio geralmente zonado e capeado por aegirina titanífera; espinélios de composição variando de cromita magnesiana a magnetita titanífera; perovskita rica em REE e Sr; apatita rica em Sr; fosfatos ricos em REE (monazita, daqingshanita); titanatos de K e Ba correspondentes ao grupo da hollandita; triskaidecatitanatos de K (K₂Ti₁₃O₂₇); rutilo de Nb; e ilmenita manganesífera. A matriz pode conter ainda calcita, dolomita, ancylita e outros carbonatos de terras raras, witherita, norsethita e serpentina. Membros evoluídos do grupo possuem sanidina e richterita potássica. Silicatos de Zr (wadeita, zircão, granada kinzeyítica e silicatos Ca e Zr) são comuns como minerais tardios da matriz. Barita é comum como mineral secundário ou deutérico. Os orangeítos se diferenciam dos kimberlitos pela ausência

de monticellita, espinélio magnésiano e micas da série da flogopita-kinoshitalita rica em Ba.

Woolley et al. (1996) definem os **lamprófiros** como sendo rochas ígneas mesocráticas a melanocráticas, geralmente subvulcânicas, com textura panidiomórfica e abundantes fenocristais máficos de mica escura e/ou anfibólio proporções menores de piroxênio e olivina, imersos em matriz dos mesmos minerais, e feldspato, este geralmente feldspato alcalino. Com base na associação petrológica das rochas ígneas e nos ambientes tectônicos onde eles ocorrem, Rock (1977; 1984; 1987; 1989 e 1991) divide os lamprófiros em três Grupos: **cálcio-alcálinos** (acompanhados de granitóides post-orogênicos e em associação com rochas alcalinas meso-potássicas), **alcálinos** (acompanhados de rochas alcalinas e carbonatitos em ambientes continentais de intraplaca) e **ultramáficos** (com similares feições de associação e tectônica a do grupo anterior). A Tabela 1-1 confronta a mineralogia dos três grupos citados e dos kimberlitos/orangeítos e lamproítos

Lamprófiros cálcio-alcálinos são aqueles mesocráticos, em parte saturados em sílica, potássicos a mesopotássicos ($\text{Na} \approx \text{K}$) possuindo composições intermediárias ($\text{SiO}_2 \sim 53\%$). Os fenocristais predominantes são hornblenda e/ou flogopita-biotita; a matriz é formada por feldspatos e ocasionalmente quartzo. O grupo acha-se subdividido nas variedades Rock (1984; 1991): **kersantitas**, **vogesitas**, **esperssartitos** e **minettes**.

Lamprófiros alcálinos são mesocráticos a quase ultramáficos, subsaturados e quimicamente similares a basanitos hidratados (com SiO_2 geralmente $<45\%$). Os fenocristais predominantes são olivina rica em Mg, anfibólios titaníferos (p/ex. kaersutita), piroxênios titanados e flogopita-biotita titaníferas; sua matriz constitui essencialmente de feldspatóide que podem estar acompanhado por pequenas proporções de feldspatos. Neste grupo são reconhecidos as seguintes variedades Rock (1987, 1991): **monchiquitos**, **camptonitos** e **sannaitos**.

Lamprófiros ultramáficos são rochas ultrabássicas (com SiO_2 geralmente $<35\%$) e com índice de cor >90 ou muito próximo a ele. Possuem fenocristais de olivina muito rica em Mg, flogopitas, (e por vezes) diopsídio e anfibólios titaníferos; a matriz constitui essencialmente de carbonato, perovskita, feldspatóide e/ou melilita. São

reconhecidas as seguintes variedades Rock (1989; 1990): **damkjernito, alnoito, ouachitito, ailiquito e polzenito.**

Woolley et al. (1996) recomendam para classificação geral dos lamprófiros seja consultado Le Maitre et al. (1989); e, para detalhes na descrição, aquela segundo Rock (1991).

Conquanto que neste trabalho estudaram-se um grupo de ocorrências de rochas lampróficas que aparentam lamprófiros cálcio-alcálicos, de ambiente de rochas alcalinas, os lamprófiros cálcio-alcálicos e alcálicos serão definidos com base ao Glossário dado por Rock (1991), Dessa maneira, pretende-se que o leitor conte com o auxílio do trabalho citado em mãos para acompanhar a caracterização das rochas estudadas.

Monchiquito: variedade principal de lamprófiro alcálico compõe de combinações de fenocristais de olivina forsterítica, kaersutita, titanaugita e titanobiotita em uma matriz reunindo os mesmos minerais, exceto olivina, com nefelina (nefelina-monchiquito), analcima (analcima-monchiquito) e/ou vidro (hialo-monchiquito). Porém sem nenhum feldspato modal. A localidade tipo de lamprófiro reside na Serra Monchique, Algarve, Portugal; onde foi definido por Weveke em 1880 e redefinido por Caçador & Rosenbusch (1890).

Camptonito: variedade principal de lamprófiro alcálico, compõe de combinações fenocristais de olivina forsterítica, kaersutita, e titanaugita (augita titanada conforme IMA) imersos em matriz dos mesmos minerais, exceto olivina, com plagioclásio, e por vezes subordinado feldspato alcálico e feldspatóides. A localidade tipo dessa variedade esta em Campton Falls, New Hampshire, E.U.A.; foi denominado por Hawes em 1878 e redefinido por Rosenbusch.

Sannaito: variedade secundária de lamprófiro alcálico compõe de combinações de fenocristais de olivina forsterítica, kaersutita, titanaugita e titanobiotita (biotita titanífera conforme IMA) em uma matriz dos mesmos exceto olivina, com feldspato alcálico e plagioclásio e subordinadamente feldspatóides. A localidade tipo encontra-se em Sanna, Noruega; foi denominado por Brogger (1921).

Minette: um lamprófiro cálcio-alcálico que consiste de fenocristais de phogopita/biotita, com subordinado anfibólio cálcico ou alcálico, olivina forsterítica ou

clinopiroxênio diopsídico, em matriz formada pelos mesmos minerais e feldspato alcalino e plagioclásio subordinado.

Vogesito: variedade rara de lamprófiro cálcio-alkalino que consiste de fenocristais de hornblenda cálcica, com ou sem phlogopita/biotita subordinada, olivina forsterítica ou clinopiroxênio diopsídico, mergulhados em matriz constituída pelos mesmos minerais além de feldspato alcalino e subordinado plagioclásio. A localidade tipo situa-se em Mtns.Vosges , França; tendo sido denominado por Rosenbusch em 1887.

Kersantito: um lamprófiro cálcio-alkalino que consiste de fenocristais de flogopita/biotita, com ou sem hornblenda cálcica subordinada, olivina forsterítica ou clinopiroxênio diopsídico, em uma matriz constituída pelos mesmos minerais além de plagioclásio e subordinado feldspato alcalino. A localidade tipo está em Kersanton, Brittany, França,; foi denominado por Delesse em 1851.

Spessartito: um lamprófiro cálcio-alkalino que consiste de fenocristais de hornblenda cálcica, com ou sem phlogopita/biotita subordinada, olivina forsterítica ou clinopiroxênio diopsídico, em uma matriz constituída pelos mesmos minerais além de plagioclásio e subordinado feldspato álcilino. A localidade tipo está em Spessar, Alemanha.

Appinito: Originalmente definido por Muralha & Maufe em 1916 como “equivalentes plutônicos de vogesito e eperssartito com hornblenda”. Desde então são referidos a micro-intrusões sem conexões com rochas vitreas, portadores de hornblenda , cuja composição varia de gabbro para monzogabbro, diorito, syenito e granodiorito.

O termo appinitico geralmente é usado para indicar a presença de hornblendas euhedrais grossa e associações com appinito mais básico. Aqui foi restringido para equivalentes granulares grossos , ricos em K, de vogesitos e spessartitos maficos, que consistue essencialmente de abundante hornblenda prismática +/- clinopiroxênio, em matriz de plagioclásio +/- feldspato alcalino, etc. Os appinitos do tipo de Appin, Argyll (Escócia), são predominantemente gabróicos, mas muitos contêm biotita e são mais ricos em K que gabbros normais.

| MINERAL (em %) | L-CAL | L-AL | L-UL | KIMB/ORANG | LAMPROÍTOS |
|-----------------------|----------|-----------|--------------|------------|------------|
| <u>anfibólio</u> | 20 a 40 | 2 a 5 | <35 | <5 | <25 |
| <u>Flog.-Biot.</u> | 20 a 40 | 2 a 30 | 5 a 70 | <40 | <25 |
| <u>clinopiroxênio</u> | <25 | 20 a 50 | <50 | só em Or. | <50 |
| <u>feldspatos</u> | 33 a 67 | 25 a 50** | <5 | só em Or. | <50 |
| <u>feldspatoides</u> | <5* | <15 | <35 | só em Or. | >20 |
| <u>granada (mel)</u> | ausente* | <5 | <25 | ausente* | ausente* |
| <u>vidro</u> | <5 | <30 | <20 | ausente* | <50 |
| <u>mellitita</u> | ausente* | ausente* | <35 | ausente* | ausente* |
| <u>monticellitita</u> | ausente* | ausente* | <25 | <25 | ausente* |
| <u>olivina</u> | <10 | <10*** | <50 | 25 a 75 | <60 |
| <u>quartzo</u> | <10* | ausente* | ausent e* | ausente* | <10 |
| <u>plaqlocl.</u> | comum | comum | comum | ausente* | ausente* |

Legenda: *pela definição; **pela definição = 0 em monchiquitos, e <25 em comuláticos; ***mais alto em variedades picríticas. Lamprófiros: L-CAL: cálcio-alcalino; L-AL: alcalino e L-UL: ultramáfico. Kim, kimberlito e Orag, orangeito.

Tabela 1-1. Comparação entre as variedades de rochas "lamprofiricas", kimberlitos, orangeitos e lamproíto. Fontes dos dados: Rock (1991); Mitchell (1995 a-b) e Mitchell & Bergman (1991).

Kentallemito: rocha rica em K e Mg que pertence a suíte de appinita. É denominado geralmente de olivina monzonito e picrito shoshonítico; sendo, no entanto biotita-olivina-monzogabbro na nomenclatura de Streckeisen (1976), equivalente plutônico de espessartito e vogesito. Uma variedade de rocha que caracteriza distintamente duas gerações de olivina forsterítica, onde a primeira apresenta-se substituída nas bordas por piroxênios, phlogopita \pm hornblenda. A localidade tipo acha-se em Kentallen, Appin, Argyll, Escócia; foi denominado por Teall em 1897 (Colina & Kynaston 1900).

| | <u>kimberlitos</u> | <u>orangetos</u> | <u>lamproitos</u> | <u>minettas</u> (L-CAL) | <u>L-UL</u> | <u>L-AL</u> |
|---------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| <u>olivina</u> | | | | | | |
| macro | *** | *** | ** | | ** | ** |
| micro | *** | *** | *** | ** | *** | *** |
| <u>mica</u> | | | | | | |
| macro/micro | *** Flogopita | *** Flogopita a Ti-biotita | *** Flogopita | *** Flogopita | *** Flogopita | Flogopita a Ti-Biotita |
| matriz | *** Flogopita kinoshaita | *** tetraferri flogopita | *** Ti-tetraferri flogopita | *** Al-Flogopita | *** Al-biotita | *** Al-Ti biotita |
| <u>espínólio</u> | Al-Mg-cromita a* Mg-ulvoespínéio | **Mg-cromita a Ti-magnetita | ** Mg-cromita a Ti-magnetita | *** Mg-cromita a Ti-magnetita | *** Mg-cromita a Ti-magnetita | *** Mg-cromita a Ti-magnetita |
| <u>monticelita</u> | *** | | | | *** | |
| <u>diopsídio</u> | | *** pobre em Al e Ti | *** pobre em Al e Ti | *** rico em Al e Ti | *** rico em Al e Ti | *** rico em Al e Ti |
| <u>perovsquita</u> | *** pobre em Sr e REE | **rico em Sr e REE | **rico em Sr e REE | | *** pobre em Sr e REE | raro |
| <u>apatita</u> | *** pobre em Sr e REE | ** rico em Sr e REE | *** rico em Sr e REE | *** pobre em Sr e REE | *** pobre em Sr e REE | |
| <u>calcita</u> | * | *** | *** | *** | *** | *** |
| <u>sanidina</u> | | ** matriz | *** como fenocristal e matriz | * matriz | **matriz (1) | |
| <u>riferita K-Ti</u> | | **matriz | *** fenocristal e matriz | | | |
| <u>titanatos de K-Ba</u> | ** | *** | *** | | | |
| <u>silicatos de Sr</u> | ** | *** | *** | ** | | ** |
| <u>limenita Mn</u> | ** | *** | ** | *** | ** | ** |
| <u>leucita</u> | | ** pseudomorfos | *** fenocristal | | | ** pseudomorfos |
| <u>rútilo de Nb</u> | | ** | | | | ** |

Legenda: * abundante; **raro *** comum.

Tabela 2-2. Minerais comuns em kimberlitos, orangeitos, lamproitos e lamprófiros cálcio alcalinos, alcalinos e ultramáficos. Fontes dos dados: Mitchell (1986 e 1995a); Mitchell & Bergman (1991); Rock (1991).

Objetivos

O presente trabalho tem por objetivo primordial a caracterização, com base em dados petrográficos e de química mineral, das rochas "lamprofíricas" do Mesozóico (~130 Ma.) que ocorrem junto às rochas basaltóides potássicas na Província Alcalina Central do Paraguai Centro-Oriental. Para este fim, os estudos da petrografia e química mineral, centraram em alguns corpos magmáticos com feições de rocha lamprofírica espalhados em dois campos separados: Campo Ybytymí a oeste, com

os corpos de Ymi-1, Ymi-4, Ymi-5, Ymi-7 e Ymi-8 e, Campo Ybytyryzú a leste, com os corpos Yzu-1, Yzu-2, Yzu-3 e Yzu-6. Um grupo adicional de corpos (Yzu-4, Yzu-10) é apresentado em uma descrição e preliminar das suas feições minerais e petrológicas macroscópicas. Como objetivo adicional, faz-se necessário uma discussão sobre sua colocação no ambiente tectônico e sua instalação estrutural no contexto tectônico identificado. Além disso dedicaram-se algumas linhas dos capítulos para estudar o potencial das informações relevantes aos dados termodinâmicos que possam evidenciar algumas fases minerais. Finalmente, foi observado atentamente os aspectos do potencial econômico que as rochas assinalam.

Cabe assinalar que no decorrer dos capítulos desta tese, as rochas estudadas serão referidas genericamente pelo termo textural **rochas “lamprofíricas”**

Localização da área

Na Figura 1-1 apresenta-se a localização da área de estudo, situada entre as latitudes: 25°30'S e 26°00'S e as longitudes 55°45'W e 57°30'W. A área acha-se compreendida pelas folhas topográficas 1:250000 de Asunción e Villarrica. O acesso à área se faz pela rodovia nº I de Asunción a Carapeguá, e daí tomando a rodovia nº IX de Carapeguá a La Colmena. Já a parte oriental se faz pela rodovia nº II de Asunción a Cnel. Oviedo, entrando sentido sul na rodovia nº IV de Cnel. Oviedo a Mbocayaty; deste último local segue pela estrada sentido leste para Col. Independencia.

Trabalhos anteriores

Informações sobre aspectos gerais da geologia do Paraguai são sintetizados no Projeto PAR 83/005 (1986). Presser (1992) levanta alguns aspectos da geologia da Folha La Colmena (1:50000) no centro/borda da porção W do *rift de Asunción* (RA). Orué (1996) faz um apanhado dos aspectos geológicos vinculados com a colocação

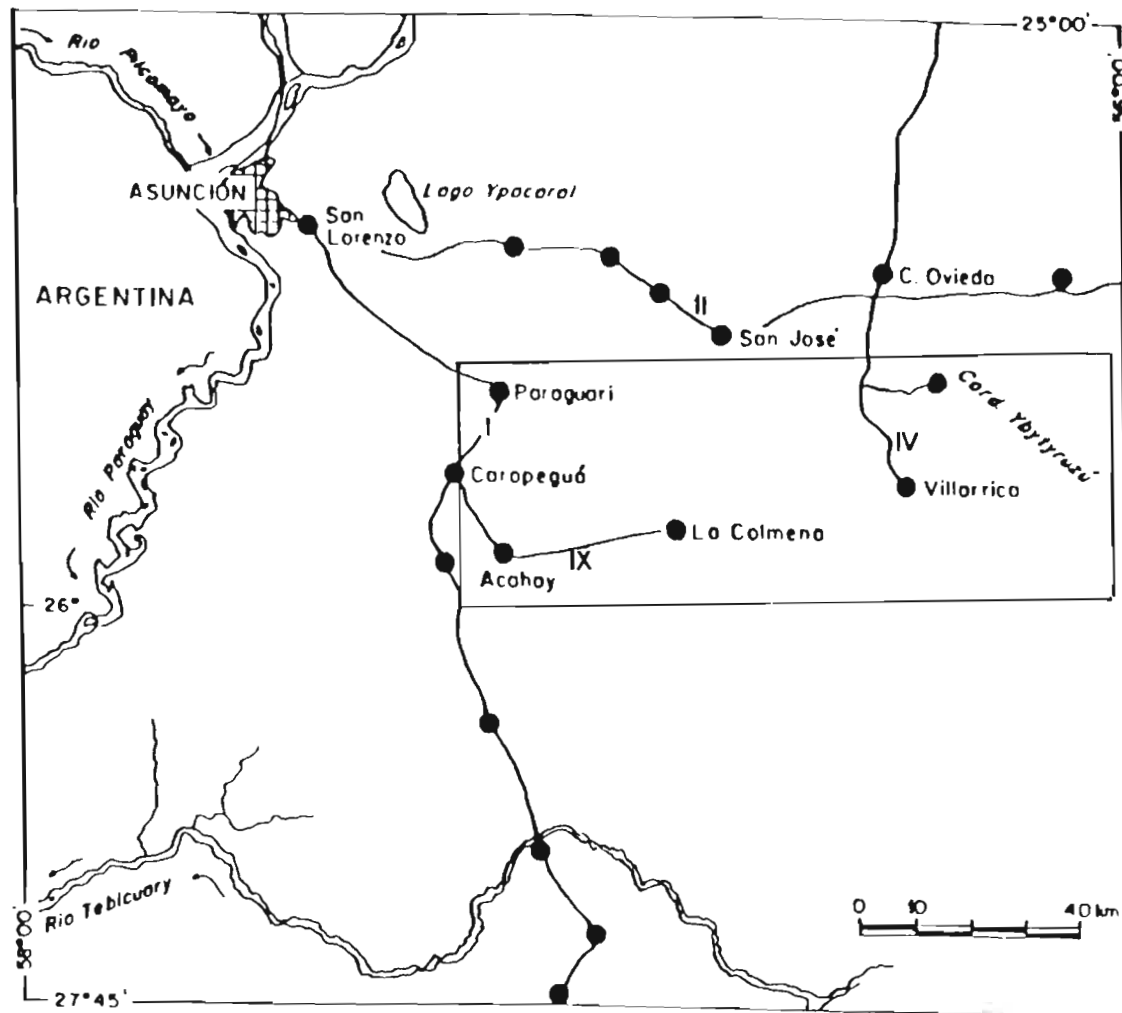
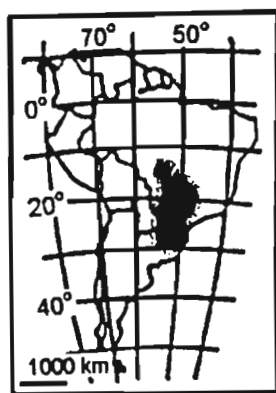


Figura 1-1. Toponímia e localização das áreas estudadas (retângulo). A esquerda em pontilhado a Bacia do Paraná. Em romano os n^{os} das rodovias (I, II, IV e IX).

dos magmas alcalinos que ocorrem nas distintas províncias alcalinas do Paraguai. O primeiro trabalho, de classificação petrográfica e petroquímica das rochas vulcânicas de Sapucaí (Figura 1-1) deve-se a Palmieri (1971, publicado em Palmieri & Arribas, 1975). Muitos anos depois Bitschene (1987) re-acende o interesse pelas rochas alcalinas mesozóicas, sobretudo as vinculadas com o chamado *rift de Asunción* (RA). Com este trabalho são conhecidos os mais completos dados petroquímicos (elementos maiores e traços junto a isótopos de Sr e idades radiométricas K/Ar) da região. Bitschene (1987) foi também o primeiro a referir à presença de rochas ultrapotássicas (*lamproitische ganggesteine phonolithe, trachyte*) na cordillera del Ybytyryzú (Bitschene et al., 1986).

Anos depois seguiram-se os trabalhos de Presser (1991; 1994) reportando a ocorrência de lamproítos e pipes diamantíferos no R.A; Velázquez (1992) que aporta novos dados de geocronologia sobre o magmatismo desta região; Presser (1992) que apresenta dados da geologia e petrografia pertencentes a uma porção do Campo magmático Ybytymí; Comin-Chiaramonti et al. (1992) com dados petroquímicos e de química mineral caracterizaram as rochas vulcânicas do Campo Ybytymí como sendo similares a que ocorrem na Província magmática Romana.

Trabalhos recentes em Comin-Chiaramonti & Gomes (1996) reúnem, extensamente, dados petrográficos, de química mineral, petroquímicos (elementos maiores e traços junto a isótopos de Sr e Nd) e geocronológicos do vasto número de ocorrências de rochas alcalinas potássicas (vulcânicas e plutônicas) do RA e regiões vizinhas. Estes trabalhos foram sintetizados num artigo de Comin-Chiaramonti et al. (1997)

Métodos utilizados

Os métodos utilizados compreenderam trabalhos de campo, de laboratório e de escritório.

Trabalhos de campo

Foram mapeados quatro *pipes*, uma intrusão de brecha-lava, um plug, alguns diques e um sill, utilizando-se como base as cartas topográficas do Instituto Geográfico Militar na escala 1:50.000, as Folhas La Colmena e Acahay e 1:250.000 as folhas Asunción e Villarrica; e algumas fotografias aéreas (1:50.000) que cobrem a folha La Colmena e regiões vizinhas. Somaram-se os mapas geológicos 1:500.000 (T.A.C., 1981) e os publicados nos trabalhos de Bitschene (1987) e Presser (1992). Acrescentaram-se para os trabalhos regionais (ex. tectônicos) imagens satélites em várias escalas e tipos.

A amostragem totalizou aproximadamente 60 espécimes, incluindo rochas frescas de pipes, plugs, sills e diques, amostras de furo de sondagem executados em 2 pipes e amostras de superfície e sedimentos de corrente colhidas em afloramentos e correiros que cortam os pipes ou associados a eles.

Os trabalhos de campo foram realizados em várias etapas distribuídas como segue:

*1990 excursões do programa de mestrado, sob à orientação do Prof. Dr. H.G.J.H. Ulbrich, aos pipes Ymi-1, Ymi-4 e Ymi-8 e o plug Ymi-5, sendo a amostragem realizada com a colaboração do Geólogo Adolfo Baez;

*03/93 excursão do programa de pesquisa sobre responsabilidade do Prof. Dr. R.N. Thompson, às regiões do Campo Ybytymí (Ymi-1, Ymi-4 e Ymi-5) e as do Campo Ybytyruzú (Yzu-1, Yzu-2, Yzu-3 e Yzu-6);

*01/95 excursão do programa de doutoramento, sob à orientação do Prof. Dr. Excelso Ruberti, as regiões do Campo Ybytymi (Ymi-1 e Ymi-8, entre outros);

*08 a 10/97 Campo Ybytyruzú, regiões de Mbocayaty-Col. Independencia e vizinhanças (Yzu-10), com a colaboração dos Srs. B. Gonzales, N. Gonzales, Amarilla, F. Gayoso e E. Bogarim.

Trabalhos de laboratório

Neste item contempla-se a separação de minerais pesados, a petrografia, a química mineral e o tratamento dos resultados da química mineral.

Separação de minerais pesados

Foram amostrados 3 furos de sondagem em 2 *pipes*, com profundidades entre 1 e 2 m com a finalidade de obter-se material vulcânico *inquebrantado* de 30 a 60 kg, ele encontrando-se totalmente alterado. A este somou-se, separadamente, 100 kg de sedimentos de corrente.

No laboratório de tratamento de amostras do DMP/IGc/USP algumas amostras foram secadas à temperatura ambiente, como também em estufa com $T < 100^{\circ}\text{C}$. Os diferentes volumes de amostras já secas, foram peneiradas para a retirada das frações entre 0.5 e 0.25 mm para seu processamento com líquidos densos. A partir dessas frações obteve-se um primeiro concentrado separado com bromofórmio. O concentrado foi examinado em lupa binocular, para separar os grãos de turmalina para montagens de seções polidas. Um segundo concentrado obteve-se com iodeto de metileno, concentrando-se grãos de espinélio, ilmenita, rutilo, zircão e “diamante”. Foram separados e fotografados os concentrados obtidos com auxílio de uma lupa binocular Zeiss do laboratório de óptica do IGc/USP. O material restante foi atacado com ácido HF (conc.) durante 07 a 10 dias e em ocasiões diversas também com HF+solução levemente alcalina., para diluição maior dos silicatos com feições parecidas ao diamante. O resíduo limpo foi empregado para montagem de seções polidas.

Com auxílio de uma microsonda eletrônica marca JEOL SUPERPROBE 8600s com cinco espectrômetros contendo os cristais WDS LIF, TAP, PET, STE, as seções previamente cobertas com película de carbono foram analisadas seguindo as condições de trabalho seguintes: potencial de aceleração 15kv; corrente da amostra 20nA e tempo de interação 10 a 30 segundos.

*O programa utilizado para análises de silicatos (ex. turmalinas), e em grande número de amostras também para minerais óxidos, determinou os seguintes óxidos:

SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Cr₂O₃, FeO, NiO, MnO, MgO, CaO, BaO, Na₂O e K₂O.

*O programa utilizado especialmente para análises de óxidos forneceu:

SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Cr₂O₃, FeO, NiO, MnO, MgO e ZnO.

*O programa utilizado para análises de zircões forneceu:

SiO₂, ZrO₂ e TR₂O₃ (Ce, Nd, Pr, La, Eu, Sm, Nb, Y, Gd e Th).

Os dados foram corrigidos para radiação de fundo, drift e efeitos de matriz ZAF pelo programa de uso interno do laboratório.

Petrografia

Foram confeccionadas aproximadamente 65 seções delgadas no laboratório de laminação do IGc/USP. Dessas algumas pertencem a amostras de pipes, plugs e diques estudados no programa de mestrado (1987-1992) sob orientação do Prof. Dr. H.G.J.H. Ulbrich. Os estudos petrográficos foram conduzidos com auxílio de um microscópio Zeiss do laboratório de óptica do IGc/USP para descrição, contagens de pontos (10 amostras com 500 a 1000 pontos por seção) e fotografia das lâminas.

Porquanto que o grupo das rochas estudadas neste trabalho caem dentro das chamadas rochas incomuns os enmarcos para uma classificação nem sempre são de tarefa fácil. A literatura especializada (Rock, 1991; Mitchell & Bergman 1991; Mitchell, 1995a) mostra que tanto as feições químicas de rocha como de minerais os limites geoquímicos entre os grupos de rochas (p/ex. entre as ultrapotássicas) se sobrepõem isto resultando muitas vezes em confusões na caracterização adequada.

Como tarefa de rotina deste trabalho, a caracterização petrográfica das rochas estudadas seguiram-se os procedimentos:

*a determinação do nome petrográfico com base a predominância de um ou mais mineral, conforme sugerido pelo IUGS (cf. Wolley et al. 1996);

*a seguir se buscou a caracterização mineral, através de análises químicas visando aprimorar a determinação petrográfica;

*posteriormente as rochas foram comparadas com rochas similares descritas na literatura;

*finalmente, procedeu-se a uma caracterização aprimorada das rochas estudadas. E num capítulo final tenta-se uma caracterização definitiva.

Química mineral

Foram confeccionadas 37 seções delgadas polidas no laboratório de tratamento de amostras da microsonda eletrônica do IGc/USP. Dessas, foram selecionadas 35 seções para microanálises na microsonda eletrônica nas condições de trabalho já comentadas no item anterior. Desse trabalho resultaram cerca de 50 a 100 análises por seção obtidos nos minerais principais dessas rochas.

Recálculo catiónico mineral e classificações

Olivina, piroxênio, mica (flogopitas e biotitas), anfibólios, feldspatos e feldspatóides foram tratados (recalculos e classificação) no programa Minpet2.0 (Copyright 1988-1994 by Linda R. Richard).

*Olivinas foram normalizadas para 4 oxigênios e classificados em função das variáveis $mg\# = (Mg/(Mg+Fe^{2+}))$ vs $Fe\# = (Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg))$ num diagrama binário que separa os campos do forsterita-crysolita-hyalosiderita-hortonolita-ferro hortonolita-fayalita.

*Piroxênios foram recalculados segundo o esquema de Yoder & Tilley (1962, citado em Minpet 2.0), sendo normalizados para 6 oxigênios e recalculados para quatro cations empregando-se o método de balanço de carga para o cálculo do Fe^{3+} . Já os cations foram locados no sítio estrutural conforme as recomendações do IMA e os *end members* foram recalculados empregando o método de Cawthorn & Collerson (1974, citado em Minpet 2-0). No apêndice mostram-se os *end members* e os valores requeridos para a classificação. Nos casos em que os piroxênios apresentaram valores elevados de Ti empregaram-se os prefixos **titanífero** (titanium) quando $TiO_2 > 2\%$ e **titanado** (titam) quando o TiO_2 situou-se entre 1-2%. De modo similar quando $Al_2O_3 > 2\%$ emprego-se o termo **aluminoso**.

*Micas foram normalizadas para 22-oxigênios considerando que a microsonda eletrônica não permite analisar OH e que não foi analisado F e Cl. Com base ao recálculo que realiza o programa Minpet 2.0 foram obtidos o número de cations Si, Fe²⁺, K, Al^{IV}, Cr, Σ_T, Al^{VI}, Mg, Ti, Ca, e Na. Elas foram classificadas, após uma primeira separação baseada na razão Mg:Fe =2:1 (Deer et al., 1966) i.e., $Fe/Mg < 0.5$ =flogopitas e $Fe/Mg > 0.5$ =biotitas. As que em função do valor do Fe# vs Al, foram lançadas num diagrama binário que contempla os campos da flogopita-annita-eastonia-siderofilita. Assim eles, também foram classificadas com base no diagrama ternário Mg-Al-Fe (Rock, 1984) que contempla os mesmos *end members*. Empregou-se os prefixos **titanífero** quando TiO₂>2% e **aluminoso** quando o Al^{VI} esta presente neste mineral.

Anfibólios foram normalizados para 21 oxigênios, tendo em vista que a microsonda eletrônica não analisa OH e que não foram dosados Cl e F com o cálculo dos cátions TSi, TAl, TFe³ Sum_T, CCr, CFe³, Cti, CMg, CFe², CMn, CCa, ΣCBMg BFe², BMn, BCa, BNa, ΣBACa, ANa, AK, ΣA. O recálculo catiônico foi realizado empregando a opção Fe como Fe²⁺. As classificações foram feitas conforme Hawthorne (1981, in Minpet 2.0) que procede, em primeiro lugar em separar-los em 4 maiores grupos de anfibólios: grupo BCa+BNa-BNa = anfibólios de Fe-Mg-Mn, anfibólios cálcicos, anfibólios sódico-cálcicos e anfibólios alcalinos.

O recálculo catiônico e classificação que o Programa Minpet 2.0, na versão 1988-1994, empregou baseia-se no esquema dado por Leake (1978); recentemente o IMA (Leake et al., 1997) introduziu algumas modificações neste esquema de classificação. Levando em consideração as novas recomendações do IMA, como tarefa de rotina se procedeu da seguinte forma:

↓

locar os anfibólios

*nos diagramas de classificação geral (BNa-BCa+BNa),

↓

deles separadamente analisar

*nos diagramas dos anfibólios de Fe-Mg-Mn (Mg#-TSi);

↓

*nos diagramas do grupo cálcico com $ANa+AK < 0.5$; $Ti < 0.5$ ($Mg\#-TSi$);

⇓

*nos diagramas do grupo sódico cálcico com $ANa+AK < 0.5$ ($Mg\#-TSi$);

⇓

*nos diagramas do grupo alcalino com $ANa+AK > 0.5$ ($Mg\#-Fe^{3+}/(Fe^{3+}+CAI)$).

A partir destes diagramas de classificação se adaptaram as modificações introduzidas pelo IMA ao esquema de Leake (1978), por exemplo os anfibólios alcalinos agora denominados de sódicos). Os anfibólios caracterizados como sódicos segundo Leake et al., (1997), por exemplo os de Yzu-2 e Ymi-1, foram assim classificados seguindo o fluxograma de classificação abaixo:

*Selecionaram-se

anfibólios com $Na_B > 1.50$; $(Mg+Fe^{2+}+Mn^{2+}) > 2.5$;

$(Al^{VI} \text{ ou } Fe^{3+}) > Mn^{3+}$; $Li < 0.5$; $(Mg \text{ ou } Fe^{2+}) > Mn^{2+}$

separados todos os anfibólios de Yzu-2 e Ymi-1 (10.c.001)

⇓

*quando $Mg\#$ 0.5-1.0

se $(Na+K)_A < 0.50$

ou

se $(Na+K)_A > 0.50$

⇓

glaucofana

eckermanita

nyboita

$(Al^{VI} > Fe^{3+})$

riebekita magnésiana

arfvedsonita magnésiana

ferrinyboita

$(Al^{VI} < Fe^{3+})$

*porém se o $Mg\#$ 0.0-0.5

⇓

glaucofana ferrosa

eckermanita ferrosa

ferronyboita

$(Al^{VI} > Fe^{3+})$

riebekita

arfvedsonita ferri=ferronyboita

(Al^{VI}<Fe³⁺)

Conquanto que os valores de Fe³⁺ sejam geralmente <0.00, foram caracterizados como **eckermanita ferrosa** em Yzu-2 e **eckermanita** (Mg#>0.5) em Ymi-1. Outros detalhes podem ser obtidos em Leake et al. (1997).

São classificados como riferita alguns anfibólios de Yzu-2 quando têm os cations recalculados com a opção 15-NK ou 13 CNK ; enquanto que na opção Fe²⁺ (medido como FeO) são classificadas como eckermanita ferrosa.

São também aplicados prefixos adicionais aos nomes dados pelos diferentes esquemas de classificação:

potássico: K>0.50 (todos os grupos);

sódico: Na>0.50 (somente no Grupo de Mg-Fe-Mn);

titanífero (*titano*): Ti>0.50 (todos os grupos com exceção da kaersutita).

No esquema de classificação dos anfibólios de Mg-Fe-Mn (Mg-Fe-Mn-Li) de Leake et al., (1997) foram suprimidos diversos nomes, seguindo as recomendações do IMA:

os nomes: magnésio antofilita por antofilita;

magnésio cummintonita por cummingtonita;

hornblenda tremolítica por magnésiohornblenda;

hornblenda actinolítica por magnésiohornblenda

fero-actinolita hornblenda por ferrohornblenda

Tschermakitic hornblenda por tschermakita

Ferro-tschermakitic hornblenda por ferrotschermakita. Estes critérios serão levados em consideração no decorrer do presente trabalho.

*Feldspatos foram normalizados para 32-oxigênios e classificados em função dos valores moleculares de Or (ortoclásio)-Ab (albita)-An (Anortita). Muitos feldspatos alcalinos apresentaram também elevados tenores de Fe₂O₃ e/ou elevados teores de BaO, apesar disso eles foram recalculados com os procedimentos empregados para os feldspatos comuns (Or-Ab-An). Contudo nas caracterizações daqueles com teores elevados em Fe₂O₃ (>1%) e BaO (>1%) acrescentou-se os prefixos **rico em ferro**

e/ou **rico em bário** em lugar de expressar-lhes em termos das moléculas de feldspato férrico ou hyalofana.

*Feldspatóides foram todos padronizados como tratando-se de leucita, i.e. com base a 6-oxigênios. Para classificações (leucita e analcimas) foram considerados os tenores em potássio e sódio.

*Carbonatos foram classificados com base no diagrama Calcita-Magnesita-Siderita (Rock, 1991), i.e. valores moleculares dos óxidos CaO-MgO-FeO presentes nos carbonatos.

*Espinélios, após cálculo do Fe_2O_3 (ver item seguinte), os dados foram lançados nos seguintes diagramas:

- diagramas binários: Cr# vs Fe# empregado sobretudo para caraterizar espinélios ricos em Cr; Ti# vs Fe# empregados para caraterizar sobretudo espinélios ricos em Ti ;
- diagramas ternários: 2Ti-Cr-Al para caraterizar os mesmos espinélios ricos em Ti; MgFe₂O₄-MgAl₂O₄-MgCr₂O₄ para caraterizar os mesmos espinélios ricos em Cr e MnFe₂O₄-MnAl₂O₄-Mn₂O₄ para caraterizar espinélios ricos em Mn (espinélios correntemente não considerado nos diagramas acima citados). Nestes últimos adicionou-se os adjetivos **rico em manganês**, quando $\text{MnO} > 2\%$ e **manganesífero** quando o MnO 1-2%. Estes procedimentos seguem as recomendações de Deer et al. (1966), Mitchell (1986; 1995), Mitchell & Bergman (1991), Haggerty (1994). Detalhes da caraterização são discutidos no Capítulo 3.

Ilmenitas, após cálculo de Fe_2O_3 (ver item seguinte), os dados foram lançados nos diagramas ternários $\text{TiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-FeO}$, $\text{Fe}^{3+}\text{-Mg-Fe}^{2+}$ (1) e $\text{Mg-Fe}^{2+}\text{-Mn}$ (2) para fins de resaltar a predominância dos componentes moleculares finais:

hematita-geykelita-ilmenita (1) e geykelita-ilmenita-pyrofanita (2)

Cálculo de Fe_2O_3 em espinélios e ilmenitas.

As análises realizadas na microsonda eletrônica fornecem valores do ferro como FeO_t (ferro total). A grande maioria dos espinélios, como também a grande maioria

das ilmenitas, representam soluções sólidas de componente finais (*end members*) (Haggerty, 1976). Em espinélios e ilmenitas, por exemplo, é imperativo recalcular os valores de Fe_2O_3 tendo em conta que eles têm importância fundamental no cálculo dos componente moléculares finais presentes nos espinélios e também nas ilmenitas (Haggerty, 1994).

Para o recálculo do FeO e Fe_2O_3 , a partir de FeO total analisado, o método mais aceite pelos pesquisadores é aquele de Finger (1972). Este método foi revisado especificamente para os espinélios e as ilmenitas por Lucas et al. (1989).

No presente trabalho adotou-se o método de Finger (1972) para a estimativa do Fe_2O_3 presente nos espinélios (525-recálculos) e ilmenitas/pseudobroquita/rutilos (164-recálculos). Os dados foram listados em planilhas do programa Exel-6 e 7 os espinélios foram normalizados para 32 oxigênios e perfazendo um total de 24 cátions, enquanto que as ilmenitas e outros titanatos similares foram normalizados para 3 oxigênios.

Como as planilhas foram montadas com base ao exemplo de Lucas et al. (1989); é encontrado na página 320:

Calculate weight % Fe_2O_3 :

$Y/(Z+Y) \times A \times B =$ esta fórmula encontra-se errada e deve ser substituída por

$Y/(Z+Y) \times C \times B =$

Quando emprego-se este mesmo método para o recálculo do Fe_2 e Fe_3 em pseudobroquitas, a Σ de anions sobrepasaba 4 e assim o método não permitia o recálculo. Para dar uma saída emprego-se o recurso de subtrair 1 da Σ de anios.

Constantes e razões

No texto, quando necessário foram empregadas constantes para o cálculo de elemento a partir do óxido medidos nos diferentes minerais analisados. As constantes são:

$\text{SiO}_2 \times 0.4674 = \text{Si}$, $\text{TiO}_2 \times 0.5995 = \text{Ti}$, $\text{Al}_2\text{O}_3 \times 0.5293 = \text{Al}$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \times 0.6994 = \text{Fe}^{3+}$,
 $\text{FeO} \times 0.7773 = \text{Fe}^{2+}$, $\text{MnO} \times 0.7745 = \text{Mn}$, $\text{MgO} \times 0.6031 = \text{Mg}$, $\text{CaO} \times 0.7147 = \text{Ca}$,

$\text{Na}_2\text{O} \times 0.7419 = \text{Na}$, $\text{K}_2\text{O} \times 0.8302 = \text{K}$, $\text{P}_2\text{O}_5 \times 0.4364 = \text{P}$, $\text{BaO} \times 0.8957 = \text{Ba}$,
 $\text{Cr}_2\text{O}_3 \times 0.6842 = \text{Cr}$, $\text{NiO} \times 0.7857 = \text{Ni}$.

As razões empregadas no texto foram as seguintes:

$\text{mg\#} = \text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$, $\text{Fe\#} = \text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Mg})$, $\text{Fe}^{3\#} = \text{Fe}^{3+}/(\text{Fe}^{3+} + \text{Fe}^{2+})$, $\text{Cr\#} = \text{Cr}/(\text{Cr} + \text{Al})$ e $\text{Ti\#} = \text{Ti}/(\text{Ti} + \text{Cr} + \text{Al})$.

Trabalhos de escritório

Os trabalhos de escritório compreendem o tratamento dos dados da química mineral utilizando-se os programas Exel 6.0 e 7.0 e Minpet 2 e 2.0 compatíveis com o programa Windows 95; a redação do texto em Word for Windows 7.0

Observações

- No texto palavras em outros idiomas estão declinadas, ex. *pipe*.
- Quando empregado entre aspas (ex. "lamprófiro") pretende-se dar ao termo uma conotação de caráter temporário ou com o intuito de agrupar, por exemplo rochas com feições similares.

CAPÍTULO 2

GEOLOGIA

Introdução

Cráton é definido como a parte relativamente estável do continente, ou do interior da placa continental, não afetada pela atividade tectônica de suas margens. Como condições básicas nos crátons são necessárias: estabilidade relativa, antigüidade e transitoriedade, espessura litosférica privilegiada e baixo fluxo térmico (Brito-Neves, 1995). As Tabelas 2-1 e 2-2 fornecem esquematicamente algumas das feições gerais dos crátons. Levando em consideração as idades que podem ser reconhecidas e agrupadas nos crátons, Janse (1985, 1994) os divide em três maiores blocos:

1-Archon -rochas do embasamento com idade do Arqueano, que tem como seu último evento termal a idade de 2500 Ma.

2-Proton -rochas do embasamento com idade do Proterozóico tardio a médio (2500-1600 Ma), e que têm Como seu último evento termal a idade de 1600 Ma.

3-Tecton -rochas do embasamento com idade do Proterozóico tardio (1600-800 Ma), e com idade do último evento termal de 800 Ma.

Crátons são reconhecidos nas Américas, Europa, Asia, África, Ártico (p/ex. *Canadian Shiel*), Antártica e Austrália, e sua distribuição pode ser encontrada em Janse (1994).

Na Plataforma Sul-Americana, considerada como totalmente formada no evento Pan Africano (Almeida et al., 1984; Schobbenhaus & Campos, 1984) são reconhecidos 4 crátons: **Amazônico**, **São Luís**, **São Francisco** e **Rio de la Plata** (Almenida 1971, 1978; Brito-Neves & Cordani 1991; Brito-Neves et al. 1996; Janse 1985; Svisero 1994; Tompkins 1994; Trompette 1994).

| CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS GERAIS | | |
|--|------------|--|
| a) Fração/parte relativamente estável, isostaticamente positiva da litosfera continental (> 100 Ma). Áreas não submetidas à deformação nem a eventos tectônicos importantes (não afetada pela atividade contemporânea das bordas das placas litosféricas, ou muito pouco afetada). | | |
| b) Caracterizam-se por áreas de litosfera continental muito espessa (300-400 km, 450 km), com material silício na ordem de 40 km. | | |
| c) Apresentam dois estágios estruturais/estratigráficos separados por discordância angular importante: | | |
| Coberturas | 0 a 7 km | = Bacias Sedimentares |
| Embasamento | 25 a 35 km | = Exposto em Escudos, Maciços, "altos" |
| d) As características de estabilidade, antiguidade e transitoriedade relativas são requisitos. A natureza transitória no tempo deve sempre adicionada: De quem? Quando? Que ciclo? | | |
| e) O zoneamento tectônico do cráton deve distinguir núcleos mais estáveis ("Full cratonic areas"), das áreas marginais e/ou corredores internos de deformação em condições cratônicas (Antepaís, "Foreland") | | |
| f) Quanto à idade, têm sido distinguidos precariamente os crátons e plataformas: Velhas ou Verdadeiras = Estruturas Pré-Cambrianas predominantes Jovens ou Pseudoplatformas = Pós-proterozóicas (discutíveis) | | |
| g) Os crátons crescem queogenicamente, com núcleos hospedeiros ou sementes, sendo circundados por anéis de colagens orogênicas (proterozóicas, fanerozóicas), nem sempre completas e ordenadas. | | |
| h) O desenvolvimento/justaposição de cada nova colagem pode redefinir o núcleo cratônico precedente, em geral na periferia deste. A deformação sobreposta em geral é do nível estrutural raso e pouco penetrativa (germanotipo), e excepcionalmente dúctil e penetrativa (alpinotipo), "regenerando" o cráton. | | |
| i) A definição dos limites dos crátons varia com a escola tectônica ("fixistas" x "plauquistas", antigos e modernos), com o método geológico e geofísico de abordagem e a escala do conhecimento. É um problema que carece reavaliação sempre, com o progresso do conhecimento. | | |
| j) Em termos de tipos crustais continentais, a expressão global atual dos domínios cratônicos é majoritária com de cerca de: 23% em área e 47% em volume | | |

*Há proposta de comissão específica da IUGS para utilizar os termos:
cráton = domínios de embasamento consolidado nos ciclos pré-cambrianos ("velho")
plataforma = domínio de embasamento consolidado no final do Pré-Cambriano/Eopaleozóico.
Mas, em geral, é proposta não seguida.

Tabela 2-1. Características geológicas dos crátons, conforme Brito-Neves (1995).

O cráton Rio de La Plata

O cráton Rio de La Plata foi definido por Almeida et al. (1973) englobando a porção Uruguai e os arredores da Serra de Tandil na Argentina. Posteriormente, foi estendido rumo ao norte (Fragoso-Cesar & Soliani, 1984) para incluir, sucessivamente: as janelas de Rivera, ao oeste, e Acegúa, a leste, localizados no interior da Bacia do Paraná, próximas à fronteira Uruguai-Brasil; leste do Rio Grande

 ALGUMAS CARACTERÍSTICAS GEOFÍSICAS

- a) Espessuras litosféricas muito elevadas, 300-400 km (Tectosfera), com Zona de Baixa Velocidade ausente ou presente a grandes profundidades e pobremente definida. Existe uma relação estreita entre a espessura da tectosfera e a idade, estando as zonas mais espessas sob os núcleos cratônicos, acompanhando o movimento das massas continentais.
- b) Os modelos usuais mecânicos ("litosfera elástica") e termais (condução de calor por condução) são inconsistentes para explicar as profundas "assinaturas" sismológicas abaixo dos crátons. Estas raízes profundas, baseadas em evidências sismológicas, petrológicas, isotópicas e geoquímica são em favor de um reservatório mantélico de baixa densidade ("depleted" por várias razões), distinto daqueles das faixas móveis e de outros tipos crustais.
- c) Secção Crustal muito variável em composição litológica e geoquímica latero-verticalmente. Espessuras crustais 35-40 km.
- d) Perfil sísmico com modelos usualmente variáveis, com camada sedimentar (0 a 6 km, $V_p = 2-4$ km/s), camada superior (10 a 25 km, $V_p = 6-6,2$ km/s), camada inferior (16-30 km, $V_p = 6,5-6,9$ km/s). Moho = Refletor variável de intensidade e caráter, muito simples a muito complexo
- e) Sismicidade - Pequeno número de terremotos rasos, alguns concentrados ao longo de zonas de falhas, outros distribuídos esparsamente. Baixa magnitude em geral, excepcionalmente de grandes magnitudes.
- f) "Stress" - Em geral estágio de "stress" compressivo horizontal dominante. Orientação e magnitudes coerentes e uniformes sobre amplas áreas (onde conhecido). Exceções locais - zonas de riftes e platôs - com zonas de extensão!
- g) "Strain" - Taxas de deformação baixas, coerentes com os campos de "stress". Indicações diversas de encurtamento nos campos compressivos.
- h) Fontes do "stress" - Apesar do pequeno número de dados há boa correlação mundial entre os campos de "stress" e a trama de velocidade absoluta das placas. A rede de forças nas zonas dos limites das placas ("ridge push", "slab pull", "trench suction") e outros oriundos das relações litosfera/astenosfera) são as principais fontes renováveis.
- i) Fluxo Térmico, os valores mais baixos e menos variáveis entre os tipos crustais em geral, a saber:
- | | |
|--|---|
| Dominios Arqueano-Proterozóico Antigo: | $20 \pm 8 - 49 \pm 8$ mWm ⁻² |
| | 41 ± 10 mWm ⁻² |
| Dominios Proterozóico Superior: | 50 ± 5 mWm ⁻² |
| Dominios Paleozóicos (Jovens): | 62 ± 20 mWm ⁻² |
- Nas zonas ativadas de riftes e platôs os valores se elevam bastante entre 60 e 107 mWm⁻² (1,5 ou 2,68 HFU).
O Fluxo térmico, portanto, cresce com o decréscimo em idade do último maior evento termal que afetou a região.
- j) Os gradientes geotérmicos sob os crátons são os mais fracos, de modo que a curva de temperatura com a profundidade mostra sempre as menores inclinações. Com a espessura da tectosfera aumenta com a idade da crosta, paralelamente a isto vai diminuir também o fluxo de calor. Estruturas compressionais (mais raras) requerem altas taxas de fluxo térmico e/ou esforços mais elevados do que aqueles gerados nos limites de placas, muito superiores aqueles gerados por simples "ridge push".
- k) Resistência Mecânica - Estruturas extensionais dentro do cráton são possíveis sob condições termais anormais e mediante "stresses" muito elevados, advindo de condições excepcionais da atividades de interação de placas.
- m) Anomalias Magnetométricas - Padrões amplos de anomalias rotacionais, com amplitudes de algumas centenas de gammas, e larguras de 10 a 100 km, comprimento de centenas de milhares de quilômetros. Variável bastante com as associações petrotectônicas mais rasas.
- n) Anomalias Gravimétricas - Caracterizados por amplas anomalias regionais de -10 a -50 mgal, com acentuadas anomalias locais. Valores mais elevados entre os tipos crustais continentais (exceto mares interiores).

Tabela 2-2. Algumas características geofísicas dos crátons, conforme Brito-Neves (1995)

do Sul ou bloco Taquarembó, e os blocos Encruzilhada e São Gabriel; e finalmente, no norte, o bloco cratônico chamado de Luís Alves (Trompette, 1994). Entretanto Soliani (1986) comenta que os blocos Encruzilhada e São Gabriel representam embasamento polimíctico reativado, o cinturão Dom Feliciano, no Brasileiro. Por outro lado também Kaul, (1980) questiona a incorporação do bloco cratônico Luís Alves, uma vez que este articulado ao bloco Angolano do Cráton do Congo, hipótese esta de difícil comprovação. Segundo Trompette (1994) é tomado como mais razoável de assumir que o Cráton Congo-Zaire acaba por baixo dos sedimentos da bacia costeira Angolana.

Desta forma, o termo Cráton Rio de La Plata, apesar dos problemas ainda existentes na sua definição, é empregado no sentido de Trompette (1994) incluindo as áreas a partir de Serra Tandil, na Argentina até o bloco Luís Alves, no Brasil . Conforme Mantovani et al. (1987) o Cráton Rio de La Plata registra como eventos termais de acreção que oscilam do Arqueano (3.3 Ga.) ao Proterozóico médio (1.3 Ga), i.e. *Arcon a Tecton* segundo a nomenclatura de Janse (1994).

O Cráton Rio de La Plata, está bem representado no Uruguai (Dalla Salda et al., 1988; Hallinan et al., 1993; Trompette, 1994, Fragozo Cesar & Machado, 1997; Cingolani et al., 1997), sendo contornado á ESE pelo cinturão Dom Feliciano (Basei, 1985; Trompette,1994; Chemale et al., 1997); e sens limites a WNW então encoberto sob as rochas sedimentares da Bacia do Paraná (Trompette, 1994). Aqui o cráton consiste de uma ampla associação de Terrenos do Arqueano, soldados por faixas móveis mais novas. Os terrenos do Arqueano (>2 Ga) incluem complexos de rochas granitóides com ilhas de diversa litologias de rochas metamórficas conhecidos como **Terrenos de Piedra Alta** (Cingolani et al. 1997) ou também Como **Terreno Tijucas** (Fragoso Cesar & Machado, 1997, ver também Chemale, Jr. et al., 1997). O **Terreno Nico Pérez**, englobam áreas granulíticas e áreas gnáissico-granito-migmatíticas e que sofreram retrabalhamneto no Brasileiro (cf. Hallinan et al., 1993) sendo também considerados como terrenos muito antigos, i.e. Terrenos Arcon. Entre os terrenos antigos se conhecem três maiores faixas móveis: **Faixa San José**, **Faixa Montevideo** e **Faixa Arroyo Grande** (Cingolani et al., 1997). Eles são compostos por rochas metasedimentares com intercalações de rochas metavulcânicas. (Trompette, 1994) i.e. Terrenos Proton. Segundo Fragozo-Cesar & Machado (1997) os terrenos a leste estão representados por faixas de granitóides

Neoproterozóicas (~0.8-0.55 Ga) Dalla Salda et al. (1988), Cingolani et al. (1997), i.e. Terrenos *Tecton*. Esta mesma feição pode ser observado também nos crátons de São Francisco (Texeira, 1992), Amazônico (Colombo 1996), como também em crátons de outras partes do mundo (ex. Kaminsky et al., 1995; Helmstaedt & Gurney, 1995; White et al., 1995) i.e. pedaços de Terrenos *Arcon* ficaram entre eles soldados por faixas *Proton* e *Tecton* e, ao conjunto consolidado referência-se como cráton.

Na parte norte do Uruguai e no Brasil ocorrem duas *janelas do embasamento antigo*, **Rivera e Acegúa** compostas de granito-gnaisses (2272±33 Ma) intrudidos por granitóides brasileiros (580-690 Ma): (Soliani, 1986). No Rio Grande do Sul tem-se encontrado o **bloco Taquarembo**, consistindo maiormente de granulitos Transamazônicos 1980 a 2370 Ma, com idade Pb/Pb 2541±167-169 Ma, indicando a existência de um pequeno núcleo arqueano (Trompette, 1994), i.e. Terrenos *Arcon*. Juntando-se a eles, entre os estados de Santa Catarina e Paraná, são encontrados três maiores domínios tectônicos (Basei et al., 1992): **Luis Alves** (2.3-3.1 Ga), **Curitiba** (2.3-2.8 Ga) e **Paranaguá** (~1.97 Ga) (Basei et al., 1997; Siga Jr. et al., 1997; Harara et al., 1997). Estes últimos são terrenos compostos por rochas granitóide cálcio-alcalinos e gnaisses, e rochas de complexo granulítico (Trompette, 1994). Domínios entre os quais se conhecem terrenos de “faixas móveis” do Proterozóico como a Faixa Ribeira (Cordani et al., 1984; Brito-Neves & Cordani, 1991; Quintas 1995) com idades de 1.08-2.2 Ga, que estão compostas por rochas metamórficas de diversas litologias e metavulcânicas, sendo polissíclicos e estiveram reativados na orogenia Brasileira como mostrado pelas intrusões granitóide de Cunhaporanga (dos Reis Neto, 1994;) Três Corregos (dos Reis Neto, 1994; Guimarães, 1995) e os da cinturão Dom Feliciano, que cavalga sobre a margem sul do bloco Luís Alves (Mantovani et al., 1991; Basei, 1985; Basei et al., 1997). Observa-se neste domínio que a transição é gradual como está indicado pelas largas falhas que algumas vezes se associam com bacias molássicas (Trompette, 1994). Extremo que, embora nas opiniões de Trompette (1994) permaneça ambígua e hipotética a significância geotectônica (por exemplo do maciço Luis Alves) em conexão com o Cráton Rio de la Plata; aqui também, tanto para este bloco como para os blocos Curitiba e Paranaguá, como mostrado no Uruguai, pode-se pensar como que tratam-se de pedaços do embasamento com raízes Arqueanas que estão soldados por “faixas” de terrenos Proterozóicos; no caso do Luis Alves e

Curitiba.....terrenos Arcon e Paranaguá e o Cinturão Ribeira.....Terrenos Proton e a do cinturão costeiro Dom Feliciano do Brasileiro que “envolve” os pacotes *Arcon* e *Proton*, Terrenos Tecton.

No Sul, o cráton Rio de la Plata reaparece na Argentina nas Serras de Tandil, onde teria sido provavelmente alçado por falhas. Este embasamento Arqueano do ciclo Transamazônico (2200 Ma, Echeveste et al., 1997) esta exposto por cima de 200 km através de numerosas pequenas ilhas, que raramente excedem os 50 km² de extensão. Sendo que, esquematicamente o cráton, nestes domínios, consiste de duas maiores unidades. A primeira unidade composta de rochas metamórficas de diversas litologias e rochas metavulcânicas perto da cidade de Tandil. A segunda unidade consiste de migmatitos e rochas granitóides (Trompette, 1994). Ambas as séries foram afetadas por séries tecto-metamórficas e/ou eventos magmáticos, maiormente radiometricamente definidos, oscilando entre 2150 (*Suíte cálcio-alcalina*, Echeveste et al., 1997) e 1520-1700 Ma (Trompette, 1994; Echeveste et al., 1997.) com a última orogenia (?) perto do 900 Ma (Trompette 1994), i.e. Terrenos Proton. Este representando a orogenia Transamazônica, sendo interpretado por Ramos et al. (1989) em termos da tectônica de placas, que, durante o Proterozóico Médio e inicio do Proterozóico superior, seguiu a granitização, alguns deles associando-se, provavelmente, com eventos orogênicos (Trompette, 1994) i.e. Terrenos Tecton. Aqui também como comentado com relação aos terrenos do Uruguai e os terrenos de Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, os domínios do cráton Rio de la Plata possuem pedaços de blocos Arqueanos “envolvidos/soldados” por faixas Proterozóicas; e em seus limites registrando eventos tecto-termiais do Brasileiro. Segundo Trompette (1994) este embasamento ficou “tampado” por cobertura da seqüência subhorizontal, a Formação Tinta ou Grupo Tandil .

O fragmento do embasamento exposto na região de Assunção (Paraguai) corresponderia a porção W do cráton Rio de La Plata (p/ex. Cordani et al., 1984; Trompette, 1994). Os dados geocronológicos para as rochas expostas nesta região são escassos (Comte & Hasui, 1971; Bitschene, 1987 e referências).

Os dados geofísicos, encontrados em diversos meios (p/ex. Quintas, 1995; Milani, 1997; Berrocal & Fernandes, 1996; Snoke & Janes, 1997) para a Bacia do Paraná, considerada como assentada sobre o cráton Rio de la Plata, mostram a distribuição de diversos elementos crustais que constituem o assoalho e emolduram esta bacia

(Figuras 2-3, 2-4 e 2-5). A Figura 2-3 mostra que o Bloco Paranapanema do Cráton Rio de La Plata se estende por boa parte do Paraguai Oriental. Na região de *Asunción* (Paraguai), porção oeste do cráton Rio de la Plata (Trompette, 1994), ocorre o chamado *Alto de Caapucú* (cf. Proyecto PAR 83/005, 1986), constituído por rochas cristalinas de diversas litologias e também rochas riolitóides e rochas granitóides (cf. Kanzler, 1986) com idades referidas ao ciclo Brasileiro (800-500 Ma) (cf. Comte & Hasui 1971; Bitschene & Lippolt 1986; Kanzler 1986; Benites com. Pess. 1997), i.e. Terrenos Tecton. Entretanto metaquarzitos da cidade San Miguel forneceram idades (U/Pb) de ~2.1 Ga (Bitschene comunicação pessoal, 1993). Rochas sedimentares da Bacia do Paraná delimitam tanto a norte como a leste as rochas do *Alto de Caapucú*, onde os afloramentos do Bloco Paranapanema (Figura 2-3) estão mascarados pela Bacia do Paraná, dando-se assim uma região do tipo plataforma, como é comum de observar na maioria das regiões cratônicas (cf. comentários de Janse, 1994). Neste terreno, na sua borda e entrando em parte, situam-se os afloramentos das rochas que aqui são estudadas (Figuras 2-1, 2-2, 2-3 e 2-5).

Complementando as informações comentadas é encontrado que os diversos poços, dentre eles mais de uma centena já perfurados em busca de petróleo na Bacia do Paraná (Figura 2-2), amostraram porções encobertas do cráton, permitindo obter suas idades (Cordani et al., 1984; Ramos, 1988), as quais associada aos dados geofísicos, evidenciam um mosaico de diferentes unidades geotectônicas da Bacia do Paraná (Milani, 1997) e pelo mesmo do Cráton Rio de La Plata, i.e. blocos Arqueanos colados por “faixas” mais jovens; e/ou *Arcons* soldados por faixas *Protons* e *Tectons*.

Milani (1997) comenta as informações aeromagnetométricas sobre a Bacia do Paraná e elas estão reproduzidas nas Figuras 2-4 e 2-5. Segundo o citado autor, as informações aeromagnetométricas (Figura 2-4) mostram feições lineares orientadas a NE-SW na porção central da Bacia do Paraná; que Marques et al. (1993) as interpretaram que a conformação destas anomalias aeromagnetométricas, com grandes comprimentos de onda, denotam fontes profundas, ligadas à trama do embasamento da bacia. Milani (1997) destacou uma importante feição linear orientada a NE-SW a que pode ser observada no mapa aeromagnetométrico do

Paraguai (Figura 2-5), separando áreas com distintas assinaturas nas informações

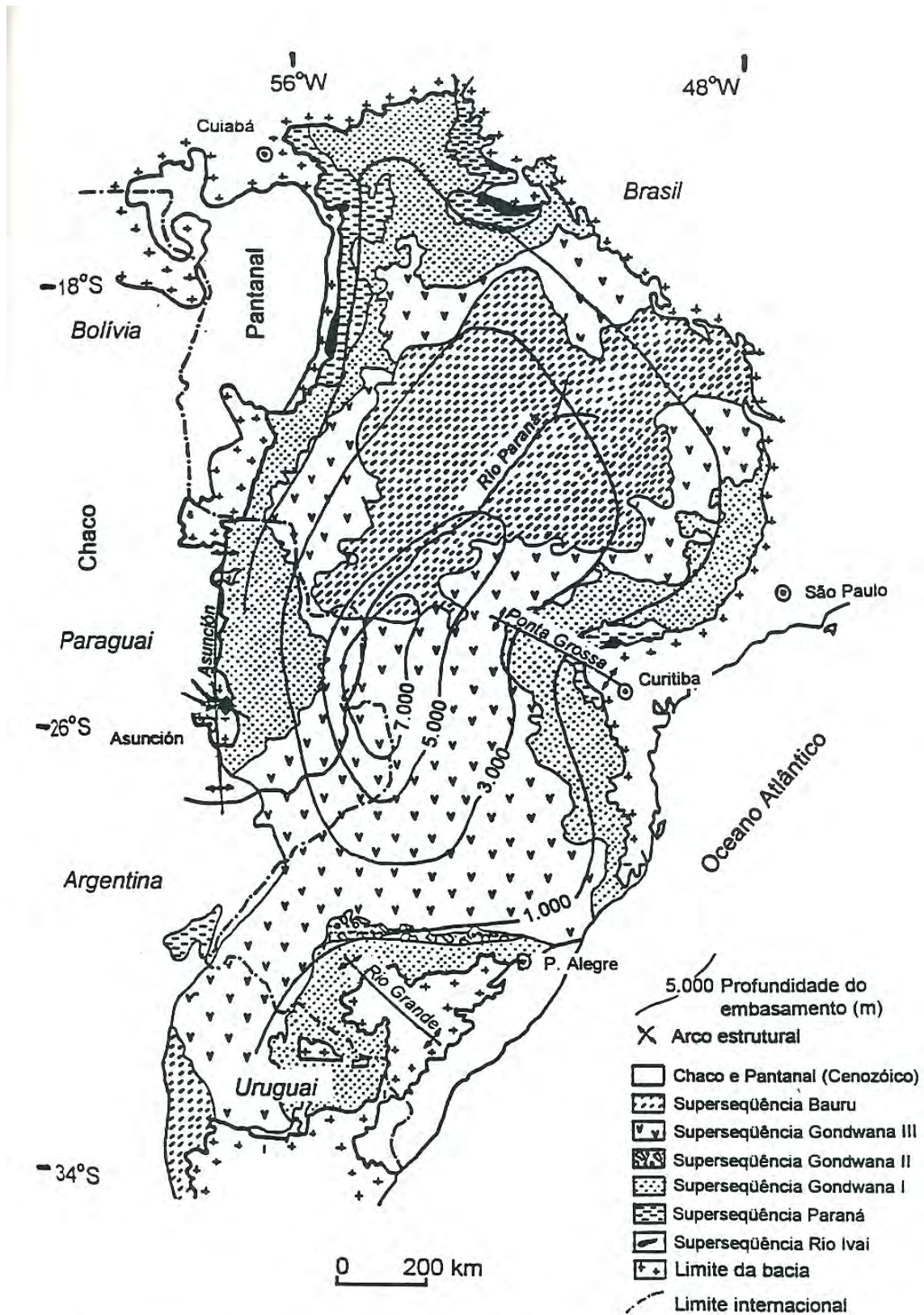


Figura 2-1. Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná, com referências geográficas e profundidade do embasamento como mostrado por Milani (1997). O rombo, no Paraguai, representa a área de trabalho

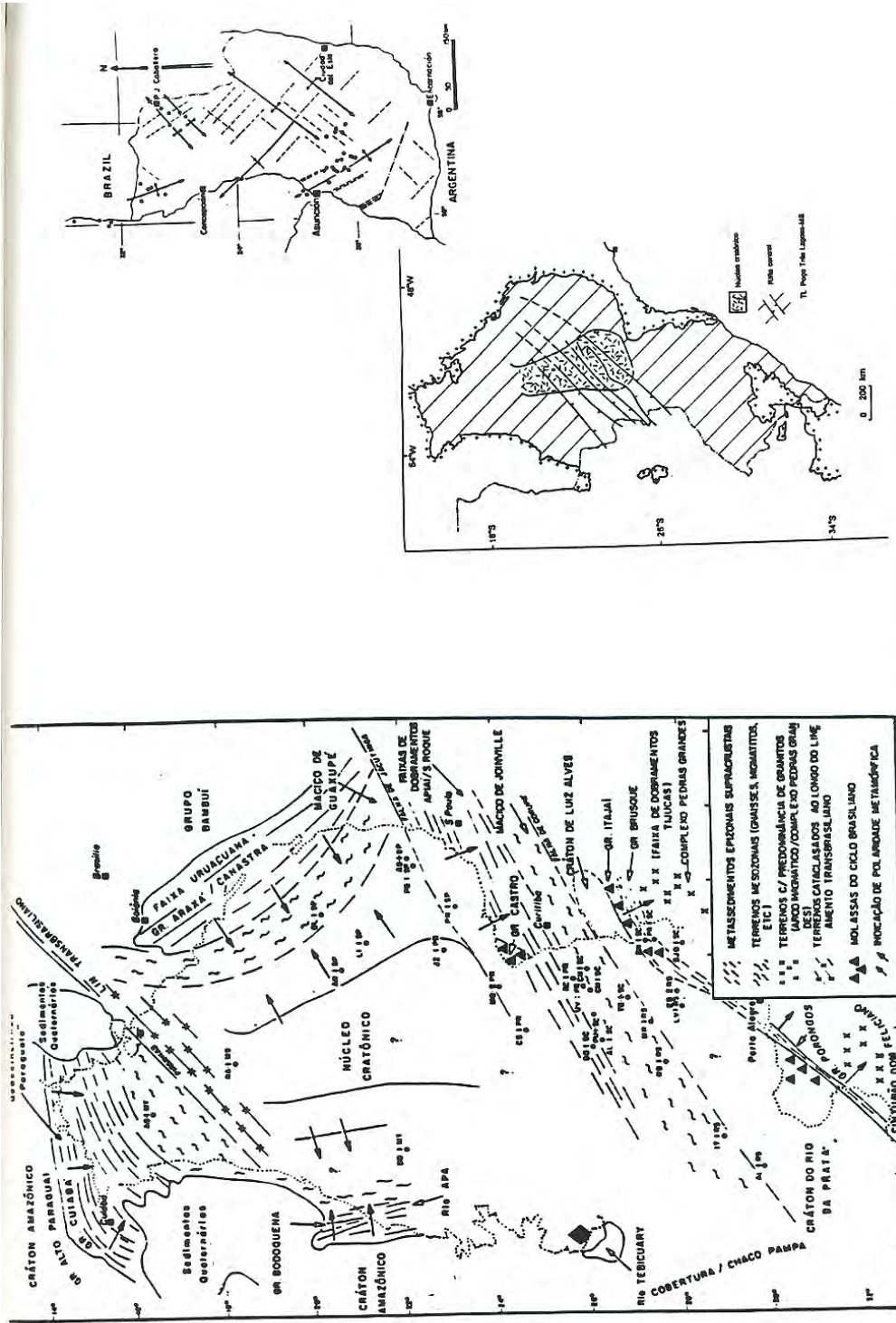
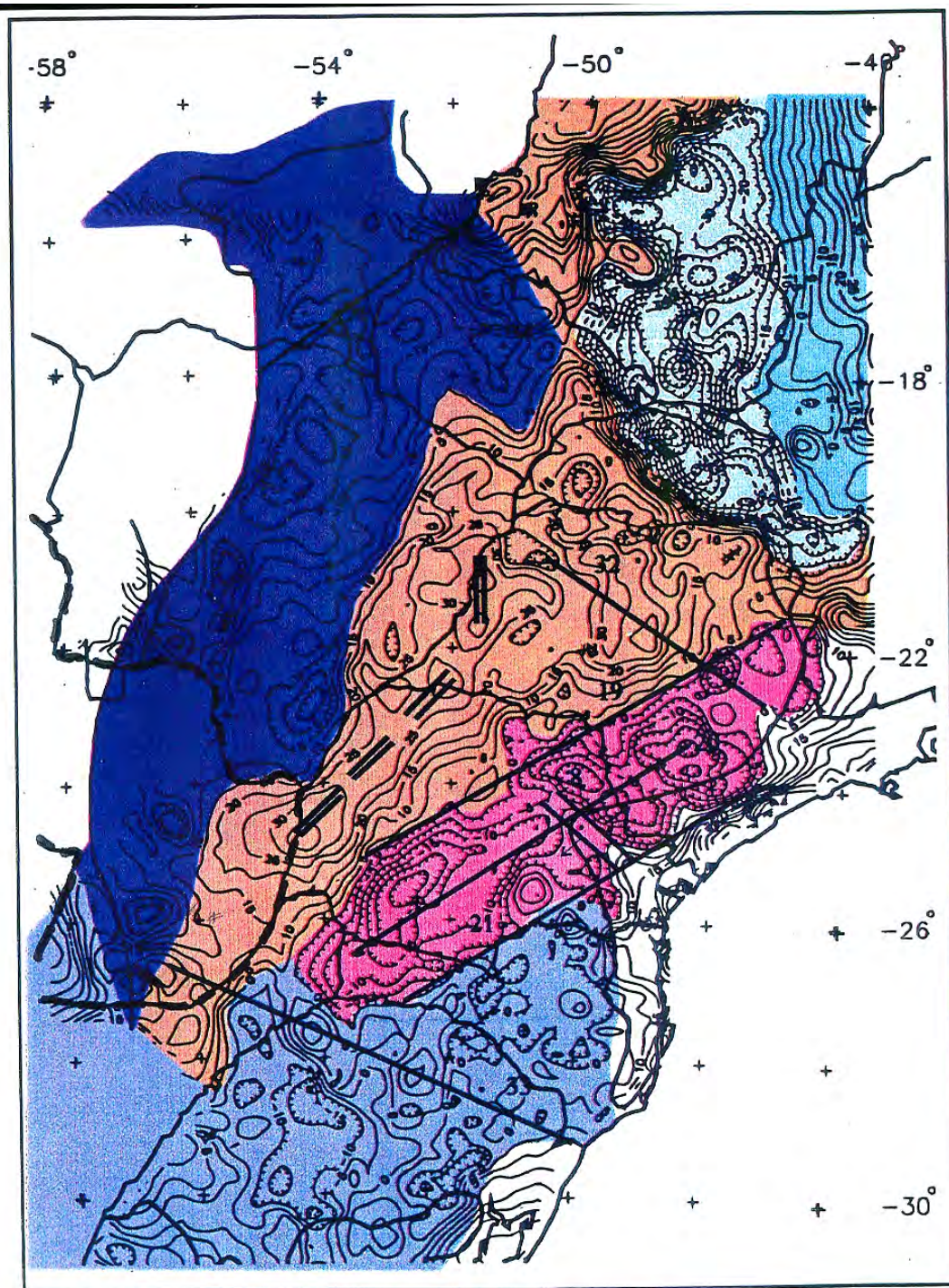


Figura 2-2. Mapa geológico-geotectônico esquemático da Bacia do Paraná. (a), conforme apresentado por Cordani et al. (1984), que se confronta com o caracterizado *rift* central de Marques et al. (1993) e os elementos tectônicos (simplificados) do Paraguai Oriental (c) como encontrado em Livieres & Quade (1986). Notar que o *rift* central de Marques et al. (1993) e os altos entre as cidades de Asunción e P.J. Caballero, no Paraguai Oriental, coincidem, mostrando que se tratam do mesmo elemento estrutural.









- | | |
|---|---|
|  Faixa Paraguaí - Arco magmático do Oeste de Goiás |  Faixa Brasília |
|  Maciço de Goiás - Bloco Paranapanema |  Cráton de São Francisco |
|  Cinturão Ribeira |  Cráton Rio de La Plata |

Figura 2-3. Mapa gravimétrico do embasamento da Bacia do Paraná. Mapa gravimétrico residual despojado das anomalias geradas pelas rochas ácidas que mostra, em parte, o Cráton Rio de La Plata conforme Quintas (1995); este sendo o embasamento da Bacia do Paraná. No Paraguai Oriental (em ressaltado) penetram, de leste para oeste, o bloco Paranapanema e a Faixa Paraguaí. O cráton tem mais suporte se levados em consideração os dados aeromagnetométricos das Figuras 2-4 e 2-5.

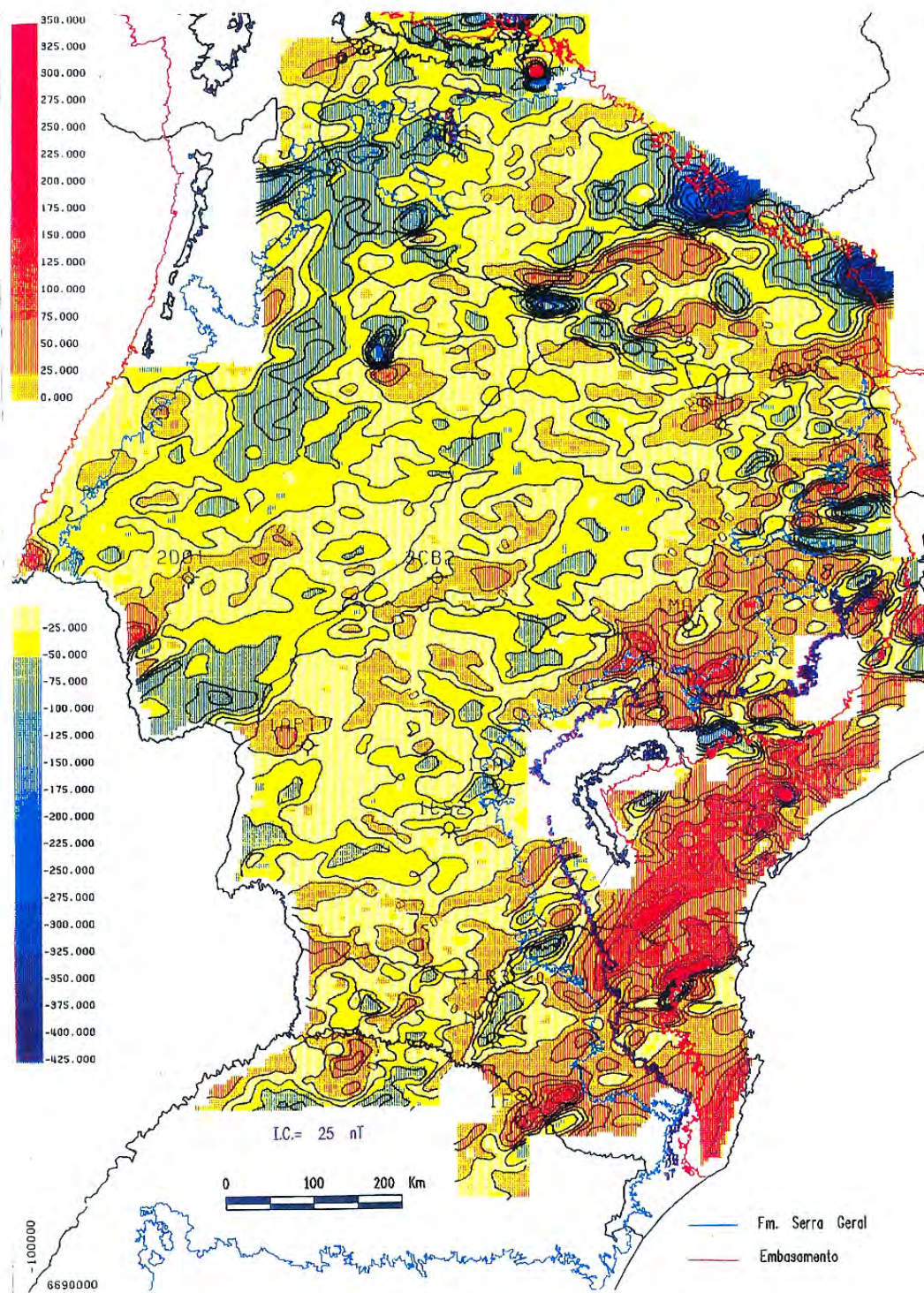


Figura 2-4. Mapa aeromagnetométrico da Bacia do Paraná como apresentado em Milani (1997) que empregou o trabalho de Marques et al. (1993). Compare-se como as configurações das anomalias magnéticas traçam e acompanham a configuração do Craton Rio de La Plata (Figura 2-3). Na figura posterior apresenta-se os dados aeromagnéticos do Paraguai.

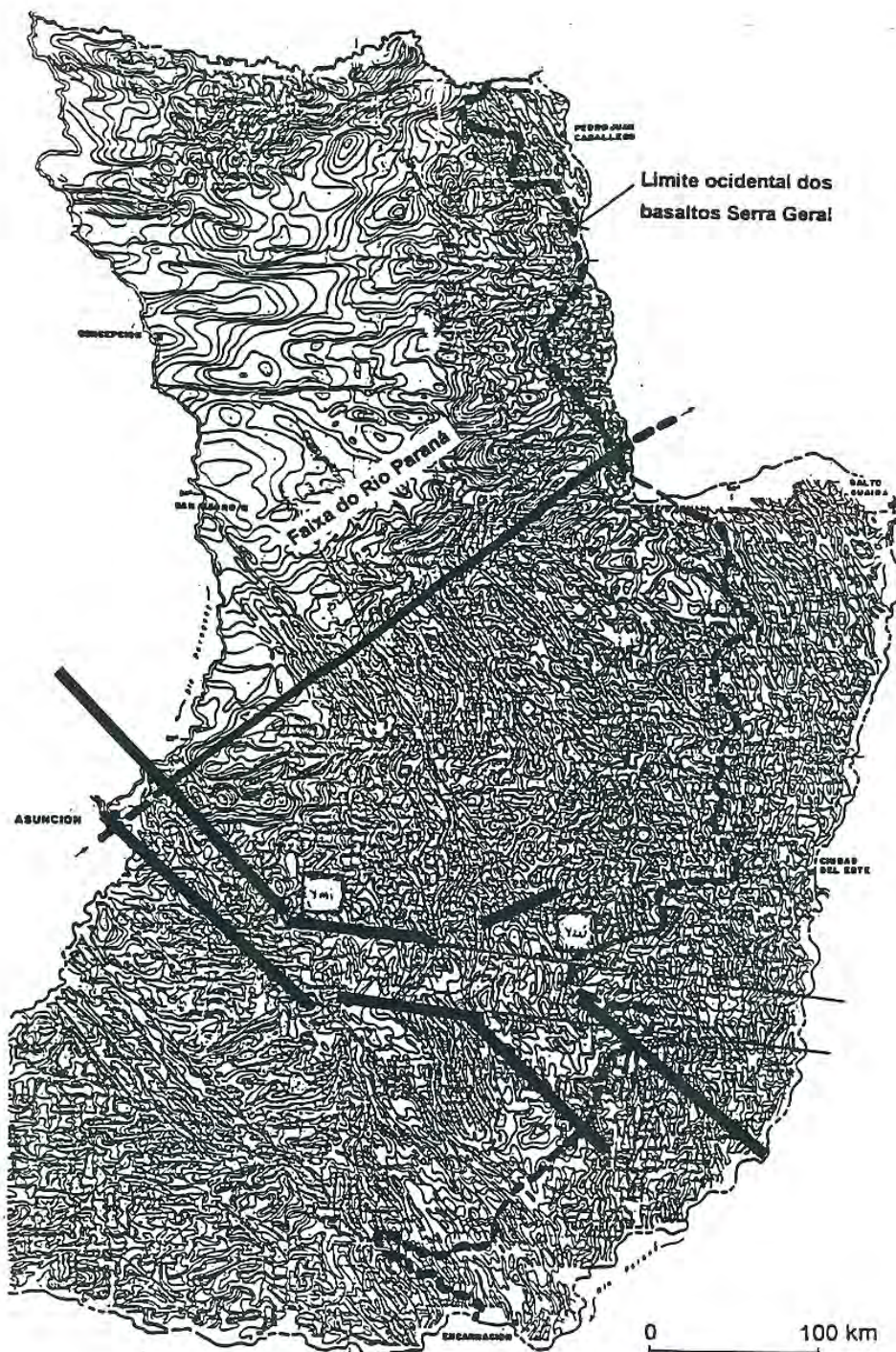


Figura 2-5. Mapa aeromagnético do Paraguai Oriental (Geoconsultores, 1995 e extraído de Milani, 1997). Neste mapa, segundo Milani (1997) destacam-se dois domínios de assignatures aeromagnéticas diferentes, limitadas por uma marcante feição linear orientada a NE-SW, que constitui no Paraguai o prolongamento do *rift* Central de Marques et al. (1993). Em destaque o *rift* de Asunción como delineado por Degraff (1985) e mostrado em Druker & Gay (1987). Comparar esta figura com as figuras 2-2, 2-3 e 2-4 Ymi = Campo Ybytyimi e Yzu = Campo Ybytyruzú.

de tal ferramenta geofísica potencial, as que sugerem estar provavelmente inseridos no contexto de uma faixa de dobramento brasileira que se estenderia entre a cidade de Asunción (Paraguai) e o poço Três Lagoas (MS-Brasil). Esta estrutura foi denominada de **faixa móvel do Rio Paraná**, conceito que segundo esse autor aparentemente conciliaria um amplo conjunto de informações geológicas e geofísicas nas quais se incluem os dados relativos tanto à natureza e às idades das rochas do embasamento da Bacia do Paraná quanto aos *trends* segundo os quais estes litotipos se distribuem em superfície. A Figura 2-6 confronta as informações crono-tectônicas apresentadas por Cordani et al. (1984) com as informações estruturais do Paraguai Oriental (Livieres & Quade (1986) e com os dados estruturais modelados por Marques et al. (1993) para o centro da Bacia do Paraná. Os lineamentos NE-SW, referidos como altos com diferentes nomes em Livieres & Quade (1986) no Paraguai Oriental coincidem geograficamente com o *rift* Central de Marques et al. (1993). Milani (1997) comenta:

“Como consequência, o “núcleo cratônico” da Bacia do Paraná desaparece; a faixa móvel do Rio Paraná justapõe dois domínios possivelmente correspondentes a terrenos ou microplacas brasileiras, o bloco do Rio Aporé e o bloco do Rio Paranapanema”.

Uma leitura do trabalho de White et al. (1995) permite observar que os “kimberlitos” diamantíferos e econômicos ocorrem em terrenos formados por núcleos Arqueanos (microplacas Archon) soldadas por faixas móveis do Proterozóico Inferior (Proton) ao Superior (Tecton) =plataformas ou cratons muitos deles com uma raiz litosférica profunda. Nestes domínios tectônicos o emprego de dados geofísicos mostram *trends* de estruturas lineares que se associam com falhas transformantes ou *paleo-rifts* (ver Morgan, 1995). Feições sugeririam para o rift Central de Marques et al. (1993) uma posição intra-pericratônica; intracratônico embora que corte o núcleo cratônico de Cordani et al., (1984) e pericratônica conquanto que se prolonga pela região de faixa móvel Paraguai. No Capítulo 6 são levantadas e discutidas mais demoradamente os aspectos relevantes ao aquí levantado.

Geologia do Paraguai Oriental

No Paraguai Oriental as unidades morfoestruturais relevantes são os altos de Rio Apa e Caapucú, que juntos seriam parte do Arco de Assunção (Figura 2-6). As rochas nesses *altos*, nas suas bordas leste, norte e sul estão capeadas por camadas de sedimentos continentais a marinhos, Paleozóicos a Permiano, e basaltos continentais de derrames mesozóicos, em parte intercalados, com sedimentos continentais. Estas unidades em sua maioria são pertencentes à Bacia do Paraná, Figuras 2-1 e 2-7.

A despeito de algumas complicações de caráter localizado (ex. *áreas de rift*), a sedimentação na Bacia do Paraná no Paraguai Oriental inicia-se com sedimentos clásticos grossos (níveis basais) a finos (níveis do teto) continentais a marinho-litorâneos do Siluriano; Grupos Caacupé e Itacurubí espalhados segundo a orientação N-S nestas bordas da bacia, isto acontecendo sobretudo ao redor do Alto de Caapucú; unidades sedimentares que se depositaram segundo mergulho regional de ~5° em direção a leste. Após um hiato estratigráfico, depositam-se espalhadas pela bacia em domínios mais a leste, (Figura 2-7) sedimentos de várias litologias clásticas de origem glácio-fluvial, os Grupos Cnel. Oviedo a sul e Aquidaban a norte, ambos do Carbonífero. Sotopostos a estes últimos, depositaram-se sedimentos clásticos a químicos com diferentes granulometrias sendo eles principalmente continentais de idade permiana, Grupo Independencia (com as Formações Pañetey e Tacuary). No início do Mesozóico, e acompanhando camadas do teto do Grupo Independencia, sedimentos clásticos eólico-fluviais depositaram-se na bacia, i.e. a Formação Misiones (Figura 2-7). Basaltos continentais de derrame com idade Triásica (~135 Ma), pertencentes a Formação Alto Paraná, derramaram-se em vários centros (Figura 2-7). Ao redor das bordas e penetrando, em parte, as bordas da bacia, efusões e intrusões de rochas alcalinas potássicas com baixo Ti (Gibson et al., 1996) (Províncias alcalinas Norte e Central) instalam-se no Mesozóico tardio (~130 Ma, Comin-Chiaramonti & Gomes, 1996). Finalmente observa-se a deposição, erosão de diferentes unidades em micro-bacias, algumas delas resultado da tectônica de *rift* (ex. Formações Acaray e Patiño) (Projeto PAR 83/005, 1986; Presser, 1992; Fulfaro, 1996).

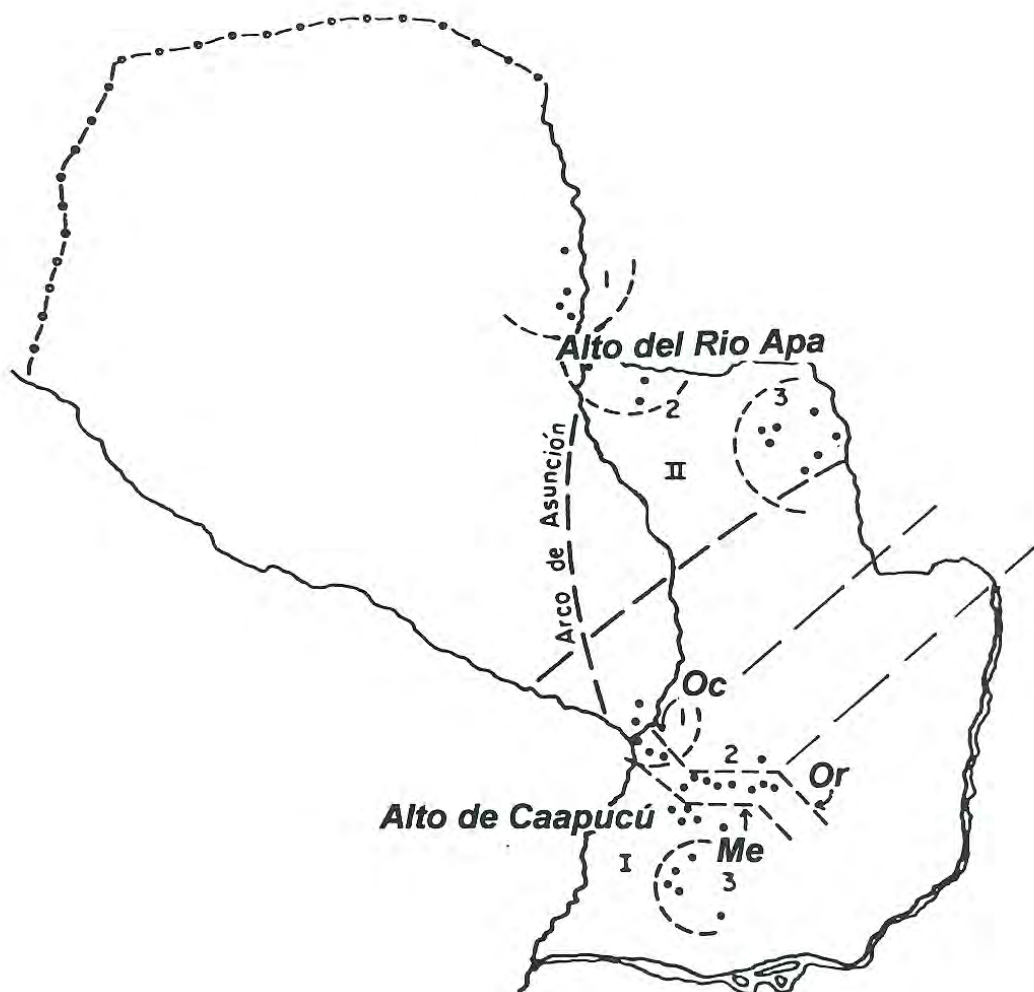


Figura 2-6. Esquema simplificado das unidades geológico-estruturais no Paraguai Oriental e as províncias alcalinas. As linhas tracejadas paralelas indicam aproximadamente o *rift de Asunción*, com suas partes **Oriental** (or), **Média** (Me) e **Ocidental** (oc). **I: Província alcalina Norte**, com as subprovíncias Alto Paraguay (1), Rio Apa (2) e Amambay (3); **II: Província alcalina Central**, com as subprovíncias Asunción (1), Guairá-Paraguari (2) e Misiones (3). Para outras divisões consultar Gomes et al. (1996) e Velázquez et al. (1996). As linhas paralelas NE-SW corresponderiam ao *rift Central* de Marques et al. (1993).

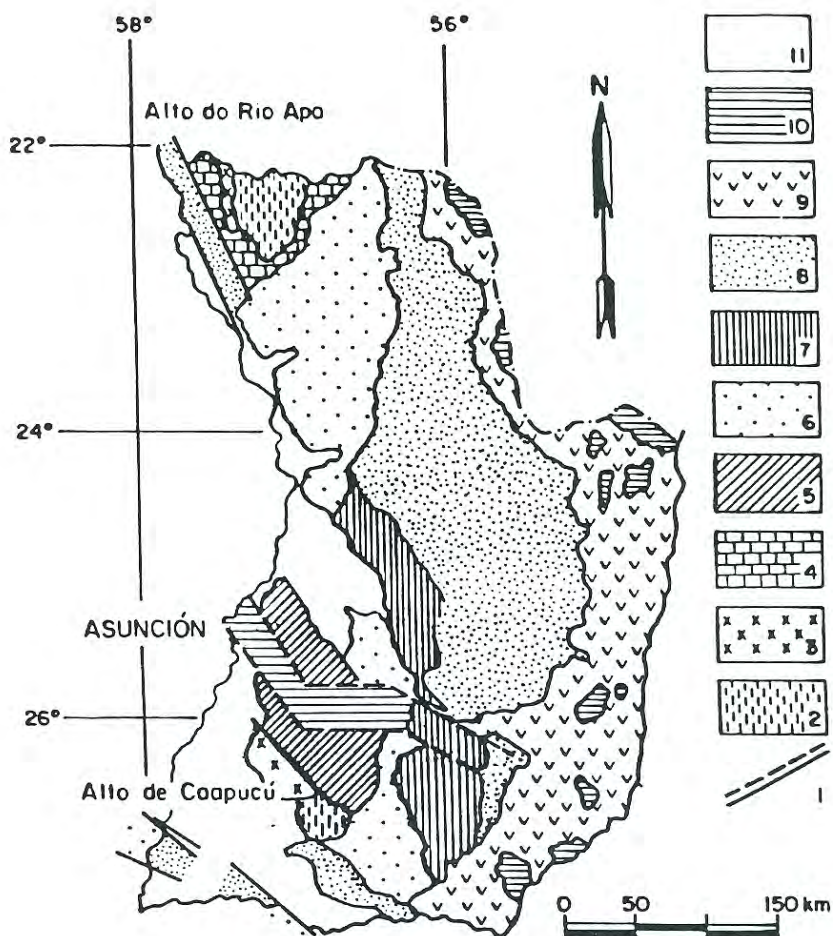


Figura 2-7. Esquema geológico do Paraguai Oriental. Lenda: 1: falhas (propostas e verificadas); 2: rochas do embasamento pré-cambriano (Precâmbrio *Norte e Sur*); 3: rochas ígneas pré-cambrianas; 4: Grupo Itapucumi; 5: Grupos Caacupé e Itacurubi, indiferenciados (Siluriano); 6: Formações Coronel Oviedo (à sul) e Aquidaban (à norte) (Carbonífero a Permiano); 7: Grupo Independência (Permiano Superior); 8: Formação Misiones (Triásico a Jurássico); 9: Formação Alto Paraná (Cretáceo); 10 Formações terciárias indiferenciadas; 11: depósitos recentes e subrecentes. Fonte: Livieres & Quade (1987), com modificações. Para localização de algumas manifestações alcalinas ver Figuras 2-8 e 2-9 e Fotografias 1 e 7.

O rift de Asunción (RA)

Arcos da borda da Bacia do Paraná, como *Asunción* (Figura 2-6) no Paraguai (Almeida, 1983) foram sujeitos no Mesozóico a uma intensa reativação de falhas e fraturas de *trend* N-S, NW-SE (Almeida, 1983) e E-W, e NE-SW ao que se associaram magmatismo toleítico e alcalino (Figuras 2-2 e 2-7). Como comentado em itens anteriores o *Alto de Caapucú*, tido como conformando ao Arco de Assunção (Almeida, 1983.; Projeto PAR 83/005, 1986), representaria a borda *Tecton-Proton* do Cráton Rio de La Plata (Figuras 2-3 e 2-7) e em parte também esta estrutura representaria nas cercanias da cidade de Paraguari-Assunção (Figura 2-8; 6-1) regiões de faixa móvel. As estruturas NW-SE foram no Paraguai reconhecidas através de estudos geofísicos (Degraff et al., 1981; Degraff, 1985; Drueker & Gay, 1987 e ver também Milani, 1997 e referências) e estudando imagens satélites e fotografias aéreas que mostram lineamentos e diques com esta direção (p/ex. Drueker & Gay, 1987; Presser, 1992). Lineamentos NE-SW (Figuras 2-2, 2-3, 2-4, 2-5 e 2-6), que parecem ser herança do Megaciclo Brasileiro (p/ex. Schobenhau, 1984), no Paraguai foram denominados de anticlinais (Liviers & Quade, 1987) e também de Faixa do Rio Paraguai (Milani, 1997). Distensão crustal com rumo NE-SW, considerados como geneticamente relacionados à separação dos continentes do W do continente Gondwânico e a abertura do Atlântico Sul, são tidos também como responsáveis pela geração dos *trends* de estruturas NW-SE (cf. Comentários em Gomes et al., 1996). Fúlvaro et al. (1982, em Gomes et al., 1996) consideram que a formação dos arcos NW-SE começaram no Devoniano e atingiram sua máxima expressão no Jurássico-Triássico.

A complexa estrutura, no Paraguai Centro-Oriental, com duas porções NW-SE e uma E-W (Figuras 2-5 a 2-8) foi reconhecida por Degraff (1985) e também por Degraff et al. (1981) ao que denominou-se de **rift de Asunción**, uma estrutura de 25-40 km de comprimento e ~200 km de largura com preenchimento por sedimentos em torno de 2500 m (Degraff, 1985). Observando a geometria do *rift* (ex. Figura 2-5) percebe-se, de forma simples, que ele possui geometria muito característica, mostrando forma z deitado, estando formado por três segmentos: o **ocidental (Asunción)**, de percurso NW-SE; o **central (Acahay)** de rumo E-W, e o **oriental (Ybytyruzú)**, outra vez com direção NW-SE (Figuras 2-5 a 2-8), que desaparece por

baixo das coberturas da Bacia do Paraná; o último sendo o menos conhecido dos três (Ulbrich & Presser, 1992; Presser, 1992).

Neste *rift* desenvolveu-se sedimentação em domínios geográficos aparentemente isolados da influência da sedimentação da bacia do Paraná. Presser (1992) descreve na parte W do segmento central do *rift*, três unidades sedimentares que preenchem a fossa do *rift*, as que informalmente chamou-as de U1 (basal, pelítica-arenosa, com espessura máxima de 50 m e apresentando caules silicificados de possíveis samambaias), U2 (arenosa, espessura máxima de 100 m) e U3 (superior, com conglomerados de matriz de areia média a grossa, espessura mínima 165 m). Observou-se que a unidade U1 à ~10 km SE da cidade de Sapucaí (Figura 2-8) depositou-se sobre conglomerados grossos e quartzosos. A este conjunto de sedimentos atribuiu-se idade Permiana Superior (Presser, 1992) e assim equivalente a Formação San Miguel do Grupo Independencia. Este pacote sedimentar foi afetado posteriormente pelo magmatismo alcalino Mesozóico (cf. Tabela 2-3).

Nas proximidades da cidade La Colmena e arredores (Figura 2-8) ocorrem sedimentos (arenitos conglomeráticos médios a grossos cujos seixos pelo geral, constituídos por rochas regionais e, também arenitos com alguns seixos centimétricos) pós magmáticos atribuídos por Presser (1992) como pertencentes à Formação Patiño. Este grupo de sedimentos que até agora foram descritos como relacionados ao *rift* e encontrados na *cordillera de Ybytymí* e redores (Figura 2-8) representaria um primeiro domínio geográfico de sedimentação.

O segmento oriental do *rift* sendo o menos conhecido dos três segmentos teria levado a muitos autores (p/ex. Presser, 1992) a traçar limites hipotéticos da falha/sistema de falhas da borda oriental do *rift* (Figuras 2-5 a 2-8); esta borda é traçada acompanhando a *Cordillera del Ybytyruzú* (Figuras 2-8). Nesta borda na que Bitschene (1987), Cuadrícula 41 (1966), T.A.C. (1981) e Proyecto PAR 83/ 005 (1986) observaram a ocorrência de sedimentos pertencentes ao Grupo *Independencia* (Permiano) sobretudo nas proximidades das cidades de Mbocayaty, Villarrica, M.J. Troche, Colonia Independencia (ver Figuras 2-8 e 2-9).

No *Grupo Independencia* foram destacadas pelo Projeto PAR 83/005 (1986) duas formações:

- Formação San Miguel, que compreende arenitos intercalados com siltitos, arenitos sílticos, diamictitos e lutitos com o aparecimento, local, de cherts oolíticos-

pisolíticos, arenitos carbonáticos e calcarenitos. Segundo T.A.C: (1981) os sedimentos desta formação depositaram-se em concordância com os sedimentos da *Formação Coronel Oviedo*. Neste citado trabalho salienta-se que existe um contato transicional com a Formação Taquary, sotoposta.

- Formação Taquary, compreendendo uma seqüência de arenitos sílticos, lutitos, arenitos finos, calcarenitos e estratos com arenitos calcáreos (Cuadrícula 41, 1966; T.A.C., 1981; Projecto PAR 83/005, 1986; Bitschene, 1987). Cuadrícula 41 (1966) e posteriormente Herbst (1975) citam a presença, na Formação Taquary, de uma flora característica formada por troncos silicificados eqüivalentes a *Osmudites brasiliensis*, encontrado na Formação Estrada Nova do Permiano no Brasil (Presser 1992). O Projecto PAR 83/005 (1986) opina que esta formação é coberta concordantemente pela Formação Misiones, a qual é atribuída idade Permiana Superior-Jurássica Inferior. Outros aspectos e outras considerações relevantes ao Grupo Independencia puderam ser encontrados em Orué (1996).

Este grupo de sedimentos encontrados junto a *cordillera del Ybytyruzú* e redores representaria o segundo domínio geográfico de sedimentação, fato que levaria necessariamente a reconhecer a presença de sedimentos permianos dentro do *rift* (?). Entretanto o pacote sedimentar do último domínio atribuem-se como de ambientes de uma sedimentação na bacia do Paraná (p/ex. Projeto Par 83/005, 1986).

Magmatismo associado ao *rift de Asunción*

Generalidades

Na cordillera del Ybytyruzú as observações levantadas pelo T.A.C. (1981), Projecto PAR 83/005 (1986) e Bitschene (1987) levaram a reconhecer derrames de basaltos continentais (Suíte de vulcanismo toleítico; Formação Alto Paraná, com ~135 Ma; cf. Conte & Hasui, 1971; Bitschene, 1987) em suas formas extrusivas e equivalentes hipoabissais que invadem as unidades do Grupo Independencia e invadem/intercalam-se com arenitos da Formação Misiones. Nos domínios da *cordillera de Ybytymí*, segundo o encontrado em Presser (1992) e também nos trabalhos encontrados em Comin-Chiaramonti & Gomes (1996), ocorrem alguns diques de diabásio da suíte também similar a encontrada nos domínios do Campo

| ÁREA | TIPOS DE ROCHA | IDADE | REFERÊNCIAS |
|--|---|---|---|
| Norte C. Boggiani, Pao de Açúcar, Fecho dos Morros. | Nefelina sienitos, sienitos, traquitos, fonolitos | 240-250 Ma (K/Ar, Rb/Sr, Ar/Ar) | Velázquez (1995), Gomes et al (1996) |
| Nordeste Chiriguelo, A. Gasory, C. Guazú, A. Blanco | shonkinito, silico-carbonatito, traquitos, lamprófiros | 117-145 Ma (K/Ar) | Mariano (1978), Eby & Mariano (1986) |
| Centro-leste Mbocayaty Col. Independencia C. Aguapety P., Mbocayaty, Cord. del Ybytyruzú, C. Km 23, C. Sta. Helena | tefrítides, lamprófiros, lamprolitos, shonkinitos, nefelina sienitos. | 128-131 Ma (K/Ar) | Bitschene (1987) |
| Sapukai Potrero Ybaté a-Sapukai, Potrero Ybaté, C. Achay, C. Sto. Tomás, E. las Rosas, Arua-i b-Sapukai, C. Gimenez | tefrítides, traquibasaltóides, lamprófiros, fonolitos, traquitos, gabroides alc., sienitoides, fonolitóides | 98-138 Ma (K/Ar) | Palmieri & Arribas (1975), Velázquez (1992) Gomes et. al. (1996) |
| Asunción C. Lambaré, C. Tacumbú, C. Neembý, C. confuso, C. Verde, V. Hayes, T. Nueva R. castillo, C. Patiño, Limpio | nefelinitos, fonolitos | 66 Ma (K/Ar) 60-38 Ma (K/Ar) | Velázquez et al. (1992), Gomes et al (1996) Bitschene (1987) |

Tabela 2-3. Idades dos corpos intrusivos das três regiões (Norte, Nordeste e Centro-leste) alcalinas no Paraguai (cf. Comin-Chiaromonti & Gomes, 1996).

Ybytyruzú. Os diques estão cortando granitóides do Grupo Caapucú (Pré-Cámbrico Superior) e sedimentos do Grupo Caacupé de idade Silúrico (Presser 1992) (Figuras 2-8 e 2-9) que ocorrem nas bordas a Sul e a Norte do segmento Central do *rift*. Com exceção de um dique alterado reconhecido por Presser (1992) no *vale do rift* do segmento Central, inexisteriam lavas/diques de composição toleítica da Formação Alto Paraná dentro da zona abatida do *rift* (i.e. *vale do rift* = *Valle de Acahay*).

Por outro lado, conforme Gomes et al. (1996) no Paraguai são conhecidas três maiores regiões de ocorrência de rochas alcalinas: ao norte, e nordeste, ambas encontradas dentro da província alcalina Norte, e no centro-leste, esta encontrada nos domínios da província Central. Nessas regiões as determinações radiométricas (predominantemente realizadas pelo método K/Ar) reúnem as intrusões em três grupos cronológicos bem definidos, sintetizado na Tabela 2-3. As rochas mais antigas (~240 Ma) são encontradas ao norte do Paraguai (p/ex. Velázquez, 1995 e referências). Um grupo de em torno dos 130 Ma, compreende o amplo número de ocorrências distribuídas ao nordeste (p/ex. Livieres, 1987) e a área centro-leste (p/ex. Bitschene, 1987) do Paraguai Oriental (Figuras 2-2, 2-6, 2-8 e 2-9). Um grupo mais jovem, reconhecido só na área central, engloba as ocorrências de fonólitos sódicos e nefelinitos terciários (70-39 Ma) (Bitschene, 1987; Bitstchene & Presser, 1990; Gomes et al., 1996 e referências) (Figura 2-6)

Com relação a Província Central é hoje conhecida uma vasta literatura sobre a ocorrências de rochas alcalinas do crono-grupo de 130 Ma, como encontradas na (Figuras 2-8 e 2-9). Alguns desses centros de ocorrências foram objeto de numerosos trabalhos de caráter científico (p/exs. De Min, 1993; Comin-Chiaramonti & Gomes, 1996 e referências) e econômico (p/ex. Presser, 1991) que contribuíram substancialmente para um melhor nível de entendimento de sua evolução dentro de um contexto petrológico. Contudo, são escassos os trabalhos que contam com estudos sistemáticos e detalhados (ex. Comin-Chiaramonti et al., 1992 e em parte também De Min, 1993). A maioria dos publicados são ainda preliminares (p/ex. Presser, 1994; ver também Comin-Chiaramonti & Gomes, 1996) ou eles visam aspectos de caracterização global (Comin-Chiaramonti et al., 1996 a-b) e assim podem ser englobados mais como trabalhos de referências.

Verifica-se que as rochas ígneas alcalinas do Mesozóico (Tabela 2-3) da província Central estão amplamente distribuídas nos três segmentos do rift de Asunción. As

idades radiométricas (Comte & Hasui, 1971; Palmieri & Arribas, 1975; Bitschene, 1987; Velázquez, 1992; Comin-Chiaramonti & Gomes, 1996) obtidas nestas rochas (vulcânicas e intrusivas) distribuem-se sobretudo em dois maiores campos de intrusões dentro do *rift*: **Campo Ybytymí** e **Campo Ybytyruzú** (Figura 2-8); apontando para uma colocação em torno de 138-98 Ma (Tabela 2-3).

Contudo, na província Central as rochas possuem uma diversidade petrográfica muito grande. São encontrados desde basaltos alcalinos da série dos tefritos com leucita a fonolitos com leucita, basaltos alcalinos da série dos traquibasaltos a traquitos, “lamproítos”, mela leucita fonolitos, “lamprófiros” (cálcio-alcalinos, alcalinos e ultramáficos), ijolitos, nefelina sienitos, sienitos alcalinos, shonkinitos, gabros alcalinos, entre outros como pode ser constatado em Palmieri & Arribas (1975); Bitschene (1987); Velázquez (1992); Presser (1991; 1992; 1994; 1996); Comin-Chiaramonti et al. (1992); os trabalhos encontrados em Comin-Chiaramonti & Gomes (1996).

Como se observa por exemplo em Palmieri & Arribas (1975), as rochas alcalinas do Mesozóico que ocorrem no Campo Ybytymí apresentam marcado carácter potássico. Já em Bitschene (1987) são apresentados aprimorados dados do magmatismo do *Campo Ybytyruzú* também potássico. O magmatismo de ambos os campos são comagmáticos (ver Tabela 2-3) e serão ainda comentados, brevemente, seus aspectos geoquímicos, no Capítulo seguinte.

Particularidades

Rochas ígneas alcalinas do Campo Ybytymí

As rochas alcalinas estão amplamente distribuídas no Campo Ybytymí (Figuras 2-8 e 2-9); este campo situa-se no segmento Central do *rift*. O magmatismo manifesta-se na forma de coberturas de piroclastos e de lava, condutos epiclásticos/brecha (*pipes*), *plugs*, diques isolados, enxame de diques *ring-dyke* e *sills*, possuindo composições variadas: basaltóides com leucita a fonólitos e traquitos, “leucita lamproíto”, lamprófiros ultramáfico e cálcio-alcalinos e também rochas intrusivas da série dos gabroides alcalinos a sienitóides alcalinos e ijolitos (Eckel, 1959; Putzer, 1962; Palmieri & Arribas, 1975; Velázquez, 1992; Presser, 1991; 1992 e 1994; De Min 1993; Comin-Chiaramonti & Gomes, 1996).

Dentro deste segmento do *rift* destacam-se no extremo norte um denso enxame de diques (*Enxame Ybytymí*) com rumo médio de N50°W, possuindo uma extensão de ~70 km, (Presser, 1992 e 1994). No centro-sul do mesmo segmento do *rift* aparecem *pipes*, *plugs*, e alguns diques portadores de xenocristais e/ou microxenólitos do manto, assim como também *plugs* de rochas fonolitóides (~68 Ma) com claras assinaturas químicas (expresso, por exemplo, pelos valores dos isótopos de Sr/Sr e Nd/Nd, cf. Velázquez, 1992; Comin-Chiaramonti & Gomes, 1996) de material proveniente de um manto profundo (p/ex. C. Medina, C. Gimenez, C. Yariguá entre outros) (Velázquez, 1992 e referências citadas); parecem estar vinculadas com falhas abissais E-W e outras NW-SE e EN-SW, (Figura 2-8 e Fotografia 1), e que também mostrariam um domínio ocupado por falhas profundas (até lithosfericas?). No presente trabalho são estudados alguns *pipes*, *plugs* e diques de rochas lamprofíricas que ocorrem neste campo, sendo que eles são abordados em detalhe.

Intrusões lamprofíricas do Campo Ybytymí

Foram estudadas várias intrusões, no campo Ybytymí. Três delas correspondem aos *pipes* (Ymi-1, Ymi-4 e Ymi-8), a um *plug* (Ymi-5) e o restante a alguns diques (ex. Ymi-7). Outras ocorrências de rochas lamprofíricas, apesar de originalmente amostradas, como os derrames basaltóides que ocorrem a norte do cerro Acahay, os piroclastos e os derrames das localidades de Kirito (Presser, 1992) e derrames do C. Porteño, entre outras (Figura 2-8, Tabela 2-4) neste trabalho foram deixadas de lado porque ao serem petrográficamente examinadas, elas mostraram tratar-se de rochas basaltóides, já estudadas nesta província por De Min (1993); Comin-Chiaramonti & Gomes (1996) e Comin-Chiaramonti et al. (1997). Acreditando-se que novas contribuições em relação às rochas basaltóides aportariam muito pouco ao já levantado pelos acima referidos autores, optou-se por focar os trabalhos sobre as ocorrências de rochas com afinidades “lamprofíricas”.

Como passo inicial deve ser comentado que o conjunto das intrusões alcalinas dos segmentos Central e Oriental do *rift*, representadas na Figura 2-8 e 2-9, seguem lineamentos de fratura que localmente seriam as responsáveis pela colocação dos diferentes corpos magmáticos. Os traços E-W em combinação com os traços NE-SW apresentam-se como direções importantes no *Campo Ybytymí*, enquanto que os traços E-W e NW-SE apresentam-se destacados no *Campo Ybytyruzú*.

| <u>Intrusão</u> | <u>Corpo</u> | <u>Localidade</u> | <u>Amostra</u> | <u>Tipo de rocha</u> |
|-----------------|--------------|-------------------|----------------|---|
| Ymi-1 | <i>plug</i> | ENE-Kirito | Ymi-1/p1 | olivina piroxênio "lamprófiro" |
| <i>pipe</i> | <i>plug</i> | | Ymi-1/p2 | olivina piroxênio "lamprófiro" |
| | dique | | Ymi-1/d | olivina piroxênio "lamprófiro" |
| | dique | | Ymi-1c. | mica olivina piroxênio "lamprófiro" |
| Ymi-4 | lava | NW-C. Medina | Ymi-4/l | olivina mica piroxênio "lamprófiro" |
| <i>pipe</i> | brecha | | Ymi-4/br | olivina mica piroxênio "lamprófiro" |
| | dique | | Ymi-4/d | olivina mica piroxênio "lamprófiro" |
| Ymi-5 | <i>plug</i> | Potreo Ybaté | Ymi-5 | olivina piroxênio sanidina "leucita" "lamproíto" |
| Ymi-7 | diques | S-C.Chobi | Ymi-7 | olivina piroxênio "lamprófiro" |
| Ymi-8 | piroclastos | SE-C.Acahey | Ymi-8 | ? "lamprófiro" |
| <i>pipe</i> | | | | |
| Yzu-1 | dique | SW-V. Alegre | Yzu-1 | mica olivina piroxênio analcima sanidina "lamprófiro" |
| Yzu-2 | dique | NW-C. Acati | Yzu-2 | mica olivina sanidina piroxênio "lamproíto" |
| Yzu-3 | brecho-lava | Mboacayty | Yzu-3 | olivina piroxênio sanidina "leucita" "lamproíto" |
| Yzu-4 | brecha | Vista Alegre | Yzu-4/br | piroxênio mica "lamproíto" |
| | <i>pipe</i> | | | |
| | lava | | Yzu-4/l | mica olivina "lamproíto" |
| Yzu-6 | <i>still</i> | Salto Boni | Yzu-6 | poroxênio mica sanidina "Lamproíto" |
| Yzu-10 | diques | SE-Paso Yobal | Yzu-10 | piroxênio mica "lamproíto" |
| | | | | olivina piroxênio mica "lamproíto" |
| Ymi-2 | fácies de | Kirito | Ymi-2 | olivina piroxênio "alcali-basalto" |
| <i>pipe</i> | brechas | | | |
| Ymi-3 | <i>plug</i> | .NE-Kirito | Ymi-3 | olivina piroxênio "leucita" fonolito |
| Ymi-6 | lava | NW-C. Acahey | Ymi-6 | olivina piroxênio "alcali-basalto" |
| Ymi-9 | lava | C. Porteiro | Ymi-9 | mica piroxênio "alcali-basalto" |
| Ymi-10 | dique | Soto Ruguá | Ymi-10 | mica sanidina piroxênio analcima "lamprófiro" |
| Yzu-5 | diques | cant. MOPC | Yzu-5 | mica piroxênio "lamprófiro" |

Tabela 2-4. Intrusões lamprofiricas relacionadas e/ou que ocorrem junto ao *rit* de Asunción.

Pipe Ymi-1

Este corpo foi originalmente reconhecido por Presser (1992) referindo-se a ele como conduto "lamproítico" Dom Eladio 1; Fotografia 1, 2, 3 e 4; ver reprodução na Figura 2-10. Como se observa na Figura 2-8 a intrusão colocou-se sobre linhas de fratura E-W e NE-SW. Na fotografia 2 e no mapa da Figura 2-10 fica evidenciada a forma irregular a grosseiramente bilobulada do corpo, sendo que o seu tamanho é de cerca de 2050 m por 1200 m (lóbulo leste) a 880 m (lóbulo oeste). O *pipe* corta a sedimentos das unidades clásticas finas a grossas U1-U3 (Presser, 1992) sendo ele cortado por alguns delgados diques com rumo E-W e NW-SE (Fotografias 1 e 2).

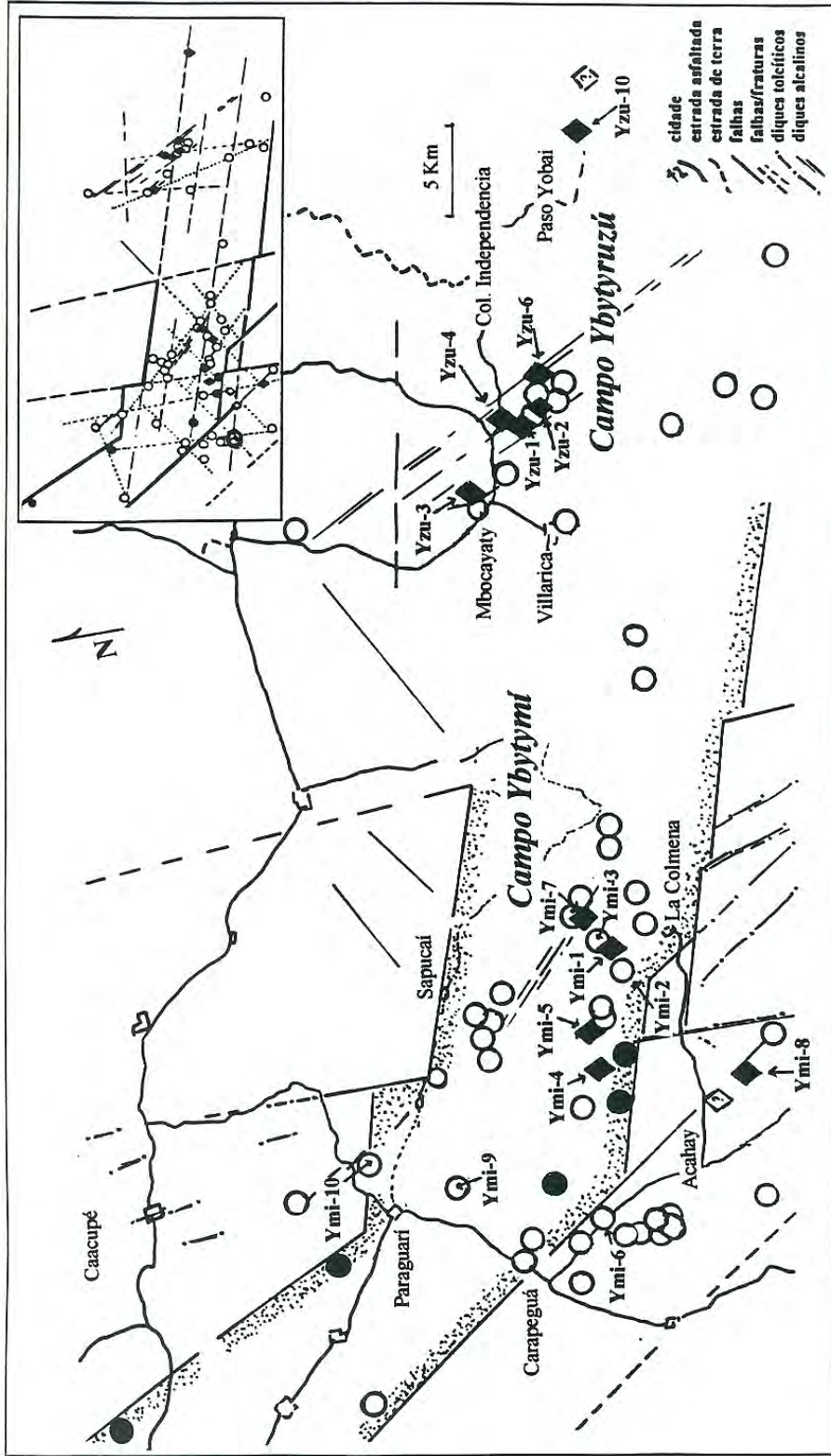


Figura 2-8. Corpos de rochas alcalinas no *rift* de Asunción. Aqui são destacados os corpos de rochas "lamprofíricas" que foram estudados neste trabalho e os diferentes intrusivos associados ao *rift*. Em rombos cheios as rochas "lamprofíricas" estudadas, em círculo vazio outras litologias alcalinas (~130 Ma) e em círculo cheio fonolíticos de ~68 Ma e nefelínitos de ~45 Ma (cf. Velázquez, 1992 e Comin-Chiaromontí & Gomes, 1996). Na borda superior direita esquema de anisotropia das encaxantes dos corpos intrusivos alcalinos no *rift*. No Campo Ybytyimi as intrusões encaixaram-se segundo os traços E-W, N-S, NE-SW (anisotropia do megaciclo Brasileiro?) e secundariamente NW-SE; já no campo Ybytyruzú as intrusões encaixaram-se segundo os traços E-W, NW-SE e secundariamente N-S. Para dados da geologia consultar a figura seguinte.

Este corpo como os outros pipes foram estudados através da observação de campo auxiliado pelas fotografias aéreas e mapas topográficos (1:50.000). Nesta estrutura e na de Ymi-8 (item adiante) foram feitos poços de inspeção (Fotografia 4). Conforme o levantamento geológico no seu lóbulo oeste reconheceram-se um pequeno afloramento da fácies hipoabissal; um *plug* destacado no campo pelo suave ressaltado topográfico, e aqui são encontrados blocos de rocha porfirítica fresca de cor cinza escuro a algo alteradas (assim apresentando cores cinza amarronzados) com feno/megacristais de olivina e de piroxênio em matriz algo fina de aspecto basaltóide. O resto da estrutura aparece coberta por solo que lhe transmite uma topografia plano ondulada onde cresce a vegetação rasteira (Fotografia 3), que contrasta com a vegetação mais volumosa e arbórea das bordas do *pipe*.

Foram reconhecidas, a partir de poços de inspeção (uns deles com ~2 m) realizados a SW (Fotografia 4) no lóbulo leste, afloramentos de rochas sedimentares clásticas, onde se reconhece sedimentos argilosos cinza beje ricos em seixos de quartzo bem arredondado e areia quartzosa fina a grossa. Do material amostrado e lavado com líquidos densos obtiveram-se concentrados de minerais pesados, os que sugerem que se trata de fácies epiclástica do *pipe*. Este conjunto de dados mineralógicos serão abordados mais pormenorizadamente em capítulos posteriores.

Amostraram-se também vários diques decimétricos, encontrados em blocos/matações alinhados dentro desta estrutura. Alguns destes diques são estudados nos detalhes da química mineral (Ymi-1 d). Contudo dois diques bem diferenciados que cortam as *fácies* a leste do *pipe* (Fotografia 2) ocorrem como rocha porfirítica fresca de cor cinza escuro, com feno/megacristais de olivina e de piroxênio que estão mergulhados em uma matriz de aspecto basaltóide algo fina. Outro dique foi amostrado a leste do conduto, (Fotografia 2), apresentando-se como um dique decimétrico em *zig-zag* que corta a sedimentos finos U1 (Presser, 1992). Trata-se de uma rocha porfirítica de marcado aspecto lamprofírico cinza escuro com fenocristais de olivina, piroxênio e mica escura em uma matriz basaltóide fina.

A julgar pela exposições de ilhas dos sedimentos das encaixantes dentro do *pipe*, apresentando-se claramente sem perturbações tectônicas, este corpo teria sofrido avançada erosão.



Fotografia 1. Imagem (falsa cor) da borda W do rift de Asunción. São destacados, pelas setas, os corpos estudados neste trabalho, assim como também outras intrusões alcalinas do Mesozóico bem conhecidas (ex. C. Acahay, A) e do Terciário (ex. C. Yariguaá, Y).



Fotografia 2. Cópia da fotografia aérea 1:50.000 do I.G.M. (Paraguai) onde são destacados, pela setas, o *pipe* Ymi-1 e, pouco mais acima (seta menor) o dique Ymi-1c; e a NE os diques E-W Ymi-7. A N, traços NW-SE diques alcalinos do enxame Ybytymí (Presser, 1992). 2cm na fotografia = 1000 m.



Fotografia 3. Paisagem sobre o *pipe* Ymi-1. Observar o relevo plano e sem vegetação dentro do *pipe*.



Fotografia 4. Poço de inspeção na *fácies* epiclástica situado a SW do *pipe* Ymi-1

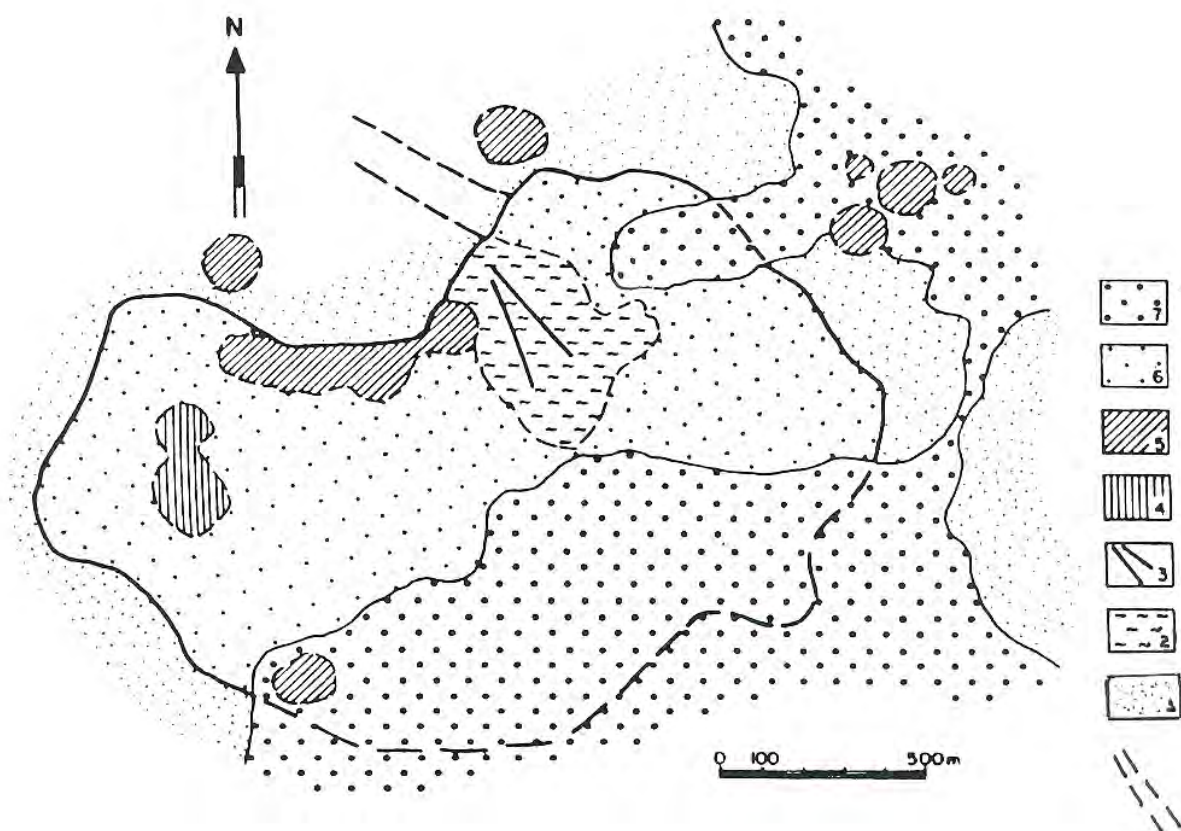


Figura 2-10. O *pipe* Ymi-1 na área de Kiritó, campo Ybytymí. Lenda: tracejado paralelo: fotolineamentos (fraturas?); 1: rochas sedimentares permianas; 2: rochas sedimentares finas da base do *pipe*; 3: diques "lamprofiricos"; 4: fácies hipoabissal (*plug*) de rochas "lamprofirica"; 5: estruturas circulares observadas em fotografias aéreas ("basaltos alcalinos"/ "lamprófiros"; 6: solo de cobertura; 7: depósitos quaternários/recentes. Os contatos assinalados, tanto das formações como das estruturas são todos aproximados ou inferidos.

Diques Ymi-7

São encontrados dentro da borda centro-sul de aparente estrutura circular na região do cerro Chobí-Cañada (Presser 1992) um conjunto de diques métricos paralelos a E-W (Fotografia 2) encaixados nos sedimentos U2 (Presser 1992). Aqui traços E-W junto com outros que possuem rumo NE-SW parecem ter desempenhado um papel de destaque na colocação destes diques, como também na colocação da intrusão Ymi-1 (Figura 2-8). Ymi-7 constituem diques de rocha porfírica fresca de cor preta algo esverdeada, com feno/megacristais (milimétricos a centimétricos) de piroxênio verde e fenocristais de olivina acompanhada de enclaves angulosos (milimétricos a centimétricos) de rocha peridotítica. Eles estão colocados em uma matriz de aspecto basaltóide. Detalhes petrográficos e de química mineral de um destes diques são encontrados no capítulo 3.

Pipe Ymi-4

Esta estrutura, descrita em Presser (1992) como Dú 2, possui conforme fotografias aéreas, forma bilobulada. Apresenta um tamanho menor quando comparado com Ymi-1, com ~1258 m de comprimento; o seu contorno encontra-se ocultado pela cobertura do solo e lavas basaltóides com leucita da Formação Sapucaí, assim dificultando a observação direta das relações do *pipe* com as encaixantes (Presser 1992).

No centro da estrutura ficam expostas rochas da fácies hipoabissal, representadas por lavas vesiculadas (preenchidas por zeólitas) cinza-roxo, algo alteradas e de marcado aspecto lamprofírico, com fenocristais de piroxênio e pseudomorfos de olivina em uma matriz fina de aspecto fonolitóide. Pela sua vez, as lavas estão cortadas por fácies de brecha autolítica com clastos angulosos predominando dimensões centimétrica, porém algo mais maciças e algo alteradas e sustentadas por matriz magmática da mesma composição. As lavas estão cortadas por diques decimétricos (rumo NW-SE) da mesma composição diferindo das litologias anteriores, por serem algo mais maciços e menos alterados. A eles associam-se outros diques de composições basaltóides com fenocristais de leucita e mica-pseudomórfica, cortando as lavas em rumo NE-SW. Detalhes da química mineral e da petrografia são dados no capítulo 3.

Pipe Ymi-8

Esta estrutura, destaca-se pela forma bilobulada (Fotografia 5 e 6), sendo seu comprimento de ~2750 m e contando com dois lóbulos, um deles de ~1250 m de largura a norte e outro menor de ~1150 m de largura a sul (Fotografia 5 e 6). Possui em superfície forma plana que esta quebrantada, no lóbulo sul, por uma lombada suave de forma triangular (Fotografia 5 e 6). Neste corpo não foram observados exposições de rocha magmática, porém num furo de inspeção (~2 m) praticado no lóbulo sul obtiveram-se materiais argilosos de cor cinza-ocre, onde identificaram-se alguns seixos de quartzo (milimétricos) e areia fina a média também quartzosa que ao ser lavadas com líquidos densos forneceram *suíte* de minerais pesados de afinidade magmática (ver Capítulo 4). Esta feição, como levantado já em referência a Ymi-1, testemunham uma fácies epiclástica comum aos *pipes* magmáticos. Esta intrusão instalou-se em encaixantes de rochas sedimentares do Grupo Siluriano (Fm. Tobatí) flanco sul do *rift*, que segundo Presser (1992) trata-se de um bloco abatido a W, num fenômeno estrutural que teria facilitado a colocação de outros corpos alcalinos (Figura 2-8) como o C. Acahay (*ring dyke* de 5 km de diâmetro). Este conjunto de intrusões fundamentalmente parece estar vinculado com traços NW-SE e de certa forma também com aqueles de rumo NE-SW (Figura 2-8).

Plug Ymi-5

Estrutura originalmente descrita por Presser (1991) e detalhada em Presser (1992 e 1994). Este corpo intrusivo se encaixou nos basaltóides da Formação Sapucaí. As fotografias aéreas sugerem uma forma circular de ~200 m de diâmetro (*plug*). No campo, a estrutura esta mascarada pelo relevo deprimido, que possibilita o desenvolvimento de solo e o abatimento de blocos basaltóides das encaixantes. Corresponde a uma rocha vulcânica marcadamente porfirítica com feno/megacristais de “leucita” de cor branco a turquesa pálido e feno e microfenocristais de piroxênio escuro e olivina serpentinizada em uma matriz de aspecto basaltóide, contendo algumas amígdalas de zeólita branca.

Deve-se mencionar que diques de natureza lamprofírica (i.e. “lamprófiros” com fenocristais de mica) do *enxame de diques Ybytymí* (Presser 1992, 1994) mostram preferência pelas *fácies* sedimentares onde abundam os sedimentos mais finos (p/ex. argiláceos). Outra observação a apontar é a preferência destes diques a



Fotografia 5. *Pipe* Ymi-8. Este corpo mostra marcadamente o relevo plano que esta sobrelevado no fundo por uma leve ondulação na topografia, a qual corresponderia a *fácies* magmática (*plug*) como descrito na literatura (ex. Mitchel & Bergman 1991). No fundo, o morro cônico representa o C. San José (alcalino gabróide, cf. Presser 1992).



Fotografia 6. Parte da fotografia aérea 1:50.000 (I.G.M. - Paraguai) onde é mostrado pela seta o *pipe* Ymi-8 (~2750m). Outros suspeitos *pipes* a N são mostrados pelas setas curvas.

ocupar fendas com orientação N-S, relegando-se à rochas de dique de composições diferentes à outras direções preferenciais (p/ex MW-SE).

Rochas ígneas alcalinas do Campo Ybytyruzú

No segmento oriental do *rift* se destaca a elevada topografia da *Cordillera del Ybytyruzú* contrastando em ~700 m acima do nível topográfico médio do *valle de Acahay*. Aqui ocorrem centros de efusões e intrusões de diques de composição toleítica que estão cortados por diques, enxame de diques (*Enxame Ybytyruzú* com rumo NW-SE, Figuras 2-8 e 2-9), *plugs* e *stocks* de rochas alcalinas Mesozóicas (~130 Ma, Tabela 2-3). As ocorrências mais conhecidas são:

- intrusões a NNE: Aguapety-portón, Mbocayaty, Capiitindy, Melgarejo, Vista Alegre, entre outras (Figura 2-8 e 2-9);
- intrusões a SSW: C. Sta. Helena, C. km 23, etc. (Figura 2-8 e 2-9).

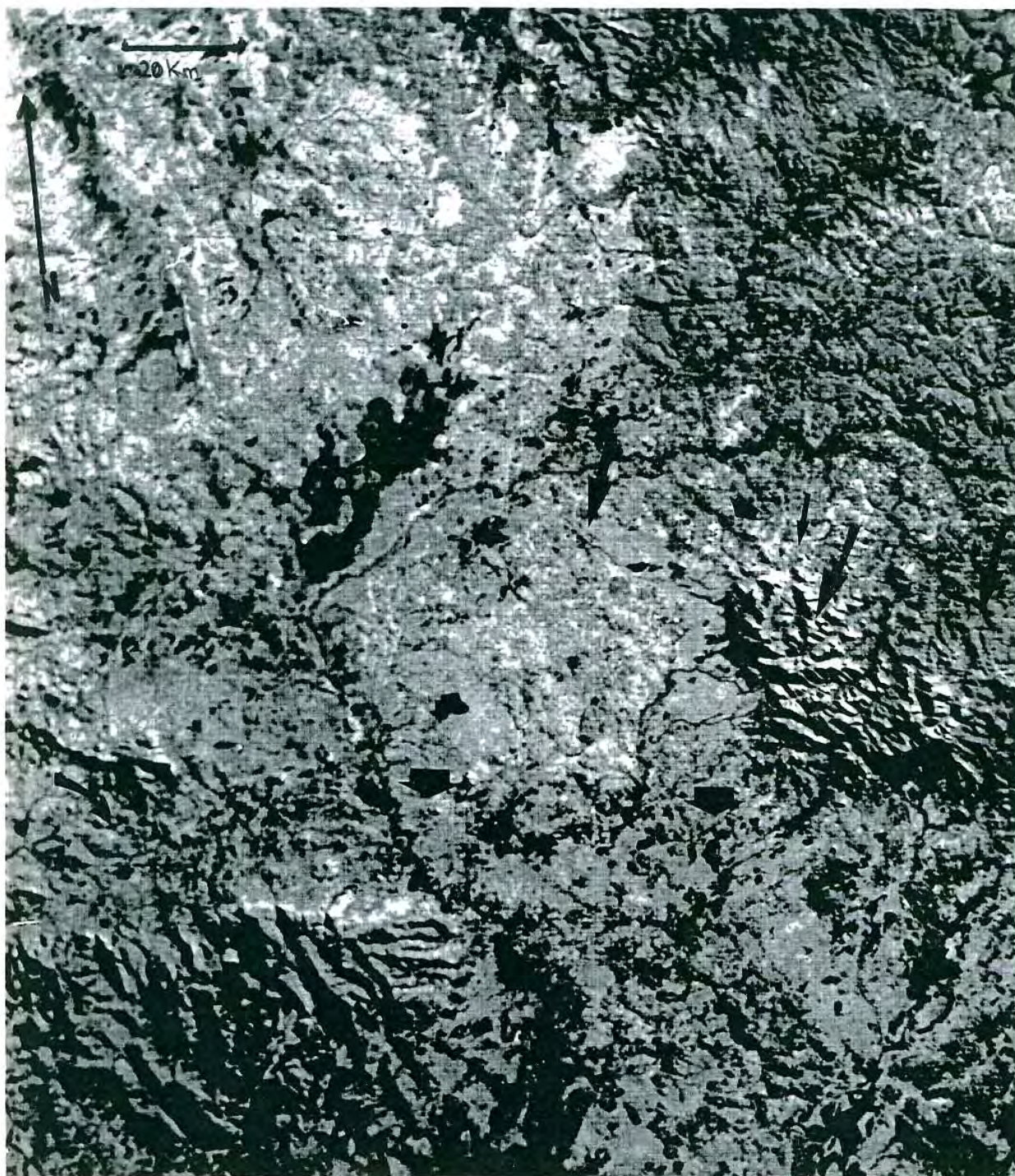
Estudos petrográficos iniciados com Eckel (1959) levaram ao reconhecimento, neste domínio, de rochas gabróides e rochas sienitóides alcalinas e de “lamproítos”, rochas lamprofíricas e basaltóides com “leucita” ver Putzer (1962), Bitschene (1987), Comin-Chiaramonti & Gomes (1996).

De forma general, como constata-se na Fotografia 2-7, 2-8 e 2-9, as intrusões instalaram-se segundo traços/combinção de traços E-W e NW-SE e segundo falha ~N-S.

Intrusões lamprofíricas do Campo Ybytyruzú

Foram reconhecidos no *campo Ybytyruzú* duas intrusões de brecha (Yzu-3 e Yzu-4), um *sill* e vários diques e enxame de diques possuindo aspecto de rochas lamprofíricas (Yzú-1 e Yzu-2). Algumas intrusões das muitas encontradas na borda norte da *cordillera del Ybytyruzú*, sucintamente apontadas na Tabelas 2-3 e 2-4 são aqui estudadas e outras são estudadas em Bitschene (1987) e Comin-Chiaramonti & Gomes (1996), Figuras 2-8 e 2-9. A Fotografia 7 mostra a orientação estrutural das intrusões a norte da *cordillera del Ybytyruzú*:

- lineamento NW-SE bem marcado (ex. enxame de diques Ybytyruzú, Presser 1994), que estão marcados como linhas de traços na Figura 2-8;
- por vezes o lineamento dado pela/s provável/eis falha/s abissal/is) N-S (ex. Yzu-1, Yzu-2 e Yzu-4). Outros diques encontrados a leste da *cordillera* (Paso Yobai,



Fotografia 7. Imagem de satélite, branco e preto (canal 5), do bloco Oriental do rif de Asunción. Estão apontadas os enxame de diques alcalinos (NW-SE, pela seta); as intrusões alcalinas citadas no texto, que da esquerda à direita são: Yzu-3, Yzu-2/Yzu-4, Yzu-2/Yzu-6 e Yzu-10. Notar os lineamentos com rumo E-W (ex. Setas paralelas), N-S, NW-SE e menos comum os NE-SW.

Figura 2-8), seguem rumo N-S e associam-se com zonas de fraturas E-W, N-S, NW-SE e mais raramente também NE-SW, (medidas em encaixantes do Grupo Independencia).

De forma geral, como pode ser constatado na fotografia 7 e nas Figuras 2-8 e 2-9 as intrusões instalaram-se segundo linha de traços/conjunção de linhas de traços E-W, NW-SE e N-S. O conjunto de linhas de traços E-W, que entende-se como falhas abissais, correspondem à zona de lineamento E-W. Conforme indicado na Figura 2-8, se estende a W até o campo *Ybytymí* e o *Rio Paraguay*, juntando-se a leste com o lineamento do Rio Uruguai.

Intrusão Yzu-4

Este corpo foi descrito por Bitschene (1987) referindo-se a ele como fono-lamproíto. A intrusão possui algumas dezenas de metros (<50) de largura e forma geométrica similar a uma taça de *champagne*. Esta encaixada em sedimentos do Grupo Independencia (Bitschene, 1987). Nela são reconhecidas duas fácies diferentes de rocha:

- 1- fácies de brecha micácea que ocupa o conduto da intrusão, prolongando-se para leste onde é coberta por lavas.
- 2- fácies de lava, que se apresenta pseudo estratificada rumo a leste (Fotografia 9). Esta intrusão lembra condutos (*pipes*) lamproíticos.

A *fácies* de brecha micácea corresponde a uma rocha vulcânica de textura lamprofírica marrom esverdeada, brechóide autolítica (segundo fragmentos angulosos de rocha de aspecto lamprofírico rica em feno/microfenocristais de mica pseudo-exagonal, raros pseudomorfos de olivina milimétrica e pseudomorfos de piroxênio), acompanhada por enclaves das rochas encaixantes (sedimentares e ígneas) de dimensões centimétricas possuindo formas arredondadas a angulosas sustentados em matriz da mesma composição carregada de clástos de areia fina a grossa quartzosa.

A *fácies* de lava corresponde a uma rocha vulcânica de cor cinza amarronzado a esverdeado, porfírica com abundantes fenocristais de piroxênio prismático verde milimétrico, olivina pseudomórfica sub milimétrica a milimétrica e, microfenocristais de mica castanha. Ocorre junto a eles escassos fragmentos angulosos autolíticos



Fotografia 8. Intrusão de Mbocayaty. Aqui os observadores examinam exposições da brecha rica em fenocristais de "leucita" (Yzu-3), exposta no contato (em direção ao observador) com encaixante um shonkinito (cf. Putzer 1962).

Yzu-3



Fotografia 9. Intrusão Yzu-4. *Fácies* de brecha com mica (esquerda da foto até o observador) invade (?) *fácies* de "lava" (a direita da foto junto ao observador).



Fotografia 10. Cópia ampliada da fotografia aérea 1:65.000 do I.G.M. (Paraguai) a ~10 Km SW da cidade Paso Yobai, onde são mostrados os diques “lamprofíricos” (setas Yzu-10 (rumo N-S), que ocorrem associados com veios/filões de quartzo aurífero (rumo E-W, em setas pequenas). Em linhas de traços alguns diques de diabásio toleitico (Serra Geral ou Fm. Alto Paraná, no Paraguai); litologias encaixadas em sedimentos do Grupo Independencia (Permiano).

possuindo vesículas milimétricas preenchidas por zeólitas. A matriz é muito fina e alterada.

Sill Yzu-6

Bitschene (1987) descreve este *sill*, que está colocado entre os arenitos da Formação Misiones (arenitos cor bege claro), como rocha de natureza sienitoide (malignito melanocrático/shonkinito porfirítico). Observações de detalhe mostram que o corpo trata-se de um dique-*sill*, máximo de um metro de espessura, colocado numa fratura subvertical que se abre em direção leste num *sill* que ficou exposto na base da queda da água conhecida como *salto Boni* (~50 m de queda, Bitschene 1987.). O *sill* é composto por uma rocha vulcânica porfirítica com marcada textura lamprofírica, dada pela presença de fenocristais milimétricos de mica, piroxênio e microfenocristais de ilmenita imersos em uma matriz microgranular algo alterada com abundantes amígdalas de carbonato milimétricos a centimétricos e enclaves de rochas sedimentares texturalmente finas. São apresentados os detalhes petrográficos e de química mineral no Capítulo 3.

Diques de Paso Yobai (Yzu-10)

Na porção distante 10 km a SE da cidade de Paso Yobai, na *Compañía* Unidas (Figura 2-8 e Fotografia 10) ocorrem jazidas de ouro onde este autor esteve pesquisando durante os meses de agosto a outubro (1997). Esta pesquisa levou a observar que diques decimétricos a métricos de rochas de aspecto lamprofírico ocorrem associados a diques de diabásio da *Formação Alto Paraná* (Serra Geral no Brasil), de possança decimétrica junto a filões de quartzo (alguns auríferos) centimétricos a métricos (?). Esses litotipos encontram-se encaixados em sedimentos (pelíticos a arenitos quartzosos/oolíticos a pisolíticos) portadores de caules de madeira silicificada, atribuídas ao Grupo Independencia.

As informações geológicas coligidas no campo permitiram observar que:

- os diques de diabásio toleítico, maciço, de cor preto cortam sedimentos (pelitos e arenitos) do Grupo Independencia segundo NW-SE;
- os diques de rocha vulcânica, parcial a totalmente alterada, com forte aspecto lamprofírico dado pela presença de microfeno a megacristais (até centimétricos) de mica e pseudomorfos de piroxênio e microfenocristais de olivina; numa matriz de

textura muito fina a fina; cortam sedimentos polícticos do Grupo Independencia segundo N-S, NNW-SSE.

- filões de quartzo aurífero com vários centímetros de espessura aparecem em zonas de fraturas decimétricas com rumo E-W e ENE-WSW, instalando-se nos sedimentos areníticos do Grupo Independencia. Aqui também, como verificado no *Campo Ybytymí*, os diques das intrusões lampróficas micáceas encontram-se preferencialmente encaixados em sedimentos finos.

Nos sedimentos de leito do córrego (arroyo) Itá ocorrem blocos de rochas fonolíticas porfíricas (fenocristais de olivina e feldspato) e rochas traquitóides frescas. Estas litologias de afinidades tipicamente alcalina ainda não foram descritas na literatura. Observa-se um provável *plug*, colocado perto de onde foram encontrados estes blocos; possivelmente seja sua fonte (Fotografia 10).

Dique Yzu-1

A oeste da intrusão Yzu-4, junto à base do flanco NW-SE da borda *da cordillera del Ybytyruzú* (Figura 2-8) ocorre um dique decimétrico de rocha vulcânica, de cor cinza escuro, porfírica com fenocristais de piroxênio, olivina fresca/pseudomorfizada, milimétrica e, ocasionalmente mica escura mergulhados em matriz de aspecto basaltóide muito fina. O dique encontra-se encaixado em sedimentos do Grupo Independencia. Ele ocorre no flanco a leste de uma faixa rica em diques alterados de “lamprófios” com mica orientados segundo NW-SE, pertencentes ao *enxame Ybytyruzú* (Figura 2-8 e Fotografia 7)

Dique Yzu-2

Na porção sul da intrusão Yzu-4, no extremo norte da cordillera del Ybytyruzú, e vinculado ao lineamento N-S (Figura 2-8 e Fotografia 7), encontram-se blocos alinhados aparentemente cortando as lavas da *Formação Alto Paraná*. Trata-se de uma rocha vulcânica cinza, fortemente porfírica, rica em pontilhados branco-beje de fenocristais de “leucita” (sub milimétrica) e microfenocristais de piroxênio escuro, olivina submilimétrica e subordinada mica castanha; encontram-se imersos em matriz muito fina de aspecto basaltóide. Detalhes petrográficos e da química mineral são proporcionados no capítulo 3.

Intrusão Yzu-3

Esta intrusão aflora na antiga pedreira da cidade de Mbocayaty e foi originalmente descrito por Eckel (1959) como rochas sienitóide, sendo posteriormente revisada por Putzer (1962). No entanto, coube a Bitschene (1987) notificar nesta localidade a presença de rochas vulcânicas intrusivas nos sedimentos do Grupo Independencia. A oeste ocorre um *stocks* com *fácies* de rochas plutônicas máficas, cortadas na sua borda leste por rochas vulcânicas. Estas rochas vulcânicas possuem aspecto brechoide, clasto-matriz sustentada (Fotografias 7 e 8) composta por fragmentos milimétricos a decimétricos de rocha basaltóides porfirítica contendo fenocristais milimétricos de olivina, piroxênio e abundante “leucita”, em matriz magmática basaltóide porfirítica com fenocristais de olivina, piroxênio e “leucita”. Entre os clástos de rocha magmática observam-se alguns com vesículas milimétricas preenchidas por zeólitas (fragmentos vesiculados). Estas rochas dão a impressão de tratar-se de brechas autolíticas de frente de lava, nas quais se nota um aparente fluxo de derrame rumo a NE, com aspectos similares às descritas por Presser (1992) junto ao cerro Medina na Formação Sapukai. No capítulo 3 descreve-se uma amostra coletada nos primeiros metros junto à parede de contato com as rochas sienitóides. Este conjunto de rochas vulcânicas e plutônicas são cortadas por diques decimétricos, quase todos alterados, de composição basaltóide com leucita (rumo N45°W) e lamprofíricas micáceas (rumo N-S).

Em relação ao Campo Ybytymí, no *Campo de Ybytyruzú* o trabalho não é fácil devido à presença de bosques que dificultam a coleta de amostras frescas. Entretanto, em comum com as do *Campo Ybytymí* o *enxame de diques Ybytyruzú* é rico em rochas lamprofíricas. Porém no *Campo Ybytyruzú* predominam os mica piroxênio “lamprófiros” perante outras litologias de rochas alcalinas (mais heterogeneas no *Campo Ybytymí*). Neste trabalho de tese são abordados um reduzido número das intrusões deste *campo*, pelo que informações adicionais, em termos da geologia, petrografia, química de rocha e química mineral poderão ser complementados com os trabalhos de Bitschene (1987), De Min (1993) e Comin-Chiaramonti & Gomes (1996).

CAPÍTULO 3

Petrografia e Química Mineral

Introdução

Do grupo de rochas estudadas o espinélio é a face mineral mais comum presente em todas elas. Como os espinélios nem sempre são tarefa fácil de ser abordados e corretamente caracterizados, pretende-se a seguir dar algumas informações sobre os espinélios. A utilidade, das linhas apresentadas em relação a este mineral, será avaliadas em seguida nas descrições da química mineral; no capítulo final, os espinélios novamente são abordados, constituindo-se uma nova oportunidade para o contato do leitor com as linhas de baixo.

A fórmula estrutural dos espinélios é $R^{2+}(R^{3+})_2O_4$ e formam uma extensiva e intermutual série de solução sólida, onde raramente ocorrem como espécies naturais de uma composição pura de *end members* (Deer et al., 1962).

Este conjunto de minerais forma um GRUPO que pode ser subdividido em três séries, conforme os íons trivalentes Al^{3+} , Fe^{3+} e Cr^{3+} (Tabela 3-1), que estiverem presentes: SÉRIE DO ESPINÉLIO ($R=Al^{3+}$), SÉRIE DA MAGNETITA ($R=Fe^{3+}$) e SÉRIE DA CROMITA ($R=Cr^{3+}$). Os membros das séries diferenciam-se entre si segundo o elemento que se apresenta como cátion R^{2+} predominantemente: Mg, Fe, Zn, Mn, Ni, Co, Ge e Cu (Deer et al., 1962; Haggerty 1976). As composições desses

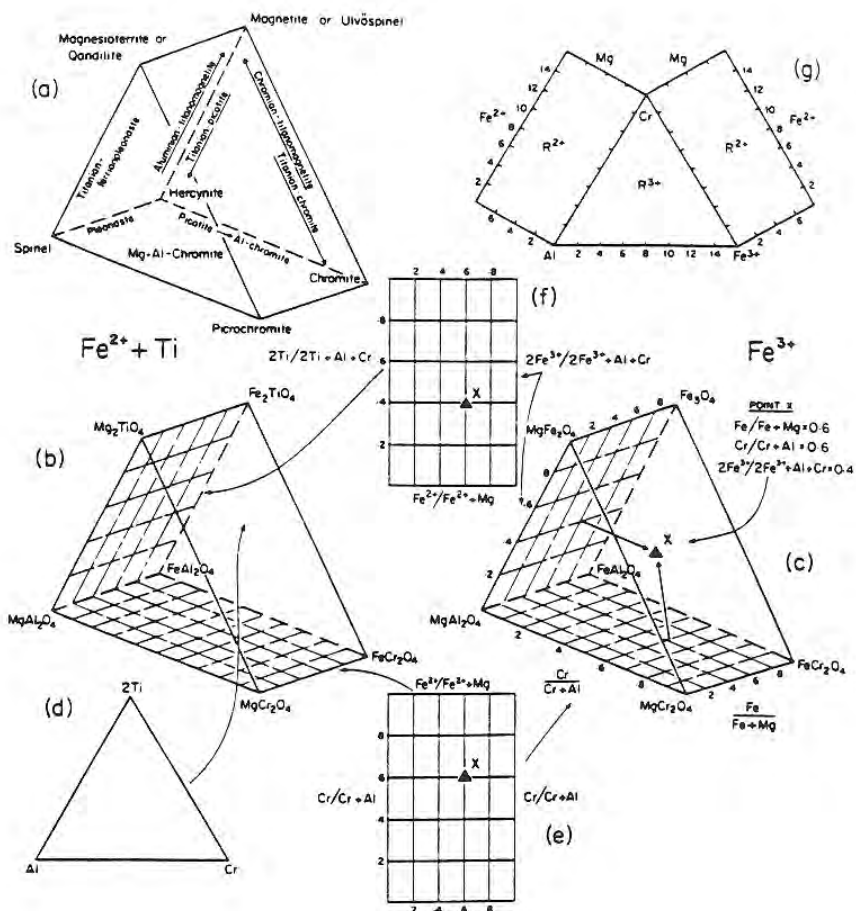


Figura 3-1. Nomenclatura dos espinelos no prisma multicomponente. A base do prisma é tida como dos *espinélios normais* e os flancos dos *espinélios inversos*. Espinelos inversos são divididos em $\text{Fe}^{2+} \text{Mg} + \text{Fe}^{2+}$ (b), e $\text{Fe}^{2+} \text{Mg} + \text{Fe}^{3+}$ (c). O ternário do extremo esquerdo dos prismas possuem Mg como elemento comum, o ternário direito Fe^{2+} como elemento comum. Pelo prisma divalente, Ti, Fe^{2+} e Mg são as variáveis (b); onde o prisma trivalente (c) as variáveis são Fe^{3+} , Al e Cr. Conquanto Fe^{2+} e Mg são fatores comuns para cada um dos ternários, o raio mostrado em (e) define a variação ao longo da base do prisma. A projeção empregada é mostrada em (d) e (f) porém a projeção mais empregada é a base do prisma dos espinelos (e). Estes prismas (b) e (c) são conhecidos como o *prisma dos espinelos modificado de Johnson* que é algo diferente do prisma de Parlov em (g). No prisma de Parlov, faz-se projeção indiretamente no ternário empregando componentes trivalentes, e em seguida lançam-se as mesmas análises que são transferidos ao retângulo da esquerda se $\text{Al} > \text{Fe}^{3+}$, ou ao retângulo da direita se $\text{Fe}^{3+} > \text{Al}$; este segundo lançamento é específico para íons divalentes. Os valores da escala representam o numero de cátions em coordenação tetraédrica e octaédrica da fórmula dos espinelos que se baseia em 32 oxigénios e 24 cátions (Haggerty, 1991).

minerais podem ser projetados no sistema multicomponente dos espinelos, representados por um prisma modificado de Johnston na Figura 3-1 (cf Deer et al., 1962; Haggerty 1975, 1976, 1991, 1994).

Espinélios com estrutura normal são aqueles em que R^{2+} é de coordenação tetraédrica e R^{3+} de coordenação octaédrica ($8R^{2+}$ em A, $16R^{3+}$ em B), tendo como exemplo o espinélio ($Mg^{IV}(Al_2)^{VI}O_4$). Estes incluem as espécies como a hercinita ($Mg^{IV}(Cr_2)^{VI}O_4$), a cromita ($^{IV}Fe^{2+}(Cr_2)^{VI}O_4$) e a magnésio cromita ($Mg^{IV}(Cr_2)^{VI}O_4$), que estão representadas na base do prisma multicomponente dos espinélios (Figura 3-1).

Espinélios com estrutura inversa são aqueles em que as posições R^{2+} e R^{3+} estão preenchidos tanto como íons em coordenação tetraédrica como octaédrica ($8R^{3+}$ em A, $8R^{2+}+8R^{3+}$ em B) (Deer et al. 1966). Neles podem ocorrer deficiências de cations. Como exemplo encontram-se a magnetita ($^{IV}Fe^{3+}(Fe^{3+} Fe^{2+})^{VI}O_4$) e ulvöespinélio ($^{IV}Fe^{2+}(^{IV}Fe^{2+}Ti)^{VI}O_4$). São espinélios que no prisma multicomponente estão representados em suas bordas (Figura 3-1). O mineral maghemita ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) possuem estrutura dos espinélios no qual se dá a substituição $2Fe^{3+} = Fe^{2+}Ti^{4+}$ (Deer et al., 1966).

Na série dos espinélios, o espinélio ($MgAl_2O_4$) sensu stricto, seguido da hercinita ($FeAl_2O_4$), é o mais comum, existindo uma série de substituição contínua entre o espinélio e a hercinita. Espinélios onde Fe^{2+} substitui o Mg na proporção $Mg:Fe^{2+} = 3$ a 1 recebem o nome de pleonasto ou ceilonita. Zn pode substituir o Mg dando uma série isomorfa do espinélio gahnita ($ZnAl_2O_4$); este espinélio com Zn recebe o nome de gahnoespinélio ou espinélio de Zn. O íon Al pode ser substituído pelo Cr, gradando à série da Cromita (cromita magnésiana-cromita); o nome picotita restringe-se a hercinitas com apreciável substituição do Al pelo Cr. Galaxita ($MnAl_2O_4$) é um raro exemplar desta série e a substituição se dá como $Mn = Fe^{2+}$ e $Al = Fe^{3+}$ (Deer et al., 1966)

Na Série da Magnetita, a magnesioferrita ($Mg Fe^{3+}O_4$), magnetita ($Fe^{2+}Fe^{3+}O_4$) e maghemita ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$), o ulvöespinélio ($Fe^{2+}TiO_4$), a franklinita ($ZnFe^{3+}O_4$), a jacobsita ($MnFe^{3+}O_4$) e a trevorita ($NiFe^{3+}O_4$) são as variedades comuns; apesar da

| Cátions A2+ | Série do Espinélio (B=Al3+) | Série da Magnetita (B=Fe3+) | Série da Cromita (B=Cr3+) |
|--------------------|--|---|--|
| Mg | <u>espinélio</u> (MgAl ₂ O ₃) | <u>magnesioferrito</u> (MgFe ₂ O ₄) | <u>magnésiocromito</u> (MgCr ₂ O ₄) |
| Fe | <u>hercynito</u> (FeAl ₂ O ₃) | <u>magnetita</u> (Fe ₂ Fe ₃ O ₄) | <u>cromita</u> (FeCr ₂ O ₄) |
| Zn | <u>gahnito</u> (ZnAl ₂ O ₄) | <u>franklinita</u> (ZnFe ₂ O ₄) | |
| Mn | <u>galaxito</u> (MnAl ₂ O ₄) | <u>jacobsito</u> (MnFe ₂ O ₄) | <u>manganocromita</u> ((Mn,Fe)(Cr,V)2O ₄) |
| Ni | | <u>trevorito</u> (NiFe ₂ O ₄) | <u>nicromita</u> ((Ni,Co,Fe)(Cr,Fe,Al)2O ₄) |
| Co | | | <u>cocromita</u> ((Co,Ni,Fe)(Cr,Al)2O ₄) |
| Ge | | <u>brunogierito</u> ((Ge,Fe ₂₊)(Fe ₂ O ₄) | |
| Cu | | <u>criproespinélio</u> ((CuFe ₂₊)Fe ₂ O ₄) | |

Outros espinélios: ulyespinélio (Fe₂TiO₄); gandfilito (Mg₂TiO₄); cromita titanífera ((Fe(Cr,Ti)2O₄); ulyespinélio cromífero ((Fe,Cr)2TiO₄); coulsonito (FeV₂O₄); vourelainito ((Mn,Fe)(V,Cr)2O₄).

Tabela 3-1. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO GRUPO DOS ESPINÉLIOS

magnesioferrita ser difícil de analisar por ocorrer com hematita; as maghemitas, metaestáveis, gradam para hematita, e só são identificadas em magnetitas com excesso de Fe_2O_3 ; o ulvöespinélio ocorre como *blebs* em magnetita ou pseudobrookita. As demais espécies da série são raras (Deer et al., 1966).

Na Série da Cromita reconhecem-se só duas espécies: a magnesiocromita (MgCr_2O_4) e a cromita (FeCr_2O_4), sendo que a primeira recebe também o nome de picrocromita. Entre ambos existe substituição contínua do Mg pelo Fe^{2+} ou o inverso. Além disso dá-se apreciável substituição do Cr pelo Al e pelo Fe^{3+} . São também conhecidas cromitas com Zn (Deer et al., 1966). Arbitariamente, para se diferenciar uma da outra adota-se, neste trabalho, o valor do mg\# ($\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})$), sendo mg\# entre 50-100 para picrocromitas e $< \text{mg\#}$ 50 para as cromitas.

Os *end members* MgAl_2O_4 (espinélio)- FeAl_2O_4 (hercinita)- MgCr_2O_4 (picrocromita)- FeCr_2O_4 (cromita) representam o grupo predominante de espinélios no manto superior. Estas variedades, no prisma multicomponente ocupam sua base e eles possuem a estrutura dos espinélios normais, composição que, desta forma, pode ser expressado em termos de mg\# vs Cr\# , que é a base tanto para os espinélios “oxidados” (magnetita-magnesioferrita), como a base dos espinélios “reduzidos” (qandilita-ulvöespinélio) (Haggerty 1991, 1994).

Os *end members* MgAl_2O_4 - FeAl_2O_4 - MgTiO_4 (reunidos sob o nome coletivo de titanomagnetitas)- Fe_2TiO_4 (ülvoespinélio), são *end members* muito diferenciados da série e podem ser representados em diagramas binários em termos dos valores das razões de Ti\# ($=\text{Ti}/(\text{Ti}+\text{Cr}+\text{Al})$) vs Fe\# ($=\text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+}+\text{Mg})$) (Mitchell & Bergman 1991), que são úteis sobretudo para expressar aqueles espinélios como o ülvoespinélio e titanita magnésifera (Mg_2TiO_4). Já os espinélios vistos como a magnetita e magnesioferrita se representam melhor em diagramas binários em termos das razões $\text{Fe}^{3+\#}$ vs Fe\# , ver por exemplo Haggerty (1975, 1976, 1991, 1994).

Menos comunmente representam-se nos diagramas ternários a magnetita/ülvoespinélio-cromita-hercynita, em função dos valores 2Ti-Cr-Al. O seu lado oposto é o prisma formado pelo qandilito-magnésiocromita-espinélio (Figura 3-1) e corresponde aos espinélios inversos. 2Ti-Cr-Al será empregado neste trabalho para representar as chamadas “magnetitas” em preferência ao diagrama binário representado em função dos valores $\text{Fe}^{3+\#}$ vs Fe\# . São também utilizados outros

diagramas ternários de representação como $MgFe_3O_4$ - $MgCr_2O_4$ - $MgAl_2O_4$ (Foley 1985); este é útil sobretudo para *end members* da série da cromita. No presente trabalho será empregado junto ao diagrama binário mg# vs Cr# para caracterizar espinélios cromíferos. Finalmente espinélios ricos em Mn ($MnO > 1\%$), que pertencem comumente à série da magnetita, podem ser representados também em diagramas ternários do tipo $MnFe_3O_4$ - $MnCr_2O_4$ - $MnAl_2O_4$; neste trabalho também será empregado como ferramenta de caracterização dos espinélios ricos em moléculas de jacobsita.

As rochas lamprofíricas junto ao *rift* de *Asunción*

Neste capítulo serão tentativamente caracterizados através da petrografia do estudo da química mineral de algumas intrusões de rochas lamprofíricas encontradas como rochas associadas aos basaltóides potássicos/ultrapotássicos do tipo Província Romana (Comin-Chiaramonti et al., 1992). Algumas delas já foram estudadas (Ymi-1, Ymi-5, Yzu-1 e Yzu-3, Gibson et al. 1996; Comin-Chiaramonti et al., 1992; De Min, 1993) e outras novas serão tratadas aqui. Quando possível, tentar-se-á, com base em critérios petrográficos e da química mineral, alcançar uma caracterização petrológica das ocorrências estudadas e, ainda que preliminar, o nome da rocha vem entre aspas, por exemplo olivina piroxênio “lamprófiro” . Contudo, a correta caracterização mineralógica, conforme as recomendações do IMA, seja por comparações das feições dos minerais analisados e os encontrados em outras rochas incomuns (lamprofíricas e/ou basaltóides potássicas), seja através das feições de enriquecimento nos diferentes elementos, através das análises das posições catiônicas, entre outros elementos que puderam ser encontrados nos minerais analisados, antecederam uma caracterização definitiva das rochas estudadas.

| Amostra | 93SOB24 | Cedri-M. | NYGr | 3151 | D12(515) | 93SOB152 | 93SOB39 | 93SOB61 | 93SOB109 | 48PS262 |
|--------------------------------|------------|------------|------------|-----------|--------------|----------|----------|-----------|----------|-----------|
| Análises | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 |
| Localização | Potero Yb. | Potero Yb. | Potero Yb. | Mbocayaty | C. Ybytyraty | Karé | Karé | C. Indep. | Sapucaí | Mbocayaty |
| Elementos | | | | | | | | | | |
| SiO ₂ | 47,28 | 48,32 | 50,13 | 48,2 | 50,83 | 49,8 | 48,19 | 49,23 | 47,88 | 50,31 |
| TiO ₂ | 2,27 | 1,69 | 5,23 | 1,92 | 2 | 1,27 | 1,69 | 1,48 | 2,04 | 1,61 |
| Al ₂ O ₃ | 15,97 | 15,16 | 6,26 | 10,35 | 10,95 | 12,34 | 12,24 | 10,88 | 14,43 | 12,96 |
| FeO | 10,85* | 8,29* | 2,03 | 4,98 | 4,68 | 9,7 | 9,64 | 9,75 | 11,51 | 5,86 |
| Fe ₂ O ₃ | | | 7,09 | 5,42 | 3,9 | | | | | 2,11 |
| MnO | 0,19 | 0,12 | 0,18 | 0,2 | 0,13 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,18 | 0,13 |
| MgO | 4,15 | 6,49 | 9,09 | 10,91 | 7,53 | 11,86 | 8,77 | 11,35 | 5,58 | 7,44 |
| CaO | 9,3 | 8,98 | 5,23 | 7,93 | 7,5 | 8,59 | 9,93 | 9,23 | 8,98 | 8,13 |
| Na ₂ O | 1,68 | 1,1 | 0,63 | 2 | 4,5 | 2,95 | 2,35 | 2,9 | 3,81 | 3,03 |
| K ₂ O | 5,55 | 9,64 | 10,11 | 5,81 | 3,5 | 3,1 | 5,15 | 3,27 | 4,05 | 4,44 |
| P ₂ O ₅ | 0,88 | 0,2 | 0,98 | 0,59 | 0,47 | 0,49 | 0,54 | 0,41 | 0,62 | 0,47 |
| Total | 98,12 | | | 99,91 | 99,73 | 100,25 | 98,65 | 98,65 | 98,08 | 99,34 |
| LOI | 4,56 | | | 1,61 | 3,74 | 3,16 | 2,67 | 9,18 | 2,51 | 2,85 |
| Ba | 2078 | 715 | 8900 | 1440 | 2410 | 1050 | 1144 | 1743 | 1307 | 1606 |
| Cr | 66 | 122 | | 850 | 455 | 904 | 300 | 906 | 54 | 445 |
| Ga | 22,4 | | | | | 15,5 | 9,9 | 14,2 | 19,1 | |
| Hf | 8,5 | | | | | 6,04 | 5,35 | 3,83 | 6,84 | |
| Nb | 62,3 | 12,3 | 99 | 51 | 55 | 29,6 | 32,9 | 30,5 | 49,2 | 39 |
| Ni | 36 | 60 | | 291 | 88 | 298 | 101 | 262 | 39 | 119 |
| Pb | 18,6 | | | | | 10,3 | 18,3 | - | 13,9 | |
| Rb | 87 | 337 | 191 | 189 | 56 | 34 | 63 | 31 | 102 | 80 |
| Sc | 14,3 | | | | | 24,5 | 20,7 | 25 | 25,6 | |
| Sr | 1865 | 437 | 1106 | 1368 | 1652 | 1356 | 1483 | 1311 | 1346 | 1550 |
| Ta | 4,19 | | | | | 2,41 | 2,07 | 2,26 | 2,92 | |
| Th | 11,63 | 2,2 | 77 | | | 7,94 | 8,52 | 8,17 | 10,42 | |
| U | 3,62 | 0,2 | 3 | | | 1,99 | 2,3 | 2,51 | 2,18 | |
| V | 314 | | | | | 264 | 271 | 244 | 296 | |
| Y | 27,1 | 16 | 15 | 17 | 21 | 14,9 | 19,5 | 12,5 | 24,1 | 17 |
| Zn | 100 | | | | | 73 | 78 | 73 | 87 | |
| Zr | 445 | 102 | 918 | 386 | 340 | 261 | 257 | 254 | 339 | 298 |
| La | 132 | 20,4 | 148 | 121 | 154 | 76 | 74 | 72 | 76 | 82 |
| Ce | 237 | 60,6 | 208 | 239 | 265 | 147 | 126 | 148 | 178 | 147 |
| Nd | 121,78 | 29,3 | 98 | 79 | 104 | 69,4 | 63,36 | 69,25 | 65,94 | 50 |
| Sm | 15,33 | 8,9 | 10,94 | | | 9,29 | 8,11 | 7,99 | 10,4 | |
| Eu | 3,6 | 3,8 | 2,89 | | | 2,41 | 2,14 | 2,62 | 2,73 | |
| Gd | - | 5,7 | 1,01 | | | - | - | - | 10,4 | |
| Tb | 1,35 | | 0,11 | | | 0,77 | 0,83 | 1,04 | 1,15 | |
| Ho | 0,98 | | | | | 0,84 | 0,79 | 0,62 | 0,9 | |
| Tm | - | | | | | - | - | - | - | |
| Yb | 2,46 | 0,27 | | | | 1,4 | 1,67 | 0,94 | 1,82 | |
| Lu | 0,29 | 0,05 | | | | 0,16 | 0,22 | 0,13 | 0,23 | |
| Sr/Sm | 0,707205 | | | | | 0,707236 | 0,707527 | 0,707366 | 0,707006 | |
| Nd/Sm | 0,511928 | | | | | 0,511861 | 0,511812 | 0,51172 | 0,511946 | |
| Sr/Sr | 0,706938 | | | | | 0,70657 | 0,707229 | 0,707093 | 0,70657 | |
| Nd/Nd | 0,511859 | | | | | 0,511859 | 0,511656 | 0,511787 | 0,511859 | |
| TNdM(Ma) | 1235 | | | | | 1358 | 1375 | 1400 | 1411 | |

Tabela 3-2. Dados geoquímicos das rochas potássicas a ultrapotássicas vinculadas com *orift de Asunción*. Fontes: 1=Gibson et al. (1996); 2=Comin-Chiaramonti et al. (1993); 3=Presser (1994); 4=De Min (1993); 5=Comin-Chiaramonti & Gomes (1996).

Conforme comentado no capítulo anterior, no presente trabalho dar-se-á ênfase ao estudo das rochas lamprofíricas. Estas rochas são divididas, a seguir, em dois grandes grupos petrográficos preliminares; (1) “lamprofiros”, e (2) “lamproitos”. Esta divisão permite facilitar as descrições da petrografia e da química mineral em grupos “familiares” de rocha.

No Capítulo anterior foram apontadas as variedades de rochas que são estudadas neste trabalho. Elas foram referidas como lamprofíricas, pois apresentavam como denominador comum a textura porfírica com marcado idiomorfismo dos fenocristais. Preliminarmente, se fazem necessários alguns comentários referentes à geoquímica do magmatismo alcalino dos campos Ybytymí e Ybytyruzú. Menciono-se que Comin-Chiaramonti et al. (1992), De Min (1993) e Comin-Chiaramonti & Gomes (1996) reuniram um vasto acervo de dados geoquímicos, geocronológicos e da química mineral do magmatismo alcalino dos campos Ybytymí e Ybytyruzú. De conformidade com os dados disponíveis nestes trabalhos e os encontrados em Bitschene (1987), Comin-Chiaramonti et al. (1992) e Gibson et al. (1996) pode-se destacar alguns aspectos relevantes dessas rochas:

*Os teores em potássio variam de 3 a 9% com K_2O/Na_2O de <1 a 47, mostrando claramente o caráter potássico a muito rico em potássio.

*O grande volume de rochas potássicas em que se observam teores de $K_2O > 3\%$, $MgO > 3$ e K_2O/Na_2O entre >2 e 47 que evidenciam o carácter de rochas ultrapotássicas. Segundo Comin-Chiaramonti et al. (1992) estas rochas adequam-se ao Grupo III das rochas ultrapotássicas, i.e. plagileucitos (Comin-Chiaramonti et al., 1996). Neste grupo foram reconhecidas duas grandes suítes de rochas potássicas (Comin-Chiaramonti et al., 1996 a-b): basanita-tefrito-fonotefrito-fonólito e basalto alcalino-traquibasalto-traquiandesito-traquifonólito/traquito. As variações composicionais dão-se em termos de $K_2O/Na_2O=2$ (K dominantes) a $K_2O/Na_2O > 2$ (HK importantes) que ocorrem junto a um outro tipo litogeoquímico de carácter transicional a potássico que denominaram de transicional (tK). Apesar disso, Giampaolo et al. (1997) observaram, ao estudar algumas rochas da Província Romana (Lago Bracciano), que ocorrem trocas geoquímicas do potássio pelo sódio + H_2O em lavas com fenocristais de leucita; observação similar pode também ser vista em Gupta & Yagi (1980) e Mitchell et al. (1987). Estas feições chamam a

atenção sobre o acerto ou não do procedimento de separação dos grupos transicionais a ultrapotássicos adotado por Comin-Chiaramonti et al. (1996) com relação as rochas do *rift de Asunción*. Assim, também a composição isotópica de Sr_m nestas rochas potássicas varia de 0.70700 a 0.71018 e a razão isotópica em Nd_m varia de 0.511660 a 0.511195 (Bitschene 1987; Gibson et al., 1996 e Castorina et al., 1996). Além disso quando se consideram nestas rochas as elevadas razões em Ba/Yb (até 2649) e em La/Yb (até 105) observa-se-á que as rochas potássicas do Paraguai diferem-se dos plagioclitos da localidade *Stand member* (Província Romana e Indonésia, em Foley et al., 1987) pois apresentam teores elevados em TiO_2 (0.66-2.30) e moderados a altos em Nb (18-69) aproximando-se bem mais aos lampróitos, como indicado por Bitschene (1987) e Presser & Bistchene (1990), do que aos plagioclitos e basaltóides afins associados, como propoem Comin-Chiaramonti & Gomes (1996). Entretanto isto comentado só aponta algumas complexidades do magmatismo do RA.

| Amostra | Ymi- 1/p1 | Ymi- 1/p2 | Ymi- 1/d | Ymi- 1.c | Ymi- 7 | Yzu- 1 | Ymi- 4/br | Ymi- 4/l | Ymi- 4/d | Ymi- 5 | Yzu- 2 | Yzu- 3 | Yzu- 6 |
|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-----------|-----------|--------------|-------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Olivina | XXX | XXX | XXX | X | X | XX | X | X | X | X | X | X | |
| Piroxênio | Xxx | Xxx | Xxx | XXx | Xxx | Xxx | XXx | XXx | XXx | Xxx | Xxx | Xxx | X |
| Espinélio | Xx | Xx | Xx | xx | xx | xx | Xx | Xx | Xx | Xxx | Xxx | Xxx | xx |
| Mica | x | x | x | Xx | x | X | XX | XX | xx | x | Xxx | x | XXx |
| Carbonato | x | x | x | | x | x | x | x | x | | | | x |
| Foide | xx | xx | xx | x | x | xxx | x | x | x | XXx | XX | Xx | |
| Felds. Alc. | xx | xx | xx | xx | xx | x | xx | xx | xx | xx | xx | xx | xxx |
| Apatita | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| Ilmenita | | | | | | | | | | | x | x | x |

Tabela 3-3. Análises modal estimada dos “lamprófiros” e “lamproítos”. X, fenocristal/microfenocristal; x, matriz; XXX, muito abundante (olivinas em Ymi-1 variam de 10-25% e portanto comportam-se como “picritos”); XX, abundante; X, presente (<10% a traços).

“Lamprófiros”

São estudadas separadamente as seguintes variedades petrográficas: I- os “lamprófiros” com fenocristais de olivina e piroxênio ou “lamprófiros” com fenocristais

de mica, olivina e piroxênio (OLIVINA “LAMPRÓFIROS”); II- “lamprofíros” com fenocristais de mica e piroxênio (MICA “LAMPRÓFIROS”). Os critérios sobre uma caracterização correta e precisa conforme preconizada na literatura (ex. Rock 1991) serão seguidos nos subitens.

Olivina “lamprófiros”

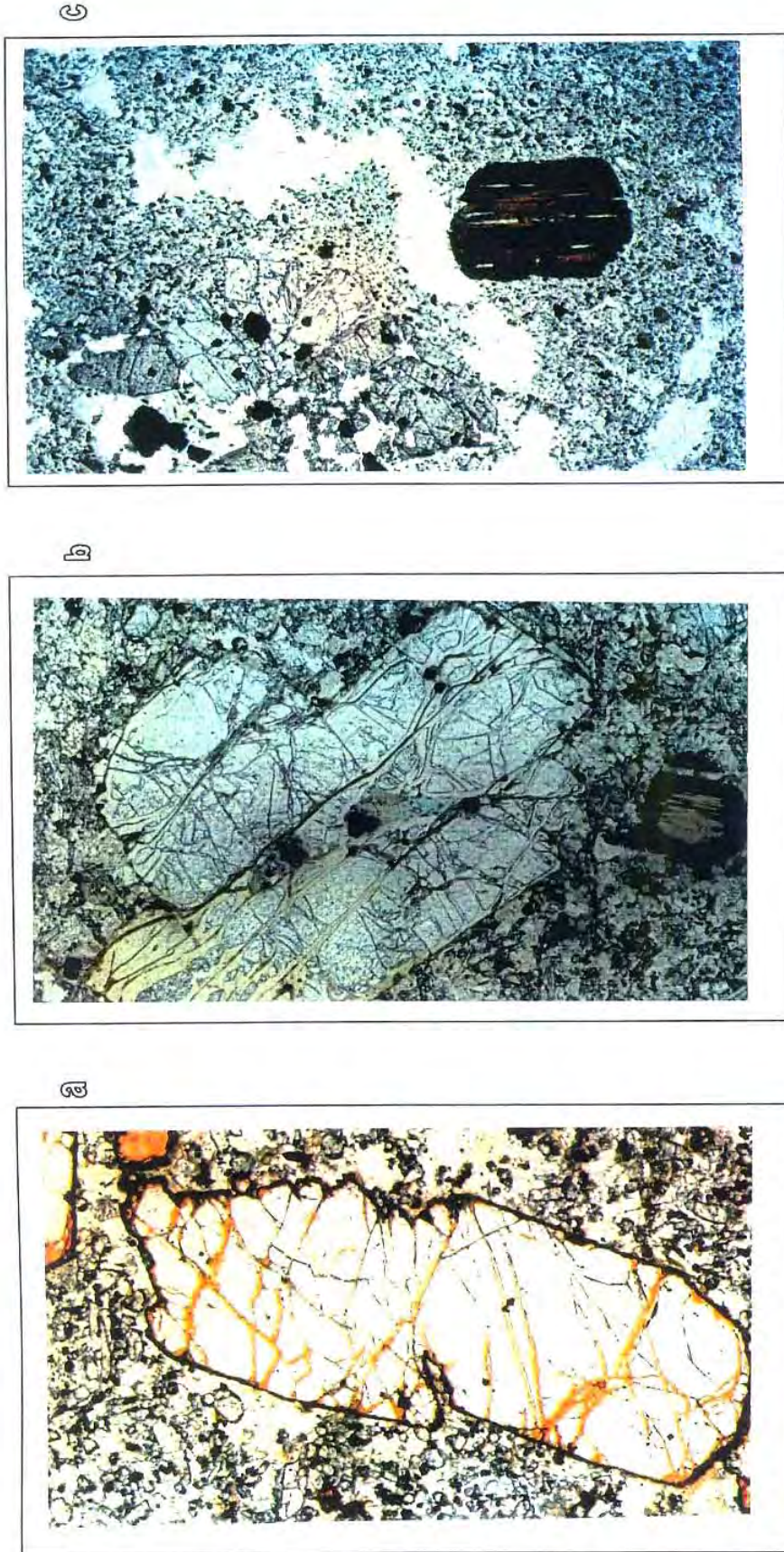
As intrusões de Ymi-1 (pipe), Ymi-7 e Yzu-1 (diques) são “lamprofíros” caracterizados por possuir como denominador comum, em maior ou menor proporção, fenocristais de olivina e piroxênio. Por questões práticas descrevem-se separadamente as rochas da intrusão Ymi-1, das intrusões Ymi-7 e Yzu-1.

Ymi-1

Feições gerais

Gibson et al. (1996) forneceram os dados químicos de um dos diques interiores (Don Eladio 93SOB152) e do dique exterior ao pipe (*Kerito* 93SOB39), caracterizando rochas potássicas ($K_2O/Na_2O > 1-2$), ricas em MgO (8-12%), Ni (101-298) e Cr (300-904) e com moderados teores em TiO_2 (1.2-1.7%) e CaO (8-10%); estas feições geoquímicas as colocam como uma das mais primitivas rochas do Mesozóico encontradas no rift de Asunción (Tabela 3-2). Considerando que se trata de um “lamprófiro”, este prestar-se-á à comparação com os monchiquitos (Rock, 1987) e os vogesitos (Rock, 1984); porém, os vogesitos diferem dos monchiquitos por

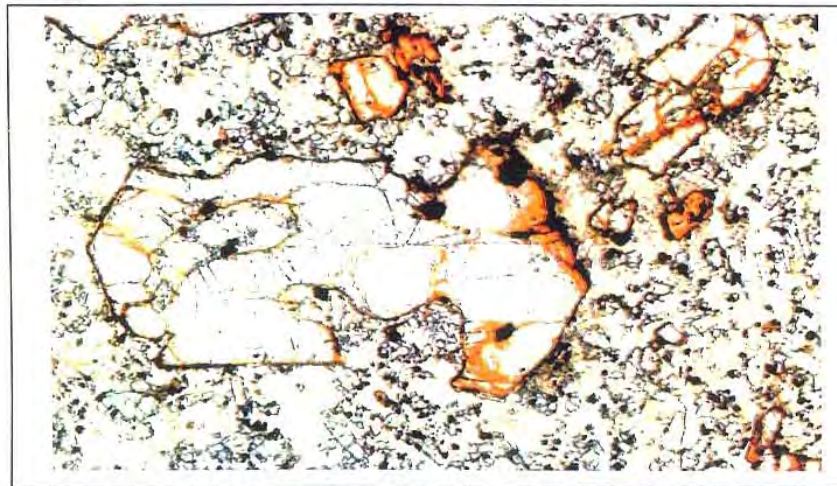
Como comentado no Capítulo anterior, as fácies magmáticas que foram reconhecidas nesta intrusão pertencem a plugs e diques. Tanto as rochas dos diques que cortam o pipe (i.e. diques interiores) como as rochas dos plugs não apresentam diferenças texturais e modais que justifiquem abordagens separadas sendo assim descritas coletivamente.



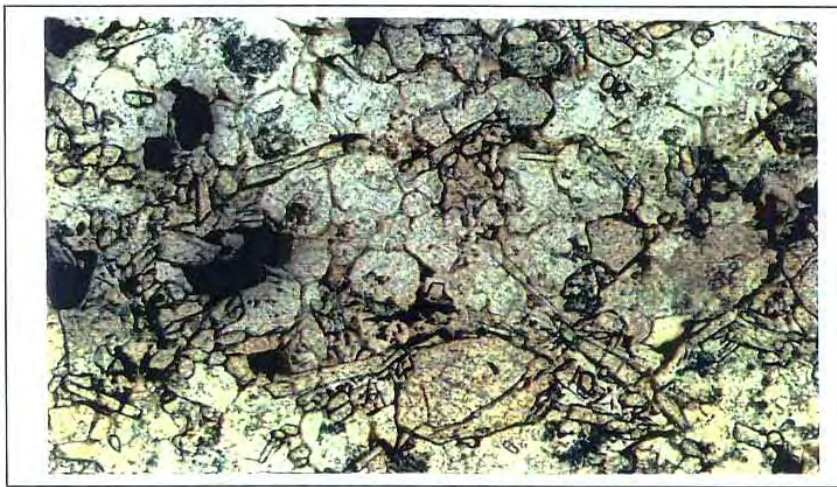
Fotomicrografia 1. Fenocristais em "lamprófiros". (a) Ymi-1, olivina de ~3 mm mostrando no lado superior direito bordas *dog-tooth*. (b) Yzu-1, olivina parcialmente serpentinizada de ~3 mm mostrando inclusões de espinélio; na parte inferior, microfenocristal de mica com bordas de opacos. (c) Ymi-4, fenocristais de mica (~1 mm) junto a piroxênios agrupados com espinélios. Áreas irregulares de cor branco são de zeólita. Fotografias com polarizador inferior.

As rochas possuem estrutura maciça e são ricas em fenocristais/megacristais de olivina avermelhada (milimétrica) alotriomórfica, e de piroxênio verde escuro euhedral (1-5 mm), que localmente pode apresentar-se como cristais glomerulares; sustentados em matriz algo fina. No dique Ymi-1.c a rocha apresenta feições distintas. É caracterizada por uma rocha fresca de cor cinza escura, estrutura maciça, que possui fenocristais de olivina avermelhada (sub milimétrica a milimétrica) subidiomórfica, piroxênio verde escuro prismático (milimétrico) e mica castanha escura (milimétricas) pseudo-hexagonais, sustentados por matriz basaltóide fina e maciça.

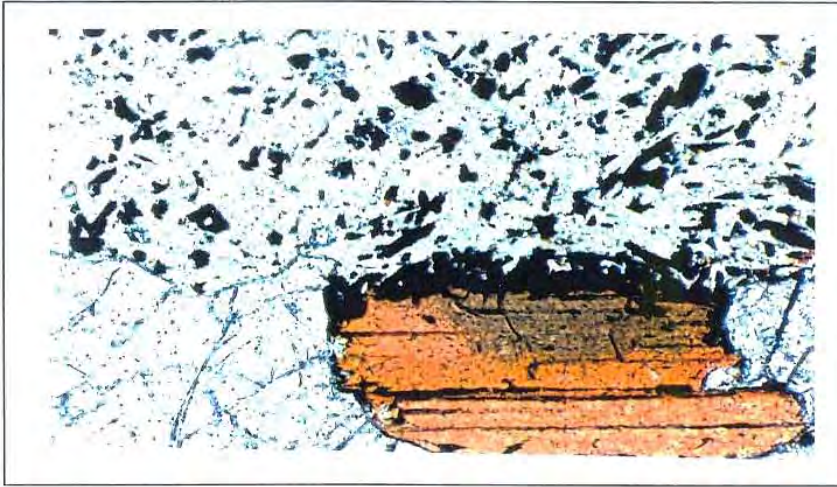
Ao microscópio apresentam-se como rochas marcadamente porfiríticas, em parte seriadas, onde seus fenocristais de piroxênio e olivina (Fotomicrografia 1) e subordinadamente cromita (Fotomicrografia 4), mica, e esporadicamente ortopiroxênios são preferencialmente euhedrais, possuindo dimensões submilimétricas (ex. cromitas) a centimétricos (macrocrístais, ex. piroxênios). Raros fenocristais de anfíbólio amarronzado também foram encontrados. Sustenta-os uma matriz intergranular a panidiomórfica fina (<0.1 a 0.2 mm), composta de piroxênio, espinélio, mica e, intersticialmente, analcima, e minerais máficos às vezes incluindo poiquiliticamente feldspato alcalino (Fotomicrografia 2). Como minerais acessórios foram identificados carbonato, apatita (acicular), rutilo de Nb (similar ao encontrado nos concentrados e apresentado no apêndice), e anfíbólios marrom escuros. Em alguns diques (ex. Ymi-1c) ocorrem traços de plagioclásio. Na Tabela 3-3 são apresentadas as proporções modais das fases minerais presentes. As rochas do *plug* podem ser caracterizadas como feldspatóide-feldspato alcalino-olivina-piroxênio "lamprófiro" picrítico, considerando que olivina modal está presente em quantidades entre >10 e 25%. Essa mineralogia assemelha-se a monchiquitos picríticos (Rock, 1991) de Wandagee (Jaques et al., 1989)(**Wan**) como também aos lamprófiros



a



b



c

Fotomicrografia 2. Detalhes texturais dos "lamprófiros". (a) Ymi-1, matriz branca rica em analcima e feldspato (branco turvo) junto ao piroxênio, espinélio, espinélio e mica intersticial (fenocristal de Oliv.~1.6 mm). (b) Yzu-1, analcima arredondada (branca) junto a espinélio (opacos ~0.10 mm) e piroxênio esverdeado. (c) Ymi-4, microfenocristal (~0.6 mm) de mica com bordas de espinélio. Observe-se o feldspato ripiforme (microtextura traquitóide) que ocorre entre espinélios. As três fotografias em polarizador inferior.

picríticos de São Sebastião e arredores (**SS**) (Garda, 1995). As rochas dos diques podem ser caracterizadas como feldspatóide-feldspato alcalino-olivina-piroxênio “lamprófiro” picrítico (com olivina modal >20%) e olivina-mica-feldspatóide-feldspato alcalino-piroxênio “lamprófiro”.

Química mineral

As análises químicas dos elementos maiores e alguns menores dos principais minerais são apresentados nas tabelas do Apêndice, nas que se consta também as fórmulas estruturais. Os dados foram tratados, como se verá no decorrer deste capítulo, em diversos diagramas.

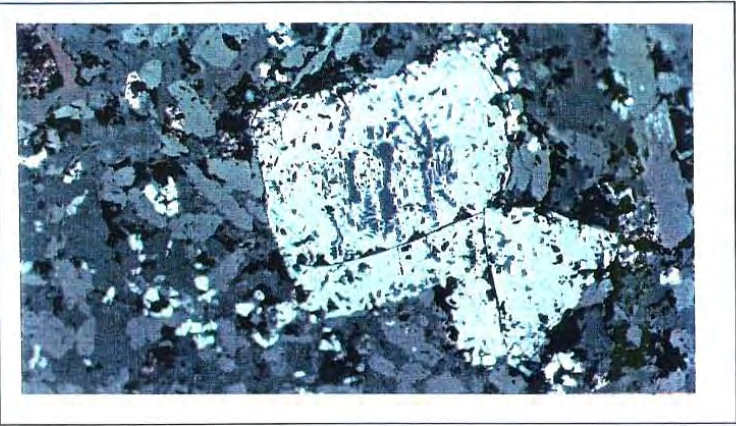
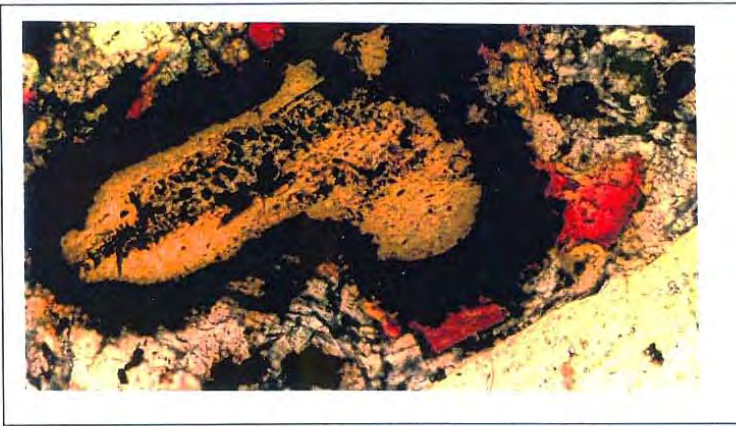
Olivina

Ocorre (>10 a 25% modal) tanto nos plugs como nas rochas de diques, na forma de cristais euhedrais (preferentemente no dique Ymi-1.c, aqui <10% modal) a anhedrais com dimensões tipicamente de 1 a 2 mm atingindo ocasionalmente ~6 mm (macrocristais) sendo mais raros de observar os de tamanho submilimétrico euhedrais. Em geral são frescos a algo alterados (iddinsita e/ou serpentina) nas bordas/fraturas (Fotomicrografias 1). Alguns cristais apresentam as bordas serrilhadas lembrando assim a microtextura *dog-tooth* descrita nos olivina lamproítos por Mitchell & Bergman (1991); em outros cristais é mais comum de se observar fenômenos de engolfamento, i.e. cristais que evidenciam corrosão. Microinclusões de cromita anhedrais (cor vermelho sangue) a subhedrais (opacos) abundam na maioria dos cristais (Fotomicrografia 4).

A composição das olivinas (apêndice A1) varia de Fo₇₄ a Fo₉₂ (Figura 3-2) e correspondem à forsterita-crysolita, zonadas com o centro variando de Fo₈₂₋₉₁ e borda de Fo₈₁₋₉₂. O zoneamento é também evidenciado em termos dos elementos Ni e Ca, com o NiO variando de 0.0-0.49 no centro a 0.04-0.40% nas bordas e o CaO oscilando de 0.11-0.33 no centro a 0.14-0.32% nas bordas (Figura 3-2 (c)).

Ortopiroxênios

Este mineral é encontrado como microfenocristais euhedrais (i.e. magmático) de cor algo amarronzada e com fraco pleocroísmo. Em alguns cristais observou-se a presença de inclusões de olivina e de espinélio (cromitas). Os cristais ocorrem alterados nas bordas e fraturas e, assim, ao ser analisados na microsonda



Fotomicrografia 3. Fenocristais. (a) campo 0,84 mm, mica amarronzada subidiomórfica com bordas e engolfamentos devido à corrosão (Ymi-4); na borda inclusão parcial de piroxênio. (b) microfenocristal (~0,8 mm) de flogopita corroída e pseudomorfozizada nas bordas por espinélios (Yzu-2). (c) microfenocristal (~0,3 mm) de magnetita magnésiana titanífera (cinza escuro) em microtextura do tipo *cross-arm* em hospedeiro de magnetita titanífera (prata cinzento) (Ymi-5). Fotos (a) e (b) luz transmitida e (c) luz refletida.

eletrônica, eles forneceram análises parciais (cf. apêndice A3). Eles variam, aparentemente, de En_{73} a En_{80} apresentando baixos teores em Al_2O_3 (0.06-0.16%), TiO_2 (0.00-0.08%) e Cr_2O_3 (0.01-0.12%) e NiO (0.25-0.45%). Nas rochas alcalinas, o ortopiroxênio magmático é conhecido só em lamproítos.

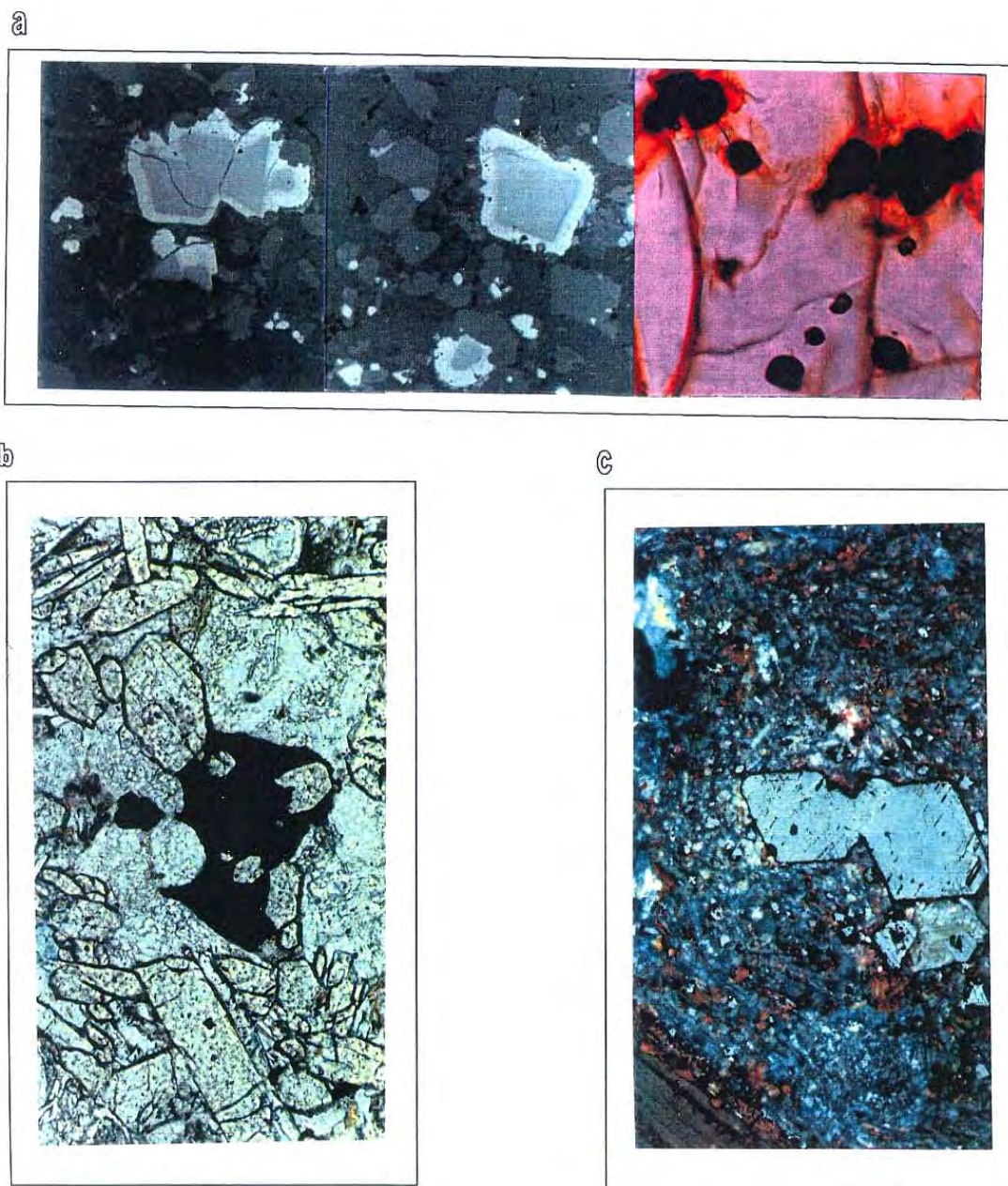
Clinopiroxênios

Os clinopiroxênios ocorrem abundantemente (30 a 35% modal) nos plugs e nos diques, como fenocristais prismáticos comumente de 2 mm, podendo atingir até 10 mm (macrocrístais). Eles se apresentam como cristais isolados (monocrístais e/ou cristais simetricamente geminados) a agrupados e interpenetrados, incolores, algo esverdeados/amarronzados apresentando zoneamento oscilatório a oscilatório setorial muito fina (visível só com ambos os polarizadores). Em alguns cristais observaram-se inclusões de olivina anedral (fresca a serpentinizada anedral) e/ou de espinélios. Na matriz, os cristais apresentam-se algo mais esverdeados, possuindo formas prismáticas ou mais raramente anhedrais.

Composicionalmente (apêndice A3) são diopsídios (Figura 3-3) ricos em Al_2O_3 (1.40-5.81% no centro a 1.08-5.89% na borda/matriz =aluminosos), TiO_2 (0.05-1.88% no centro a 0.25-2.02% na borda/matriz que, conforme recomendações do IMA, permite acrescentar o adjetivo titanífero) e pobres em Na_2O (0.21-0.53 centro a 0.19-0.61% borda/matriz). Trata-se de um **diopsídio titanífero aluminoso**. Mostram zoneamento, que torna-se evidente pelas variações nos teores de Al e Ti aumentando do centro para a borda (Figura 3-4: a-Ymi-1; b-Ymi-7, Yzu-1; c-Ymi-4). Esse tipo de enriquecimento também foi observado por Cundari et al. (1996) nas rochas potássicas da Província alcalina Central do Paraguai. Os lamprófiros estudados apresentam-se com deficiências na razão Ti/Al quando comparadas àquelas estudadas por Cundari et al. (1996).

Micas

Fenocristais submilimétricos a milimétricos (<5 mm) de mica ocorrem no dique Ymi-1C (<5% modal) na forma de cristais ora euhedrais apresentando fina a delgada



Fotomicrografia 4. Espinélios nos “lamprófiros”. (a) Ymi-1, dois microfenocristais à esquerda (~0.5 mm) de cromita (cinza) contornados por magnetita magnésiana titanífera (prata cinzento); à direita inclusões (~0.01 mm) vermelho escuro de cromita em olivina. (b) Yzu-1, espinélio na matriz (~0.1 mm) poiquilítico segundo clinopiroxênios (relevo alto). (c) Ymi-4, microfenocristais (~0.3 mm) de magnetita titanífera. Fotos (c) e (a), luz refletida; (b) luz transmitida, polarizador inferior.

borda de opacos (corrosão parcial), ora anhedrais exibindo uma grossa a muito grossa borda de opacos (profunda corrosão e substituição por opacos). Estas micas apresentam pleocroísmo que varia do amarelo mel a marrom avermelhado. Foram observadas nestes cristais inclusões de olivina e espinélio. Em diques e *plugs* interiores do *pipe*, as micas ocorrem na matriz, em tenores modais de até 3%. Apresenta-se na forma de cristais intersticiais anhedrais a tabulares com pleocroísmo amarronzado a amarelo mel. Ocasionalmente incluem poiquiliticamente cristais de espinélio.

A composição (apêndice A2) varia de flogopita a biotitas (Figura 3-5). Os fenocristais de Ymi-1c., são todos flogopitas, com mg# que variável de 0.79 a 0.81, Cr₂O₃ de 0.3 a 1.6%, Al₂O₃ de 14.6 a 15.8% (aluminosa) e TiO₂ 3.2 a 3.8% (titaníferas). Quimicamente os fenocristais são **flogopitas titaníferas aluminosas com crômio** similares a algumas flogopitas ocorrem em lamproítos de Leucite Hill (Mitchell & Berman, 1991). Já nas micas da matriz das rochas de Ymi-1 (*plugs* e diques) observa-se que mg# apresenta variações de 0.67 a 0.73 (com um cristal possuindo valores de 0.87) e de 0.54-0.67. Essas micas possuem Cr₂O₃ 0.00 a 0.28%, Al₂O₃ 11.54 a 14.75% (subaluminosas a aluminosas em parte) e TiO₂ de 2.74 a 6.75% (titanífera). Quimicamente são **flogopitas titaníferas** e **biotitas titaníferas**, como freqüentemente descritas nos lamprófiros cálcio alcalinos (Rock, 1984; 1991) e também em alguns lamproítos (Mitchell & Bergman, 1991).

*Espinélios

São encontradas, nos *plugs* e diques nos interiores do *pipe*, três assembléias texturais distintas de espinélio: como inclusões microscópicas (Fotomicrografia 4), microfenocristais (Fotomicrografia .4.), e como componentes da matriz (Fotomicrografia 2). Além disso, existe existindo ainda outra assembléia encontrada na fácies epiclástica e no leito de córregos, que serão tratados no capítulo seguinte. Nas rochas magmáticas foram reconhecidas microfenocristais (0.3-0.35 mm, <1% modal) zonados (Fotomicrografias 4a, lado direito e meio) segundo um centro cinza grosso capeado por uma borda fina, a algo grossa, de cor prateada.

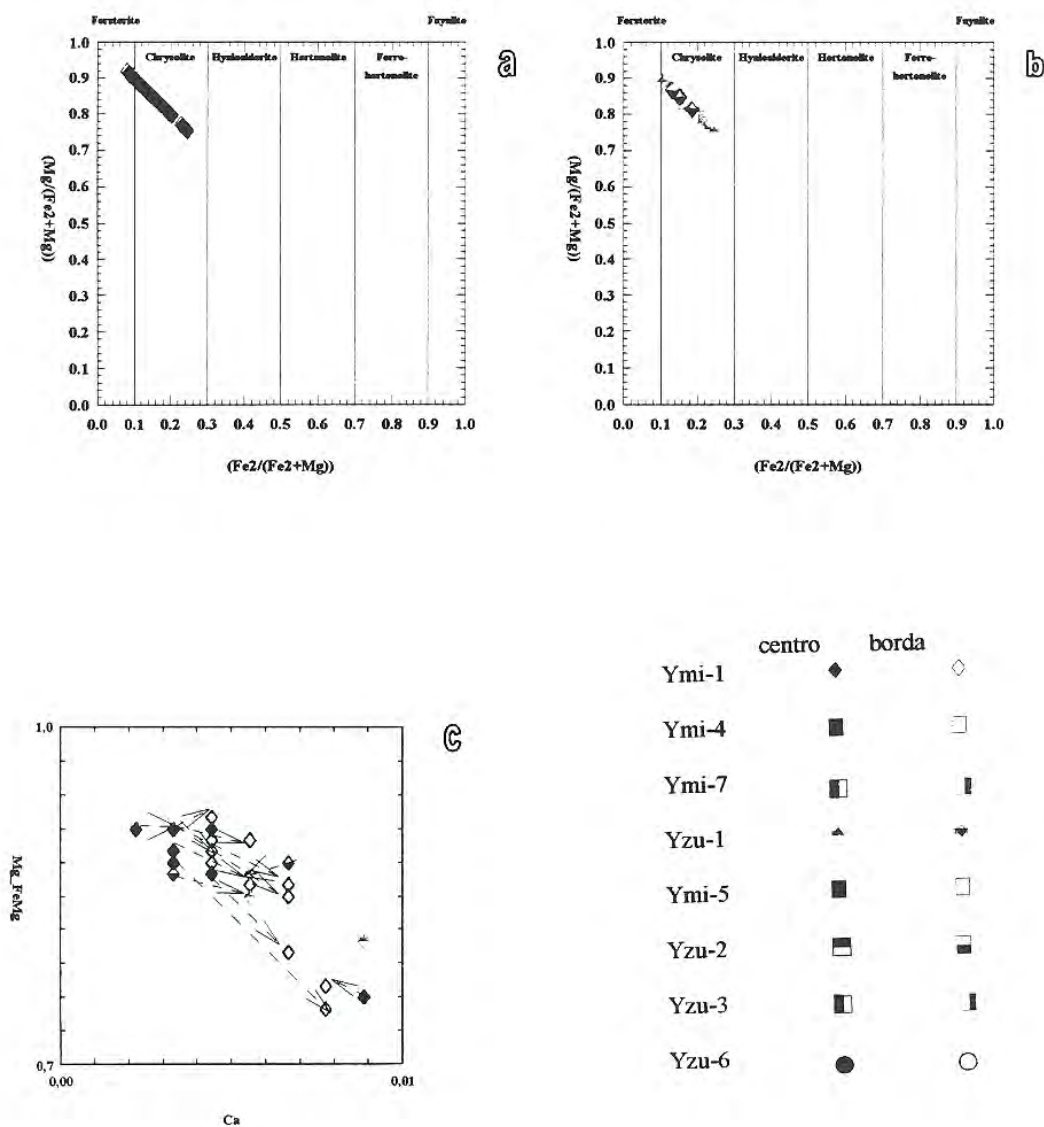


Figura 3-2. Olivina de "lamprófiros". (a) olivinas de Ymi-1, variam de forsterita a crysolitas (centro e bordas). (b) olivinas de Ymi-7 e Yzu-1, crysolitas com variações sutis do centro as bordas. (c) zonação identificada em alguns cristais de Ymi-1 e Yzu-1, as setas indicam direção de zonação (centro→borda), sendo majoritariamente de caráter normal (aumento do CaO conforme mg# diminui) a raramente inversa (um cristal de Ymi-1 e um de Yzu-1). A simbologia do lado de C.

As inclusões em minerais máficos (preferencialmente em olivina) apresentam-se na forma de diminutos (± 0.1 mm) cristais opacos (idiomórficos) a translúcidos (de cor vermelha), geralmente arredondados.

Na matriz os espinélios ($\pm 8\%$ modal) apresentam-se como cristais interpenetrados com formas irregulares a cúbicas, às vezes parcial a totalmente inclusos nos cristais de mica.

Quimicamente (apêndice A4), sua composição forma parte da série da cromita-magnetita-espinélio; quando considerado o teor de titânio é possível separar um grupo com $\text{TiO}_2 < 2\%$ e um outro com $\text{TiO}_2 > 2\%$. Os cristais com $\text{TiO}_2 < 2\%$ serão melhor estudados no Capítulo seguinte. Com base a razão $\text{Cr}\#$ as cromitas com $\text{TiO}_2 > 2\%$ podem ser separadas, em dois grupos: cromitas-cromitas magnesianas ($\text{Cr}\# > 50$) e espinélios-herciniticos ($\text{Cr}\# < 50$). Os espinélios ricos em crômio ocorrem como inclusões, como microfenocristais e como cristais mais abundantes das fácies epiclásticas do *pipe*. O diagrama das Figuras 3-7 (a) mostra o *trend* composicional destes espinélios ressalta a riqueza nas moléculas de picro-cromita e cromita. Conforme a nomenclatura de Mitchell & Bergman (1991) (ver também Mitchell, 1995) esses espinélios são: **l-cromita** (predominantemente cromitas) **titanífera magnesiana** (TiO_2 2-10.91%, e 3-22% Al_2O_3 ; 16-46% Cr_2O_3 ; <1.7% MnO; 1-12% MgO; 0.01-0.2% NiO e até 0.26% de ZnO). Esta variedade de espinélio é reconhecida como pertencendo ao *trend* magmático de kimberlitos (magnesian ulvöespinel *trend*, Mitchell, 1986). As variedades pobres em crômio são reconhecidas na matriz ou nas bordas dos microfenocristais. A Figura 3-8 (a) mostra a variação química do núcleo até a borda dos microfenocristais. Na Figura 3-7 (b) observa-se que a suíte dos espinélios mostra-se concentrada em dois campos distintos: um com baixo $\text{Ti}\#$ que corresponde aos ricos em Cr; outro com médio a alto $\text{Ti}\#$, que corresponde aos espinélios pobres em Cr. Nesta última suíte observa-se um *trend* composicional que é em parte contínuo com as cromitas titaníferas magnesianas (Figuras 3-7 (a) e (b)), caracterizando segundo nomenclatura de Mitchell & Bergman (1991) e Mitchell (1995a) os termos **magnetita titanífera magnesiana** (MgO > 1% e $\text{Cr}_2\text{O}_3 > 1\%$) e **magnetita titanífera** (MgO < 1% e $\text{Cr}_2\text{O}_3 < 1\%$), ambos apresentando variações de 10-25% de TiO_2 , 1-19% de Al_2O_3 , <2.0 de MnO, 0.02-0.19 de NiO e até

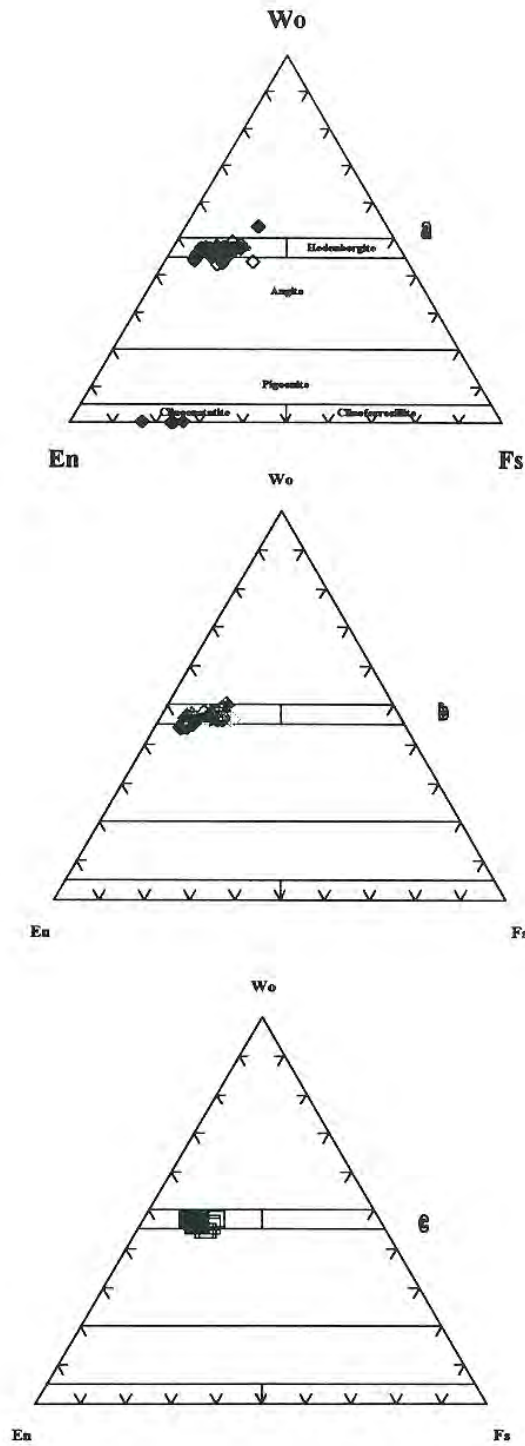


Figura 3-3. Composição dos piroxênios de “lamprifiros” no diagrama de classificação do IMA (Morimoto, 1989) (a) Ymi-1; (b) Ymi-7 e Yzu-1 e; (c) Ymi-4. Simbologia como em 3-2.

0.29 de ZnO. No sistema ulvoespínélio-cromita-hercynita (Figura 3-7 (c)) os espínélios desta intrusão seguem um *trend* paralelo ao que pode ser encontrado em lampróitos. Nos grupos pobres em Cr é também freqüente encontrar teores elevados em MnO (0.3 a 2%, ricos em manganês); a Figura 3-7 (d) ressalta os teores elevados nas moléculas de jacobsita e galaxita. São variedades de espínélios freqüentemente presentes em rochas lampróficas (cf. Garda, 1995) e basaltóides potássicas tipo Província Romana (cf. De Min, 1993; Cundari et al., 1996), do tipo **magnetita titanífera magnésiana** e **magnetita titanífera ricas em manganês** (em parte).

Feldspatóide

Os feldspatóides ocorrem na matriz (11-21% modal) dos *plugs* e diques como cristais intersticiais freqüentemente anhedrais incolores a marrom-esbranquiçados devido a alterações insipientes. Alguns cristais mostram inclusões aciculares de “apatita”.

Os dados químicos (apêndice A6) mostram composição de **analcima** > Possuem teor de sódio e potássio e $Fe_2O_3 < 1\%$, assemelhantes aos a feldspatóides que ocorrem em lavas ultrapotássicas tipo Província Romana (cf. Gupta & Yagui, 1980) e nos lamprófiros (cf. Rock, 1991).

Feldspatos

Junto aos feldspatóides, os feldspatos são abundantes (12-32% modal como esperado de se encontrar em lamprófiros, como por exemplo os cálcio alcalinos). Na matriz, ocorrem como cristais tabulares a anhedrais (intersticiais), incolores limpidos a algo turbos (por alteração). Em rochas de diques interiores observam-se cristais com geminação em grade muito fina (anortoclásio); já nos diques de Ymi-1c, observa-se a presença de traços de plagioclásio tabular.

A Figura 3-10 exhibe o campo de variação composicional dos feldspatos de Ymi-1. São **sanidinas** e algumas delas, a julgar pelos teores elevados em sódio, podem ser ainda denominadas de **sanidinas sódicas**. **Andesina** (Figura 3-10 (a)) ocorre em alguns diques (ex. Ymi1c). De modo geral os feldspatos possuem teores baixos a moderados de Fe_2O_3 (até 1.33%) e de BaO (até 0.87%). Essas feições são

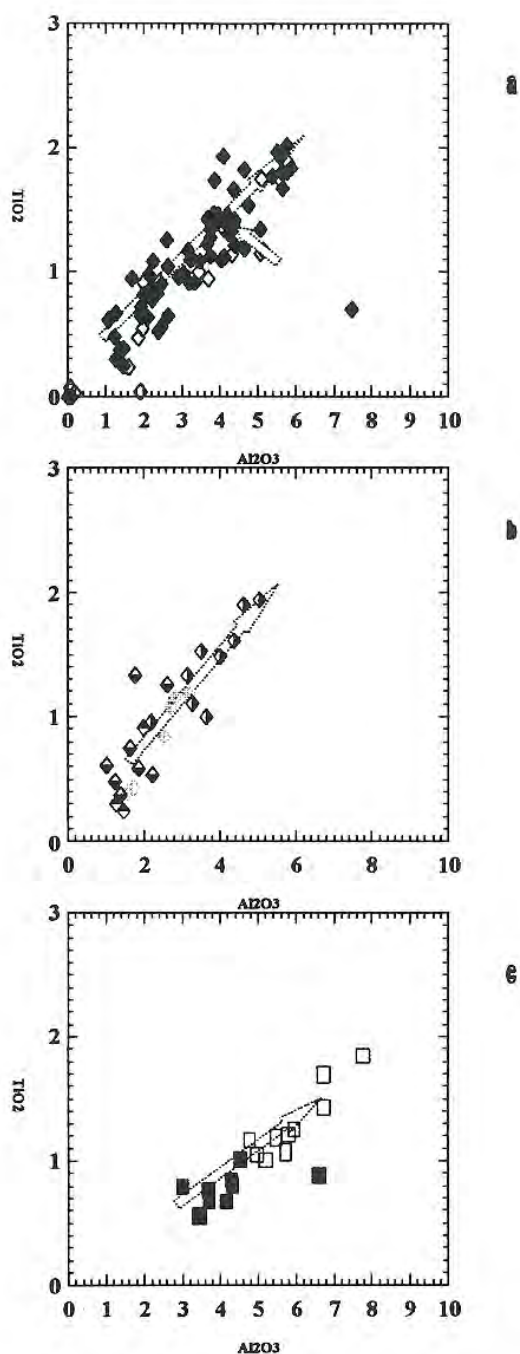


Figura 3-4 Enriquecimento em termos do Ti e Al nos piroxênios dos “lamprófiros”. Enriquecimento diretamente proporcional, em Ymi-1 (a); em Ymi-7 e Yzu-1 (b); e em Ymi-4 (c). Tipo de enriquecimento que também observado por Cundari et al. (1996) nas rochas potássicas da Província alcalina centro Oriental do Paraguai. Os “lamprófiros” estudados apresentam-se com algumas diferenças na razão Ti/Al quando comparadas àquelas de Cundari et al. (1996). As setas indicam direção na zoneamento, do centro em direção a borda. Simbologia como em 3-2

comumente observadas nos feldspatos que ocorrem em algumas variedades de lamprófiros (cf. Rock, 1991 e referências).

Minerais acessórios

Os principais minerais acessórios encontram-se na matriz e são representados por: **rutilo de Nb** (apêndice A8); **carbonatos ricos em Mg e Fe** (21-33% de MgO e 21-27% de FeO) (apêndice A9 e Figura 3-12) e apatita. Além desses acessórios podem ainda ocorrer anfibólios de carácter potássicos ($K > 0.25$), titaníferos ($Ti > 0.25$) ou sódicos (> 0.25), representados por **eckermanita** ($Fe^{3+} < Al$) **hornblenda magnésiana** e **grunerita** (apêndice A5 e Figura 3-11). Foi analisado apenas um fenocristal de anfibólio com dimensão milimétrica (apêndice) encontrando uma composição de hornblenda magnésiana. Como minerais secundários ocorrem a cummingtonita a cummingtonita magnésiana (apêndice).

As feições mineralógicas caracterizadas nas rochas da intrusão Ymi-1 permitem definir as seguintes variedades petrográficas:

analcima sanidina olivina diopsídio “lamprófiro” picrítico nos *plugs* e alguns diques; e

olivina flogopita analcima sanidina diopsídio “lamprófiro no dique Ymi-1c. São similares aos monchiquitos de Wan (Jaques et al., 1989) e SS (Garda, 1995).

Diques Ymi-7 e Yzú-1

Feições gerais

O dique Ymi-7 é muito parecido aos diques interiores encontrados em Ymi-1; são rochas porfiríticas que possuem estrutura maciça a algo orientada, com feno/megacristais de piroxênio (milimétricos a centimétricos) prismáticos verde esmeralda a verde escuro, e de olivina (sub milimétricos a milimétricos) subidiomórfica incolor (às vezes confunde-se com pequenos enclaves angulosos sub centimétricos a centimétricos de rocha peridotítica) Inmersos em uma matriz fina

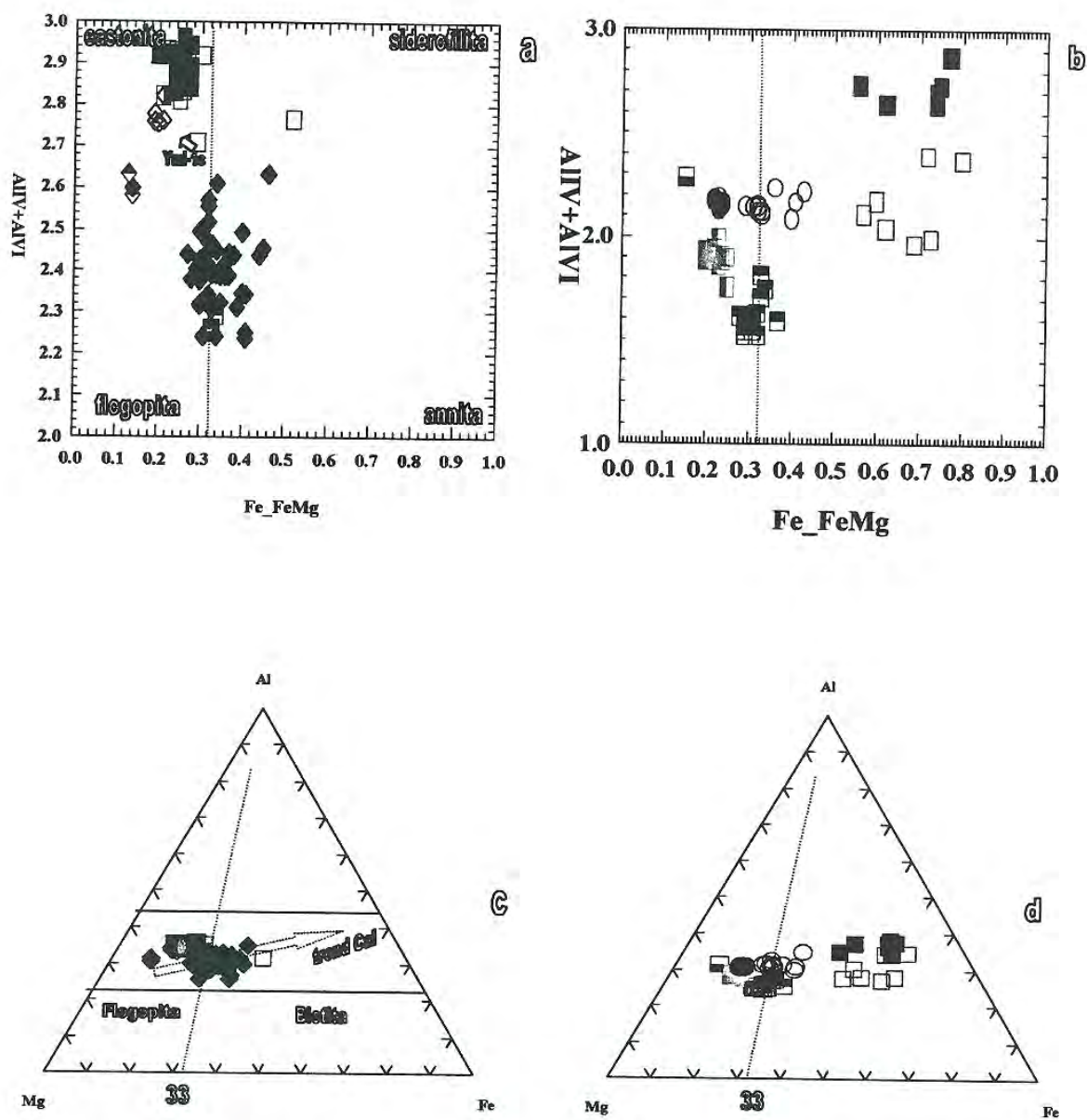


Figura 3-5. Classificação das micas no diagrama Flogopita-Annita –Eastonita-Siderofilita. (a) e (b) micas dos “lamprófiros” e dos “lamproitos” no diagrama Al^(IV+VI) vs Fe# (conforme Minpet 2.0, parcialmente modificado para incluir as micas com deficiência de Al^{VI}); Fe# separam flogopitas (Fe#<33) das biotitas (Fe#>33). (c) e (d) como em (a) e (b) porém classificadas no sistema Al-Mg-Fe (Rock, 1984; 1991; Mitchell, 1995a). O trend Cal (lamprófiros cálcio alcalinos) e o limite flogopita biotita (33, na base da figura) como traçado por Rock (1984). Legenda como em 3-2.

escura de aspecto basaltóide. Ao microscópio possuem textura porfirítica seriada, em parte com abundantes fenocristais de piroxênio subhedral a euhedral e microfenocristais de olivina euhedrais a cristais maiores anhedral, alguns apresentando sinais de deformação (xenocristais). Mais raramente aparece a mica como cristais corroídos. A matriz é fina (~0.3 mm), intergranular, formada por piroxênio, espinélio, mica, feldspato alcalino, analcima e acessoriamente apatita junto com traços de plagioclásio. Os dados modais acham-se dispostos na Tabela 3-3. Os dados permitem caracterizá-las como um olivina feldspatóide-feldspato alcalino-piroxênio lamprófiro.

Yzu-1 trata-se de uma rocha vulcânica cor cinza escuro, maciça, porfirítica com fenocristais prismáticos de piroxênio esverdeado milimétrico, feno/megacristais de olivina fresca/pseudomorfizada idiomórfica e, raros cristais subidiomórficos de mica castanha escura, contidos em uma matriz fresca de aspecto basaltóide.

Yzu-1 foi também estudado por Gibson et al. (1996) (Colonia Independencia 83SOB61). Os elementos químicos estão na Tabela 3-2 e permitem apontar feições como: rocha rica em K_2O (3.27%), Na_2O (2.90%), MgO (11.35%), Ni (262) e Cr (906); razões moderadas de Ba/Yb (1854) e La/Yb (77); razões isotópicas de Sr/Sr (0.707366) e Nd/Nd (0.511720) similares às apontadas por Bitschene (1987) e Comin-Chiaramonti et al. (1997) nas rochas potássicas a ultrapotássicas vinculadas ao *rift de Asunción*. Essas feições são muito similares as do dique de Ymi-1 e desse modo Yzu-1 apresenta feições químicas de uma rocha primitiva.

Ao microscópio a textura é porfirítica, algo seriada, com fenocristais de piroxênio prismático e olivina tabular a poligonal, que ocorre com dimensões submilimétricas (microfenocristal) milimétricas. Menos freqüentemente ocorrem fenocristais de mica subhedral a anhedral, submilimétrica a milimétrica, parcial a totalmente pseudomorfizada pelos opacos, acusando assim corrosão e instabilidade no magma hospedeiro. A matriz é fina (<0.5 mm) com marcada textura panhidromórfica, estando formada por abundantes cristais arredondados de analcima *glomerulofídica* entre os quais ocorrem na forma de ilhas piroxênio e espinélio intercalados por ripas de feldspato alcalino e traços de carbonato. Apatita é um acessório freqüente. Os

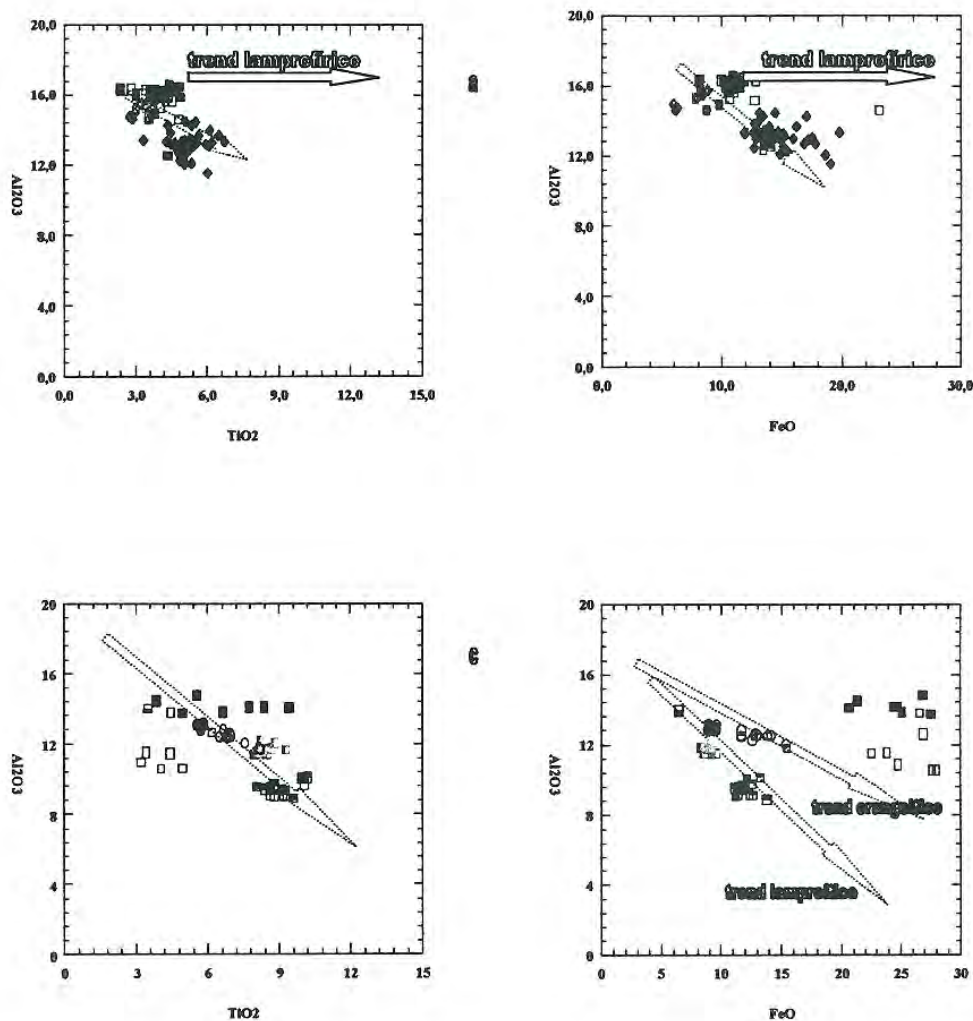


Figura 3-6 Diagrama de variação Al vs Ti e Al vs Fe das micas das rochas lamproáficas. “Lamprófiros” (a) e (b), mostram tendencia de enriquecimento comum de observar em lamprófiros (Rock et al., 1992) e em rochas ultrapotássicas tipo Província Romana (Mitchell & Berman, 1991) (como o *trend* lamprofirico), Ymi-1 parece-se com lamproítos. “Lamproítos” (c) e (d), mostram um *trend* de enriquecimento (indicado pela seta) próprio dos lamproítos (Mitchell, 1985; 1995a-b; Mitchell & Bergman, 1991; Rock et al., 1992). Yzu-6 (em d) parece acusar um *trend* que se observa em orangeítos (Mitchell, 1995a). Por outro lado, algumas das micas de Ymi-5 mostram um *trend* de enriquecimento como mostrado pelas micas de Ymi-4 (comparar com b). Simbologia como em 3-2.

dados modais (Tabela 3-3) permitem definir a rocha de Yzu-1 como um feldspato alcalino-olivina-piroxênio-feldspatóide lamprófiro.

Química mineral

Olivina

Em Ymi-7 a olivina (~10% modal) exhibe cristais submilimétricos a milimétricos, geralmente euhedrais, ou milimétricos subhedrais a anhedrais, ambos frescos a algo serpentinizados nas bordas e/ou nas fraturas. Em alguns cristais maiores anhedrais observaram-se sinais de esforço. Nestes diques ocorrem microxenólitos peridotíticos, permitindo interpretar os cristais com sinais de deformação como um produto da fragmentação destes xenólitos (i.e. xenocristais de olivina). Em Yzu-1 a olivina (Fotomicrografia 1) apresenta-se (~15% modal) como fenocristais milimétricos a megacristais tabulares a algo poligonais, freqüentemente alterados nas bordas e fraturas a totalmente pseudomorfizados pela serpentina. Como observado nas olivinas de Ymi-1, as olivinas de Yzu-1 possuem abundantes inclusões microscópicas de cromita.

Em Yzu-1 as olivinas apresentam-se zonadas (apêndice A1), com variações de Fo_{80-88} no centro a Fo_{81-87} na borda; no diagrama da Figura 3-2 são **crisolita**. Em Ymi-7, as olivinas analisadas apenas nas porções centrais apresentam composição Fo_{79-84} e igualmente representam **crisolitas** (Figura 3-2). Nas duas intrusões as olivinas apresentam teores moderados de CaO (0.23 a 0.32% em Ymi-7; e 0.0-0.46%, centro e 0.23-0.32% borda, em Yzu-1) (Figura 3-2). Estas olivinas são menos primitivas (NiO entre 0.00-0.15% em Ymi-7 e 0.01-0.34% no centro para 0.15-0.20% na borda em Yzu-1) com relação ao global das olivinas analisadas em Ymi-1 (*plugs* e diques interiores).

Piroxênios

Clinopiroxênios proeminentes, comumente milimétricos a centimétricos na forma de cristais prismáticos isolados ou interpenetrados incolores a fracamente esverdeados-

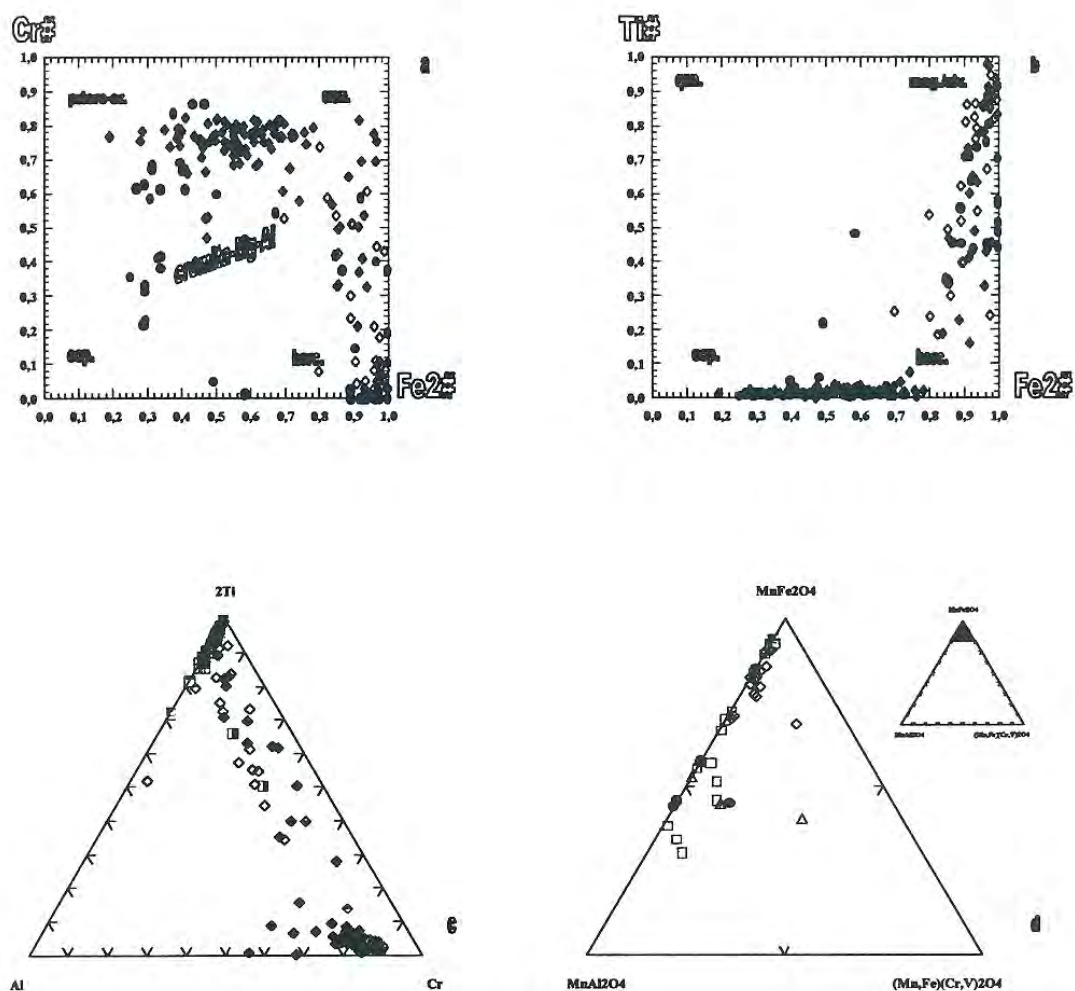


Figura 3-7. Espinélios em Ymi-1. (a) sistema Cromita magnesiiana (picro-cr.)-Cromita (crom.)-Hercynita (herc.)-Espinélio (esp.), os espinélios de Ymi-1 mostram um *trend* entre a cromita magnesiiana-cromita-hercynita. Espinélios de Wandagee (Jaques et al., 1989) e de São Sebastião e arredores (SP) (Garda, 1995)(ambos em círculo) foram lançados para comparações. (b) sistema *qandilito*(qan.)-magnetita-ulvöespinélio(mag./ulv.)-espinélio(esp.)-hercynita(herc.) (Mitchell & Bergman, 1991). Nesta figura aprecia-se como os espinélios dos “lamprófiros” traçam um caminho muito similar ao traçado pelos lamproitos (cf. Mitchell, 1985). (c) sistema ulvöespinélio (2Ti)-cromita (Cr)-hercynita (Al)(cf. Figura 3-1) no qual os espinélios de Ymi-1 traçam um *trend* paralelo ao traçado pelos lamproitos (cf. Figura 3-17), porém em Ymi-1 observa-se maior enriquecimento nas moléculas de hercynita. (d) espinélios de todos os “lamprófiros” estudados com $MnO > 1\%$ no sistema jacobsito ($MnFe_2O_3$)-manganocromita $(Mn,Fe)_2(Cr,V)_2O_4$ -galaxito ($MnAl_2O_4$), mostrando-se enriquecidos em jacobsito e galaxito. Simbologia como em 3-2.

arronzados, são observados em Ymi-7. Apresentando zoneamento setorial a irregular nas bordas. Alguns dos cristais euhedrais (megacristais) se mostram quebrados, lembrando a trituração metamórfica. Em Yzu-1, os piroxênios são fenocristais de menor proporção modal ao encontrado em Ymi-7. Eles apresentam-se como cristais prismáticos de alguns milímetros, incolores a levemente esverdeados e algo zonados nas bordas. Em ambos os diques, a matriz compõe-se de piroxênios idiomórficos com tonalidades algo esverdeadas.

Os piroxênios de Ymi-7 têm composição variada (apêndice A3, Figura 3-3 (b)) com teores médios em Al_2O_3 (1.56 a 3.18% no centro a 2.21 a 5.06% na borda e matriz aluminosos), moderados em TiO_2 (0.39-1.18% centro a 0.96-1.95% borda e matriz, que conforme recomendações do IMA, são titaníferos) e baixos em Na_2O (<0.55%). A sua composição química corresponde a um **diopsídio titanífero aluminosos**. Por sua vez, os piroxênios de Yzu-1 (apêndice A3 e Figura 3-3 (b)) apresentam teores baixos de Al_2O_3 (1.27-2.02% no centro a 1.03-2.63% na borda e matriz aluminosos, em parte), TiO_2 (0.25-0.91% centro a 0.38-1.33% na borda e matriz; conforme recomendações do IMA, são titaníferos, em parte) e de Na_2O (<0.51%). Este tipo de piroxênio é algo similar aos piroxênios observados em Ymi-7 e correspondem a um **diopsídio titanífero** a algo aluminoso. Em ambas ocorrências pode ser observado enriquecimento do Ti sendo diretamente proporcional ao Al (Figura 3-4 (b)) e, desta forma, os piroxênios de Ymi-7 são similares com relação aos piroxênios de Ymi-1. Essas feições são comuns de piroxênios de lamprófiros. Os piroxênios de Yzu-1 apresentam feições químicas bastante semelhantes àquelas dos lamprófitos, o que será melhor discutida em parágrafos seguintes.

Micas

Nos dois diques foram registrados raros microfenocristais de mica amarronzada com fraco pleocroísmo (marrom a amarelo mel) e estando parcial ou totalmente pseudomorfizadas nas bordas pelos opacos. Na matriz ocorrem raros cristais irregulares nas rochas de Ymi-7; apresentam as mesmas características ópticas dos fenocristais.

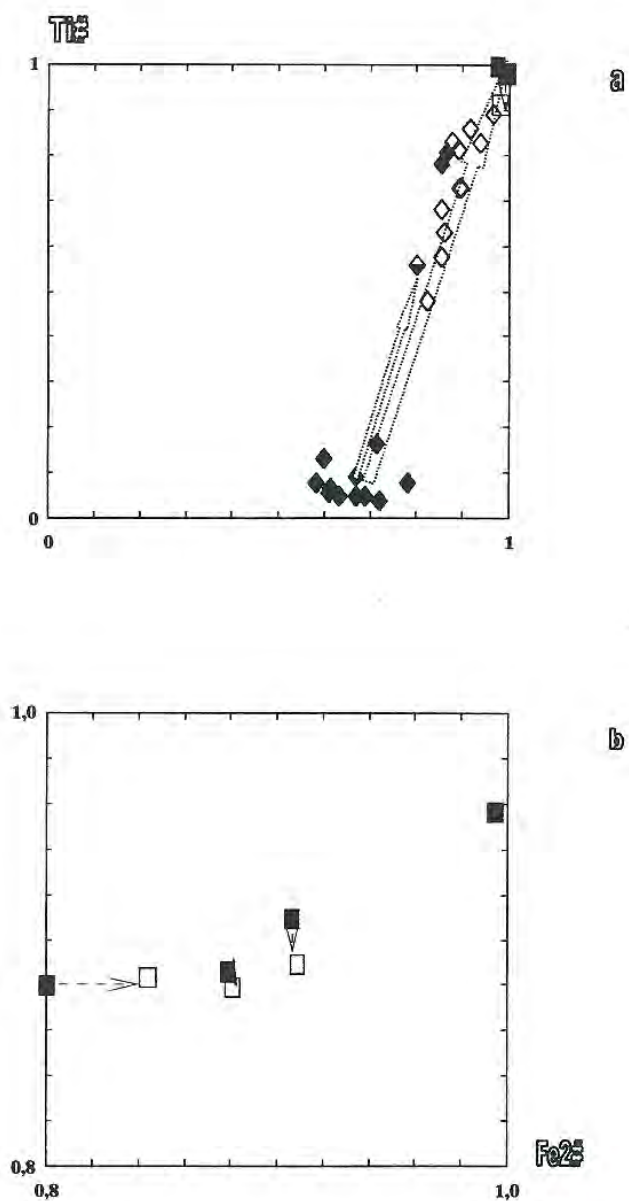


Figura 3-8. Zoneamento em espinélios. (a) microfenocristais em Ymi-1 , que mostram no centro valores de Ti# baixo (cromitas) e uma borda alto a muito alto (magnetitas magnesianas titaníferas) e em Ymi-4, sutis mudanças do centro a borda. Uma inclusão em olivina de Yzu-1 é também representada. (b) espinélios em Ymi-5, com seus centros de magnetita titanífera magnesiana e as bordas de magnetita titanífera. A seta indica centro→borda. Simbologia como em 3-2.

Os fenocristais (única fase analisada desses diques) têm composição (apêndice A2). Foram analisados os centros e bordas dos fenocristais de Ymi-7. As flogopitas possuem alto: mg# (0.79-0.81 no centro e 0.60-0.67 nas bordas em Ymi-7 e 0.80-0.87 em Yzu-1), Cr₂O₃ (0.18-1.59% em Ymi-7 e 0.40-1.22% em Yzu-1) e Al₂O₃ (14.61-15.80% em Ymi-7 e 14.61-14.95% em Yzu-1 aluminosas), e moderado teor em TiO₂ (3.21-3.83% em Ymi-7 e 2.87-2.97% em Yzu-1 titaníferas). Estas características permitem classificar como **flogopita titanífera aluminosa**. Essas micas são frequentemente comparáveis aos fenocristais de flogopita encontrados em Ymi-1c; freqüentemente ocorrendo em lamprófiros cálcio alcalinos (cf. Rock, 1991).

Espinélios

Microfenocristais são raros tanto em Ymi-7 como em Yzu-1. Entretanto, microinclusões similares às descritas em Ymi-1 (nas olivinas e piroxênios apresentam formas euhedrais opacas e microscópicas) ocorrem nas olivinas de Yzu-1. Espinélios da matriz ocorrem nesses diques como cristais cúbicos a algo irregulares com dimensões <0.2 mm.

Nas duas intrusões os espinélios estão melhor representados na matriz, com teor (apêndice A4) de Cr₂O₃ <1-5.39% em Ymi-7 e <1% em Yzu-1, de Al₂O₃ entre 1.75 e 5.42% em Ymi-7 e 2.29 e 2.56% em Yzu-1; de MgO entre 0.62 e 3.25% em Ymi-7 e 1.42 e 2.50% em Yzu-1, de TiO₂ entre 10.58 e 23.82% em Ymi-7 e 18.60 e 20.22% em Yzu-1 e de MnO <1%. Estas concentrações são comparáveis às composições encontradas nos espinélios da matriz e em alguns microfenocristais de Ymi-1, conforme pode ser constatado nas Figuras 3-7 são **magnetita magnesiana titanífera** e **magnetita titanífera**. Os microfenocristais presentes em Ymi-7, diferem dos cristais da matriz por serem algo mais enriquecidos em Cr e Mg. As inclusões de Yzu-1, como as inclusões nas olivinas de Ymi-1, são de cromita. Nessas rochas são reconhecidas também xenocristais (TiO₂<2%) e cristais magmáticos (TiO₂>2%)(apêndice A4 e a Figura 3-7).

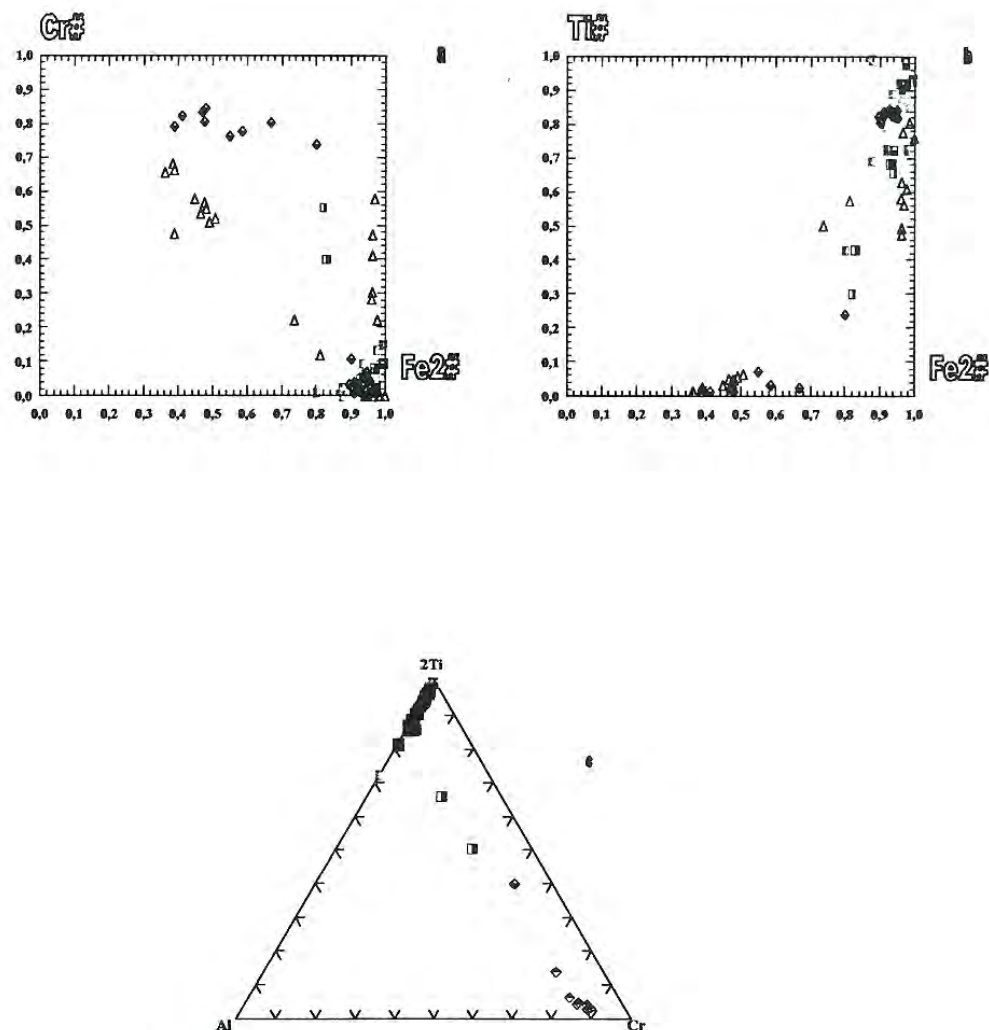


Figura 3-9. Espinélios dos “lamprófiros” Ymi-4, Ymi-7 e Yzu-1. (a) sistema picrocromita-cromita-espinélio-hercynita, onde observa-se como os espinélios inclusos nas olivinas de Yzu-1 apresentam elevada concentração da molécula de cromita e espinélios da matriz, elevadas concentrações das molécula de hercynita, como é também encontrado nos espinélios de Ymi-4 e Ymi-7; são comparados com espinélios dos lamprófiros de São Sebastião e arredores (Garda, 1995). (b) sistema qandilito-magnetita-ulvöspinel-espinélio-hercynita, aqui também como encontrado nos espinélios de Ymi-1, sobretudo em Yzu-1 evidencia-se um *trend* paralelo ao mostrado pelos lamproítos . (c) sistema ulvöspinel-cromita-hercynita, os espinélios de Ymi-4 mostram-se ricos nas moléculas de ulvöspinel-hercynita, Ymi-7 e Yzu-1 mostram o mesmo *trend* paralelo ao do mostrado pelos lamproítos e também encontrado em Ymi-1. Simbologia como em 3-2.

Feldspatóides/zeólitas

Em Yzu-1 feldspatóides/zeólitas (em alto porcentagem modal) isotrópicos estão representados como uma das principais fases minerais presentes na rocha. Trata-se de cristais arredondados em crescimento seriado que vão de <0.3 a >0.5 milímetros (Fotomicrografia 2), estando interpenetrados (microtextura cumulática) e apresentando-se límpidos a turvos devido a alteração. Já o feldspatóides/zeólitas em Ymi-7 ocorrem como componentes intersticiais da matriz, na forma de cristais isotrópicos.

Quimicamente (apêndice A6) são **analcimas** ($\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$) de baixo teor em Fe_2O_3 (<1%, excepto um cristal com teor maior que a unidade). Estas feições químicas são muito parecidas às das analcimas de Ymi-1 e aos feldspatóides/zeólitas encontrados em lamprófiros (cf. Rock, 1991).

Feldspatos

Ocorrem na matriz intergranular de Ymi-7 e intersticialmente em Yzu-1, na forma de ripas a cristais irregulares límpidos, porém em parte alterados (Fotomicrografia 4).

A Figura 3-10 (apêndice A7) mostra que os feldspatos variam de **sanidina** a **sanidina sódicas** (Na_2O até 4.2% em Ymi-7 e 6.18% em Yzu-1) com teores baixos a altos em Fe_2O_3 (0.24-0.98% em Ymi-7 e 0.17-3.47% em Yzu-1). Estes feldspatos não são muito diferentes das sanidinas de Ymi-1 e das sanidinas encontradas em lamprófiros (cf Rock, 1991). No entanto, as sanidinas em Yzu-1 são comparáveis pelo alto teor em Fe_2O_3 , aos feldspatos alcalinos que ocorrem em lamproítos (cf. p/ex. Mitchell 1985; 1995a; Mitchell & Bergman, 1991).

Anfibólio

Anfibólio está presente na matriz de Ymi-7 na forma de cristal euhedral a subedral e cor escuro a amarronzado raramente, ocorre como microfenocristais subeuhedrais. Em Yzu-1 os anfibólios ocorrem na forma de palhas de cor amarronzado claro e

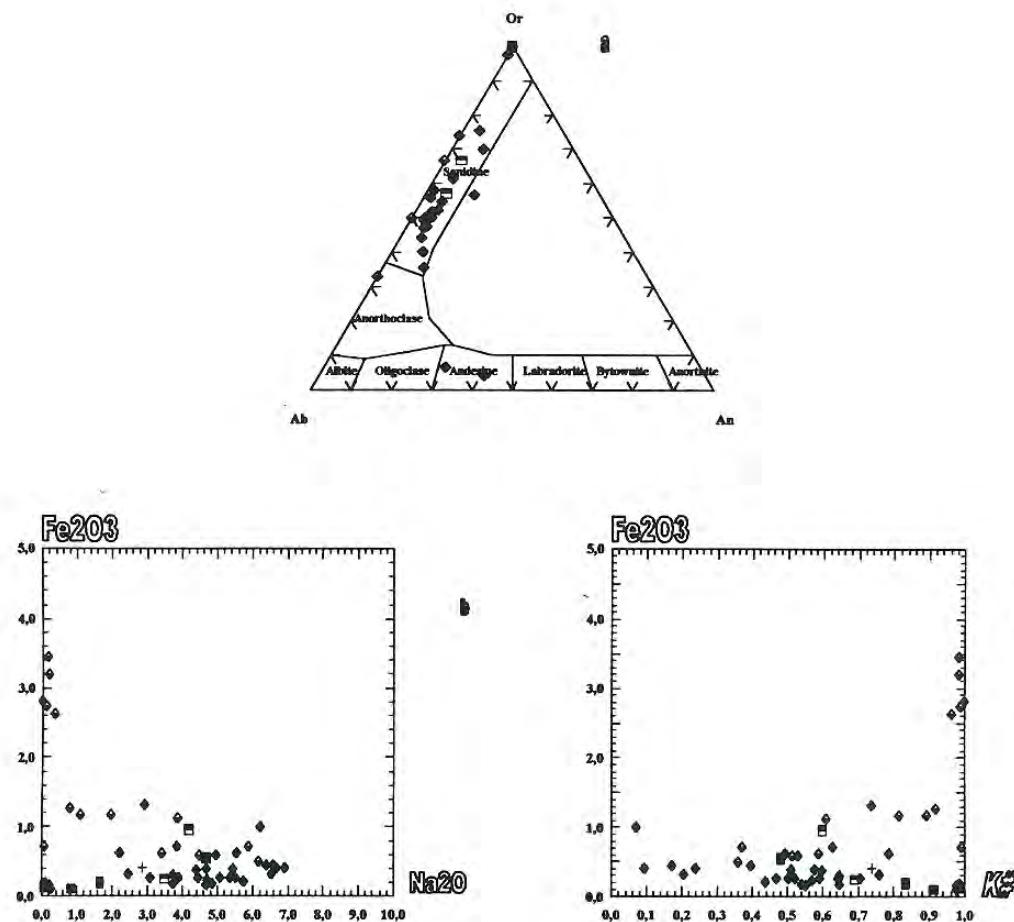


Figura 3-10. Feldspatos dos “lamprófiros”. (a), classificação geral no sistema Or-Ab-An. Os feldspatos são sanidina, sendo que em alguns diques (ex. Ymi-1c.) analisaram-se dois plagioclásios, e em Yzu-1 dão-se feldspatos ricos em Na, i.e. sanidina sódica e anortoclásio. Em Ymi-4 analisaram-se só sanidinas. (b) Fe_2O_3 vs Na_2O nas sanidinas dos “lamprófiros”, que permite comparar com sanidinas encontradas em lamproítos (ricas em Fe e pobres em Na). Notar como em Yzu-1 ocorrem sanidinas ricas em Fe e pobres em Na, e assim parecendo-se mais com os lamproítos que com os lamprófiros. (c) sanidinas dos “lamprófiros” no diagrama Fe_2O_3 vs $\text{K}\#$ ($\text{K}/(\text{K}+\text{Na})$) (Rock et al., 1992). Como em (b) sanidinas de Yzu-1 sugerem forte afinidade com sanidinas de lamproítos (alto $\text{K}\#$ e alto teor em Fe_2O_3). Simbologia como em 3-2.

ocupando intersticialmente as ripas de feldspatos, resultando em difícil a impossível resolução óptica.

São quimicamente (apêndice A5) **hornblenda magnésiana** (Figura 3-11) com moderada razão de mg# (0.6-0.8) e com teores baixos de TiO₂ e moderados de Al₂O₃. Também se observa na matriz destas rochas, anfíbolios secundários (**cumingtonita**), em parte similares aos de Ymi-1. Em Yzu-1 analisou-se um cristal de **grunerita rica em K₂O** (>0.50 de K).

As associações mineralógicas e as feições químicas de Ymi-7 permitem definir uma rocha tipo **olivina-analcima-sanidina-diopsídio “lamprófiro”**, enquanto as de Ymi-1 uma variedade do tipo **sanidina-olivina-diopsídio-analcima “lamprófiro” picrítico**. Essas rochas são similares à Ymi-1.

MICA “LAMPRÓFIROS”

Feições gerais

Conforme mencionado no capítulo anterior a intrusão Ymi-4 apresenta três formas de ocorrência: lava, brecha intrusiva e diques. A fácies de lava corresponde a uma rocha vulcânica, fortemente vesiculada, algo orientada segundo as formas estiradas das vesículas, que exibe cor amarrum-avermelhado e textura porfirítica com abundantes fenocristais de piroxênio prismáticos de até 5 mm (algo alterados) e cor verde garrafa; olivina pseudomórfica vermelho escura, submilimétrica a milimétrica; e microfenocristais de mica castanha escura, fresca a algo alterada em formas pseudo-hexagonais. Os fenocristais acham-se imersos em matriz fina, com estrutura vesiculada. As vesículas são milimétricas a centimétricas e estão em parte preenchidas por zeólitas e carbonato. A brecha intrusiva, de cor algo mais escura, é formada por fragmentos angulosos milimétricos a centimétricos do mesmo material que as lavas e assim apresentando-se com as mesmas feições macroscópicas; entretanto, em alguns fragmentos observaram-se que as vesículas são muito delgadas e estiradas com larguras milimétricas, sendo também estão preenchidas por zeólitas. Os diques se diferenciam das fácies anteriores pelo aspecto menos

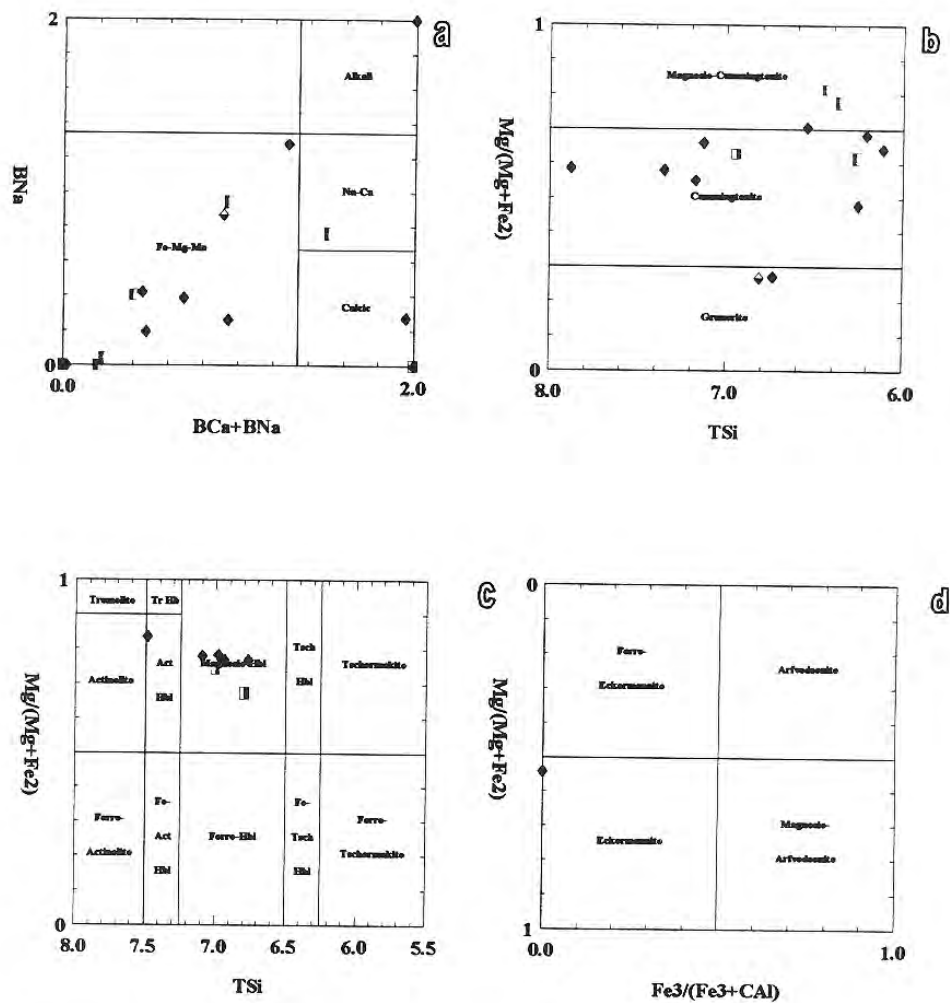


Figura 3-11. Anfibólios nos “lamprófiros”. (a) classificação geral dos anfibólios conforme Leake (1977), esquema fornecido pelo programa Minpet 2.0 (b) anfibólios de Fe-Mg-Mn dos corpos Ymi-1, Ymi-7, Ymi-4 e Yzu-1. Tratam-se de cummingtonitas, conforme as orientações do IMA (cf. Leake et al., 1997) que recomenda que o nome magnésio cummingtonita se substitua pelo de cummingtonita e; gruneritas (Ymi-1 e Yzu-1). (c) anfibiólitos cálcicos de Ymi-1 e Ymi-7 = hornblenda magnésiana conforme as recomendações do IMA (Leake et al., 1997). (d) anfibólio sódico em Ymi-1, sendo ele eckermanita ($Al^{VI} > Fe^{3+}$); segundo IMA (Leake et al., 1997). Simbologia como em 3-2.

vesiculado, porém identificando-se muito com as brechas devido à sua cor marrom avermelhado escuro e as formas estiradas das vesículas. Fenocristais de piroxênio e alguns de mica fresca estão melhor representados nestas rochas. Microscopicamente as diferenças entre as fácies são também bastante sutis. Apresentam abundante vesículas e/ou ocelli com zeólita/carbonato segundo o esquema: zeólitas são mais frequentes nas lavas, descendendo nas brechas até os diques o denominador comum, nas três fácies, é dado pela presença de fenocristais milimétricos de mica amarronzada; prismas milimétricos de piroxênio incolor-esverdeado; microfenocristais submilimétricos de olivina euhedral totalmente serpentinizada; e microfenocristais de espinélio euhedral (Fotomicrografias 1, 2, e 4). As rochas têm matriz fina (<0.3 a ~0.10 mm), intergranular a traquitóide, formada por ripas de feldspato, espinélio, raros cristais de piroxênio e vidro alterado intersticial (Fotomicrografias 1 e 2). Os acessórios são anfibólio e apatita. Os dados modais esquematizados na Tabela 3-3, permitem caracterizar as três fácies de rocha, coletivamente de mica-piroxênio-feldspato “lamprófiros”.

Química mineral

Micas

São característicos nesta intrusão os fenocristais milimétricos de mica amarronzada as quais apresentam pleocroísmo do marrom ao amarelo mel. Observam-se formas euhedrais (com visíveis bordas suavizadas pela corrosão e assim substituídas por opacos) a anhedrais (as que acusam profunda corrosão mostrando substituições pelos opacos), como pode-se constatar nas Fotomicrografias 1, 2 e 3. As micas incluem opacos e piroxênios (Fotomicrografia 3), sendo também observadas a presença de micas como inclusões em alguns cristais de piroxênio.

Composicionalmente (apêndice A2) são micas com variações (Figura 3-5) de flogopita (maioria) a biotita (borda de um cristal). Os fenocristais são zonados e apresentam mg# variável de 0.73-0.76 no centro a 0.66-0.79 nas bordas do cristal (Figura 3-6). Nestas micas observa-se teores moderados de TiO_2 (3.39-4.92% no centro; 2.86-4.82% nas bordas titaníferas) e altos de Al_2O_3 (14.94-16.59% no centro;

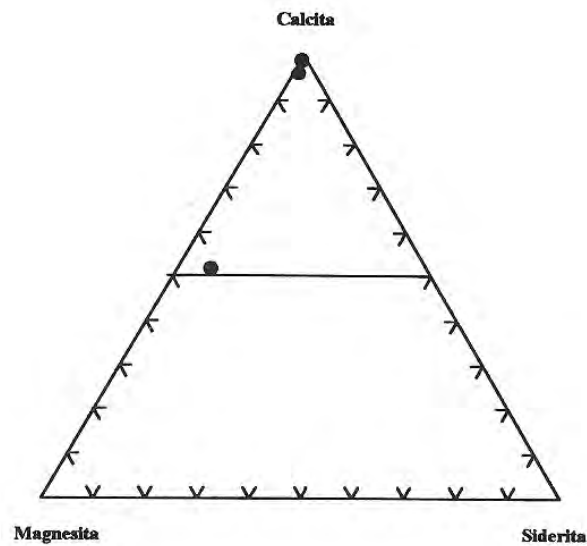
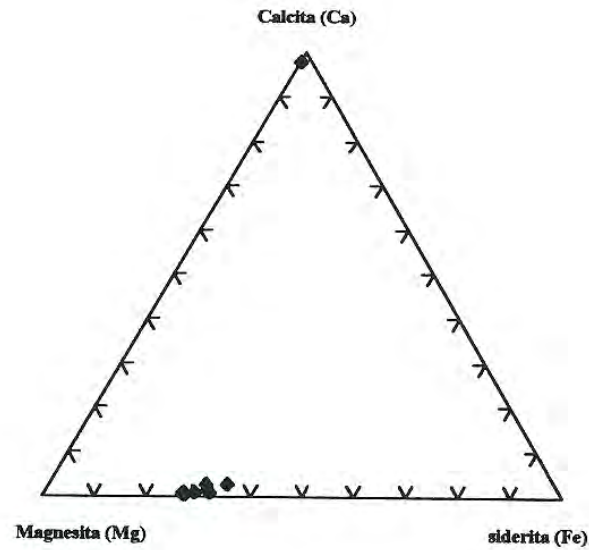


Figura 3-12. Carbonato nas rochas lamprofíricas. Ymi-1 (superior) e Yzu-6 (inferior). Linha horizontal de 50 equivale a dolomita (Rock, 1984). Simbologia como em 3-2.

14.52-16.49% nas bordas aluminosas). Elas possuem teores significativo de Na_2O (0.37-0.70% no centro; 0.42-0.72% nas bordas) junto com teores desprezíveis de Cr_2O_3 . Algumas feições que são freqüentes em micas de alguns minettes (ex. Rock, 1991) podem ser evidenciadas por alguns cristais destas rochas, como por exemplo zoneamento normal do centro rumo as bordas em alguns cristais e reverso em outros (teores variando em sentido inverso) (Figura 3-13); assim também nelas se observa um enriquecimento em Al e Ti (Figura 3-6) e Al e Fe seguindo um *trend* freqüente de observar nas micas que ocorrem nos minettes e também nas rochas ultrapotássicas tipo Província Romana (Mitchell & Bergman, 1991; Mitchell, 1995a-b; Rock et al., 1992). Estas feições levam a caracterizá-las como **flogopita titanífera aluminosa** e **biotita titanífera aluminosa**.

Piroxênios

Piroxênios ocorrem na forma de fenocristais prismáticos, freqüentemente milimétricos, incolores a algo esverdeados, dispostos isoladamente ou agrupados (interpenetrando-se). Ocasionalmente, nas rochas onde associam-se a cristais de espinélios e evidenciam, em parte, uma microtextura cumulática (Fotomicrografia 1). Os cristais da matriz são também subheudrais, incolores a esverdeados e eles são pouco freqüentes. Os piroxênios ocorrem nas três fácies de rocha de Ymi-4, porém são levemente mais abundantes no dique.

Composicionalmente (apêndice A3) são piroxênios diopsídicos (Figura 3-3). Estão fortemente zonados (Figura 3-4) conforme evidenciado pelos teores em TiO_2 (0.56-1.01% no centro e 1.00-1.84% nas bordas e matriz; i.e. titanífero) e Al_2O_3 (3.05-6.62% no centro e 4.80-7.78% nas bordas/matriz, i.e. aluminosos), que aumenta proporcionalmente do centro em para as bordas (Figura 3-4). Por outro lado eles apresentam teores baixos de Na_2O (<0.43%). Estas feições que o caracterizam à **diopsídio titanífero aluminoso**. Este tipo de piroxênio é freqüente em minettes e rochas ultrapotássicas tipo Província Romana (Rock, 1991; Mitchell & Bergman, 1991; Mitchell, 1995a).

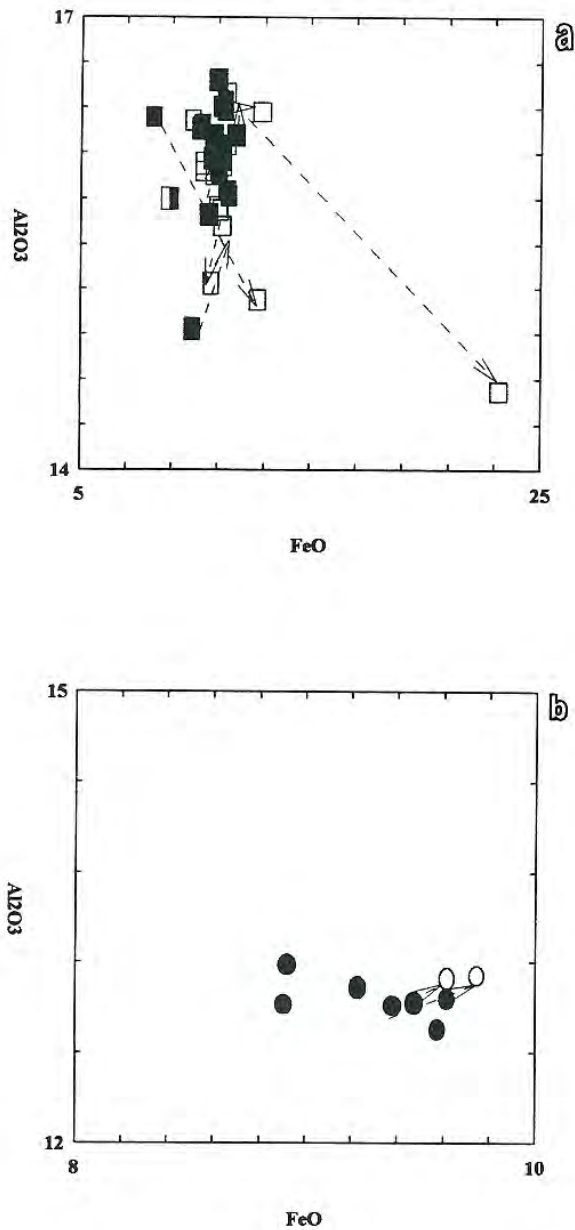


Figura 3-13. Zoneamento em fenocristais de mica. (a) Ymi-4, que mostra zoneamento normal e inverso. (b) Yzu-6, que mostra como evoluem do teor da molécula de flogopita para maior concentração da molécula de biotita (enriquecimento em Fe) e aumento da concentração de Al. Simbologia como em 3-2.

Espinélios

Nestas rochas, os espinélios ocorrem como microfenocristais idiomórficos isolados ou agrupados (Fotomicrografias 1 e 4). Por vezes exibindo microtexturas de exsolução (espinélio com lamelas de ilmenita, cf. apêndice A4). Na matriz aparecem como cristais idiomórficos com seções geralmente retangulares e mais raramente quadráticas (Fotomicrografia 2).

Os espinélios de Ymi-4 ocupam os campos com elevados valores de $Ti\#$ e $Fe^{2+\#}$ Figura 3-9, porquanto que apresentam teores (apêndice A4) baixos em Cr_2O_3 (<1%), Al_2O_3 (<3%) e MgO (0.1-2.4%), enquadrando-se perfeitamente nas séries do espinélio e magnetitas. Entretanto, como apresentam teores altos de TiO_2 (até 26.5%) eles se encaixam melhor dentro da série da magnetita, i.e., ulvoespinélio (Figura 3-9). Alguns cristais apresentam teores em MnO de até 4%, assim acusando a presença de moléculas de galaxita (Figura 3-7). As feições observadas nas figuras citadas permitem caracterizar as variedades **magnetitas magnesianas tianíferas** e **magnetitas titaníferas manganesíferas**. Essas variedades espinélios são freqüentes em minettes (cf. Rock, 1984; 1991; entre outros). Em dois microfenocristais foram analisadas lamelas exsolvidas de hematita (apêndice A4).

Feldspatos

Os feldspatos ocorrem na matriz destas rochas como cristais tabulares parcial a totalmente alterados (“argilização”) (Fotomicrografias 1 e 2). Composicionalmente (apêndice A7), os poucos análises disponíveis, indicam que os feldspatos são **sanidina (natrosanidina** em parte, cf. apêndice A7)(Figura 3-10) com baixos teores de Fe_2O_3 (<1%). Essas características são comuns em lamprófiros (ex. minettes), conforme Rock (1991) e rochas ultrapotássicas tipo Província Romana (cf. Mitchell & Bergman, 1991).

Acessórios

Foi observado que estas rochas apresentam anfibólios secundários são cummingtonita potássica com $K > 0.50$ (dados no apêndice A5), que ocorrem junto à apatita na matriz. Nas amígdalas ocorrem zeólitas ricas em CaO (até 8%), Na_2O (4-11%) e elas apresentam desprezíveis teores de potássio (cf. apêndice A6).

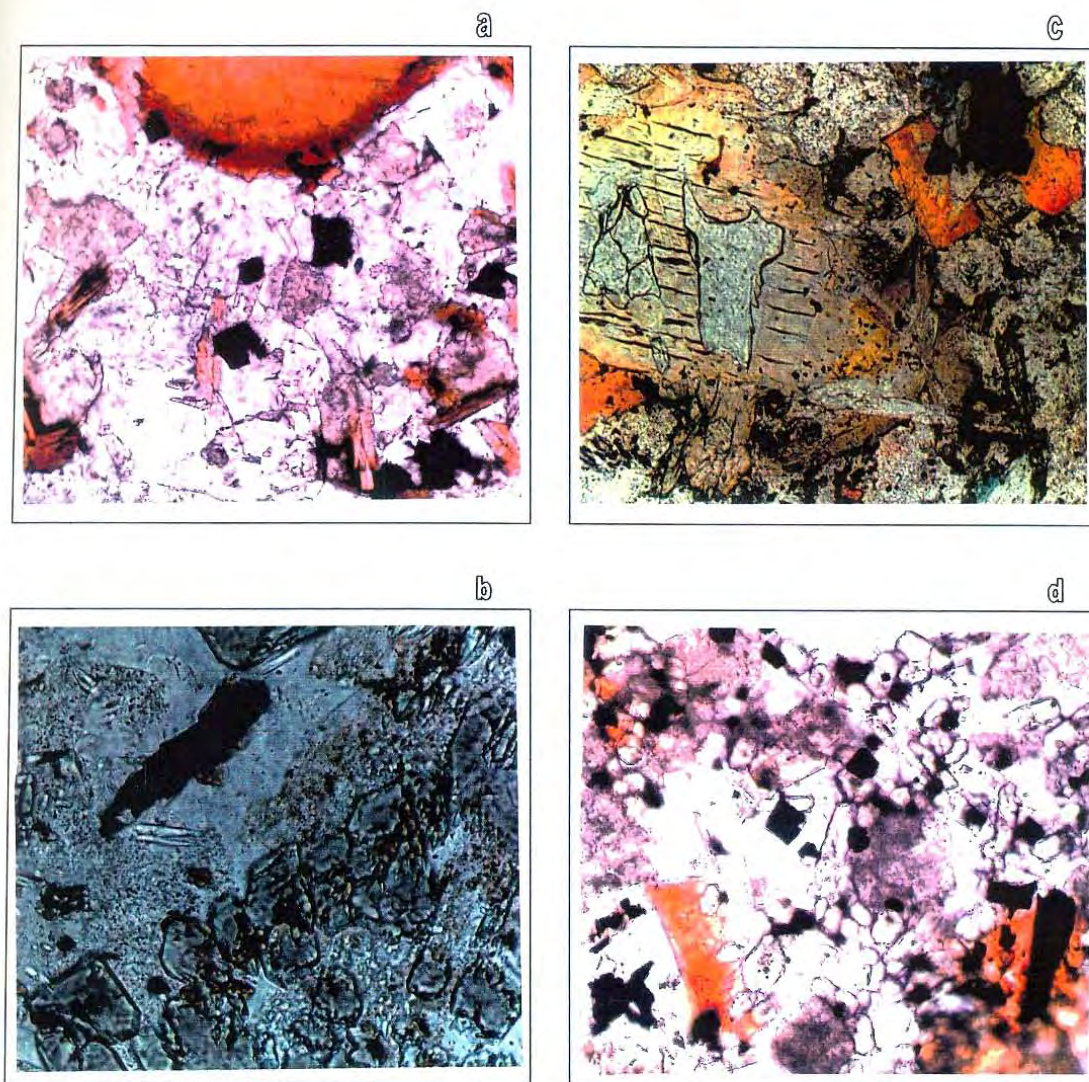
As feições minerais apontadas para as rochas desta intrusão são de **sanidina-flogopita-diopsídio “lamprófiro”**. Este tipo de rocha assemelha-se a muitos mica-

lamprófiros caracterizados como minettes (cf. Rock, 1984; 1991). Diferentemente das rochas basaltóides alcalinas, na matriz das rochas desta intrusão não foi registrada no microscópio nem através das análises de microsonda eletrônica, a presença de plagioclásio. Por esta razão sugere-se que essas rochas não são basaltóides. Além disso, apresentam baixo teor de máficos, feição que as aproxima mais aos lamprófiros e as afasta das rochas basaltóides alcalinas descritas na região (cf. Comin-Chiaramonti & Gomes, 1996).

“LAMPROÍTOS”

Estas rochas podem ser separadas em dois grandes grupos petrográficos, semelhantemente ao procedimento adotado com os “lamprófiros”. Um dos grupos reúne as rochas com fenocristais de mica e piroxênio e são coletivamente denominados MICA “LAMPROÍTOS”. Outro agrupa as rochas com fenocristais de “leucita” piroxênio e/ou mica, sendo denominados LEUCITA “LAMPROÍTOS”.

Como tarefa inicial procurou-se estabelecer uma boa fonte de dados da química mineral deste grupo incomum de rochas ultrapotássicas (Foley et al., 1987; Mitchell & Bergman, 1991) que, juntamente com os kimberlitos e os orangeítos formam um conjunto de rochas de difícil caracterização, como se constata em Mitchell (1986; 1995a-b) e Mitchell & Bergman (1991). Minerais como espinélios, titanatos (ilmenita, rutilo, armalcolita, pseudobrookita), anfibólios e feldspato alcalino foram reunidos em arquivos de dados que foram tratados com auxílio do Programa Minpet 2.0. Na construção dos diagramas, empregaram-se dados minerais de lamproítos de várias localidades do mundo visando a comparação com os dados das rochas estudadas neste trabalho. Nesse sentido, buscou-se uma caracterização precisa dos minerais estudados visando uma definição petrográfica adequada para as rochas estudadas neste trabalho. Os dados da literatura foram extraídos de Mitchell (1985; 1986;



Microfotografia 5. "Lamproítos". (a) Yzu-6, mostra micas marrom avermelhado junto à sanidina (incolor), espinélios (~0.1 mm) e manchas amarronzadas de anfibólio. (b) Ymi-5, detalhes de piroxênio esverdeado junto a espinélio alongado (~0.1 mm) e envolvido por biotita; sanidina (incolor, relevo baixo) e apatita (relevo alto). (c) Yzu-2, mostra-se flogopita marrom abóbora, espinélio, "leucita" (incolor arredondada), prismas de sanidina e ferro-heckermanita potássica titanífera (marrom salmão escuro), junto a fenocristal pseudomorfo de olivina. (d) Yzu-3, detalhes dos minerais da matriz; prismas de ilmenita (~0.1 mm) junto a espinélio, flogopita amarronzada, sanidina (incolor e límpida), leucita/vidro alterado (manchas turvas) e piroxênio; e cristais de apatita relevo alto. Polarizador inferior.

1995a), Mitchell & Bergman (1991 e referências), Wagner & Velde (1986); Middlemost et al. (1988); Sheraton & Cundari (1980); Gogineni et al. (1978); Waldman et al. (1987); Venturelli et al. (1984; 1991); Kuehner et al. (1981); Thy et al. (1987); Contini et al. (1993); Linthout & Lustenhouwer (1993) e Costa (1996).

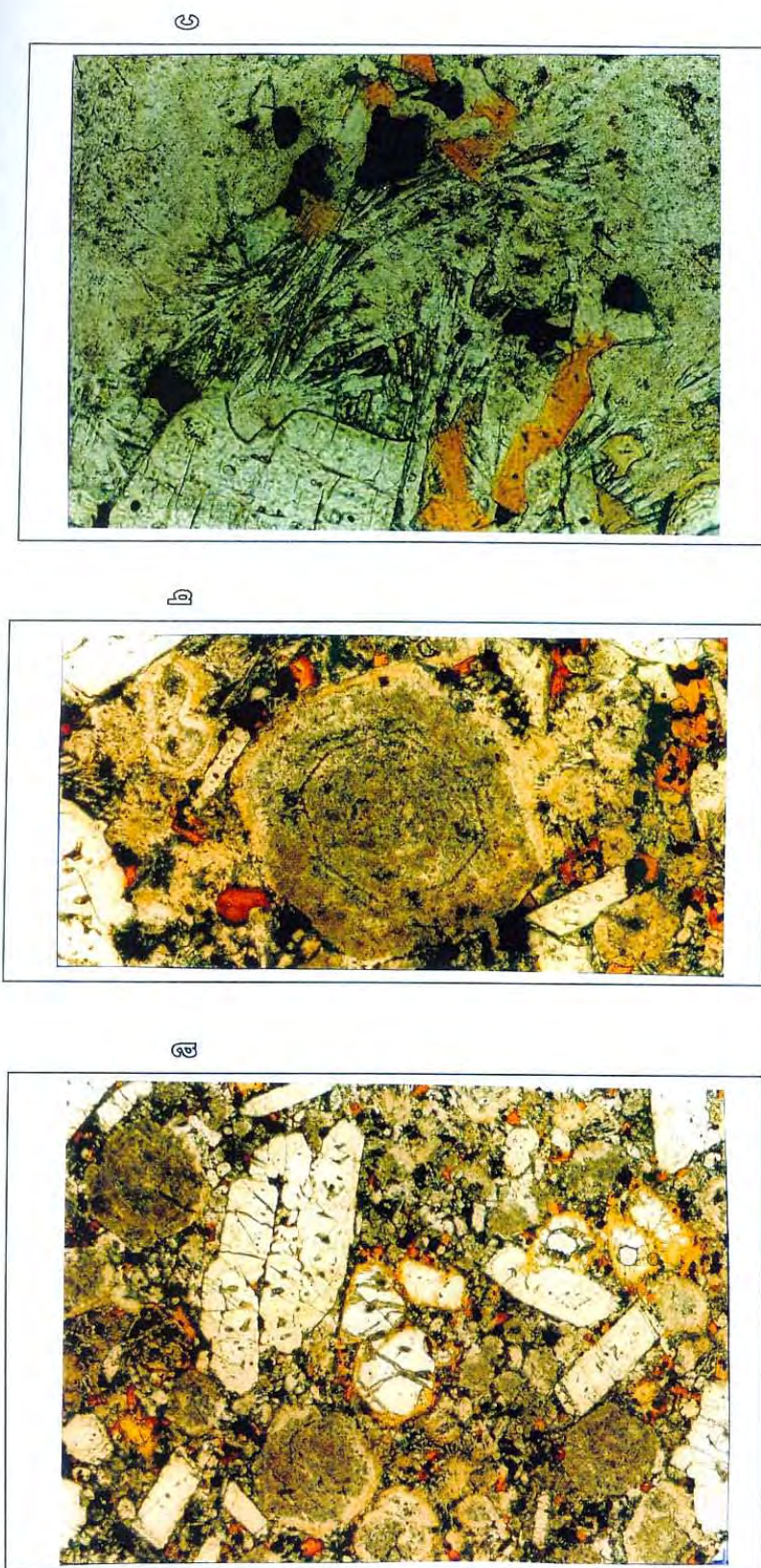
MICA “LAMPROÍTOS”

Sill Yzu-6

Feições gerais

Petrográficamente tem características de uma rocha vulcânica porfírica com marcada textura lamprofírica, contendo fenocristais milimétricos de mica castanha muito escura, piroxênio (de vários milímetros) verde esmeralda (em parte pseudomorfizado pelo carbonato) e ilmenita prismática (sub milimétrica a milimétrica), imersos em matriz microgranular algo alterada, que apresenta amígdalas (ocelli) de carbonato granular (grosso) milimétricos a centimétricos. Estas feições são muito parecidas com os mica lamprófiros (minettes).

Ao microscópio exhibe marcada textura porfírica com fenocristais milimétricos euhedrais de mica amarronzada e piroxênio prismático e assembléia de microfenocristais de espinélio e alguns prismas de ilmenita, acompanhados de amígdalas (milimétricas a centimétricas) preenchidas de carbonato granular grosso. Os fenocristais estão mergulhados em matriz granular euhedral a subhedral fina (~0.1-0.3 mm) formada por feldspato alcalino, espinélios, mica amarronzada e intersticialmente anfibólio fibroso de cor verde amarelado ±carbonato (Fotomicrografia 5). A apatita prismática, ilmenita e um mineral prismático vermelho sangue escuro muito pequeno (<0.10 mm; rutilo?, priderita?) são os acessórios registrados. Fragmentos angulosos irregulares e milimétricos de enclaves sedimentares (de granulação muito fina) são também observados coexistindo com os fenocristais. Os dados modais apresentados na Tabela 3-3 permitem definir esta rocha como **piroxênio-mica-feldspato alcalino “lamproíto”**.



Fotomicrografia 6. “Lamproito” Yzu-2. (a) fenocristais de olivina (incolor e serpentinizada nas bordas e fraturas), prismas de piroxênio (~1 mm) e leucita pseudomorfizada (grãos arredondados de marrom turvo). (b) mostra-se um microfenocristal (~1 mm) poligonal de leucita pseudomorfizada e de crescimento zonado. (c) matriz intersticial entre “leucita” de flogopita lamelar, prismas de samidina, ferro-heckermanita potássica titanífera de coloração marrom-salmão escuro. Polarizador inferior.

Química mineral

Mica

Fenocristais de mica amarronzada (~10% modal) apresentam pleocroísmo de cor marrom âmbar avermelhado a marrom mel. Na matriz, os cristais são apresentados com o mesmo pleocroísmo, porém em tons mais escuros. As duas formas de ocorrência apresentam-se como cristais preferencialmente euhedrais a subhedrais. Entretanto, alguns fenocristais apresentam bordas corroídas (engolfamentos), e em outros microtextura *kind-band*. Os fenocristais apresentam inclusões de apatita.

A composição química destas micas encontram-se listadas no apêndice A2. Composicionalmente são micas com variações de flogopitas a biotitas (com mg# de 0.77-0.78 nos fenocristais e 0.61-0.73 nas bordas e matriz) (Figura 3-5). Estas micas possuem TiO_2 variando de 5.62-5.80% nos centros dos fenocristais e 5.57-8.16% nas bordas e matriz (titaníferas) e Al_2O_3 de 12.76-13.19% nos centros dos fenocristais e 11.77-13.11% nas bordas e na matriz (raramente aluminosas). Os teores medidos de Cr_2O_3 e Na_2O são desprezíveis (apêndice A2). Estas feições químicas permitem caracterizar duas variedades, **flogopitas titaníferas** e **biotitas titaníferas**, ambas com baixo teor em alumina. Suas características químicas são similares às de lamproítos (Mitchell, 1985; Mitchell & Bergman, 1991) e orangeítos (Mitchell, 1995a-b). Porém incomum de se encontrar em micas dos minettes (Mitchell, 1995; Rock, 1990).

A Figura 3-6 (c) exibe um *trend* de diminuição de alumina conforme aumenta o teor de Ti, e na Figura 3-6 (d) evidencia o aumento do teor de Fe conforme diminui o de Al. A Figura 3-13 (b) mostra o zoneamento identificado em dois fenocristais. Este comportamento químico é característico dos lamproítos e de alguns orangeítos e são observados como comportamento inverso ao registrado nas micas de Ymi-4, que se parece mais com as micas dos minettes (cf. Mitchell, 1985; 1995a-b e Mitchell & Bergman, 1991).

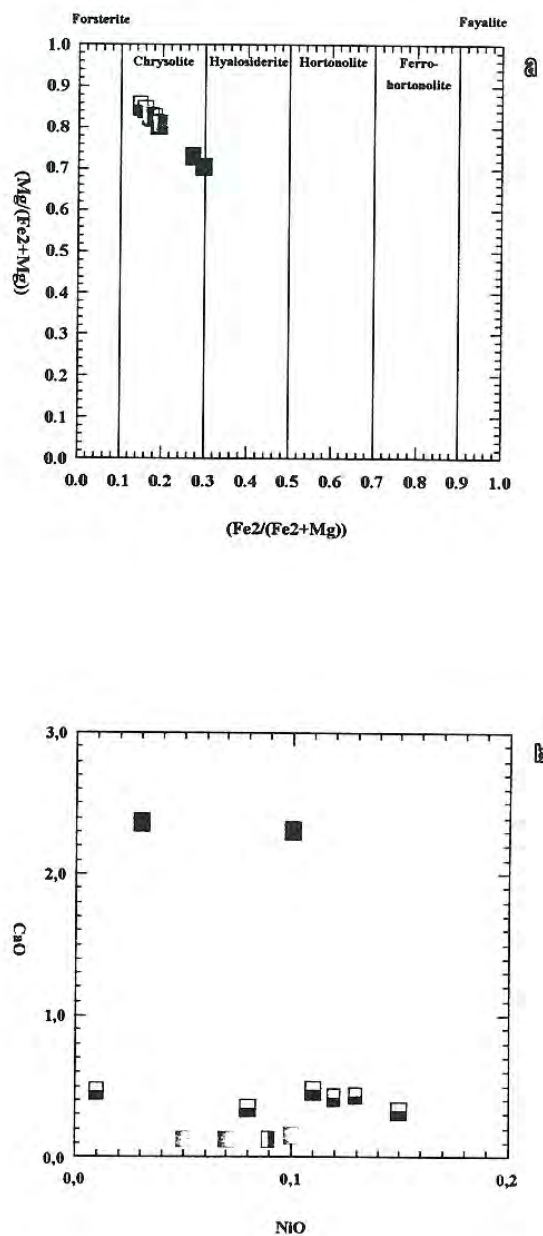


Figura 3-14. Olivinas dos “lamproitos”. (a) classificação das olivinas de Ymi-5 (serpentinizadas); Yzu-2 e Yzu-3; todas elas sendo chrysolitas, com sutis variações do centro para as bordas. (b) comportamento das olivinas em termos de CaO e NiO. Olivinas de Ymi-5, por estarem serpentinizadas, mostram anormal enriquecimento em CaO. Simbologia como em 3-2.

Piroxênios

Piroxênios só foram observados na forma de escassos fenocristais parcial (fraturas e clivagem) a totalmente pseudomorfizados por carbonato. São milimétricos, em formas prismáticas que ocorrem em geral como cristais individuais incolores a algo esverdeados. Eles não foram observados na matriz.

A sua composição encontra-se no apêndice A3. Os dados mostram que são diopsídios (Figura 3-15) com baixos teores em Al_2O_3 (0.79-0.94%), Cr_2O_3 (0.39-0.48%), TiO_2 (0.60-0.65%) e Na_2O (<0.36%). Asemelham-se aos piroxênios descritos em lamproítos, orangeítos e alguns minettes, porém, se comparados com os piroxênios de Ymi-4, os de Yzu-6 são marcadamente diferentes.

Espinélios

Espinélios com seções quadradas, retangulares (curtas) a poligonais aparecem em agregados (2 a 3 cristais) ou, mais freqüentemente, como microfenocristais individuais e como cristais da matriz (Fotomicrografia 5).

A composição química dos espinélios estão apresentados no apêndice A4. São espinélios com baixos teores de MgO (<1%), Cr_2O_3 (<0.10%) e Al_2O_3 (<0.3%) e altos teores de TiO_2 (14-22%), FeO_t (59-72%) e MnO (2-4%; sendo ricos em manganês a manganesíferos). Essas variações químicas caracterizam valores baixos em Cr# e altos a muito altos em Ti#, $\text{Fe}^{2+\#}$, similar ao observado em espinélios pertencentes às séries da Magnetita e do Espinélio (Figuras 3-17). O alto teor de Ti permite enquadrá-los mais apropriadamente dentro da série da magnetita (i.e. ulvoespinélios), e os teores em Mn evidenciam como encontrado em alguns espinélios de Ymi-4, importantes teores da molécula de galaxita. Com base nos dados químicos e nas Figuras 3-7, os espinélios de Yzu-6 podem ser caracterizados como **magnetita titanífera rica em manganês**. Estas feições são similares às observadas em espinélios muito diferenciados que ocorrem em alguns lamproítos, orangeítos e em minettes (cf. Mitchell & Bergman, 1991, e referências).

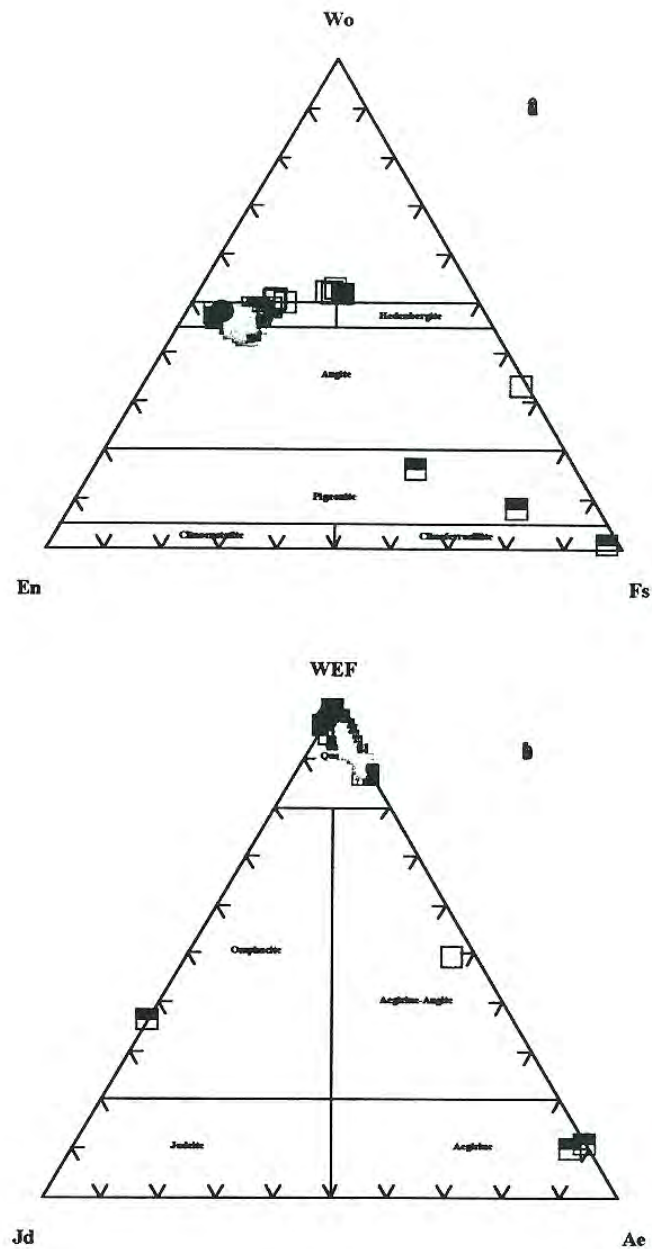


Figura 3-15. Piroxênio dos “lamproitos”. (a) classificação que ressalta o enriquecimento em moléculas de diopsídio nos piroxênios de Yzu-2, Yzu-3 e Yzu-6 estão enriquecidos em moléculas de diopsídio. Ymi-5 apresenta-se com altos teores da molécula de hedembergita. A variação na composição de seus piroxênios finaliza com os cristais *quench*, sendo eles diopsídio-hedembergíticos ricos na molécula de wollastonita. Cristais esverdeados pleocróicos variam de aegirina-augita (Ymi-5) a aegirina (Yzu-2)(Figura b). Simbologias como em 3-2.

O baixo teor da molécula de hercynita , nos espinélios de Yzú-6 (Figura 3-7) os diferencia dos espinélios de Ymi-4.

Ilmenita

Microfenocristais prismáticos opacos, alguns deles pseudomorfizados por carbonato e hidróxidos de Fe, possuindo dimensões submilimétricas a milimétricas, foram reconhecidos na assembléia de feno-microfenocristais de Yzu-6. Este mineral também é observado na matriz e ocorre como prismas de seção retangular frescos. O grupo das ilmenitas é composto pela ilmenita (FeTiO_3), geikielita (MgTiO_3), pyrofanita (MnTiO_3), hematita (Fe_2O_3) e eskolaíta (Cr_2O_3). Existe uma extensiva série de solução sólida entre a ilmenita-geikielita, e entre a ilmenita-hematita nos xenólitos do manto e em óxidos cristalizados de magmas derivados do manto (Haggerty, 1991). Assim freqüentemente, as ilmenitas analisadas quimicamente, quando recalculados FeO e Fe_2O_3 , costumam ser representadas em diagramas ternários: ilmenita-hematita-geikielita e ilmenita-hematita-pyrofanita (Haggerty, 1991; Gaspar & Wyllie, 1984; Mitchell, 1986; 1985; 1995a) e ilmenita-pyrofanita-geikielita (Haggerty, 1991). É pouco freqüente incluir diagramas ternários onde a eskolaíta esteja presente. Neste trabalho, adotam-se os dois primeiros diagramas ternários (cf. Figura 3-18). Para comparações, empregaram-se os dados de ilmenitas registrados em lamproítos e orangeítos.

As análises de dois cristais (apêndice A8) evidenciam composição de ilmenitas pobres em Cr (pobres nas moléculas de eskolaíta). Um dos cristais analisados apresenta-se rico em MnO (4.23%, representando importantes teores nas moléculas de pyrofanita) e com moderado MgO (1.98%, contendo moderados teores das moléculas de geikielita), assim parecendo-se com as ilmenitas descritas em lamproítos (Thy et al., 1987; Venturelli et al., 1984 e 1991) e orangeítos (Mitchell, 1995a), conforme pode ser observado na Figura 3-18.

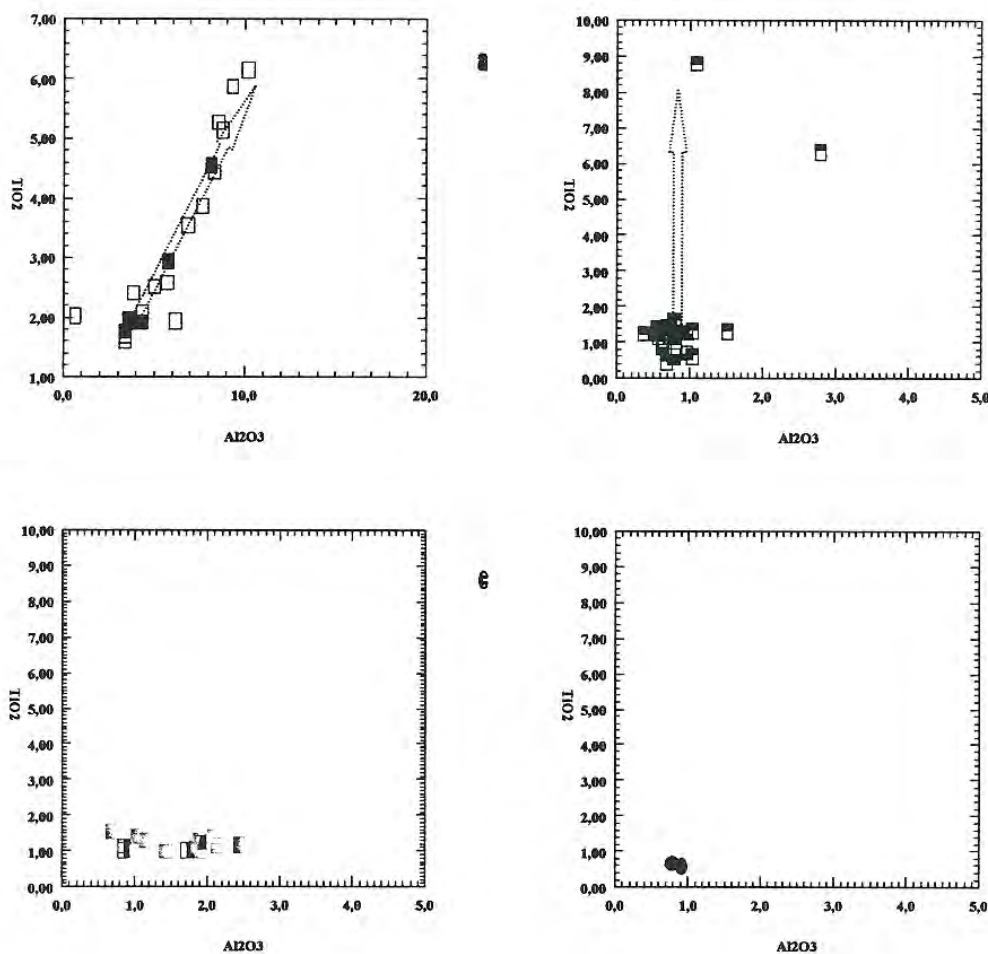


Figura 3-16. Enriquecimento em Ti vs Al em piroxênio dos “lamproitos”: (a) Ymi-5 mostra um *trend* de enriquecimento/zonamento diretamente proporcional a partir de fenocristais→matriz→*quench*, em termos de Ti vs Al. (b) Yzu-2 e também Yzu-3 (c) e Yzu-6 (d) mostram um enriquecimento/zonamento segundo um esquema Ti vs Al, como característico de observar em lamproitos (cf. Mitchell & Bergman, 1991; Mitchell, 1995a). As setas indicam direção de zonamento do centro rumo a borda. Simbologia como em 3-2.

Feldspato alcalino

Feldspato límpido ocorre na matriz destas rochas na forma predominantemente tabular em parte incluindo poiquilíticamente as cristais de mica espinélio e anfibólio (Fotomicrografia 5). De acordo com os dados químicos listados no apêndice A7, correspondem a **sanidina** (Figuras 3-20). De modo similar aos descritos em lamproítos e orangeitos (Mitchell, 1995), são enriquecidos em Fe_2O_3 (0.52-3.21%); estes valores acusam importantes teores de moléculas de feldspato de Fe (rico em Fe). Também são enriquecidos em Na_2O (0.20-2.48%) como registrado em alguns lamproítos, como por exemplo Shiprock dyke, New Mexico e Orciato, Pisa (Wagner & Velde, 1986; Cancarix, em Venturelli et al. 1984; Jumilla, em Venturelli et al, 1991) e minettes (Rock 1991). Os teores medidos em BaO nestes feldspatos são desprezíveis a moderados (0.00-1.40%), assim acusando escassa participação das moléculas de hialofana (~rico em Ba), indicando uma **sanidina rica em Fe e em Ba**.

Minerais acessórios

Quartzo (1%), apatita, carbonato rico em CaO (Figura 3-12, apêndice A9) e anfibólio (cummingtonita, Figura 3-19 e Fotomicrografia 5) ocorrem na matriz desta rocha. Quartzo é descrito nos anfibólio lamproítos da área de Sisimiut, Groenlândia (Thy et al., 1987) e carbonato nos jumillitos de Espanha (Venturelli et al., 1991), alguns lamproítos da Índia (Rock et al., 1992) e o lamproíto Argyle (Jaques et al., 1989). As feições minerais caracterizadas nesta intrusão permitem caracterizar a rocha como um **diopsídio-flogopita-sanidina “lamproíto”**.

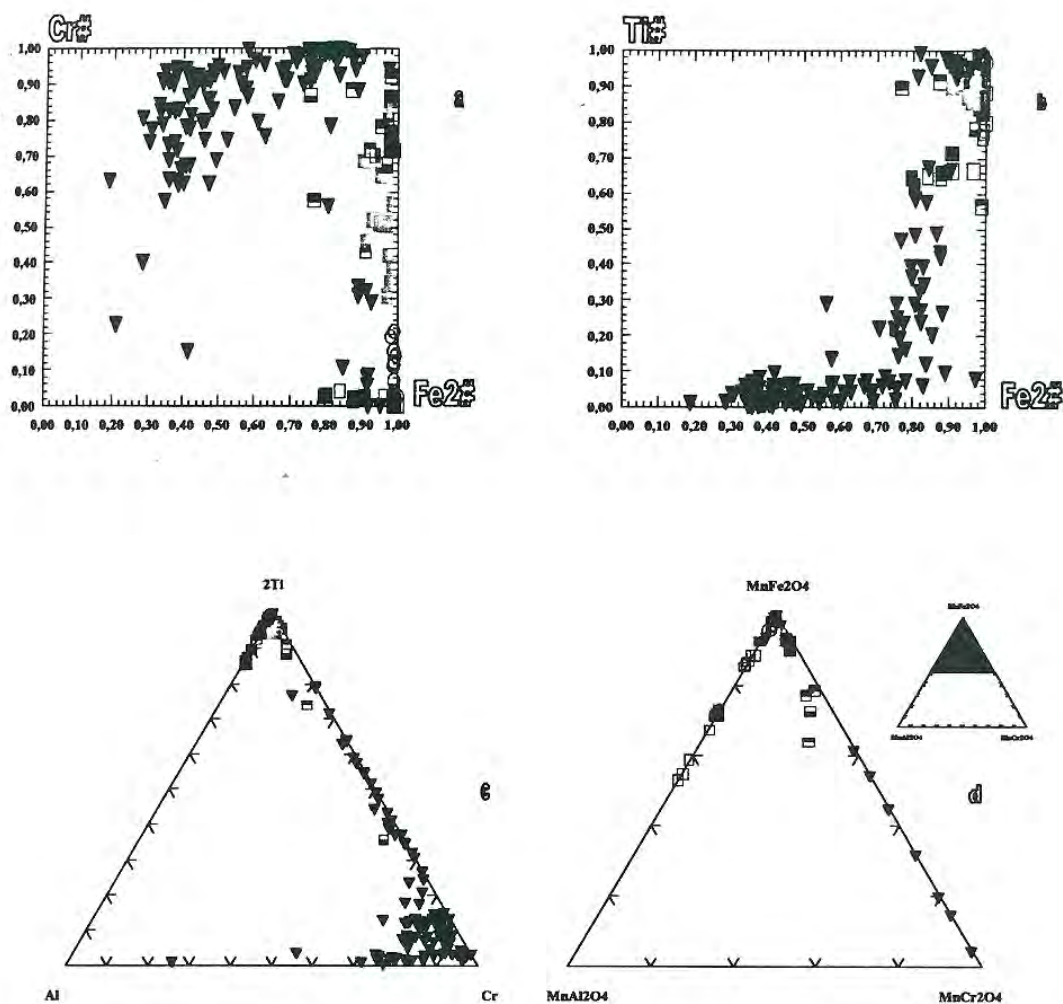


Figura 3-17. Espinélios dos “lamproitos”. Nas figuras são comparados com os espinélios que ocorrem em outras localidades do mundo (triângulos invertidos e cheios). (a) base do tetraedro dos espinélios, onde se mostra como os espinélios dos “lamproitos” estudados evidenciam solução sólida entre os *end members* cromita-hercynita. (b) sistema *qandilito*-magnetita/ulvöespinélio-espinélio-hercynita, mostrando que os espinélios dos “lamproitos” estudados são membros ricos nas moléculas de magnetita/ulvöespinélio e eles seguem o *trend* traçado pelos lamproitos como sugerido em Mitchell & Bergman (1991). (c) Sistema magnetita/ulvöespinélio-cromita-hercynita: aqui como em (b) os espinélios analisados mostram-se ricos nas moléculas de magnetita/ulvöespinélio, notar também como os espinélios de Ymi-5, Yzu-2, Yzu-3 e Yzu-6 seguem o *trend* traçado pelos lamproitos. (d) sistema jacobsita-manganocromita-galaxita, para espinélios com MnO > 1%, mostrando-se como os espinélios estudados são ricos na molécula de jacobsita, sendo que alguns espinélios de Ymi-5 são também ricos em nas moléculas de galaxita. Note-se o *trend* traçado pelos lamproitos. As fontes são citadas no texto. Simbologia como em 3-2.

LEUCITA “LAMPROÍTOS”

Intrusões Ymi-5, Yzu-2 e Yzu-3

Feições gerais

Três intrusões (Ymi-5, Yzu-2 e Yzu-3) são tratadas em conjunto neste item. Nelas foram registrados como mineral comum, abundantes fenocristais de “leucita” (>30% modal), diferenciando-se uma da outra pelo grau de desenvolvimento desta face mineral: equidimensionais milimétrico a subcentimétrico em Ymi-5; equidimensionais e milimétrico Yzu-3; e submilimétrico seriado em Yzu-2.

Ymi-5 constituído de rochas vulcânicas marcadamente porfiríticas, maciças, com feno/megacristais, em grande parte glomeroporfiríticos de “leucita” poligonal a arredondada, de cor branca a turquesa pálido, conferindo à rocha aspecto de manchas de líquens brancos. Além disso, possuem feno e microfenocristais de piroxênio esverdeado escuro, em forma prismática milimétrica e olivina serpentinizada milimétrica. Associam-se, também algumas amígdalas de zeólita branca, raramente milimétricas, em formas ovoidais. A matriz possui aspecto basaltóide de granulação fina. Entre alguns glomérulos de leucita ficaram presos restos da matriz, podendo ser identificados fenocristais tabulares finos de piroxênio escuro-amarronzado e alguns microfenocristais de olivina serpentinizada. Esta rocha foi analisada por Gibson et al. (1996) (ver também Comin-Chiaramonti et al., 1993; e Presser, 1994). Os dados são encontrados na Tabela 3-2, onde se observa uma composição de rocha ultrapotássica ($K_2O = 5.55\%$, $Na_2O = 1.68\%$ e $MgO = 4.15\%$) e que possui altos teores de TiO_2 (2.27%) e Ba (2078 ppm). Estas feições, se somadas às elevadas razões de Ba/Yb (845) e de La/Yb (54) e os valores dos isótopos Sr/Sr (0.707205) e Nd/Nd (0.511812) levam a relacioná-las mais propriamente com magmas lamproíticos que com plagileucitos.

Yzu-2 compõe-se de uma rocha vulcânica cinza com abundantes pontilhados esbranquiçados submilimétricos, de aspecto algo orientado e fortemente porfirítico, com fenocristais de “leucita” arredondada (submilimétrica em maioria, porém com

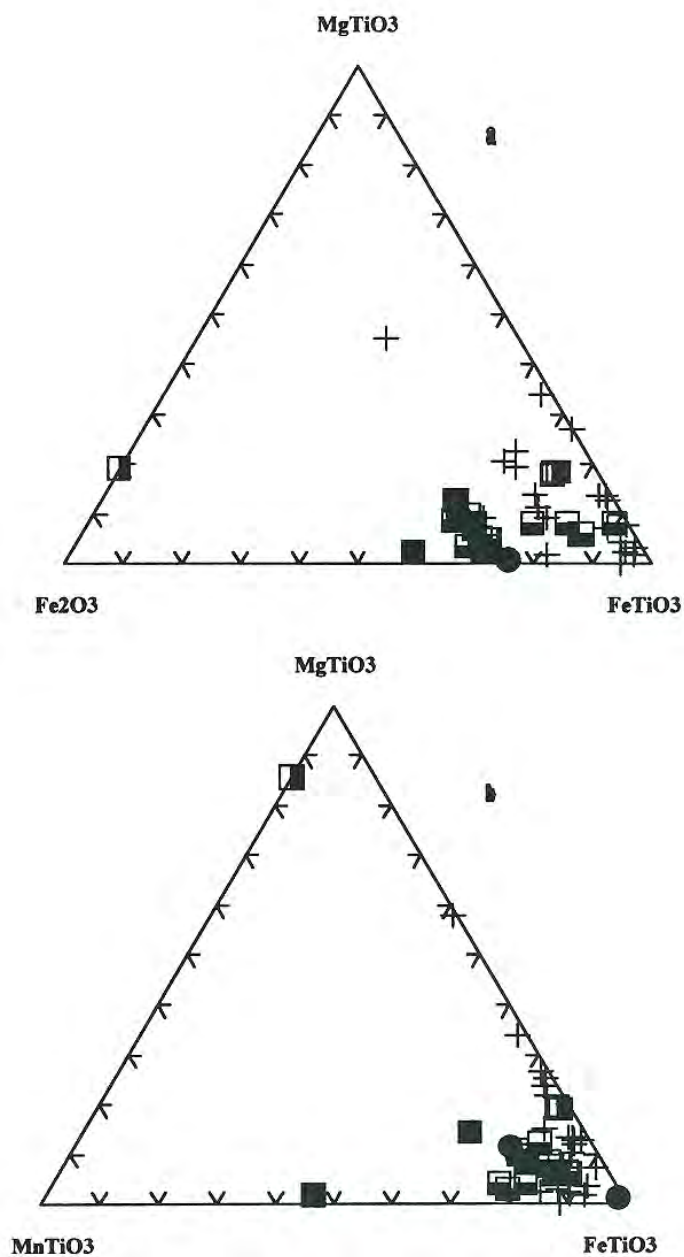


Figura 3-18. Ilmenita dos “lamproitos”. Sistemas ternários (a) $MgTiO_3$ - $FeTiO_3$ - Fe_2O_3 e (b) $MgTiO_3$ - $FeTiO_3$ - $MnTiO_3$, ilmenitas de Yzu-2, Yzu-3 e Yzu-6 com as ilmenitas que ocorrem nos lamproitos (cruzes) e nos orangeitos (quadro cheio). Ilmenitas de Ymi-2 e Ymi-3 são comparáveis à dos lamproitos e a de Yzu-6 àquelas dos lamproitos e orangeitos. Para as fontes ver texto. Simbologia como em 3-2.

caráter seriado) e microfenocristais de piroxênio prismático (submilimétrico até 4 mm) verde escuro, olivina incolor submilimétrica e, mais raramente mica marrom escuro. Encontram-se mergulhados em uma matriz fina de aspecto basaltóide. Comin-Chiaramonti & Gomes (1996) situa a rocha D12/PS515 segundo as coordenadas geográficas Lat.S 25° 48,5' e Long W 56° 16,2'. Estas coordenadas são as mesmas e/ou vizinhas às de Yzu-2, pelo que acredita-se que se trate da mesma localidade. Por esta razão, os dados químicos de D12/PS515 corresponderiam a Yzu-2. Contudo, esses dados são tomados temporariamente. Conforme a Tabela 3-2, observa-se que as rochas deste dique apresentam feições químicas muito similares às observadas em lamproítos, com baixos teores de Al₂O₃, CaO e FeO_t, e elevados valores em TiO₂, MgO, Cr, Ni, Ba, La e Nd.

A amostra de Yzu-3 representa de uma rocha vulcânica cinzenta de aspecto brechóide, que apresenta clastos (angulosos a arredondados) de rochas com aspecto basaltóide (maciça a vesiculada), porfiríticas com fenocristais milimétricos de olivina, piroxênio e abundante “leucita” (“autólitos”?), soldados por uma matriz magmática basaltóide maciça, porfirítica contendo fenocristais de olivina, piroxênio e “leucita”. Bitschene (1987), De Min (1993) e Comin-Chiaramonti & Gomes (1996) fornecem análises das rochas vulcânicas que ocorrem nesta intrusão (Mbocayaty, ver Figuras do Capítulo anterior). Em Bitschene (1987) faltam os pormenores de uma descrição petrográfica, não dando a certeza de que se trata das rochas porfiríticas ricas em “leucita” amostrada neste trabalho, ou se a análise corresponde a outras litologias que também ocorrem como diques associados. Já em Comin-Chiaramonti & Gomes (1996) são fornecidas alguns dados petrográficos (dique de rocha basaltóide...plagileucitos?) reunidos a uma análises química (48 PS262, Tabela 3-2) que levam a pensar que se trata da mesma rocha analisada por Bitschene (1987). Feições petrográficas parecidas ao material amostrado são encontradas na amostra 3152 analisada por De Min (1993) e apresentada na Tabela 3-2. Aqui se observa valores baixos em Al₂O₃, FeO_t e CaO e elevados de TiO₂, MgO, Cr, Ni, La, Ce e Ba assemelhando-se, assim aos lamproítos. Estes Dados químicos são muito similares ao D12/PS515.

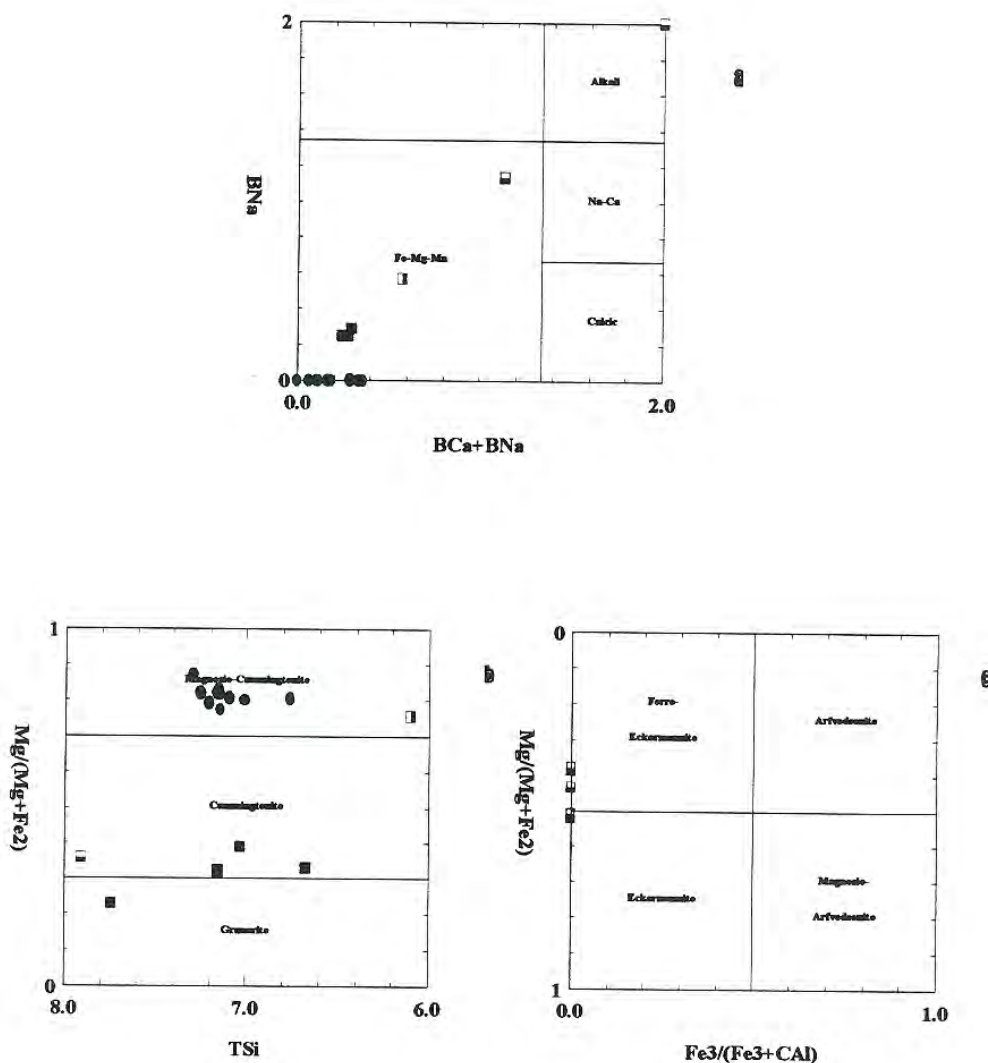


Figura 3-19. Classificação dos anfíbólios que ocorrem nos “lamproítos”. (a) Esquema de classificação geral dos anfíbólios. (b) anfíbólios Fe-Mg-Mn, cummingtonita em Ymi-5 (potássica e titanada, cf. apêndice A5), Yzu-2, Yzu-3 (idem Ymi-5) e Yzu-6. Em Yzu-2 analisou-se um cristal (22.000) de grunnerita (potássica e titanada) (c) anfíbólio sódico, ferro eckermanita ($Al^{VI}>Fe^{3+}$), conforme Leake et al. (1997) em Yzu-2 (Yzu-22.001, 22.002, 22.004 e 22.005). Os anfíbólios de Yzu-2 como mostrado em (a) e (c) corresponderiam também a richterita (potássica e titanada; cf. apêndice A5) se calculadas no esquema 13-CNK ou 15-NK do programa Minpet 2.0. Ver também fluxograma comentado no Capítulo 1. Simbologia como em 3-2.

De modo geral, estas rochas são fortemente porfiríticas com caráter seriado, em parte com fenocristais de olivina, piroxênio, “leucita” e mais raramente mica (Yzu-2 e Yzu-3), e microfenocristais de espinélio, ilmenita (Yzu-3) e apatita (Yzu-3) imersos em uma matriz intergranular fina formada por piroxênio, espinélio, mica, feldspato alcalino, ilmenita (Yzu-2 e Yzu-3) e intersticialmente “leucita”/vidro alterado (Fotomicrografias 5 e 6). Como acessórios ocorrem perovskita (Ymi-5), apatita e anfibólios.

Em Ymi-5, a “leucita” forma agregados cumuláticos de vários cristais que se interpenetram irregularmente. Nos espaços deixados entre os cristais, solidificou o fundido magmático (*melt*) desenvolvendo-se prismas alongados de piroxênio púrpura (*nauve*), que Presser (1991) os teria confundido com anfibólio.

Em Yzu-2, nos espaços entre cristais de feldspato alcalino, ilmenita, espinélio, mica, apatita e vidro alterado (?), pode ser observado anfibólio (Fotomicrografias 5 e 6) com hábito placóide, de cor salmão e marrom com pleocroísmo variável de incolor a marrom, marrom rosa ou salmão e verde; que cristalizou com minerais azul-esverdeados de alto relevo (*faces roedderites?*, cf. Wagner & Velde, 1986).

Em Yzu-3, as estruturas brechadas, apresentam-se ao microscópio como campos granulares finos (matriz) envolvendo “fragmentos” de rocha granular mais fina (fragmentos “fantasmas” de aspecto túrbido). Neste trabalho analisou-se a química mineral de ambos componentes da brecha, tomando-se minerais com melhor resolução petrográfica encontrados como fenocristais e grãos da matriz. “Leucita” pseudomorfizada, olivina fraturada alotriomórfica, piroxênio verde-maçã e microfenocristais de ilmenita, espinélios e apatita estão contidos em matriz fina (intergranular), formada por feldspato alcalino, espinélio e mica marrom, sendo os minerais acessórios apatita prismática e traços de anfibólio. Os fragmentos apresentam os mesmos minerais, porém possuem uma matriz muito fina, algo túrbida (vidro alterado?, Fotomicrografia 5).

Os valores modais estimados destas rochas encontram-se na Tabela 3-3. Numa primeira aproximação classificar as rochas de **leucita “lamproítos”**, conforme

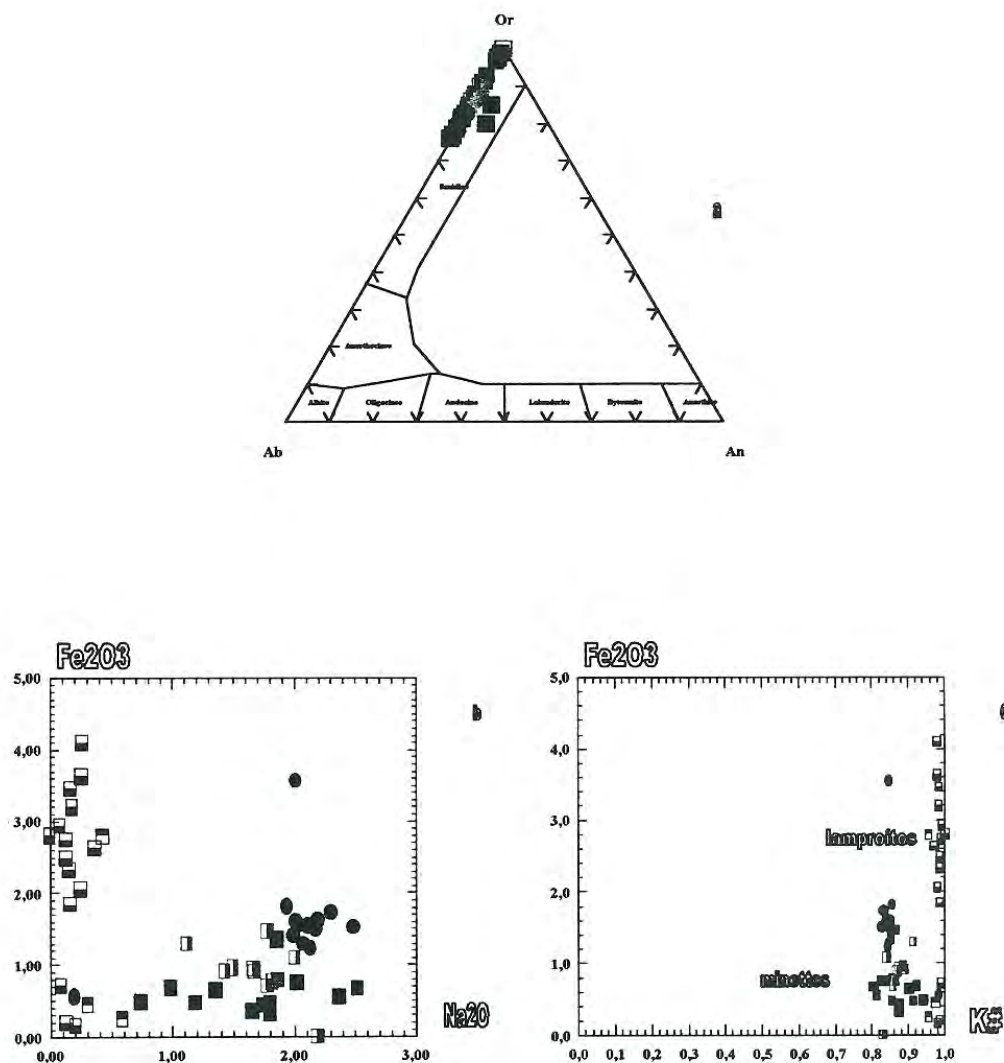


Figura 3-20. Feldspato dos “lamproitos”. (a) classificação no sistema Or-Ab-An mostrando sanidinas em Ymi-5, Yzu-2, Yzu-3 e Yzu-6. (b) Fe_2O_3 vs Na_2O nas sanidinas referidas em (a), que mostram posicionamento, conforme esquematizado por Mitchell & Bergman (1991), no campo próprio de lamproitos. (c) Fe_2O_3 vs K# nas sanidinas de (a), que da mesma forma que em (b) mostram posicionamento conforme esquematizado por Rock et al. (1992), no campo próprio dos lamproitos e em parte também no campo dos minettes (Rock et al., 1992). Simbologia como em 3-2.

esquema encontrado em Jaques et al. (1984). Em conformidade com as recomendações do IUGS (Woolley et al., 1996), as rochas das ocorrências discutidas são caracterizadas como:

olivina-feldspato alcalino-piroxênio-leucita “lamproíto” (Ymi-5),

olivina-feldspato alcalino-mica-piroxênio-leucita “lamproíto” (Yzu-2) e,

olivina-mica-feldspato alcalino-piroxênio-leucita “lamproíto” (Yzu-3).

Química mineral

De Min (1993) fornece dados químicos de alguns minerais de Yzú-3 que, junto aos analisados neste trabalho, são comentados a seguir.

Olivina

Olivina (<10% modal) ocorre em Yzu-2 e Yzu-3 (Fotomicrografias 5 e 6) como microfenocristais submilimétricos e como fenocristais milimétricos, apresentando bordas finas a amplamente pseudomorfizadas por mica e/ou serpentina (Fotomicrografia 5). Em Yzu-3, as olivinas possuem formas anedrais, sendo que nelas podem ser observadas inclusões microscópicas de espinélio; conta-se com uma análise no apêndice A4. Já os microfenocristais em Ymi-5 estão totalmente serpentinizados, porém conservando, em parte, as formas idiomórficas.

Composicionalmente (apêndice A1) são **crysolitas** (Figura 3-14) que apresentam variações nesteores de NiO de 0.05-0.18% (Yzu-2) e de 0.05-0.10%, centro a 0.09%, borda(Yzu-3); CaO de 0.32 a 0.48 (Yzu-2) e 0.12-0.15%, centro e 0.12%, borda (Yzu-3). Apesar de algo diferenciadas em termos de mg# e os teores em Ni, estas olivinas são similares as olivinas encontradas em alguns leucita lamproítos do mundo (cf. Mitchell & Bergman, 1991).

Mica

Microfenocristais amarronzados (pleocroísmo amarelo mel a amarronzado), parcial a totalmente substituídos por espinélio e mica de segunda geração (similar às da matriz), são registrados em Yzu-2 (Fotomicrografia 3b). Na matriz das três intrusões, a mica ocorre intersticialmente em formas anhedrais a tabulares, algo idiomórficas (Fotomicrografias 5 e 6), de coloração amarronzado-avermelho (ex Yzu-2) ao marrom abóbora (Yzu-3), apresentando pleocroísmo em tons de marrom a amarelo

mel. Os cristais em geral incluem poiquiliticamente espinélios e apatita (p/ex. Yzu-2 e Yzu-3). Em Ymi-5, entre os glomérulos de “leucita” foram observados cristais de mica na forma de finos cristais ou lamelares.

Composicionalmente (apêndice A2) o microfenocristal analisado de Yzú-2 apresenta mg# 0.85 e teores de Al_2O_3 ~13%, Cr_2O_3 ~1.6% (com crômio), TiO_2 ~3.5% (titanífero), Na_2O ~0.15% e BaO ~0.15%, caracterizando assim uma **flogopita titanífera com crômio** (Figura 3-5). Essa composição é parecida com alguns fenocristais encontrados em Leucite Hills (p/ex. Mitchell & Bergman, 1991) e os microfenocristais encontrados em Yzu-1. Os cristais que ocorrem na matriz de Yzu-2 e Yzu-3 são flogopitas (Figura 3-5) com mg~0.7 (Yzu-2) a ~0.8 (Yzu-3) e teores de Al_2O_3 entre 8.90-10.09% (Yzu-2) e 11.38-12.18% (Yzu-3); Cr_2O_3 <0.1% em Yzu-2 e Yzu-3, TiO_2 desde 8.08-10.23% (Yzu-2) a 11.38-12.18% (Yzu-3) (titaníferas), Na_2O entre 0.49-0.971% em Yzu-2 e 0.21-0.42% em Yzu-3, e BaO de 2.13-3.28% (Yzu-2) a 0.00-0.20% (Yzu-3). Estas feições químicas permitem caracterizá-las como a **flogopitas titaníferas** (Yzu-3) a **flogopitas titaníferas pobres em alumínio** (Yzu-2 e Yzu-3). Trata-se de variedades de micas particulares de lamproítos (cf. Mitchell, 1985; 1995a-b; Bergman, 1987; Mitchell & Bergman, 1991). Em Ymi-5 reconheceram-se dois grupos distintos de biotitas (Figura 3-5), ambas com mg#<0.5, sendo que os teores em Al_2O_3 variam de 10.00-13.78% (Grupo-I =G-I) a 13.66-14.79% (Grupo-II =G-II aluminosas, em parte), Cr_2O_3 <0.6% (ambos os grupos), TiO_2 desde 3.22-6.20% (G-I) a 3.88-9.43% (G-II)(titaníferas), Na_2O de 0.54-0.72% (G-I) a 0.66-0.73% (G-II) e; BaO entre 0.14-5.25% (G-I) e 5.90-7.38% (G-II ricas em Ba). Essas feições caracterizam **biotitas titaníferas** (G-I, quadros vazios nas figuras) e **biotitas titaníferas aluminosas ricas em Ba** (G-II, quadros cheios nas figuras). Biotitas são pouco freqüentes em lamproítos (Mitchell & Bergman, 1991).

As micas de Yzu-2 e Yzu-3, como também boa parte das micas de Ymi-5, em termos de Al_2O_3 vs TiO_2 e Al_2O_3 vs FeO espalham-se segundo um trend característico das micas de lamproítos, com diminuição do teor de Al e aumento do teor de Ti de Fe (Figuras 3-6 (a) e (b)). Na rochas de Ymi-5 o grupo caracterizado como sendo aluminoso identifica-se melhor com minettes e com rochas ultrapotássicas tipo Província Romana (cf. Rock, 1990; Rock et al., 1992; Mitchell, 1985; 1995a-b; Mitchell & Bergman, 1991).

Piroxênios

Nas três ocorrências aqui estudadas os piroxênios apresentam-se como fenocristais prismáticos submilimétricos a milimétricos incolores a algo esverdeados, estando zonados setorialmente (p/ex. extinção *hour glass*). Eles são encontrados como cristais isolados (principalmente Yzu-2) a interpenetrados. Em Yzu-3 os cristais são algo mais coloridos de verde-maçã, que torna-se acentuado pelo fato de ter aspecto “sujo” adquirido por encontrarem-se carregados de inclusões microscópicas opacas e em parte também do fundido devitrificado (*melt*), mica e espinélio; os cristais estão zonados segundo um centro claro-esverdeado e esverdeado (algo pleocróico) fino a irregularmente grosso nas bordas, e ocorrem ou isoladamente, ou interpenetrados de forma irregular. Reconheceram-se outros cristais de aparência fraturada em Yzu-3, eles também de cor verde-maçã “sujo” (xenocristais?), que se apresentam também com muitas inclusões da matriz, mica e espinélios. Piroxênios de Ymi-5 evidenciam cores algo amarronzadas, mostram zoneamento (reconhecido sobretudo com ambos polarizadores inseridos no microscópio) e ocorrem como indivíduos isolados ou grupos interpenetrados. Cristais da matriz nas três intrusões são verde fraco a verde maçã sendo que, em Yzu-2, foram observados cristais zonados (centro incolor e borda esverdeada e alguns cristais mostram bordas verde-folha, pleocróicos em tons de verde); e em Yzu-3 os cristais, como alguns fenocristais, apresentam inclusões de opacos e micas; outros cristais são observados inclusos em alguns espinélios. Prismas alongados ocorrem junto aos glomérulos de “leucita” em Ymi-5, sendo de cor púrpura (*nauve*), alguns dos quais apresentando zoneamento segundo o centro incolor e borda colorida de púrpura, nela desenvolvendo marcado pleocroísmo (tons de marrom a púrpura vivo=*nauve*). Do mesmo modo que se observou em Yzu-2, alguns cristais desenvolveram bordas verde folha escuro pleocróicos (tons de verde); estas fases cristalinas que parecem terem sido abortadas no crescimento pelas formas compridas e as pontas irregulares, e serão assim denominadas de cristais *quench*.

Como apontado acima, os piroxênios em Ymi-5 formam texturalmente três assembléias: fenocristais, matriz (Fotomicrografia 5) e *quench*; composicionalmente (apêndice A3) variam de diopsídios a diopsídios hedembergíticos (Figura 3-15 (a)) e possuem teores de Al_2O_3 entre 3.46-5.84% (fenocristais, centro) e 0.70-8.32%

(bordas/matriz), 8.21 (centro -*quench*) a 8.55-10.17% (borda -*quench*)(aluminosos); Cr_2O_3 <0.03 (fenocristais), <0.06 (matriz) e <0.09 (*quench*); TiO_2 entre 1.76-2.94% (fenocristais, centro) a 1.60-4.41 (borda/matriz) e 4.54% (centro, *quench*) a 5.16-6.17% (borda, *quench*); i.e. titanífero; e Na_2O <0.5 (fenocristais, centro) a <0.75 (borda/matriz) e 0.80-0.85 (*quench*, centro a borda). Estas feições químicas permitem caracterizá-los como **diopsídio titanífero aluminoso** (fenocristais e matriz) e **diopsídio hedenbergítico titanado aluminoso** (*quench*). No sistema En-Wo-Fs (Figura 3-15 (a)) alguns dos piroxênios desta intrusão mostram-se com excesso das moléculas de Wo, e para eles o adjetivo de cálcicos seria de certa forma apropriado. Foi também realizada uma análise (apêndice A3) da fase *quench* que está envolvida de cor verde, encontrando-se <0.7% de Al_2O_3 , 0.02% de Cr_2O_3 , 2.03% de TiO_2 e 6.80% de Na_2O . Trata-se de uma **aegirina-augita titanífera** (Figura 3-15 (b)). Teores elevados em Al são impróprios para rochas lamproíticas (cf. Mitchell, 1985; Bergman, 1987; Mitchell & Bergman, 1991), sendo mais observado em rochas ultrapotássicas tipo Província Romana e/ou kamafugíticas (ex. Peccerello, 1992) e lamprófiros (ex. Rock, 1991). Como registrado por Garda (1995; 1996), em piroxênios de alnoitos e certos lamprófiros da região de São Sebastião-Ubatuba (SP), o diagrama En-Wo-Fs se apresenta inadequado para as classificações dos piroxênios analisados nessas rochas, devido aos baixos teores de Si que eles apresentam; os piroxênios de Ymi-5, como ilustrado na Figura 3-15, apresentam-se com feições similares; esta feição parece ser comum em piroxênios de algumas rochas alcalinas de Lages (Scheibe, 1986), associadas a carbonatitos, alguns diques máficos da ilha de Búzios (Alves, 1996) e os katungitos de Amarinópolis (Danni & Gaspar, 1994).

Os piroxênios de Yzu-2 e Yzu-3, são composicionalmente (apêndice A3) mais uniformes e correspondem a diopsídios (Figura 3-15) com baixo teor de Al_2O_3 (0.56-0.97%, centro e 0.39-1.53% em Yzu-2; 0.86-1.91%, centro e 0.69-2.46%, borda/matriz em Yzu-3), Cr_2O_3 (<0.54% em Yzu-2 e <0.28% em Yzu-3), baixo a moderado em Na_2O (0.32-0.93% em Yzu-2 e 0.54-1.87% em Yzu-3 no centro a 0.53-1.95% em Yzu-2 e 0.45-1.72% em Yzu-3 nas bordas/matriz), e moderados a altos em TiO_2 (0.61-1.25% em Yzu-2 e 1.05-1.24% em Yzu-3 no centro a 1.03-1.20% em Yzu-2 e 0.98-1.55% em Yzu-3 nas bordas/matriz, i.e. titanífero). Estas composições

definem um **diopsídio titanífero (pobre em alumina)**. Este tipo de diopsídio é encontrado em lamproítos, minettes e orangeítos (cf. Mitchell & Bergman, 1991; Mitchell, 1995a). Apesar de medido piroxênio com $\text{Al}_2\text{O}_3 > 2\%$ em Yzu-3, que é uma feição incomum de observar em lamproítos (cf. Mitchell, 1985), a literatura registra lamproítos com piroxênios contendo teores de alumina de até 2.42% (cf. Kuehner & Edgar (1981), para alguns lamproítos de Leucite Hills; Venturelli et al. (1984), para alguns lamproítos de Espanha e Scott-Smith et al. (1989), para alguns lamproítos de Kapamba). Piroxênios esverdeados e pleocróicos que ocorrem em Yzu-2 (apêndice A3 e Figura 3-15 (b)) e os teores em TiO_2 (até 8.18%) e Na_2O (4-15%) tratam-se de **aegirina titanífera**; contendo uma das análises (22.004b) possui alto teor nas moléculas de jadeíta (i.e. onfacita, Figura 3-15b). Em alguns lamproítos (ex. Venturelli et al., 1984; Conti et al., 1993) e orangeítos (Mitchell, 1995a) são descritos aegirina e aegirina titanífera.

Yzu-2 e Yzu-3 (Figura 3-16 (b) e (c)) apresentam um *trend* de enriquecimento em Ti e Al característico de lamproítos e orangeítos. Já Ymi-5, segue um trend particular, i.e. paralelo ao observado em rochas ultrapotássicas tipo Província Romana, que parte do campo lamproítico/minette/orangeíto e estende-se até um pouco a mais do campo kamafugítico (Figura 3-16 (a)).

Espinélios

Microfenocristais de seção quadrada a algo anhedrais, isolados a agrupados em mais de um cristal, cristais com seção quadrada, maiormente subhedrais, e cristais euhedrais microscópicos opacos inclusos em olivina formam a suíte de espinélios presentes nas três ocorrências. Em Ymi-5, cristais de espinélio isolados a interpenetrados (Fotomicrografia 3) mostram microtextura do tipo *cross-arm* (cf. Haggerty, 1976).

Ymi-5 quimicamente (apêndice A4) são ricos em TiO_2 (18-25%), FeO_t (61-66%) e MnO (0.5-3.45%, ricos em manganês) e pobres em Al_2O_3 (1-6%) e MgO (<1-4%). Essa composição leva a identificá-los, mais apropriadamente, como espinélios da série da magnetita (ulvoespinélio). Observa-se que o centro dos fenocristais apresenta-se, diferentemente dos cristais da matriz e da fase hospedeira dos cristais, com microtexturas de exsolução, mais enriquecidos em MgO e mais

empobrecidos em TiO_2 (a-hóspede e b-centro, no apêndice A4 e Figura 3-8). Estas feições químicas e as exibidas nas Figura 3-17 caracterizam **magnetitas magnesianas titaníferas** e **magnetitas titaníferas** (ricas em manganês, em parte), conforme o esquema indicado por Mitchell & Bergman (1991).

Em Yzu-2 foi analisada uma inclusão de espinélio em olivina (apêndice A4). Ela possui alto teor de Cr_2O_3 (20.90%) e MgO (5.96%) e baixo de Al_2O_3 , TiO_2 e MnO (ver apêndice A4), com $\text{cr}\# \sim 0.9$ e $\text{mg}\# \sim 0.24$. Essa composição representa um espinélio da série da cromita e segundo as indicações de Mitchell & Bergman (1991) seria uma **cromita magnesiana aluminosa titanífera** (Figura 3-17 (a)). Por sua vez, microfenocristais e cristais da matriz, apresentam altos teores de FeO_t (70-83%) e TiO_2 (11-24%) e baixos de Cr_2O_3 (0.8-4%), Al_2O_3 (<1.3%), MgO (<1-3.2%) e MnO (0.8-1.5%), identificando-se com os espinélios da série da magnetita; adiciona-se ainda valores de $\text{cr}\#$ variando de 0.64-0.90 e $\text{mg}\# < 0.10$, como mostrado nas Figuras 3-17 (a) e (b). Este conjunto de feições químicas caracterizam uma **magnetita magnesiana titanífera** e subordinadamente **magnetita titanífera**, seguindo as recomendações de Mitchell & Bergman (1991). Se comparados com os cristais da matriz, os fenocristais apresentam-se algo mais enriquecidos em magnésio, cromo e alumina e empobrecidos em titânio, ferro e manganês; este comportamento também foi registrado nos espinélios de Ymi-5.

Em Yzu-3, os espinélios possuem (apêndice A4) baixos teores de Cr_2O_3 (0.5-0.80%), Al_2O_3 (0.15-0.7%), MgO (0.25-1.70%) e MnO (0.2-1.2%) e altos teores de TiO_2 (7-13%) e FeO_t (79-85%). Semelhante aos de Ymi-5 e Yzu-2, são espinélios da série da magnetita (ulvoespinélios). Os valores baixíssimos de $\text{mg}\#$ (<0.08) e baixos a altos de $\text{cr}\#$ (0.4-0.7), apontam feições químicas similares a uma **magnetita magnesiana titanífera** e uma **magnetita titanífera** (Figuras 3-17 (a)-(d)). Contudo, apresentam pequenas diferenças com relação aos espinélios de Yzu-2, em termos dos teores de MgO , TiO_2 e os valores de $\text{mg}\#$ e $\text{cr}\#$.

Ilmenita

Em Yzu-3 ocorrem microfenocristais xenomórficos a euhedrais (matriz) de ilmenita pobres em Cr_2O_3 de 0.06 a 0.13% (porcentagens baixas da molécula de eskolaíta) teores em MgO de 5.47 a 5.66% (porcentagens importantes da molécula de geikelita) e MnO de 1.01 a 1.12% (porcentagens baixas da molécula de pyrofanita)

(apêndice A8). A Figura 3-18, mostra que as ilmenitas desta intrusão são similares às ilmenitas que ocorrem em lamproítos e orangeítos.

Cristais prismáticos longos submilimétricos milimétricos estão presentes na matriz de Yzu-2. São pobres em cromo (porcentagens baixas da molécula de eskolaíta) e possuem teores baixos de MgO, entre 0.59 e 2.24% (porcentagens baixas da molécula de geikielita) e elevados em MnO, entre 2.25 e 6.60% (porcentagens importantes da molécula de pyrofanita). A Figura 3-18 evidencia como no caso anterior, que as ilmenitas de Yzu-2 são similares às descritas nos lamproítos (cf. Mitchell & Bergman, 1991; Venturelli et al., 1984; 1991; Thy et al., 1987; Conti et al., 1993).

”Leucita”

Em Ymi-5 ocorrem glomérulos de cristais milimétricos reunidos em grande proporção, compõem-se de grãos arredondados incolores a amarronzados nas bordas, alguns com centros apresentando fina laminação polissintética em grade. Conforme indicado por Giampaolo et al. (1997), trata-se de uma feição também desenvolvida em analcimas. Conforme os dados da Tabela 6 (apêndice A6) tratam-se de analcimas com baixo teor de Fe_2O_3 (<1%). As feições petrográficas, aliadas ao quimismo desta rocha, (Tabela 3-2) sugerem são leucitas analcimitizadas (i.e. “Leucita”).

Já em Yzu-2, cristais arredondados incolores a esbranquiçados, em parte turvos (Fotomicrografias 6), com dimensões variáveis (cristais de matriz a microfenocristais) ocorrem como cristais isotrópicos (pseudomorfizados pela analcima) a birrefringentes segundo agregado microtabular, algo radial, de feldspato alcalino. Aqui, os pseudomorfos de leucita isotrópicos apresentam grandes variações em K_2O , desde <1% a 8% e Fe_2O_3 de <1 a 3% (apêndice A6), sendo assim similares a “leucitas” descritas nos lamproítos (Mitchell 1985, Mitchell & Bergman 1991).

Em Yzu-3 os fenocristais apresentam-se totalmente pseudomorfizados pelo agregado de feldspato/zeólitas com formas radiais a escamosas.

Feldspato alcalino

Na matriz destas rochas o feldspato alcalino ocorre na forma de cristais tabulares a cristais irregulares, em parte poiquilíticos (p/ex. Yzu-3) ou intersticiais, ora límpidos, ora turvos e argilizados (Fotomicrografia 5 e 6).

São feldspatos potássicos do tipo sanidina (Figura 3-20) com teores em Na₂O baixos (0.00-0.59% em Yzu-2) a altos (1.12-2.19% em Yzu-3 e 0.74-2.52% em Ymi-5) e Fe₂O₃ moderado a alto (0.29-1.23% em Ymi-5, 0.15-3.69% em Yzu-2 e 0.01-1.32% em Yzu-3); nos casos em que Fe₂O₃ >1.0% indicam importante participação da molécula KFeSi₃O₈ (ricos em Fe), como verificado por Linthout & Lustenhouwer (1993) nos lamproítos de Cancarix, Espanha). Em alguns casos são ricos em BaO até 4.10% em Ymi-5, 2.60% em Yzu-2 e 1.58% em Yzu-3, sugerindo importantes porcentagens da molécula de hyalofana, igualmente verificado nos lamproítos da Índia (Middlemost et al., 1988)(ricos em Ba) (apêndice A7). Estas feições químicas caracterizam o feldspato como **sanidinas, sanidinas ferrosas e sanidinas ricas em bário**. Tipos similares de feldspatos alcalinos ocorrem (Figura 3-20) ocorrem em lamproítos e orangeítos (Mitchell, 1995a; Mitchell & Bergman, 1991).

Minerais acessórios

Em Ymi-5 os minerais acessórios são: apatita, perovskita com baixo SrO (<1%, apêndice A8) e anfibólio cummingtonítico (Figura 3-19); este último com 1-4% de TiO₂ (em parte titaníferos, como indicado em Leake et al., 1997), <1% de Na₂O e de 9-12% de K₂O (potássicos, segundo Leake et al., 1997)(apêndice A5); (Figura 3-19). Em Yzu-2 ocorrem na matriz apatita e anfibólios amarronzados a verdes (Fotomicrografias 5 e 6), que representa as variedades (Figura 3-19): eckermanita ferrosa potássica (Na₂O/K₂O entre <1 e 6.1) titanífera (TiO₂ entre 2 e 9%), similar à composição de alguns anfibólios analisados por Thy et al. (1987) em lamproítos de Sisimiut; e variedades secundárias (?) antofilita (22.003, apêndice A5) potássica (K>0.25) e grunerita (22.000) potássica (K>0.25).

Em Yzu-3 é abundante a apatita, sendo também encontrado anfibólio cummingtonítico rico em titânio (titanífero) e potássio (potássico)(apêndice A5).

As feições químico-mineralógicas caracterizadas para estas intrusões permitem enquadrá-los, conforme as recomendações da IUGS (Wooley et al., 1996), como:

olivina-sanidina-diopsídio-leucita “lamproíto” (Ymi-5),

olivina-sanidina-flogopita-diopsídio-leucita “lamproíto” (Yzu-2) e

olivina-flogopita-sanidina-diopsídio-leucita “lamproíto” (Yzu-3).

SOLUÇÃO SÓLIDA, SUBSTITUIÇÕES EM MICAS, PIROXÊNIOS, ESPINÉLIOS E FELDSPATOS.

Micas

Mitchell (1985; 1995a-b), Mitchell & Bergman (1991), Rock (1991) e Rock et al. (1992) mostram os *trends* de composição em termos do enriquecimento em Al vs Ti e Al vs Fe caraterísticos para kimberlitos, orangeítos, lamproítos, minettes (que poderia estender-se como aplicado aos lamprófiros em geral) e plagileucitos. Esquematiza-se no seguinte esquema de enriquecimento:

Orangeitos $\downarrow\text{Al}\uparrow\text{Ti}$ e/ou $\downarrow\text{Al}\downarrow\text{Ti}$ e $\downarrow\text{Al}\uparrow\text{Fe}$ (A)

Lamproítos $\downarrow\text{Al}\uparrow\text{Ti}$ e $\downarrow\text{Al}\uparrow\text{Fe}$ (B)

Minettes e Plagileucitos $\uparrow\text{Al}\uparrow\text{Ti}$ e $\uparrow\text{Al}\uparrow\text{Fe}$ (C)

O *trend* de enriquecimento nas micas de Yzu-2, Yzu-3, Yzu-6 e as de G-I de Ymi-5 em termos de Al vs Ti segue o esquema (B),; enquanto o enriquecimento em Al vs Fe seguem o esquema (B) apenas em micas de Yzu-2, Yzu-3 e as G-I de Ymi-5 (Figuras 3-6 (c) e (d)) sendo carateristicamente verificado em lamproítos. Entretanto, Yzu-6 evidencia um *trend* particularmente observado em orangeítos (cf. Mitchell, 1995a-b). Nas micas de G-II de Ymi-5 observa-se *trend* de enriquecimento de Al vs Ti e Al vs Fe (Figuras 3-6c e d) similar ao esquema (C). Esta feição parece indicar que Ymi-5 poderia apresentar assembléias de micas de dois magmas diferentes, um lamproítico (micas G-I) e um outro plagileucítico (micas G-II).

A Figura (3-6a e b) mostra o *trend* de enriquecimento seguido pelas micas de Ymi-1 e Ymi-7, possuindo um idêntico *trend* de enriquecimento dos esquemas B e C (também parece que a mesma figura sugere que as duas intrusões poderiam tratar-se do mesmo tipo de magma, ou magmas congêntos). Em Ymi-4 observa-se similar enriquecimento ao de Ymi-1 e Ymi-7; contudo nas micas de Ymi-4 é marcado o *trend*

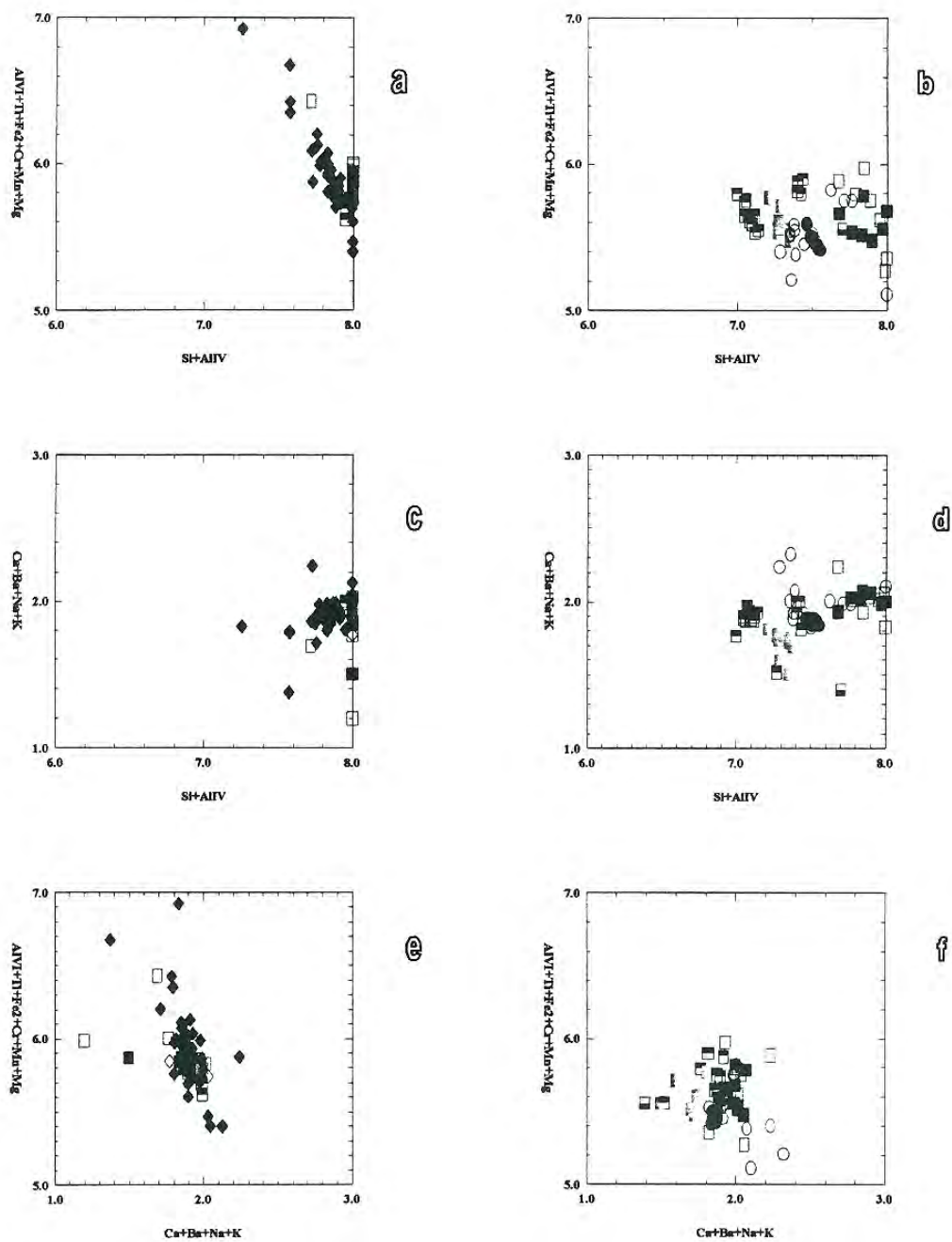


Figura 3-21. Relação entre os sítios catiônicos nas micas dos “lamprófiros” e dos “lamproitos”. (a, b) relação do sítio octaédrico vs tetraédrico. (c, d) relação do sítio *interlayer* vs tetraédrico. (e, f) relação do sítio octaédrico vs *interlayer*. “Lamprófiros” a direita e “lamproitos” a esquerda. Simbologia como em 3-2.

de enriquecimento similar ao dos minettes (esquema C), conforme Mitchell & Bergman (1991).

Grande número dos pesquisadores contam com dados de microanálise de micas nas quais faltam os valores de H₂O e, na maioria das vezes, também os dados dos elementos halógenos; assim sendo, esses resultados são recalculados na base de 22 átomos de oxigênio, assumindo que todo o Fe é Fe²⁺. Esta forma de cálculo assume a presença de 4 (OH, F, Cl). Assim a presença do excesso do oxigênio devido a solução sólida de um componente de oxy-mica ($O^{2-} \Leftrightarrow 2OH^{-}$, $=^{VI}R^{2+}+2OH^{-} \Leftrightarrow ^{VI}Ti^{4+}+2O^{2-}+H_2$, em Dymek 1983) poderia levar o número total de cations demasiadamente baixos. Nestas circunstâncias, a distribuição dos cátions nos sítios estruturais pode produzir aparentes sítios totais, fato que poderia implicar a presença de vacâncias. Em contraposição, a presença de Fe³⁺ levaria a porcentagens de cations demasiadamente elevadas se o cálculo de fórmula-unitária assume que todo o Fe está presente como Fe²⁺ (Dymek, 1983), (Henderson & Foland, 1996).

Flogopitas e biotitas podem ser empregadas para avaliar a atividade magmática em função de f_{O_2} e f_{H_2O} considerando que estes minerais possuem Fe nas valências Fe²⁺ e Fe³⁺ e proporções variáveis de hidroxila na sua estrutura. A incorporação do Fe²⁺ e do Fe³⁺ na solução sólida flogopita-biotita pode ocorrer como componente oxianita ($KFe^{2+}Fe^{3+}_2 AlSi_3O_{12}$) ou como outro componente semelhante de composição $KMgFe^{3+}_2 AlSi_3O_{12}$ (Feldstein et al., 1996). Os métodos de recálculo do Fe²⁺ e Fe³⁺ a partir do FeO analisado por microanálises são citados em Brigatti et al. (1996); são métodos de difícil acesso e nem sempre aceitos, por exemplo por Mitchell (1995). No presente trabalho não foram feitos recálculos das valências de Fe e, assim, no apêndice A2, são apresentados os dados catiônicos com seus cálculos estruturais realizados na base de 22 oxigênios e assumindo todo o Fe como Fe²⁺.

Observa-se que as micas de Ymi-1 (matriz), algumas de Ymi-7, e uma de Ymi-4 e sobretudo as micas de Ymi-5, Yzu-2, Yzu-3 e Yzu-6 apresentam deficiências no sítio tetraédrico ($Si^{IV}+Al^{IV} < 8.00$), como mostrado na Figura 3-21. Também são observadas deficiências nos sítios octaédricos ($Al^{VI}+Ti^{VI4+}+Fe^{2+}+Cr^{3+}+Mn^{2+}+Mg^{VI2+} < 6.00$) nas micas dos lamproítos e em algumas micas dos lamprófiros, enquanto

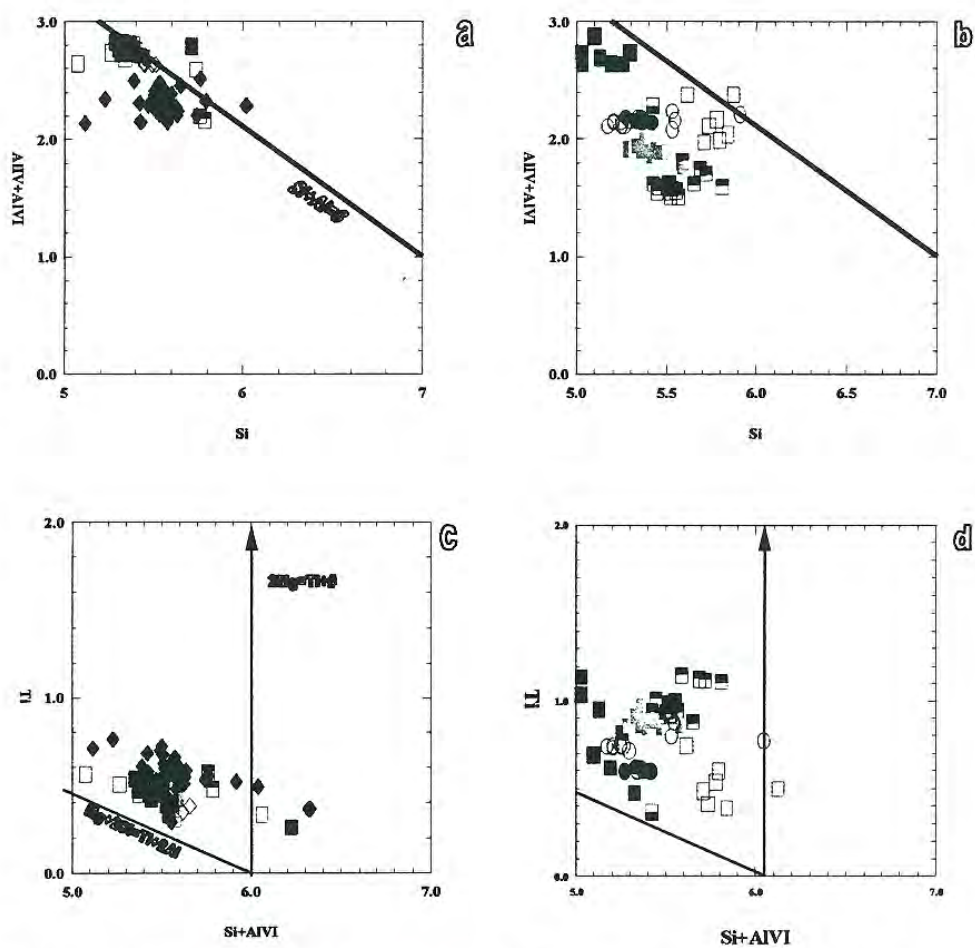


Figura 3-22. Substituições em micas dos “lamprófiros” e “lamproítos”. (a) e (b) micas nos sítios tetraédricos ($Si+Al=8$) sendo completado em Ymi-1 (fenocristais de Ymi-1c. e alguns da matriz), Ymi-4, Ymi-7 e Yzu-1 (veja-se o apêndice A2). Deficiência de Al é observado em grãos da matriz de Ymi-1 e bordas das micas e matriz de Ymi-7, assim como também nas micas dos “lamproítos” (b). (c) substituição do tipo $Mg+2Si \rightleftharpoons Ti+2Al$ (cf. Robert 1976) pode ser deduzido nas mesmas micas dos “lamprófiros”, enquanto, nos “lamproítos” esta substituição é mais sutil. Simbologia como em 3-2.

algumas micas de Ymi-1 (matriz) apresentam excessos neste mesmo sítio (Figuras 3-21).

As micas de Ymi-1 sugerem (Figura 3-21a) uma relação inversamente proporcional do sítio octaédrico com relação ao tetraédrico, pois o Fe foi totalmente alocado no sítio octaédrico devido à determinação do Fe_t como Fe^{2+} . A mesma observação pode ser feita para o Ti e o Mg, que podem apresentar-se como Ti^{3+} e Ti^{4+} e Mg^{4+} e Mg^{2+} respectivamente. A presença de Fe^{3+} no Fe_t , Ti^{4+} no Ti_t e Mg^{2+} no Mg_t , não calculados para a distribuição estrutural apresentado no apêndice A2, poderia causar o excesso no sítio octaédrico: Fe^{3+} (Fe^{IV3+}) como o *end member* “tetraferroflogopita” (Wendlandt, 1977; Arima & Edgar, 1981; Mitchell & Bergman 1991; Mitchell 1995a); Ti^{4+} e Mg^{2+} por sua vez, preencheriam a deficiência no sítio tetraédrico (Mitchell, 1995a; Henderson & Foland, 1996; Brigatti et al., 1996). Desta forma, estas feições poderiam explicar a relação inversamente proporcional mostrada na Figura 3-21.

As deficiências nas posições octaédricas e tetraédricas não seriam devidas aos procedimentos de recálculo catiônico realizados, como acima ressaltado, e acredita-se que poderiam ocorrer em virtude às condições físico-químicas no magma do qual estas micas cristalizaram (lamprofírico e lamproítico); neste caso seriam magmas deficientes em Al. Esta deficiência pode ser interpretada como sendo produto da peralcalinidade do magma que se incrementa conforme a diferenciação avança (Mitchell & Bergman, 1991; Mitchell, 1995a), traduzido pelas micas com falta de Al^{VI} e Fe e/ou falta de cálculo do Fe_t como Fe^{2+} e Fe^{3+} .

As posições inter-catiônica ($Ca+Na+K=2$) estão predominantemente preenchidas sendo poucos os grãos com deficiência ou com excesso (Figura 3-21). O cálculo da fórmula estrutural na base de números constantes de cátions nos sítios octaédricos e tetraédricos (8.00+6.00) resulta em excesso de cargas para os cátions, sugerindo indistintamente estados de valência variável ou vacância de cátions (Shaw & Penczak, 1996).

As Figuras 3-22 (a) e (b) exibem a relação Al vs Si e de certa forma também a deficiência vs preenchimento da posição tetraédrica nas micas estudadas. As micas

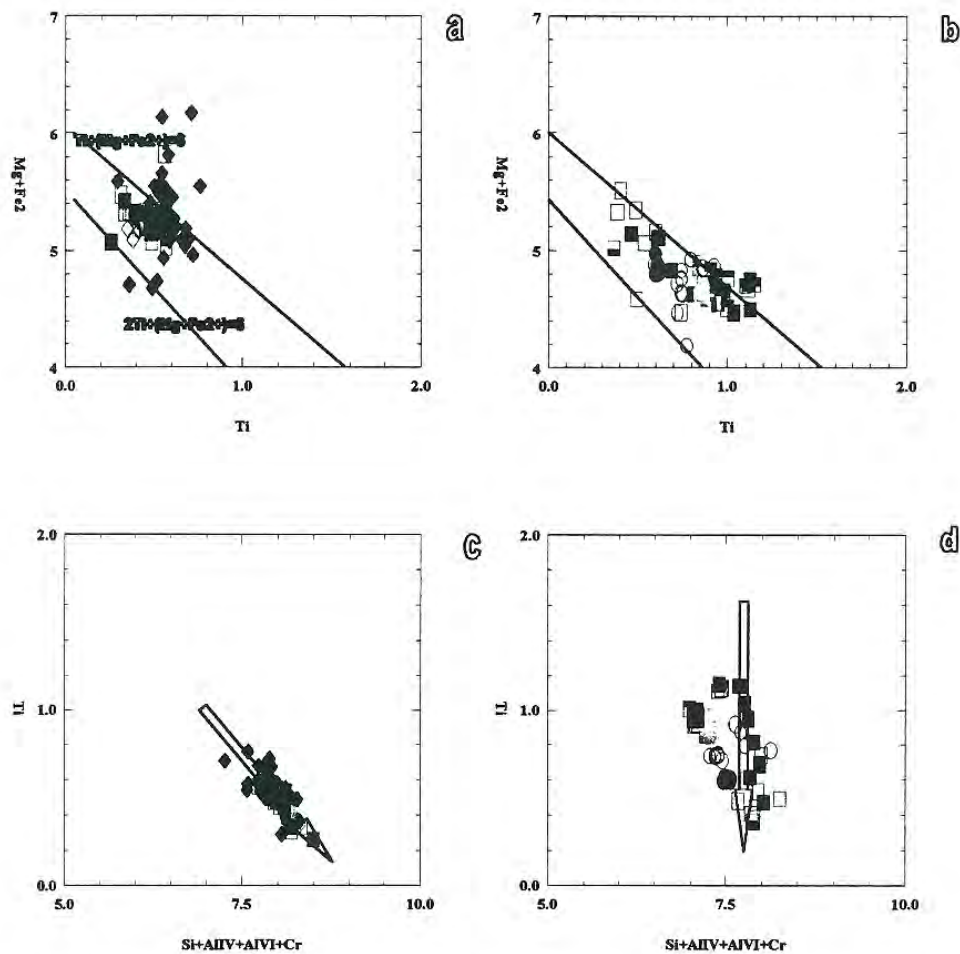
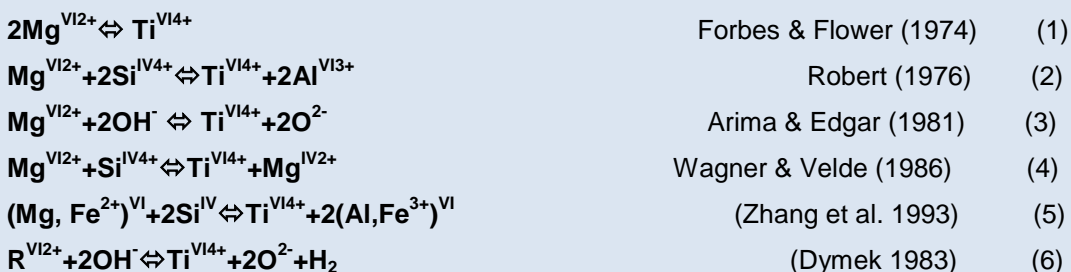


Figura 3-23. Substituições do Ti nas micas. (a) e (b): Correlação do Ti vs $Mg+Fe^{2+}$ (este último elemento nas micas analisadas representa o Fe_t) para mostrar a substituição do Ti no sítio tetraédrico (cf. Shaw & Penczak 1996), que nos “lamprófiros” (a) e nos “lamproitos” (b) parece corresponder à equação $Ti+(Mg+Fe^{2+})=6$ porém de certa forma tendendo $2Ti+(Mg+Fe^{2+})=6$, pois o valor de $Mg+Fe^{2+}$ esta mascarado pelo fato de incluir Fe^{3+} . (c): Correlação negativa entre Ti vs Si+Al+Cr em micas dos “lamprófiros”, feição que segundo Wagner & Velde (1986) responde à equação do tipo $Mg^{VI2+}+Si^{IV4+} \rightleftharpoons Ti^{IV4+}+Mg^{IV2+}$. Outros comentários no texto. simbologia como em 3-2.

ricas em Ti e Ba geralmente apresentam deficiências no sítio octaédrico (Mitchell & Bergman, 1991; Zhang et al., 1993), sendo propostos numerosos esquemas de substituição:



(Que eleva o *end member* "Ti-oxy-biotita" $\text{KMg}_2\text{TiSi}_3\text{AlO}_{12}$).

As Figuras 3-22 (c) e (d) sugerem para as micas dos "lamprófiros" a substituição do tipo representado pela equação (2), substituição menos evidenciada nas micas dos "lamproítos" (Figura 3-22 (d)). Na Figura 3-23 (a) e (b) constata substituição do Ti nas posições deficientes, (Si+Al=8) ao empregar Ti vs Mg+Fe²⁺ (cf. Shaw & Penczack, 1993), sendo que as quantidades de Fe²⁺ nestas figuras estão levemente mais elevadas, pelo fato de não ter-se subtraído delas o Fe³⁺. Nas últimas figuras citadas a substituição do Ti dar-se-ia segundo a equação Ti+(Mg+Fe)=6 (Shang et al., 1993). Na Figura 3-27c se observa uma correlação negativa entre Ti e (Si+Al+Cr); segundo Mitchell & Bergman (1991), responderia ao tipo de substituição do tipo da equação (4) que não se observa nas micas dos lamproítos (Figura 3-23d). A possibilidade de substituições ou não segundo equações dos tipos (3), (5) e (6) torna-se sem resposta em consequência da falta de análises de OH e do cálculo do Fe³⁺ nas micas estudadas.

Segundo Mitchell & Bergman (1991), as complicações surgem quando há substituições nos sítios *inter-layer* (=12-fold), sendo típico que (Ca+K+Na) seja próximo a 2/átomos por fórmula unitária.

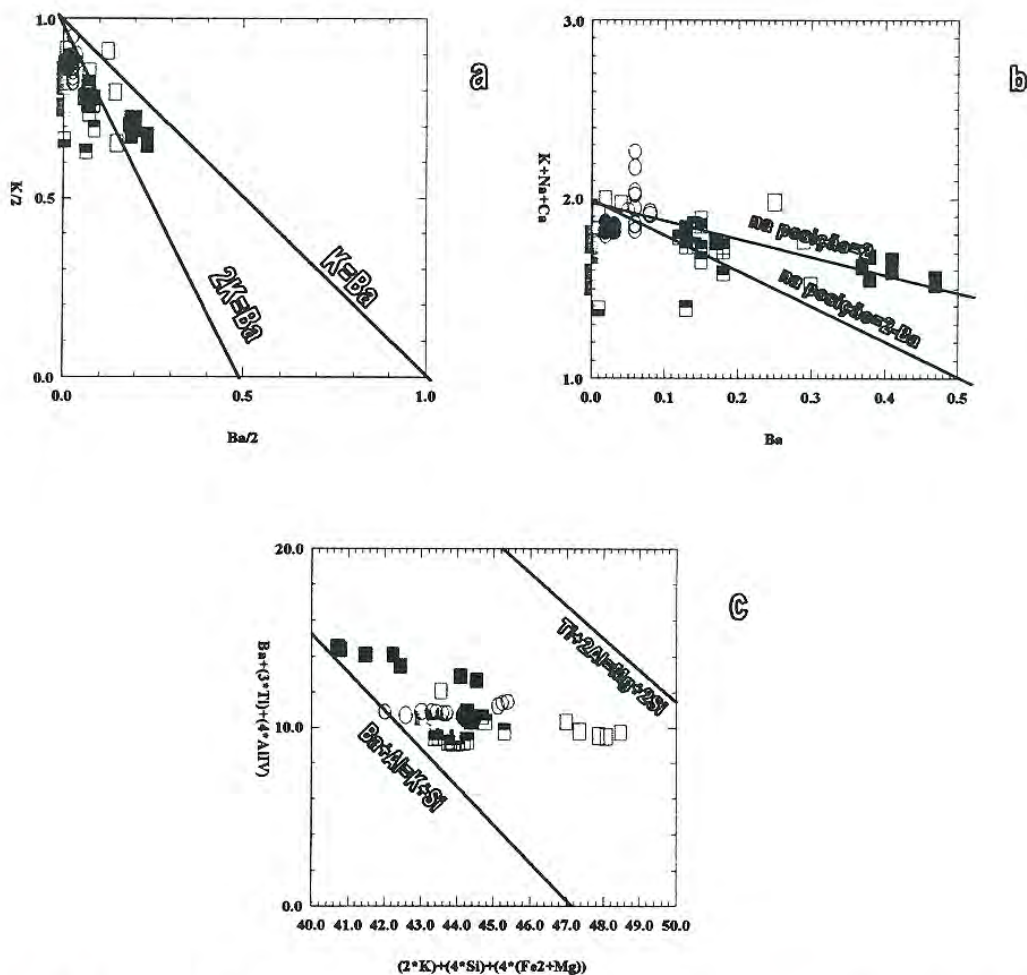
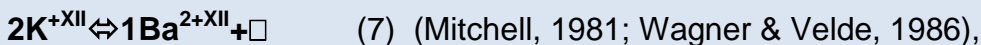


Figura 3-24. Incorporação do Ba. (a) substituição do 2K por 1Ba (Mitchell & Bergman, 1991) nas micas de Ymi-5, Yzu-2 e algumas de Yzu-6. (b) substituição do Ba na posição *interlayer* (Shaw & Penczak, 1996) das micas como em (a) respondem a “na posição = 2-Ba”, analogamente a (a). (c) partição do Ba vs posição *interlayer* (Shaw & Penczak, 1996) das micas como em (a) respondem mais adequadamente a $Ba+Al=K+Si$; ver e comparar também Mitchell & Bergman (1991). Ver também comentários no texto. Simbologia como em 3-2.

Micas com teores de Ba altos a muito altos são encontradas em Ymi-5 e algumas micas de Yzu-2, sendo que as micas de Yzu-3 e Yzu-6 apresentam teores desse elemento bem mais baixos (apêndice A2). As micas de Ymi-5, Yzu-2, Yzu-3 e Yzu-6, conforme Figura 3-24 (a) e (b), seguem a substituição do tipo:

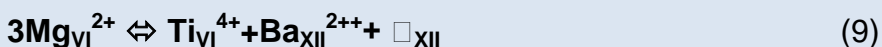
$2K \Leftrightarrow 1Ba$. Segundo Mitchell & Bergman (1991) a substituição do Ba^{2+XII} pelo K^{+XII} envolve compensações de carga que resulta na criação no sítio *inter-layer* não preenchidas, i.e.,



ou esta substituição envolve complexos acoplamentos entre cations nas posições octaédricas e *inter-layer* semelhantes a: $Ba^{XII} + Al^{IV} \Leftrightarrow K^{XII} + Si^{IV}$ (8) (Wendlandt, 1977; Mansker et al., 1979)

Por outro lado, na Figura 3-23 (c) observa-se que as mesmas micas seguem melhor a substituição do tipo $Ba^{XII} + Al^{IV} \Leftrightarrow K^{XII} + Si^{IV}$ (como em Shaw & Penczak, 1996), em preferência a $Ti + 2Al \Leftrightarrow Mg + 2Si$ (Shaw & Penczak, 1996).

Velde (1979) propôs, para as micas com alto teor de BaO, o seguinte esquema de substituição:



Segundo Bol et al. (1989) existe uma repulsão eletrostática entre o Ba^{2+} e o Ti^{4+} que poderia incrementar a energia da cela do cristal. Este fato leva a crer na impossibilidade de provar a equação (9) nas micas com alto Ba (Robert, 1976 e Forbes & Flower, 1974).

As informações químicas obtidas sugerem que as micas de Ymi-1, Ymi-4, Ymi-7 e Yzu-1, como observadas nas Figuras 3-5 (a) e (c) pertencem a série de solução sólida entre os *end members* flogopita-biotita-eastonita-siderofilita. As micas de Ymi-1, conforme constata-se no apêndice A2, são em sua maioria micas deficientes em Al^{IV} ; isto também pode ser demonstrado observando a Figura 3-21 (a); esta feição mostra

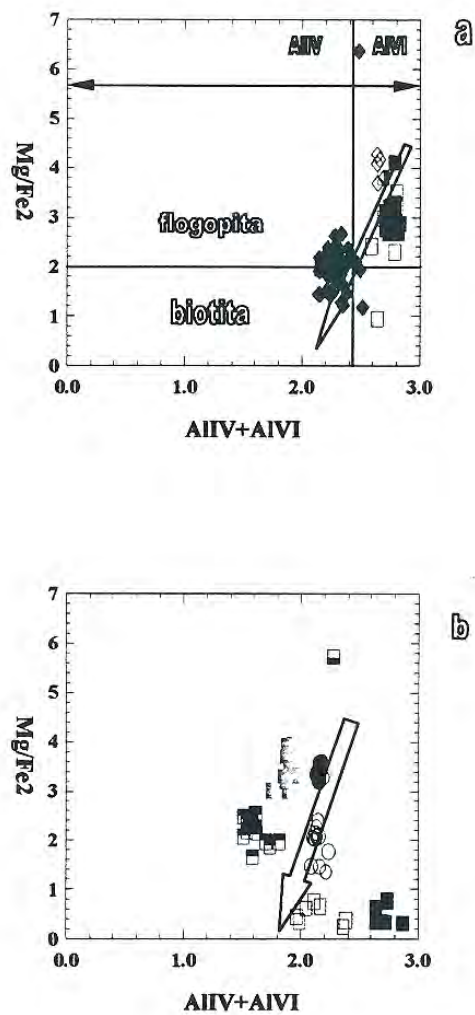


Figura 3-25. Solução sólida em micas. (a) micas dos corpos Ymi-1 (*plug* e diques interiores, rombos cheios; dique Ymi-1c, rombo vazio), Ymi-4 e Ymi-7 (simbologia como em 3-2). A seta indica o rumo tomado pelas micas conforme elas se diferenciam, i.e., eastonita→biotita (b) micas de Ymi-5, Yzu-2, Yzu-3 e Yzu-6. A seta mostra como as micas de Ymi-5 (GI), Yzu-2, Yzu-3 e Yzu-6 seguem um caminho de diferenciação diferente do que parece responder a flogopita→biotita. Na figura superior a seta rumo a direita marca ~ o campo de Al^{VI} e o dirigido a esquerda ~ o campo de Al^{IV}. Simbologia como em 3-2.

que elas, mais propriamente, são produtos da solução sólida entre flogopita-annita (Mitchell & Bergman, 1991, Mitchell, 1995a).

Os fenocristais de mica nas rochas de Ymi-1c, Ymi-4 e Ymi-7 e em parte também nas de Yzu-1, apresentam os sítios tetraédricos perfeitamente preenchidos ($Si+Al=8$; Figuras 3-5 (a) e (c), 3-21 e 3-22 (a)) sugerindo uma composição de solução sólida entre as moléculas de eastonita-siderofilita. Na Figura 3-24 (a), observa-se que as micas dos “lamprófiros” com fenocristais de olivina (Ymi-1 e Ymi-7) poderiam guardar consangüinidade com Ymi-4 (rocha com escassos fenocristais de olivina e abundante de mica). A seta parece indicar um *trend* que se inicia com eastonitas (centro dos fenocristais de Ymi-1c e Ymi-7) e acaba nas biotitas (matriz de Ymi-1 e bordas de Ymi-7), deficientes em Al^{IV} . Grãos da matriz de Ymi-1 e os fenocristais de Ymi-4 situam-se neste *trend*, com o que parece provável que estas rochas sejam congénéticas. Micas de Yzu-1, situam-se dentro do mesmo *trend* dos “lamprófiros” (Ymi-1, Ymi-4, Ymi-7 e Yzu-1). A Figura 3-24b segue o mesmo raciocínio feito para as micas anteriores; nelas se observa um *trend* não muito diferente, pois a curva se inicia com flogopitas eastoníticas (fenocristais) e finaliza em biotitas geralmente deficientes em Al^{IV} . As micas GII de Ymi-5 situam-se em um campo diferente e não acompanham o *trend* identificado em (a) e o traçado em (b); isto parece evidenciar a impossibilidade de haver consangüinidade entre as micas GII de Ymi-5 com os “lamprófiros”, e parece mais provável uma consangüinidade com rochas basaltóides do tipo plagileucitos (regionalmente associados). As micas de Yzu-2, Yzu-3 e Yzu-6, como mostrado na Figura 3-5 (b) e (d), evidenciam que são micas da solução sólida entre flogopita-annita-eastonita-siderofilita. As micas de Yzu-2 e boa parte das micas de Yzu-3 e de Yzu-6 e as G-I de Ymi-5, são deficientes em Al^{IV} (apêndice A2, Figuras 3-5 (c) e (d), e figuras 3-21 e 3-22), de forma similar ao encontrado nas micas de Ymi-1 (matriz), tratando-se de micas resultante da solução sólida entre flogopita-annita.

Piroxênios

A fórmula estrutural padrão dos piroxênios é $M_2M_1T_2O_2$, onde M2 corresponde aos cátions em coordenação octaédrica distorcida (Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Li^{2+} , Ca^{2+} , Na^{2+}), M1

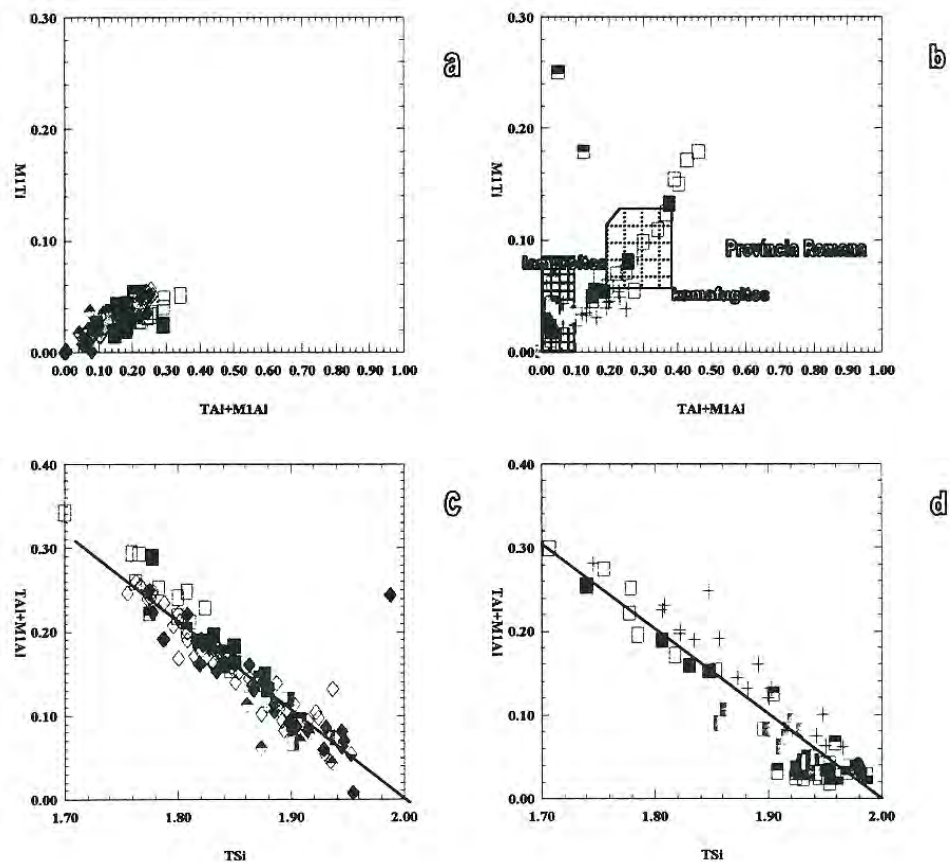


Figura 3-26. Variação da composição catiônica em piroxênios de “lamprófiros” e “lamproítos”. (a) e (b) variação $Ti/6oxi.$ vs $Al/6oxi.$. Em (a) mostra-se a relação dos “lamproítos” estudados com o campo lamproítico, kamafugítico e da Provincia Romana como traçado em Mitchell & Bergman (1991); observe-se o comportamento particular dos piroxênios de Ymi-5. Em cruces, piroxênios das rochas potássicas do rift de Asunción (RA) estudadas por De Min (1993). (c) e (d): relação inversamente proporcional em Al vs Si entre ambos tipos de rochas estudados da-se em torno da reta 0.30 (Al)-(Si) muito similar ao determinado por Cundari et al. (1996) em diques potássicos do RA. Em (d) piroxênios de Yzu-2, Yzu-3 e Yzu-6 mostram-se com abundante Si e localmente formam um plano horizontal oblíquo à reta da figura. Simbologia como em 3-2.

aos cátions em coordenação octaédrica regular ($\text{Al}^{\text{VI}+3}$, Fe^{+3} , Ti^{4+} , Cr^{+3} , V^{+3} , Ti^{+3} , Zr^{4+} , Sc^{+3} , Zn^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+}) e T aos cátions em coordenação tetraédrica (Si^{4+} , $\text{Al}^{\text{IV}3+}$, $\text{Fe}^{\text{IV}3+}$) (Morimoto, 1989; Garda, 1996). O procedimento para alocar os elementos nessas posições recomendado pela Subcomissão de Piroxênios da International Mineralogical Association (IMA) é empregado pelo programa Minpet 2.0 que neste trabalho foi empregado para os trabalhos de rotina de recálculo mineral (cf. Capítulo 1). Conforme Mitchell & Bergman (1991) os piroxênios nos minettes são ricos em Al, i.e. suficiente Al para preencher os sítios tetraédricos ($\text{TAl}^{\text{IV}3+}$) e conseqüentemente apresentam Al em coordenação tetraédrica e octaédrica ($\text{M1Al}^{\text{VI}+3}$). O mesmo dá-se com os piroxênios das rochas ultrapotássicas tipo Província Romana (Al/6 oxigênios tipicamente >0.1) e piroxênios que ocorrem em lamprófiros. Os piroxênios dos lamprófiros Ymi-1, Ymi-7 e Ymi-4 são aluminosos e titaníferos, feição (apêndice A3) que indica suficiente Al em posição octaédrica (TAl) e em alguns também na tetraédrica (M1Al). Nestes piroxênios observa-se um enriquecimento diretamente proporcional entre o Al e o Ti do centro do fenocristal às bordas (Figura 3-4). Neles observam-se também que definem uma linha média de enriquecimento em Ti/Al (0.18-0.94.), superior à observada em piroxênios que ocorrem em rochas ultrapotássicas tipo Província Romana (Figura 3-4 e 3-25 (a)) e em parte também diferente daquela observada nas rochas vulcânicas potássicas do *rift de Asunción* (RA)(cf. De Min, 1993). Cundari et al. (1996) observaram que em RA o enriquecimento em Ti e Al dos piroxênios espalha-se entre a linha $\text{Ti/Al} = 0.2$ (considerada limite superior das rochas ultrapotássicas tipo Província Romana). Por outro lado, esta feição também sugere que estes piroxênios seriam membros da série de solução sólida entre $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ (diopsídio)- CaAlAlSiO_6 (piroxênios Ca-Tschermak's) e $\text{CaTiAl}_2\text{O}_6$, em analogia ao apontado por Mitchell (1995a) para os piroxênios de alguns lamprófiros ultramáficos.

Os piroxênios encontrados em Yzu-2, Yzu-3 e Yzu-6, como também alguns piroxênios de Ymi-5, além dos piroxênios dos “lamproítos”, apresentam insuficiente Al e assim provocam deficiências no preenchimento dos sítios octaédricos. Deficiência em Al nos piroxênios reflete diretamente a alcalinidade do magma parental (Mitchell & Bergman 1991). Na Figura 3-26b, observa-se que estes piroxênios espalham-se pelo campo definido para lamproítos, minettes e orangeítos.

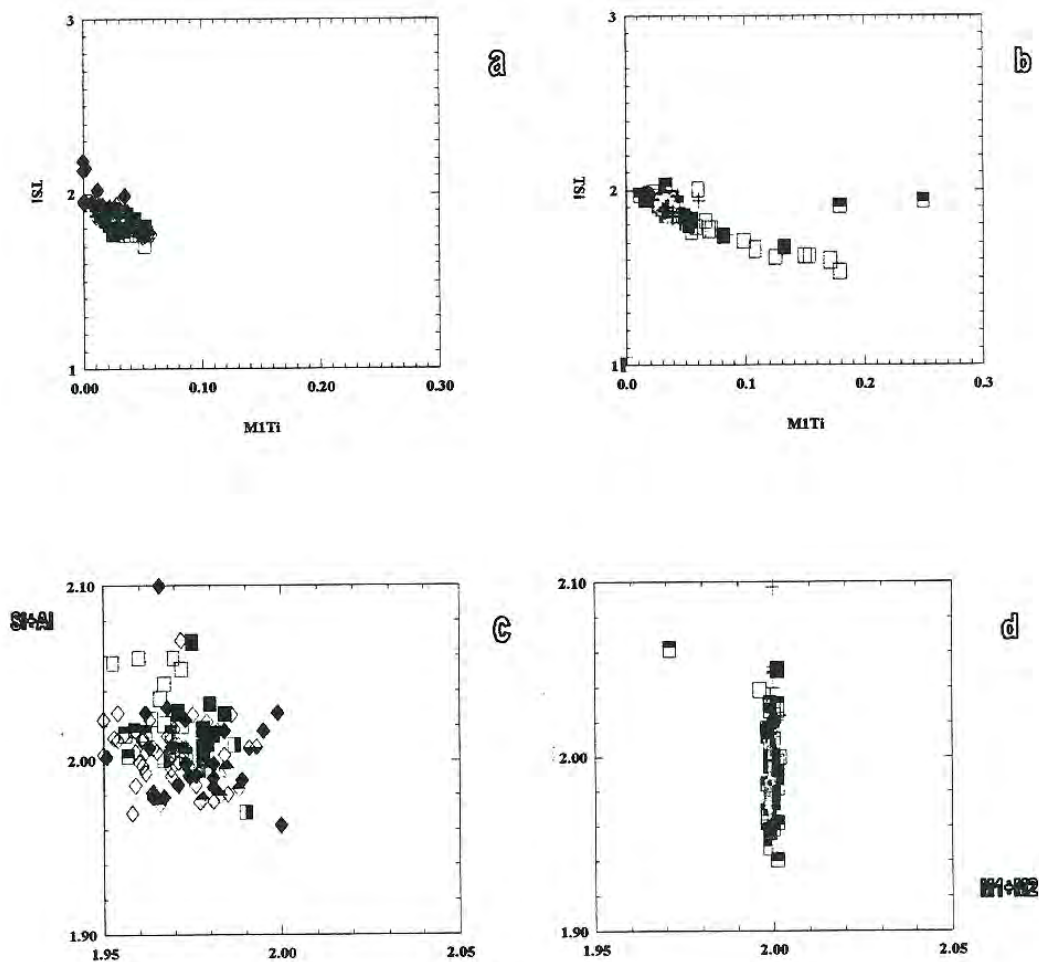


Figura 3-27. Distribuição catiônica em piroxênios dos “lamprófiros” e “lamproitos”. (a) e (b) Tsi vs MITi em “lamprófiros” (a) que mostra suavemente uma relação inversamente proporcional entre Si e Ti, que é acentuada em piroxênios dos “lamproitos” (b). Piroxênios de Ymi-5 como mostrado em (b) e na Figura 3-30b e d apresentam deficiência em Si; esta é preenchida aparentemente pelo Ti, como Ti^{4+} (cf. Carbonin & Princivalle 1996); nas mesmas figuras observe-se o comportamento dos piroxênios das rochas potássicas do RA. (c) e (d) relação Si+Al vs M1+M2, que mostra como os piroxênios dos “lamprófiros” apresentam a posição octaédrica valores acima e abaixo de 2 e a tetraédrica abaixo de 2; comportamento diferente ao mostrado pelos “lamproitos” (em d) que apresentam posição tetraédrica totalmente preenchida ($M1+M2=2$) e valores inferiores e maiores a 2 no sítio octaédrico ($Si+Al=2$). Em piroxênios das rochas potássicas do RA apreciam-se valores >2 no sítio octaédrico. Simbologia como em 3-2.

Contudo, os piroxênios de Yzu-2, Yzu-3 e Yzu-6 aparentam-se melhor com os lamprófitos ($\text{TiO}_2/6$ oxigênios <0.1 e $\text{Al}_2\text{O}_3/6$ oxigênios <0.1). Por outro lado, os piroxênios de Ymi-5 têm uma composição que descreve uma linha de enriquecimento de Ti e Al (Figura 3-26b) particular, que passa pelo campo dos lamprófitos e kamafugitos sendo porém paralela à observada nos plagileucitos (Figura 3-26 (b)).

Em Ymi-2 é esperado alto coeficiente de alcalinidade conforme evidenciado pelo aparecimento de aegirina titanífera intersticial, acompanhada de eckermanita (richterita) potássica titanífera (ver comentários em Capítulo 1). Segundo de Wagner & Velde (1986), esta paragênese aparece só em condições de peralcalinidade no magma. Assim, também piroxênios *quench* de Ymi-5 são envolvidos por aegirina-augita (Figura 3-15 e 3-16).

As Figuras 3-26 (c) e (d) mostram a existência de correlação negativa entre Al vs Si nos piroxênios de Ymi-5, Yzu-2, Yzu-3 e Yzu-6 e de Ymi-1, Ymi-4, Ymi-7 e Yzu-1; na Figura 3-26 (c), os “lamprófitos” traçam uma linha algo similar à encontrada por Cundari et al. (1996). Na Figura 3-26 (d) observa-se que os “lamprófitos” possuem alto Si e deficiências em Al, exceto os de Ymi-5 e alguns de Yzu-3. Considera-se que clinopiroxênios que cristalizam em magmas ultrapotássicos peralcalinos, como as fusões de afinidade kamafugítica e lamproítica, são caracterizados pelo alto teor de Si, porém sendo insensível a variação do conteúdo de sílica e a saturação de sílica na fusão; este alto teor de Si é combinado com variações amplas em M1 porém pequena no sítio M2 (Cellai et al., 1994). Alguns dos piroxênios de Ymi-5, por exemplo os *quench*, embora se apresentem com alto Al, apresentam-se também com deficiências em Si (Figuras 3-26 (d), 3-27 (b) e (d)). Nos piroxênios que possuem alto Si e deficiências em Al no sítio tetraédrico, o Ti^{4+} passaria a ocupar ora posições octaédricas (Quartieri et al., 1993) ora octaédricas e tetraédricas (Quartieri et al., 1993; Carbonin & Princivalle, 1996); feição que parece estar indicada em piroxênios de alguns “lamprófitos” (ex. Ymi-1 e Ymi-7) e alguns lamprófitos (ex. Ymi-5 e Yzu-2), como pode ser interpretado observando-se as Figuras 3-26 e 3-27.

As Figuras 3-3; 3-4; 3-15; 3-16; 3-26 e 3-27 evidenciam que os piroxênios dos “lamprófitos” são similares considerando os diferentes corpos estudados; os piroxênios dos “lamprófitos” se apresentam sem diferenças marcantes, são muito

similares, exceto os piroxênios de Ymi-5. Linhas de consangüinidade entre os corpos Ymi-1, Ymi-1c, Ymi-7 e Ymi-4 não são tão evidentes como no caso das micas na Figura 3-25. Entretanto, parece claro que os piroxênios dos “lamprófiros” apresentam consideráveis diferenças químicas e cristaloquímicas (apêndice A2 e A3; Figuras citadas neste parágrafo) em relação aos piroxênios dos “lamproítos”. Alguns piroxênios analisados nas rochas do RA e comparadas com as dos lamproítos mostram-se de certa forma não muito diferentes, conforme pode ser constatado nas Figuras 3-26 e 3-27.

Espinélios

Conforme comentado no início deste capítulo, os espinélios seguem três Séries que se diferenciam uma da outra pelos ânions Al^{3+} , Fe^{3+} e Cr^{3+} , combinando-se com cátions de Mg e Fe para formar soluções sólidas entre os *end members*. Assim possibilita representá-los em diagramas binários, como ilustrados nas Figuras 3-1; 3-7; 3-9 e 3-17.

O diagrama binário Cr#-Fe# mostra a composição dos espinélios em termos das moléculas de picrocromita-cromita-espinélio-hercynita. O diagrama que é sobretudo útil quando se analisam espinélios cromíferos ($Cr_2O_3 > 10\%$). Microfenocristais de espinélios em Ymi-1 e inclusões de espinélios em minerais máficos em Ymi-1 e Yzu-1 evidenciam solução sólida entre a picrocromita e a cromita (série da cromita) como mostrado na Figura 3-7 e 3-9.

Espinélios com teores de MnO >1% ocorrem nos espinélios da série do espinélio e da série da magnetita, sendo que a maioria dos diagramas binários ou ternários empregados para representar as composições dos espinélios destas duas séries omitem o teor das moléculas de espinélios manganésíferos. O diagrama ternário galaxita(B= Al^{3+})-magnetita(B= Fe^{3+})-manganocromita(B= Cr^{3+}) (Figuras 3-1 e 3-9) mostram-se útil para espinélios pobres a muito pobres em crômio; i.e. espinélios da

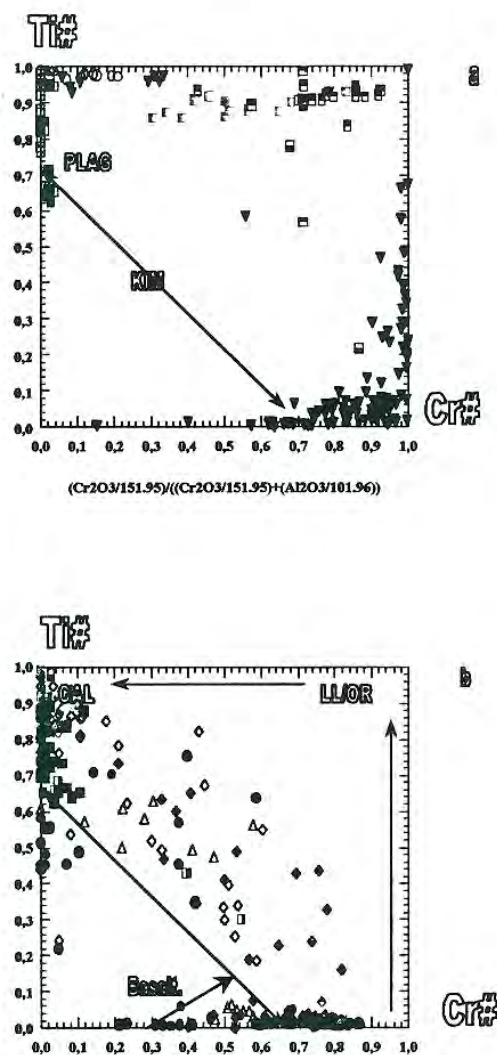


Figura 3-28. Campo dos espinélios em “lamprófitos” e “lamproítos”. (a), Ymi-5, Yzu-2, Yzu-3 e Yzu-6 são comparados com espinélios de lamproítos (triângulo cheios). (b), “lamprófitos” Ymi-1, Ymi-4, Ymi-7 e Yzu-1 são comparados com os lamprófitos alcalinos ricos em olivina (círculo cheio) e com fenocristais de mica (triângulo vazios) de São Sebastião e arredores e os de Wandagee (Australia). Campos com base a Mitchell (1995a) e este trabalho. Fontes: Jaques et al. (1989) e Garda (1995). Legenda: KIM-kimberlitos, PLAG-plagileucitos, OR-orangeitos, Basalt-basalto, CAL- lamprófitos cálcio alcalinos. Simbologia como em 3-2.

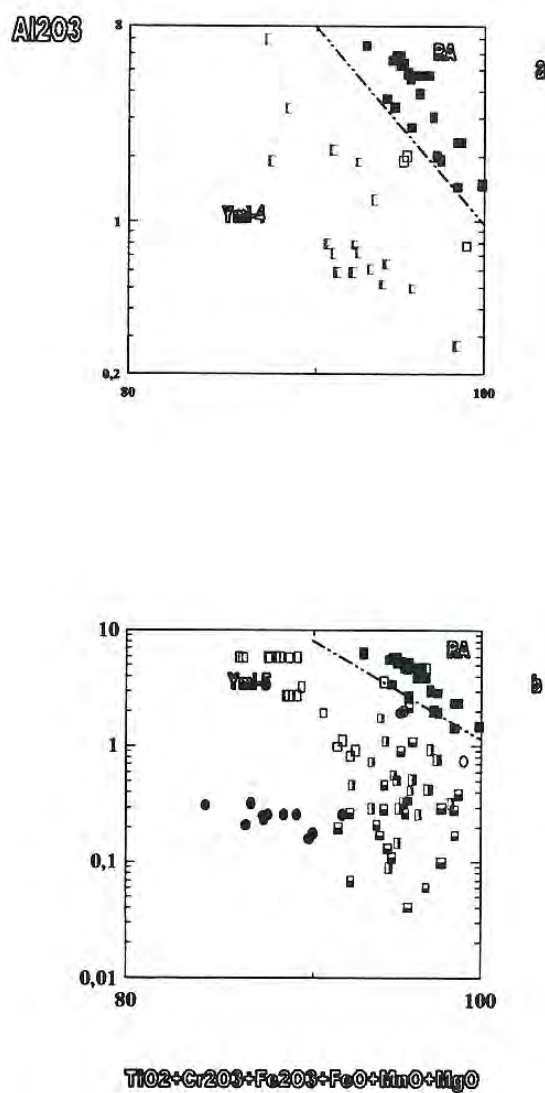


Figura 3-29. Diferença entre os espinélios em função de $\log. Al_2O_3$ -demais óxidos nas rochas potássicas do *rift de Asunción*. (a) espinélios das rochas potássicas basaltóides (quadro cheio, extraído de Comin-Chiaramonti & Gomes, 1996) são confrontados com os espinélios da intrusão Ymi-4 (quadro meio-cheio). Notar o plano de separação entre os espinélios de Ymi-4 e os espinélios das rochas basaltóides. Em quadro vazio, espinélios das lamprófiricas do Campo Ybytymí (D211 em Comin-Chiaramonti & Gomes, 1996) e do Campo Ybytyruzú (D18, idem D211) junto ao dique D109 (idem D211) este aparentemente de afinidade lamproítica. (b) espinélios das rochas “lamproíticas” Ymi-5, Yzu-2, Yzu-3 e Yzu-6. Compare-se com a Figura (a) os espinélios de Ymi-5 possuem forte afinidade pelos espinélios das rochas lamproíticas Yzu-2, Yzu-3 e Yzu-6. Círculos cheios e vazios junto aos quadros cheios pertencem as rochas D211, D18 e D109. Simbologia como em 3-2.

série espinélios ($B=Al^{3+}$)-magnetita ($B=Fe^{3+}$) (no gráfico expresso pelo teor das moléculas de galaxito-magnetita); assim, este diagrama é útil para os espinélios da matriz dos “lamprófiros” e “lamproítos” analisados neste trabalho, mostrando de forma fácil, o alto teor nas moléculas da série espinélio-magnetita, ambas em solução sólida (Figuras 3-9 e 3-17), sendo que nas rochas de Ymi-5, Yzu-2, Yzu-3 e Yzu-6 os espinélios estão enriquecidos na molécula de magnetita e nas de Ymi-1, Ymi-4, Ymi-7, Yzu-1 e em parte também Ymi-5, na molécula de hercynita. De todos eles os espinélios de Ymi-1, Ymi-7 e Yzu-6, Ymi-5 e alguns de Yzu-2 e Yzu-3 estão enriquecidos na molécula de jacobsita (“lamproítos”: Ymi-5, Yzu-2, Yzu-3 e Yzu-6) e galaxita (“lamprófiros”: Ymi-1, Ymi-4, Ymi-7 e Yzu-1). As Figuras 3-28 e 3-29 mostram semelhanças e diferenças entre espinélios dos “lamprófiros” e dos “lamproítos”. Os “lamprófiros” picríticos (Ymi-1 e Yzu-1) seguem um trend que se inicia no extremo enriquecido em Cr e pobre em Ti (Cr# elevado, ex. Figura 3-28b) e acaba no outro extremo empobrecido no primeiro elemento e enriquecido no segundo (alto Ti#, ex. Figura 3-28b), como identificado na matriz (tipo de espinélios comuns para os corpos Ymi-4 e Ymi-7). Espinélios nos “lamproítos” se apresentam muito semelhantes entre si e definem um *trend* de evolução diferente ao seguido pelos “lamprófiros” (Figura 3-28a) e também diferente ao encontrado nas rochas basaltóides potássicas do RA (Figura 3-29b).

Feldspatos

Os feldspatos alcalinos em lamproítos, de maneira geral, são enriquecidos em Fe_2O_3 (<0.1-5%; tipicamente >1%, Mitchell 1995a; Mitchell & Bergman, 1991), empobrecidos em Na_2O (<2.5%; Mitchell 1995; Mitchell & Bergman, 1991) e são ricos em BaO (0.1-1.7%; Mitchell 1995a); i.e. sanidinas e sanidinas de Fe (1.0% de Fe_2O_3 i.e. sanidinas com >4% de $KFeSi_3O_8$) além de sanidinas com <0.1% de CaO e $\pm 1\%$ de Na_2O (Mitchell, 1995a). Desta forma, deve-se reconhecer que os feldspatos alcalinos nos lamproítos formam soluções sólidas entre a sanidina-sanidina de Fe-hyalofana-anortoclásio, este último em teores bem reduzidos. Na Figura 3-20 (Tabela A7) observa-se que os feldspatos dos “lamproítos” estudados são sanidinas em solução sólida com teores apreciáveis da molécula de sanidina de Fe (Yzu-2 e Yzu-6), e variáveis da molécula de anortoclásio (Ymi-5, Yzu-3 e Yzu-6) a moderados (Yzu-2) (O programa *Minpet 2.0* calcula o teor de Na_2O como sendo de *albita*).

Segundo Rock (1991) e Rock et al. (1992), a molécula de albita (altos teores de Na_2O) nos lamprófiros é importante levando num diagrama Ab-Or-An a identificar sanidina, anortoclásio e plagioclásio ocorrendo em teores modais traços a valores importantes. Tudo isto pode ser observado nos “lamprófiros” caracterizados neste trabalho (Figura 3-10 e apêndice A7). Além do mais, sanidinas de Yzu-1 apresentam-se em solução sólida com teores elevados de sanidina de Fe (Figuras 3-10b e c) e assim, são comparáveis com as sanidinas que ocorrem em lamproítos (cf. Mitchell & Bergman, 1991; Rock et al., 1992); porém diferentemente dos lamproítos, também em Yzu-1, as sanidinas possuem altos teores da molécula de anortoclásio (~6% de Na_2O , Figura 3-10b).

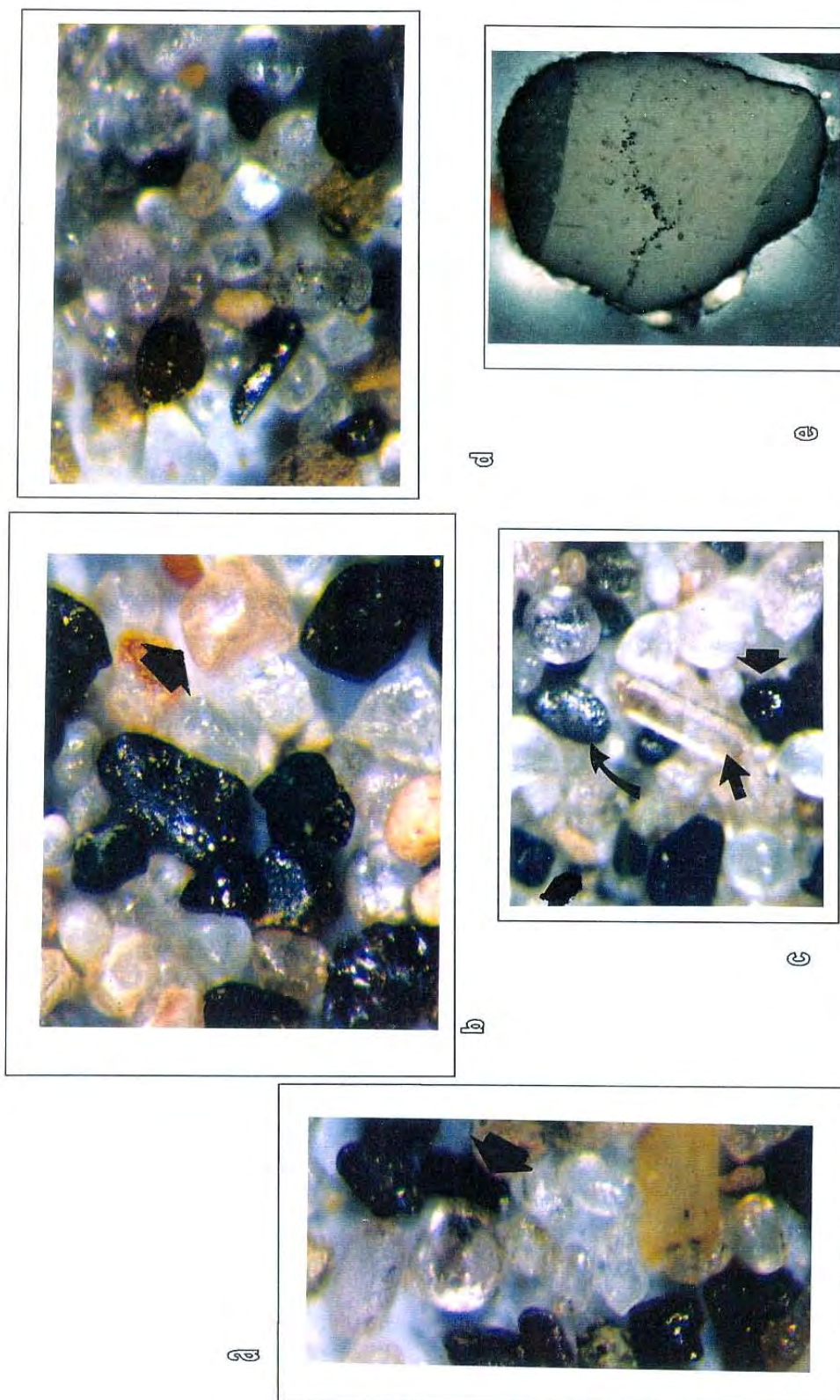
CAPÍTULO 4

POTENCIAL ECONÔMICO

INTRODUÇÃO

O diamante é produzido em 22 países dos quais os mais importantes em ordem de produção são: Botswana, África do Sul; C.I.S., Rússia; Austrália; e Namíbia. Esse mineral é encontrado em rochas ígneas derivadas do manto tendo como principais hospedeiros o kimberlito e os lamproítos. Foram reconhecidas cerca de 4.000 ocorrências de kimberlitos e lamproítos no mundo, dos quais provavelmente 500 a 1000 deles sejam diamantíferos; destes menos que 60 são minados, e apenas 15 deles são produtores maiores. Surpreendentemente, os sete maiores corpos mineralizados (>3.000 carats por ano) foram descobertos a partir de 1950: Argyle na Austrália, Orapa e Jwaneng na Botswana, Jubilee, Udachnaya e Mir na C.I.S., e Venetia na África do Sul. Estima-se que os campos Lac de Gras (Canadá) e Archangelsk (C.I.S.) poderão-se juntar também, no final do século, como maiores produtores. O diamante oscila entre uns dos mais lucrativos negócios minerais produzidos no mundo, colocando-se acima do lucro global do Ni, U, Pt, Pb e Ag porém, abaixo do Fe, Au, Cu e Zn. Uma mina individual de diamante apresenta-se como a mais lucrativa perante os outros depósitos minerais com um benefício anual próximo ou acima do bilhão de dolares, e com reservas in-situ arredor de 50 bilhões de dolares, Jennings (1995).

No Capítulo 2 foram descritos vários pipes de rochas potássicas sendo Ymi-1 de natureza lamprófirica e Ymi-8 de natureza petrológica desconhecida. Neles realizaram-se amostragem das fácies epiclástica e de sedimentos de corrente, que



Fotomicrografia 7. Minerais pesados do pipe Ymi-1. (a) microcristal tetrahedrico incolor (mostrado pela seta) de "diamante" entre fragmentos do, aparentemente, mesmo mineral. (b), microcristal octaedrico com bordas suavizadas de "diamante" (mostrado pela seta) junto a outros cristais fragmentados do, aparentemente, mesmo mineral e cristais irregulares de espinélio. Note-se no canto superior esquerdo cristais de zircão com formas arredondadas e bordas esbranquiçadas pela corrosão em HF (10-dias). (c), cristal irregular de limenita com brilho graxo (apontado pela seta curva), junto a um cristal prismático de zircão (seta reta) e espinélio (seta reta) e microcristais arredondados e fragmentos de microcristais de "diamante" incolores. (d) cristal prismático de limenita (canto meio-esquerdo) junto a diversos cristais de "diamante" incolor a rosa, junto com grãos de espinélio (opacos). (e), cristal germinado (?) de rutílo de Nb (-0.40 mm) em luz transmitida entre polarizadores; a, b, c, e d -0.10 mm = 1 cm.

foram peneirados e lavados (com líquidos densos) as frações entre 0.25-0.50 mm. Uma vez obtido os concentrados de minerais pesados se realizaram neles análises químicas, via microsonda eletrônica apresentadas no apêndice. Em Yzu-4 e no córrego que banha a área de intrusão de Yzu-10 (arroyo Itá, Figura 2-8 e Fotografia 10) realizaram-se amostragem de material epiclástico e concentrado de minerais pesados (em cuia de ouro) para os quais são apontadas algumas feições físicas. Com esse material em mão foram caracterizadas as suítes de minerais pesados. Com base nas informações ópticas e químicas pretende-se julgar seu potencial econômico.

Pipe Ymi-1

Conforme descrição da geologia desta intrusão no Capítulo 2 foram caracterizadas duas *facies*: epiclástica e vulcânica. A partir de sedimentos de corrente e de furo de sondagem (da *facies* epiclástica) foram separados a seguinte suíte de minerais pesados: espinélios, minerais de titânio (pseudobrookita, ilmenita, rutilo e rutilo de Nb), turmalina, “diamante”/zircão e piroxênios (Fotomicrografia 7). A seguir são pormenorizadamente tratados os principais minerais tratados através de análises por microsonda eletrônica.

Espinélios

Este mineral ocorre principalmente como cristais isolados anédrais a octaédricos com dimensões de <0.10 a 0.5 mm, sendo raros os grãos de maiores tamanhos. Os cristais apresentam caracteristicamente um brilho metálico-vítreo (Fotomicrografia 7) e representam os minerais mais abundante nos concentrados.

Foram analisadas com microsonda eletrônica cerca de 50 grãos, sempre aqueles com dimensões maiores que 0.25 mm. Os resultados analíticos e os dados referentes a fórmula química, expressa na base de 32 oxigênios e 24 cations, acham-se reunidos no apêndice A4. Valores inferiores a 24 cátions obtiveram-se devido a falta de análises de V_2O_3 e em muitos também pela falta de análises do ZnO.

Conquanto se tenha em mente que a suite de espinélios analisados poderiam representar tanto xenocristais provenientes de fontes peridotíticas como cristais produto da cristalização do magma “lamprofírico”, adoto-se como critério para separá-los o teor de TiO_2 ; se $\leq 2\%$, xenocristais; se $>2\%$, cristais magmáticos. Este procedimento foi adotado após prévia pesquisa do teor de Ti presente em espinélios de fontes peridotíticas e os que ocorrem como inclusões nos diamantes (Figura 4-1).

Foram separados 37 cristais com teores de $TiO_2 < 2.0\%$ (Figura 4-1) e reunidos a outros cristais presentes na forma de microfenocristais e inclusões (cf. Capítulo 3), também com similares valores de TiO_2 . Estas faces possuem a seguinte composição: Cr_2O_3 , 33-57%; Al_2O_3 , 7-33%; MgO , 5-14%; Ni, 0.02-0.70% e ZnO , até 0.30%. As Figuras 4-2 ilustram suas composições em termos das moléculas picrocromita-cromita-espinélio-hercynita e também em termos das moléculas de $MgCr_2O_4$ - $MgAl_2O_4$ - $MgFe_2O_4$. Para esta assambléia podem ser apontados algumas feições:

*os espinélios em termos das moléculas de picrocromita-cromita-espinélio-hercynita são espinélios do tipo picrocromita (cromita magnesiana) e cromita; e assim, são similares aos espinélios encontrados em xenólitos peridotíticos (diamantíferos e/ou associados ao diamante) que ocorrem em “kimberlitoides” que se instalam em ambientes cratónicos (cf. por exemplo Jaques et al., 1990).

*os espinélios segundo moléculas de $MgCr_2O_4$ - $MgAl_2O_4$ - $MgFe_2O_4$ ocupam o campo comum de picrocromitas que ocorrem como inclusões no diamante

Quimicamente este grupo de espinélios pertence à série da cromita (Figura 4-2 (a), (b) e (c)); sendo que entre eles os cristais de picrocromita analisados são menos abundantes que os de cromita (Figura 4-2c).

Os critérios segundo Mitchell & Bergman (1991 e Mitchell (1986; 1995a), para espinélios deste grupo de baixo teor em TiO_2 ($<2\%$; **Grupo-I =G-I**, Figura 4-1) e que apresentam elevadas razões em $Cr\#$ e $mg\#$, pode ser confiantemente interpretado como xenocristais, que teriam sido incorporados pelo magma ao ser arrancados/desagregados das paredes peridotíticas durante a passagem do magma

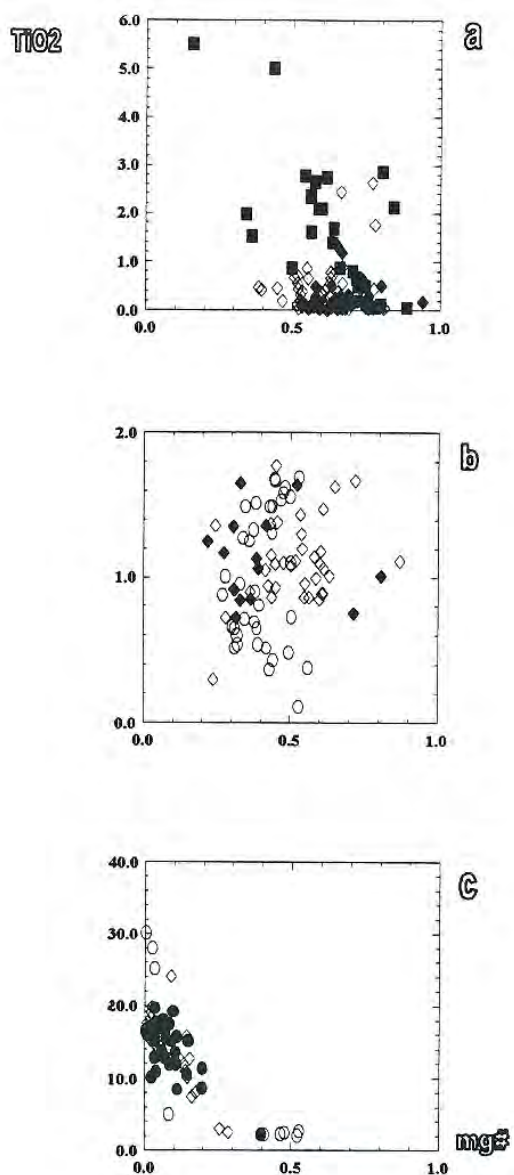


Figura 4-1. Xenocristais e cristais magmáticos de espinélio. (a) cristais de espinélio incluídos em diamante e/ou coexistindo com o diamante (rombos cheios) compara-se com xenocristais de espinélio encontrados em peridotitos da fácies diamantífera e/ou encontrados em concentrados de “kimberlitoídes” diamantíferos (rombos vácuos) e xenocristais/megacristais de espinélios que ocorrem em outras rochas alcalinas (quadros cheios). Observe-se como os dois primeiros grupos possuem, baixo Ti ($\text{TiO}_2 < 2.0\%$), feição que permite separar rapidamente a suíte de xenocristais (baixo Ti) da suíte de cristais magmáticos ($\text{TiO}_2 > 2.0\%$) (cf. Mitchell 1986; 1995a e Mitchell & Bergman, 1991). (b) suíte de xenocristais do *pipe* Ymi-1 (círculo= concentrado; rombo cheio= microfenocristal e; rombo vácuo= inclusão). (c) suíte de cristais magmáticos do *pipe* Ymi-1 (=microfenocristais, inclusões e matriz). Fontes: Griffin et al. (1992); Haggerty (1991); Fipke (1994).

picro-“lamprofírico” rumo à superfície (para discussões e outros comentários ver também Griffin et al. 1992, 1994 (a) e (b)).

Conforme discutido no Capítulo 3, os grãos de espinélio com $\text{TiO}_2 > 2\%$ (**Grupo 2 =G2**) formam em parte assambléia de espinélios cristalizados sob alta pressão e alta temperatura, aqueles com alto teor de Cr; em parte são de baixa pressão e baixa temperatura, como resultado de cristalização do mesmo magma em superfície, aqueles com $\text{Cr}_2\text{O}_3 < 5\%$. Assim o conjunto de grãos com $\text{TiO}_2 > 2\%$, alto a baixo Cr, alto a muito baixo Mg e moderado a altíssimo FeO_t , com razões Cr# e mg# variáveis, listados no apêndice A4 são considerados magmáticos. Aproximadamente 11 cristais analisados nos concentrados formam parte deste G2; deles quatro cristais de espinélios (Figura 4-2 (b)) são ricos nas moléculas de hercynita e assim são similares aos analisados na matriz dos *plugs* e diques deste corpo (=magnetitas) e o restante teriam sido provenientes da decomposição da rocha hóspedeira.

Nos grupo de cristais G2 observam-se grãos em formas predominantemente subhédrais a octaédricas enquanto aqueles com formas anhédrais a subhédrais são predominantes no G-I (Fotomicrografia 7). Observações petrográficas (microscopia de luz refletida) mostraram que alguns dos cristais G-I apresentam texturas de recristalização, similares às descritas por Ramsay et al (1994) em xenocristais de cromita do kimberlito diamantífero Aires (Austrália).

No G-II, espinélios com alto Cr (Cr#>0.50) pertencem à série da cromita; neles também são mais abundantes as cromitas a as cromitas magnesianas (Figura 4-2 (b) e comparar com a Figura 4-1 (c)).

Estes sspineólios, segundo os valores de Cr#, mg#, teor de Ti, Al e Mg (Mitchell & Bergman, 1991; Mitchell, 1986; 1995a)) correspondem às variedades:

1-cromita magnesiana pobre em Ti (=cromitas magnesianas);

2-cromita titanífera magnesiana (=cromitas);

3-cromita magnesiana aluminosa (alguns grãos sobre as linhas 0.5 Cr# e mg# nas Figuras 4-1 (b) e (c)).

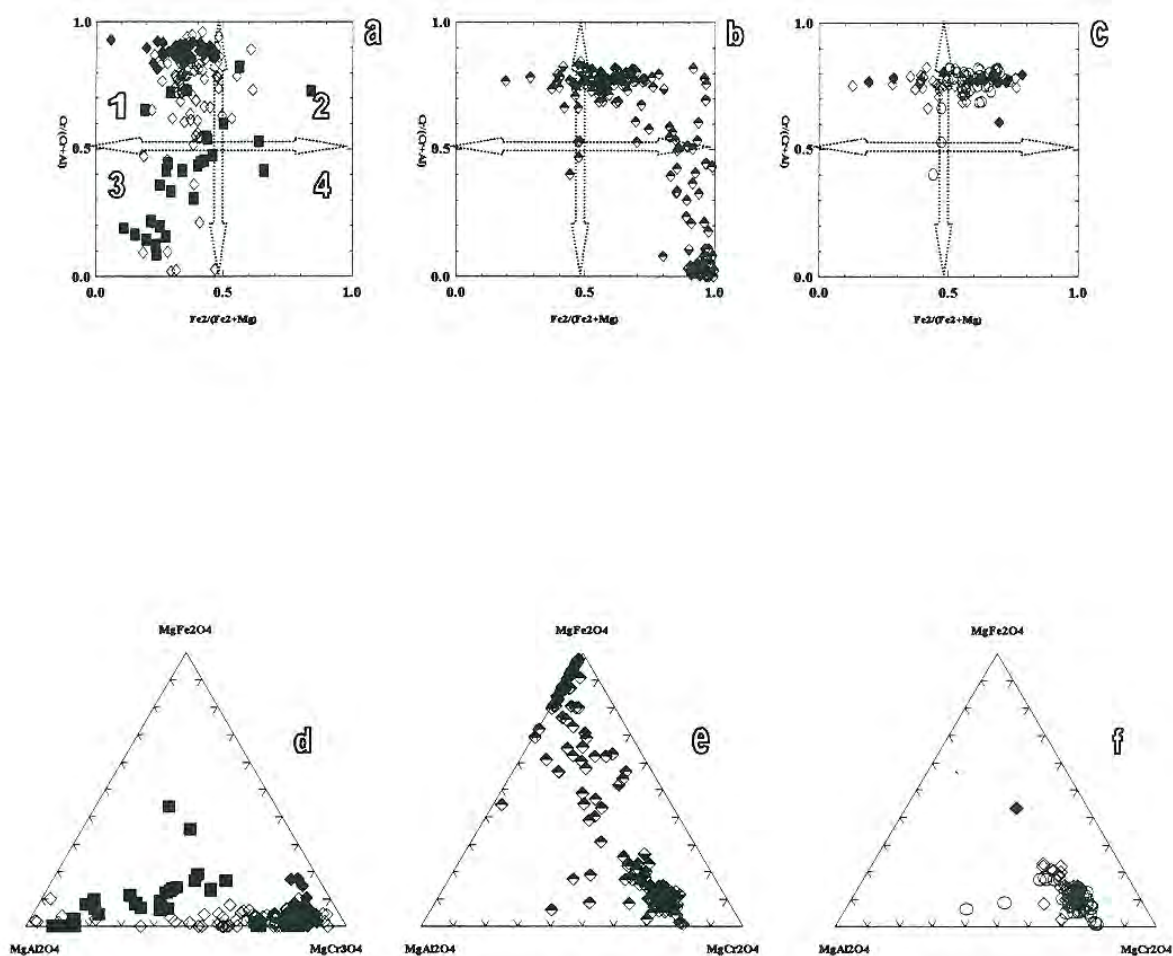


Figura 4-2. Espinélios da fácies do diamante. (a, b e c) sistema cromita magnésiana (1) –cromita (2) –espinélio (3) –hercynita (4). (a) espinélios inclusos em diamantes são comparados com espinélios encontrados em peridotitos de fácies diversas e com espinélios que ocorrem em peridotitos de fácies diamantíferas e/ou corpos “kimberlíticos” diamantíferos. (b) *súites* de espinélios do *pipe* Ymi-1, que mostra ao comparar com (a) que eles são cromitas magnésianas e cromitas comparável com os espinélios peridotíticos da fácies diamantíferas. (c) xenocristais: concentrados, inclusão e fenocristais de Ymi-1; os que ilustram melhor a provável precedência dos cristais analisados. Dois cristais com $Cr_2O_3 < 35\%$ ocupam o campo das cromitas magnésianas aluminosas. ((d), (e), (f)) espinélios como em (a), (b) e (c) no sistema $MgFe_2O_4$ - $MgCr_2O_4$ - $MgAl_2O_4$. Simbologia como em 4-1. Fontes ver texto.

Os quatro cristais de espinélio ricos nas moléculas de hercynita pertencem à série da magnetita. Segundo nomenclatura de Mitchell & Bergman (1991) e Mitchell (1986; 1995a), são:

magnetita titanífera ($\text{MgO} < 1\%$) e **magnetita titanífera magnesiana** ($\text{MgO} 1 - < 5\%$ e $\text{Cr}_2\text{O}_3 < 10\%$; são também ricas em MnO (apêndice A4)).

Minerais de titânio

Pseudobrookita, armalcolita, anasovita (Ti_3O_5), e kennedyita têm estruturas da pseudobrookita. São minerais titaníferos que junto ao Fe podem conter apreciáveis concentrações de elementos como Cr, Al, V, Mn, Ca, Zr, etc. A variação composicional destes minerais nunca foi definida adequadamente, e há certa confusão na literatura que deixa espaço a situações enganosas. Assim uma pesquisa das análises principais de pseudobrookita, armalcolita, anasovita e “kennedyita” conduziu Bowles (1988), a estabelecer uma definição dos campos composicionais. Kennedyita foi suprimido por Bowles (1988) e aprovado pelo IMA.

Pseudobrookita é definido como tendo uma fórmula ideal de Fe_2TiO_5 com uma composição limitada por FeTi_2O_5 , $\text{Fe-Mg}_{0.5}\text{Ti}_{1.5}\text{O}_5$, e composições intermédias. Armalcolita tem uma fórmula $\text{Fe}_{0.5}\text{MgO}_{0.5}\text{Ti}_{2.5}\text{O}_5$ ideal com um alcance de composição limitada pelo MgTi_2O_5 , FeTi_2O_5 , $\text{FeMg}_{0.5}\text{Ti}_{1.5}\text{O}_5$, e $\text{Mg}_{0.5}\text{Ti}_{2.5}\text{O}_5$ e inclusive composições intermédias (Bowles, 1988).

As Fotomicrografias 7 mostram que junto aos espinélios ocorrem abundantemente opacos alongados irregulares a euhédrais e de $< 0.8 \sim 0.3$ mm; são de cores prateado escuro com brilho metálico graxo, outros de cor preto e brilho metálico e outros de forma alongada vermelho muito escuro quase opaco com brilho submetálico-graxo. Eles foram analisados na microsonda eletrônica e suas composições encontram-se no apêndice A8. A Figura 4-3 mostra que são grupos minerais diferentes em termos das moléculas de $\text{TiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-FeO}$ (Buddington & Lindsley, 1964); este diagrama ternário permite separar os seguintes grupos de titanatos:

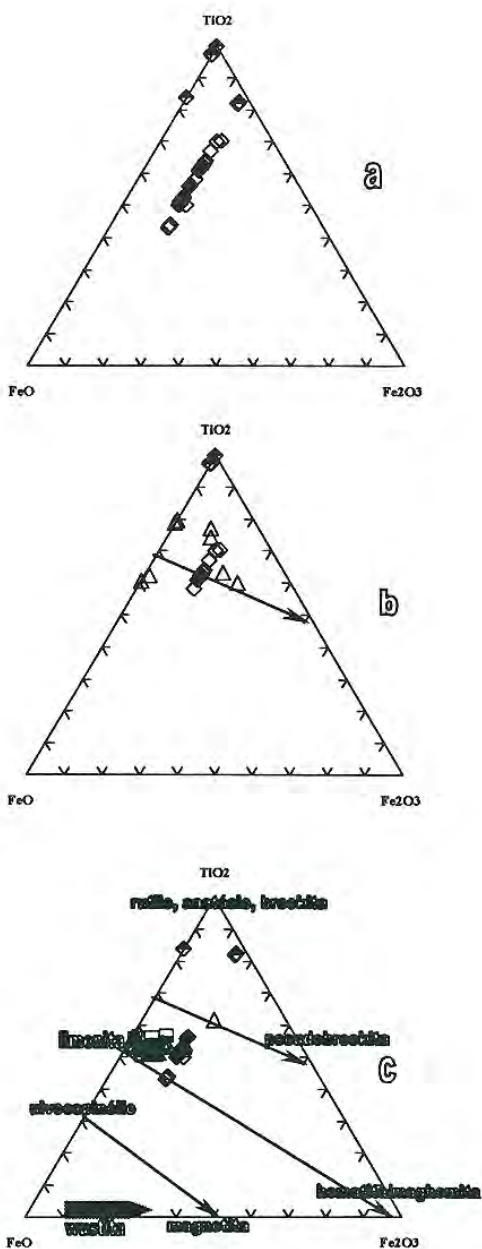


Figura 4-3. Minerais de titânio. (a) titanatos de Ymi-1 (rombos vazios e meio cheio) e Ymi-8 (rombos cheios). (b) titanatos de (a) com TiO₂ >55% que ocorrem em Ymi-1 e Ymi-8, que são comparados com os que ocorrem em lamproítos de Jumilla e Cancarix =pseudobrookitas. (c) titanatos de (a) com TiO₂ <55% que também ocorrem em Ymi-1 e Ymi-8 e são comparados com ilmenitas que ocorrem em lamproítos (triângulos; localidades da Espanha, Austrália e USA; Ilmenitas, quadros Yzu-2; Yzu-3 e Yzu-6) =. Em (b) e (c) os triângulos meio cheios representam rutilos (a) e rutilo de Nb (b). Em (c) os campos composicionais linha FeTi₂O₅-Fe₂TiO₅, pseudobrookita; FeTiO₃-Fe₂O₃, ilmenita-hematia e Fe₂TiO₄-Fe₃O₄, ulvoespinelio-magnetita segundo Buddington & Lindsley (1964). Para fontes ver texto.

Pseudobroquita (cor preto): possuem altos tenores em TiO_2 (55-64%), moderados de MnO (0.4-7.8%), Al_2O_3 (0.1-1.2%) e Fe_t (1.8-42%), e baixos em Cr_2O_3 (0.0-0.15%) e MgO (0.04-1.54%), apêndice A8.

Ilmenita (cor prateado escuro): possui teores elevados de TiO_2 (40-54%), Fe_t (41-54%), moderados de MgO (0.3-5.7%) e muito baixos de Cr_2O_3 (<0.05% =teores baixíssimos nas moléculas de eskolaíta) e Al_2O_3 (0.1-0.5%) a baixos de MnO (0.4-1.5%). A Figura 4-4 (a) ilustra o comportamento de ilmenitas ricas nas moléculas de ilmenita e hematita e empobrecidas nas moléculas de geykielita; enquanto a Figura 4-4 (b) ilustra o empobrecimento das mesmas ilmenitas nas moléculas de pyrofanita.

Rutilo (cor vermelho sangue escuro): possuem altíssimo a muito alto teor de TiO_2 (92-99%) e baixos teores de FeO (0.1-2.5%) e MgO (<0.17%). Observa-se um cristal cristal geminado (Fotomicrografia 7); nele mediram-se elevados teores de Nb (23.35% de Nb_2O_5) e em perfil de análises segundo borda-centro-borda obteve-se variações nos teores de TiO_2 (48 a 54%-54%-46 a 55%) e ZrO_2 (0.9 a 1.1%-1.2%-0.6 a 1.3%). No mesmo ponto do cristal onde foi analisado Nb, foram também medidos os teores de Fe_t (11%), Ce_2O_3 (0.60%), BaO (0.25%) e PbO (0.22%) (apêndice A8). Estas feições químicas permitem caracterizá-lo como rutilo de Nb.

Turmalina

Este mineral ocorre em grãos prismáticos a arredondados. Os cristais prismáticos possuem cores marrom a verde com marcado pleocroísmo, e dimensões submilimétricas. Cristais arredondados a muito bem arredondados e com tamanhos geralmente inferiores a 0.5 mm ocorrem abundantemente como cristais amarronzados a esverdeados e escuros, com um característico brilho “gelo”.

No apêndice A9 são apresentados análises químicas parciais de de turmalinas considerando que eles possuem boro e flúor em concentrações elevadas na sua composição (Deer et al., 1962) e que estes elementos não foram analisados no processo de análises deste trabalho. Entretanto, nelas se observam teores variáveis de SiO_2 (33-37%), TiO_2 (0-1%), Al_2O_3 (20-37%), FeO (4-21%), MgO (1-6%), Na_2O (0-2%) e ainda teores inferiores a 1% de MnO , CaO e K_2O . As turmalinas aqui descritas

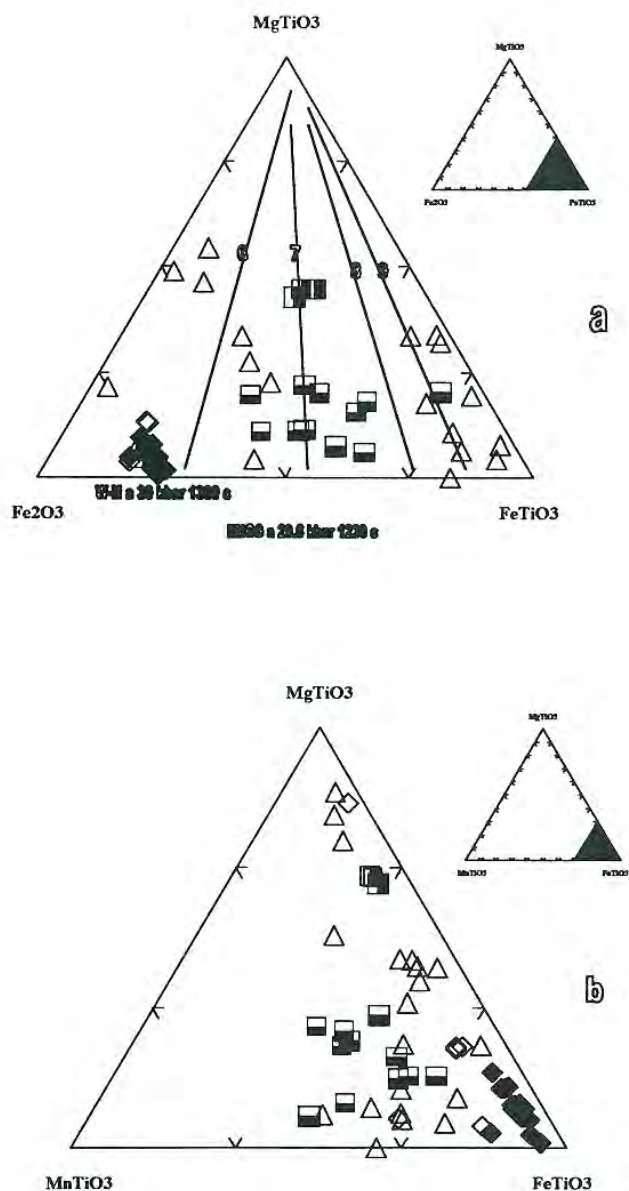


Figura 4-4. Ilmenitas dos *pipes*. (a) sistema geykielita-ilmenita-hematita, que mostra as ilmenitas de Ymi-1 e Ymi-8 enriquecidas nas moléculas de ilmenita-hematita e pobres nas moléculas de geykielita. As linhas sub verticais correspondem a isolinhas de fugacidade de oxigênio traçadas, aqui parcialmente reproduzidas, por Woermann et al. (1970, in Haggerty, 1990). São também lançados dados das ilmenitas dos lamproitos Yzu-2, Yzu-3 e Yzu-6; e todos eles comparados com ilmenitas que ocorrem em alguns lamproitos. (b) sistema geykielita-ilmenita-pyrofanita, que mostra como as ilmenitas de Ymi-1 e Ymi-8 estão enriquecidas nas moléculas de ilmenita e empobrecidas nas moléculas de geykielita e algo de pyrofanita. Fontes como em 4-3.

se apresentam com algumas feições físicas (cor e arredondamento dos cristais) e químicas (teores de Ti e K) similares aos encontrados em turmalinas de pipes diamantíferos estudados por Fipke (1991, 1994).

Diamante vs zircão

Foram observados cristais octaédricos, com as bordas suavizadas a arredondadas, de cristais parecidos com diamante; sendo a grande maioria incolores a rosa suave, amarelo vinho e violeta suave, com marcado brilho adamantino a gelo. Um dos microcristais foi analisado no raios-X (método do monocristal em Camera de Gandolfi empregando CuK e filtro de níquel por 24 horas de exposição). O espectro obtido acusa padrões similares aos de diamante (2 *B* corrigido =2.10-médio a forte, 1.29 leve a médio e 0.83 leve). Contudo, foram analisados ~20 grãos na microsonda eletrônica muitos cristais de formas alongadas e parecidas ao zircão, após lavado com ácidos e solução levemente alcalina (ver Capítulo 1), estes grãos permaneceram insolúveis e muitas vezes apresentavam seu brilho adamantino acrescentado. Alguns dos 20 grãos avaliados na microsonda exibiram fluorescência azul cobalto radiante; quimicamente apresentaram teores de SiO₂ <1 a ~10% e ZrO₂ <3% (analisado em alguns cristais), feições que não se identificam com zircão e apontam para diamante.

Outros cristais prismáticos euhedrais (Fotomicrografia 7) a arredondados incolores e de tamanhos pequenos (<0.5 mm), foram observados junto aos cristais de diamante e analisados parcial a total, incluindo o ZrO₂ e as REE. Entre os cristais, procedentes dos *pipes* Ymi-1 e Ymi-8, só foram identificados como zircão cerca de cinco grãos; os demais corresponderiam a polimorfos do carbono (ex. diamante).

Pipe Ymi-8

Como ressaltado no Capítulo 2, neste corpo não foi encontrado afloramentos de rocha magmática e as análises basejam-se na medida do possível, na suítes de minerais pesados: minerais de titânio (ilmenita, rutilo, pseudobrookita), diamante/zircão e turmalina; foram também reconhecidos piroxênios (verdes e alaranjados) como diminutos cristais angulares a irregulares de ~0.50 mm e traços de granada.

Contudo, diferente do *pipe* anterior, os escassos minerais pesados obtidos foram recuperados de enorme volume de material lavado. Espinélio foi observado apenas em lupa de grande aumento, porém não se conseguiu analisar sequer um cristal.

“Diamante” vs zircão

Nos concentrados observaram-se (em porcentagens muito menores as de Ymi-1) microcristais (<0.5-0.2 mm) incolores, quebrados a hexaedroídes e prismáticos alongados, com brilho adamantino a gelo. As análises em microsonda eletrônica dos diferentes grãos, como descrito no item anterior, mostraram que eles não apresentam composição de silicatos (ex. zircão). Alguns deles apresentaram fluorescência azul-cobalto. Essas feições levam a supor que esses cristais seriam polimorfos do carbono como concluído em Ymi-1. Além disso, um monocristal foi submetido ao testador (industrial) eletrônico *diamond-test* e ele mostrou resposta positiva para diamante.

Minerais de titânio

Nos concentrados são abundantes os cristais idiomórficos (retangulares a quadráticos), submilimétricos (~0.3 mm) a milimétricos, opacos e escuros, junto a outros menores de cor vermelho muito escuro e de brilho submetálico *graxo*. Dentre os cristais analisados obtiveram-se dois (apêndice) de **pseudobrookita** (Figura 4-2 (a)) com cerca de 55% de TiO_2 , 35-56% de Fe_t e baixos teores de MnO (<0.52%) e de MgO (<0.48%). E, assim, comparativamente algo evoluídos aos encontrados em Ymi-1. Mais abundantemente ocorrem grãos de **ilmenitas** (Figura 4-4) ricas em TiO_2 (48-51%), Fe_t (44-49%) e pobres em MgO (0.08-1.1%) e MnO (0.39-1.34%). As Figuras 4-4 (a) e (b) mostram que são ilmenitas enriquecidas nas moléculas de $FeTiO_3$ (ilmenita_{ss}) e empobrecidas nas moléculas de $MgTiO_3$ (geykielita) e de $MnTiO_2$ (pyrofanita). Embora existam algumas diferenças entre as ilmenitas de Ymi-1 e de Ymi-8, elas tem em comum que distribuem-se pelo campo das ilmenitas encontradas em carbonatitos (Gaspar & Wyllie, 1984; Mitchell, 1986) e também em lamproítos (ver as Figuras 3-18 e 4-4).

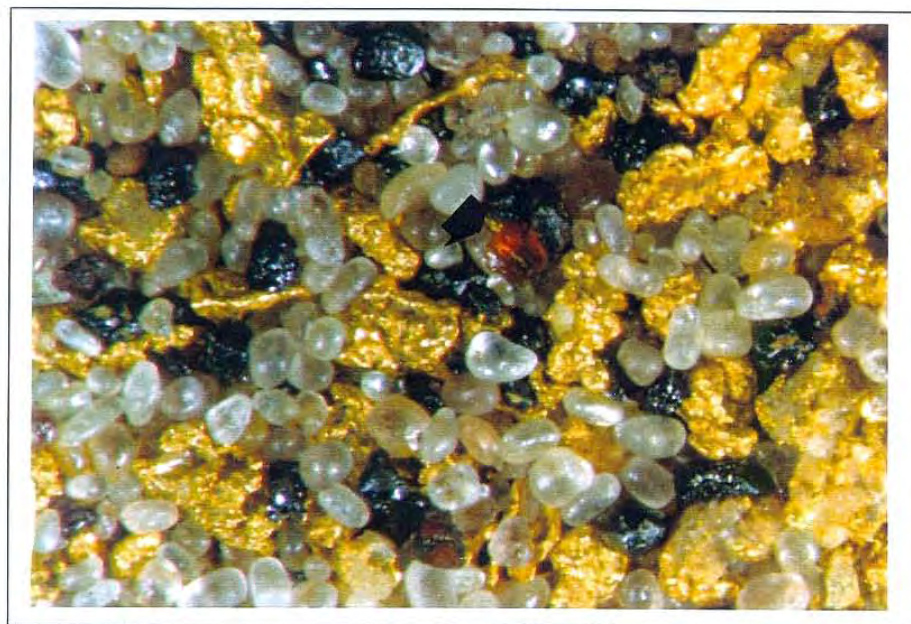
As análises de dois cristais de **turmalina** arredondada, verde amarronzada (<0.5 mm) apresentam teores de SiO₂ <30%, considerados como baixo para turmalinas. Provavelmente trata-se de pseudomorfos, e por esta razão foram deixadas de lado.

Embora as análises da suíte de minerais pesados (ilmenita, pseudobrookita, rutilo, diamante e zircão) apontem uma origem lamproítica (cf. Fipke, 1994) ou lamprofírica (como p/ex. Ymi-1) a natureza lamprofírica vê-se reforçada se considerado que as rochas apresentam uma suíte de minerais pesados parecida com a do *pipe* lamprofírico Ymi-1 (distante poucos kms a NE) como também reforçado pelo fato das ilmenitas apresentarem feições químicas (Figura 4-4) similares às ilmenitas encontradas em carbonatitos, o que significa ilmenitas desenvolvidas num ambiente de cristalização rico em CO₂ como o é o ambiente de cristalização dos magmas lamprofíricos (Rock, 1991).

Intrusões *Yzu-4* e as do arroyo Itá

Conforme comentado anteriormente, no Campo Ybytyruzú as pesquisas sobre os minerais pesados foram executadas em caráter informativo, conquanto as informações tenham sido obtidas de concentrados obtidos em cuias de ouro no período em que o programa deste projeto de trabalho já tinha-se encerrado. A seguir elas serão comentadas brevemente com o intuito de acrescentar mais dados a este trabalho e apontar futuros trabalhos de pesquisa.

Yzu-4: em pequenos volumes de concentrado foram observados abundantemente espinélios, (fundamentalmente) euhedrais, de dimensões pequenas (<0.5 mm); ilmenita prismática sub milimétrica a milimétrica; lamelas de mica escura, preferentemente com formas pseudo-hexagonais e de tamanhos milimétricos; prismas quebrados a cristais irregulares de piroxênio verde a verde-maçã. Aparentam uma assembleia de minerais pesados comum de fontes kimberlítica, orangeítica, lamproíticas e lamprofíricas (cf. Jaques et al., 1989; Fipke, 1991;1994 e também comentários de itens acima).



a



b

Fotomicrografia 8. Concentrado de minerais pesados do *arroyo Itá* (Yzu-10). (a) partículas de ouro (1-3 mm) junto a cristais de zircão (incolor), espinélios (preto) e granada (cristal vermelho-roxo indicado pela seta). (b) cristais de ilmenita reunidos evidenciando suas dimensões e formas (cristal maior de ~5 mm = megacristal). Fotografias em lupa binocular, luz natural.

Arroyo Itá: este córrego alimenta-se dos minerais pesados de várias intrusões lamprofíricas que ocorrem na área de aproximadamente 30 km² pesquisadas. Através do cascalho do leito de córrego (Itá) foram separados partículas de ouro (Fotomicrografia 8 (a)) sub milimétricas a centimétricas, cristais sub-milimétricos a milimétricos (megacristais de até 5 mm, Fotomicrografia 8 (b)) euhédrais a fragmentos anedrias de ilmenita; cristais octaédricos a irregulares de espinélio (Fotomicrografia 8 (a)), de até submilimétricos; fragmentos irregulares e pequenos (<0.5 mm) de cristais de granada em cores de laranja-vivo, rosa, rosa-brilhante e vermelho sangue-roxo (Fotomicrografia 8 (a)); lamelas pseudo-hexagonais sub-milimétricas a milimétricas de mica; cristais irregulares de piroxênio escuro, submilimétricos. São assembleia de minerais pesados comuns de zonas com rochas kimberlitoídes (cf. Dawson, 1980; Mitchell, 1986; 1995; Mitchell & Berman, 1991; Atkinson et al., 1984; Fipke, 1991; 1994).

CAPÍTULO 5

CONSIDERAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS DOS *PIPES*

TERMOBAROMETRIA

Uma revisão dos diferentes termo-barômetros empregados em xenólitos peridotíticos com granada são encontrados em Finnerty & Boyd (1987) e também em Finnerty (1989). O problema corrente que apresentam muitos dos métodos consagrados é colocar acertadamente xenólitos diamantíferos na “janela” do diamante e os xenólitos com grafita e/ou anfibólio, e/ou com flogopita colocar no campo de estabilidade da grafita. Como Finnerty (1989), Bertrand et al. (1984) calibraram o barômetro *aluminous-enstatite* empregando dados de 50-100 kbar obtidos em Yamada & Takahashi (1983), e assim apresentando as geotermas da África do Sul nas que foram exibidas inflexões de baixa temperatura. Dados de alta pressão de solubilidade da alumina (por exemplo em piroxênios) é incorporado por Bertrand et al. (1984) junto aos dados de baixa pressão, porém resultando num barômetro que subestima a pressão: i.e. xenólitos portadores de diamante caem em pelo menos 5.7 kbar no campo de estabilidade da grafita.

Por outro lado Finnerty (1989) revisa o barômetro *aluminous enstatite* de Nickel & Gren (1985) modificado por Carswell & Gibb (1987 a, b) que distribue as moléculas de jadeíta em ortopiroxênio com relativamente alto teor de Na. Como resultado verificou-se que aplicado aos xenólitos do Norte de Lesotho o barômetro não suporta a inflexão nas geotermas desta localidade.

Finalmente Finnerty (1989) revisa o barômetro de Adans & Bishop (1986), que recalibraram o barômetro da olivina de Finnerty & Boyd (1978), mostrando o arranjo P-T aplicado na África do Sul o qual aparece não inferido. Finnerty (1989) encontrou que este barômetro também subestima a pressão entre 10-20 kbar, resultando com que xenólitos de kimberlitos da África do Sul são lançados junto ao campo de estabilidade da grafita.

Finnerty (1989) entende que em consequência da inflexão de alta temperatura no Cretáceo ser um fato das geotermas do manto superior da África do Sul, conclui que a inflexão é evidente com independentes termômetros e independentes barômetros e eles não deveriam ser *pilares*, (entende-se) para extrapolações na estimação do P-T.

Alguns inconvenientes surgem quando empregados diferentes métodos de cálculo da T (°C) e também da pressão (Kbar); assim empregando-se no xenólito Uv-198/76 (Udachnaya) Jaques et al. (1990) os termo-barômetros de Brey (1989)-Brey et al. (1989) junto aos de O'Neill & Wall (1987)-Brey et al. (1989) obtiveram-se temperaturas e pressões de 846° C-3.90 Kb e 852°C-3.20 Kb; neles, dados prévios de Boy & Finnerty (1980), pelos métodos LD20/M74 e OW79/M74 forneceram os seguintes valores de P-T: 1285°C-66 kbar e 1260°C-64 kbar para o mesmo xenólito. Griffint et al. (1993) empregando os termômetro de Ni em granadas e de Zn nos espinélios do xenólito Uv-198/76, estimaram temperaturas 1010° (granada) e 995° (espinélio) C. Outros exemplos podem ser conferidos nos cálculos de P-T calculadas por Boyd et al. (1993) em 22 xenólitos de granada (de baixo cálcio) harzburgitos da África do Sul, como produto da combinação de diferentes pares minerais (diferentes métodos termobarométricos) por eles ensaiados.

Fabrics (1979) e também Ballhaus et al. (1991) , com base aos "pares minerais", estabeleceram termômetro levando em consideração o espinélio. Griffin et al. (1992; 1994a-b) observaram que os espinélios que coexistem com granada nas inclusões dos diamante apresentam temperatura de formação, medida nas granadas, inversamente proporcional ao conteúdo de Zn (ppm.) neles medidos. Com base nesta observação foi estabelecido o Termômetro do Zn (ex. Griffin et al., 1994). Recentemente Presser (1997) observou que espinélios apresentavam teores de MgO diretamente proporcionais a temperatura de formação obtida por Griffin et al. (1993) pelo termômetro do Zn e assim propôs um novo termômetro, que em analogia ao

levantado por Griffin et al. (1993) a temperatura de formação é diretamente obtida num monocrystal.

Presser & Da Silva (1987), aplicando a reta de regressão linear formada pelo teor em MgO em espinélios cromíferos encontrados em lamproítos e kimberlitos (Sovolev et al., 1989) e as T°C obtidas (Sobolev et al., 1989) nestes minerais através do método de Fabrías (1979), encontraram que a temperatura de formação dos espinélios esta definido pela equação **TMg = 742,48+(26.8*MgO)(=Termômetro TMg)**. Para testar o grau de confiabilidade do termômetro TMg comparou suas medidas com as temperaturas obtidas por outros métodos em cristais de espinélios. Estas comparações são mostradas nas Figura 5-1 (a) e (b); na primeira figura mostra-se excelente correlação entre o termômetro de Zn e o termômetro TMg aplicado a espinélios que ocorrem como inclusão no diamante e aqueles que ocorrem em peridotitos, i.e., xenocristais. A Figura 5-1 (b), também mostra aproximação entre o termômetro TMg e a temperatura de formação dos espinélios encontrados por Garda (1995) em rochas alcalinas de São Sebastião e arredores. Garda (1995) empregou para os cálculos de temperatura vários métodos e entre eles o termômetro de Ballhaus et al. (1991).

Griffin et al. (1993) e Griffin & Ryan (1995) determinaram com base no termômetro do Ni (TNi), aplicado em granadas que ocorrem em peridotitos diamantíferos e não diamantíferos, como também em granadas que ocorrem como inclusões em diamantes de kimberlitos, orangeítos e lamproítos instalados em diversos ambientes cratônicos, o tipo de gradiente geotérmico para os crátons onde essas rochas ocorrem. Assim temperaturas de ≈850-1100°C são próprias de ambientes cratônicos com o gradiente geotérmico da ordem de 35mw/m²; temperaturas de ≈950-1200°C são próprias de ambientes cratônicos com o gradiente geotérmico da ordem de 40mw/m² (Griffin & Ryan, 1995). Nas Figuras 5-2 são dados os histogramas de temperatura para inclusões de espinélio em diamantes e xenocristais de espinélios coletados nos diferentes corpos portadores de diamantes que ocorrem em regiões cratônicas, estas temperaturas de cristalização foram estimadas com base ao termômetro TMg (Presser & Da Silva, 1997). Nos espinélios que ocorrem no cráton da Rússia as temperaturas obtidas vão de 1020-1180°C ≈35mw/m² em consonância com o estimado por outros métodos termométricos, como os de Griffin & Ryan (1995)

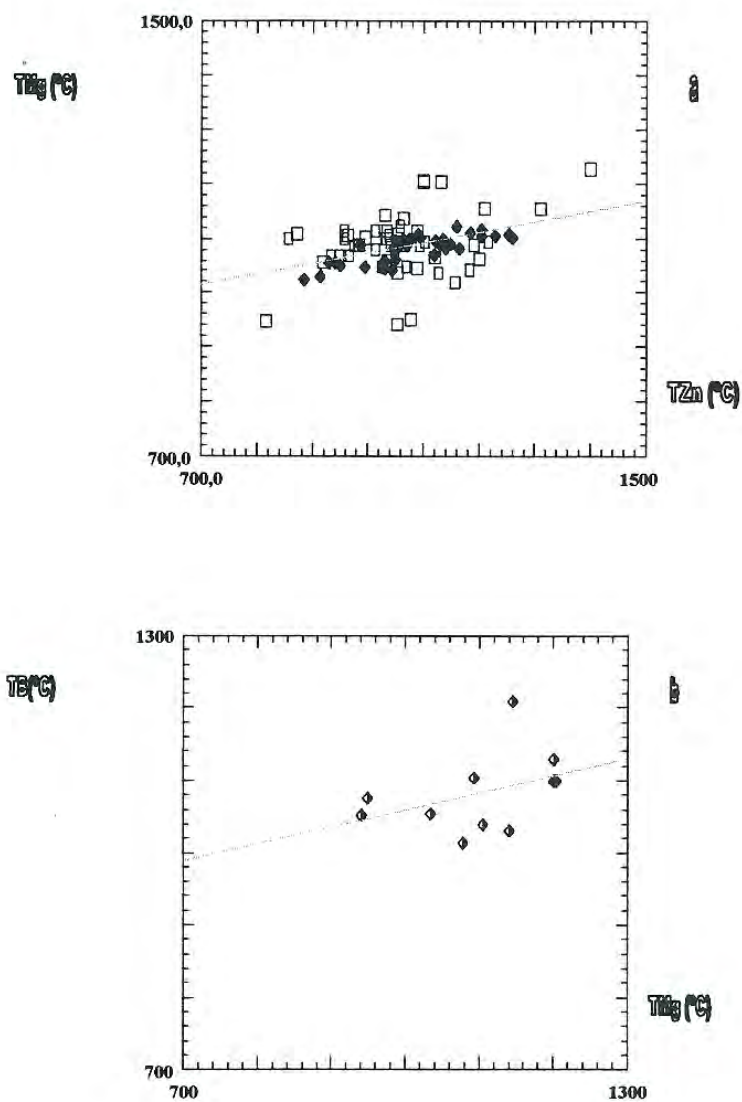


Figura 5-1. Correlação dos métodos de temperatura em espinélios. (a) correlaciona-se as temperaturas obtidas pelo termômetro do Zn (TZn) (Griffin et al., 1993) e as temperaturas obtidas pelo termômetro TMg ($[742.48+(26.8 \cdot \text{MgO})]$, Presser & Da Silva, 1997). (b) aqui correlaciona-se as temperaturas obtidas por Garda (1995), pelo método de Ballhaus et al (1991)(TB), com as obtidas pelo termômetro TMg. Notar como tanto em (a) como em (b) existe uma boa correlação, com sutis diferenças em (a) (em rombos, inclusões em diamantes e em quadros, xenólitos peridotíticos, cf. Griffin et al., 1993) e algo menos sutil em (b). Fontes são citadas no texto.

e Griffin et al. (1993). Nos espinélios que ocorrem no cráton Kimberley (Austrália) as temperaturas obtidas vão de 900-1100°C, $\approx 35\text{mw/m}^2$ são coincidentes com o gradiente geotérmico obtidos pelos dados de Jaques et al. (1990; 1994) e, em parte, similares aos estimados por Griffin & Ryan (1995). Nos espinélios que ocorrem no cráton *South Africam* (Africa do Sul) as temperaturas obtidas por Griffin & Ryan (1995), vão de 1030-1100°C $\approx 35\text{mw/m}^2$; gradiente estimado em inclusões de diamantes/xenólitos peridotíticos transportados pelos orangeitos. Nos espinélios que ocorrem no cráton da China (ex. *pipe* Lianing #42) as temperaturas obtidas vão de 1055-1112°C $\approx 35\text{mw/m}^2$ a $\approx 40\text{mw/m}^2$ e assim também muito similar ao determinado por Griffin & Ryan (1995).

Conquanto que no presente trabalho de tese conta-se com grande número de dados de xenocristais de espinélios cromíferos (cromita magnésiana e cromita), julgou-se conveniente explorar os alcances das informações termodinâmicas acerca dos espinélios.

Acredita que o termômetro TMg fornece temperaturas confiáveis; assim sendo este termômetro será empregado para estimar as temperaturas de formação dos espinélios (xenocristais) que ocorrem nos corpos Ymi-1 (concentrados, inclusão e microfenocristais) e Yzu-1 (inclusão).

A Figura 5-3 fornece os histogramas de temperatura calculados para xenocristais de espinélios de Ymi-1 ($\approx 850\text{-}1050^\circ\text{C}$) e de Yzu-1 ($\approx 900\text{-}1050^\circ\text{C}$). Essas temperaturas são próprias de espinélios formados em um manto ligados a crátons e que sugerem um gradiente geotérmico da ordem de 35mw/m^2 (cf. Griffin & Ryan, 1995 e referências). Na mesma Figura 5-3 são também dados os histogramas de temperatura calculados para xenocristais de espinélios do meta-vulcanito alcalino Pré-cambriano encontrado na cidade de San Miguel (*Alto de Caapucú*) $\approx 1145\text{-}1300^\circ\text{C}$, e para cristais de espinélio que ocorrem no espinélio-peridotito que carrega o nefelinito Terciário de Nemby (cf. Demarchi et al., 1988) $\approx 1200\text{-}1300^\circ\text{C}$, temperaturas que mostram um alto fluxo térmico e assim provavelmente acusando fluxos termais próprios de regiões de borda de cráton e/ou faixas móveis nos domínios tectônicos onde ocorrem as rochas que trazem estes xenocristais (p/ex. Rock, 1991; Nixon, 1987).

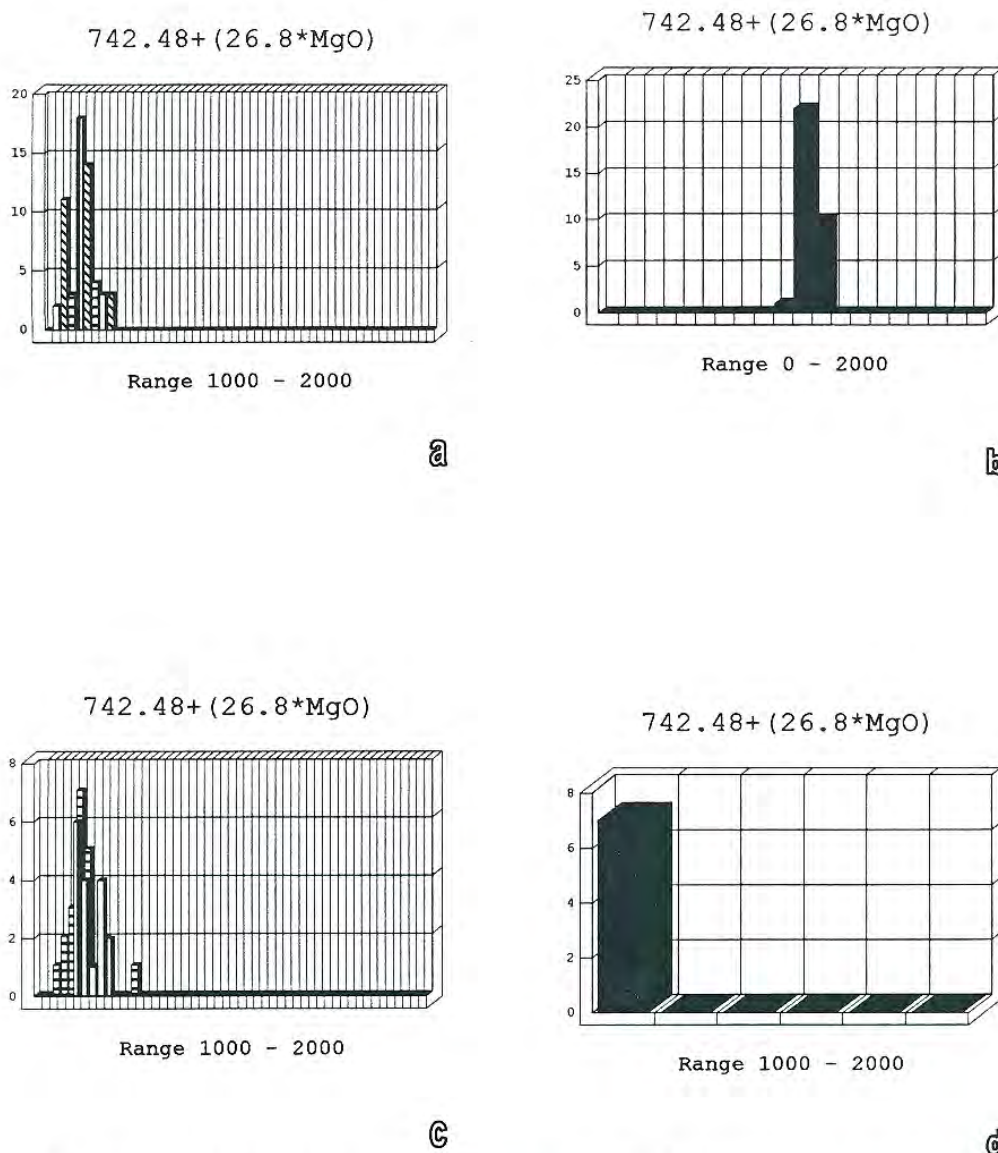


Figura 5-2. Histograma do termômetro TMg. (a), temperaturas ($T^{\circ}C$) obtidas nos espinelos incluídos nos diamantes e nos espinelos associados/não associados ao diamante em peridotitos da C.I.S (Rússia) que mostra $T: 1020-1180$. (b) temperaturas obtidas em inclusões de espinelos nos diamantes e nos xenocristais de espinelos dos *pipes* do Crato de Kimberley (Austrália), com $T: 900-1100$. (c) temperaturas obtidas em inclusões de espinelos nos diamantes e nos xenocristais de espinelos dos *pipes* do craton de *South African* (Sul da Africa), com $T: 1030-1100$. (d) temperaturas obtidas em inclusões de espinelos nos diamantes do crato na China (ex *pipe* Liaoning#42), com $T 1055-1110$. As temperaturas da ordem de $850-1100^{\circ}C$ definem um gradiente geotérmico da ordem de $35\text{mw}/\text{m}^2$ (1) e as de $950-1200^{\circ}C = 40\text{mw}/\text{m}^2$ (2)(Griffin & Ryan,1995). $\approx(1)$ em Rússia; Kimberley e *South African* (em orangeitos) e $\approx(2)$ em *South African* (em kimberlitos) e China. Dados que mostram como TMg define gradientes geotérmicos similares aos estimados por Griffin & Ryan (1995) pelo termômetro TNi. Fontes: Griffin et al. (1992); Bulanova (1995); Daniels & Gurney (1989); Jaques et al. (1984;1994); Atkinson et al. (1984); Fipke (1994); Meyer et al. (1994) e os citados no texto.

O termômetro TMg poderia ser aplicado a espinélios do *trend* magmático apesar de que a equação permite temperaturas mínimas de $\sim 770^\circ\text{C}$. Entretanto, neste trabalho preferiu-se aplica-lo só aos xenocristais; futuras pesquisas poderão ser conduzidas para testar o alcance deste termômetro.

Observa-se que as inclusões de espinélios da série da cromita nos diamantes possuem pelo geral >55 a $\approx 70\%$ de Cr_2O_3 (cf. Nixon 1987); embora que a janela do diamante, segundo Nickel & Green (1985), oscila entre 40-55 Kb, o teor de crômio medido nos espinélios da Série da Cromita, que ocorrem nos diamantes e/ou em espinélios peridotíticos do manto, com ou sem diamantes, deveria ser um sensor da pressão.

Doroshev & Turkin (1982) e Turkin et al. (1983) investigaram a composição da granada e do espinélios nos 4 minerais de paragenese harzburgítica ($\text{Gr}_{\text{ss}}+\text{Opx}_{\text{ss}}+\text{Sp}_{\text{ss}}+\text{Fo}$), no sistema $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{Cr}_2\text{O}_3$ (MASCr) sob pressão de 30, 40, 55 e 70 kbar, e temperaturas compatíveis mostrando que:

1-o componente knorringita nas granadas aumenta com o incremento da P e da T (traço negativo de dP/dT das isolinhas de Cr);

2-o componente picrocromita (=cromita magnesiana) nos espinélios aumenta com a P e decresce com o aumento da T (positivo traço dP/dT das isolinhas Cr).

Brey et al. (1991) com base ao encontrado por Doroshev & Turkin (1982) e Turkin et al. (1983) investigaram o comportamento da razão $\text{Cr}/(\text{Cr}+\text{Al})$ nos espinélios e nas granadas (ambos cromíferos) e mostraram, que para os espinélios o valor do $\text{Cr}/(\text{Cr}+\text{Al})$ é aproximadamente diretamente proporcional ao aumento da P e da T. Posteriormente, Doroshev et al. (1997) estudando experimentalmente a assembléia mineral granada+ortopiroxênio+eskolaita e granada+ortopiroxênio+espinélio+forsterita a 30-60 kbars e $1200-1500^\circ\text{C}$ verificaram que o valor de Cr# nos espinélios muda num intervalo curto, de 0.76 (40 kbar, 1400°C) a 0.86 (60 kbar, 1500°C); e assinalando que o efeito da temperatura é negativo a todas as pressões estudadas. O incremento da temperatura de 1200 a 1500°C resulta em um decréscimo das moléculas de picrocromita de 0.83 a 0.76 a 40 kbars e de 0.88 a 0.80 a 50 Kbar.

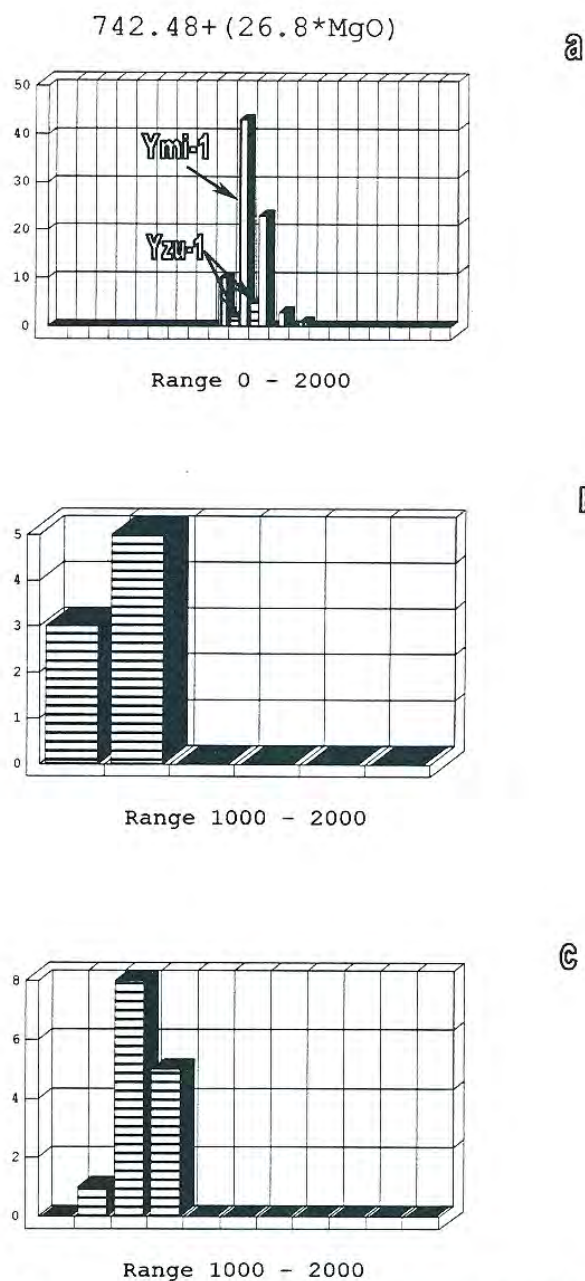


Figura 5-3. Histograma do termômetro TMg: espinélios do Paraguai. (a) temperaturas de 850-1050° C (Ymi-1) e 900-1050° C (Yzu-1) foram obtidas nos xenocristais de espinélios estudados neste trabalho; eles são comparados com as temperaturas que podem ser registradas em espinélios encontrados no metalvulcanito alcalino (b) Pré-cambriano da cidade de San Miguel (Alto de Caapucú, ver Capítulo 2) que ocorre, como indicado no Capítulo 2, em terrenos de borda cratônica $\approx 1145-1300^\circ\text{C}$ (Presser dados não publicados) e as temperaturas que podem ser registradas em espinélios dos peridotitos que ocorrem no nefelinito Terciário Nemby (Demarchi et al., 1988), considerado neste trabalho como ocorrendo em ambiente de faixas móveis, em temperaturas entre 1200-1300°C.

Como comentado ao início deste item, uma revisão dos diferentes termo-barômetros empregados em xenólitos peridotíticos com granada são encontrados em Finnerty & Boyd (1987) e também em Finnerty (1989); sendo que aparecem correntemente problemas, quando muitos dos consagrados métodos não colocam acertadamente xenólitos diamantíferos na janela do diamante, e os xenólitos com grafita e/ou anfibólio, e/ou com flogopita no campo de estabilidade da grafita.

Na Figura 5-4 (a) foram lançados os valores de Cr# de espinélios que coexistem com o diamante (inclusos em diamante ou junto ao diamante em peridotitos) e aqueles que coexistem com a grafita, flogopita e anfibólio, e na Figura 5-4 (c) os dados dos espinélios inclusos nos diamantes sendo que os valores da P foram determinados com base ao apresentado por Doroshev et al. (1997). Este barômetro de Doroshev et al. (1997) desloca no plano da grafita espinélios que coexistem com o diamante (Figura 5-4 (a)) e espinélios que estão inclusos nos diamantes (Figura 5-4 (c)); mostrando assim que este barômetro estaria subestimado em alguns kbars a pressão real na qual se formaram estas inclusões. Entretanto, porquanto que o teor do Cr nos espinélios seja um fator dependente da P (Daniels, 1992 em Gurney & Zweistra, 1995) julgo-se como necessário levar em consideração o teor em Cr₂O₃ registrado nos espinélios cromíferos. Assim, se pesquisou se o teor de crômio multiplicado pelo valor do Cr# ($Cr/(Cr+Al)$) (=barômetro de Doroshev et al., 1997) conseguiria colocar acertadamente xenólitos diamantíferos na janela do diamante e os xenólitos com grafita e/ou anfibólio, e/ou com flogopita no campo de estabilidade da grafita e assim reproduzir adequadamente a pressão de formação destes espinélios. Empregando o termômetro TMg e o valor de Cr₂O₃ multiplicado pelo valor de Cr# aos espinélios pesquisados da fácies do diamante e da fácies da grafita (Figuras 5-4 e 5-4 (c)), nas Figuras 4-8 (b) e (d) testou-se o grau de precisão da pressão de formação i.e., colocando espinélios da fácies do diamante no campo de estabilidade do diamante e colocando espinélios da fácies da grafita no campo de estabilidade da grafita. Esta variação ao barômetro de Doroshev et al. (1997) mostra-se efetivo colocando perfeitamente no plano/junto ao plano de estabilidade do diamante, espinélios que coexistem com diamante (Figura 4-8b) e espinélios inclusos nos diamantes (Figura 5-4 (d)).

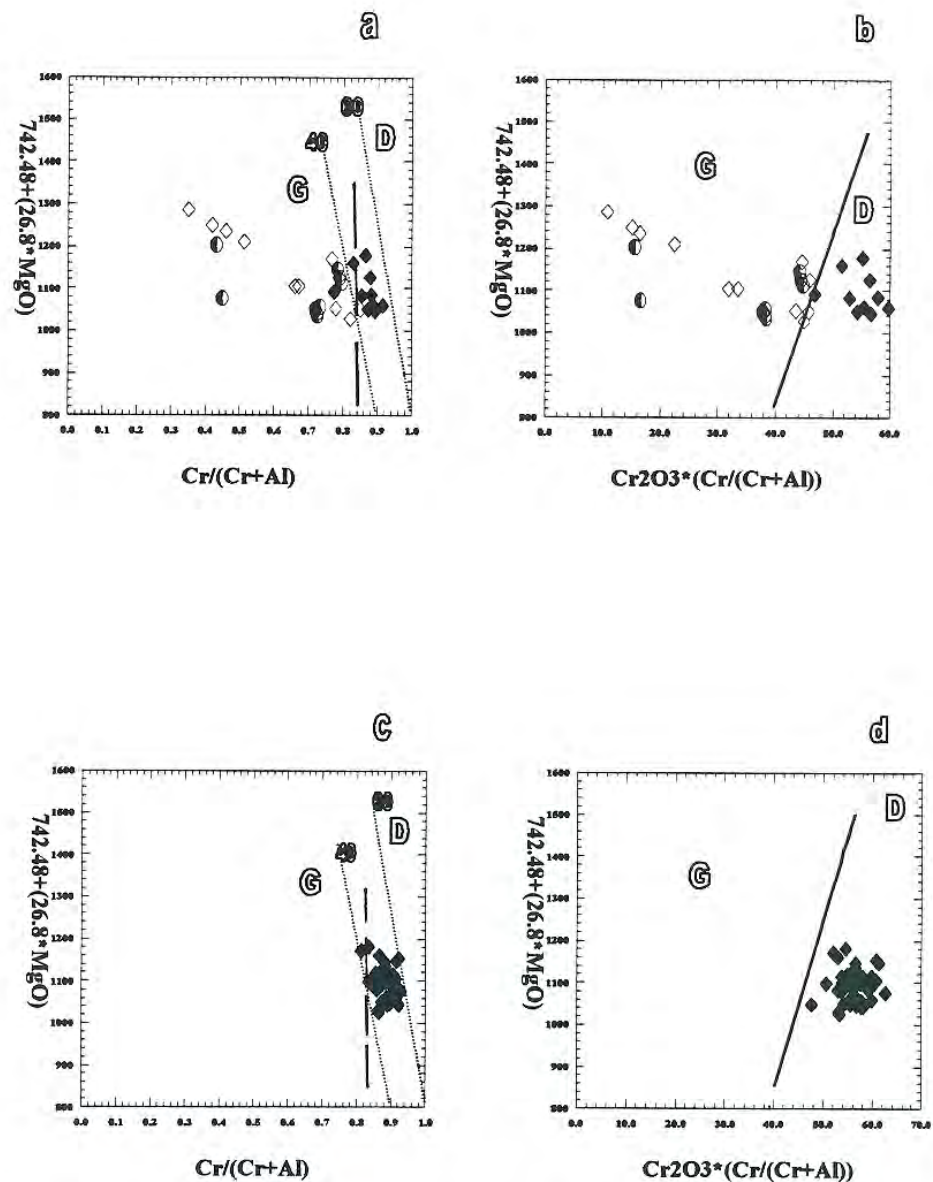


Figura 5-4. P-T em espinélios. (a) diagrama Cr# vs T (TMg) e (b) PCr# vs T (TMg) em espinélios que coexistem com grafita/anfibólio/flogopita (em círculo); aqueles espinélios que coexistem com diamante: inclusos neles e/ou encontrados em peridotitos diamantíferos (rombo cheio) e aqueles xenocristais de espinélios que ocorrem como concentrados em fontes ígneas diamantíferas (rombo vácuo). O mesmo procedimento de (a) traçado só para inclusões de espinélio em diamante, é mostrado em (c) e em (d) são mostrados para as mesmas inclusões como feito em (b). O campo de estabilidade da grafita (G) e o Diamante (D) com base a Kennedy & Kennedy (1976). As linhas de P em (a) e em (c) foram traçadas conforme Doroshev et al. (1997). Em (b) e (d) os cálculos de P e as fontes dos dados ver no texto.

Desta forma acredita-se que fica levantado como proposição que o valor da razão Cr# nos espinélios multiplicado pelo teor de Cr₂O₃ nos mesmos espinélios, pode ser empregado como um barômetro (=PCr#) e sua aplicação pode ser levada a um monocrystal; isto é observado não como um novo barômetro e sim como uma leve modificação do barômetro de Doroshev et al. (1997). Empregar um monocrystal para obtenção de dados termométricos (Griffin et al., 1992; 1993; Presser, 1997 e Presser & Da Silva 1997) barométricos (Brey et al., 1991; Doroshev et al. 1997) constituem portanto não uma novidade.

Os dados colocados nas Figuras 5-4 foram extraídos de Svisero (1975); Popilenko et al. (1972); Sobolev et al. (1972; 1997); Nixon & Boyd (1973); Smith & Dawson (1975); Dawson & Smith (1975); Boyd & Nixon (1973); Haggerty (1973); Erlank et al. (1987); Witerburm et al. (1990); Griffin et al. (1993); Jaques et al. (1989;1990; 1994); Reid et al. (1975); Danni et al. (1991); Bulanova (1995); Meyer et al. (1994). O plano de separação da grafita e do diamante pertence a Kennedy & Kennedy (1976) i.e., $19.4+T^{\circ}\text{C}/40 = \text{kbar}$.

Quando comentado o termômetro do Mg observou-se que aparentemente seu emprego poderia ser estendido a espinélios da séries espinélio e magnetitas (MgO até <1%). No caso do barômetro PCr#, como mostrado nas Figuras 5-4 (d), a P parece ser confiável até um máximo de ~65-70 kbar. Valores de 70-75 kbar (≈238 km) foram calculados como limites de estabilidade do par granada-espinélio cromíferos (Doroshev et al., 1997) e também são próximos aos estimados como limite da raiz do manto em áreas cratônicas (cf. Nickel & Green 1985, Griffint & Ryan 1995). As figuras 5-4 (b) e 5-4 (d) permitem também observar que espinélios inclusos em diamante e os encontrados em peridotitos diamantíferos formaram-se entre pressões de ≈50 a ≈60 kbar, que são valores similares ao freqüentemente registrado na literatura (ex. Jaques et al., 1990; 1994).

Aplicando o termômetro TMg e o barômetro PCr# aos xenocristais de espinélios de Ymi-1 (concentrados, microfenocristais e inclusões) colocam-se dentro e fora do campo de estabilidade do diamante (Figura 5-5). Os cristais alocados na janela do diamante apoiam o sugerido pelos mesmos espinélios quando eles lançados nos sistemas Picrocromita-Cromita-Espinélio-Hercynita e MgFe₂O₄-MgCr₂O₄-MgAl₂O₄

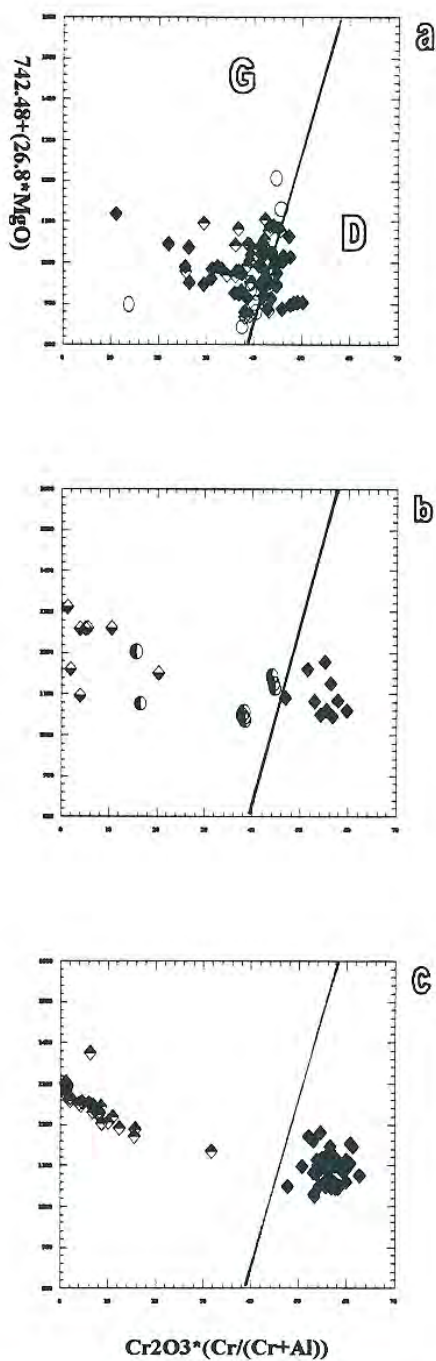


Figura 5-5. P-T em espinélios do Paraguai Centro Oriental. (a) espinélios de Ymi-1 (fen-círculos; incl.-triângulo meio cheio e conc.-rombo cheio) e Yzu-1 (quadros) com relação ao campo de estabilidade do diamante (D) e a da grafita (G); são comparados com xenocristais de espinélios do meta-vulcanito alcalino Pré-cambriano de San Miguel (b, ver texto) e peridotitos com espinélios portados pelo nefelinito Terciário de Nemby (c, triângulo meio cheios). (b) similar a Figura 4-8b e (c) similar a Figura 4-8d.

(Figura 4-2) que mostram afinidade dos espinélios de Ymi-1 e Yzu-1 com espinélios da fácies do diamante. Em número maior espinélios das inclusões se espalham pelo campo de estabilidade da grafita -próximos ao campo de estabilidade do diamante, a diferença das inclusões de Yzu-1 que se situam em maior número no campo de estabilidade do diamante e o resto no campo de estabilidade da grafita. Na Figura 5-5 são também colocados para comparações espinélios do meta-vulcanito alcalino Pré-cambriano da cidade de San Miguel (**SM**)(5-5 (b)), que sugerem precedência de um manto profundo ($\approx 70-36$ km) e os do peridotitos com espinélios analisados por Demarchi et al. (1988) que ocorrem no nefelinito Terciário da cidade de Nemby (**PN**)(5-5 (c)) e que sugerem precedência de um manto mais raso ($\approx 50-5$ km) com um cristal (24/3282) que parece provir de fontes mais profundas (≈ 107 km).

Os dados P-T nos corpos Ymi-1 e Yzu-1 sugerem precedência de fontes peridotíticas ligadas a ambientes cratônicos; as do SM e PN sugerem procedência de fontes peridotíticas mais rasas, esta como freqüente das regiões adelgadas, p/ex. borda cratônica no caso de SM, que pode-se seguir pelos dados de T acima comentados e; PM faixa móvel como também sugeridos pelos dados de T.

Desta forma, os dados P-T praticados nos xenocristais de espinélio de Ymi-1 e Yzu-1 sugerem que “lamprófiros” picríticos (ver Capítulo 3) amostraram peridotitos de um manto litosférico profundo ($\gg 150$ km de profundidade) crátonizado, que no Jurássico (~ 130 Ma) possuía o gradiente geotérmico de 35mW/m^2 , como pode ser deduzido para o cráton Rio de La Plata, onde estão vinculadas estas intrusões, pelas interpretações geofísicas nele levantadas (ver Capítulo 2).

Ambiente redutor vs oxidante

Fugacidade de oxigênio inferiores ao tampão QFM (quartzo-fayalita-magnetita) são indicativos de condições favoráveis para a formação e preservação do diamante (Ramsay & Tompkins, 1994). Quando investigados os xenocristais de espinélio de Ymi-1 no diagrama $\text{Fe}^{3+}/(\text{Fe}^{3+}+\text{Fe}^{2+})$ vs Cr# (Ramsay et al., 1994) indicam condições de formação abaixo do tampão QFM (Figura 5-6), com concentrações elevada das inclusões e alguns espinélios dos concentrados no tampão Q-1 (QFM, menos uma unidade logarítmica). Na mesma figura é evidenciado também que os

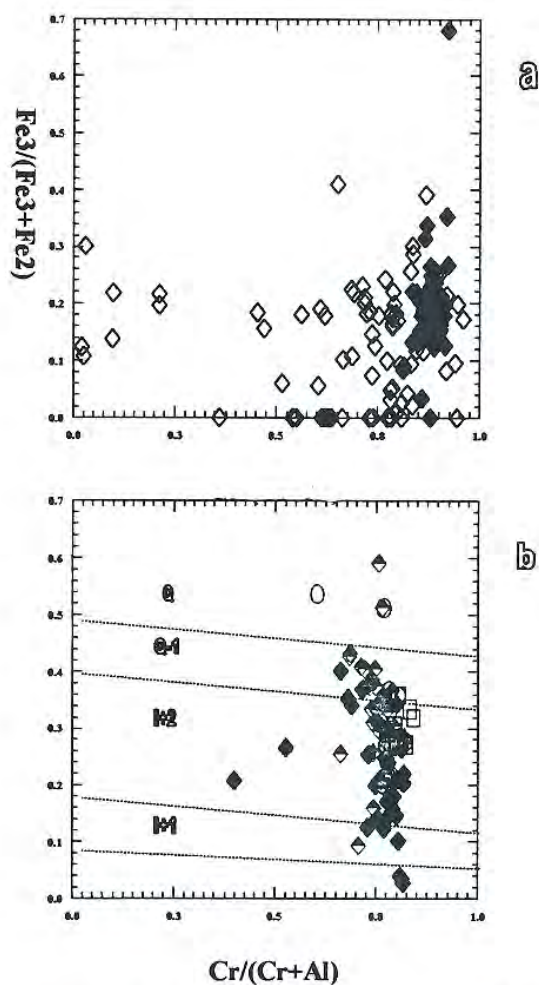


Figura 5-6. Condições de fugacidade de oxigênio nos espinélios. (a) xenocristais e cristais de espinélios associados ao diamante/inclusos no diamante no diagrama $Fe^{3\#}$ vs $Cr\#$ (Ramsay & Tomkins 1994; Ramsay et al., 1994) que evidência condições de fugacidade de oxigênio dos espinélios da fácies diamantífera ($\sim 0.4 Fe^{3\#}$); quando comparadas a eles os xenocristais de Ymi-1 e Yzu-1 (em b) permitem estimar para esses corpos as condições de fugacidade de oxigênio como esperadas para a formação do diamante. Os tampões em (b), colocados aproximadamente: Q = quartzo-fayalita-magnetita, Q-1 = quartzo-fayalita-magnetita menos uma unidade log., I+1 = ferro-wüstita mais uma unidade log., I+2 = ferro-wüstita mais duas unidades log. Simbologias em (b) quadros Yzu-1 e rombos Ymi-1. Fontes são citadas no texto.

microfenocristais, espinélios de concentrados e algumas inclusões apresentam fugacidade ainda menor, i.e., <I+1 (Ferro-Wüstita, mais uma unidade logarítmica), a I+2 (Ferro-Wüstita, mais duas unidades logarítmicas). São valores de fugacidade de oxigênio muito favoráveis à formação do diamante nas raízes cratônicas. Assim também as inclusões analisadas em Yzu-1 formaram-se num ambiente com tampão Q-1-I+2 (Figura 5-6). Como indicado por Foley (1985; 1989), para os magmas lamproíticos, a fugacidade de oxigênio ao tempo de cristalização dos fenocristais pode ser estimada pela composição dos espinélios cromíferos inclusos nos fenocristais de olivina. Se aplicado a Ymi-1 e Yzu-1, que apresentam abundantes inclusões de espinélios nas olivinas, pode-se esperar condições de transporte com fugacidade de oxigênio favoráveis para a preservação de diamante conquanto estes “lamprofíros” picríticos apresentam fugacidade de oxigênio definida pelos tampões I+1 a Q-1.

Pesquisado espinélios descritos em *pipes* diamantíferos, observou-se que os espinélios do *trend* magmático (Mitchell 1986; 1985; Mitchell & Bergman, 1991) apresentam concentrações de Fe₂O₃ muito baixas (ex Argyle com <5%, cf. Jaques et al., 1989), moderadas (ex. Prairie Creek com ~45%, cf. Mitchell & Bergman, 1991 e referências) a altas (ex. Três Ranchos 4 com ~54%, cf. Danni et al. 1991; Costa 1995). Concentrações muito elevadas (~60%) do Fe₂O₃ são observadas nos *pipes* estéreis (p/ex. Peuyuk, cf. Mitchell 1986). Embora ainda não avaliado em Ymi-1, ele possui espinélios com Fe₂O₃ inferiores a 45% (ver apêndice A4), teores comparáveis com alguns *pipes* sub econômicos (p/ex. Ellendale 4, com ~15 ct/100t, Hall & Smith, 1985) a econômicos (p/ex. Dutoitspan com ~20 ct/100t, Jennings 1995).

Ilmenitas de baixo teor em MgO estão enriquecidas em Fe²⁺, porém também em Fe³⁺ e, assim, a série da ilmenita serve como *index* do ambiente de oxidação, este um fator importante na preservação do diamante, tanto na região de origem como no conduto eruptivo (Haggerty, 1994). Ilmenitas analisadas em Ymi-1 e Ymi-8 no sistema MgTiO₃-FeTiO₃-Fe₂O₃ (Figura 4-4) a 1300°C (Woermann et al., 1970; Haggerty et al., 1979, citados em Haggerty, 1991) observa-se que eles apresentam condições de oxidação/redução em torno do tampão 10⁻⁶ (~*buffers* wüstita-magnetita a 30 kbar e 1300°C); i.e., um ambiente relativamente redutor o que aponta positivamente para a preservação do diamante.

Nos últimos anos foi evidenciado que o diamante pode ser trazido a superfície, além dos consagrados kimberlitos e orangeitos e os procurados lamproítos, através de vários outros tipos de rochas alcalinas como lamprófiros ultramáficos (Hamilton & Rock, 1990) e alcalinos (Jaques et al., 1989) e outras rochas basaltóides alcalinas comentadas em Janse (1994b). Entretanto, os lamprófiros cálcio-alcalinos (ex. as minettas) são referidos ainda modestamente como provável nova classe de rochas diamantíferas (Duggan & Jaques 1996, ver também Bergman et al., 1988). Destacado em capítulos anteriores o pipe Ymi-1 trataria-se de um lamprófiro picrítico cálcio-alcalino (e aparentemente também Ymi-8); fato que pelo menos em relação a Ymi-1 evidenciaria de que lamprófiros cálcio alcalinos são também uma nova fonte dos diamantes.

Na Figura 4-4 foram também lançados as ilmenitas dos lamproítos Yzu-2, Yzu-3 e Yzu-6. Nesta figura observa-se que as ilmenitas colocam-se em volta do tampão 10^7 , tampão EMOG a 29.6 kbar e 1230°C; quando comparadas com a fugacidade de oxigênio das ilmenitas de outros lamproítos (Figura 4-4), o comportamento das ilmenitas neste trabalho estudadas apresenta semelhanças.

CAPÍTULO 6

Considerações e conclusões

Aspectos geodinâmicos sobre o assoalho da Bacia do Paraná: O Paraguai Oriental

A temperatura é um parâmetro importante que controla todas as propriedades físicas das rochas utilizadas em estudos da litosfera profunda, através dos métodos geofísicos, e assim a litosfera espessa e fria tem uma assinatura potencialmente regional para as técnicas geofísicas (Morgan, 1995).

Foram propostos dois modelos *end member* a fim de explicar a estrutura termal da litosfera espessa e fria:

O primeiro modelo faz uma análise dos dados de fluxo de calor global constante que são interpretados indicando que na litosfera continental estável (último evento térmico ou tectônico principal Paleozóico ou anteriores) possui fluxo de calor debaixo da lâmina da crosta superior, a região onde o enriquecimento da produção de calor é relativamente constante, com um valor $27 \pm 4 \text{mWm}^{-2}$. Esta análise pressupõe que o fluxo de calor de superfície de 35mWm^{-2} seja o resultado de uma crosta superior que contribuiu com 8mWm^{-2} de aquecimento radiogenico na produção para o fluxo de calor de superfície.

Um segundo modelo assume que todo aquele calor seria desviado da litosfera espessa de crátons do Archeano pela estabilidade geodinâmica da raiz cratônica litosférica espessa por transmissão na astenosfera (Ballard & Pollack, 1987). Neste modelo, para determinação das variações de espessura na litosfera foram ajustados parâmetros fixos e os parâmetros de modelos de forma que o gradiente da

temperatura no manto sub litosférico (astenosférico) era adiabático. Este gradiente adiabático essencialmente controla a temperatura como uma função da base da litosfera. O modelo de referência deste tipo usado por Ballard & Polack (1987), para um cráton com cerca de 300 km de espessa litosfera, com um fluxo de calor de superfície de 40mWm^{-2} , e uma crosta de 40 km de espessa com um calor radiogênico inferior uniforme, aquece a produção de $0.72\ \mu\text{Wm}^{-3}$.

A diferença térmica básica entre os dois modelos *end member* é que o primeiro modelo assume que todas as diferenças no fluxo de calor de superfície em regiões estáveis são causadas através de variações na produção de calor da crosta superior, e as mudanças em espessuras da litosfera é um resultado destas variações. O segundo modelo assume que nas regiões estáveis a espessura da litosfera é um parâmetro independente, e o fluxo de calor superficial é uma resposta das espessuras da litosfera e mudanças laterais na produção de calor crustal (Morgan, 1995).

O modelo petrológico sobre raiz do manto (diamantífero) implica que a litosfera debaixo dos crátons do Archeano é mais fria e mais refratária do que a do manto superior adjacente. Este modelo é apoiado por dados sismológicos e dados geotérmicos que sugerem que as placas em regiões continentais mais antigas são em média de maior espessura estando embaixo recoberta por extensa capa de material de manto anômalo (Helmstaedt & Gurney, 1995). Se assume-se a variação da espessura da litosférica, ela será controlada geodinamicamente pela intrínseca raiz litosférica estável (Ballard & Pollack, 1987); nela não há nenhuma largura de superfície mínima de uma anomalia com a raiz litosférica podendo existir independentemente das condições térmicas próximas à superfície. Porém, a análise da raiz litosférica estável foi postulado baseado em baixo fluxo de calor superficial, e as análises assumem variações significantes na produção do aquecimento crustal. Pode-se assumir em prática que se tais raízes existem, elas são expressadas em anomalias de até valores de 40 a 45mWm^{-2} ou menos. Infelizmente poucas áreas dispõem de dados suficiente sobre a densidade de fluxo de calor superficial para confirmar a associação destas condições e recursos do diamante. Na determinação das temperaturas de assinaturas geofísicas relacionadas

para a exploração regional de diamante, é, assim, assumido uma geotherma consistente com cerca de 200 km de espessura da litosfera. Para a gênese e preservação de diamantes, a base da litosfera deve estar no campo de estabilidade do diamante. Na base da litosfera, geralmente são assumidas temperaturas como que estão dentro do intervalo de 1200 a 1600°C (Morgan, 1995).

De acordo com Ballard & Pollack (1987), uma raiz cratônica relativamente fria, convectiva e pobremente condutiva, de material empobrecido, estende-se a profundidades de 200-400 km e pode desviar bastante longe o calor do cráton respondendo por 50-100% do contraste, por exemplo, observado no calor de fluxo superficial entre o cráton Archeano de Kaapvaal-Limpopo-Zimbábue ($\sim 40 \text{mWm}^{-2}$) e a faixa móvel que o rodeia ($\sim 65 \text{mWm}^{-2}$). Os dados de fluxo térmico de $\pm 40 \text{mWm}^{-2}$ foram encontrados na Bacia do Paraná (Hamza & Munoz, 1996; Hamza, 1997).

Duchkov & Sokolova (1997) estudando a estrutura termal da litosfera da plataforma Siberiana (com $\sim 1600 \times 1800$ km de diâmetro) concluíram que ela não difere em muito de outras plataformas antigas do mundo: seu fluxo de calor comum é $30\text{-}40 \text{mWm}^{-2}$, temperatura comum no limite de Moho ($-330\text{-}350^\circ\text{C}$), e a espessura desta litosfera térmica é de aproximadamente 200 km.

Geothermometria e geobarometria de xenólitos podem ser empregados para deduzir as feições geotermiais em profundidade. Onde estes dados foram levantados, em regiões associadas com diamantes, eles invariavelmente indicaram espessuras da litosfera ao redor 200 ± 40 km (cf. Boyd & Finnerty, 1980). No Capítulo 5 foram comparados os dados geotérmicos de xenocristais de espinélios dos corpos Ymi-1 e Yzu-1 com os dados geotérmicos obtidos, também em xenocristais de espinélios (de peridotitos e como inclusões de diamantes), dos diferentes corpos da plataforma Siberiana. Os dados térmicos dos corpos estudados assemelham-se em muito aos obtidos para a plataforma Siberiana; i.e., fluxo de calor $\sim 30\text{-}40 \text{mWm}^{-2}$; e se comparado com o modelo de referência usado por Ballard & Polack (1987) sugere, também, um cráton com cerca de 300 km de espessa litosfera, com um fluxo de calor de superfície de 40mWm^{-2} , e 40 km de espessa crosta (40-47 km determinado, para o assoalho da Bacia do Paraná, por Assunção et al., 1997).

A densidade das rochas é uma função da temperaturas e estes parâmetros estão relacionados pelo coeficiente de volume de expansão térmica da rocha. Regiões com litosfera espessa e fria deveriam ser caracterizadas através da gravidade de Bouguer que são anomalias relativamente positivas com respeito a regiões com litosfera mais quente, e mais delgada. Há regiões nas quais os valores das anomalias de gravidade de Bouguer relativamente positivas coincidem com ocorrências do diamante, como os “kimberlitos” diamantíferos de Mengyin (Província de Shagdong) na China Norte (Zhang et al., 1994; Morgan, 1995). O Maciço Curitiba e o “cráton” Luis Alves, porção leste do sul do Brasil, registra anomalias positivas de Bouguer (Hallinan et al., 1993; Quintas, 1995) e associados a estas feições ocorrem depósitos de diamante nos leitos dos rios vizinhos à região de Tibagi (Chieragatti, 1996) e rio Itararé (Svisero, 1994). Porém, esta correlação não é comum, e parâmetros diferentes de temperaturas que controlam a densidade da litosfera também devem ser considerados. Assim também, assinaturas mineralógicas distintas podem ter um controle mais forte em cima da densidade do manto litosférico que os efeitos da temperatura, desta forma se explica a correlação fraca entre a assinatura de gravidade predita de uma raiz litosférica fria, espessa (i.e., manto sub-litosférico) e as ocorrências de diamante (Morgan, 1995). No Capítulo 2 foi levantado o fato que Quintas (1995) com base a dados gravimétricos definiu para o assoalho da bacia do Paraná um mosaico de blocos, sua geometria e localização das principais zonas de falhamento; sendo que, o modelamento isostático permitiu-lhe também, entre outras coisas, definir um bloco que possui características de litosfera espessa e resistente (*crátonic-like block*) ao que denominou de Paranapanema; isto como mostrado na Figura 2-3 possui uma largura >1600 km e espessura variável de ~300 a 600 km. O Bloco Paranapanema, constitui, como comentado no capítulo 2, o assoalho do segmento oriental do *rift de Asunción*, e que hospeda as intrusões de Ymi-1, Yzu-1, entre outras. Bloco cratônico que reúne as dimensões de largura e espessura mínimas para constituir-se em uma janela para o diamante.

Morgan (1995) comenta que para que as anomalias térmicas litosféricas sejam significativas para janelas do diamante, elas têm que ter um diâmetro mínimo de cerca de 400 km; este mesmo autor considerando que se pode concluir

semelhantermente em função das anomalias de gravidade, que estão direta-ou-indiretamente relacionados às anomalias térmicas, pode-se esperar anomalias de gravidade de uma largura semelhante.

Com base na tomografia sísmica, Grand (1987) considerou que o escudo e a plataforma estável de América Norte coincidem com uma região de onda *shear* relativamente rápida e aquelas ondas profundas de velocidade alta da raiz do manto, estando situadas em baixo das províncias Arqueanas Superior e Slave do escudo canadense (uma área de grande interesse atual para exploração de diamante). Estas anomalias parecem debilitar-se a uma profundidade de 200-300 km, porém, sugerindo com clareza que a litosfera é fria e espessa (Morgan, 1995). Como as raízes do manto crátonizado são gravitativamente estáveis, e assim devem estar compostas de material menos denso, as velocidades das *shear wave* (SW) mais altas dentro das raízes requerem temperaturas mais frias, relativo à astenosfera mais quente adjacente (Helmstaedt & Gurney, 1995). Dessa forma, segundo Morgan (1995), numa litosfera espessa e fria prevê-se uma velocidade sísmica inferior que numa litosfera mais afinada e mais quente; prevê-se também velocidades locais a qualquer profundidade específica mais altas na raiz litosférica espessa e fria do que na litosfera mais quente adjacente ou astenosfera à mesma profundidade. Uma diferença de temperatura lateral de 100°C que poderia ser muito significativa em termos de estar acima ou abaixo da transição do diamante e da grafita, resultaria numa mudança de velocidade de cerca de 0.5 kms⁻¹, ou aproximadamente 6% em 8 kms⁻¹, na velocidade de onda compressional. São previstas mudanças semelhantes em velocidades de onda de *shear*. Assim, raízes litosféricas espessas e frias estarão associadas com velocidades de onda compressional normal e velocidades de onda *shear* a profundidade, com anomalias da ordem de poucos por cento (Morgan 1995).

Como as temperaturas aproximam o solidus, há uma diminuição marcada no módulo de rigidez de materiais de rochas e a taxa de diminuição em velocidades sísmicas, como uma função de temperatura crescente, aumenta, especialmente para as ondas *shear*. Normalmente é chamada esta diminuição de velocidades sísmicas do manto superior como zona de baixa velocidade (LVZ) e é considerado tipicamente para

marcar o topo do astenosfera . Assim, uma baixa (100 km ou menos) LVZ indica litosfera delgada, morna ou quente; uma profunda (>150 km) LVZ, indica litosfera espessa e fria (Morgan, 1995). De fato, LVZ abaixo das regiões cratônicas podem ser muito mal definidas (Jordan, 1975). Medidas de velocidade sísmicas do manto superior podem render valiosa informação relativo ao potencial para as condições favoráveis para gênese do diamante e sua preservação. Qualquer dos dados sísmicos fixos que demostrem informações sobre velocidades sísmicas para uma profundidade de 200 km ou maior, com uma resolução lateral de 400 km ou maior, será útil para exploração regional de uma litosfera espessa e fria (Morgan 1995).

Com a exceção de zonas de subdução, são restringidas como profundidades máximas dos hipocentros dos terremotos, correntemente, do meio à parte superior da crosta; esta correlacionada fracamente inversamente com fluxo de ondas *shear* de superfície. Assim, hipocentros relativamente fundos indicam baixo fluxo de calor (Morgan, 1995); i.e. litosferas crátonizadas. Nestas zonas também se observam queda da atividade de terremotos associados; estes devem-se concentrar longe da litosfera espessa e fria, caracterizada por escassez de sismicidade. Berrocal & Fernandes (1996) mostram a distribuição da sismicidade do Paraguai e regiões vizinhas (cordillera dos Andes e a placa Sul-Americana); estes dados sísmicos apontam hipocentros profundos (~500 a 600 km de profundidade) para o Paraguai e regiões vizinhas do Brasil evidenciando assim sismicidade típica de zonas de fluxo de calor frio; i.e. litosferas crátonizadas. James et al. (1993) comparam a região cratônica que constitui o assoalho da Bacia do Paraná com a do escudo canadense. As profundidades médias de Moho na Bacia de Paraná oriental é ~42 km (38-48 de espessura de crosta segundo Assunção et al., 1997); sendo que a velocidade alta da parte do manto-superior tem um máximo *shear wave velocity* (SWV) de 4.7 k/s, sem razoável LVZ para menos que os 200 km de profundidade. Essa sismicidade cratônica indica presença da raiz litosférica embaixo da Bacia do Paraná (Snoke & James, 1997); i.e., um manto sub-litosférico; o que também pelos estudos de SW e telesísmicos P e SW tomográficos (Van Decar et al., 1995), sugeriu-se um manto superior de alta densidade (Assunção et al., 1997).

As informações geofísicas integradas e comentadas neste item que apoiadas por alguns dados geocronológicos (~3 a 0.8 Ga), e que deram lugar ao esquema da Figura 6-1, são contundentes em assinalar para Bacia do Paraná um assoalho cratônico com raiz litosférica profunda comparável ao escudo canadense e em parte também ao escudo russo (da ordem >200 km de profundidade).

Segundo comentado no Capítulo 2, o cráton Rio de la Plata esta bem representado no Uruguai: onde terrenos do Arqueano (>2 Ga) incluem complexos de rochas granitóides com ilhas de diversa litologias de rochas metamórficas e são conhecidos como *Terrenos de Piedra Alta* ou também como Terreno Tijucas. O Terreno Nico Pérez, que engloba áreas de rochas metamórficas que sofreram retrabalhamento no Brasileiro, estão também considerados como terrenos muito antigos,.i.e. Terrenos *Arcon*. Entre estes terrenos se conhecem três faixas móveis do Proterozóico médio: Faixa *San José*, Faixa Montevideo e Faixa *Arroyo Grande*. Eles compostos por rochas metasedimentares com intercalações de rochas metavulcânicas,.i.e. Terrenos *Proton*. Os terrenos a leste (faixa costeira) estão representados por granitóides Neoproterozóicas (~0.8-0.55 Ga),.i.e. Terrenos *Tecton*.

A norte do Uruguai e no Brasil observam-se duas *janelas do embasamento antigo*: Rivera e Acegúa (2272±33 Ma); no Rio Grande do Sul é encontrado o bloco Taquarembó, (1980 a 2370 Ma, com idade Pb/Pb 2541±167 a 169 Ma), assim sugerindo um pequeno núcleo Arqueano i.e. Terrenos *Arcon*. Nos estados de Santa Catarina e Paraná, são encontrados os domínios tectônicos: Luis Alves (2.3-3.1 Ga), Curitiba (2.3-2.8 Ga) e Paranaguá (~1.97 Ga), domínios entre os quais se conhecem terrenos de “faixas móveis” do Proterozóico, como a Faixa Ribeira com idades de 1.08-2.2 Ga, que estiveram reativados na orogenia Brasileira pelas intrusões granitóide de Cunhaporanga, Três Córregos e o cinturão Dom Feliciano, que cavalga sobre a margem sul do bloco Luis Alves; i.e., pedaços do embasamento com raízes Arqueanas que estão soldados por “faixas” de terrenos Proterozóicos; no caso do Luis Alves e Curitiba.....terrenos *Arcon* e Paranaguá e o Cinturão Ribeira.....terrenos *Proton* e a faixa costeira Dom Feliciano do Brasileiro que “envolve” os pacotes *Arcon* e *Proton*terrenos *Tecton*.

No Sul, o cráton Rio de la Plata reaparece na Argentina nas Serras de Tandil, embasamento Arqueano do ciclo Transamazônico (2200 Ma) que está exposto acima de 200 km através de numerosas pequenas ilhas, que raramente excedem os 50 km² de dimensão; os que foram afetados por séries tecto-metamórficas e/ou eventos magmáticos, definidos radiometricamente, oscilando entre 2150 e 1520-1700 Ma, com a última orogenia (?) perto do 900 Ma, i.e. terrenos *Proton*. Este representando a orogenia Transamazônica, que durante o Proterozóico Médio e início do Proterozóico superior, foi seguido por granitização, alguns deles associando-se, provavelmente, com eventos orogênicosi.e. terrenos *Tecton*. Nesse caso, os domínios do cráton Rio de la Plata possuem pedaços de blocos ~Arqueanos “envolvidos/soldados” por faixas Proterozóicas, registrado em seus limites eventos tecto-termiais do Brasileiro.

O fragmento do embasamento exposto a W, no Paraguai, conhecido como *Alto de Caapucú*, corresponderia à porção W do cráton Rio de La Plata. Os dados geocronológicos são escassos (0.5-0.78 Ga = megaciclo Brasileiro, i.e. terrenos *Tecton*.; a 2.1 Ga; i.e. terrenos *Proton*) e o seu arcabouço acha-se melhor caracterizado pelos dados geofísicos, com destaque ao Bloco Paranapanema. Este bloco adentra por vários quilômetros no território paraguaio (Figuras 2-3 e 6-1) e, conquanto que os sedimentos da Bacia do Paraná encobrem este bloco, representa uma região de plataforma.

Em síntese pode-se concluir que:

As informações geofísicas (gravimetria, sísmica, aeromagnetometria e termometria) evidenciam que o cráton Rio de La Plata é formado por blocos com raízes arqueanas (Curitiba, Luis Alves, Rivera, Aceguá, Encruzilhada, São Gabriel, Taquarembó, Paranapanema) que estão soldados/bordejados por terrenos de faixas móveis do Proterozóico inferior a médio (Faixa Ribeira, Paranagúa, Cerras de Tandil?) e encobertas por terrenos do megaciclo Brasileiro. Do ponto de vista geofísico, este cráton pode ser comparado com o escudo canadense.

Dentro deste contexto, inclui-se a W os terrenos do Proterozóico inferior ao superior (*Alto de Caapucú*) no Paraguai que se estende a N no estado de Mato Grosso do

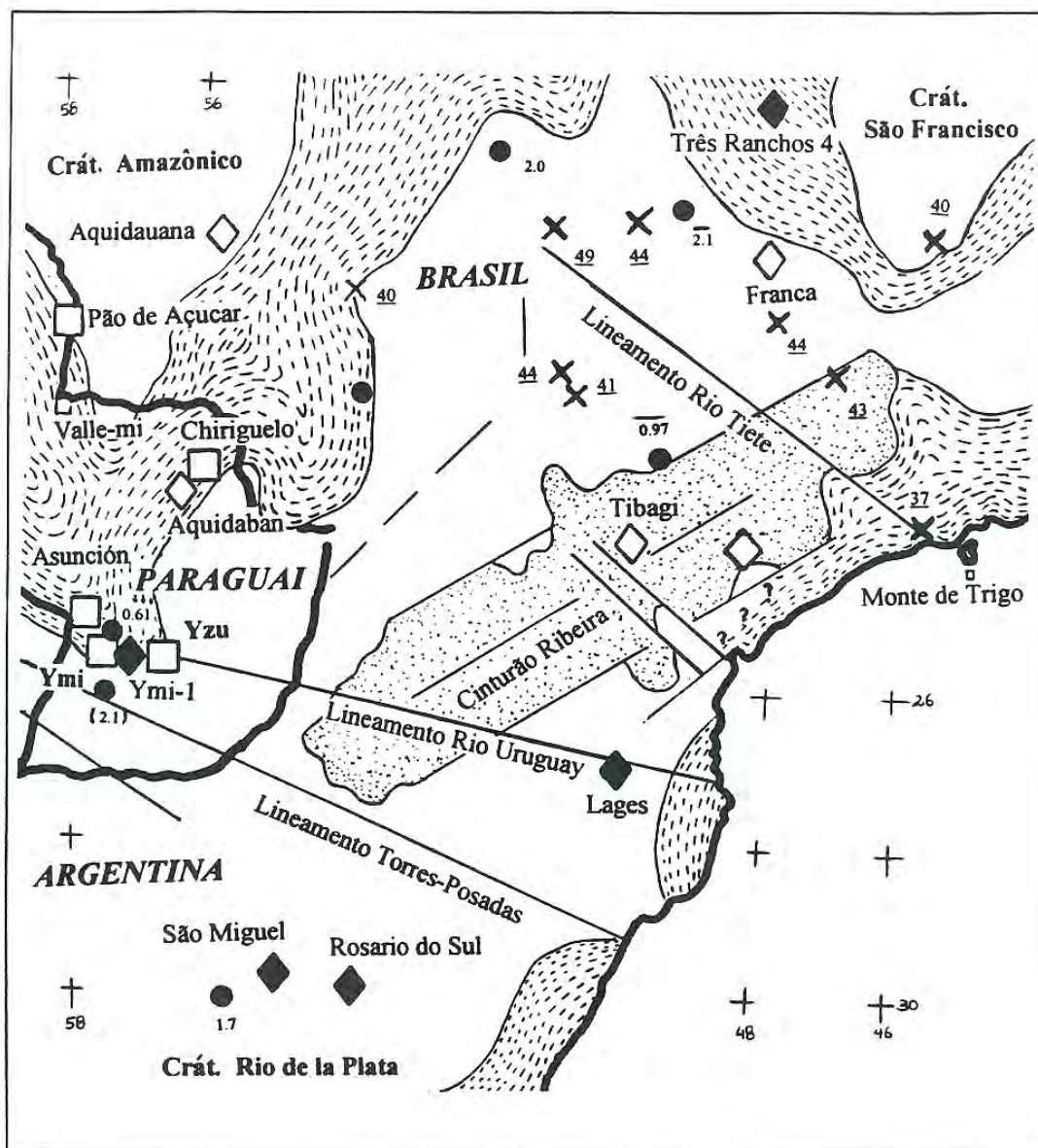


Figura 6-1. O Cráton Rio de La Plata. A figura mostra a porção Centro-Norte do cráton Rio de La Plata, assoalho da Bacia do Paraná, em uma reconstrução feita com base a Quintas (1995) modificado. São mostrados: os dados de sísmica, para a porção NNW (= Bloco Paranapanema) (Assumpção et al., 1997), com X se mostra o ponto de registro de profundidade até onde se estende o embasamento (valores sublinhados); os dados geocronológicos (círculo cheio), com as idades pelo métodos K/Ar como números, Rb/Sr (rocha total) como números sublinhados acima e U/Pb como números em parêntese. Em rombo cheio alguns destacados corpos “kimberlíticos”; em rombo vácuo ocorrências de diamante aluvial e; em quadro algumas ocorrências de rochas alcalinas relacionadas, aparentemente, com alguns dos lineamentos (“fraturas/falhas abissais”) assinalados na figura. No Paraguai os quadros mostram campos/províncias de intrusões alcalinas, com destaque os campos Ymi e Yzu e a intrusão Ymi-1. Fontes: Cordani et al. (1984), Comte & Hasui (1971), Bitschene et al. (1986), Bitschene (com. pess. 1993); Chierregatti (1989); Svisero (1994); Proyecto RADANBRASIL (1982); Danni et al. (1991); Rojas (dados não publicados); Comin-Chiaromonti & Gomes (1996). Os dados geocronológicos, do cráton Rio de La Plata, lançados não incluem os da borda leste e o cinturão que o bordejia.

Sul, em território brasileiro, com alguns dados geocronológicos (Cordani et al., 1984) que mostram a existência de terrenos *Tecton* bordejando os terrenos *Proton*. Na porção NE a Faixa Paraguai o separa do cráton Amazônico; e na porção N a Faixa Brasília o separa do cráton São Francisco (Figura 6-1).

Relações geodinâmicas com relação as intrusões estudadas

Junto a região cratônica do Paraguai situa-se o *rift de Asunción*, que como pode ser observado (Figuras 6-1, 2-8 e 2-9), esta estrutura assenta-se, por um lado, na borda de terrenos *Tecton* (evidenciado pelos granitoides Brasileiro bem conhecidos no *Alto de Caapucú* a S, e a cidade de San Bernardino a N), i.e. os segmentos Ocidental e Central; e por outro plado o segmento Ocidental (nas regiões da *cordillera del Ybytyruzú*), adentra-se no bloco Paranapanema, o qual representaria um bloco do arqueano –terrenos *Arcon*. Este arcabouço geotectônico sugere que o *rift de Asunción* constitui um *rift* pericratônico.

Conforme discutido no Capítulo 2, as rochas ígneas alcalinas Mesozóicas (província Central; magmatismo em torno de 138-98 Ma; Tabela 2-3) estão amplamente distribuídas nos três segmentos do *rift de Asunción*, espalhado-se sobretudo em dois maiores campos de intrusões dentro do *rift*: Campo Ybytymí (segmento Central do *rift*) e Campo Ybytyruzú (segmento -Oriental do *rift*, Figura 2-8).

As rochas alcalinas estão densamente distribuídas no Campo Ybytymí, segmento abatido em mais de 1000 m (Presser & Ulbrich, 1994), onde destaca-se no seu extremo norte um denso e apertado enxame de diques (*Enxame Ybytymí*) com rumo médio de N50°W, que possui uma extensão de aproximadamente 70 km, (Presser 1992 e 1994). No centro-sul deste segmento aparecem *pipes*, *plugs*, e alguns diques portadores de xenocristais e/ou microxenólitos do manto; assim como também *plugs* de rochas fonolitóides com claras assinaturas químicas (por exemplo os valores dos isótopos de Sr/Sr e Nd/Nd, cf. Velázquez, 1992; Comin-Chiaramonti & Gomes, 1996) de material proveniente de um manto profundo (C. Medina, C. Gimenez, C. Yariguá entre outros)(cf. Velázquez, 1992); aparentemente estão vinculadas com falhas abissais E-W e outras NW-SE e NE-SW (Figura 2-8 e Fotografia 1). Estas feições também sugerem um domínio ocupado por falhas profundas (crosta/litosfera?). Este

trabalho estudou alguns *pipes*, *plugs* e diques de rochas lamprofíricas que ocorrem neste campo.

No segmento Oriental ocorrem centros de efusões e intrusões de diques de composição toleítica que estão cortados por diques, enxame de diques (*Enxame Ybytyruzú* com rumo NW-SE Figuras 2-8 e 2-9), *plugs*, *pipes* e *stoks* de rochas alcalinas Mesozóicas (~130 Ma, Tabela 2-3). Neste campo foram estudadas algumas intrusões de rochas “lamprofíricas”.

De forma general, como constata-se na Fotografia 7, e também nas figuras 2-8 e 2-9, as intrusões instalaram-se segundo lineações/combinção de lineações E-W e NW-SE.

O conjunto das intrusões alcalinas dos segmentos Central e Oriental (Figura 2-8 e 2-9) permitem ao menos traçar linhas de fratura que localmente seriam as responsáveis pela colocação dos diferentes corpos magmáticos. Os traços E-W em combinação com os traços NE-SW apresentam-se como lineações importantes no *Campo Ybytymí*, enquanto que os traços E-W e NW-SE apresentam-se como estruturas destacadas no *Campo Ybytyruzú*.

A alta densidade de intrusões no campo Ybytymí que contrasta com uma densidade muito menor no campo Ybytyruzú pareceria sugerir uma região mais rúptil para o primeiro (domínio de borda de cráton) e menos rúptil para o segundo (domínio intracratônico).

No Campo Ybytymí, dentro da fossa do *rift*, são encaixantes sedimentos e rochas sedimentares pelíticas (níveis basais) a conglomeráticas (níveis do teto). Para as quais foi atribuída uma idade Permiana (Presser, 1992). Estas rochas provavelmente se depositaram isoladamente da sedimentação na Bacia do Paraná. Já no Campo Ybytyruzú as encaixantes sedimentares pertencem a unidades da Bacia do Paraná (Rochas permianas do Grupo Independencia e da Formação Misiones (=Boutucatu)).

Entre o conjunto de intrusões estudadas nesta província alcalina, os corpos instalaram-se em rochas sedimentares de idades diversas: Siluriano, Ymi-8; Permiano (?) Ymi-1, Ymi-7, entre outros (no Campo Ybytymí) e Yzu-1 e Yzu-10 (no Campo

Ybytyruzú); Triássico/Jurássico, Yzu-4 e Yzu-6. E em basaltos toleíticos da Bacia do Paraná, Yzu-2 e basaltóides alcalinos do Mesozoico, Ymi-5 e Ymi-4.

Os aspectos mais relevantes das intrusões estudadas são brevemente destacadas a seguir:

Campo Ybytymí:

O *pipe* Ymi-1 possui forma grosseiramente bilobulada a irregular (Figura 2-10) com dimensões que variam de 2050 m por 1200 e 880 m, onde são destacadas basicamente duas estruturas: uma muito desenvolvida constituída por sedimentos vulcano-epiclásticos (que possuem uma topografia plano-ondulada) e outra menor (de difícil reconhecimento no campo) constituída por rochas sub-vulcânicas (*plug*) porfiríticas de cor escura formando uma topografia ondulada, algo destacada. Janelas da rocha encaixante sedimentar dentro do *pipe* (encontradas a NNE) sugere profunda erosão do corpo. Como fase final da atividade do *pipe* aparecem a ele vinculada diques interiores ao *pipe* (Ymi-1/d) e exteriores (Ymi-1c).

O *pipe* Ymi-4 de cerca de 1258 m de comprimento possui, ainda que pouco evidente nos afloramentos, forma bilobulada. Dentro desta estrutura acham-se expostas fácies de lava roxa, fortemente vesiculada, de aspecto lamprofírico, que estão cortadas por fácies de brecha (autolítica de conducto) de uma rocha vesiculada de aspecto lamprofírico e alguns diques de uma rocha algo vesiculada de aspecto lamprofírico.

O *pipe* Ymi-8 nas fotografias aéreas apresenta-se como uma estrutura bilobulada com comprimento de 2750 por 1250 m (lóbulo à N) e 1150 m (lóbulo à S). Nessa estrutura ocorrem predominantemente sedimentos vulcano-epiclásticos, formando uma superfície plana no campo, e subordinadamente cortando a fácies vulcano-sedimentar, ocorreriam fácies sub-vulcânicas (*plug*) que molda na superfície do terreno uma topografia algo ondulada. A diferença de Ymi-1, este *pipe* não apresenta janela das encaixante e somado ao seu tamanho gigantesco, refletiria um *pipe* pouco erodido.

O *plug* Ymi-5 foi definido em fotografia aérea como sendo uma intrusão com diâmetro de 200 m. No campo formam um conjunto de blocos, em parte associados

com as encaixantes basaltóides. Compõe-se de uma rocha basaltóide cinza, fortemente porfiritica, com feno-megacristais branco a turquesa esbranquiçados de glomérulos de “leucita”.

O conjunto de diques decimétrico a métricos paralelos, com rumo E-W de Ymi-7, que ocorrem poucos quilômetros a NE de Ymi-1, trata-se de rochas com aspecto basaltóide de cor escuro, porfíricas formadas por fenocristais de minerais máficos e micro-xenólitos peridotíticos. Acham-se intruídos em encaixantes de rochas sedimentares permianas.

Campo Ybytyruzú:

A intrusão Yzu-3, é formada por um conjunto de lavas brechosas (de ~1 km² de exposição) porfíricas escuras e de aspecto basaltóide, com uma aparente direção de fluxo de eflução a NNE. Intrudem rochas plutônicas máficas e as rochas sedimentares do Grupo Independencia.

O dique Yzu-1 possui dimensão submétrica e compõe-se de uma rocha porfírica de aspecto basaltóide bastante fresca; encontra-se encaixada em rochas sedimentares do Grupo permiano Independencia.

Na porção NE, distante alguns quilômetros deste corpo (Figura 2-8 e Fotografia 7) foi reconhecida uma intrusão métrica (Yzu-4) em forma de *pipe* formada por duas facies de rochas: uma lamprofírica e outra basaltóide. Essa intrusão acha-se também encaixada em rochas sedimentares do Grupo Independencia.

O dique Yzu-2 com espessura aparentemente decimétrica é formado por uma rocha porfírica escura possuindo abundantes pontilhados de cor branco bege (fenocristais); encontra-se cortando as lavas toleíticas da Bacia do Paraná.

O sill Yzu-6 tem espessura decimétrica e constituído por rochas cinza esverdeadas de marcado aspecto lamprofírico, encaixado em arenitos da Formação Misiones.

Na porção W da intrusão Yzu-6 ocorre um conjunto de diques decimétricos a métricos (Yzu-10). São rochas de marcado caráter lamprofírico e que frequentemente encontram-se alteradas. Encaixam-se em rochas sedimentares do

Grupo Independencia. Associados a estes diques, encontra-se *Plug* de rocha fonolitoide, diabásios toleíticos do Mesozoico e filões de quartzo aurífero.

“Lamprófiros” e “lamproítos” vs outras rochas alcalinas: a problemática abordada.

Como ponto de partida devem ser levadas em consideração as palavras de Rock (1991) em relação às rochas lamprofíricas (lamprófiros cálcio-alcalinos, alcalinos e ultramáficos, kimberlitos* e lamproítos):

“Uma particularidade dos lamprófiros é a coexistência de um ou mais de um mineral normalmente encontrado em rochas máficas-ultramáficas primitivas semelhantes aos peridotitos (ex. olivina magnésiana, piroxênio, flogopita), junto a um ou mais de um mineral típico de rochas altamente evoluídas, semelhantes as rochas félsicas, como granitos peralcalinos (ex. ortoclásio, albita, piroxênios/anfibólios ricos em Na)”.

*Entende-se que kimberlitos e orangeitos são, neste contexto, colocados coletivamente.

Deve-ser também levado em consideração que a química mineral provê o mais efetivo caminho para se distinguir um tipo de lamprófiro de outro, e os lamprófiros das outras rochas ígneas comuns (Rock, 1991). Os dados das Tabelas 1-1 e 1-2, juntamente com os dados petrográficos da Tabela 3-3, permitem, rapidamente, aproximar uma primeira caracterização petrográfica das rochas estudadas no presente trabalho. Como rotina, foi executado ao final da descrição petrográfica de cada intrusão estudada a caracterização química micro-analítica das variedades de minerais presentes nestas rochas; em seguida apresentou-se uma caracterização mais aprimorada da variedade petrográfica de rocha estudada, isto sempre feito levando em consideração o apontado por Rock (1991). As rochas de Ymi-1, os diques Ymi-7 e Yzu-1 e as rochas de Ymi-4 são formadas por fenocristais de olivina forsterítica (Ymi-1, Ymi-7 e Yzu-1), diopsídio (todas), flogopita (Ymi-1c, Ymi-7, Ymi-4 e Yzu-1) e microfenocristais de cromita (Ymi-1), minerais caraterísticos de rochas

primitivas; em matriz com sanidina e feldspatóides, além de outros minerais como a magnetita titanífera; estes últimos minerais são comuns em rochas alcalinas muito diferenciadas. Assim, também, as rochas de Ymi-5, Yzu-2, Yzu-3 e Yzu-6 são formadas por fenocristais de olivina forsterítica (Yzu-2 e Yzu-3), diopsídio (todas), flogopita (Yzu-2 e Yzu-6) e microfenocristais de ilmenita (Yzu-3 e Yzu-6) coexistindo ainda com a “leucita” (Ymi-5, Yzu-2 e Yzu-3); encontram-se em matriz formada por sanidina, analcima e outros minerais como a magnetita titanífera que, são minerais reconhecidos em rochas alcalinas muito evoluídas. Estas características mineralógicas colocaria as rochas estudadas dentro do grupo de rochas lampróficas, como sugerido por Rock (1991). Rochas como as de Ymi-1 não possuem afinidade basaltóide, já que o plagioclásio, quando presente, possui teores modais traços. Ymi-4 apresenta uma matriz alterada onde pôde reconhecer-se tão só a sanidina. Se somado ao fato de observar-se como uma rocha que apresenta fenocristais de flogopita, com índice de coloração baixo, dificultaria uma caracterização como sendo de afinidade basaltóide.

Seguidamente serão transcritas as palavras de Rock (1991) com relação aos minerais tipicamente encontrados nos lamprófiros, elementos de juízo que, se comparados com as descrições e caracterizações minerais das rochas estudadas no Capítulo 3, poderá visualizar com maior eficiência a afinidade petrológica das rochas estudadas:

1. Piroxênios com alto Al: piroxênios cálcicos com $Al_2O_3 > 10\%$ ocorrem só em lamprófiros, metapelitos, basaltos contaminados ou, ocasionalmente, em xenólitos do manto.
2. Piroxênios (>5%), anfibólios (>5%) e flogopitas (>8%) com elevado TiO_2 : observam-se somente em rochas lampróficas. Se Al é combinado com alto Ti, resulta uma feição diagnóstica dos lamprófiros.
3. Anfibólios (>0.5%), flogopitas e feldspato potássico (>2%) com elevado BaO, é feição diagnóstica. Flogopitas com alto BaO (>5%) são também conhecidas em

carbonatitos e nefelinitos e muito raramente em mármore, porém é muito comum em lamprófiros ultramáficos, evidenciando a interligação dos lamprófiros ultramáficos com os carbonatitos.

4. Anfibólios e flogopitas com alto F: anfibólios, possuem teores de até 4.1% e flogopitas, de até 5.7%.

5. Micas enriquecidas em Fe^{3+} são micas ricas na molécula de tetraferroflogopita ($KMg_3Si_3Fe_3O_{10}(OH)_2$), também encontradas em outras rochas peralcalinas, pobres em sílica (p/ex. carbonatitos), sendo particularmente comum nos lamprófiros ultramáficos, kimberlitos e lamproítos; entretanto, entre as rochas ígneas, micas ricas em ferri-annita ($KFe_{23}Si_3Fe_3O_{10}(OH)_2$), restringem-se aos lamprófiros.

6. Carbonatos de Mg-Fe-Sr-Ba formam um grupo que, dentre as rochas ígneas silicatadas, ocorrem em carbonatitos e restringem-se também aos lamprófiros.

7. Espinélios com alto Zn: espinélios com $ZnO > 2\%$ ou $MnO > 2\%$ é diagnóstico. Ilmenitas de Mg-Mn: onde o $MgO > 5\%$ e o $MnO > 2\%$ são diagnósticas.

8. Apatitas ricas em Sr-Ba: apatitas e apatitas de flúor (flúor-apatita) excepcionalmente com alto teor de BaO e SrO.

9. Sulfetos: sulfetos de Ca-Sr-Ba são abundantes em lamprófiros.

Conforme encontrado correntemente em lamprófiros cálcio alcalinos e em menor proporção em lamprófiros alcalinos e ultramáficos, os piroxênios de Ymi-1, Ymi-4 e Ymi-7 são piroxênios com alto Al e moderado a alto Ti. Em Comin-Chiaramonti & Gomes (1996) são também descritos piroxênios similares ocorrendo nas rochas basaltóides potássicas. Os piroxênios em Yzu-1 Yzu-2, Yzu-3 e Yzu-6, possuem muito baixo a baixo teores de Al; entretanto algumas minettes e alguns orangeítos também apresentam piroxênios similares (cf. Mitchell, 1995a). Em Ymi-5, os piroxênios *quench* apresentam feições similares aos considerados por Rock (1991) com feições diagnósticas das rochas lamprofíricas (pontos 1 e 2). Em Yzu-2,

observam-se nos piroxênios de fase tardia (aegirina) teores muito alto de Ti (ponto 2) feições também diagnósticas das rochas lamprofíricas (Rock, 1991). Contudo, observando-se a Figura 3-6 nota-se que piroxênios de Yzu-2, Yzu-3 e Yzu-6 apresentam um enriquecimento em TiO_2 e Al_2O_3 similar ao observado em lamproítos; em Ymi-5 é observado um enriquecimento nestes elementos, característico ao dos lamprófiros e dos kamafugitos e diferente do observado em plagileucitos (Mitchell, 1985; 1995a; Mitchell & Bergman, 1991).

Em Ymi-5, Yzu-2 e Yzu-3 ocorrem anfibólios com $TiO_2 > 5\%$ que segundo apontado em (2), é também típico de rochas lamprofíricas. Em Yzu-2 ocorre eckermanita ferrosa (=richterita) potássica titanífera, variedade de anfibólio diagnóstica de lamproítos (Wagner & Velde, 1986; Rock, 1991).

Em Yzu-1, Ymi-5 e Yzu-2 ocorrem feldspatos potássicos com alto BaO e em Ymi-5 e Yzu-2 micas com alto BaO que, segundo apontado em (3), são feições diagnósticas de rochas lamprofíricas. Ymi-5 e Yzu-2 são rochas com fenocristais de “leucita”, dentro das rochas lamprofíricas, que aparentam-se com os lamproítos.

Espinélios com alto MnO (até 4%) ocorrem em Ymi-1, Ymi-4, Ymi-7, Ymi-5 e Yzu-6 que, segundo item (7), é uma feição diagnóstica das rochas lamprofíricas. Assim, Ymi-1, Ymi-4 e Ymi-7 se tratariam de lamprófiros a Ymi-5 e Yzu-6, de lamproítos.

Ilmenitas com moderado a alto magnésio (até 5.7% de MgO) ocorrem em Ymi-1 (amostras de concentrado) e Yzu-3, e com alto MnO (até 7.9%) ocorrem em Ymi-1, Yzu-2 e Yzu-3. Segundo item (8), quimicamente esses minerais têm feições diagnósticas de rochas lamprofíricas; i.e. Ymi-1 lamprófiro e Yzu-2 e Yzu-6 lamproítos.

A Figura 6-2 (a) ilustra a composição dos piroxênios de Yzu-2, Yzu-3 e Yzu-6, segundo as razões $\log. SiO_2/TiO_2-MgO/FeO$ (Rock, 1991). Observa-se que distribuem-se no campo dos piroxênios dos lamproítos. Os piroxênios de Ymi-5 espalham-se entre o campo dos piroxênios dos lamprófiros ultramáficos e os lamproítos. Já na Figura 6-2 (b) observa-se que os piroxênios de Ymi-1, Ymi-4, Ymi-7

e Yzu-1 caem no campo dos piroxênios dos lamprófiros cálcio-alcálicos e, em menor proporção, no campo dos lamprófiros alcalinos. Piroxênios de outras rochas alcalinas (p/ex. os de algumas rochas basaltóides potássicas de Comin-Chiaramonti & Gomes, 1996) mostram feições similares aos piroxênios dos lamprófiros alcalinos e ultramáficos.

A Figura 6-3 mostra a composição das micas (fenocristais e matriz) das rochas lampróficas Ymi-5, Yzu-2, Yzu-3 e Yzu-6, em função de $Al_2O_3/TiO_2-MgO/FeO$ (Rock, 1991). Nota-se que Yzu-2 Yzu-3 e Yzu-6 reúnem-se nas vizinhanças e dentro do campo dos lamproítos. As micas de Ymi-5 ocupam um campo que se espalha entre o de micas dos lamprófiros alcalinos e o de micas dos lamproítos (leve-se em conta que estas micas são biotitas e não flogopitas; se elas possuírem composições de flogopita, certamente adequariam-se melhor com os lamproítos). Em 6-3 (b), as micas de Ymi-1, Ymi-4, Ymi-7 e Yzu-1 ocupam o campo das micas dos lamprófiros cálcio-alcálicos. Evidências maiores podem ser encontradas nas Figuras 3-5 (c) e (b), 3-6 (c) e (d) com relação às micas que ocorrem em Ymi-5, Yzu-2, Yzu-3 e Yzu-6. Estas feições somadas aos dados do apêndice A2, indicam claramente que:

*ocorrem micas deficientes em Al^{VI} , frequentemente encontrado nos lamproítos, em Ymi-5 , Yzu-2, Yzu-3 e Yzu-6.

*micas de Yzu-2, Yzu-3, Yzu-6 e algumas micas de Ymi-5 evidenciam um *trend* de enriquecimento similar aos de lamproítos, traduzido por um aumento do teor de TiO_2

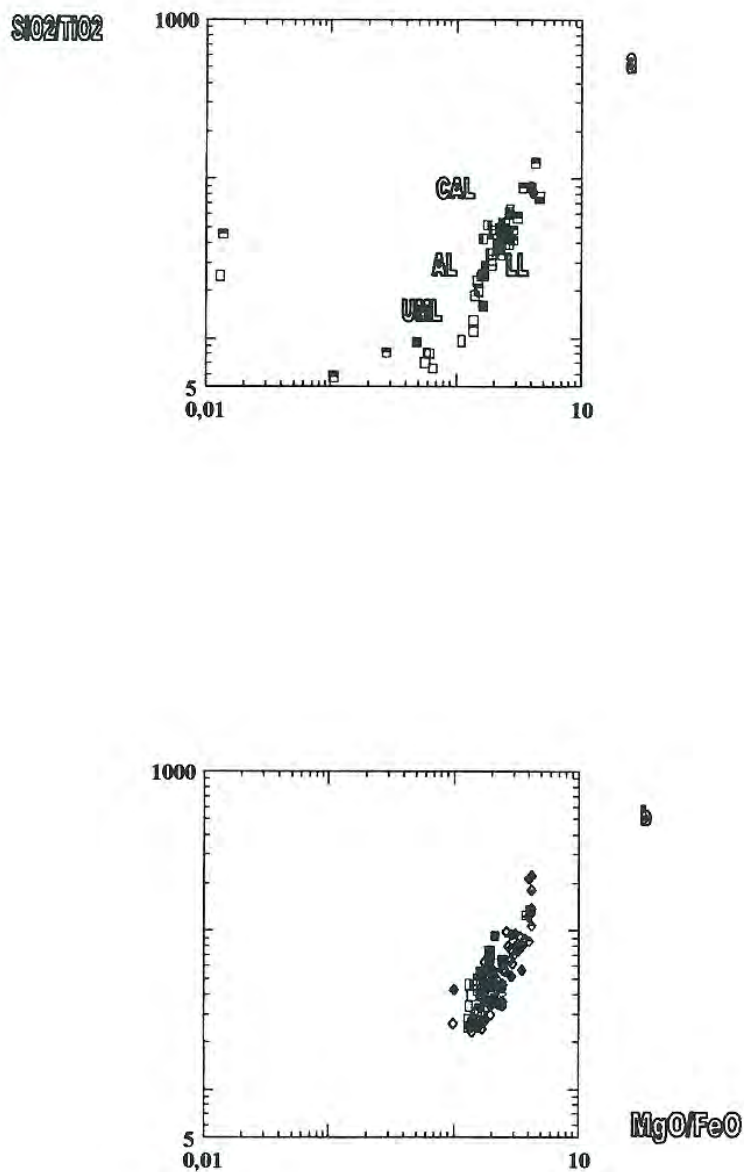


Figura 6-2. Diagrama $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2 - \text{MgO}/\text{FeO}$ nos piroxênios dos “lamprófiros” e dos “lamproítos”. (a): Ymi-5, Yzu-2, Yzu-3 e Yzu-6. (b), Ymi-1, Ymi-4, Ymi-7 e Yzu-1. Campos de composição com base em Rock (1991). Legenda: lamprófiros CAL-cálcio-alcinos, AL-alcinos, UML-ultramáficos, e lamproítos LL e, como em 3-2.

e FeO com a diminuição do teor de Al_2O_3 . Entretanto, as micas de Yzu-6 exibem no diagrama Al_2O_3 vs FeO, um *trend* de enriquecimento de orangeítos.

Os espinélios, exibem nas rochas lamproíricas estudadas *trends* particulares em termos de Ti# vs Cr# , segundo o diagrama de Mitchell (1995a). Na Figura 3-28 (a) Ymi-5 (em parte), Yzu-2, Yzu-3 e Yzu-6 se espalham pelo campo dos lamproítos e orangeítos (Mitchell, 1995a). Alguns espinélios de Ymi-5 ocupam o campo comum para minettes e rochas potássicas. Na Figura 3-28 (b) os espinélios de Ymi-1 seguem um *trend* similar ao determinado por Mitchell (1995) nos kimberlíticos. Este comportamento pode também ser observado em monchiquitos picríticos de Wandagee (Jaques et al., 1989) e em São Sebastião (Garda, 1995). No extremo com baixo Cr# e alto Ti# (campo das magnetitas titaníferas magnesianas e magnetitas titaníferas) concentram-se os espinélios de Ymi-4, Ymi-7 e Yzu-1; este é também um campo de minettes e rochas potássicas (quadro cheio em (b)). Tendo em vista à dificuldade para diferenciar os espinélios de Ymi-4 e Ymi-5 dos espinélios das rochas potássicas do *rift de Asunción*, eles foram lançados nas Figura 3-29 (a) e (b). A comparação do campo de distribuição dos espinélios dos dois grupamentos de rochas observa-se que as rochas potássicas do *rift de Asunción* ocupam um campo de valores mais elevados em termos de $\log. \text{Al}_2\text{O}_3$ e demais óxidos ($\text{TiO}_2 + \text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO} + \text{MgO}$) relativamente ao ocupado pelos espinélios de Ymi-4 (Figura 3-29 (a)) e os de Ymi-5 (Figura 3-29(b)).

Finalmente, deve ser levado em conta que Ymi-5 apresenta em sua paragênese a presença de perovskita; mineral que ocorre, dentre o grupo de rochas ultrapotássicas, somente em lamproítos e kamafugitos, faltando totalmente nos plagioclitos ou nas rochas potássicas do *rift de Asunción*.

Desse modo os dados petrográficos, de química mineral e o discutido nos Capítulos anteriores, parecem sustentar a hipótese de que Ymi-1, Ymi-4, Ymi-7 e Yzu-1 possuem afinidade com os lamproíros cálcio-alcálicos; enquanto Ymi-5, Yzu-2, Yzu-3 e Yzu-6 possuem afinidade com os lamproítos.

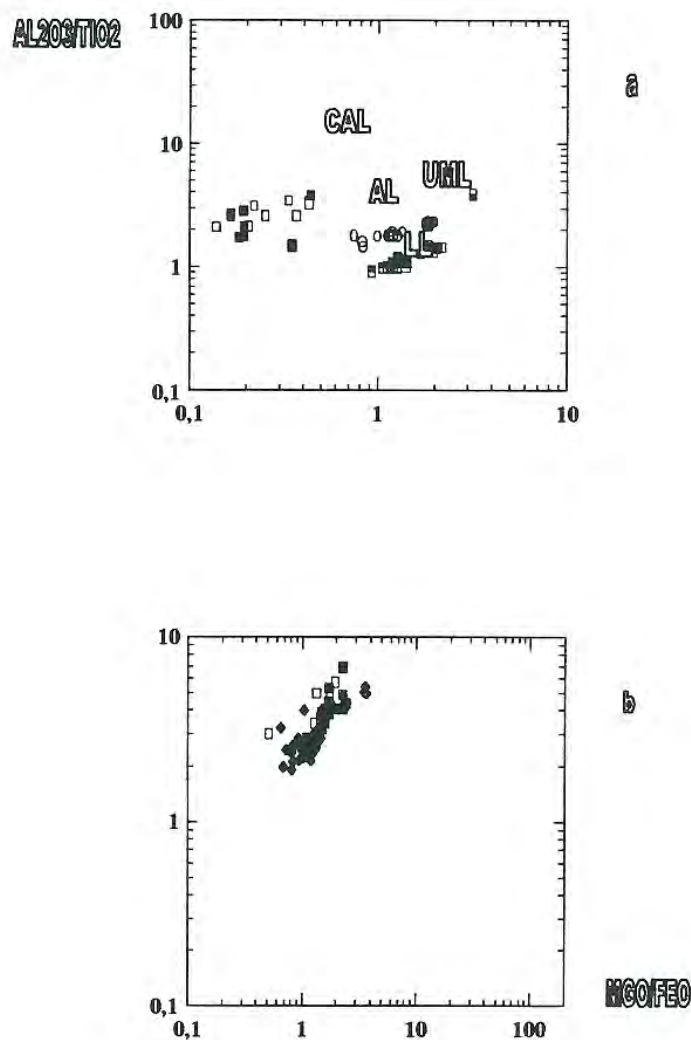


Figura 6-3. Composição das micas em “lamprófiros” e “lamproítos”. (a), Yzu-2, Yzu-3 e Yzu-6 situam-se no campo de lamproítos, enquanto Ymi-5 situa-se num campo menos comum para lamproítos e impróprio para lamprófiros. (b), “lamprófiros” (Ymi-1, Ymi-4, Ymi-7 e Yzu-1) espalham-se pelo campo dos lamprófiros cálcio alcalinos. Campos de composição com base a Rock (1990). Legenda como em 3-2.

Estas considerações e as feições mostradas nas Tabelas 1-1 e 1-2, quando comparadas com o levantado sobre as rochas incomuns no Capítulo 1 permitem concluir:

Ymi-1 representa de uma variedade de lamprófiro picrítico (olivina 10 a 25%) cálcio-alcalino formado por fenocristais/microfenocristais de olivina (FO_{92-75}), diopsídio (titanífero aluminoso), hornblenda magnesianas e cromita; imersos em uma matriz formada de sanidina (sódica em parte), magnetita titanífera magnesianas, magnetita titanífera, diopsídio (titaníferos aluminosos), flogopita-biotita (titanífera), carbonato e acessórios de apatita, plagioclásio, hornblenda magnesianas, analcima e rutilo. O dique Ymi-1c corresponde a uma variedade de lamprófiro cálcio-alcalino formado por fenocristais de olivina (FO_{85-77}), diopsídio (titanífero e aluminoso) e flogopita (titanífera e aluminosa) juntos a uma matriz formada por sanidina, magnetita titanífera, diopsídio (titanífero e aluminoso), hornblenda, eckermanita e acessórios de apatita, analcima e plagioclásio.

Ymi-7 compõe-se de uma variedade de lamprófiro cálcio-alcalino formado por fenocristais/microfenocristais de olivina (FO_{85-78}), diopsídio (titanífero e aluminoso), hornblenda e flogopita (titanífera aluminosa); que estão imersos em uma matriz formada por sanidina, magnetita titanífera magnesianas, magnetita titanífera, diopsídio (titanífero aluminosos), analcima, hornblenda e acessoriamente apatita, mica e carbonato.

Yzu-1 trata-se de um lamprófiro picrítico (olivina ~15%) cálcio alcalino formado por fenocristais de olivina (FO_{89-75}), diopsídio (pobre em Al) e flogopita (titanífera aluminosa); em matriz formada por analcima, sanidina (rica em Fe)-anortoclásio, magnetita titanífera magnesianas, magnetita titanífera e como acessórios, apatita e carbonato. O termo *KENTALLEMITO* (picrítico Ymi-1 e Yzu-1) se aplica de maneira mais adequada para essa variedade de rocha.

Ymi-4 compõe-se de uma variedade de lamprófiro cálcio-alcalino formado por fenocristais/microfenocristais de olivina serpentizada, flogopita (titanífera e aluminosa), diopsídio (titanífero e aluminoso) e magnetita titanífera magnesianas imersos em uma matriz formada de sanidina, magnetita titanífera e acessórios de

diopsídio (titanífero aluminoso), apatita, carbonato e zeólitas. Os lampróiros desta intrusão são variedades melhor definidas como *MINETTE*.

As intrusões Ymi-1, Ymi1c, Ymi-7 e Ymi-4, apresentam características petrográficas e de química mineral que guardam entre si fortes evidências de uma mesma filiação magmática. Nesse sentido, num sistema de diferenciação por cristalização fracionada, um magma de composição similar á Ymi-1, pelo fracionamento de olivina-cromita-diopsídio, produziria uma rocha como Ymi-4. Conforme as observações petrográficas, este esquema simples parece evidente que:

Ymi-1 \Downarrow (olivina-cromita-diopsído) \Rightarrow Ymi-1c \Downarrow (olivina-flogopita) \Rightarrow Ymi-7 \Downarrow \Downarrow Ymi-4;
(ver também o último item do Capítulo 3).

Ymi-5 constitui de uma variedade de lamproíto formado por fenocristais de “leucita”, diopsídio (titanífero a titanado aluminoso), olivina (serpentinizada) e magnetita titanífera magnesianas; encontram-se imersos em uma matriz formada de sanidina (rica em Ba), diopsídio (titanífero aluminoso a pobre em Al), magnetita titanífera, bitotita (titanífera pobre em Al a aluminosa e rica em Ba) e acessórios de apatita, perovskita e anfibólio (potássico e titanífero).

Yzu-2 representa uma variedade de lamproíto formado por fenocristais de olivina (FO_{85-81}), diopsídio (pobre em Al), flogopita (titanífera) e “leucita”; que estão imersos em uma matriz formada por sanidina (rica em Fe), flogopita-biotita (titanífera e pobre em Al), diopsídio (pobre em Al), magnetita titanífera magnesianas, ilmenita e acessórios de (ferro)-eckermatita (potássica e titanífera) e apatita.

Yzu-3 é uma variedade de lamproíto formado por fenocristais/microfenocristais de olivina (FO_{83-81}), diopsídio (pobre em Al), “leucita” e ilmenita; imersos em uma matriz formada por sanidina (em parte rica em Fe), flogopita (titanífera pobre em Al), diopsídio (pobre em Al), magnetita titanífera magnesianas e acessórios de apatita e anfibólio (titanífero e potássico).

Yzu-6 compõe-se de um lamproíto formado por fenocristais/microfenocristais de flogopita (titanífera), diopsídio (pobre em Al) e ilmenita; que estão imersos em uma matriz formada por sanidina (rica em Fe, Ba e Na), flogopita-biotita (titanífera), anfibólio e acessórios de ilmenita, apatita, carbonato e rutilo/priderita (?).

Em verdade, Ymi-5, Yzu-2 e Yzu-3 são “LEUCITA” LAMPROÍTOS, representado pelas variedades:

olivina sanidina diopsídio “leucita” lamproíto (Ymi-5),

olivina sanidina flogopita diopsídio “leucita” lamproíto (Yzu-2); e

olivina flogopita sanidina diopsídio leucita lamproíto (Yzu-3). Já a intrusão Yzu-6 representa um diopsídio flogopita sanidina lamproíto

Quando estudado Ymi-5, observou-se que possuía alguns minerais com feições químicas correspondendo a plagioclitos (diopsídio e micas do GII). Aparentemente, acredita-se que seja devido à contaminação?/mistura? do magma lamproítico com o magma plagioclitico. Assim, Ymi-5 corresponderia a um lamproíto_{sl} (lamproíto transicional); enquanto que Yzu-2, Yzu-3 e Yzu-6 correspondem a lamproíto_{ss}.

Solução sólida em micas, piroxênios, espinélios e feldspatos

No Capítulo 3, no item “Solução sólida em micas, piroxênios, espinélios e feldspatos” foram discutidos as relações de solução sólida que caracteriza as micas, os piroxênios, os espinélios e os feldspatos. Foram também considerados os diferentes tipos de enriquecimento e deficiências catiônica que os minerais apresentam. A seguir serão ressaltados os detalhes conclusivos mais importantes de cada mineral.

Micas

*as micas de Ymi-1, Ymi-4, Ymi-7 e Yzu-1 (Figuras 3-5 (a) e (c)), são micas da solução sólida entre os *end members* flogopita-biotita-eastonita-siderofilita. As micas de Ymi-1 são em maioria micas com deficiência de Al^{IV}; feição que mostra que elas são micas produto da solução sólida entre flogopita-annita

*os fenocristais das micas de Ymi-1c, Ymi-4 e Ymi-7 e as de Yzu-1, preenchem perfeitamente o sítio tetraédrico (Si+Al=8)(Figuras 3-5 (a) e (c), 3-21, 3-22(a)) sugerindo solução sólida entre as moléculas de eastonita-siderofilita.

*as micas de Yzu-2, Yzu-3 e Yzu-6 (Figura 3-5 (b) e (d)) evidenciam que são micas da solução sólida entre flogopita-annita-eastonita-siderofilita. As micas de Yzu-2 e boa parte das micas de Yzu-3 e de Yzu-6 e as G-I de Ymi-5, são deficientes em Al^{IV}

(apêndice A2 e as Figuras 3-5 (c) e (d); 3-21 e 3-22) e sugerindo solução sólida entre flogopita-annita.

*as micas de Ymi-1 (matriz), algumas de Ymi-7 e uma de Ymi-4 e sobretudo as micas de Ymi-5, Yzu-2, Yzu-3 e Yzu-6 apresentam deficiências no sítio tetraédrico ($\text{Si}^{\text{IV}} + \text{Al}^{\text{IV}} < 8.00$), (Figura 3-21); bem como nos sítios octaédricos ($\text{Al}^{\text{VI}} + \text{Ti}^{\text{VI}4+} + \text{Fe}^{2+} + \text{Cr}^{3+} + \text{Mn}^{2+} + \text{Mg}^{\text{VI}2+} < 6.00$) como frequente das micas dos lamproítos e em algumas micas dos lamprófiros. Algumas micas de Ymi-1 (matriz) apresentam excessos neste sítio (Figuras 3-21). *nas micas de Ymi-1 observam-se (Figura 3-21 (a)) uma relação inversamente proporcional entre os sítio octaédrico com relação ao tetraédrico, pois o Fe foi totalmente alocado no sítio octaédrico devido a não determinação do Fe^{2+} e Fe^{3+} , idem para o Ti e o Mg, que podem apresentar-se como Ti^{3+} e Ti^{4+} e Mg^{4+} e Mg^{2+} , respectivamente. Foi verificado que a presença de Fe^{3+} no Fe, Ti^{4+} no Ti e Mg^{2+} no Mg, não calculados para o cálculo estrutural apresentado no apêndice A2, poderia causar o excesso no sítio octaédrico. Fe^{3+} ($\text{Fe}^{\text{IV}3+}$ como o *end member* “tetraferroflogopita”), Ti^{4+} e Mg^{2+} por sua vez, preencheriam a deficiência no sítio tetraédrico. Assim, concluiu-se que desta forma, essas feições poderiam explicar a relação inversamente proporcional mostrada na Figura 3-21.

*por outro lado, levantou-se a hipótese de que as deficiências nas posições octaédricas e tetraédricas não seriam devidas aos procedimentos de recálculo catiônico realizados, supondo-se que seriam devido às condições fisicoquímicas do magma do qual essas micas cristalizaram (lamprófico e lamproítico). Neste caso, magmas deficientes em Al (deficiência interpretada como sendo produto da peralcalinidade do magma, que se incrementa conforme a diferenciação avança) e/ou falta de cálculo do Fe_t como Fe^{2+} e Fe^{3+} .

*as micas dos lamprófiros apresentam (Figuras 3-22 (c)) a substituição do tipo da equação $\text{Mg}^{\text{VI}2+} + 2\text{Si}^{\text{IV}4+} \leftrightarrow \text{Ti}^{\text{VI}4+} + 2\text{Al}^{\text{VI}3+}$, substituição que é menos evidenciada nas micas dos lamproítos (Figura 3-22 (d)).

*constatou-se também a substituição do Ti nas posições não preenchidas ($\text{Si} + \text{Al} = 8$) ao empregar Ti vs $\text{Mg} + \text{Fe}^{2+}$, tanto nas micas dos lamprófiros como dos lamproítos,

(Figura 3-23 (a) e (b)). A substituição do Ti dar-se-ia segundo a equação $Ti+(Mg+Fe)=6$.

*assim também, uma correlação negativa entre Ti e (Si+Al+Cr) (Figura 3-27 (c)), responderia uma substituição do tipo da equação $Mg^{VI2+}+Si^{IV4+} \leftrightarrow Ti^{VI4+}+Mg^{IV2+}$, não observada nas micas dos lampróitos (Figura 3-23 (d)). Micas com muito alto a alto Ba em Ymi-5 e algumas micas de Yzu-2 (Figura 3-24 (a) e (b)), apresentam substituição de $2K \leftrightarrow 1Ba$; que também se explica segundo a substituição do tipo $Ba^{XII}+Al^{IV} \leftrightarrow K^{XII}+Si^{IV}$ (Figura 3-23 (c)), em preferência à substituição do tipo $Ti+2Al \leftrightarrow Mg+2Si$.

Piroxênios

*os piroxênios dos lampróiros Ymi-1, Ymi-7 e Ymi-4 são aluminosos e titaníferos indicando que possuem suficiente Al na posição octaédrica (TAI) e em alguns também na tetraédrica (M1Al). Neles foi observado que o Al e Ti apresentam enriquecimento diretamente proporcional (centro do fenocristal em direção às bordas Figura 3-4). Esta feição é definida numa linha média de enriquecimento em Ti/Al (0.18-0.94.) superior à observada em piroxênios que ocorrem em rochas ultrapotássicas tipo Província Romana e em parte também diferente daquela observada nas rochas vulcânicas potássicas do *rift de Asunción* (Figura 3-4 e 3-25 (a)). Essa feições sugerem que eles seriam membros da série de solução sólida entre $CaMgSi_2O_6$ (diopsídio)- $CaAlAlSi_2O_6$ (piroxênios Ca-Tschermak's) e $CaTiAl_2O_6$.

*os piroxênios de Yzu-2 Yzu-3 e Yzu-6, como também alguns piroxênios de Ymi-5, apresentam insuficiência em Al e assim provocam deficiências no preenchimento dos sítios octaédricos. Os piroxênios de Yzu-2 ,Yzu-3 e Yzu-6 têm características que aproximam-se melhor aos lampróitos ($TiO_2/6$ oxigênios<0.1 e $Al_2O_3/6$ oxigênios<0.1, Figura 3-26 (b)); já os piroxênios de Ymi-5 descrevem uma linha de enriquecimento de Ti e Al (Figura 3-26 (b)) particular, que passa pelo campo ocupado pelos lampróiros e kamafugitos e segue paralela à observada nos plagileucitos.

*os piroxênios de Ymi-5 ,Yzu-2, Yzu-3 e Yzu-6 e de Ymi-1, Ymi-4, Ymi-7 e Yzu-1 exibem correlação negativa entre Al vs Si (Figuras 3-26 (c) e (d)); à exceção de Ymi-

5 e algumas de Yzu-3, esses piroxênios apresentam alto Si e deficiência em Al. Alguns dos piroxênios de Ymi-5, por exemplo os *quench*, apresentam-se com alto Al e com deficiências em Si (Figuras 3-26 (d), 3-27(b) e (d)). Já nos piroxênios que possuem alto Si e deficiências em Al no sítio tetraédrico (alguns piroxênios de Ymi-1 e Ymi-7 e em alguns de Ymi-5 e Yzu-2; Figuras 3-26 e 3-27), o Ti^{4+} passaria a ocupar ora posições octaédricas, ora octaédricamente e tetraédricamente.

Espinélios

*os microfenocristais de espinélios em Ymi-1 e inclusões de espinélios nos minerais máficos em Ymi-1 e Yzu-1 evidenciam solução sólida entre a picrocromita e a cromita (série da cromita) (Figura 3-7 e 3-9); os espinélios da matriz dos lamprófiros e lamproítos mostram alto teor nas moléculas da série espinélio-magnetita, ambas em solução sólida (Figuras 3-9 e 3-17). Em Ymi-5, Yzu-2, Yzu-3 e Yzu-6 os espinélios estão enriquecidos na molécula de magnetita e em Ymi-1, Ymi-4, Ymi-7, Yzu-1 e em parte também em Ymi-5 foram registrados enriquecimento na molécula de hercynita. Por sua vez, os espinélios de Ymi-1, Ymi-7 e Yzu-6, Ymi-5 e alguns de Yzu-2 e Yzu-3 estão enriquecidos na molécula de jacobsita (lamproítos: Ymi-5, Yzu-2, Yzu-3 e Yzu-6) e galaxita (lamprófiros: Ymi-1, Ymi-4, Ymi-7 e Yzu-1).

Feldspatos

*nos lamprófiros é importante a molécula de albita (altos teores de Na_2O) (Figura 3-10). As sanidinas de Yzu-1 apresentam em solução sólida teores elevados de sanidina de Fe (Figuras 3-10 (b) e (c)) e assim, são comparáveis com as sanidinas que ocorrem em lamproítos. Entretanto, neste corpo, as sanidinas também possuem altos teores da molécula de anortoclásio (~6% de Na_2O , Figura 3-10 (b)), características que afastam dos lamproítos e aproximam aos lamprófiros.

*os feldspatos dos lamproítos são sanidinas que possuem em solução sólida importantes teores da molécula de sanidina de Fe (Yzu-2 e Yzu-6) e teores da molécula de anortoclásio baixos (Ymi-5, Yzu-3 e Yzu-6) a moderados (Yzu-2).

Condições termodinâmicas acusadas nas rochas estudadas

A Figura 5-1 (a) e (b); mostrou excelente correlação entre o termômetro de Zn (Griffin et al., 1992) e o termômetro TMg (Presser & da Silva, 1997), aplicado a espinélios que ocorrem como inclusão no diamante e aqueles que ocorrem em peridotitos, i.e., xenocristais. Além disso mostrou também excelente aproximação entre o termômetro TMg e a temperatura de formação dos espinélios encontrados por Garda (1995) em rochas alcalinas de São Sebastião e arredores, nos quais Garda (1995) empregou para os cálculos de temperatura vários métodos, entre eles o termômetro de Ballhaus et al. (1991). Para testar por outros caminhos a eficácia do método TMg foram calculadas as temperaturas para espinélios: do cráton da Rússia onde foram obtidas temperaturas entre 1020-1180°C, típicas de regiões cratônicas com gradiente geotérmico da ordem de $\approx 35 \text{ mW/m}^2$; dados similares aos estimados por outros métodos termométricos por Griffin & Ryan (1995) e Griffin et al. (1993); do cráton Kimberley (Austrália) nos quais foram obtidas temperaturas de entre 900-1100°C como próprias de regiões cratônicas com gradiente geotérmico da ordem de $\approx 35 \text{ mW/m}^2$, coincidentes também com o gradiente geotérmico que aportam os dados de Jaques et al. (1990; 1994) e em parte também, similares aos estimados por Griffin & Ryan (1995); no cráton *South Africam* (Africa do Sul) nos quais foram obtidas temperaturas de entre 1030-1100°C, típicas de regiões cratônicas com gradiente geotérmico da ordem de $\approx 35 \text{ mW/m}^2$ (este gradiente foi estimado por Griffin & Ryan (1995) em inclusões de diamantes/xenólitos peridotíticos transportados pelos orangeitos); no cráton da China (ex. *pipe* Lianing #42) foram obtidas temperaturas de entre 1055-1112°C como característica de regiões cratônicas com gradiente geotérmico da ordem de $\approx 35 \text{ mW/m}^2$ a $\approx 40 \text{ mW/m}^2$; este valor também muito similar ao determinado por Griffin & Ryan (1995).

Tendo comprovado empiricamente a confiabilidade do cálculo da temperatura através do método TMg, ele passou a ser empregado para o cálculo de temperatura nos espinélios de Ymi-1 (xenocristais de concentrados, inclusões e microfenocristais)

e Yzu-1 (inclusões). Ymi-1 $\approx 850-1050^{\circ}\text{C}$ e Yzu-1 $\approx 900-1050^{\circ}\text{C}$, temperaturas que são esperadas encontrar em espinélios formados em um manto soldado a crátons com um gradiente geotérmico da ordem de $\approx 35\text{mW/m}^2$. Uma região cratônica com um gradiente geotérmico da ordem de $\approx 35\text{mW/m}^2$ possui uma raiz cratônica $>200\text{Km}$, como foi a estimada para o escudo canadense. No primeiro item já foi levantado que o cráton Rio de La Plata se compara com o escudo canadense (p/ex. Assumpção et al. 1997). Desta forma se conclui, que o conjunto das intrusões estudadas, vinculadas ao cráton Rio de La Plata, definem adequadamente, através do cálculo termométrico em xenocristais de espinélios o gradiente geotérmico da ordem de $\approx 35\text{mw/m}^2$ que também fora deslumbrado através de métodos geofísicos neste cráton.

Foi também discutido no Capítulo 5 que Doroshev et al. (1997) estudando experimentalmente a assembléia mineral granada+ortopiroxênio+eskolaita e granada+ortopiroxênio+espinélio+forsterita a 30-60 kbars e $1200-1500^{\circ}\text{C}$ verificaram que o valor de Cr# nos espinélios muda com um intervalo curto, de 0.76 (40 kbar, 1400°C) a 0.86 (60 kbar, 1500°C); assinalando que o efeito da temperatura é negativo a todas as pressões estudadas; i.e., incrementando a temperatura de 1200 a 1500°C resulta em um decréscimo das moléculas de picro-cromita de 0.83 a 0.76 a 40 kbars e de 0.88 a 0.80 a 50 Kbar. Este barômetro de Doroshev et al. (1997) ao ser aplicado a algumas inclusões de espinélio em diamante, eles eram deslocados para o plano da grafita em alguns Kbars. Por esta razão encontrou-se que ao multiplicar o valor de Cr# pelo teor de Cr_2O_3 a pressão subestimação da já não ocorria quando testado em centenas de inclusões de espinélios em diamantes e espinélios coexistindo com o diamante em xenólitos peridotíticos. Assim a modificação do barômetro de Doroshev et al. (1997), foi aplicado a grãos de espinélio de Ymi-1 e Yzu-1 para cálculo de profundidade de formação/proveniência. Conforme o mostrado na Figura 4-9 as pressões obtidas oscilam entre 10 e 50 Kbars, sendo compatível com as pressões da fácies peridotítica onde o diamante está presente (>40 Kbars). Os dados termométricos e barométricos praticados nos grãos de xenocristais de espinélio de Ymi-1 e Yzu-1 permitem assim concluir:

“os lamprófiros picríticos Ymi-1 e Yzu-1 amostraram peridotitos de um manto lithoesférico profundo (~50 kbrs) crátonizado, que no Jurássico (~130 Ma) possuía o gradiente geotérmico de 35mW/m^2 ”.

Potencial económico que as rochas estudadas sugerem

O diamante

A coincidência petrológica e geofísica da raiz do manto é de importância potencial para exploração do diamante, de modo que possibilita prever o potencial do diamante na base da raiz de um cráton, ela detectável geofisicamente. Por exemplo, o limite alto *shear wave velocity* (SWV) debaixo da província Slave (escudo canadense) meridional foi usado para sugerir uma zona de melhor potencial de diamante para esta região (Herlmstaedt, 1991). Nesta região a Dia Met exploração anunciou a descoberta, no outono de 1991, de fontes kimberlíticas mineralizadas e econômicas (Fipke et al., 1995). Sendo estimado que este campo Lac de Gras junto à Archangelsk (C.I.S.) puderam juntar-se também, no final deste século, como os maiores produtores (Jeggins 1995). Em item acima foi sublinhado que o assoalho cratônico da Bacia do Paraná era comparável com o escudo canadense; por esta razão, pode-se sugerir que:

- de maneira geral, o cráton Rio de La Plata apresenta-se como um alvo promissor para a procura de fontes primárias de diamante.

- agora de forma particular, Morgan (1995) salientou sobre o importante papel de megafraturas (*paleo-rifts* e *rifts*), que são reconhecidas em e/ou associadas às estruturas cratônicas, como alvos para as fontes primárias do diamante. O segmento Central E-W do *rift de Asunción* trata-se da continuação, no Paraguai, do lineamento do Rio Uruguay (ver Figura 6-1). Assim, este ambiente deve ser considerado como de interesse para a procura de fontes magmáticas portadoras de diamante.

Como os diamantes são geralmente mais velhos que suas rochas ígneas hospedeiras eles não são fenocristais cristalizados do magmas que os transporta, mas xenocristais, derivados da disagregação física de rochas fontes do manto superior. A rocha hospedeira ígnea simplesmente resultando como meio de transporte da fonte de manto superior para a superfície. Julgando a distribuição regional de diamantes em “kimberlitos”, os depósitos de diamante verdadeiramente primário (harzburgitos de granada, lherzolitos, eclogitos), se concentram nas raízes de crátons Archeanos, onde eles não são diretamente acessíveis. A correlação entre “kimberlitos” diamantíferos e crátons Arqueanos assim como também os dados isotópicos dos diamantes de África do Sul mostraram que um monto substancialmente importante de diamantes foram formados durante o desenvolvimento da primeira litosfera e que estes diamantes sobreviveram nas raízes de escudos do Pré-cambriano sendo apanhados por kimberlitos e lamproítos que variam em idade do Archeano superior para o Cenozoico (Helmstaedt & Gurney, 1995). A distribuição de depósitos de diamante aluvial e “kimberlitos” junto e ao redor da Bacia do Paraná, esquematizados na Figura 6-1 sugerem a presença de raízes fonte onde o diamante foi arrancado por magmas “kimberlíticos” e trazidos em superfície.

Em muitas ocasiões os geólogos do diamante apelam a métodos indiretos para o reconhecimento de terrenos cratônicos (p/ex. Arqueanos). Isto realizam-se coletando dos sedimentos de corrente, das regiões pesquisadas, suíte de minerais pesados (piropo G10, picro-cromitas e cromitas com alto Cr e microdiamantes) indicadores indiretos do manto cratônico frio e profundo (manto sublitosférico). Conquanto que nos pipes estudados foram caracterizados como suíte de minerais pesados:

-Ymi-1, pseudobrookita, ilmenita, rutilo, rutilo de Nb, picro-cromita, cromita, magnetita magnésiana titanífera, turmalina, zircão, diamante e traças de piroxênios.

-Ymi-8, pseudobrookita, ilmenita, rutilo, zircão, diamante junto à traças de espinélios, piroxênios e turmalina (todos encontrados junto a escassos a traços cristais de granada), no Capítulo 5 procurou-se potencializar os espinélios encontrados no *pipe* Ymi-1 (picro-cromitas e cromitas). Como indicado nesse capítulo, nos diagramas Cr#

vs Fe^{2+} e MgCr_2O_4 - MgAl_2O_4 - MgFe_2O_4 muitos xenocristais de espinélios de Ymi-1 e algumas inclusões de xenocristais de espinélio (em olivinas) de Yzu-1 ocupam campos comumente também ocupados pelos espinélios que ocorrem em peridotitos da fácies diamantíferas e/ou associadas ao diamante; assim eles teriam sido arrancados das raízes do manto peridotítico crátonizado da facies do diamante pelo magma que os colocou em superfície (=lamprófiros cálcio-alcálico picrítico), sugerindo, de certa forma que o diamante pode estar presente nessas estruturas. Isto parece confirmado pela coleta de microdiamantes (Fotomicrografia 8) no *pipe* Ymi-1, e pelo dados termo-barométricos obtidos nesses xenocristais de espinélio.

Estas evidências possibilita encorajar futuras pesquisas de outra fontes primárias do diamante nesta região claramente relacionada com o bloco Parapanema (pertencente ao cráton Rio de La Plata), esperando-se que elas sejam potencialmente melhores.

Ouro nos magmas “lamprófíricos” ?

Associações entre lamprófiros cálcio-alcálicos e Au de depósitos mesotermiais (Arqueanos à Terciário) no qual os lamprófiros são co-genéticos (como também co-espaciais) com a mineralização, são crescentemente reconhecidas no mundo (Rock & Groves, 1988).

Rock & Groves (1988) sugerem a hipótese que leva a considerar lamprófiros como os agentes transportadores de Au de fontes ricas em Au de um manto profundo, o qual então sofreria interações crustais extensas, gerando magmas félsicos ou lançando o Au em sistemas metamórfico-hidrotermais.

Rock (1991) insiste que existe conexão entre o Au e os lamprófiros, este fato foi examinado e observado por muitos pesquisadores do Au durante muitos anos, em especial Boyle (1979, in Rock 1991) que comenta: “*an adage among some gold prospectors that lamprophyres are good indicators of the presence of gold deposits*” (“um provérbio entre alguns prospectores de Au que lamprófiros são indicadores bons da presença de depósitos de Au”).

Em Rock (1991) é encontrado um sumário das principais informações que ligam Au com os lamprófiros (cf. Table 9.2 pag. 152).

Na região associada às intrusões do arroyo Itá (Campo Ybytyruzú) descobriram-se partículas de Au. É uma área muito rica em rochas lamprofíricas (ver comentários nos Capítulos 3 e 4 e outros itens deste Capítulo), assim indicando ser um campo excelente para se pensar numa conexão genética entre as rochas lamprofíricas e as ocorrências de Au.

Observa-se também que minettas e lamproítos apresentam anomalias positivas em Au e outros elementos preciosos, sendo que o elemento Au parece estar mais concentrado nos lamproítos (cf. Figura 5.6, pag. 92 em Rock, 1991.), fato que viria a apoiar a idéia de conexão genética entre as rochas lamprofíricas (minettas e lamproítos) e as ocorrências de Au do *Campo Ybytyruzú*. No lamproíto Yzu-4 foi registrado perto de 1% de quartzo residual; e como comentado no Capítulo 2, veios de quartzo aurífero foram encontrados na área aurífera deste campo.

Associadas ao Au do *arroyo Itá (Campo Ybytyruzú)* ocorrem grãos de ilmenita, granada, zircão e espinélio. Esta associação é comum de observar em ambientes cratônicos (ex. Cráton de São Francisco). O *Campo Ybytyruzú* corresponde a um ambiente *platform*, como já discutido itens acima.

O Arqueano foi o período principal para mineralização de Au sendo que as rochas desta idade compõem ~12% da crosta exposta mas que se produziu mais da metade do Au do mundo (Cameron, 1988); assim entende-se que os crátons são áreas onde, através de diversos processos tecto-magmáticos no tempo geológico, poderiam concentrar muito Au em superfície. Eventualmente os veios/filões auríferos do Campo Ybytyruzú teriam-se formado pela reconcentração de depósitos auríferos do embasamento cristalino desta região, concentração que teria sido facilitada pelo distúrbio termal a que contribuiu o magmatismo Mesozóico (alcalino) regional. Esta idéia é vista pelo Prof. Dr. Jorge B. (com, pess. Fev./1998) em lugar de esperar uma ligação genética com os magmas lamprofíricos.

Conclui Rock (1991): “a global, intimidade de espaço e tempo da associação dos lamprófiros cálcio-alcalinos-Au faz de alguns lamprófiros calcio-alcalinos indicadores

do Au no seu próprio direito. Parece provável que aquelas fusões de lamprófiros cálcio-alcálicos contribuem com fluidos e talvez também Au para os sistemas mineralizadores. Em todo caso, a associação tem implicações principais para a colocação tectônica de depósitos de Au de origem mesotermal”.

Fugacidade de oxigênio

Ao ser investigados no Capítulo 5 os xenocristais de espinélio de Ymi-1 no diagrama $Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Fe^{2+})$ vs Cr# (Ramsay et al., 1994), eles indicaram condições de formação por baixo do tampão QFM (Figura 5-6), com concentrações elevadas das inclusões e alguns espinélios dos concentrados no tampão Q-1 (QFM, menos uma unidade logarítmica). Foi também evidenciado que espinélios de microfenocristais, dos concentrados e de algumas inclusões apresentam fugacidade ainda menor, i.e., <I+1 (Ferro-Wüstita, mais uma unidade logarítmica), a I+2 (Ferro-Wüstita, mais duas unidades logarítmicas). Estes valores da fugacidade de oxigênio são muito favoráveis à formação do diamante nas raízes cratônicas. Por sua vez as inclusões de espinélio em olivinas de Yzu-1 formaram-se num ambiente com tampão Q-1 a I+2 (Figura 5-6). As inclusões de espinélio em Ymi-1 e Yzu-1 possuem valores de fugacidade I+1 a Q-1 o que indica em favor de condições de transporte com fugacidade de oxigênio favoráveis para a preservação do diamante. Isto permite concluir que a fugacidade de oxigênio que apresentam os xenocristais de espinélio, em geral, e a apresentada pelas inclusões (<I+1 a Q-1) em minerais máficos, por exemplo, em Ymi-1, fornecem condições favoráveis para a formação e preservação do diamante.

As ilmenitas de Ymi-1 e Ymi-8, foram também analisadas no sistema $MgTiO_3$ - $FeTiO_3$ - Fe_2O_3 (Figura 4-4 (a)). Observou-se que elas apresentam condições de oxidação/redução em torno do tampão 10^{-6} (~buffers wüstita-magnetita a 30 kbar e 1300° C). Este dado também apoiando o que já foi concluído com relação aos espinélios, ou seja, um ambiente relativamente redutor indicando positivamente para a preservação do diamante.

Comentários finais

É encontrado em Peccerillo (1995) que no Centro-Sul da Itália ocorrem rochas co-magmáticas principalmente, vulcânicas cálcio-alcálicas, potássicas (shoshoníticas) a ultrapotássicas: plagioclitos (p/ex. Roma), kamafugitos (p/ex. San Venanzo e Cupaello) e lamproítos (p/ex. Torre Alfina) e rochas transicionais entre rochas potássicas e rochas lamproíticas (p/ex. Toscana, norte de Latium); essas rochas evoluíram de diferente maneira e geraram-se a partir de fontes mantélicas também diferentes. Como comentado no Capítulo 1, Barton (1979) e mais tarde Foley et al. (1987) consagram a Província Romana como localidade *Standard members* do grupo. Assim, a Província co-magmática Romana não deve ser considerada tão só como *Standard members* do grupo basaltóide ultrapotássico (plagioclitos) mas também como uma das poucas províncias mundiais onde ocorrem os três grupos de rochas ultrapotássicas; i.e., plagioclitos, kamafugitos e lamproítos. Juntando-se ainda a esta associação o um grupo ultrapotássico transicional

Uma das conclusões deste trabalho levou a de caracterizar, junto ao *rift de Asunción* na província potássica a ultrapotássica alcalina Mesozóica do Paraguai Oriental, um grupo de lamproítos_{ss} (no Campo Ybytyruzú) e um lamproíto transicional (Ymi-5, no Campo Ybytymí). Esses grupos ocorrem juntos a basaltos potássicos a ultrapotássicos (plagioclitos), identificados por Comin-Chiaramonti et al. (1992; 1996; 1997) para o Campo Ybytymí e em parte também, para o *Campo Ybytyruzú*, este em número de ocorrência muitíssimo reduzido. Assim, embora não reportada ocorrência de kamafugitos associados no *rift de Asunción*, o tipo de associação de rochas potássicas a ultrapotássicas é comparável a Província co-magmática Romana.

Bitschene (1987) e Comin-Chiaramonti et al. (1992; 1996; 1997) registraram feições geoquímicas, como por exemplo anomalias negativas em Ta-Nb-Ti, assim como também o comportamento nos isótopos de Sr e Nd, que são identificadas em rochas vulcânicas vinculadas com processos de subdução. As rochas potássicas-ultrapotássicas do *rift de Asunción* ocorrem num ambiente continental; i.e., ambiente impossível de vinculá-lo com processos de subdução (Comin-Chiaramonti et al.

1992; 1996). Bitchene (1989) indica que estas rochas proviriam da litosfera continental heterogênea enriquecida possivelmente, através da subdução da cunha crustal subdutada e parcialmente fundida.

É geralmente aceito que uma região do manto existente debaixo de crátons continentais estáveis e antigos poderiam ter registrado o último evento térmico na crosta subjacente (Menzies et al., 1987). Este processo necessariamente leva ao enriquecimento (metassomático) da cunha do manto sobrejacente à placa subduptada. Segundo Haggerty (1990), isto acontece na região por ele denominada de *metasome* (~50-100 kms de profundidade). Posteriormente esta região do manto peridotítico metassomaticamente enriquecida, nas regiões do manto crátonizado que permanece sem perturbações ao longo do tempo, podem sofrer fusão parcial e assim gerar magmas em ambientes atualmente continentais e estáveis, com assinaturas próprias de magmas ligados à subdução (p/ex. Menzies et al., 1987).

O cráton Rio de La Plata esteve até o Proterozóico colado ao cráton Amazônico (Trompete, 1994). No cráton Amazônico tem-se registros que no Proterozóico aconteceram eventos orogênicos a ele vinculados; por exemplo, a orogenia San Ignacio (± 1.3 Ga, Brito-Neves et al., 1996); e veja-se que Gibson et al. (1996) e Castorina et al. (1996) registraram para as rochas potássicas a ultrapotássicas Mesozóicas associadas/vinculadas com o *rift de Asunción*, idades de enriquecimento para a fonte peridotítica da qual derivaram entre 1.2 e 1.8 Ga, que acredita-se, como sugerido por Bitschene (1989), que se deva a enriquecimento através de processos de subdução. Isto inevitavelmente levam os pesquisadores a se perguntar: “este fenômeno estaria explicando o fato de lamprófiros cálcio-alcalinos ocorrerem num ambiente tectônico impróprio a eles?”.

Referências

- ADANS, G.E. & BISHOP, F.C. 1986.** The olivine-clinopyroxene geobarometers: experimental results in the CaO-FeO-MgO-SiO₂ system. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **94**: 230-237.
- ALLAN, J.F. & CARMICHAEL, I.S.E., 1984.** Lamprophyric lavas in the Colina graben, SW Mexico. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **88**: 203-216.
- ALMEIDA, F.F.M., 1971.** Geochronological division of the Precambrian of South America. *Rev. Bras. Geoc.*, **1**: 13-21.
- ALMEIDA, F.F.M., 1978.** Chronotectonic boundaries for Precambrian of South America. *An. Acad. Bras. Cienc.*, **50** (4): 527-535.
- ALMEIDA, F.F.M., 1983.** Relações Tectônicas das Rochas Alcalinas da Região Meridional da Plataforma Sul-Americana. *Rev. Bras. Geoc.*, **13**: 139- 158.
- ALMEIDA, F.F.M.; AMARAL, G. CORDANI, U.G. & KAWASHITA, K. 1973.** The Precambrian evolution of the South America cratonic margin south of the Amazon river. In: NAIR & STEHLI (eds), *The ocean basins and margins*. Plenum, **1**: 411-446.
- ALVES, F.R. 1996.** Contribuição ao conhecimento geológico e petrológico das rochas alcalinas da ilha Dos Búzios. São Paulo, 274 p. Tese de Doutorado, IG-USP.
- ASSUMPÇÃO, M.; JAMES, D. & SNOKE, A, 1997.** Crustal thicknesses in SE Brazilian shield with receiver function: Isostatic compensation by density variation in the lithospheric mantle. In: *Anais do 5, CONGR. INTER. SOC. BRASIL. GEOF.*, São Paulo. 895-897.
- BALLARD, S. & POLLACK, H.N. 1987.** Diversion of heat by Archean cratons: a model for southern Africa. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **85**: 253-264.
- BALLHAUS, C.; BERRY, R.F.& GREEN, D.H. 1991.** High pressure experimental calibration of the olivine orthopyroxene spinel oxygen geobarometer: implications for the oxidation state of the upper mantle. *Contrib. Mineral Petrol.*, **107**: 27-410.

- BARTON, M., 1979.** A comparative study of some minerals occurring in the potassium-rich alkaline rocks of the Leucite Hills, Wyoming, the Vico Volcano, western Italy, and Toro-Ankole region, Uganda. N.J. Miner. Abh., **137**: 113-134.
- BASEI, M.A.S. 1985.** O cinturão Dom Feliciano em Santa Catarina. São Paulo, 195p. Tese de Doutorado, IGc – USP.
- BASEI, M.A.S.; SIGA Jr., O.; REIS NETO, J.M.; HARARA, O.M.; PASSARELLI, C.R. & MACHIAVELLI, A. 1997.** Geochronological map of the Precambrian terrains of Paraná and Santa Catarina States, southern Brazil: Tectonic implications. In: South-Amer. Simp. on Isot. Geol., Extend. Abstr., 44-46. Brazil.
- BASEI, M.A.S.; SIGA JÚNIOR, O.; MACHIAVELLI, A. & MANCINI, F. 1992.** Evolução tectônica dos terrenos entre os Cinturões Ribeira e Dom Feliciano (PR – SC). Rev. Bras. Geoc., **22** (2): 216-221.
- BERGMAN, S.C., 1987.** Lamproites and others potassium-rich igneous rocks: a review of their occurrence, mineralogy and geochemistry. In: FITTON & UPTON (eds.) Alkaline Igneous Rocks. Geol. Soc. Spec. Publ., **30**: 103-190.
- BERGMAN, S.C.; DUNN, D.P. & KROL, L. 1988.** Rock and mineral chemistry of Linhaisai minette, Central Kalimantan, Indonesia, and the origin of Borneo diamonds. Canadian Mineralogist, **26**:23-43.
- BERROCAL, J. & FERNANDES, C. 1996.** Seismicity in Paraguay and neighbouring regions. In: COMIN-CHIARAMONTI & GOMES (eds). Alkaline Magmatism In Central Eastern Paraguay. Relationships with coeval magmatism in Brasil. p. 57-66
- BITSCHENE, P.R., 1987.** Mesozoischer Und Känozoischer Anorogener Magmatismus in Ostparaguay: Arbeiten zur Geologie und Petrologie zweier Alkaliprovinsen. Heidelberg, 337p., Tese de Doutorado Univ. Hiedelberg.
- BITSCHENE, P.R. 1989.** Timing and evolution of Late Phanerozoic intraplate alkaline magmatism in Eastern Paraguay. In: 28th. INT. GEOL. CONGR., Washington. Ext. Abstr.
- BITSCHENE, P.R. & LIPPOLT, J,H, 1986.** Acid magmatites of the Brasiliano cycle in East Paraguay. Zbl. Geol. Palaont., Teil I, **9/10**: 1457-1468.

- BITSCHENE, P.R. & PRESSER, J.L.B., 1989.** The Asunción Alkaline Province (Eastern Paraguay): Geologic Setting and Petrogenetic Aspects. *Zbl. Geol. Palaont., Teil I* **5/6**: 959-971.
- BITSCHENE, P.R.; LIPPOLT, H.J.; STROH, A., 1986.** Jung-mesozoicher, K-bentonter Magmatismus in Ostparaguay (Guairá-Paraguarí Provinz) und Rifting-Prozesse innerhalb der sudamerikanischen Plattform. *Fortsch. Miner.*, **64/1**, p 19.
- BOL, L.C.G.M.; BOS, A.; SAUTER, P.C.C. & JANSEN, J..B.H. 1989.** Barium-titanium-rich phlogopites in marbles from Rogaland, Southwest Norway. *Am. Mineral.*, **74**: 439-447.
- BOWLES, J.F.W. 1988.** Definition and range of composition of naturally occurring minerals with the pseudobrookite structure. *Am. Mineral.*, **73**: 1377- 1383.
- BOYD, F.R. & FINNERTY, A.A. 1980.** Conditions of Origin of Natural Diamonds of Peridotite affinity. *J. of Geoph.Res.*, **85**, nº 12: 6911-6918.
- BOYD, F.R. & NIXON P.H. 1975.** Origins of the ultramafic nodules from some kimberlites of the Northern Lesotho and the Monastery Mine, South Africa. *Physics and Chem. Of the Earth.*, **9**: 431-454.
- BOYD, F.R.; PEARSON, D.G.; NIXON, P.H. & MERTZMAN, S.A. 1993** Low-calcium garnet harzburgites from Southern Africa: their relations to craton structure and diamond crystallization. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **113**: 352-366.
- BREY, G.P. 1989.** Geothermometry for Iherzolites: experiments from 10 to 60 kb, new geothermometers and application to natural rocks. *Hab. Tese. Darm., Min. Inst. Univ. Darm.*
- BREY, G.; DOROSHEV, G. & KOGARKO, L. 1991.** The joint pyrope-knorringite: experimental constraint for a new geothermobarometer for coexisting garnet and spinel. In: FIFTH INTER. KIMB. CONF.. *Extend. Abstr. CPRM Spec. Publ.* **2/91**. Brasilia.
- BREY, G.P. ; KOHLER, T. & NICKEL, K.G. 1989.** Geothermobarometry in natural four-phase Iherzolite: experiments from 10 – 60 kb, new thermobarometers and applications. In: 28th. *INT. GEOL. CONGR.*, Washington. *Ext. Abstr.*

- BRIGATTI, M.F.; MEDICI, L.; SACCANI, E. & VACCARO, C. 1996.** Crystal chemistry and petrologic significance of Fe³⁺-rich phogopite from the Tapira carbonatite complex, Brazil. *American Mineral.*, **81**: 913-927.
- BRITO-NEVES, B. B. 1995.** Crátons e faixas móveis. *Bol. IG-USP, Sér. Didát. São Paulo, SP.*, **7**: 1-87
- BRITO-NEVES, B. B.; WINGE, M & CARNEIRO, M.A. 1996.** Orogêneses precedendo e tafrogêneses sucedendo Rodímia na América do Sul. *Bol. IG-USP, Sér. Cient.* **27**: 1-40.
- BRITO-NEVES, B.B. & CORDANI, U., 1991.** Tectonic evolution of South America during the Late Proterozoic. *Precam. Research.*, **53**: 23-40.
- BUDDINGTON, A.F. & LINDSLEY, D.H. 1964.** Iron-titanium oxide minerals and synthetic equivalents. *J. of Petrology*, **5**: 310-357.
- BULANOVA, G.P. 1995.** The formation of diamond. *J. of Geochemical Exploration*, **53**: 1-23.
- CAMERON, E.M. 1988.** Archean gold: relation to granulite formation and redox zoning in the crust. *Geology*, **16**: 109-112.
- CARBONIN, S. & PRINCIVALLE, F. 1996.** A crystal-chemical study of pyroxenes with diopsidic structures in alkaline rocks from Central-Eastern Paraguay: some considerations on tetrahedrally coordinated Ti⁴⁺. In: COMIN-CHIARAMONTI & GOMES (eds). *Alkaline Magmatism In Central Eastern Paraguay. Relationships with coeval magmatism in Brasil.* p. 157-180.
- CARMICHAEL, I.S.E.; LANGE, R.A. & LUHR, J.F. 1996.** Quaternary minettes and associated volcanic rocks of Mascota, western Mexico: a consequence of plate extension above a subduction modified mantle wedge. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **124**: 302-333.
- CARSWELL, D. & GIBB, F.G.F. 1987.** Evaluation of mineral thermometers and barometers applicable to garnet lherzolite assemblages. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **95**: 499-511.
- CARSWELL, D. & GIBB, F.G.F. 1987.** Garnet lherzolite xenoliths in the kimberlites of northern Lesotho: revised P-T equilibration conditions and upper mantle palaeogeotherm. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **97**: 473-487.

- CARVALHO, J.B. & LEONARDOS, O.H. 1997.** Garnet peridotites from the Três Ranchos IV kimberlitic pipe, Alto Paranaíba igneous province, Brazil: Geothermobarometric constraints. *Russian Geology and Geophysics*, **38** (1): 168-181
- CASTORINA, F.; PETRINI, R.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; CAPALDI, G. & PARDINI, G. 1996.** Potassic magmatism from the Asunción-Sapucaí graben, Eastern Paraguay: inferences on mantle sources by Sr-Nd isotopic systematics. In: COMIN-CHIARAMONTI & GOMES (eds). *Alkaline Magmatism In Central Eastern Paraguay. Relationships with coeval magmatism in Brasil*. p. 195-206.
- CELLAI, D.; CONTICELLI, S. & MENCHETTI, S. 1994.** Crystal-chemistry of clinopyroxenes from potassic and ultrapotassic rocks in central Italy: implications on their genesis. *Contrib. Mineral Petrol.*, **116**: 301-315.
- CHEMALE Jr., F.; BABINSKI, M.; VAN SCHMUS, W.R.; WILDNER, W. & LIMA, E.F. 1997.** U-Pb and Sm-Nd isotopic studies of Neoproterozoic to early Paleozoic belts in southern Brazil. In: *South-Amer. Simp. on Isot. Geol., Extend. Abstr.*, Brazil.
- CHIEREGATI, L. A. 1989.** Aspectos mineralógicos, genéticos e econômicos das ocorrências diamantíferas da região nordeste do Paraná e sul de São Paulo, 180p. Diss. Mestrado, IGc-USP.
- CINGOLANI, C.; VARELA, R.; DALLA SALDA, L. BOSSI, J.; CAMPAL, N.; FERRANDO, L. PINEYRO, D. ; SCHIPILOV, A. 1997.** Rb-Sr geochronology from the Rio de La Plata craton of Uruguay. In: *South-Amer. Simp. on Isot. Geol., Extend. Abstr.*, Brazil.
- COMIN-CHIARAMONTI, P. & GOMES, C.B., 1996.** *Alkaline Magmatism In Central Eastern Paraguay. Relationships with coeval magmatism in Brasil*. São Paulo: EDUSP/FAPESP, 460p
- COMIN-CHIARAMONTI, P.; CENSI, P.; CUNDARI, A.; De MIN, A.; GOMES, C.B.; MARZOLI, A. & PICCIRILLO, E.M. 1996.** Petrochemistry of early cretaceous potassic rocks from the Asunción-Sapucaí graben, Central-Eastern Paraguay. In: COMIN-CHIARAMONTI & GOMES (eds). *Alkaline Magmatism In Central Eastern Paraguay. Relationships with coeval magmatism in Brasil*. p. 123-149.

- COMIN-CHIARAMONTI, P.; CUNDARI, A.; De MIN, A.; GOMES, C.B. & VELÁZQUEZ, V.F. 1996.** Magmatism in Eastern Paraguay: occurrence and petrography. In: COMIN-CHIARAMONTI & GOMES (eds). Alkaline Magmatism In Central Eastern Paraguay. Relationships with coeval magmatism in Brasil. p. 103-121.
- 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, mineral and geochemical outlines. *Lithos*, **28**: 283-301.
- COMIN-CHIARAMONTI, P.; CUNDARI, A.; PICCIRILLO, E.M.; GOMES, C.B.; CASTORINA, F.; CENSI, P.; DE MIN, A.; MARZOLI, A.; SPEZIALE, S. & VELÁZQUEZ, V.F. 1997.** Potassic and sodic igneous rocks from Eastern Paraguay: their origin from the lithospheric mantle and genetic relationships with the associated Paraná flood tholeiites. *J. of Petrology*, **38 (4)**: 495-528.
- COMIN-CHIARAMONTI, P.; GOMES, C.B.; CENSI, P.; DE MIN, A.; ROTOLO, S.G.; VELÁZQUEZ, V.F., 1993.** Geochimica do magmatismo pós-paleozóico no Paraguai Centro-Oriental. *Geochim. Brasil.*, **7(1)**: 19-34.
- COMTE, D. & HASUI, Y., 1971.** Geochronology of Eastern Paraguay by the Potassium-Argon Method. *Rev. Bras. Geoc.*, **1**:33-43.
- CONTICELLI, S. & PECCERILLO, A. 1990.** Petrological significance of high-pressure ultramafic xenoliths from ultrapotassic rocks of Central Italy. *Lithos*, **24**:305-322.
- CONTINI, S.; VENTURELLI, G. & TOSCANI, L. 1993.** Cr-Zr-armalcolite-bearing lamproites of Cancaix, SE Spain. *Mineralogical Magazine*, **57**: 203-216.
- CORDANI, U.G.; NEVES, B.B.B.; FUCHS, R.A.; PORTO, R.; THOMAZ-FILHO, A. & DA CUNHA, F.M.B. 1984.** Estudo preliminar de integração do Pré-Cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras. PETROBRAS, Centro de Pesquisas e desenvolvimento, CENPES, DIVEX, 70p.
- COSTA V.S. 1996.** Estudos mineralógicos e químicos do kimberlito Batobi 6 (MT) em compação com as intrusões Três Ranchos 4 (GO) e Limeira (MG). Campinas, 112p., Diss. de Mestrado, I.G. Universidade Estadual de Campinas.
- CUADRICULA 41-CORONEL OVIEDO, 1966.** Plan de prospección Geológica y Mineral. Direc. Rec. Min. M.O.P.C. Asunción.

- CUNDARI, A. & COMIN-CHIARAMONTI, P. 1996.** Mineral chemistry of alkaline rocks from the Asunción-Sapucaí graben (Central-Eastern Paraguay). In: COMIN-CHIARAMONTI & GOMES (eds). Alkaline Magmatism In Central Eastern Paraguay. Relationships with coeval magmatism in Brasil. p. 181-193.
- DALLA SALDA, L.; BOSSI, J. & CINGOLANI, C. 1988.** The Rio de La Plata cratonic region of Southwestern Gondwanaland. *Episodes*, **11** (4): 263-269.
- DANIELS, L.R.M. & GURNEY, J.J. 1989.** The chemistry of the garnets, chromites and diamond inclusions from the Dokolwayo kimberlite, Kingdom of Swaziland. *Spec.Publ.Geol.Soc.Austr.*, **14**: 1012-1021
- DANNI, J.C.M. & GASPAS, J.C. 1994.** Química do katungito de Amornópolis –Goias contribuição ao estudo do magmatismo kamafugítico. *Geochim Brasil.*, **8** (2): 119-134.
- DANNI, J.C.M.; GASPAS, J.C. & GONZAGA, G.M. 1991.** The Fazenda Alagoinha intrusion, Três Ranchos, Goias. In: FIFTH INTER. KIMB. CONF.: Field Guide Book. 31-35.
- DAWSON, J.B. & SMITH, J.V. 1975.** Chromite-silicate intergrowths in upper-mantle peridotites. *Physics and Chem. Of the Earth*, **9**: 339-350.
- DAWSON, J.B. 1980.** Kimberlites and their xenoliths. Springer-Verlag, Berlin, 52pp.
- DE MIN, A. 1993.** Il magmatismo Mesozoico K-alcálico del Paraguai Orientale: aspetti petrogenetici ed implicazioni geodinamiche. Trieste, 242p. Tese de Doutorado, Univ. degli Studi di Trieste, Fac. di Scie. Mat., Fis. e Nat.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A. & ZUSSMAN, J. 1966.** An Introduction to the Rock-Forming Minerals (2^o ed., 1992). Logman Scientific & Technical, 696p.
- DEGRAFF, J., 1985.** Late mesozoic Crustal Extension and Rifting on the Western Edge of the Paraná basin, Paraguay. *Geol. Soc. Amer. Abstr.*
- DEMARCHI, G.; COMI-CHIARAMONTI, P.; DE VITO, P.; SINIGOI, S. & CASTILLO C.A.M. 1988.** Lherzolite-dunite xenoliths from Eastern Paraguay: petrological constraints to mantle metasomatism. In: PICCIRILLO & MELFI (eds) The Mesozoic flood volcanism of the Paraná basin, petrogenetic and geophysical aspects., Univ. São Paulo, Inst. Astr. e Geof. 207-227.

- DOROSHEV, A.M.; BREY, G.P.; GIRNIS, A.V.; TURKIN, A.I. & KOGARKO, L.N. 1997.** Pyrope-knorringite garnets in the earth's mantle: experiments in the MgO-Al₂O₃-SiO₂-Cr₂O₃ system. *Russian Geology and Geophysics*, **38** (2): 559-586.
- DRUEKER, M.D. & GAY, S.P., 1987.** Mafic Dyke Swarms Associated with Mesozoic Rifting in Eastern Paraguay, South America. In: HALL & FAHRIG (eds.), *Mafic Dyke Swarms*. Geol. Ass. of Can. Spec. Paper, **34**: 187-193.
- DUCHKOV, A.D. & SOKOLOVA, L.S. 1997.** Thermal structure of the lithosphere of the Siberian platform. *Russ. Geol. and Geophysics*, **38** (2): 528-537.
- DUGGAN, M.B. & JAQUES, A.L. 1996.** Mineralogy and geochemistry of Proterozoic shoshonitic lamprophyres from the Tennant Creek Inlier, Northern Territory. *Australian J. of E. Sciences*, **43**: 269-278.
- DYMEK, R.F. 1983.** Titanium, aluminum and interlayer cation substitutions in biotite from high-grade gneisses, West Greenland. *American Mineralogist*, **68**: 880-899.
- ECHEVESTE, H.; RIBOT, A.; TEXEIRA, W.; FERNÁNDEZ, R.; GIRARDI, V.A.V.; PICCIRILLO, E.M.; BELLINI, G. & JACUMIN, 1997.** Preliminary Rb/Sr geochronology of calc-alkaline dykes from the Tandilia system, Buenos Aires Province, Argentina. In: *South-Amer. Simp. on Isot. Geol., Extend. Abstr.*, 107-109. Brazil.
- ECKEL, E.B., 1959.** *Geology and Mineral Resources of Paraguay. A Reconnaissance*. U.S. Geol. Sur. Prof. Pap., **327**, 110p.
- ERLANK, A.J.; WATERS, F.G.; HAWKESWORTH, C.J.; HAGGERTY, S.E.; ALLSOPP, H.L.; RICKARD, R.S. & MENZIES, M. 1987.** Evidence for Mantle Metasomatism in Peridotite Nodules from The Kimberley Pipes, South Africa. In: MENZIES & HAWKESWORTH (eds.) *Mantle Metasomatism*. p 221-311.
- FABRIÈS, J. 1979.** Spinel-olivine geothermometry in peridotites from ultramafic complexes. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **69**: 329-336.
- FELDSTEIN, S.H.N.; LANGE, R.A.; VENNEMANN, T & O'NEIL, J.R. 1996.** Ferric-ferrous ratios, H₂O contents and D/H ratios of phogopite and biotite from lavas of different tectonic regimes. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **126**: 51-66.

- FIELDING, D.C. & JAQUES, A.L. 1989.** Geology, petrology and geochemistry of the Bow Hill lamprophyre dikes, Western Australia. Geol.Soc.Australia Special Publication., **14** (1): 206-219.
- FINGER, L. W. 1972.** The uncertainty of the calculated ferric iron content of a microprobe analysis. Carmeg. Inst. Wash. Year Book, **71**: 600-603.
- FINNERTY, A.A. & BOYD, F.R. 1987** Thermobarometry for garnet peridotites: basis for the determination of thermal and compositional structure of the upper mantle. In: NIXON (ed.) Mantle Xenoliths, John Wiley & Sons Ltd., 381-412.
- FINNERTY, A.A. 1989.** Xenolith-derived mantle geotherms: whiter the inflection. Contrib. Mineral. Petrol., **102**: 367-375.
- FIPKE, C.E., 1991.** Significance of the chromite, G5 Mg-Almandine garnet, Zircon and Tourmaline in heavy mineral Detection of diamond Bearing lamproite. In: FIFTH INTER. KIMB. CONF. Extend. Abstr. CPRM Spec. Publ., **2/91**. Brasilia.
- FIPKE, C.E. 1994.** Significance of the chromite, ilmenite, G-5 Mg-almandine garnet, zircon and tourmaline in heavy mineral detection of diamond bearing lamproite. In: MEYER & LEONARDOS (eds.) Diamonds: Characterization, Genesis and Exploration. CPRM Special Publications, **1/B Jan/94**: 366-381.
- FIPKE, C.E.; DUMMETT, H.T.; MOORE, R.O.; CARLSON, J.A.; ASHLEY, R.M. & GURNEY, J.J. 1995.** History of the discovery of diamondiferous kimberlites in the Northwest Territories, Canada. In: SIXTH INTER. KIMB. CONF. Extended Abstracts, Russia. Vol I: 158-160.
- FOLEY, S.F. 1985.** The oxidation state of lamproitic magmas. Tschermak Min. Petr. Mitt., **34**: 217-238.
- FOLEY, S.F. 1989.** The genesis of lamproitic magmas in a reduced fluorine-rich mantle. Geol.Soc.Australia Special Publication, **14** (1): 616-631.
- FOLEY, S.F. 1992** Petrological characterization of the source components of potassic magmas: geochemical and experimental constraints. Lithos, **28**: 187-204.
- FOLEY, S.F.; VENTURELLI, G.; GREEN, D.H.; TOSCANINI, L., 1987.** The ultrapotassic rocks: Characteristics, classification and constrains for petrogenetic models. Earth Sci. Rev., **24**: 81-134.

- FORBES, W.C. & FLOWER, M.J.F. 1974.** Phase relations of titan-phlogopite, $K_2Mg_4TiAl_2Si_6O_{20}(OH)_4$: a refractory phase in the upper mantle. *Earth. Planet. Sci. Lett.*, **22**: 60-66.
- FRAGOSO CESAR, A.R.S. & MACHADO, R., 1997.** Neoproterozoic terranes of the Gaucho shield (Southern Brazil and Uruguay). In: *South-Amer. Simp. on Isot. Geol., Extend. Abstr.*, 65-67. Brazil.
- FRAGOSO-CESAR, A.R.S.F. & SOLIANI, E. 1984.** Compartimentação tectônica do cráton Rio de La Plata. *Anais XXXIII Congr. Brasil. Geol. Rio de Janeiro, Brasil*, **5**: 2426-2434.
- FÚLFARO, V.J. 1996.** Geology of Eastern Paraguay. In: *COMIN-CHIARAMONTI & GOMES (eds). Alkaline Magmatism In Central Eastern Paraguay. Relationships with coeval magmatism in Brasil.* p. 17-29.
- GANGULY, J. & BHATTACHARYA, P.K. 1987** Xenoliths in Proterozoic kimberlites from southern India: petrology and geophysical implications. In: *NIXON (ed.) Mantle Xenoliths*, p. 431-454.
- GARDA, G.M. 1995** Os diques básicos e ultrabásicos da região costeira entre as cidades de São Sebastião e Ubatuba, estado de São Paulo. São Paulo, 156p. Tese de Doutorado, IGc-USP.
- GARDA, G.M. 1996.** Os piroxênios dos diques máficos e ultramáficos do litoral entre São Sebastião e Ubatuba, SP. *Geochim. Brasil.*, **10** (2): 297-323.
- GASPAR, J.C. & WYLLIE, P.J. 1983.** Ilmenite (high Mg Mn Nb) in the carbonatites from the Jacupiranga complex, Brazil. *Am. Mineral.*, **38**: 960-971.
- GIAMPAOLO, C.; GODANO, R.F. DI SABATINO, B. & BARRESE, E. 1997.** The alteration of leucite-bearing rocks: a possible mechanism. *Eur. J. Mineral.*, **9**: 1277-1291.
- GIBSON, S.A.; THOMPSON, R.N.; LEONARDOS, O.H.; DICKIN, A.P.; MITCHELL, J.G., 1995.** The late cretaceous impact of the Trindade mantle plume: Evidence from large-volume, mafic potassic magmatism in SE Brasil, *J. Petrol.*, **36**: 189-229.
- GOGINENI, S.V.; MELTON, C.E. & GIARDINI, A.A. 1978.** Some petrological aspects of the prairie Creek diamond-bearing kimberlite diatreme, Arkansas. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **66**: 251-261.

- GOMES, C.B.; COMIN-CHIARAMONTI, P; VELÁZQUEZ, V.F. & ORUÉ, D. 1996.** Alkaline magmatism in Paraguay: a review. In: COMIN-CHIARAMONTI & GOMES (eds). Alkaline Magmatism In Central Eastern Paraguay. Relationships with coeval magmatism in Brasil. p. 31-56.
- GRAND, S.P. 1987.** Tomographic inversion for shear velocity beneath the North American plate. *J. Geophys. Res.*, **92**: 14065-14090.
- GRIFFIN, W.L. & RYAN, C.G. 1995.** Trace elements in indicator minerals: area selection and target evaluation in diamond exploration. *J. of Geochemical Exploration*, **53**: 311-337.
- GRIFFIN, W.L.; O'REILLY, S.Y.; RYAN, C.G. & WALDMAN, M.A. 1994.** Indicator minerals from Prairie Creek and Twin Knobs lamproites: relation to diamond grade. In: MEYER & LEONARDOS (eds.), *Diamonds: characterization, genesis and exploration*, Spec. Publ., **J/B Jan 94** Brasilia: 302-318
- GRIFFIN, W.L.; RYAN, C.G.; GURNEY, J.J.; SOBOLEV, N.V. & WIN, T.T. 1994.** Chromite macrocrysts in kimberlites and lamproites: geochemistry and origin. In: MEYER & LEONARDOS (eds.), *Kimberlites, Related Rocks and mantle Xenoliths*, Spec Publ., **J/B Jan 94** Brasilia: 366-377.
- GRIFFIN, W.L.; RYAN, C.G.; O'REILLY, S.Y. & GURNEY, J.J. 1995.** Lithosphere evolution beneath the Kaapvaal craton: 200-80 Ma. In: **SIXTH INTER. KIMB. CONF.** Extended Abstracts, Russia, Vol II: 203-204.
- GRIFFIN, W.L.; SOBOLEV, N.V.; RYAN, C.G.; POKHILENKO, N.P.; WIN, T.T. & YEFIMOVA, E.S. 1993.** Trace elements in garnets and chromites: Diamond formation in the Siberian lithosphere. *Lithos*, **29**:235-256.
- GUIMARÃES, G.B. 1995.** Ocomplexo granítico Cunhaporanga na região de Joaquim Murtinho, Piraí do Sul (Pr): Caracterização Faciológica das rochas granitoides. Diss. Mestrado. IGc/USP 144p.
- GUPTA, A.K. & YAGI, K. 1980.** Petrology and genesis of leucite-bearing rocks. Springer-Verlag, Berlin, 252 p.
- GURNEY, J.J. & ZWEISTRA, P. 1995.** The interpretation of the major element compositions of the mantle minerals in diamond exploration. *J. of Geoche. Exploration*, **53**: 293-309.

- HAGGERTY, S. 1973.** Spinels of unique compositions associated with ilmenite reactions in the Liphobong kimberlite pipe, Lesotho. In: NIXON (ed), Lesotho Kimberlites. Cape & Transvaal Printers Ltd., p. 149-158.
- HAGGERTY, S.E. 1975** The chemistry and genesis of the opaque minerals in kimberlites. *Physics and Chem. Of the Earth*, **9**: 295-307.
- HAGGERTY, S.E. 1976.** Opaque mineral oxides in terrestrial igneous rocks. In: RUMBLE (ed.) 1976. Oxide minerals. Mineralogical Society of America, short Course Notes, **3**: 101-300.
- HAGGERTY, S.E. 1990.** Redox state of the continental lithosphere. In: MENZIES (ed.) Continental mantle, . *Oxf. Mon. on Geol. and Geoph.*, n° **16**: 87-109.
- HAGGERTY, S.E. 1991.** Oxide mineralogy of the upper mantle. In: LINDSLEY (ed.) 1991. Oxide Minerals: Petrologic and magnetic significance. Mineralogical Society of America, *Reviews in Mineralogy*, **25**: 129-218.
- HAGGERTY, S.E. 1994.** Upper mantle mineralogy. International Symposium on the physics and chemistry of the Upper Mantle (ISUM). Invited lectures. São Paulo, CPRM/FAPESP. p. 33-82.
- HALL, A. 1982.** The Pendernis peralkaline minette. *Mineral. Magazine.*, **45**: 257-266.
- HALL, A.E. & SMITH, C.B. 1985.** Lamproite diamonds – are they different?. *Pubs. Geol. Dep. & Extension, Univ. West. Aust.*, **8**: 167-212.
- HALLINAN, S.E.; MANTOVANI, M.S.M.; SHUKOWSKY, W. & BRAGGION, I. Jr. 1993.** Estrutura do Escudo Sul-Brasileiro: uma revisão através de dados gravimétricos e magnetométricos. *Rev. Brasil. Geoc.*, **23 (3)**: 201-214.
- HAMILTON, R. & ROCK, N.M.S. 1990.** Geochemistry, mineralogy and petrology of a new find of ultramafic lamprophyres from Bulljah Pool, Yilgarn craton, Western Australia. *Lithos*, **24**: 275-290.
- HAMZA, V.M. 1997.** Were there moving “plumelets” in the South Brazilian Continental lithosphere?. In: Anais do 5, CONGR. INTER. SOC. BRASIL. GEOF., São Paulo. 911-913.
- HAMZA, V.M. & MUÑOS, M. 1996.** Heat flow map of South America. *Geothermics*, **25**: 599-646.
- HARARA, O.M.; BASEI, M.A.S. & SIGA JÚNIOR, O., 1997.** Geochronological and geochemical date on the transition zone between Luis Alves and Atuba

Complexes, south Brazil. In: South-Amer. Simp. on Isot. Geol., Extend. Abstr., 134-136. Brazil.

- HARRIS, J.W.; DUNCAN, D.J.; ZHANG F.; MIA, Q. & ZHU Y 1994.** The physical characteristics and syngenetic inclusion geochemistry of diamonds from pipe 50, Liaoming Province, People's Republic of China. In: MEYER & LEONARDOS (eds.) *Diamonds: Characterization, Genesis and Exploration*. CPRM Special Publications **1/B Jan/94**: 106-117.
- HELMSTAEDT, H.H & GURNEY, J.J. 1995.** Geotectonic controls of primary diamond deposits: implications for area selection. *J. of Geochemical Exploration*, **53**: 125-144.
- HENDERSON, C.M. & FOLAND, K.A. 1996.** Ba- and Ti- rich primary biotite from the Brome alkaline igneous complex, Monteregian Hills, Quebec: mechanisms of substitution. *Can. Mineral.*, **34**: 1241-1252.
- HERBST, R. 1975.** Helechos Pérmicos del Paraguay. In: *Actas I Congr. Arg. Paleont. y Bioest.*, Tucumán, Argentina, **1**: 420-438.
- HOGARTH, D. 1997.** Mineralogy of leucite-bearing dykes from Napoleon Bay, Baffin Island: Multistage Proterozoic lamproites. *Can. Mineral.*, **35**: 53-78.
- JAMES, D.; ASSUMPÇÃO, M.; SNOKE, A.; RIBOTTA, L.C. & KUEHNEL, R. 1993.** Seismic studies of continental lithosphere beneath Brazil. *An. Acad. bras. Ci.*, **65** (2): 227-250.
- JAMES, D.E.; ASSUMPÇÃO, M; SNOKE, J.A.; RIBOTTA, L.C. & KUEHNEL, R. 1993.** Seismic studies of continental lithosphere beneath SE Brazil. *An. Acad. Bras. Ci.*, **65** (2): 227-250.
- JANSE, A.J.A. 1985.** Kimberlites –where and wen. In: GLOVER & HARRIS (eds), *Kimberlite occurrence and origin: Geol. Dep. and Univ. Ext., University of Western Australia Publication*, **8**: 19-61
- JANSE, A.J.A. 1994** Reviw of supposedly non-kimberlitic and non-lamproitic diamond host rocks. In: MEYER & LEONARDOS (eds.) *Diamonds: Characterization, Genesis and Exploration*. CPRM Special Publications **1/B Jan/94**: 144-159.
- JANSE, A.J.A. 1994.** Is Cliffird's Rule still valid? Affirmative examples from around the World. In: *Diamonds: Characterization, Genesis and Exploration*. MEYER & LEONARDOS (eds.). CPRM Special Publications, **1/B Jan/94**: 215-235.

- JAQUES, A.L.; HAGGERTY, S.E.; LUCAS, H. & BOXER, G.L. 1989.** Mineralogy and petrology of the Argyle (AK1) lamproite pipe, Western Australia. *Spec.Publ.Geol.Soc.Austr.*, **14**: 153-169.
- JAQUES, A.L.; HALL, A.E.; SHERATON, J.; SMITH, C.B. & ROKSANDIC, Z. 1994.** Peridotitic planar octahedral diamonds from the Ellendale lamproites pipes, eastern Australia. In: *Diamonds: MEYER & LEONARDO (eds.). Characterization, Genesis and Exploration CPRM Special Publications 1/B Jan/94*: 69-77.
- JAQUES, A.L.; KERR, I.D.; LUCAS H.; SUN, S-S & CHAPPELL, B.W. 1989.** Mineralogy and petrology of picritic monchiquites from Wandagee, Carvon Basin, Western Australia. *Spec.Publ.Geol.Soc.Austr.*, **14**:120-139.
- JAQUES, A.L.; LEWIS, J.D.; GREGORY, G.P.; FERGUSON, J.; SMITH, C.B.; CHAPPELL, B.W.; McCULLOCH, M.T., 1984.** The diamond-bearing ultrapotassic (lamproitic) rocks of the West Kimberley region, Western Australia. In *KORNPROBST (ed.) Proceedings of the Third International Kimberlite Conference. Vol. 1 Kimberlites I: Kimberlites and Related Rocks*, p 225-254.
- JAQUES, A.L.; O'NEILL, H.St.C.; SMITH, C.B.; MOON, J. & CHAPPELL B.W. 1990.** Diamondiferous peridotite xenoliths from the Argyle (AK1) lamproite pipe, Western Australia. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **104**: 255-276.
- JENNINGS, C.M.H. 1995.** The exploration context for diamonds. *J. of Geochemical Exploration*, **53**: 113-124.
- JORDAN, T.H. 1975.** The continental tectosphere. *Rev. Geophys. Space Phy.*, **13**: 1-12.
- KAMINSKY, F.V.; FELDMAN, A.A.; VARLAMOV, V.A.; BOYKO, A.N.; OLOFINSKY, L.N.; SHOFMAN, I.L. & VAGANOV, V.I. 1995.** Prognostication of primary diamond deposits. *J. of Geochemical Exploration*, **53**: 167-182.
- KANZLER, A. 1987.** The southern Precambrian in Paraguay – Geological inventory and age relations. *Zbl.Geol. Palaont., Teil I*, **7/8**: 753-765.
- KAUL, P.F.T. 1980.** O cráton de Luiz Alves. *An. XXXI Congr. Brasil. Geol., Camboriú, Brasil*, **5**: 2677-2683.
- KENNEDY, C.S. & KENNEDY G.C. 1976.** The Equilibrium Boundary Between graphite and diamond. *J. Geophys. Res.*, **81**: 2467-2470.

- KUEHNER, S.M.; EDGAR, A.D. & ARIMA, M. 1981.** Petrogenesis of the ultrapotassic rocks from the Leucite Hills, Wyoming. *American Mineralogist*, **66**: 663-677.
- LE MAITRE, R.W. 1989.** Classification of igneous rocks and glossary of terms. Oxford, Blackwell, 193p.
- LEAKE, B.E. 1978.** Nomenclature of amphiboles. *Can. Mineral.*, **16**: 501-520.
- LEAKE, B.E.; WOOLLEY, A.R.; ARPS, C.E.S.; BIRCH, W.D.; GILBERT, M.C. GRICE, J.D.; HAWTHORNE, F.C.; KATO, A; KICH, H.J.; KRIVOVICHEV, V.G.; LINTHOUT, K.; LAIRD, J.; MANDARINO, J. MARESCH, W.V.; NICKEL, E.H.; ROCK, N.M.S.; SHUMACHER, J.C.; SMITH, D.C.; STEPHESON, N.C.N.; UNGARETTI, L.; WHITTAKER, E.J.W. & YOUZHI, G. 1997.** Nomenclature of amphiboles. Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Minerals Names. *Eur. J. Mineral*, **9**: 623-651.
- LETERRIER, J.; YUWONO, Y.S.; SOERIA-ATMADJA, R. & MAURY, R.C. 1990.** Potassic volcanism in Central Java and South Sulawesi, Indonesia. *Journal of S. Asian E. Sciences*, **4** (3): 171-187.
- LINTHOUT, K. & LUSTENHOUWER, W.J. 1993.** Ferrian high sanidine from Cancarix, Spain. *Mineralogical Magazine*, **57**: 289-299.
- LIVIERES, R. A. G. & QUADE, H.; 1987.** Distribución Regional y asentamiento Tectónico de los Complejos Alcalinos del Paraguay. *Zbl. Geol. Palaont.*, **Teil I 7/8**: 791-805.
- LIVIERES, R. A. G. 1987.** Der Karbonatit-Komplex von Chiriguelo, Nordost Paraguay. Clausthal, 191 p. Tese de Doutorado, Diss. H28.
- LUCAS, H.; MUGGERIDGE, M.T. & McCONCHIE, D.M. 1989.** Iron in kimberlitic ilmenites and chromian spinels: a survey of analytical techniques. *Spec.Publ.Geol.Soc.Austr.*, **14** (1): 312-320.

- MANSKER, W.L.; EWING, R.C. & KEIL, K. 1979.** Barian-titanian biotites in nephelinites from Oahu, Hawaii. *Am. Mineral.*, **64**: 156-159.
- MANTOVANI, M.S.M.; HAWKESWORTH, C.J. & BASEI M.A.S., 1987.** Nd and Pb isotope studies bearing on the crustal evolution of southeastern Brazil. *Rev. Brasil. Geociênc.*, **17**: 263-268.
- MANTOVANI, M.S.M.; VASCONCELLOS, A.C.B.C.; SHUKOWSKY, W. 1991.** Global Geoscience Transect 4: Brusque Transect from Atlantic Coast to Bolivian Border, Southern Brazil. Washington, AGU, p. 1-20. (Spec. Publ.).
- MARQUES, A.; ZAOTTO, O.A.; FRANÇA, A.B.; ASTOLFI, M.A.M. & PAULA, O.B. 1993.** Compartimentação tectônica da Bacia do Paraná. Curitiba: PETROBRAS/NEXPAR, 87 p.
- MENZIES, M.; ROGERS, N.; TINDLE, A. & HAWKESWORTH, CH. 1987.** Metasomatic and enrichment processes in lithospheric peridotites, an effect of asthenosphere-lithosphere interaction. In MENZIES & HAWKESWORTH (eds.) *Mantle Metasomatism*. p. 313-361.
- MEYER, O.H.O.A.; ZHANG ANDI; MILLEDGE, H.J. & MENDELSSOHN, M.J. 1994.** Diamonds and mineral inclusions in diamonds from Shandong and Liaoning Provinces, China. In: MEYER & LEONARDOS (eds.) *Diamonds: Characterization, Genesis and Exploration*. CPRM Special Publications **1/B Jan/94**: 98-107.
- MIDDLEMOST, E.A.K.; DALIM K.P. & FLETCHER, I.R. 1988.** Geochemistry and mineralogy of minette-lamproite association from the Indian Gondwanas. *Lithos*, **22**: 31-42.
- MILANI, E.D., 1997.** Evolução tecto-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu elacionamento com a geodinâmica Fanerozóica do Gondwana Sul-Occidental. Porto Alegre, **Vol I**: 255 p. (**Texto**) e **II (Ilustrações)**. Tese de Doutorado UFRGS.
- MITCHELL, R.N.; 1985.** A review of mineralogy of Lamproites. *Trans. Geol. Soc. S. Africa*, **88**: 411-437.
- MITCHELL, R.N. 1986.** *Kimberlites: Mineralogy, geochemistry and petrology*. Plenum Press, 442p.

- MITCHELL, R.N.; 1985.** A review of mineralogy of Lamproites. Trans. Geol. Soc. S. Africa, **88**: 411-437.
- MITCHELL, R.N. 1986.** Kimberlites: Mineralogy, geochemistry and petrology. Plenum Press, 442p.
- MITCHELL, R.N. 1995.** Kimberlites, orangeites, and related rocks. Plenum Press, 410p.
- MITCHELL, R.N. 1995.** The role of petrography and lithogeochemistry in exploration for diamondiferous rocks. Journal of Geoch. Explor., **53**: 339-350.
- MITCHELL, R.N.; PLATT, R.G. & DOWNEY, M. 1987.** Petrology of lamproites from Smoky Butte, Montana. J. Petrol., **28**: 645-677.
- MITCHELL, R.N. & BERGMAN, S.C. 1991.** Petrology of lamproites. Plenum press, New York. 447p.
- MORGAN, P. 1995.** Diamond exploration from the bottom up: regional geophysical signatures of lithosphere conditions favorable for diamond exploration. J. of Geochemical Exploration, **53**: 145-165.
- MORIMOTO, N. 1988.** Nomenclature of pyroxenes. Amer. Mineral., **73**: 1123-1133.
- MORRISON, G.W. 1980.** Characteristics and tectonic setting of the shoshonite rocks association. Lithos, **13**: 97-108.
- MULLER, D., MORRIS, B.J. & FARRAND, M.G. 1993.** Potassic alkaline lamprophyres with affinities to lamproites from the karinya syncline, South Australia. Lithos, **30**: 123-137.
- NICKEL, K.G. & GREEN, D.H. 1985** Empirical geothermobarometry for garnet peridotites and implications for the nature of the lithosphere, kimberlites and diamonds. Earth and Planet. Scien. Letters, **73**: 158-170.
- NIXON, P.H. 1973.** Lesotho Kimberlites. Cape & Transvaal Printers Ltd. 350 p.
- NIXON, P.H. 1987.** Mantle xenoliths. Wiley, New York, 844pp.
- NIXON, P & BOYD, R. 1975.** Origins of ultramafic nodules from some kimberlites of Northern Lesotho and the Monastery Mine, South Africa. Phy. and Chem. of the Earth, **9**: 431-454.

- NIXON, P. & BOYD, F.R. 1973.** Petrogenesis of the granular and sheared ultrabasic nodules suite in kimberlite. In: NIXON (ed), Lesotho Kimberlites. Cape & Transvaal Printers Ltd., 48-56.
- O'NEILL, H.St. & WALL, V.J. 1987.** The olivine-orthopyroxene-spinel oxygen barometers, the nickel precipitation in curve, and the oxygen fugacity of the Earth's upper mantle. *J. of Petrology*, **28**: 1169-1191.
- ORUÉ, D. 1996.** Síntese da geologia do Paraguai Oriental, com ênfase para o magmatismo alcalino associado. São Paulo, 163p. Diss. de Mestrado. IGc, USP.
- PALMIERI J.H. & ARRIBAS, A., 1975.** El Complejo Alkalino Potásico de Sapukai (Paraguai-Oriental). In: *Cogr. Lat. Amer. de Geol. Econ.*, 5to., Buenos Aires, **Vol IV**: 267-300.
- PECCERILLO, A. 1992.** Potassic and ultrapotassic rocks: compositional characteristics, petrogenesis, and geologic significance. *Episodes*, **15** (4): 243-250.
- PECCERILLO, A. 1995.** Mafic calcalkaline to ultrapotassic magmas in Central-Southern Italy: Constrains on evolutionary processes and implications for source compositions and conditions of magma generation. *An. Acad. bras. Ci.*, **67** (2): 171-189.
- PECCERILLO, A. & MANETTI, P. 1985.** The potassic alkaline volcanism of central southern Italy; a review of the data relevant to petrogenesis and geodynamic significance. *Trans. Geol. Soc. S. Africa*, **88**: 379-394.
- POKHILENKO, N.P.; SOBOLEV, N.V. & LAVRENTÉV, Y.G. 1977.** Xenoliths of diamondiferous ultramafic rocks from Yakutian kimberlites. In: *SEC. INTERN. KIMB.CONF. Ext. Abst. Santa Fe, New Mexico.*
- PRESSER, J.L.B., 1991.** Characterization of lamproites from Paraguay (South America). In: *FIFTH INTER. KIMB. CONF. Extend. Abstr. CPRM Spec. Publ. 2/91.* Brasilia.
- PRESSER, J.L.B.; 1992.** Geologia da Folha 5569-III La Colmena, Paraguai Oriental. São Paulo, 205p. Diss. de Mestrado, IG-USP.

- PRESSER, J.L.B.; 1994.** Leucita e Olivina-Lamproítos do Vale de Acahay (Rift de Asunción)(Paraguai-Oriental): Dados Gerais. Anais da Acad. brasil. de Ciências, **66/2**.
- PRESSER, J.L.B., 1994.** Characterization of lamproites from Paraguay (South America). In: MEYER & LEONARDOS (eds.), Kimberlites, Related Rocks and mantle Xenoliths, Spec. Publ. **J/B Jan 94 (1)**: 211-217.
- PRESSER, J.L.B., 1996.** Feições Minerais Nos Lamproítos Mesozóicos do *Rift Valley de Acahay* (Paraguai): Inclusões de Cromita em Olivinas. In: 2º Simp. da Pós-graduação, São Paulo, Instituto de Geociências, USP. Boletim de Resumos.
- PRESSER, J.L.B. 1996.** Magnésio em cromitas: novo geotermômetro. Anais da Acad. brasil de Ciências (no prelo).
- PRESSER, J.L.B. & BITSCHENE, P.R., 1990.** The Guairá-Paraguarí Alkaline Province (GPAP Eastern Paraguay): Geochemical Constrains on Mesozoic K-rich Intracontinental Rocks. In: 1º Coloquio de Rocas Magmáticas de Paraguay, San Lorenzo, Dep. Geol. Fac. Ciencias Nat. & Exactas. Resumos.
- PRESSER, J.L.B. & DA SILVA, A.J.C. 1997.** Termômetro do Mg em espinélios cromíferos. II SIMP. BRASIL. GEOL. DIAM. Programa, resumos, palestras e roteiro de excursão. UFMT – Publ. Especial **03/97**. Cuiabá-Brasil.
- PRESSER, J.L.B. & ULBRICH, H.G.J.H., 1994.** Porção central do "rift" de Asunción, Paraguai Oriental: dados estruturais e estratigráficos. Anais da Acad. brasil. de Ciências, **66/2**.
- PROYECTO PAR 83/005, 1986.** Mapa Geológico del Paraguay (1 mapa 1: e texto explicativo). Realização por Palmieri & Fúlfaro, Asunción Paraguay. Gov. Rep. del Paraguay/ONU.
- PROYECTO RADAMBRASIL, 1982.** Folha SF.21 Campo Grande. Levantamento de Recursos Naturais, Min. das Minas e Energia Scret. Gral., Rio de Janeiro, vol. **28**, 412p
- PUTZER, H., 1962.** Geologie von paraguay. Beitr. Reg. Geol. Erde, Bd. 2, 183p., Berlin.

- QUARTIERI, S.; ANTONIOLI, G.; ARTIOLI, G. & LOTTICI, P.P. 1993.** Xames study of titanium coordination in natural diopsidic pyroxenes. *Eur. J. Mineral.* **5**: 1101-1109.
- QUINTAS, M.C.L. 1995.** O embasamento da Bacia do Paraná: reconstrução geofísica de seu arcabouço. São Paulo, 213p Tese de Doutorado, IAG-USP.
- RAMOS, V.A. 1988.** Late Proterozoic-Early Paleozoic of the South America –a collisional history. *Episodes*, **11** (3): 168-174.
- RAMSAY, R.P. & TOMPKINS, L.A. 1994.** The geology, heavy mineral concentrate mineralogy, and diamond prospectivity of the Boa Esperança and Cana Verde pipes, correço D'Anta, Minas Gerais, Brasil. In: MEYER & LEONARDOS (eds.), *Diamonds: Characterization, Genesis and Exploration.. CPRM Special Publications 1/B Jan/94*: 329-345.
- RAMSAY, R.R.; EDWARDS, D.; TAYLOR, W.R.; ROCK, N.M.S. & GRIFFIN B.J. 1994.** Compositions of garnet and espinels from the Airieas diamondiferous kimberlite pipe, central Kimberley Block, Western Australia –implications for exploration. *J. of Geoch. Explor.*, **51**: 59-78.
- REID, A.M.; DONALDSON C.H.; BROWN, R.W.; RIDLEY, W.I. & DAWSON J.B. 1975.** Mineral Chemistry of Peridotite Xenoliths from the Lashaine Volcano, Tanzania. *Physics and Chem. Of the Earth.*, **9**:525-544.
- ROBERT, J.L. 1976.** Titanium solubility in synthetic phlogopite solid solutions. *Chem Geol.*, **17**: 213-227.
- ROCK, N.M.S. 1977** The nature and origin of lamprophyres: some definitions, distinctions, and derivations. *Earth Science Reviews*, **13**: 123-169.
- ROCK, N.M.S. 1986.** The nature and origin of ultramafic lamprophyres: alnöites and allied rocks. *J.Petrol.*, **27**: 155-196.
- ROCK, N.M.S. 1987.** The nature and origin of lamprophyres: an overview. In: FITTON & UPTON (eds.). *Alkaline igneous rocks. Spec.Publ.Geol.Soc.Lond.*, **30**: 191-226.
- ROCK, N.M.S. 1991.** *Lamprophyres.* Blakie, 258p.
- ROCK, N.M.S.& GROVES, D.I. 1988.** Can lamprophyres resolve the genetic controversy over mesothermal gold deposits?. *Geology*, **16**: 538-541.

- ROCK, N.M.S.; GASKARTH, J.W.; HENNEY, P.J. & SHAND, P. 1988.** Late Caledonian dyke-swarms of the Northern Britain: some preliminary petrogenetic and tectonic implications of their province-wide distribution and chemical variation. *Can. Mineral.*, **26**: 3-22.
- ROCK, N.M.S.; GRIFFIN, B.J.; EDGAR, A.E.; PAUL, D.K. & HERGT, J.M. 1992.** A spectrum of potentially diamondiferous lamproites and minettes from the Jharia coalfield, eastern India. *J. of Volc. and Geoth. research*, **50**: 55-83.
- RODEN, M.F. 1981.** Origin of coexisting minette and ultramafic breccia, Navajo Volcanic Field. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **77**: 195-206.
- SAHAMA, Th.G., 1974.** Potassium-rich alkaline rocks. In SORENSEN (ed.), *The Alkaline Rocks*. Wiley, New York, p. 96-109.
- SALVIOLI-MARIANI, E. & VENTURELLI, G. 1996.** Temperature of crystallization and evolution of the Jumilla and Cancarix lamproites (SE Spain) as suggested by melt and solid inclusions in minerals. *Eur. J. Mineral.*, **8**: 1027-1039.
- SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; DERZE, G.R. & ASMUS, H.E. 1984.** Geologia do Brasil. Texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da area oceânica adjacente incluindo depósitos minerais. Dep. Nac. Prodç. Mineral (DNPM), Brasilia, 501p.
- SCOTT-SMITH, B.H. & SKINNER, E.M.W., 1984.** Diamondiferous Lamproites. *J. Geol.*, **92**: 433-438.
- SCOTT-SMITH, B.H.; SKINNER, E.M.W. & LONEY, P.E. 1989.** The Kapamba lamproites of the Luangwa valley, eastern Zambia. *Spec. Publ. Geol. Soc. Austr.*, **14** (1): 189-205.
- SHAW, C.S.J. & PENCZAK, R.S. 1996.** Barium- and Titanium-rich biotite and phlogopite from the western and eastern gabbro, Coldwell alkaline complex, Northwestern Ontario. *Canadian Mineral.*, **34**: 967-975.
- SHEE, S.R.; GURNEY, J.J. & ROBINSON, D.N. 1982.** Two diamond-bearing peridotite xenoliths from the Finsch kimberlite, South Africa. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **81**: 79-87.
- SHEIBE, L.F. 1986.** Geologia e petrologia do distrito alcalino de Lages, SC. São Paulo, 244p., Tese de doutoramento, IGc – USP.

- SHERATON, J.W. & CUNDARI, A. 1980.** Leucitites from Geussberg, Antarctica. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **71**: 417-427.
- SIGA Jr., O.; BASEI, M.A.S.; REIS NETO, J.M.; HARARA, O.M.; PASSARELLI, C.R.; PRAZERES, H.; WEBER, W. & MACHIAVELLI, A. 1997.** Ages and tectonic setting of alkaline-peralkaline granitoids of Paraná and Santa Catarina States, southern Brazil. In: *South-Amer. Simp. on Isot. Geol., Extend. Abstr.*, 301-303. Brazil.
- SMITH, J.V. & DAWSON, J.B. 1975.** Chemistry of Ti-poor spinels, ilmenites and rutiles from peridotite and eclogite. *Physics and Chem. Of the Earth.*, **9**: 309-322.
- SNOKE, J.A. & JAMES, D.E. 1997.** Lithospheric structure of the Chaco and Paraná Basins of South America from surface-wave inversion. *J. of Geophys. Research*, **102** (B2): 2939-2951.
- SOBOLEV, N.V.; KAMINSKY, F.V.; GRIFFIN, W.L.; YEMINOVA, E.S.; WIN, T.T.; RYAN, C.G. & BOTKUNOV, A.I. 1997.** Mineral inclusions in diamonds from the Sputnik kimberlite pipe, Yakutia. *Lithos*, **39**: 135-157.
- SOBOLEV, N.V.; POKHILENKO, N.P.; LAVRENTÉV, Y.G. & YEFIMOVA E.S. 1977.** Deep-seated xenoliths, xenocrysts in kimberlites and crystalline inclusions in diamonds from "udachnaya" kimberlite pipe, Yakutia. In: *SEC. INT. KIMB.CONF. Ext. Abst. Santa Fe, New Mexico*.
- SOLIANI Jr, E. 1986.** Os dados geocronológicos do escudo Sul-Rio-Grandense e suas implicações de ordem geotectônica. São Paulo 396 p. Tese de Doutorado. IGc – USP.
- SONOKI, I.K. & GARDA, G.M. 1988.** Idade K-Ar de rochas alcalinas do Brasil Meridional e Paraguai Oriental: compilação e adaptação às novas constantes de decaimento. *Boletim IG-USP, Série Científica*, **19**: 63-85.
- SOVOLEV, A.V.; SOBOLEV, N.V.; SMITH, C.B. & DUBESSY, J. 1989.** Fluid and melt compositions in lamproites and kimberlites based on the study of inclusions in olivine. *Spec.Publ.Geol.Soc.Austr.*, **14** (1): 220-240.

- STOLZ, A.J.; VARNE, R.; WHELLER, G.E.; FODEN, J.D. & ABBOTT, M.J. 1988.**
The geochemistry and petrogenesis of K-rich alkaline volcanics from the Batu Tara Volcano, eastern Sunda arc. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **98**: 374-389.
- SVISERO, D.P. 1978.** Composição química, origem e significado geológico de inclusões minerais de diamantes do Brasil. São Paulo, 165p. Tese de Livre-Docência. IG-USP.
- SVICERO, D.P. 1994.** Distribution and origin of diamond in Brazil: an overview. In: International Symposium on the physics and chemistry of the Upper Mantle (ISUM). São Paulo, CPRM/FAPESP. p. 257-287.
- T.A.C., 1981.** Geologic Map of Eastern Paraguay, 1:500.000 (compilação por F. Wiens) 1 mapa (inérito), Asunción.
- TASSINARI, C.C.G. 1996.** O mapa geocronológico do cráton Amazônico no Brazil: Revisão dos dados isotópicos. São Paulo, 248p. Tese de Livre-Docente, IGc. - USP.
- TEXEIRA, W. 1992.** Contribuição ao conhecimento geocronológico do cráton do São Francisco: Avaliação de dados isotópicos em rochas ígneas e metamórficas- Implicações na evolução crustal Pré-Cambriana. São Paulo, 172p. Tese de Livre-Docente, IGc - USP.
- THY, P; STECHER, O. & KORSTGARD, J.A. 1987.** Mineral chemistry and crystallization sequences in kimberlite and lamproite dikes from the Sisimiut area, central West Greenland. *Lithos*, **20**: 391-417.
- TROMPETTE, R. 1994.** Geology of Western Gondwana 2.000-500 Ma. The Pan-African Brasileiro Amalgamation of South America and Adjacent Africa. Rotterdam, Balkema. 366p.
- ULBRICH, H.H.G.J. & PRESSER, J.L.B., 1992.** The Asunción Rift, Eastern Paraguay: A Preliminary Interpretation. *Bol. IG-USP, Publ. Esp.*, 3 1-82.
- VANDECAR, J.C.; JAMES, D. & ASSUMPÇÃO, M. 1995.** Seismic evidence for fossil mantle plume beneath South America and implications for plate driving forces. *Nature*, **378**: 25-31.

- VELAZQUEZ, V.F., 1992.** Província Alcalina Central, Paraguai Centro-Oriental: Aspectos Tectônicos, Petrográficos e Geocronológicos. São Paulo, 189p. Diss. Mestrado IG-USP,
- VELÁZQUEZ, V.F. 1996.** Província alcalina Alto Paraguai: características petrográficas, geoquímicas e geocronológicas. São Paulo, 101p. Tese de Doutorado, IGc – USP.
- VENTURELLI, G.; CAPEDE, S.; BARBIERI, M.; TOSCANI, L.; SALVIOLI MARIANI, E. & ZERBI, M. 1991.** The Jumilla lamproite revised: a petrological oddity. *Eur., Journal of Mineral.*, **3**: 123-145.
- VENTURELLI, G.; CAPEDE, S.; DI BATTISTINI, G. CRAWFORD A.; KOGARKO, L.N. & CELESTINI, S. 1984.** The ultrapotassic rocks from southeastern Spain. *Lithos*, **17**: 37-54.
- WADE, A. & PRIDER, R.T., 1940.** The leucite-bearing rocks of the West Kimberley area, Western Australia. *Q.J.Geol. Soc. London*, **96**: 39-98.
- WAGNER, C. & VELDE, D. 1986.** The mineralogy of k-richterite-bearing lamproites. *American Mineralogist*, **71**: 17-37.
- WALDMAN, M.A.; McCANDLESS, T.E. & DUMMETT, H.T. 1987.** Geology and petrography of the Twin Knobs #1 lamproite, Pike County, Arkansas. In MORRIS & PASTERIS (eds) *Mantle Metasomatism and Alkaline Magmatism*. Geol. Soc. of America Spec. Paper, **215**: 205-216.
- WENLANDT, R.F. 1977.** Barium phlogopites from Haystacks Butte, Highwood Mountains, Montana. *Carnegie Inst. Washington, Year Book*, **76**: 534-539.
- WHITE, S.H.; de BOORDER, H. & SMITH, C.B. 1995.** Structural controls of kimberlite and lamproite emplacement. *J. of Geochemical Exploration*, **53**: 245-264.
- WIENS, F. 1984.** El Precámbrico Paraguayo. In: 1º Simp. Nac. de Geol. Resúmen. Asunción.
- WIENS, F., 1986.** Zur lithostratigraphischen, petrographischen und strukturellen Entwicklung des Rio Apa-Hochlandes, Nordost Paraguay. Claustal, 280p., Tese de Doutorado Diss H19.
- WILDING, MC.; HARTE, B.; FALLICK, A.E. & HARRIS, J.W. 1994.** Inclusion chemistry, carbon isotopes and nitrogen distribution in diamonds from the

Bultfontein mine, South Africa. In: MEYER & LEONARDOS (eds.), Kimberlites, Related Rocks and mantle Xenoliths, Spec. Publ. **J/B Jan 94 (2)**: 116-126

WINTERBURN, P.A.; HARTE, B. & GURNEY, J. 1990. Peridotite xenoliths from the Jagerstontein kimberlite pipe: I. Primary and primary-metasomatic mineralogy. *Geochim. Et Cosmochim. Acta*, **54**: 329-341.

WOOLEY, A.R.; BERGMAN, S.C.; EDGAR, A.D.; LE BAS, M.J.; MITCHELL, R.H.; ROCK, N.M.S. & SCOTT-SMITH, B.H. 1996. Classification of the lamprophyres, lamproites, kimberlites and kalsilite-melilite- and leucite-bearing rocks. *Can. Mineral.*, **34**: 175-186.

ZHANG, A.; DEHUAM, X.; XILING, X. LIHE, G.; JIANZONG, Z. & WUYI, W. 1994. The status and future of diamond exploration in China. In: MEYER & LEONARDOS (eds), *Diamonds: Characterization, Genesis and Exploration*. CPRM Spec. Publ. **1B/93**: 285-301.

ZHANG, M.; SUDDABY, P.; THOMPSON, R.N. & DUNGAN, M.A. 1993. Barian-titanian phlogopite from potassic lavas in northeast China: chemistry, substitutions and paragenesis. *Am. Mineral.*, **78**: 1056-1065.

Porto Alegre, **Vol I**: 255 p. (**Texto**) e **II (Ilustrações)**. Tese de Doutorado UFRGS.

- MITCHELL, R.N.; 1985.** A review of mineralogy of Lamproites. *Trans. Geol. Soc. S. Africa*, **88**: 411-437.
- MITCHELL, R.N. 1986.** Kimberlites: Mineralogy, geochemistry and petrology. Plenum Press, 442p.
- MITCHELL, R.N. 1995.** Kimberlites, orangeites, and related rocks. Plenum Press, 410p.
- MITCHELL, R.N. 1995.** The role of petrography and litho-geochemistry in exploration for diamondiferous rocks. *Journal of Geoch. Explor.*, **53**: 339-350.
- MITCHELL, R.N.; PLATT, R.G. & DOWNEY, M. 1987.** Petrology of lamproites from Smoky Butte, Montana. *J. Petrol.*, **28**: 645-677.
- MITCHELL, R.N. & BERGMAN, S.C. 1991.** Petrology of lamproites. Plenum press, New York. 447p.
- MORGAN, P. 1995.** Diamond exploration from the bottom up: regional geophysical signatures of lithosphere conditions favorable for diamond exploration. *J. of Geochemical Exploration*, **53**: 145-165.
- MORIMOTO, N. 1988.** Nomenclature of pyroxenes. *Amer. Mineral.*, **73**: 1123-1133.
- MORRISON, G.W. 1980.** Characteristics and tectonic setting of the shoshonite rocks association. *Lithos*, **13**: 97-108.
- MULLER, D., MORRIS, B.J. & FARRAND, M.G. 1993.** Potassic alkaline lamprophyres with affinities to lamproites from the Karinya syncline, South Australia. *Lithos*, **30**: 123-137.
- NICKEL, K.G. & GREEN, D.H. 1985** Empirical geothermobarometry for garnet peridotites and implications for the nature of the lithosphere, kimberlites and diamonds. *Earth and Planet. Scien. Letters*, **73**: 158-170.
- NIXON, P.H. 1973.** Lesotho Kimberlites. Cape & Transvaal Printers Ltd. 350 p.
- NIXON, P.H. 1987.** Mantle xenoliths. Wiley, New York, 844pp.
- NIXON, P & BOYD, R. 1975.** Origins of ultramafic nodules from some kimberlites of Northern Lesotho and the Monastery Mine, South Africa. *Phy. and Chem. of the Earth*, **9**: 431-454.

- NIXON, P. & BOYD, F.R. 1973.** Petrogenesis of the granular and sheared ultrabasic nodules suite in kimberlite. In: **NIXON** (ed), Lesotho Kimberlites. Cape & Transvaal Printers Ltd., 48-56.
- O'NEILL, H.St. & WALL, V.J. 1987.** The olivine-orthopyroxene-spinel oxygen barometers, the nickel precipitation in curve, and the oxygen fugacity of the Earth's upper mantle. *J. of Petrology*, **28**: 1169-1191.
- ORUÉ, D. 1996.** Síntese da geologia do Paraguai Oriental, com ênfase para o magmatismo alcalino associado. São Paulo, 163p. Diss. de Mestrado. IGc, USP.
- PALMIERI J.H. & ARRIBAS, A., 1975.** El Complejo Alcalino Potásico de Sapukai (Paraguai-Oriental). In: *Cogr. Lat. Amer. de Geol. Econ.*, 5to., Buenos Aires, **Vol IV**: 267-300.
- PECCERILLO, A. 1992.** Potassic and ultrapotassic rocks: compositional characteristics, petrogenesis, and geologic significance. *Episodes*, **15** (4): 243-250.
- PECCERILLO, A. 1995.** Mafic calcalkaline to ultrapotassic magmas in Central-Southern Italy: Constrains on evolutionary processes and implications for source compositions and conditions of magma generation. *An. Acad. bras. Ci.*, **67** (2): 171-189.
- PECCERILLO, A. & MANETTI, P. 1985.** The potassic alkaline volcanism of central southern Italy; a review of the data relevant to petrogenesis and geodynamic significance. *Trans. Geol. Soc. S. Africa*, **88**: 379-394.
- POKHILENKO, N.P.; SOBOLEV, N.V. & LAVRENTÉV, Y.G. 1977.** Xenoliths of diamondiferous ultramafic rocks from Yakutian kimberlites. In: **SEC. INTERN. KIMB.CONF.** Ext. Abst. Santa Fe, New Mexico.
- PRESSER, J.L.B., 1991.** Characterization of lamproites from Paraguay (South America). In: **FITH INTER. KIMB. CONF.** Extend. Abstr. CPRM Spec. Publ. **2/91**. Brasília.
- PRESSER, J.L.B.; 1992.** Geologia da Folha 5569-III La Colmena, Paraguai Oriental. São Paulo, 205p. Diss. de Mestrado, IG-USP.

- PRESSER, J.L.B.; 1994.** Leucita e Olivina-Lamproítos do Vale de Acahay (Rift de Asunción)(Paraguai-Oriental): Dados Gerais. Anais da Acad. brasil. de Ciências, **66/2**.
- PRESSER, J.L.B., 1994.** Characterization of lamproites from Paraguay (South America). In: MEYER & LEONARDOS (eds.), Kimberlites, Related Rocks and mantle Xenoliths, Spec. Publ. **J/B Jan 94 (1)**: 211-217.
- PRESSER, J.L.B., 1996.** Feições Mineraias Nos Lamproítos Mesozóicos do *Rift Valley de Acahay* (Paraguai): Inclusões de Cromita em Olivinas. In: 2º Simp. da Pós-graduação, São Paulo, Instituto de Geociências, USP. Boletim de Resumos.
- PRESSER, J.L.B. 1996.** Magnésio em cromitas: novo geotermômetro. Anais da Acad. brasil de Ciências (no prelo).
- PRESSER, J.L.B. & BITSCHENE, P.R., 1990.** The Guairá-Paraguarí Alkaline Province (GPAP Eastern Paraguay): Geochemical Constrains on Mesozoic K-rich Intracontinental Rocks. In: 1º Coloquio de Rocas Magmáticas de Paraguay, San Lorenzo, Dep. Geol. Fac. Ciencias Nat. & Exactas. Resumos.
- PRESSER, J.L.B. & DA SILVA, A.J.C. 1997.** Termômetro do Mg em espinélios cromíferos. II SIMP. BRASIL. GEOL. DIAM. Programa, resumos, palestras e roteiro de excursão. UFMT – Publ. Especial **03/97**. Cuiabá-Brasil.
- PRESSER, J.L.B. & ULBRICH, H.G.J.H., 1994.** Porção central do "riff" de Asunción, Paraguai Oriental: dados estruturais e estratigráficos. Anais da Acad. brasil. de Ciências, **66/2**.
- PROYECTO PAR 83/005, 1986.** Mapa Geológico del Paraguay (1 mapa 1: e texto explicativo). Realização por Palmieri & Fúlfaro, Asunción Paraguay. Gov. Rep. del Paraguay/ONU.
- PROYECTO RADAMBRASIL, 1982.** Folha SF.21 Campo Grande. Levantamento de Recursos Naturais, Min. das Minas e Energia Scret. Gral., Rio de Janeiro, vol. **28**, 412p
- PUTZER, H., 1962.** Geologie von Paraguay. Beitr. Reg. Geol. Erde, Bd. 2, 183p., Berlin.

- QUARTIERI, S.; ANTONIOLI, G.; ARTIOLI, G. & LOTTICI, P.P. 1993.** Xanes study of titanium coordination in natural diopsidic pyroxenes. *Eur. J. Mineral.* **5**: 1101-1109.
- QUINTAS, M.C.L. 1995.** O embasamento da Bacia do Paraná: reconstrução geofísica de seu arcabouço. São Paulo, 213p Tese de Doutorado, IAG-USP.
- RAMOS, V.A. 1988.** Late Proterozoic-Early Paleozoic of the South America –a collisional history. *Episodes*, **11** (3): 168-174.
- RAMSAY, R.P. & TOMPKINS, L.A. 1994.** The geology, heavy mineral concentrate mineralogy, and diamond prospectivity of the Boa Esperança and Cana Verde pipes, correço D'Anta, Minas Gerais, Brasil. In: MEYER & LEONARDOS (eds.), *Diamonds: Characterization, Genesis and Exploration.. CPRM Special Publications 1/B Jan/94*: 329-345.
- RAMSAY, R.R.; EDWARDS, D.; TAYLOR, W.R.; ROCK, N.M.S. & GRIFFIN B.J. 1994.** Compositions of garnet and espinels from the Airieas diamondiferous kimberlite pipe, central Kimberley Block, Western Australia –implications for exploration. *J. of Geoch. Explor.*, **51**: 59-78.
- REID, A.M.; DONALDSON C.H.; BROWN, R.W.; RIDLEY, W.I. & DAWSON J.B. 1975.** Mineral Chemistry of Peridotite Xenoliths from the Lashaine Volcano, Tanzania. *Physics and Chem. Of the Earth.*, **9**:525-544.
- ROBERT, J.L. 1976.** Titanium solubility in synthetic phlogopite solid solutions. *Chem Geol.*, **17**: 213-227.
- ROCK, N.M.S. 1977** The nature and origin of lamprophyres: some definitions, distinctions, and derivations. *Earth Science Reviews*, **13**: 123-169.
- ROCK, N.M.S. 1986.** The nature and origin of ultramafic lamprophyres: alnöites and allied rocks. *J.Petrol.*, **27**: 155-196.
- ROCK, N.M.S. 1987.** The nature and origin of lamprophyres: an overview. In: FITTON & UPTON (eds.). *Alkaline igneous rocks. Spec.Publ.Geol.Soc.Lond.*, **30**: 191-226.
- ROCK, N.M.S. 1991.** *Lamprophyres.* Blakie, 258p.
- ROCK, N.M.S.& GROVES, D.I. 1988.** Can lamprophyres resolve the genetic controversy over mesothermal gold deposits?. *Geology*, **16**: 538-541.

- ROCK, N.M.S.; GASKARTH, J.W.; HENNEY, P.J. & SHAND, P. 1988.** Late Caledonian dyke-swarms of the Northern Britain: some preliminary petrogenetic and tectonic implications of their province-wide distribution and chemical variation. *Can. Mineral.*, **26**: 3-22.
- ROCK, N.M.S.; GRIFFIN, B.J.; EDGAR, A.E.; PAUL, D.K. & HERGT, J.M. 1992.** A spectrum of potentially diamondiferous lamproites and minettes from the Jharia coalfield, eastern India. *J. of Volc. and Geoth. research*, **50**: 55-83.
- RODEN, M.F. 1981.** Origin of coexisting minette and ultramafic breccia, Navajo Volcanic Field. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **77**: 195-206.
- SAHAMA, Th.G., 1974.** Potassium-rich alkaline rocks. In SORENSEN (ed.), *The Alkaline Rocks*. Wiley, New York, p. 96-109.
- SALVIOLI-MARIANI, E. & VENTURELLI, G. 1996.** Temperature of crystallization and evolution of the Jumilla and Cancarix lamproites (SE Spain) as suggested by melt and solid inclusions in minerals. *Eur. J. Mineral.*, **8**: 1027-1039.
- SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; DERZE, G.R. & ASMUS, H.E. 1984.** Geologia do Brasil. Texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da area oceânica adjacente incluindo depósitos minerais. Dep. Nac. Prodç. Mineral (DNPM), Brasilia, 501p.
- SCOTT-SMITH, B.H. & SKINNER, E.M.W., 1984.** Diamondiferous Lamproites. *J. Geol.*, **92**: 433-438.
- SCOTT-SMITH, B.H.; SKINNER, E.M.W. & LONEY, P.E. 1989.** The Kapamba lamproites of the Luangwa valley, eastern Zambia. *Spec. Publ. Geol. Soc. Austr.*, **14** (1): 189-205.
- SHAW, C.S.J. & PENCZAK, R.S. 1996.** Barium- and Titanium-rich biotite and phlogopite from the western and eastern gabbro, Coldwell alkaline complex, Northwestern Ontario. *Canadian Mineral.*, **34**: 967-975.
- SHEE, S.R.; GURNEY, J.J. & ROBINSON, D.N. 1982.** Two diamond-bearing peridotite xenoliths from the Finsch kimberlite, South Africa. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **81**: 79-87.
- SHEIBE, L.F. 1986.** Geologia e petrologia do distrito alcalino de Lages, SC. São Paulo, 244p., Tese de doutoramento, IGc – USP.

- SHERATON, J.W. & CUNDARI, A. 1980.** Leucitites from Geussberg, Antarctica. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **71**: 417-427.
- SIGA Jr., O.; BASEI, M.A.S.; REIS NETO, J.M.; HARARA, O.M.; PASSARELLI, C.R.; PRAZERES, H.; WEBER, W. & MACHIAVELLI, A. 1997.** Ages and tectonic setting of alkaline-peralkaline granitoids of Paraná and Santa Catarina States, southern Brazil. In: *South-Amer. Simp. on Isot. Geol., Extend. Abstr.*, 301-303. Brazil.
- SMITH, J.V. & DAWSON, J.B. 1975.** Chemistry of Ti-poor spinels, ilmenites and rutiles from peridotite and eclogite. *Physics and Chem. Of the Earth.*, **9**: 309-322.
- SNOKE, J.A. & JAMES, D.E. 1997.** Lithospheric structure of the Chaco and Paraná Basins of South America from surface-wave inversion. *J. of Geophys. Research*, **102** (B2): 2939-2951.
- SOBOLEV, N.V.; KAMINSKY, F.V.; GRIFFIN, W.L.; YEMINOVA, E.S.; WIN, T.T.; RYAN, C.G. & BOTKUNOV, A.I. 1997.** Mineral inclusions in diamonds from the Sputnik kimberlite pipe, Yakutia. *Lithos*, **39**: 135-157.
- SOBOLEV, N.V.; POKHILENKO, N.P.; LAVRENTÉV, Y.G. & YEFIMOVA E.S. 1977.** Deep-seated xenoliths, xenocrysts in kimberlites and crystalline inclusions in diamonds from "udachnaya" kimberlite pipe, Yakutia. In: *SEC. INT. KIMB.CONF. Ext. Abst. Santa Fe, New Mexico.*
- SOLIANI Jr, E. 1986.** Os dados geocronológicos do escudo Sul-Rio-Grandense e suas implicações de ordem geotectônica. São Paulo 396 p. Tese de Doutorado. IGc – USP.
- SONOKI, I.K. & GARDA, G.M. 1988.** Idade K-Ar de rochas alcalinas do Brasil Meridional e Paraguai Oriental: compilação e adaptação às novas constantes de decaimento. *Boletim IG-USP, Série Científica*, **19**: 63-85.
- SOVOLEV, A.V.; SOBOLEV, N.V.; SMITH, C.B. & DUBESSY, J. 1989.** Fluid and melt compositions in lamproites and kimberlites based on the study of inclusions in olivine. *Spec.Publ.Geol.Soc.Austr.*, **14** (1): 220-240.

- STOLZ, A.J.; VARNE, R.; WHELLER, G.E.; FODEN, J.D. & ABBOTT, M.J. 1988.** The geochemistry and petrogenesis of K-rich alkaline volcanics from the Batu Tara Volcano, eastern Sunda arc. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **98**: 374-389.
- SVISERO, D.P. 1978.** Composição química, origem e significado geológico de inclusões minerais de diamantes do Brasil. São Paulo, 165p. Tese de Livre-Docência. IG-USP.
- SVICERO, D.P. 1994.** Distribution and origin of diamond in Brazil: an overview. In: International Symposium on the physics and chemistry of the Upper Mantle (ISUM). São Paulo, CPRM/FAPESP. p. 257-287.
- T.A.C., 1981.** Geologic Map of Eastern Paraguay, 1:500.000 (compilação por F. Wiens) 1 mapa (inédito), Asunción.
- TASSINARI, C.C.G. 1996.** O mapa geocronológico do cráton Amazônico no Brasil: Revisão dos dados isotópicos. São Paulo, 248p. Tese de Livre-Docente, IGc. - USP.
- TEXEIRA, W. 1992.** Contribuição ao conhecimento geocronológico do cráton do São Francisco: Avaliação de dados isotópicos em rochas ígneas e metamórficas- Implicações na evolução crustal Pré-Cambriana. São Paulo, 172p. Tese de Livre-Docente, IGc - USP.
- THY, P.; STECHER, O. & KORSTGARD, J.A. 1987.** Mineral chemistry and crystallization sequences in kimberlite and lamproite dikes from the Sisimiut area, central West Greenland. *Lithos*, **20**: 391-417.
- TROMPETTE, R. 1994.** Geology of Western Gondwana 2.000-500 Ma. The Pan-African Brasiliano Amalgamation of South America and Adjacent Africa. Rotterdam, Balkema. 366p.
- ULBRICH, H.H.G.J. & PRESSER, J.L.B., 1992.** The Asunción Rift, Eastern Paraguay: A Preliminary Interpretation. *Bol. IG-USP, Publ. Esp.*, 3 1-82.
- VANDECAR, J.C.; JAMES, D. & ASSUMPÇÃO, M. 1995.** Seismic evidence for fossil mantle plume beneath South America and implications for plate driving forces. *Nature*, **378**: 25-31.

- VELÁZQUEZ, V.F., 1992.** Província Alcalina Central, Paraguai Centro-Oriental: Aspectos Tectônicos, Petrográficos e Geocronológicos. São Paulo, 189p. Diss. Mestrado IG-USP,
- VELÁZQUEZ, V.F. 1996.** Província alcalina Alto Paraguai: características petrográficas, geoquímicas e geocronológicas. São Paulo, 101p. Tese de Doutorado, IGc – USP.
- VENTURELLI, G.; CAPEDE, S.; BARBIERI, M.; TOSCANI, L.; SALVIOLI MARIANI, E. & ZERBI, M. 1991.** The Jumilla lamproite revised: a petrological oddity. *Eur. Journal of Mineral.*, **3**: 123-145.
- VENTURELLI, G.; CAPEDE, S.; DI BATTISTINI, G. CRAWFORD A.; KOGARKO, L.N. & CELESTINI, S. 1984.** The ultrapotassic rocks from southeastern Spain. *Lithos*, **17**: 37-54.
- WADE, A. & PRIDER, R.T., 1940.** The leucite-bearing rocks of the West Kimberley area, Western Australia. *Q.J.Geol. Soc. London*, **96**: 39-98.
- WAGNER, C. & VELDE, D. 1986.** The mineralogy of k-richterite-bearing lamproites. *American Mineralogist*, **71**: 17-37.
- WALDMAN, M.A.; McCANDLESS, T.E. & DUMMETT, H.T. 1987.** Geology and petrography of the Twin Knobs #1 lamproite, Pike County, Arkansas. In MORRIS & PASTERIS (eds) *Mantle Metasomatism and Alkaline Magmatism*. *Geol. Soc. of America Spec. Paper*, **215** :205-216.
- WENLANDT, R.F. 1977.** Barium phlogopites from Haystacks Butte, Highwood Mountains, Montana. *Carnegie Inst. Washington, Year Book*, **76**: 534-539.
- WHITE, S.H.; de BOORDER, H. & SMITH, C.B. 1995.** Structural controls of kimberlite and lamproite emplacement. *J. of Geochemical Exploration*, **53**: 245-264.
- WIENS, F. 1984.** El Precámbrico Paraguayo. In: 1º Simp. Nac. de Geol. Resúmen. Asunción.
- WIENS, F., 1986.** Zur lithostratigraphischen, petrographischen und strukturellen Entwicklung des Rio Apa-Hochlandes, Nordost Paraguay. *Claustal*, 280p., Tese de Doutorado Diss **H19**.
- WILDING, M.C.; HARTE, B.; FALLICK, A.E. & HARRIS, J.W. 1994.** Inclusion chemistry, carbon isotopes and nitrogen distribution in diamonds from the

- Bultfontein mine, South Africa. In: MEYER & LEONARDOS (eds.), Kimberlites, Related Rocks and mantle Xenoliths, Spec. Publ. **J/B Jan 94 (2)**: 116-126
- WINTERBURN, P.A.; HARTE, B. & GURNEY, J. 1990.** Peridotite xenoliths from the Jagerstontein kimberlite pipe: I. Primary and primary-metasomatic mineralogy. *Geochim. Et Cosmochim. Acta*, **54**: 329-341.
- WOOLEY, A.R.; BERGMAN, S.C.; EDGAR, A.D.; LE BAS, M.J.; MITCHELL, R.H.; ROCK, N.M.S. & SCOTT-SMITH, B.H. 1996.** Classification of the lamprophyres, lamproites, kimberlites and kalsilite-melilite- and leucite-bearing rocks. *Can. Mineral.*, **34**: 175-186.
- ZHANG, A.; DEHUAM, X.; XILING, X. LIHE, G.; JIANZONG, Z. & WUYI, W. 1994.** The status and future of diamond exploration in China. In: MEYER & LEONARDOS (eds), *Diamonds: Characterization, Genesis and Exploration*. CPRM Spec. Publ. **1B/93**: 285-301.
- ZHANG, M.; SUDDABY, P.; THOMPSON, R.N. & DUNGAN, M.A. 1993.** Barian-titanian phlogopite from potassic lavas in northeast China: chemistry, substitutions and paragenesis. *Am. Mineral.*, **78**: 1056-1065.

Apêndice
Análises químicas dos minerais

**FEIÇÕES MINERALÓGICAS DE ROCHAS LAMPROFÍRICAS MESOZÓICAS
DA PROVÍNCIA ALCALINA CENTRAL, PARAGUAI ORIENTAL**

Jaime Leonardo Báez Presser

(TESE DE DOUTORAMENTO)

1998

A1

Composição química, em porcentagem em peso, de olivinas de rochas “lamprofíricas” do Paraguai.

“Lamprófiros”

Ymi-1 (*pipe*) (10.000-10.040, 10c.001-10c.006), sendo que 1-p1 = *plug* 1; 1p2 = *plug* 2; d = dique, Kirito = dique 10c.000,

Ymi-7 (*dique*) (17.001-17.006),

Yzu-1 (*dique*) (20.000, 21.001-21.008a/b).

“Lamproítos”

Ymi-5 (*plug*) (15.000 e 15.001),

Yzu-2 (*dique*) (22.000-22.006),

Yzu-3 (*intrusão*) (23.000-23.002a/b).

| Sample | 10.006a | 10.006b | 10.009a | 10.009b | 10.010a | 10.010b | 10.011a | 10.011b | 10.012a |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Analysis | | | | | | | | | |
| Location | YMI-1-pl | YMI-1-pl | YMI-1-pl | YMI-1-pl | YMI-1-pl | YMI-1-pl | YMI-1-pl | YMI-1-pl | YMI-1-pl |
| Mineral | Olv | Olv | Olv | Olv | Olv | Olv | Olv | Olv | Olv |
| SiO2 | 41.42 | 41.09 | 38.39 | 38.96 | 41.39 | 41.29 | 41.34 | 41.19 | 41.20 |
| TiO2 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.08 | 0.00 | 0.05 | 0.03 | 0.00 | 0.03 |
| Al2O3 | 0.04 | 0.06 | 0.06 | 0.09 | 0.09 | 0.14 | 0.14 | 0.11 | 0.08 |
| Fe2O3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| FeO | 9.14 | 13.56 | 22.12 | 21.38 | 8.25 | 8.80 | 8.76 | 11.09 | 8.60 |
| MnO | 0.08 | 0.13 | 0.44 | 0.48 | 0.18 | 0.15 | 0.09 | 0.09 | 0.18 |
| MgO | 51.07 | 47.00 | 40.07 | 40.36 | 49.59 | 48.97 | 49.10 | 47.97 | 49.28 |
| CaO | 0.16 | 0.26 | 0.33 | 0.28 | 0.11 | 0.14 | 0.16 | 0.19 | 0.14 |
| Na2O | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| K2O | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| NiO | 0.35 | 0.24 | 0.01 | 0.04 | 0.32 | 0.37 | 0.26 | 0.18 | 0.41 |
| Total | 102.26 | 102.34 | 101.44 | 101.67 | 99.93 | 99.91 | 99.88 | 100.82 | 99.92 |
| Si | 0.991 | 1.001 | 0.985 | 0.993 | 1.008 | 1.008 | 1.009 | 1.006 | 1.006 |
| Al | 0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.003 | 0.003 | 0.004 | 0.004 | 0.003 | 0.002 |
| Ti | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.002 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.000 | 0.001 |
| Fe3 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Fe2 | 0.183 | 0.276 | 0.475 | 0.456 | 0.168 | 0.180 | 0.179 | 0.227 | 0.176 |
| Mn | 0.002 | 0.003 | 0.010 | 0.010 | 0.004 | 0.003 | 0.002 | 0.002 | 0.004 |
| Mg | 1.821 | 1.706 | 1.533 | 1.533 | 1.800 | 1.782 | 1.786 | 1.746 | 1.793 |
| Ca | 0.004 | 0.007 | 0.009 | 0.008 | 0.003 | 0.004 | 0.004 | 0.005 | 0.004 |
| Na | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| K | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ni | 0.007 | 0.005 | 0.000 | 0.001 | 0.006 | 0.007 | 0.005 | 0.004 | 0.008 |
| Cations | 3.009 | 3.000 | 3.014 | 3.006 | 2.992 | 2.989 | 2.990 | 2.993 | 2.994 |
| Fe_FeMg | 0.09 | 0.14 | 0.24 | 0.23 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.12 | 0.09 |
| Mg_FeMg | 0.91 | 0.86 | 0.76 | 0.77 | 0.91 | 0.91 | 0.91 | 0.88 | 0.91 |

| Sample | 10012b | 10013a | 10013b | 10013c | 10013d | 10013e | 10013f | 10013g | 10013h |
|--------------------------------|----------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Analysis | | | | | | | | | |
| Location | Y50-1-41 | Y50-1-4 | Y50-1-4 | Y50-1-42 | Y50-1-42 | Y50-1-42 | Y50-1-42 | Y50-1-42 | Y50-1-42 |
| Method | Oh | Oh | Oh | Oh | Oh | Oh | Oh | Oh | Oh |
| SiO ₂ | 48.78 | 49.93 | 42.11 | 39.60 | 39.40 | 40.29 | 37.97 | 41.11 | 38.89 |
| TiO ₂ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Al ₂ O ₃ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Fe ₂ O ₃ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| FeO | 10.34 | 9.17 | 9.66 | 12.15 | 14.23 | 11.12 | 22.48 | 8.47 | 13.82 |
| MnO | 0.11 | 0.11 | 0.12 | 0.18 | 0.36 | 0.21 | 0.55 | 0.10 | 0.25 |
| MgO | 47.70 | 50.07 | 47.97 | 47.44 | 41.30 | 47.71 | 38.43 | 49.58 | 45.38 |
| CaO | 0.20 | 0.17 | 0.11 | 0.20 | 0.21 | 0.17 | 0.28 | 0.14 | 0.25 |
| Na ₂ O | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| K ₂ O | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| SiO | 0.38 | 0.44 | 0.39 | 0.25 | 0.08 | 0.20 | 0.11 | 0.49 | 0.23 |
| Total | 99.03 | 99.88 | 99.68 | 99.92 | 99.90 | 100.38 | 99.88 | 99.96 | 99.81 |
| Si | 1.000 | 0.986 | 1.014 | 0.985 | 1.000 | 0.992 | 0.991 | 1.000 | 0.999 |
| Al | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ti | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Fe _T | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Fe _O | 0.213 | 0.188 | 0.176 | 0.223 | 0.389 | 0.256 | 0.492 | 0.173 | 0.289 |
| Mn | 0.002 | 0.003 | 0.002 | 0.004 | 0.008 | 0.004 | 0.012 | 0.002 | 0.005 |
| Mg | 1.734 | 1.822 | 1.739 | 1.759 | 1.579 | 1.751 | 1.498 | 1.802 | 1.693 |
| Ca | 0.003 | 0.004 | 0.004 | 0.005 | 0.007 | 0.004 | 0.008 | 0.004 | 0.007 |
| Na | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| K | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ni | 0.008 | 0.009 | 0.008 | 0.005 | 0.002 | 0.004 | 0.003 | 0.010 | 0.005 |
| Carbon | 2.992 | 3.018 | 2.968 | 3.014 | 2.997 | 3.007 | 3.007 | 2.997 | 3.000 |
| Fe ₂ FeMg | 0.11 | 0.09 | 0.09 | 0.13 | 0.20 | 0.12 | 0.25 | 0.09 | 0.15 |
| Mg ₂ FeMg | 0.89 | 0.91 | 0.91 | 0.87 | 0.80 | 0.88 | 0.75 | 0.91 | 0.85 |

| Sample | 10 023a | 10 023b | 10 025a | 10 025b | 10 026a | 10 026b | 10 031a | 10 031b | 10 039a |
|----------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Analysis | | | | | | | | | |
| Location | YMD-1-p1 | YMD-1-p1 | YMD-1-d | YMD-1-d | YMD-1-d | YMD-1-d | YMD-1-d | YMD-1-d | YMD-1-d |
| Mineral | Olv | Olv | Olv | Olv | Olv | Olv | Olv | Olv | Olv |
| SiO2 | 40.92 | 39.75 | 41.30 | 40.95 | 41.18 | 40.96 | 40.48 | 40.70 | 40.71 |
| TiO2 | 0.05 | 0.05 | 0.06 | 0.00 | 0.00 | 0.05 | 0.00 | 0.00 | 0.05 |
| Al2O3 | 0.04 | 0.07 | 0.05 | 0.08 | 0.09 | 0.09 | 0.11 | 0.06 | 0.08 |
| Fe2O3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| FeO | 10.67 | 12.98 | 8.52 | 9.94 | 8.66 | 8.85 | 8.37 | 8.07 | 10.73 |
| MnO | 0.14 | 0.21 | 0.09 | 0.11 | 0.13 | 0.00 | 0.17 | 0.07 | 0.15 |
| MgO | 47.55 | 46.43 | 49.43 | 48.23 | 49.37 | 43.37 | 50.31 | 51.11 | 49.51 |
| CaO | 0.16 | 0.21 | 0.17 | 0.21 | 0.18 | 0.19 | 0.15 | 0.19 | 0.14 |
| Na2O | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 |
| K2O | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| NiO | 0.27 | 0.23 | 0.22 | 0.38 | 0.33 | 0.34 | 0.38 | 0.40 | 0.31 |
| Total | 99.80 | 99.93 | 99.84 | 99.90 | 99.94 | 93.85 | 99.97 | 100.60 | 101.69 |
| Si | 1.008 | 0.992 | 1.007 | 1.005 | 1.005 | 1.059 | 0.989 | 0.986 | 0.987 |
| Al | 0.001 | 0.002 | 0.001 | 0.002 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.002 | 0.002 |
| Ti | 0.003 | 0.001 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.001 |
| Fe3 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Fe2 | 0.230 | 0.271 | 0.174 | 0.204 | 0.177 | 0.191 | 0.171 | 0.164 | 0.218 |
| Mn | 0.003 | 0.004 | 0.002 | 0.002 | 0.003 | 0.000 | 0.004 | 0.001 | 0.003 |
| Mg | 1.747 | 1.727 | 1.797 | 1.766 | 1.796 | 1.672 | 1.832 | 1.847 | 1.790 |
| Ca | 0.004 | 0.006 | 0.004 | 0.006 | 0.005 | 0.005 | 0.004 | 0.005 | 0.004 |
| Na | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| K | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ni | 0.005 | 0.005 | 0.004 | 0.008 | 0.006 | 0.007 | 0.007 | 0.008 | 0.005 |
| Cations | 2.989 | 3.008 | 2.990 | 2.994 | 2.995 | 2.938 | 3.010 | 3.013 | 3.011 |
| Fe_FeMg | 0.11 | 0.14 | 0.09 | 0.10 | 0.09 | 0.10 | 0.09 | 0.08 | 0.11 |
| Mg_FeMg | 0.89 | 0.86 | 0.91 | 0.90 | 0.91 | 0.90 | 0.91 | 0.92 | 0.89 |

| Sample | 10.006 | 10.007 | 10.008 | 10.009 | 10.010 | 10.006 | 10.007 | 10.007 | 10.008 | 10.014 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Analyst | | ml | ml | ml | ml | ml | ml | ml | ml | ml |
| Volume | 150.1-g | 150.1-g | 150.1-g | 150.1-g | 150.1-g | 150.1-g | 150.1-g | 150.1-g | 150.1-g | 150.1-g |
| Notes | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| NaCl | 38.92 | 38.34 | 38.78 | 40.51 | 39.74 | 40.51 | 39.08 | 39.81 | 40.15 | 39.27 |
| NaCl | 0.08 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.06 | 0.09 | 0.05 |
| Na2O3 | 0.07 | 0.05 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.10 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.05 |
| Fe2O3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| FeO | 17.33 | 22.49 | 15.26 | 15.68 | 15.05 | 11.33 | 22.83 | 11.44 | 11.84 | 8.97 |
| MnO | 0.35 | 0.57 | 0.21 | 0.31 | 0.21 | 0.04 | 0.31 | 0.30 | 0.29 | 0.22 |
| MgO | 42.70 | 39.80 | 45.00 | 47.00 | 44.05 | 48.30 | 46.64 | 49.13 | 47.44 | 50.81 |
| CaO | 0.32 | 0.26 | 0.21 | 0.24 | 0.16 | 0.16 | 0.32 | 0.20 | 0.22 | 0.17 |
| Na2O | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| K2O | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| SiO2 | 0.14 | 0.04 | 0.19 | 0.22 | 0.17 | 0.23 | 0.14 | 0.17 | 0.30 | 0.14 |
| Total | 99.91 | 101.65 | 101.40 | 102.30 | 101.32 | 101.12 | 102.61 | 101.32 | 101.25 | 99.80 |
| Si | 0.962 | 0.984 | 0.988 | 0.986 | 0.986 | 0.980 | 0.993 | 0.970 | 0.988 | 0.964 |
| Al | 0.002 | 0.002 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| Ti | 0.002 | 0.002 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.000 | 0.001 |
| FeO | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Fe2 | 0.369 | 0.483 | 0.338 | 0.270 | 0.172 | 0.230 | 0.483 | 0.234 | 0.284 | 0.183 |
| As | 0.008 | 0.012 | 0.004 | 0.006 | 0.004 | 0.001 | 0.011 | 0.004 | 0.006 | 0.005 |
| Mg | 1.622 | 1.513 | 1.692 | 1.710 | 1.590 | 1.760 | 1.502 | 1.595 | 1.540 | 1.604 |
| Ca | 0.009 | 0.007 | 0.006 | 0.006 | 0.004 | 0.004 | 0.008 | 0.007 | 0.006 | 0.004 |
| Na | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| K | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Si | 0.000 | 0.001 | 0.004 | 0.004 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.007 | 0.006 | 0.007 |
| Carbon | 3.007 | 3.014 | 3.093 | 3.090 | 3.011 | 3.069 | 3.065 | 3.029 | 3.012 | 3.033 |
| Fe_346g | 0.79 | 0.78 | 0.78 | 0.74 | 0.74 | 0.72 | 0.74 | 0.72 | 0.73 | 0.69 |
| Mg_346g | 0.91 | 0.86 | 0.94 | 0.90 | 0.88 | 0.94 | 0.86 | 0.88 | 0.87 | 0.91 |

| Sample | 10.015 | 10.016 | 10.019 | 10.020 | 10.021 | 10.024 | 10.027 | 10.028 | 10.029 |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|
| Analysis | | mf | | l-opx | l-opx | | | | |
| Location | YML-1-p2 | YML-1-p2 | YML-1-p2 | YML-1-p1 | YML-1-p1 | YML-1-p1 | YML-1-d | YML-1-d | YML-1-d |
| Mineral | Olv | Olv | Olv | Olv | Olv | Olv | Olv | Olv | Olv |
| SiO2 | 40.59 | 39.72 | 39.85 | 40.74 | 41.21 | 40.83 | 40.42 | 40.43 | 40.00 |
| TiO2 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Al2O3 | 0.02 | 0.00 | 0.05 | 0.05 | 0.07 | 0.16 | 0.00 | 0.12 | 0.12 |
| Fe2O3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| FeO | 8.74 | 17.01 | 16.36 | 8.96 | 9.28 | 9.23 | 8.89 | 8.70 | 8.59 |
| MnO | 0.18 | 0.35 | 0.31 | 0.07 | 0.18 | 0.09 | 0.10 | 0.16 | 0.12 |
| MgO | 49.72 | 42.47 | 43.01 | 49.61 | 48.62 | 49.03 | 50.75 | 50.58 | 50.53 |
| CaO | 0.17 | 0.22 | 0.21 | 0.14 | 0.16 | 0.18 | 0.14 | 0.17 | 0.15 |
| Na2O | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| K2O | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| NiO | 0.42 | 0.17 | 0.13 | 0.32 | 0.37 | 0.34 | 0.30 | 0.40 | 0.34 |
| Total | 99.84 | 99.94 | 99.92 | 99.89 | 99.89 | 99.86 | 100.60 | 100.56 | 99.85 |
| Si | 0.994 | 1.008 | 1.008 | 0.997 | 1.009 | 1.000 | 0.983 | 0.984 | 0.980 |
| Al | 0.001 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.002 | 0.005 | 0.000 | 0.003 | 0.003 |
| Ti | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Fe3 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Fe2 | 0.179 | 0.361 | 0.346 | 0.183 | 0.190 | 0.189 | 0.181 | 0.177 | 0.176 |
| Mn | 0.004 | 0.008 | 0.007 | 0.001 | 0.004 | 0.002 | 0.002 | 0.003 | 0.002 |
| Mg | 1.815 | 1.606 | 1.621 | 1.810 | 1.774 | 1.790 | 1.841 | 1.835 | 1.846 |
| Ca | 0.004 | 0.006 | 0.006 | 0.004 | 0.004 | 0.005 | 0.004 | 0.004 | 0.004 |
| Na | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| K | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ni | 0.008 | 0.003 | 0.003 | 0.006 | 0.007 | 0.007 | 0.006 | 0.008 | 0.007 |
| Cations | 3.005 | 2.992 | 2.992 | 3.002 | 2.990 | 2.998 | 3.017 | 3.014 | 3.018 |
| Fe_FeMg | 0.09 | 0.18 | 0.18 | 0.09 | 0.10 | 0.10 | 0.09 | 0.09 | 0.09 |
| Mg_FeMg | 0.91 | 0.82 | 0.82 | 0.91 | 0.90 | 0.90 | 0.91 | 0.91 | 0.91 |

| Sample | 10.030 | 10.032 | 10.033 | 10.034 | 10.035 | 10.036 | 10.037 | 10.038 | 10.040 |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| Analysis | | | | | | | | | mf |
| Location | YMI-1-d | YMI-1-d | YMI-1-d | YMI-1-d | YMI-1-d | YMI-1-d | YMI-1-d | YMI-1-d | YMI-1-p2 |
| Mineral | Olv | Olv | Olv | Olv | Olv | Olv | Olv | Olv | Olv |
| SiO2 | 39.21 | 40.37 | 40.69 | 40.80 | 40.33 | 38.28 | 38.15 | 41.08 | 41.30 |
| TiO2 | 0.08 | 0.00 | 0.02 | 0.09 | 0.02 | 0.03 | 0.06 | 0.00 | 0.07 |
| Al2O3 | 0.13 | 0.03 | 0.09 | 0.08 | 0.10 | 0.06 | 0.11 | 0.07 | 0.07 |
| Fe2O3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| FeO | 9.01 | 12.81 | 9.50 | 10.25 | 10.25 | 21.66 | 21.66 | 8.31 | 12.38 |
| MnO | 0.11 | 0.19 | 0.07 | 0.17 | 0.18 | 0.54 | 0.49 | 0.13 | 0.24 |
| MgO | 50.45 | 46.19 | 49.62 | 47.91 | 49.11 | 38.96 | 39.15 | 49.75 | 47.14 |
| CaO | 0.17 | 0.18 | 0.15 | 0.17 | 0.17 | 0.31 | 0.29 | 0.16 | 0.22 |
| Na2O | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.03 |
| K2O | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 |
| NiO | 0.36 | 0.21 | 0.28 | 0.38 | 0.37 | 0.08 | 0.00 | 0.39 | 0.23 |
| Total | 99.52 | 99.98 | 100.42 | 99.85 | 100.53 | 99.92 | 99.91 | 99.89 | 101.70 |
| Si | 0.968 | 1.004 | 0.993 | 1.004 | 0.988 | 0.996 | 0.992 | 1.002 | 1.007 |
| Al | 0.004 | 0.001 | 0.003 | 0.002 | 0.003 | 0.002 | 0.003 | 0.002 | 0.002 |
| Ti | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.002 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.000 | 0.001 |
| Fe3 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Fe2 | 0.186 | 0.266 | 0.194 | 0.211 | 0.210 | 0.471 | 0.471 | 0.170 | 0.252 |
| Mn | 0.002 | 0.004 | 0.001 | 0.004 | 0.004 | 0.012 | 0.011 | 0.003 | 0.005 |
| Mg | 1.856 | 1.712 | 1.805 | 1.758 | 1.793 | 1.511 | 1.518 | 1.809 | 1.713 |
| Ca | 0.004 | 0.005 | 0.004 | 0.004 | 0.004 | 0.009 | 0.008 | 0.004 | 0.006 |
| Na | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 |
| K | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 |
| Ni | 0.007 | 0.004 | 0.005 | 0.008 | 0.007 | 0.002 | 0.000 | 0.008 | 0.005 |
| Cations | 3.028 | 2.996 | 3.005 | 2.993 | 3.009 | 3.004 | 3.004 | 2.998 | 2.993 |
| Fe_FeMg | 0.09 | 0.13 | 0.10 | 0.11 | 0.10 | 0.24 | 0.24 | 0.09 | 0.13 |
| Mg_FeMg | 0.91 | 0.87 | 0.90 | 0.89 | 0.90 | 0.76 | 0.76 | 0.91 | 0.87 |

| Sample | 10c.001 | 10c.002 | 10c.003 | 10c.004 | 10c.005 | 10c.006 | 10c.006 | 17.001 | 17.002 |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|
| Analysis | | | | | | | | | |
| Location | kirito | kurito | kirito | kurito | kirito | kurito | kurito | YMI-7 | YMI-7 |
| Mineral | Olv | Olv | Olv | Olv | Olv | Olv | Olv | Olv | Olv |
| SiO2 | 39.82 | 39.95 | 40.24 | 39.53 | 39.30 | 39.05 | 39.05 | 39.65 | 40.74 |
| TiO2 | 0.00 | 0.01 | 0.06 | 0.03 | 0.09 | 0.00 | 0.00 | 0.08 | 0.00 |
| Al2O3 | 0.02 | 0.03 | 0.06 | 0.04 | 0.11 | 0.07 | 0.07 | 0.01 | 0.03 |
| Fe2O3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| FeO | 18.79 | 16.01 | 13.72 | 15.08 | 17.16 | 20.94 | 20.94 | 19.90 | 14.14 |
| MnO | 0.38 | 0.32 | 0.23 | 0.19 | 0.34 | 0.46 | 0.46 | 0.33 | 0.24 |
| MgO | 41.16 | 43.32 | 44.67 | 42.98 | 41.43 | 38.79 | 38.79 | 39.64 | 44.97 |
| CaO | 0.22 | 0.20 | 0.23 | 0.17 | 0.23 | 0.26 | 0.26 | 0.30 | 0.24 |
| Na2O | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| K2O | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| NiO | 0.10 | 0.25 | 0.18 | 0.13 | 0.19 | 0.17 | 0.17 | 0.00 | 0.15 |
| Total | 100.49 | 100.09 | 99.39 | 98.15 | 98.89 | 99.74 | 99.74 | 99.91 | 100.51 |
| Si | 1.012 | 1.007 | 1.010 | 1.012 | 1.009 | 1.012 | 1.012 | 1.018 | 1.012 |
| Al | 0.001 | 0.001 | 0.002 | 0.001 | 0.003 | 0.002 | 0.002 | 0.000 | 0.001 |
| Ti | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.002 | 0.000 | 0.000 | 0.002 | 0.000 |
| Fe3 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Fe2 | 0.399 | 0.338 | 0.288 | 0.323 | 0.369 | 0.454 | 0.454 | 0.427 | 0.294 |
| Mn | 0.008 | 0.007 | 0.005 | 0.004 | 0.007 | 0.010 | 0.010 | 0.007 | 0.005 |
| Mg | 1.559 | 1.629 | 1.672 | 1.640 | 1.586 | 1.498 | 1.498 | 1.517 | 1.666 |
| Ca | 0.006 | 0.005 | 0.006 | 0.005 | 0.006 | 0.007 | 0.007 | 0.008 | 0.006 |
| Na | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.002 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| K | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ni | 0.002 | 0.005 | 0.004 | 0.003 | 0.004 | 0.004 | 0.004 | 0.000 | 0.003 |
| Cations | 2.987 | 2.992 | 2.988 | 2.989 | 2.988 | 2.987 | 2.987 | 2.979 | 2.987 |
| Fe_FeMg | 0.20 | 0.17 | 0.15 | 0.16 | 0.19 | 0.23 | 0.23 | 0.22 | 0.15 |
| Mg_FeMg | 0.80 | 0.83 | 0.85 | 0.84 | 0.81 | 0.77 | 0.77 | 0.78 | 0.85 |

| Sample | 17001 | 17004 | 17003 | 17006 | 20010 | 21003 | 21002 | 21003 | 21004 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Analysis | | | | | Clg-07 | | | | |
| Location | YMG-7 | YMG-7 | YMG-7 | YMG-7 | Y21-1 | Y21-1 | Y21-1 | Y21-1 | Y21-1 |
| Miscell | 0% | 0% | 0% | 0% | 0.9 | 0% | 0% | 0% | 0% |
| SiO2 | 46.11 | 46.67 | 49.25 | 48.16 | 49.26 | 48.18 | 49.02 | 46.19 | 46.39 |
| TiO2 | 0.06 | 0.08 | 0.00 | 0.03 | 0.27 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Al2O3 | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 2.64 | 0.09 | 0.07 | 0.07 | 0.07 |
| Fe2O3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| FeO | 15.93 | 15.12 | 19.50 | 19.35 | 12.83 | 14.44 | 14.54 | 11.98 | 14.93 |
| MnO | 0.13 | 0.21 | 0.33 | 0.29 | 0.08 | 0.11 | 0.20 | 0.40 | 0.45 |
| MgO | 44.22 | 44.07 | 40.35 | 43.21 | 24.86 | 46.42 | 47.34 | 41.81 | 43.04 |
| CaO | 0.27 | 0.26 | 0.23 | 0.32 | 0.00 | 0.31 | 0.32 | 0.35 | 0.41 |
| Na2O | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| K2O | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| H2O | 0.11 | 0.13 | 0.13 | 0.08 | 0.34 | 0.26 | 0.15 | 0.08 | 0.14 |
| Total | 100.81 | 100.37 | 100.00 | 101.47 | 77.25 | 100.72 | 102.31 | 101.40 | 102.12 |
| Si | 1.002 | 1.014 | 1.037 | 0.968 | 1.234 | 0.977 | 0.973 | 1.004 | 1.002 |
| Al | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.059 | 0.003 | 0.002 | 0.001 | 0.002 |
| Fe | 0.001 | 0.002 | 0.000 | 0.001 | 0.006 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Fe3 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Fe2 | 0.333 | 0.315 | 0.418 | 0.411 | 0.318 | 0.301 | 0.299 | 0.376 | 0.352 |
| Mn | 0.003 | 0.004 | 0.007 | 0.006 | 0.001 | 0.002 | 0.006 | 0.008 | 0.008 |
| Mg | 1.048 | 1.038 | 1.550 | 1.634 | 1.020 | 1.726 | 1.734 | 1.394 | 1.416 |
| Ca | 0.007 | 0.007 | 0.004 | 0.009 | 0.000 | 0.006 | 0.008 | 0.009 | 0.012 |
| Na | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| K | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ni | 0.002 | 0.003 | 0.003 | 0.002 | 0.000 | 0.002 | 0.003 | 0.002 | 0.003 |
| Caum | 2.996 | 2.994 | 2.992 | 3.032 | 2.711 | 3.021 | 3.023 | 2.985 | 2.994 |
| Fe_FeMg | 0.17 | 0.16 | 0.21 | 0.20 | 0.25 | 0.15 | 0.15 | 0.19 | 0.18 |
| Mg_FeMg | 0.83 | 0.84 | 0.78 | 0.80 | 0.75 | 0.85 | 0.85 | 0.81 | 0.82 |

| Sample | 21.005 | 21.006a | 21.006b | 21.007a | 21.007b | 21.008a | 21.008b |
|----------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Analysis | | | | | | | |
| Location | YZU-1 | YZU-1 | YZU-1 | YZU-1 | YZU-1 | YZU-1 | YZU-1 |
| Mineral | Olv | Olv | Olv | Olv | Olv | Olv | |
| SiO2 | 40.19 | 40.71 | 39.71 | 40.79 | 41.38 | 40.67 | 39.97 |
| TiO2 | 0.15 | 0.05 | 0.08 | 0.08 | 0.00 | 0.00 | 0.05 |
| Al2O3 | 0.00 | 0.08 | 0.07 | 0.06 | 0.05 | 0.06 | 0.05 |
| Fe2O3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| FeO | 15.91 | 10.73 | 17.68 | 12.14 | 12.29 | 13.10 | 14.70 |
| MnO | 0.30 | 0.15 | 0.36 | 0.10 | 0.09 | 0.15 | 0.37 |
| MgO | 44.01 | 49.51 | 43.56 | 47.81 | 45.95 | 47.27 | 45.59 |
| CaO | 0.46 | 0.14 | 0.32 | 0.27 | 0.23 | 0.17 | 0.23 |
| Na2O | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| K2O | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| NiO | 0.01 | 0.31 | 0.15 | 0.15 | 0.20 | 0.16 | 0.17 |
| Total | 101.03 | 101.68 | 101.93 | 101.40 | 100.19 | 101.58 | 101.13 |
| Si | 1.003 | 0.987 | 0.992 | 0.997 | 1.021 | 0.996 | 0.993 |
| Al | 0.000 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.001 | 0.002 | 0.001 |
| Ti | 0.003 | 0.001 | 0.002 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.001 |
| Fe3 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Fe2 | 0.332 | 0.218 | 0.369 | 0.248 | 0.254 | 0.268 | 0.305 |
| Mn | 0.006 | 0.003 | 0.008 | 0.002 | 0.002 | 0.003 | 0.008 |
| Mg | 1.637 | 1.790 | 1.622 | 1.741 | 1.690 | 1.726 | 1.688 |
| Ca | 0.012 | 0.004 | 0.009 | 0.007 | 0.006 | 0.004 | 0.006 |
| Na | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| K | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ni | 0.000 | 0.006 | 0.003 | 0.003 | 0.004 | 0.003 | 0.003 |
| Cations | 2.993 | 3.011 | 3.007 | 3.001 | 2.978 | 3.002 | 3.005 |
| Fe_FeMg | 0.17 | 0.11 | 0.19 | 0.12 | 0.13 | 0.13 | 0.15 |
| Mg_FeMg | 0.83 | 0.89 | 0.81 | 0.88 | 0.87 | 0.87 | 0.85 |

| Sample | 15 000 | 15 001 | 22.000 | 22.001 | 22.002 | 22.003 | 22.004 | 22.006 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Analysis | mf | mf | | | | | | C/In-CR |
| Location | YMI-5 | YMI-5 | YZU-2 | YZU-2 | YZU-2 | YZU-2 | YZU-2 | YZU-2 |
| Mineral | OLV | OLV | OLV | OLV | OLV | OLV | OLV | OLV |
| SiO2 | 47.02 | 43.67 | 37.24 | 40.78 | 40.19 | 39.62 | 40.19 | 39.53 |
| TiO2 | 0.00 | 0.04 | 0.10 | 0.08 | 0.15 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Al2O3 | 14.36 | 13.10 | 0.04 | 0.09 | 0.00 | 0.07 | 0.07 | 0.07 |
| Fe2O3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| FeO | 11.22 | 13.40 | 15.55 | 16.36 | 15.91 | 14.54 | 17.99 | 16.59 |
| MnO | 0.04 | 0.00 | 0.36 | 0.20 | 0.30 | 0.29 | 0.40 | 0.44 |
| MgO | 16.77 | 17.85 | 46.18 | 43.15 | 44.01 | 47.34 | 42.81 | 42.75 |
| CaO | 2.31 | 2.37 | 0.42 | 0.48 | 0.46 | 0.32 | 0.35 | 0.43 |
| Na2O | 0.02 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.08 | 0.07 | 0.00 |
| K2O | 0.24 | 0.20 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.00 | 0.01 | 0.00 |
| NiO | 0.10 | 0.03 | 0.12 | 0.11 | 0.01 | 0.15 | 0.08 | 0.13 |
| Total | 92.08 | 90.68 | 100.01 | 101.25 | 101.06 | 102.41 | 101.97 | 99.94 |
| Si | 1.201 | 1.156 | 0.946 | 1.016 | 1.003 | 0.973 | 1.003 | 1.002 |
| Al | 0.432 | 0.408 | 0.001 | 0.003 | 0.000 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| Ti | 0.000 | 0.001 | 0.002 | 0.001 | 0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Fe3 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Fe2 | 0.240 | 0.397 | 0.330 | 0.341 | 0.332 | 0.299 | 0.376 | 0.352 |
| Mn | 0.001 | 0.000 | 0.008 | 0.004 | 0.006 | 0.006 | 0.008 | 0.009 |
| Mg | 0.639 | 0.704 | 1.750 | 1.602 | 1.637 | 1.733 | 1.593 | 1.616 |
| Ca | 0.063 | 0.067 | 0.011 | 0.013 | 0.012 | 0.008 | 0.009 | 0.012 |
| Na | 0.001 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.004 | 0.003 | 0.000 |
| K | 0.008 | 0.007 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ni | 0.002 | 0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.000 | 0.003 | 0.002 | 0.003 |
| Cations | 2.587 | 2.642 | 3.050 | 2.982 | 2.994 | 3.028 | 2.996 | 2.996 |
| Fe_FeMg | 0.27 | 0.30 | 0.16 | 0.18 | 0.17 | 0.15 | 0.19 | 0.18 |
| Mg_FeMg | 0.73 | 0.70 | 0.84 | 0.82 | 0.83 | 0.85 | 0.81 | 0.82 |

| Sample | 23 000 | 23 001 | 23 002a | 23 002b |
|----------|--------|--------|---------|---------|
| Analysis | | | | |
| Location | YZU-3 | YZU-3 | YZU-3 | YZU-3 |
| Mineral | OLV | OLV | OLV | OLV |
| SiO2 | 39.28 | 39.82 | 40.66 | 39.84 |
| TiO2 | 0.08 | 0.02 | 0.00 | 0.11 |
| Al2O3 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.01 |
| Fe2O3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| FeO | 17.78 | 17.77 | 15.77 | 17.74 |
| MnO | 0.62 | 0.60 | 0.48 | 0.65 |
| MgO | 42.51 | 42.69 | 43.49 | 41.92 |
| CaO | 0.12 | 0.15 | 0.12 | 0.12 |
| Na2O | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| K2O | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| NiO | 0.07 | 0.10 | 0.05 | 0.09 |
| Total | 100.48 | 101.15 | 100.57 | 100.48 |
| Si | 0.997 | 1.002 | 1.017 | 1.009 |
| Al | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ti | 0.002 | 0.000 | 0.000 | 0.002 |
| Fe3 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Fe2 | 0.377 | 0.374 | 0.330 | 0.376 |
| Mn | 0.013 | 0.013 | 0.010 | 0.014 |
| Mg | 1.608 | 1.602 | 1.622 | 1.583 |
| Ca | 0.003 | 0.004 | 0.003 | 0.003 |
| Na | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| K | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ni | 0.001 | 0.002 | 0.001 | 0.002 |
| Cations | 3.002 | 2.997 | 2.983 | 2.989 |
| Fe_FeMg | 0.19 | 0.19 | 0.17 | 0.19 |
| Mg_FeMg | 0.81 | 0.81 | 0.83 | 0.81 |

A2

Composição química, em porcentagem em peso, de micas de rochas “lamproíricas” do Paraguai.

Flogopita (Flo) Mg:Fe 2:1 = Mg/Fe >2 (mg >= 0.67)

Biotita (Bio) Mg:Fe 1:2 = Mg/Fe <2 (mg <= 0.67)*

cf. Deer et al. (1962)

“lamprófiros”

Ymi-1 (10.000-10.050, 10c.000-10c.004),

Ymi-4: **14.000** (14.000a/b-14.019a/b): br (brecha), l (lava), d (dique),

Ymi-7(17.000a-17.000b, 17.001).

“lamproítos”

Ymi-5 (15.000-15.013),

Yzu-2 (22.000-22.016), Yzu-3 (23.000-23.011),

Yzu-6 (*sill*): **26.000** (26.000a/b-26.018).

Titaníferas: todas as micas;

Aluminosas: 10.013, 10.043, 10c.000-10c.004, 10.000-10.002, 10.021, Ymi-4 (todas), 17.000 e Yzu-1 (todas), 15.009, 15.010, 26.010.

Com crômio: 21.000, 21.001, 22.000, 10.043, 10c.000-10c.002 e 17.000

| Sample | 10.000 | 10.001 | 10.002 | 10.003 | 10.004 | 10.005 | 10.006 | 10.007 | 10.008 |
|----------|----------|---------|----------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|
| Analysis | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm |
| Location | YMI-1-pl | YMI-1-d | YMI-1-pl | YMI-1-d | YMI-1-pl | YMI-1-pl | YMI-1-pl | YMI-1-d | YMI-1-d |
| Mineral | BIO | BIO | BIO | FLO | FLO | FLO | BIO | FLO | BIO |
| SiO2 | 41.47 | 41.40 | 38.41 | 37.49 | 36.70 | 37.74 | 36.74 | 36.47 | 37.20 |
| TiO2 | 3.34 | 3.34 | 4.36 | 4.30 | 5.29 | 5.67 | 5.28 | 4.87 | 5.08 |
| Al2O3 | 13.37 | 13.37 | 14.26 | 13.32 | 13.35 | 13.70 | 13.03 | 12.24 | 13.42 |
| Cr2O3 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.05 | 0.00 | 0.01 |
| FeO | 13.50 | 13.50 | 17.13 | 11.86 | 13.42 | 14.02 | 17.56 | 15.48 | 14.78 |
| MnO | 0.19 | 0.19 | 0.13 | 0.03 | 0.12 | 0.14 | 0.16 | 0.00 | 0.11 |
| MgO | 14.18 | 14.18 | 11.33 | 17.75 | 15.76 | 16.02 | 12.77 | 18.97 | 16.03 |
| CaO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| BaO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.38 | 0.00 | 0.00 | 0.04 | 0.18 | 0.14 |
| Na2O | 0.67 | 0.67 | 0.95 | 0.71 | 0.38 | 0.87 | 0.28 | 0.59 | 0.64 |
| K2O | 10.46 | 10.46 | 9.18 | 8.74 | 9.56 | 9.16 | 9.39 | 6.31 | 8.75 |
| Total | 97.18 | 97.11 | 95.77 | 94.58 | 94.65 | 97.34 | 95.30 | 95.11 | 96.16 |
| Si | 6.021 | 6.017 | 5.759 | 5.580 | 5.518 | 5.511 | 5.588 | 5.428 | 5.515 |
| AlIV | 1.979 | 1.983 | 2.241 | 2.335 | 2.364 | 2.356 | 2.334 | 2.146 | 2.343 |
| AlVI | 0.307 | 0.305 | 0.277 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ti | 0.365 | 0.365 | 0.492 | 0.481 | 0.598 | 0.623 | 0.604 | 0.545 | 0.567 |
| Fe2 | 1.639 | 1.641 | 2.148 | 1.476 | 1.687 | 1.712 | 2.233 | 1.927 | 1.833 |
| Cr | 0.000 | 0.000 | 0.002 | 0.000 | 0.000 | 0.002 | 0.006 | 0.000 | 0.001 |
| Mn | 0.023 | 0.023 | 0.017 | 0.004 | 0.015 | 0.017 | 0.021 | 0.000 | 0.014 |
| Mg | 3.069 | 3.072 | 2.533 | 3.938 | 3.532 | 3.487 | 2.895 | 4.209 | 3.543 |
| Ca | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.011 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ba | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 |
| Na | 0.189 | 0.189 | 0.276 | 0.205 | 0.111 | 0.246 | 0.083 | 0.170 | 0.184 |
| K | 1.938 | 1.939 | 1.756 | 1.659 | 1.834 | 1.706 | 1.822 | 1.198 | 1.655 |
| Cations | 15.530 | 15.534 | 15.501 | 15.698 | 15.670 | 15.660 | 15.586 | 15.633 | 15.665 |
| O | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 |
| Fe_FeMg | 0.35 | 0.35 | 0.46 | 0.27 | 0.32 | 0.33 | 0.44 | 0.31 | 0.34 |
| Mg_FeMg | 0.65 | 0.65 | 0.54 | 0.73 | 0.68 | 0.67 | 0.56 | 0.69 | 0.66 |

| Sample | 10.009 | 10.010 | 10.011 | 10.012 | 10.013 | 10.014 | 10.015 | 10.016 | 10.017 |
|----------|---------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|----------|
| Analysis | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm |
| Location | YMI-1-d | YMI-1-d | YMI-1-p1 | YMI-1-p1 | YMI-1-p1 | YMI-1-d | YMI-1-d | YMI-1-d | YMI-1-p1 |
| Mineral | FLO | FLO | FLO | FLO | FLO | BIO | BIO | BIO | BIO |
| SiO2 | 36.89 | 36.52 | 37.51 | 38.14 | 39.10 | 37.19 | 36.63 | 34.92 | 36.74 |
| TiO2 | 4.46 | 4.76 | 6.11 | 5.36 | 5.10 | 5.36 | 4.81 | 6.75 | 6.21 |
| Al2O3 | 13.16 | 12.99 | 13.95 | 14.27 | 14.45 | 12.15 | 12.67 | 13.32 | 13.28 |
| Cr2O3 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.00 | 0.03 | 0.04 |
| FeO | 13.81 | 12.87 | 13.05 | 13.45 | 13.14 | 14.88 | 17.88 | 19.88 | 15.14 |
| MnO | 0.17 | 0.13 | 0.14 | 0.19 | 0.07 | 0.22 | 0.00 | 0.32 | 0.01 |
| MgO | 17.14 | 17.75 | 15.72 | 15.89 | 15.54 | 16.04 | 15.18 | 13.69 | 14.41 |
| CaO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| BaO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Na2O | 0.51 | 0.84 | 0.71 | 0.66 | 0.65 | 0.72 | 0.53 | 0.97 | 0.60 |
| K2O | 8.96 | 8.73 | 9.23 | 9.24 | 9.31 | 8.66 | 8.12 | 7.92 | 9.51 |
| Total | 95.12 | 94.59 | 96.42 | 97.20 | 97.37 | 95.24 | 95.82 | 97.80 | 95.94 |
| Si | 5.512 | 5.470 | 5.504 | 5.549 | 5.651 | 5.577 | 5.513 | 5.230 | 5.493 |
| AlIV | 2.316 | 2.291 | 2.411 | 2.445 | 2.349 | 2.146 | 2.246 | 2.350 | 2.338 |
| AlVI | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.110 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ti | 0.501 | 0.536 | 0.674 | 0.587 | 0.554 | 0.605 | 0.545 | 0.760 | 0.698 |
| Fe2 | 1.726 | 1.612 | 1.602 | 1.637 | 1.588 | 1.866 | 2.250 | 2.490 | 1.893 |
| Cr | 0.002 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.002 | 0.000 | 0.004 | 0.005 |
| Mn | 0.022 | 0.016 | 0.017 | 0.023 | 0.009 | 0.028 | 0.000 | 0.041 | 0.001 |
| Mg | 3.818 | 3.963 | 3.439 | 3.447 | 3.348 | 3.586 | 3.406 | 3.057 | 3.212 |
| Ca | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ba | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Na | 0.148 | 0.244 | 0.202 | 0.186 | 0.182 | 0.209 | 0.155 | 0.282 | 0.174 |
| K | 1.708 | 1.668 | 1.728 | 1.715 | 1.717 | 1.657 | 1.559 | 1.513 | 1.814 |
| Cations | 15.753 | 15.800 | 15.577 | 15.589 | 15.509 | 15.676 | 15.674 | 15.727 | 15.628 |
| O | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 |
| Fe_FeMg | 0.31 | 0.29 | 0.32 | 0.32 | 0.32 | 0.34 | 0.40 | 0.45 | 0.37 |
| Mg_FeMg | 0.69 | 0.71 | 0.68 | 0.68 | 0.68 | 0.66 | 0.60 | 0.55 | 0.63 |

| Sample | 10.018 | 10.019 | 10.020 | 10.021 | 10.022 | 10.023 | 10.024 | 10.025 | 10.026 |
|----------|---------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|
| Analysis | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm |
| Location | YMI-1-d | YMI-1-p2 | YMI-1-p2 | YMI-1-p2 | YMI-1-d | YMI-1-p2 | YMI-1-p2 | YMI-1-p2 | YMI-1-p2 |
| Mineral | BIO | BIO | BIO | BIO | FLO | BIO | BIO | FLO | BIO |
| SiO2 | 38.14 | 37.34 | 36.81 | 38.86 | 37.47 | 37.18 | 37.87 | 37.49 | 39.21 |
| TiO2 | 5.28 | 5.05 | 5.53 | 4.65 | 5.26 | 5.19 | 5.94 | 5.42 | 4.82 |
| Al2O3 | 12.88 | 12.58 | 14.48 | 13.29 | 13.46 | 13.15 | 13.20 | 13.37 | 12.80 |
| Cr2O3 | 0.07 | 0.00 | 0.02 | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 0.09 | 0.06 | 0.00 |
| FeO | 17.26 | 15.19 | 14.48 | 14.29 | 13.57 | 15.22 | 14.80 | 12.88 | 14.24 |
| MnO | 0.24 | 0.17 | 0.20 | 0.13 | 0.08 | 0.20 | 0.15 | 0.02 | 0.04 |
| MgO | 13.88 | 15.53 | 15.83 | 13.30 | 16.03 | 15.00 | 14.90 | 16.86 | 15.94 |
| CaO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.95 | 0.64 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| BaO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Na2O | 0.46 | 0.56 | 1.26 | 0.61 | 0.65 | 0.73 | 0.77 | 0.72 | 0.50 |
| K2O | 9.42 | 8.57 | 8.73 | 9.05 | 9.06 | 9.16 | 9.25 | 9.04 | 8.91 |
| Total | 97.63 | 94.99 | 97.34 | 95.20 | 96.22 | 95.87 | 96.97 | 95.86 | 96.46 |
| Si | 5.636 | 5.606 | 5.390 | 5.793 | 5.530 | 5.555 | 5.573 | 5.527 | 5.744 |
| AlIV | 2.242 | 2.224 | 2.497 | 2.207 | 2.339 | 2.314 | 2.288 | 2.321 | 2.208 |
| AlVI | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.126 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ti | 0.587 | 0.570 | 0.609 | 0.521 | 0.584 | 0.583 | 0.658 | 0.601 | 0.531 |
| Fe2 | 2.133 | 1.907 | 1.773 | 1.782 | 1.675 | 1.902 | 1.822 | 1.588 | 1.745 |
| Cr | 0.008 | 0.000 | 0.002 | 0.008 | 0.000 | 0.000 | 0.010 | 0.007 | 0.000 |
| Mn | 0.030 | 0.022 | 0.025 | 0.016 | 0.010 | 0.025 | 0.019 | 0.002 | 0.005 |
| Mg | 3.058 | 3.476 | 3.456 | 2.956 | 3.527 | 3.341 | 3.269 | 3.705 | 3.481 |
| Ca | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.152 | 0.101 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ba | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Na | 0.132 | 0.163 | 0.358 | 0.176 | 0.186 | 0.211 | 0.220 | 0.206 | 0.142 |
| K | 1.776 | 1.641 | 1.631 | 1.721 | 1.706 | 1.746 | 1.737 | 1.700 | 1.665 |
| Cations | 15.602 | 15.609 | 15.741 | 15.458 | 15.658 | 15.677 | 15.596 | 15.657 | 15.521 |
| O | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 |
| Fe_FeMg | 0.41 | 0.35 | 0.34 | 0.38 | 0.32 | 0.36 | 0.36 | 0.30 | 0.33 |
| Mg_FeMg | 0.59 | 0.65 | 0.66 | 0.62 | 0.68 | 0.64 | 0.64 | 0.70 | 0.67 |

| Sample | 10.027 | 10.028 | 10.029 | 10.030 | 10.031 | 10.032 | 10.033 | 10.034 | 10.035 |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Analysis | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm |
| Location | YMQ-1-p2 | YMQ-1-p2 | YMQ-1-p1 | YMQ-1-p1 | YMQ-1-p1 | YMQ-1-p1 | YMQ-1-p1 | YMQ-1-p1 | YMQ-1-p1 |
| Mineral | FLO | FLO | FLO | BIO | BIO | FLO | FLO | BIO | FLO |
| SiO2 | 36.74 | 37.34 | 37.39 | 36.76 | 37.30 | 37.44 | 37.90 | 35.72 | 38.32 |
| TiO2 | 4.88 | 5.20 | 5.11 | 4.67 | 6.49 | 5.15 | 5.57 | 5.08 | 4.47 |
| Al2O3 | 12.45 | 13.22 | 12.72 | 12.94 | 13.72 | 12.88 | 13.29 | 12.05 | 13.86 |
| Cr2O3 | 0.00 | 0.00 | 0.05 | 0.00 | 0.00 | 0.04 | 0.02 | 0.00 | 0.02 |
| FeO | 12.72 | 14.03 | 13.61 | 16.01 | 16.24 | 14.08 | 14.22 | 18.68 | 12.75 |
| MnO | 0.12 | 0.12 | 0.09 | 0.22 | 0.18 | 0.14 | 0.19 | 0.24 | 0.14 |
| MgO | 16.99 | 16.60 | 17.41 | 15.53 | 13.45 | 16.59 | 16.24 | 15.21 | 16.93 |
| CaO | 0.09 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.08 | 0.08 | 0.16 | 0.07 |
| BaO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.18 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.18 |
| Na2O | 0.41 | 0.48 | 0.62 | 0.53 | 0.44 | 0.81 | 0.64 | 0.50 | 0.46 |
| K2O | 9.14 | 8.88 | 8.86 | 9.28 | 9.77 | 9.19 | 9.13 | 8.33 | 9.38 |
| Total | 93.54 | 95.87 | 95.86 | 95.94 | 97.77 | 96.40 | 97.28 | 95.97 | 96.58 |
| Si | 5.566 | 5.528 | 5.532 | 5.517 | 5.502 | 5.535 | 5.540 | 5.425 | 5.602 |
| AlIV | 2.221 | 2.305 | 2.216 | 2.287 | 2.383 | 2.242 | 2.288 | 2.155 | 2.386 |
| AlVI | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ti | 0.556 | 0.579 | 0.569 | 0.527 | 0.720 | 0.573 | 0.612 | 0.580 | 0.492 |
| Fe2 | 1.611 | 1.737 | 1.684 | 2.009 | 2.003 | 1.741 | 1.738 | 2.373 | 1.559 |
| Cr | 0.000 | 0.000 | 0.006 | 0.000 | 0.000 | 0.005 | 0.002 | 0.000 | 0.002 |
| Mn | 0.015 | 0.015 | 0.011 | 0.028 | 0.022 | 0.018 | 0.024 | 0.031 | 0.017 |
| Mg | 3.837 | 3.664 | 3.840 | 3.475 | 2.958 | 3.656 | 3.539 | 3.444 | 3.690 |
| Ca | 0.015 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.013 | 0.013 | 0.026 | 0.011 |
| Ba | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 |
| Na | 0.120 | 0.138 | 0.178 | 0.154 | 0.126 | 0.232 | 0.181 | 0.147 | 0.130 |
| K | 1.766 | 1.677 | 1.672 | 1.777 | 1.839 | 1.733 | 1.703 | 1.614 | 1.749 |
| Cations | 15.707 | 15.643 | 15.708 | 15.774 | 15.563 | 15.748 | 15.640 | 15.795 | 15.648 |
| O | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 |
| Fe_FeMg | 0.30 | 0.32 | 0.30 | 0.37 | 0.40 | 0.32 | 0.33 | 0.41 | 0.30 |
| Mg_FeMg | 0.70 | 0.68 | 0.70 | 0.63 | 0.60 | 0.68 | 0.67 | 0.59 | 0.70 |

| Sample | 10.036 | 10.037 | 10.038 | 10.039 | 10.040 | 10.041 | 10.042 | 10.043 | 10.045 |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|
| Analysis | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm |
| Location | YMI-1-p1 | YMI-1-p1 | YMI-1-p1 | YMI-1-p1 | YMI-1-p1 | YMI-1-p1 | YMI-1-p2 | YMI-1-d | YMI-1-d |
| Mineral | FLO | FLO | BIO | BIO | FLO | BIO | BIO | FLO | BIO |
| SiO2 | 36.25 | 38.25 | 37.75 | 36.74 | 37.52 | 37.98 | 37.48 | 38.67 | 32.49 |
| TiO2 | 6.06 | 4.92 | 5.42 | 5.28 | 5.03 | 4.93 | 5.29 | 2.74 | 6.01 |
| Al2O3 | 13.12 | 13.34 | 13.08 | 13.03 | 13.10 | 12.67 | 13.15 | 14.75 | 11.54 |
| Cr2O3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.05 | 0.04 | 0.00 | 0.07 | 0.28 | 0.00 |
| FeO | 13.17 | 12.61 | 14.80 | 17.56 | 13.26 | 16.91 | 14.41 | 6.34 | 19.10 |
| MnO | 0.11 | 0.12 | 0.23 | 0.16 | 0.21 | 0.19 | 0.17 | 0.01 | 0.30 |
| MgO | 15.86 | 16.99 | 14.88 | 12.77 | 17.29 | 14.72 | 16.04 | 22.66 | 15.58 |
| CaO | 0.05 | 0.00 | 0.06 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.15 | 0.00 |
| BaO | 0.00 | 0.04 | 0.25 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Na2O | 1.71 | 0.80 | 0.80 | 0.28 | 0.60 | 0.43 | 0.78 | 0.59 | 0.75 |
| K2O | 9.11 | 9.23 | 9.07 | 9.39 | 9.05 | 9.36 | 9.02 | 9.43 | 7.99 |
| Total | 95.44 | 96.30 | 96.34 | 95.30 | 96.10 | 97.19 | 96.41 | 95.62 | 93.76 |
| Si | 5.422 | 5.605 | 5.602 | 5.588 | 5.532 | 5.630 | 5.539 | 5.535 | 5.116 |
| AlIV | 2.311 | 2.302 | 2.286 | 2.334 | 2.275 | 2.212 | 2.289 | 2.465 | 2.140 |
| AlVI | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.021 | 0.000 |
| Ti | 0.682 | 0.542 | 0.605 | 0.604 | 0.558 | 0.550 | 0.588 | 0.295 | 0.712 |
| Fe2 | 1.647 | 1.545 | 1.837 | 2.233 | 1.635 | 2.096 | 1.781 | 0.759 | 2.515 |
| Cr | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.006 | 0.005 | 0.000 | 0.008 | 0.032 | 0.000 |
| Mn | 0.014 | 0.015 | 0.029 | 0.021 | 0.026 | 0.024 | 0.021 | 0.001 | 0.040 |
| Mg | 3.536 | 3.711 | 3.292 | 2.895 | 3.800 | 3.253 | 3.534 | 4.835 | 3.658 |
| Ca | 0.008 | 0.000 | 0.010 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.023 | 0.000 |
| Ba | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Na | 0.496 | 0.227 | 0.230 | 0.083 | 0.172 | 0.124 | 0.224 | 0.164 | 0.229 |
| K | 1.738 | 1.725 | 1.717 | 1.822 | 1.702 | 1.770 | 1.701 | 1.722 | 1.605 |
| Cations | 15.854 | 15.672 | 15.618 | 15.586 | 15.705 | 15.659 | 15.685 | 15.852 | 16.015 |
| O | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 |
| Fe_FeMg | 0.32 | 0.29 | 0.36 | 0.44 | 0.30 | 0.39 | 0.34 | 0.14 | 0.41 |
| Mg_FeMg | 0.68 | 0.71 | 0.64 | 0.56 | 0.70 | 0.61 | 0.66 | 0.86 | 0.59 |

| Sample | 10.050 | 10c.000 | 10c.001 | 10c.002 | 10c.003 | 10c.004 | 14.000a | 14.000b | 14.001a |
|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Analysis | gpn | fen | fen | fen | fen | fen | fen | fen | fen |
| Location | YMI-1-p2 | YMI-1.c | YMI-1.c | YMI-1.c | YMI-1.c | YMI-1.c | YMI-4-d | YMI-4-d | YMI-4-d |
| Mineral | FLO | FLO | FLO | FLO | FLO | FLO | FLO | FLO | FLO |
| SiO2 | 38.55 | 37.58 | 37.56 | 37.75 | 35.46 | 37.91 | 36.50 | 36.16 | 37.31 |
| TiO2 | 4.66 | 3.81 | 3.83 | 3.49 | 3.55 | 3.21 | 4.01 | 4.30 | 4.59 |
| Al2O3 | 13.26 | 15.59 | 15.80 | 15.36 | 14.61 | 15.45 | 16.14 | 15.61 | 16.15 |
| Cr2O3 | 0.06 | 0.41 | 0.29 | 0.88 | 0.18 | 1.59 | 0.02 | 0.02 | 0.00 |
| FeO | 12.01 | 8.25 | 8.88 | 7.92 | 8.82 | 8.42 | 11.10 | 11.17 | 11.25 |
| MnO | 0.13 | 0.11 | 0.10 | 0.05 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.12 | 0.09 |
| MgO | 17.69 | 19.32 | 18.99 | 18.96 | 18.22 | 19.31 | 17.80 | 17.83 | 17.71 |
| CaO | 0.00 | 0.09 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| BaO | 0.00 | 0.46 | 0.19 | 0.28 | 0.44 | 0.34 | 0.38 | 0.54 | 0.47 |
| Na2O | 0.50 | 0.56 | 0.46 | 0.5 | 0.45 | 0.49 | 0.57 | 0.53 | 0.47 |
| K2O | 9.62 | 9.91 | 9.75 | 9.82 | 9.03 | 8.75 | 9.18 | 9.29 | 9.28 |
| Total | 96.48 | 96.09 | 95.85 | 95.01 | 90.79 | 95.47 | 95.71 | 95.57 | 97.32 |
| Si | 5.625 | 5.443 | 5.446 | 5.509 | 5.446 | 5.492 | 5.354 | 5.336 | 5.381 |
| AlIV | 2.279 | 2.557 | 2.554 | 2.491 | 2.554 | 2.508 | 2.646 | 2.664 | 2.619 |
| AlVI | 0.000 | 0.102 | 0.144 | 0.149 | 0.088 | 0.128 | 0.142 | 0.049 | 0.124 |
| Ti | 0.511 | 0.415 | 0.418 | 0.383 | 0.410 | 0.350 | 0.442 | 0.477 | 0.498 |
| Fe2 | 1.466 | 0.999 | 1.077 | 0.967 | 1.133 | 1.020 | 1.362 | 1.378 | 1.357 |
| Cr | 0.007 | 0.047 | 0.033 | 0.101 | 0.022 | 0.182 | 0.002 | 0.002 | 0.000 |
| Mn | 0.016 | 0.013 | 0.012 | 0.006 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.015 | 0.011 |
| Mg | 3.848 | 4.172 | 4.105 | 4.125 | 4.172 | 4.170 | 3.892 | 3.922 | 3.808 |
| Ca | 0.000 | 0.014 | 0.000 | 0.000 | 0.005 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ba | 0.00 | 0.03 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 |
| Na | 0.141 | 0.157 | 0.129 | 0.141 | 0.134 | 0.138 | 0.162 | 0.152 | 0.131 |
| K | 1.791 | 1.831 | 1.804 | 1.828 | 1.769 | 1.617 | 1.718 | 1.749 | 1.708 |
| Cations | 15.684 | 15.780 | 15.732 | 15.720 | 15.763 | 15.625 | 15.741 | 15.774 | 15.667 |
| O | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 |
| Fe_FeMg | 0.28 | 0.19 | 0.21 | 0.19 | 0.21 | 0.20 | 0.26 | 0.26 | 0.26 |
| Mg_FeMg | 0.72 | 0.81 | 0.79 | 0.81 | 0.79 | 0.80 | 0.74 | 0.74 | 0.74 |

| Sample | 14.001b | 14.002a | 14.002b | 14.003a | 14.003b | 14.004a | 14.004b | 14.005a | 14.005b |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Analysis | fen | fen | fen | fen | fen | fen | fen | fen | fen |
| Location | YMI-4-d | YMI-4-d | YMI-4-d | YMI-4-d | YMI-4-d | YMI-4 | YMI-4 | YMI-4 | YMI-4 |
| Mineral | FLO | FLO | FLO | FLO | FLO | FLO | FLO | FLO | FLO |
| SiO2 | 37.08 | 34.51 | 37.44 | 36.60 | 35.62 | 37.01 | 36.40 | 36.38 | 36.68 |
| TiO2 | 4.48 | 3.83 | 4.78 | 4.15 | 4.00 | 3.66 | 4.34 | 4.89 | 4.78 |
| Al2O3 | 16.49 | 14.94 | 16.15 | 15.84 | 15.24 | 15.69 | 16.02 | 16.44 | 16.36 |
| Cr2O3 | 0.01 | 0.11 | 0.08 | 0.04 | 0.01 | 0.09 | 0.00 | 0.02 | 0.02 |
| FeO | 11.44 | 9.91 | 11.36 | 11.41 | 10.74 | 10.58 | 11.16 | 11.33 | 12.87 |
| MnO | 0.15 | 0.00 | 0.07 | 0.08 | 0.01 | 0.07 | 0.06 | 0.04 | 0.09 |
| MgO | 17.07 | 17.32 | 17.70 | 17.36 | 17.84 | 18.40 | 17.69 | 17.37 | 16.67 |
| CaO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| BaO | 0.29 | 0.22 | 0.36 | 0.16 | 0.67 | 0.29 | 0.70 | 0.90 | 0.79 |
| Na2O | 0.58 | 0.61 | 0.66 | 0.65 | 0.55 | 0.56 | 0.60 | 0.57 | 0.72 |
| K2O | 9.28 | 8.77 | 9.13 | 9.48 | 9.54 | 8.96 | 9.42 | 9.22 | 9.04 |
| Total | 96.87 | 90.22 | 97.73 | 95.77 | 94.22 | 95.31 | 96.39 | 97.16 | 98.02 |
| Si | 5.374 | 5.358 | 5.374 | 5.378 | 5.342 | 5.425 | 5.329 | 5.286 | 5.310 |
| AlIV | 2.626 | 2.642 | 2.626 | 2.622 | 2.658 | 2.575 | 2.671 | 2.714 | 2.690 |
| AlVI | 0.188 | 0.089 | 0.104 | 0.119 | 0.034 | 0.133 | 0.091 | 0.099 | 0.099 |
| Ti | 0.488 | 0.447 | 0.516 | 0.459 | 0.451 | 0.404 | 0.478 | 0.534 | 0.521 |
| Fe2 | 1.386 | 1.287 | 1.364 | 1.402 | 1.347 | 1.297 | 1.366 | 1.377 | 1.558 |
| Cr | 0.001 | 0.013 | 0.009 | 0.005 | 0.001 | 0.010 | 0.000 | 0.002 | 0.002 |
| Mn | 0.018 | 0.000 | 0.009 | 0.010 | 0.001 | 0.009 | 0.007 | 0.005 | 0.011 |
| Mg | 3.688 | 4.008 | 3.787 | 3.803 | 3.989 | 4.021 | 3.861 | 3.763 | 3.598 |
| Ca | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ba | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.04 | 0.02 | 0.04 | 0.05 | 0.04 |
| Na | 0.163 | 0.184 | 0.184 | 0.185 | 0.160 | 0.159 | 0.170 | 0.161 | 0.202 |
| K | 1.716 | 1.737 | 1.672 | 1.777 | 1.825 | 1.676 | 1.759 | 1.709 | 1.670 |
| Cations | 15.668 | 15.775 | 15.665 | 15.770 | 15.848 | 15.729 | 15.772 | 15.700 | 15.701 |
| O | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 |
| Fe_FeMg | 0.27 | 0.24 | 0.26 | 0.27 | 0.25 | 0.24 | 0.26 | 0.27 | 0.30 |
| Mg_FeMg | 0.73 | 0.76 | 0.74 | 0.73 | 0.75 | 0.76 | 0.74 | 0.73 | 0.70 |

| Sample | 14.006a | 14.006b | 14.007a | 14.007b | 14.008a | 14.008b | 14.009 | 14.010a | 14.010b |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| Analysis | fen | fen | fen | fen | fen | fen | fen | fen | fen |
| Location | YMI-4 | YMI-4 | YMI-4 | YMI-4 | YMI-4 | YMI-4 | YMI-4-br | YMI-4-l | YMI-4-l |
| Mineral | FLO | BIO | FLO | FLO | FLO | FLO | FLO | FLO | FLO |
| SiO2 | 37.05 | 32.82 | 36.17 | 37.03 | 36.48 | 35.55 | 37.08 | 36.92 | 36.94 |
| TiO2 | 4.82 | 4.82 | 4.20 | 3.26 | 3.87 | 4.53 | 4.18 | 3.70 | 3.60 |
| Al2O3 | 16.38 | 14.52 | 15.96 | 16.03 | 16.26 | 15.72 | 16.22 | 16.29 | 15.97 |
| Cr2O3 | 0.01 | 0.07 | 0.05 | 0.04 | 0.07 | 0.00 | 0.03 | 0.16 | 0.10 |
| FeO | 11.30 | 23.21 | 11.11 | 10.37 | 10.22 | 11.15 | 11.77 | 10.31 | 10.39 |
| MnO | 0.04 | 0.30 | 0.12 | 0.10 | 0.08 | 0.05 | 0.01 | 0.02 | 0.01 |
| MgO | 17.79 | 12.22 | 17.90 | 18.66 | 18.72 | 17.96 | 17.72 | 18.60 | 18.62 |
| CaO | 0.00 | 0.11 | 0.05 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| BaO | 0.54 | 0.75 | 0.79 | 0.36 | 0.13 | 0.54 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Na2O | 0.63 | 0.55 | 0.62 | 0.58 | 0.68 | 0.58 | 0.62 | 0.44 | 0.46 |
| K2O | 9.68 | 7.41 | 9.35 | 9.55 | 9.24 | 9.39 | 9.21 | 9.51 | 9.49 |
| Total | 98.24 | 96.78 | 96.32 | 95.98 | 95.75 | 95.47 | 96.84 | 95.95 | 95.58 |
| Si | 5.316 | 5.078 | 5.307 | 5.405 | 5.324 | 5.263 | 5.370 | 5.370 | 5.396 |
| AlIV | 2.684 | 2.645 | 2.693 | 2.595 | 2.676 | 2.737 | 2.630 | 2.630 | 2.604 |
| AlVI | 0.084 | 0.000 | 0.065 | 0.160 | 0.119 | 0.003 | 0.136 | 0.160 | 0.143 |
| Ti | 0.520 | 0.561 | 0.464 | 0.358 | 0.425 | 0.504 | 0.455 | 0.405 | 0.396 |
| Fe2 | 1.356 | 3.003 | 1.363 | 1.266 | 1.247 | 1.380 | 1.426 | 1.254 | 1.269 |
| Cr | 0.001 | 0.009 | 0.006 | 0.005 | 0.008 | 0.000 | 0.003 | 0.018 | 0.012 |
| Mn | 0.005 | 0.039 | 0.015 | 0.012 | 0.010 | 0.006 | 0.001 | 0.002 | 0.001 |
| Mg | 3.805 | 2.818 | 3.915 | 4.060 | 4.073 | 3.963 | 3.826 | 4.033 | 4.055 |
| Ca | 0.000 | 0.018 | 0.008 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ba | 0.03 | 0.05 | 0.05 | 0.02 | 0.01 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Na | 0.175 | 0.165 | 0.176 | 0.164 | 0.192 | 0.166 | 0.174 | 0.124 | 0.130 |
| K | 1.772 | 1.463 | 1.750 | 1.778 | 1.720 | 1.773 | 1.702 | 1.765 | 1.768 |
| Cations | 15.748 | 15.849 | 15.812 | 15.823 | 15.804 | 15.825 | 15.723 | 15.761 | 15.774 |
| O | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 |
| Fe_FeMg | 0.26 | 0.52 | 0.26 | 0.24 | 0.23 | 0.26 | 0.27 | 0.24 | 0.24 |
| Mg_FeMg | 0.74 | 0.48 | 0.74 | 0.76 | 0.77 | 0.74 | 0.73 | 0.76 | 0.76 |

| Sample | 14.011a | 14.011b | 14.012a | 14.012b | 14.013 | 14.014 | 14.015a | 14.015b | 14.016 |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Analysis | fen | fen | fen | fen | fen | fen | fen | fen | fen |
| Location | YMI-4-I | YMI-4-I | YMI-4-I | YMI-4-I | YMI-4-I | YMI-4-I | YMI-4-I | YMI-4-I | YMI-4-I |
| Mineral | FLO | FLO | FLO | FLO | FLO | FLO | FLO | FLO | FLO |
| SiO2 | 37.17 | 36.89 | 39.40 | 39.47 | 36.15 | 36.81 | 36.71 | 36.70 | 36.47 |
| TiO2 | 3.63 | 2.86 | 2.39 | 3.06 | 4.45 | 4.42 | 3.05 | 3.43 | 4.92 |
| Al2O3 | 16.22 | 16.31 | 16.33 | 15.13 | 16.41 | 16.59 | 16.06 | 16.27 | 15.81 |
| Cr2O3 | 0.07 | 0.16 | 0.09 | 0.02 | 0.00 | 0.06 | 0.15 | 0.19 | 0.03 |
| FeO | 10.77 | 9.93 | 8.22 | 12.73 | 11.15 | 10.94 | 10.71 | 10.29 | 11.47 |
| MnO | 0.01 | 0.00 | 0.09 | 0.16 | 0.02 | 0.14 | 0.10 | 0.06 | 0.07 |
| MgO | 18.64 | 19.59 | 18.87 | 17.34 | 17.83 | 17.65 | 18.77 | 18.63 | 17.71 |
| CaO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.49 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| BaO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.63 |
| Na2O | 0.53 | 0.42 | 0.37 | 0.43 | 0.57 | 0.70 | 0.43 | 0.57 | 0.57 |
| K2O | 9.50 | 8.84 | 7.54 | 5.43 | 9.37 | 9.30 | 9.39 | 9.28 | 8.82 |
| Total | 96.54 | 95.00 | 93.30 | 94.26 | 95.95 | 96.61 | 95.37 | 95.42 | 96.50 |
| Si | 5.382 | 5.387 | 5.717 | 5.737 | 5.286 | 5.332 | 5.384 | 5.366 | 5.320 |
| AlIV | 2.618 | 2.613 | 2.283 | 2.263 | 2.714 | 2.668 | 2.616 | 2.634 | 2.680 |
| AlVI | 0.148 | 0.192 | 0.507 | 0.327 | 0.112 | 0.162 | 0.158 | 0.168 | 0.036 |
| Ti | 0.395 | 0.314 | 0.261 | 0.335 | 0.489 | 0.482 | 0.336 | 0.377 | 0.540 |
| Fe2 | 1.304 | 1.213 | 0.997 | 1.547 | 1.363 | 1.325 | 1.314 | 1.258 | 1.399 |
| Cr | 0.008 | 0.018 | 0.010 | 0.002 | 0.000 | 0.007 | 0.017 | 0.022 | 0.003 |
| Mn | 0.001 | 0.000 | 0.011 | 0.020 | 0.002 | 0.017 | 0.012 | 0.007 | 0.009 |
| Mg | 4.023 | 4.264 | 4.082 | 3.757 | 3.886 | 3.812 | 4.104 | 4.061 | 3.851 |
| Ca | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.076 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ba | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.04 |
| Na | 0.149 | 0.119 | 0.104 | 0.121 | 0.162 | 0.197 | 0.122 | 0.162 | 0.161 |
| K | 1.755 | 1.647 | 1.396 | 1.007 | 1.748 | 1.719 | 1.757 | 1.731 | 1.641 |
| Cations | 15.783 | 15.767 | 15.368 | 15.192 | 15.762 | 15.721 | 15.820 | 15.786 | 15.680 |
| O | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 |
| Fe_FeMg | 0.24 | 0.22 | 0.20 | 0.29 | 0.26 | 0.26 | 0.24 | 0.24 | 0.27 |
| Mg_FeMg | 0.76 | 0.78 | 0.80 | 0.71 | 0.74 | 0.74 | 0.76 | 0.76 | 0.73 |

| Sample | 14.017a | 14.017b | 14.018a | 14.018b | 14.019a | 14.019b | 17.000a | 17.000b | 17.001 |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| Analysis | fen | fen | fen | fen | fen | fen | fen | fen | fen |
| Location | YMI-4-I | YMI-4-I | YMI-4-d | YMI-4-d | YMI-4-d | YMI-4-d | YMI-7 | YMI-7 | YMI-7 |
| General | FLO | FLO | FLO | FLO | FLO | FLO | FLO | BIO | BIO |
| SiO2 | 36.38 | 36.68 | 36.22 | 36.33 | 36.35 | 36.33 | 37.56 | 38.03 | 39.35 |
| TiO2 | 4.89 | 4.78 | 4.17 | 4.42 | 4.18 | 4.33 | 3.83 | 5.01 | 4.36 |
| Al2O3 | 16.44 | 16.36 | 16.05 | 15.74 | 15.94 | 15.96 | 15.80 | 12.28 | 12.49 |
| Cr2O3 | 0.02 | 0.02 | 0.05 | 0.03 | 0.00 | 0.07 | 0.29 | 0.10 | 0.00 |
| FeO | 11.33 | 12.87 | 11.20 | 10.99 | 11.09 | 10.81 | 8.88 | 13.59 | 14.11 |
| MnO | 0.04 | 0.09 | 0.09 | 0.12 | 0.10 | 0.06 | 0.10 | 0.09 | 0.19 |
| MgO | 17.37 | 16.67 | 17.70 | 17.39 | 17.79 | 17.80 | 18.99 | 14.64 | 15.77 |
| CaO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| BaO | 0.90 | 0.79 | 0.67 | 0.74 | 0.69 | 0.69 | 0.19 | 0.00 | 0.06 |
| Na2O | 0.57 | 0.72 | 0.45 | 0.59 | 0.57 | 0.70 | 0.46 | 0.73 | 0.96 |
| K2O | 9.22 | 9.04 | 9.35 | 9.45 | 9.14 | 9.37 | 9.75 | 9.22 | 9.13 |
| Total | 97.16 | 98.02 | 95.95 | 95.80 | 95.85 | 96.12 | 95.85 | 93.69 | 96.42 |
| Si | 5.286 | 5.310 | 5.325 | 5.354 | 5.342 | 5.327 | 5.446 | 5.759 | 5.787 |
| AlIV | 2.714 | 2.690 | 2.675 | 2.646 | 2.658 | 2.673 | 2.554 | 2.190 | 2.163 |
| AlVI | 0.099 | 0.099 | 0.104 | 0.086 | 0.101 | 0.083 | 0.144 | 0.000 | 0.000 |
| Ti | 0.534 | 0.521 | 0.461 | 0.490 | 0.462 | 0.478 | 0.418 | 0.571 | 0.482 |
| Fe2 | 1.377 | 1.558 | 1.377 | 1.354 | 1.363 | 1.326 | 1.077 | 1.721 | 1.735 |
| Cr | 0.002 | 0.002 | 0.006 | 0.003 | 0.000 | 0.008 | 0.033 | 0.012 | 0.000 |
| Mn | 0.005 | 0.011 | 0.011 | 0.015 | 0.012 | 0.007 | 0.012 | 0.012 | 0.024 |
| Mg | 3.763 | 3.598 | 3.879 | 3.820 | 3.897 | 3.891 | 4.105 | 3.305 | 3.457 |
| Ca | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ba | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| Na | 0.161 | 0.202 | 0.128 | 0.169 | 0.162 | 0.199 | 0.129 | 0.214 | 0.274 |
| K | 1.709 | 1.670 | 1.754 | 1.777 | 1.714 | 1.753 | 1.804 | 1.781 | 1.713 |
| Cations | 15.700 | 15.701 | 15.760 | 15.754 | 15.751 | 15.785 | 15.732 | 15.565 | 15.635 |
| O | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 |
| Fe_FeMg | 0.27 | 0.30 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.25 | 0.21 | 0.34 | 0.33 |
| Mg_FeMg | 0.73 | 0.70 | 0.74 | 0.74 | 0.74 | 0.75 | 0.79 | 0.66 | 0.67 |

| Sample | 21.000 | -21.001 | 21.001 |
|----------|--------|---------|--------|
| Analysis | fen | fen | fen |
| Location | YZU-1 | YZU-1 | YZU-1 |
| Mineral | FLO | FLO | FLO |
| SiO2 | 38.69 | 38.84 | 38.84 |
| TiO2 | 2.97 | 2.87 | 2.87 |
| Al2O3 | 14.95 | 14.61 | 14.61 |
| Cr2O3 | 0.40 | 1.22 | 1.22 |
| FeO | 5.99 | 6.15 | 6.15 |
| MnO | 0.04 | 0.10 | 0.10 |
| MgO | 22.22 | 21.81 | 21.81 |
| CaO | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| BaO | 0.04 | 0.22 | 0.22 |
| Na2O | 0.54 | 0.41 | 0.41 |
| K2O | 9.86 | 9.04 | 9.04 |
| Total | 95.70 | 95.27 | 95.27 |
| Si | 5.536 | 5.575 | 5.575 |
| AlIV | 2.464 | 2.425 | 2.425 |
| AlVI | 0.055 | 0.045 | 0.045 |
| Ti | 0.320 | 0.310 | 0.310 |
| Fe2 | 0.717 | 0.738 | 0.738 |
| Cr | 0.045 | 0.138 | 0.138 |
| Mn | 0.005 | 0.012 | 0.012 |
| Mg | 4.740 | 4.667 | 4.667 |
| Ca | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ba | 0.00 | 0.01 | 0.01 |
| Na | 0.150 | 0.114 | 0.114 |
| K | 1.800 | 1.655 | 1.655 |
| Cations | 15.832 | 15.689 | 15.689 |
| O | 22.000 | 22.000 | 22.000 |
| Fe_FeMg | 0.13 | 0.14 | 0.14 |
| Mg_FeMg | 0.87 | 0.86 | 0.86 |

| Sample | 13.000 | 13.001 | 13.002 | 13.003 | 13.004 | 13.005 | 13.006 | 13.007 | 13.008 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Analysis | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm |
| Location | Y365.5 | Y365.5 | Y365.5 | Y365.5 | Y365.5 | Y365.5 | Y365.5 | Y365.5 | Y365.5 |
| Mined | 880 | 880 | 880 | 880 | 880 | 880 | 880 | 880 | 880 |
| SiO2 | 31.83 | 31.97 | 31.84 | 36.82 | 36.04 | 36.68 | 30.85 | 31.28 | 31.77 |
| TiO2 | 7.78 | 4.17 | 4.43 | 9.88 | 4.96 | 5.22 | 1.51 | 3.20 | 4.97 |
| Al2O3 | 14.08 | 15.31 | 11.44 | 11.51 | 10.31 | 10.90 | 14.79 | 12.61 | 13.68 |
| Cr2O3 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.00 | 0.02 | 0.01 | 0.03 | 0.00 |
| FeO | 24.75 | 27.34 | 22.60 | 23.93 | 28.04 | 24.38 | 26.81 | 30.94 | 27.39 |
| MnO | 0.15 | 0.34 | 0.14 | 0.27 | 0.22 | 0.28 | 0.28 | 0.17 | 0.40 |
| MgO | 4.88 | 7.19 | 4.34 | 10.33 | 5.80 | 6.40 | 4.48 | 3.75 | 3.36 |
| CaO | 0.08 | 0.00 | 0.00 | 0.08 | 0.01 | 0.00 | 0.05 | 0.04 | 0.01 |
| Na2O | 4.40 | 4.08 | 0.29 | 0.14 | 0.38 | 3.43 | 3.34 | 4.72 | 4.36 |
| K2O | 0.75 | 0.34 | 0.32 | 0.57 | 0.47 | 0.58 | 0.70 | 0.44 | 0.68 |
| SO3 | 0.54 | 0.99 | 0.87 | 0.78 | 0.78 | 0.41 | 0.11 | 3.95 | 0.87 |
| Total | 97.88 | 98.52 | 92.34 | 96.01 | 95.41 | 91.67 | 99.17 | 98.31 | 92.67 |
| Si | 1.157 | 1.172 | 1.190 | 1.715 | 1.707 | 1.846 | 1.088 | 1.614 | 1.198 |
| AlIV | 1.888 | 1.867 | 2.173 | 2.111 | 1.901 | 2.046 | 2.871 | 2.172 | 2.647 |
| AlVI | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ti | 0.293 | 0.498 | 0.238 | 0.459 | 0.400 | 0.388 | 0.092 | 0.381 | 0.613 |
| Fe3 | 1.382 | 1.898 | 1.088 | 1.117 | 1.772 | 1.316 | 1.717 | 1.588 | 1.706 |
| Cr | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.004 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.004 | 0.000 |
| Mn | 0.001 | 0.040 | 0.019 | 0.048 | 0.030 | 0.037 | 0.041 | 0.020 | 0.036 |
| Mg | 1.182 | 1.888 | 1.366 | 2.288 | 1.387 | 1.610 | 1.168 | 0.886 | 1.313 |
| Ca | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.010 | 0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.007 | 0.003 |
| Na | 0.411 | 0.29 | 0.02 | 0.01 | 0.08 | 0.33 | 0.47 | 0.29 | 0.41 |
| K | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Na | 0.220 | 0.160 | 0.112 | 0.166 | 0.208 | 0.179 | 0.224 | 0.167 | 0.217 |
| K | 1.378 | 1.823 | 1.823 | 1.344 | 1.361 | 1.716 | 1.387 | 1.891 | 1.642 |
| Calcium | 11.360 | 15.803 | 11.989 | 13.754 | 11.763 | 14.883 | 11.516 | 11.324 | 11.694 |
| D | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 |
| Fe_Fehlg | 0.14 | 0.88 | 0.88 | 0.73 | 0.73 | 0.62 | 0.77 | 0.80 | 0.74 |
| Mg_Fehlg | 0.28 | 0.37 | 0.40 | 0.47 | 0.27 | 0.38 | 0.23 | 0.20 | 0.28 |

| Sample | 15 009 | 15 010 | 15.011 | 15.012 | 15 013 | 22.000 | 22.001 | 22.002 | 22.003 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Analysis | gm | gm | gm | gm | gm | fen | gm | gm | gm |
| Location | YMI-5 | YMI-5 | YMI-5 | YMI-5 | YMI-5 | YZU-2 | YZU-2 | YZU-2 | YZU-2 |
| Mineral | BIO | BIO | BIO | BIO | BIO | FLO | FLO | BIO | BIO |
| SiO2 | 33.01 | 39.95 | 30.71 | 31.55 | 32.39 | 39.05 | 38.10 | 38.72 | 38.27 |
| TiO2 | 3.88 | 4.49 | 8.40 | 9.43 | 6.68 | 3.53 | 8.43 | 10.23 | 9.67 |
| Al2O3 | 14.49 | 13.78 | 14.15 | 14.07 | 13.82 | 13.95 | 9.46 | 10.09 | 8.90 |
| Cr2O3 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.00 | 0.04 | 1.56 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| FeO | 21.42 | 26.69 | 24.51 | 20.71 | 25.22 | 6.43 | 12.14 | 13.28 | 13.85 |
| MnO | 0.28 | 0.28 | 0.18 | 0.26 | 0.21 | 0.00 | 0.11 | 0.11 | 0.10 |
| MgO | 9.46 | 5.90 | 4.56 | 7.25 | 4.99 | 20.61 | 15.82 | 14.23 | 13.00 |
| CaO | 0.00 | 0.08 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.13 | 0.00 | 0.00 | 0.07 |
| BaO | 5.95 | 5.28 | 7.38 | 6.15 | 5.90 | 0.27 | 2.61 | 2.54 | 2.47 |
| Na2O | 0.71 | 0.72 | 0.66 | 0.68 | 0.72 | 0.15 | 0.62 | 0.65 | 0.67 |
| K2O | 6.87 | 6.96 | 6.44 | 6.59 | 6.98 | 7.48 | 8.51 | 7.90 | 8.46 |
| Total | 96.07 | 104.13 | 97.02 | 96.69 | 96.98 | 93.16 | 95.80 | 97.75 | 95.46 |
| Si | 5.296 | 5.872 | 5.034 | 5.038 | 5.258 | 5.424 | 5.462 | 5.688 | 5.808 |
| AlIV | 2.704 | 2.128 | 2.732 | 2.646 | 2.642 | 2.282 | 1.597 | 1.746 | 1.591 |
| AlVI | 0.034 | 0.257 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ti | 0.468 | 0.496 | 1.036 | 1.133 | 0.816 | 0.369 | 0.909 | 1.130 | 1.104 |
| Fe2 | 2.874 | 3.281 | 3.360 | 2.765 | 3.424 | 0.747 | 1.455 | 1.632 | 1.758 |
| Cr | 0.000 | 0.000 | 0.004 | 0.000 | 0.005 | 0.171 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Mn | 0.038 | 0.035 | 0.025 | 0.035 | 0.029 | 0.000 | 0.013 | 0.014 | 0.013 |
| Mg | 2.262 | 1.293 | 1.114 | 1.726 | 1.208 | 4.268 | 3.381 | 3.117 | 2.941 |
| Ca | 0.000 | 0.013 | 0.000 | 0.000 | 0.005 | 0.019 | 0.000 | 0.000 | 0.011 |
| Ba | 0.37 | 0.30 | 0.47 | 0.38 | 0.38 | 0.01 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| Zn | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Na | 0.221 | 0.205 | 0.210 | 0.211 | 0.227 | 0.040 | 0.172 | 0.185 | 0.197 |
| K | 1.406 | 1.305 | 1.347 | 1.342 | 1.446 | 1.325 | 1.556 | 1.481 | 1.638 |
| Cations | 15.673 | 15.185 | 15.332 | 15.276 | 15.440 | 14.655 | 14.695 | 15.143 | 15.211 |
| O | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 |
| Fe_FeMg | 0.56 | 0.72 | 0.75 | 0.62 | 0.74 | 0.15 | 0.30 | 0.34 | 0.37 |
| Mg_FeMg | 0.44 | 0.28 | 0.25 | 0.38 | 0.26 | 0.85 | 0.70 | 0.66 | 0.63 |

| Sample | 22.004 | 22.005 | 22.006 | 22.007 | 22.008 | 22.009 | 22.010 | 22.011 | 22.012 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Analysis | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm |
| Location | YZU-2 | YZU-3 | YZU-2 | YZU-2 | YZU-2 | YZU-2 | YZU-2 | YZU-2 | YZU-2 |
| Mineral | FLO | BIO | FLO | FLO | FLO | FLO | FLO | BIO | FLO |
| SiO2 | 37.60 | 38.61 | 38.43 | 38.14 | 39.28 | 39.26 | 38.74 | 36.48 | 38.96 |
| TiO2 | 8.66 | 10.05 | 8.90 | 9.36 | 8.81 | 8.08 | 8.63 | 9.96 | 9.23 |
| Al2O3 | 9.52 | 9.77 | 9.63 | 9.17 | 9.07 | 9.55 | 9.19 | 10.07 | 9.10 |
| Cr2O3 | 0.00 | 0.06 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.05 | 0.08 | 0.00 |
| FeO | 11.13 | 12.57 | 12.15 | 12.47 | 11.27 | 11.89 | 11.37 | 12.24 | 12.72 |
| MnO | 0.17 | 0.06 | 0.10 | 0.11 | 0.10 | 0.05 | 0.15 | 0.14 | 0.13 |
| MgO | 15.96 | 14.06 | 14.58 | 15.38 | 15.68 | 15.14 | 15.70 | 13.72 | 14.86 |
| CaO | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.04 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.05 | 0.02 |
| BaO | 3.11 | 2.47 | 2.25 | 3.28 | 2.99 | 2.29 | 2.27 | 3.08 | 3.11 |
| Na2O | 0.69 | 0.83 | 0.80 | 0.69 | 0.90 | 0.49 | 0.97 | 0.60 | 0.68 |
| K2O | 8.28 | 8.56 | 8.57 | 7.61 | 8.37 | 6.83 | 8.61 | 7.96 | 8.42 |
| Total | 95.12 | 97.06 | 95.41 | 96.25 | 96.49 | 93.58 | 95.68 | 94.38 | 97.23 |
| Si | 5.428 | 5.721 | 5.513 | 5.453 | 5.568 | 5.653 | 5.529 | 5.590 | 5.526 |
| AlIV | 1.618 | 1.705 | 1.627 | 1.544 | 1.514 | 1.619 | 1.545 | 1.817 | 1.520 |
| AlVI | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ti | 0.940 | 1.120 | 0.960 | 1.007 | 0.939 | 0.875 | 0.926 | 1.148 | 0.985 |
| Fe2 | 1.344 | 1.558 | 1.458 | 1.491 | 1.336 | 1.432 | 1.357 | 1.569 | 1.509 |
| Cr | 0.000 | 0.007 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.006 | 0.010 | 0.000 |
| Mn | 0.021 | 0.008 | 0.012 | 0.013 | 0.012 | 0.006 | 0.018 | 0.018 | 0.016 |
| Mg | 3.435 | 3.106 | 3.118 | 3.278 | 3.314 | 3.250 | 3.341 | 3.134 | 3.142 |
| Ca | 0.000 | 0.003 | 0.000 | 0.006 | 0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.008 | 0.003 |
| Ba | 0.18 | 0.14 | 0.13 | 0.18 | 0.17 | 0.13 | 0.13 | 0.18 | 0.17 |
| Zn | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Na | 0.193 | 0.238 | 0.223 | 0.191 | 0.247 | 0.137 | 0.268 | 0.178 | 0.187 |
| K | 1.525 | 1.618 | 1.568 | 1.388 | 1.514 | 1.255 | 1.568 | 1.556 | 1.523 |
| Cations | 14.684 | 15.224 | 14.609 | 14.551 | 14.617 | 14.357 | 14.688 | 15.208 | 14.581 |
| O | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 |
| Fe_FeMg | 0.28 | 0.33 | 0.32 | 0.31 | 0.29 | 0.31 | 0.29 | 0.33 | 0.32 |
| Mg_FeMg | 0.72 | 0.67 | 0.68 | 0.69 | 0.71 | 0.69 | 0.71 | 0.67 | 0.68 |

| Sample | 22.013 | 22.014 | 22.015 | 22.016 | 23.000 | 23.001 | 23.002 | 23.003 | 23.004 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Analysis | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm |
| Location | YZU-2 | YZU-2 | YZU-2 | YZU-2 | YZU-3 | YZU-3 | YZU-3 | YZU-3 | YZU-3 |
| Mineral | FLO | FLO | FLO | FLO | FLO | FLO | FLO | FLO | FLO |
| SiO2 | 39.88 | 39.15 | 38.59 | 38.88 | 38.79 | 39.55 | 37.19 | 39.15 | 39.65 |
| TiO2 | 8.80 | 8.83 | 9.18 | 9.30 | 8.27 | 8.53 | 7.97 | 8.47 | 8.66 |
| Al2O3 | 9.65 | 9.58 | 9.41 | 9.29 | 12.18 | 11.55 | 11.41 | 11.38 | 11.77 |
| Cr2O3 | 0.03 | 0.05 | 0.08 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.02 |
| FeO | 11.80 | 11.56 | 11.68 | 11.59 | 9.23 | 9.34 | 9.20 | 9.48 | 9.40 |
| MnO | 0.09 | 0.13 | 0.00 | 0.13 | 0.05 | 0.09 | 0.09 | 0.08 | 0.10 |
| MgO | 16.20 | 15.90 | 15.02 | 14.69 | 17.25 | 16.96 | 17.95 | 17.49 | 17.05 |
| CaO | 0.00 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 |
| BaO | 2.37 | 2.78 | 2.54 | 2.13 | 0.18 | 0.04 | 0.03 | 0.00 | 0.10 |
| Na2O | 0.60 | 0.76 | 0.79 | 0.80 | 0.31 | 0.40 | 0.31 | 0.40 | 0.21 |
| K2O | 8.88 | 8.43 | 8.38 | 8.58 | 9.08 | 9.23 | 9.47 | 9.26 | 9.46 |
| Total | 98.30 | 97.21 | 95.67 | 95.39 | 95.36 | 95.69 | 93.63 | 95.73 | 96.43 |
| Si | 5.533 | 5.506 | 5.513 | 5.556 | 5.387 | 5.471 | 5.297 | 5.425 | 5.449 |
| AlIV | 1.577 | 1.587 | 1.583 | 1.563 | 1.992 | 1.881 | 1.914 | 1.857 | 1.905 |
| AlVI | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ti | 0.918 | 0.934 | 0.987 | 1.000 | 0.864 | 0.888 | 0.854 | 0.883 | 0.895 |
| Fe2 | 1.369 | 1.360 | 1.396 | 1.385 | 1.072 | 1.080 | 1.096 | 1.099 | 1.080 |
| Cr | 0.003 | 0.006 | 0.009 | 0.000 | 0.002 | 0.000 | 0.001 | 0.002 | 0.002 |
| Mn | 0.011 | 0.015 | 0.000 | 0.016 | 0.006 | 0.011 | 0.011 | 0.009 | 0.012 |
| Mg | 3.351 | 3.334 | 3.199 | 3.129 | 3.571 | 3.497 | 3.811 | 3.613 | 3.493 |
| Ca | 0.000 | 0.006 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 |
| Ba | 0.13 | 0.15 | 0.14 | 0.12 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 |
| Zn | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Na | 0.161 | 0.207 | 0.219 | 0.222 | 0.083 | 0.107 | 0.086 | 0.107 | 0.056 |
| K | 1.572 | 1.513 | 1.527 | 1.564 | 1.609 | 1.629 | 1.721 | 1.637 | 1.658 |
| Cations | 14.625 | 14.618 | 14.573 | 14.555 | 14.596 | 14.564 | 14.791 | 14.632 | 14.561 |
| O | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 |
| Fe_FeMg | 0.29 | 0.29 | 0.30 | 0.31 | 0.23 | 0.24 | 0.22 | 0.23 | 0.24 |
| Mg_FeMg | 0.71 | 0.71 | 0.70 | 0.69 | 0.77 | 0.76 | 0.78 | 0.77 | 0.76 |

| Sample | 23.005 | 23.006 | 23.007 | 23.008 | 23.009 | 23.010 | 23.011 | 26.000a | 26.000b |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| Analysis | gm | gm | gm | gm | gm | gm | DeMin | fen | fen |
| Location | YZU-3 | YZU-3 | YZU-3 | YZU-3 | YZU-3 | YZU-3 | YZU-3 | YZU-6 | YZU-6 |
| Mineral | FLO | FLO | FLO | FLO | FLO | FLO | FLO | FLO | FLO |
| SiO2 | 38.73 | 38.82 | 38.93 | 38.95 | 39.75 | 38.71 | 41.18 | 38.19 | 37.70 |
| TiO2 | 9.30 | 8.56 | 8.82 | 8.07 | 8.11 | 8.27 | 8.45 | 5.79 | 5.57 |
| Al2O3 | 11.58 | 11.71 | 12.02 | 11.55 | 11.57 | 11.85 | 10.98 | 12.94 | 13.10 |
| Cr2O3 | 0.08 | 0.02 | 0.00 | 0.03 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.16 | 0.00 |
| FeO | 9.71 | 8.85 | 9.09 | 8.50 | 8.57 | 8.26 | 10.23 | 9.47 | 9.62 |
| MnO | 0.09 | 0.07 | 0.10 | 0.14 | 0.08 | 0.09 | 0.08 | 0.09 | 0.00 |
| MgO | 16.53 | 17.91 | 17.75 | 18.72 | 17.76 | 18.29 | 17.39 | 17.92 | 17.70 |
| CaO | 0.03 | 0.00 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.08 | 0.05 |
| BaO | 0.00 | 0.20 | 0.07 | 0.00 | 0.06 | 0.11 | 0.00 | 0.50 | 0.61 |
| Na2O | 0.42 | 0.37 | 0.32 | 0.31 | 0.34 | 0.35 | 0.00 | 0.27 | 0.26 |
| K2O | 9.32 | 9.44 | 9.68 | 8.56 | 9.41 | 9.36 | 8.65 | 9.65 | 9.74 |
| Total | 95.79 | 95.95 | 96.80 | 94.84 | 95.67 | 95.31 | 96.96 | 95.06 | 94.35 |
| Si | 5.378 | 5.368 | 5.341 | 5.402 | 5.483 | 5.368 | 5.595 | 5.362 | 5.345 |
| AlIV | 1.894 | 1.907 | 1.942 | 1.887 | 1.879 | 1.935 | 1.757 | 2.140 | 2.187 |
| AlVI | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ti | 0.971 | 0.890 | 0.910 | 0.842 | 0.841 | 0.863 | 0.864 | 0.611 | 0.594 |
| Fe2 | 1.128 | 1.023 | 1.043 | 0.986 | 0.989 | 0.958 | 1.162 | 1.112 | 1.141 |
| Cr | 0.009 | 0.002 | 0.000 | 0.003 | 0.000 | 0.002 | 0.000 | 0.018 | 0.000 |
| Mn | 0.011 | 0.008 | 0.012 | 0.016 | 0.009 | 0.011 | 0.009 | 0.011 | 0.000 |
| Mg | 3.422 | 3.692 | 3.630 | 3.871 | 3.652 | 3.781 | 3.523 | 3.751 | 3.741 |
| Ca | 0.004 | 0.000 | 0.003 | 0.001 | 0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.012 | 0.008 |
| Ba | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.03 | 0.03 |
| Zn | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Na | 0.113 | 0.099 | 0.085 | 0.083 | 0.091 | 0.094 | 0.000 | 0.074 | 0.071 |
| K | 1.651 | 1.665 | 1.694 | 1.515 | 1.656 | 1.656 | 1.499 | 1.728 | 1.762 |
| Cations | 14.581 | 14.664 | 14.660 | 14.606 | 14.603 | 14.678 | 14.409 | 14.849 | 14.879 |
| O | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 |
| Fe_FeMg | 0.25 | 0.22 | 0.22 | 0.20 | 0.21 | 0.20 | 0.25 | 0.23 | 0.23 |
| Mg_FeMg | 0.75 | 0.78 | 0.78 | 0.80 | 0.79 | 0.80 | 0.75 | 0.77 | 0.77 |

| Sample | 26.001a | 26.001b | 26.003 | 26.004 | 26.005 | 26.006 | 26.007 | 26.008 | 26.009 |
|----------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Analysis | fen | fen | fen | fen | fen | fen | fen | gm | gm |
| Location | YZU-6 | YZU-6 | YZU-6 | YZU-6 | YZU-6 | YZU-6 | YZU-6 | YZU-6 | YZU-6 |
| Mineral | FLO | FLO | FLO | FLO | FLO | FLO | FLO | FLO | FLO |
| SiO2 | 38.55 | 38.19 | 38.11 | 37.93 | 37.18 | 37.20 | 37.71 | 37.19 | 35.27 |
| TiO2 | 5.68 | 5.80 | 5.80 | 5.70 | 5.62 | 5.73 | 5.76 | 6.71 | 6.54 |
| Al2O3 | 12.91 | 13.11 | 13.19 | 12.96 | 13.04 | 12.76 | 12.92 | 12.80 | 12.37 |
| Cr2O3 | 0.09 | 0.20 | 0.14 | 0.08 | 0.13 | 0.02 | 0.08 | 0.02 | 0.00 |
| FeO | 9.38 | 9.75 | 8.92 | 9.62 | 9.23 | 9.58 | 8.91 | 11.61 | 11.67 |
| MnO | 0.03 | 0.00 | 0.02 | 0.09 | 0.10 | 0.15 | 0.00 | 0.10 | 0.05 |
| MgO | 17.66 | 18.02 | 17.98 | 17.36 | 18.31 | 17.40 | 17.81 | 15.73 | 13.79 |
| CaO | 0.06 | 0.01 | 0.04 | 0.11 | 0.05 | 0.01 | 0.00 | 0.24 | 2.85 |
| BaO | 0.40 | 0.44 | 0.44 | 0.47 | 0.39 | 0.62 | 0.56 | 0.99 | 1.01 |
| Na2O | 0.15 | 0.27 | 0.26 | 0.33 | 0.39 | 0.24 | 0.25 | 0.54 | 0.58 |
| K2O | 9.85 | 9.69 | 9.76 | 9.60 | 9.68 | 9.77 | 9.86 | 9.23 | 8.73 |
| Total | 94.76 | 95.48 | 94.66 | 94.25 | 94.12 | 93.48 | 93.86 | 95.16 | 92.86 |
| Si | 5.418 | 5.341 | 5.357 | 5.375 | 5.280 | 5.336 | 5.359 | 5.297 | 5.209 |
| AlIV | 2.137 | 2.159 | 2.183 | 2.163 | 2.181 | 2.155 | 2.162 | 2.147 | 2.151 |
| AlVI | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ti | 0.600 | 0.610 | 0.613 | 0.608 | 0.600 | 0.618 | 0.616 | 0.719 | 0.727 |
| Fe2 | 1.102 | 1.140 | 1.049 | 1.140 | 1.096 | 1.149 | 1.059 | 1.383 | 1.441 |
| Cr | 0.010 | 0.022 | 0.016 | 0.009 | 0.015 | 0.002 | 0.009 | 0.002 | 0.000 |
| Mn | 0.004 | 0.000 | 0.002 | 0.011 | 0.012 | 0.018 | 0.000 | 0.012 | 0.006 |
| Mg | 3.700 | 3.757 | 3.767 | 3.667 | 3.876 | 3.721 | 3.773 | 3.340 | 3.036 |
| Ca | 0.009 | 0.001 | 0.006 | 0.017 | 0.008 | 0.002 | 0.000 | 0.037 | 0.451 |
| Ba | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.06 | 0.06 |
| Zn | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Na | 0.041 | 0.073 | 0.071 | 0.091 | 0.107 | 0.067 | 0.069 | 0.149 | 0.166 |
| K | 1.766 | 1.729 | 1.750 | 1.736 | 1.754 | 1.788 | 1.788 | 1.677 | 1.645 |
| Cations | 14.807 | 14.852 | 14.834 | 14.847 | 14.949 | 14.886 | 14.865 | 14.823 | 14.892 |
| O | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 |
| Fe_FeMg | 0.23 | 0.23 | 0.22 | 0.24 | 0.22 | 0.24 | 0.22 | 0.29 | 0.32 |
| Mg_FeMg | 0.77 | 0.77 | 0.78 | 0.76 | 0.78 | 0.76 | 0.78 | 0.71 | 0.68 |

| Sample | 26.010 | 26.011 | 26.012 | 26.013 | 26.014 | 26.015 | 26.016 | 26.017 | 26.018 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Analysis | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm |
| Location | YZU-6 | YZU-6 | YZU-6 | YZU-6 | YZU-6 | YZU-6 | YZU-6 | YZU-6 | YZU-6 |
| Mineral | BIO | FLO | FLO | FLO | BIO | BIO | FLO | FLO | BIO |
| SiO2 | 39.25 | 36.68 | 35.61 | 36.04 | 36.30 | 36.36 | 36.28 | 36.89 | 36.72 |
| TiO2 | 6.85 | 6.93 | 6.79 | 6.85 | 6.97 | 7.57 | 6.92 | 6.92 | 8.16 |
| Al2O3 | 12.51 | 12.53 | 12.30 | 12.47 | 12.44 | 12.03 | 12.65 | 12.63 | 11.77 |
| Cr2O3 | 0.00 | 0.11 | 0.00 | 0.00 | 0.06 | 0.00 | 0.02 | 0.06 | 0.00 |
| FeO | 14.15 | 13.13 | 12.55 | 11.61 | 13.84 | 15.43 | 12.83 | 12.89 | 15.54 |
| MnO | 0.23 | 0.14 | 0.17 | 0.00 | 0.19 | 0.19 | 0.15 | 0.13 | 0.20 |
| MgO | 10.67 | 14.93 | 14.38 | 14.82 | 13.89 | 12.69 | 15.00 | 15.47 | 12.96 |
| CaO | 0.00 | 0.01 | 2.42 | 1.01 | 0.10 | 0.00 | 0.64 | 0.00 | 0.00 |
| BaO | 0.99 | 1.06 | 1.10 | 1.00 | 0.92 | 1.27 | 1.11 | 1.01 | 1.41 |
| Na2O | 0.50 | 0.41 | 0.50 | 0.44 | 0.44 | 0.39 | 0.47 | 0.41 | 0.60 |
| K2O | 9.88 | 9.53 | 8.94 | 9.35 | 9.20 | 9.23 | 9.38 | 9.43 | 9.11 |
| Total | 95.03 | 95.46 | 94.76 | 93.59 | 94.35 | 95.16 | 95.45 | 95.84 | 96.47 |
| Si | 5.913 | 5.264 | 5.176 | 5.252 | 5.532 | 5.550 | 5.213 | 5.257 | 5.535 |
| AlIV | 2.087 | 2.118 | 2.106 | 2.140 | 2.233 | 2.163 | 2.141 | 2.120 | 2.089 |
| AlVI | 0.132 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ti | 0.776 | 0.748 | 0.742 | 0.751 | 0.799 | 0.869 | 0.748 | 0.742 | 0.925 |
| Fe2 | 1.783 | 1.576 | 1.526 | 1.415 | 1.764 | 1.970 | 1.542 | 1.536 | 1.959 |
| Cr | 0.000 | 0.012 | 0.000 | 0.000 | 0.007 | 0.000 | 0.002 | 0.007 | 0.000 |
| Mn | 0.029 | 0.017 | 0.021 | 0.000 | 0.025 | 0.025 | 0.018 | 0.016 | 0.026 |
| Mg | 2.396 | 3.194 | 3.116 | 3.220 | 3.156 | 2.888 | 3.213 | 3.287 | 2.912 |
| Ca | 0.000 | 0.002 | 0.377 | 0.158 | 0.016 | 0.000 | 0.099 | 0.000 | 0.000 |
| Ba | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.05 | 0.08 | 0.06 | 0.06 | 0.08 |
| Zn | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Na | 0.146 | 0.114 | 0.141 | 0.124 | 0.130 | 0.115 | 0.131 | 0.113 | 0.175 |
| K | 1.899 | 1.745 | 1.658 | 1.738 | 1.789 | 1.797 | 1.720 | 1.714 | 1.752 |
| Cations | 15.221 | 14.850 | 14.923 | 14.858 | 15.501 | 15.457 | 14.887 | 14.852 | 15.453 |
| O | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 | 22.000 |
| Fe_FeMg | 0.43 | 0.33 | 0.33 | 0.31 | 0.36 | 0.41 | 0.32 | 0.32 | 0.40 |
| Mg_FeMg | 0.57 | 0.67 | 0.67 | 0.69 | 0.64 | 0.59 | 0.68 | 0.68 | 0.60 |

A3

Composição química, em porcentagem em peso, de piroxênios de rochas “lamprofíricas” do Paraguai. (cpx e opx)

“Lamprófiros”

Ymi-1 (10.000a/b-10.050; 10c.005-10c.009), Ymi-4 (14.000a/b-14.017), Ymi-7 (17.001a/b-17.015), Yzu-1 (21.001-21.009).

“Lamproitos”

Ymi-5 (15.000a/b-15.023), Yzu-2 (22.000a/b-22.028), Ymi-3 (23.000a/b-23.026), Yzu-6 (26.000-26.001).

“Plagileucititos”

30.000-30.017 (Tirado de De Min, 1993).

Titaníferos: todos e em Ymi-5 15.00a-b, 15.002, 15.003a, 15.004, 15.040

Titanados: 10c.009, 15.001a-b, 15.003a-b, 15.005a-b, 15.006 a 15.009, 15.013, 15.021-15.023, 22.004, 22.025 e 30.009.

Não aluminosos: 10.000b, 10.005a, 10.040b, 10.046, centro dos fenocristais de Ymi-1c, 10.031, 10.032, 10.034, 17.002a, 17.003a, 21.001, 21.003, 21.005a, 21.008b, 15.013, Yzu-2 e Yzu-3 (com 22.004, 23.004b, 23.010 e 23.024 aluminosos).

| Sample | 10.000a | 10.000b | 10.001a | 10.001b | 10.002a | 10.002b | 10.003a | 10.003b | 10.004 |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| Analysis | | | | | | | | | mf |
| Location | YMI-1-d | YMI-1-d | YMI-1-d | YMI-1-d | YMI-1-d | YMI-1-d | YMI-1-p1 | YMI-1-p1 | YMI-1-p1 |
| Mineral | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR |
| SiO2 | 52.22 | 53.89 | 49.0 | 49.24 | 51.53 | 48.93 | 48.40 | 49.27 | 48.52 |
| TiO2 | 0.91 | 0.25 | 1.15 | 1.31 | 0.99 | 1.23 | 1.22 | 1.40 | 1.88 |
| Al2O3 | 2.02 | 1.48 | 5.09 | 4.24 | 3.08 | 3.69 | 4.41 | 4.39 | 5.81 |
| FeO | 4.59 | 4.36 | 8.32 | 7.31 | 5.46 | 7.77 | 7.13 | 7.24 | 8.42 |
| Cr2O3 | 0.55 | 0.56 | 0.01 | 0.19 | 0.15 | 0.03 | 0.22 | 0.05 | 0.04 |
| MnO | 0.08 | 0.08 | 0.12 | 0.18 | 0.14 | 0.07 | 0.10 | 0.10 | 0.09 |
| NiO | 0.02 | 0.08 | 0 | 0.09 | 0 | 0 | 0.08 | 0.00 | 0.05 |
| MgO | 16.24 | 17.64 | 8.32 | 14.12 | 15.81 | 14.85 | 14.89 | 14.69 | 13.58 |
| CaO | 23.61 | 22.28 | 20.84 | 22.93 | 23.86 | 22.37 | 22.90 | 22.94 | 22.75 |
| Na2O | 0.26 | 0.32 | 0.43 | 0.39 | 0.28 | 0.31 | 0.42 | 0.40 | 0.37 |
| K2O | 0.02 | 0.00 | 0.06 | 0 | 0 | 0.04 | 0.01 | 0.03 | 0.05 |
| Total | 100.52 | 100.94 | 93.34 | 100.00 | 101.30 | 99.29 | 99.78 | 100.51 | 101.56 |
| TSi | 1.905 | 1.945 | 1.988 | 1.822 | 1.867 | 1.820 | 1.787 | 1.809 | 1.775 |
| TAI | 0.087 | 0.055 | 0.012 | 0.178 | 0.131 | 0.162 | 0.192 | 0.190 | 0.225 |
| TFe3 | 0.009 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.018 | 0.022 | 0.002 | 0.000 |
| M1Al | 0.000 | 0.008 | 0.232 | 0.007 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.025 |
| M1Ti | 0.025 | 0.007 | 0.035 | 0.036 | 0.027 | 0.034 | 0.034 | 0.039 | 0.052 |
| M1Fe3 | 0.049 | 0.040 | 0.000 | 0.119 | 0.094 | 0.134 | 0.169 | 0.142 | 0.124 |
| M1Fe2 | 0.027 | 0.000 | 0.230 | 0.050 | 0.021 | 0.007 | 0.000 | 0.014 | 0.057 |
| M1Cr | 0.016 | 0.016 | 0.000 | 0.006 | 0.004 | 0.001 | 0.006 | 0.001 | 0.001 |
| M1Mg | 0.883 | 0.927 | 0.503 | 0.779 | 0.854 | 0.823 | 0.788 | 0.804 | 0.740 |
| M1Ni | 0.001 | 0.002 | 0.000 | 0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.002 | 0.000 | 0.001 |
| M2Mg | 0.000 | 0.022 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.031 | 0.000 | 0.000 |
| M2Fe2 | 0.056 | 0.092 | 0.053 | 0.057 | 0.050 | 0.082 | 0.029 | 0.065 | 0.077 |
| M2Mn | 0.002 | 0.002 | 0.004 | 0.006 | 0.004 | 0.002 | 0.003 | 0.003 | 0.003 |
| M2Ca | 0.923 | 0.862 | 0.906 | 0.909 | 0.926 | 0.891 | 0.906 | 0.902 | 0.891 |
| M2Na | 0.018 | 0.022 | 0.034 | 0.028 | 0.020 | 0.022 | 0.030 | 0.028 | 0.026 |
| M2K | 0.001 | 0.000 | 0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.002 | 0.000 | 0.001 | 0.002 |
| Sum_cat | 3.999 | 4.000 | 3.997 | 4.000 | 4.000 | 3.998 | 4.000 | 3.999 | 3.998 |
| Ca | 48.799 | 45.229 | 53.429 | 50.493 | 49.930 | 49.353 | 51.529 | 50.458 | 50.411 |
| Mg | 46.704 | 49.825 | 29.679 | 43.262 | 46.033 | 45.585 | 46.619 | 44.958 | 41.869 |
| Fe2_Mn | 4.497 | 4.947 | 16.893 | 6.245 | 4.037 | 5.062 | 1.852 | 4.584 | 7.719 |
| JD1 | 0.000 | 0.408 | 2.137 | 0.392 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.384 |
| AE1 | 1.013 | 0.755 | 0.000 | 1.143 | 1.052 | 1.327 | 1.710 | 1.646 | 0.209 |
| CFTS1 | 2.372 | 2.143 | 0.019 | 5.713 | 4.184 | 6.055 | 8.121 | 6.250 | 6.756 |
| CTTS1 | 1.309 | 0.353 | 0.668 | 2.000 | 1.442 | 1.882 | 1.898 | 2.130 | 2.883 |
| CATS1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| WO1 | 44.687 | 42.265 | 51.728 | 42.161 | 43.893 | 40.821 | 40.719 | 41.333 | 40.048 |
| EN1 | 46.291 | 49.308 | 29.116 | 42.732 | 45.655 | 45.035 | 45.903 | 44.295 | 41.268 |
| FS1 | 4.328 | 4.768 | 16.333 | 5.859 | 3.774 | 4.880 | 1.649 | 4.345 | 7.453 |
| Q | 1.888 | 1.902 | 1.692 | 1.795 | 1.851 | 1.804 | 1.755 | 1.785 | 1.766 |
| J | 0.037 | 0.045 | 0.068 | 0.056 | 0.039 | 0.045 | 0.060 | 0.057 | 0.052 |
| WO | 47.360 | 44.303 | 53.429 | 47.352 | 47.501 | 45.512 | 46.486 | 46.712 | 47.113 |
| EN | 45.326 | 48.805 | 29.679 | 40.571 | 43.794 | 42.037 | 42.056 | 41.620 | 39.130 |
| FS | 7.314 | 6.893 | 16.893 | 12.077 | 8.705 | 12.451 | 11.458 | 11.668 | 13.758 |
| WEF | 98.092 | 97.703 | 96.163 | 96.985 | 97.923 | 97.584 | 96.692 | 96.914 | 97.118 |
| JD | 0.000 | 0.378 | 3.837 | 0.170 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.481 |
| AE | 1.908 | 1.919 | 0.000 | 2.845 | 2.077 | 2.416 | 3.308 | 3.086 | 2.401 |

| Sample | 10.005a | 10.005b | 10.010 | 10.014a | 10.014b | 10.015a | 10.015b | 10.016a | 10.016b |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|
| Analysis | | | | | | | | | |
| Location | YMI-1-p1 | YMI-1-p1 | YMI-1-p2 | YMI-1-p2 | YMI-1-p2 | YMI-1-p2 | YMI-1-p2 | YMI-1-d | YMI-1-d |
| Mineral | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR |
| SiO2 | 51.92 | 49.55 | 51.01 | 47.78 | 49.54 | 50.97 | 49.72 | 47.87 | 48.09 |
| TiO2 | 0.65 | 1.46 | 0.93 | 1.14 | 1.36 | 0.95 | 1.67 | 1.75 | 1.97 |
| Al2O3 | 1.95 | 3.96 | 2.43 | 4.34 | 4.38 | 3.72 | 4.39 | 5.1 | 5.54 |
| FeO | 5.19 | 7.57 | 8.22 | 7.00 | 7.18 | 7.54 | 7.22 | 8.00 | 7.99 |
| Cr2O3 | 0.2 | 0.02 | 0.05 | 0 | 0.1 | 0.11 | 0.08 | 0.08 | 0.09 |
| MnO | 0.08 | 0.16 | 0.31 | 0.16 | 0.17 | 0.11 | 0.12 | 0.20 | 0.18 |
| NiO | 0 | 0 | 0.09 | 0.01 | 0 | 0.08 | 0.05 | 0 | 0.06 |
| MgO | 16.47 | 14.86 | 14.48 | 14.72 | 14.46 | 14.87 | 14.28 | 13.91 | 13.64 |
| CaO | 23.33 | 22.74 | 22.21 | 22.86 | 23.32 | 22.05 | 23.04 | 22.44 | 22.5 |
| Na2O | 0.21 | 0.43 | 0.48 | 0.37 | 0.31 | 0.52 | 0.39 | 0.4 | 0.41 |
| K2O | 0 | 0.05 | 0.07 | 0 | 0.02 | 0.01 | 0 | 0 | 0.01 |
| Total | 100.00 | 100.80 | 100.28 | 98.38 | 100.84 | 100.93 | 100.96 | 99.75 | 100.48 |
| TSi | 1.901 | 1.815 | 1.885 | 1.788 | 1.816 | 1.863 | 1.823 | 1.778 | 1.776 |
| TAI | 0.084 | 0.171 | 0.106 | 0.191 | 0.184 | 0.137 | 0.177 | 0.222 | 0.224 |
| TFe3 | 0.015 | 0.014 | 0.009 | 0.021 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| M1Al | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.005 | 0.023 | 0.012 | 0.002 | 0.017 |
| M1Ti | 0.018 | 0.040 | 0.026 | 0.032 | 0.038 | 0.026 | 0.046 | 0.049 | 0.055 |
| M1Fe3 | 0.072 | 0.136 | 0.099 | 0.174 | 0.123 | 0.095 | 0.098 | 0.148 | 0.124 |
| M1Fe2 | 0.005 | 0.011 | 0.073 | 0.000 | 0.041 | 0.040 | 0.060 | 0.029 | 0.049 |
| M1Cr | 0.006 | 0.001 | 0.001 | 0.000 | 0.003 | 0.003 | 0.002 | 0.002 | 0.003 |
| M1Mg | 0.899 | 0.811 | 0.798 | 0.793 | 0.790 | 0.810 | 0.780 | 0.770 | 0.751 |
| M1Ni | 0.000 | 0.000 | 0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.002 | 0.001 | 0.000 | 0.002 |
| M2Mg | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.028 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| M2Fe2 | 0.067 | 0.070 | 0.073 | 0.024 | 0.056 | 0.096 | 0.064 | 0.072 | 0.074 |
| M2Mn | 0.002 | 0.005 | 0.010 | 0.005 | 0.005 | 0.003 | 0.004 | 0.006 | 0.006 |
| M2Ca | 0.915 | 0.892 | 0.880 | 0.916 | 0.916 | 0.864 | 0.905 | 0.893 | 0.890 |
| M2Na | 0.015 | 0.031 | 0.034 | 0.027 | 0.022 | 0.037 | 0.028 | 0.029 | 0.029 |
| M2K | 0.000 | 0.002 | 0.003 | 0.000 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Sum_cat | 4.000 | 3.998 | 3.997 | 4.000 | 3.999 | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 4.000 |
| Ca | 48.441 | 49.858 | 47.971 | 51.881 | 50.655 | 47.639 | 49.931 | 50.453 | 50.299 |
| Mg | 47.582 | 45.333 | 43.516 | 46.482 | 43.703 | 44.701 | 43.059 | 43.516 | 42.426 |
| Fe2_Mn | 3.978 | 4.809 | 8.513 | 1.637 | 5.643 | 7.660 | 7.009 | 6.031 | 7.275 |
| JD1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.280 | 1.259 | 0.659 | 0.085 | 0.957 |
| AE1 | 0.784 | 1.809 | 2.025 | 1.501 | 0.978 | 0.762 | 0.850 | 1.522 | 0.706 |
| CFTS1 | 3.290 | 5.730 | 3.363 | 8.244 | 5.937 | 4.557 | 4.614 | 6.868 | 6.331 |
| CTTS1 | 0.941 | 2.213 | 1.389 | 1.794 | 2.054 | 1.414 | 2.508 | 2.728 | 3.050 |
| CATS1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| WO1 | 43.893 | 41.150 | 42.498 | 41.211 | 42.173 | 40.793 | 42.157 | 40.224 | 40.239 |
| EN1 | 47.271 | 44.637 | 42.861 | 45.916 | 43.279 | 43.880 | 42.497 | 42.969 | 41.854 |
| FS1 | 3.821 | 4.462 | 7.864 | 1.334 | 5.299 | 7.335 | 6.715 | 5.604 | 6.863 |
| Q | 1.887 | 1.785 | 1.824 | 1.761 | 1.803 | 1.809 | 1.809 | 1.764 | 1.765 |
| J | 0.030 | 0.061 | 0.069 | 0.054 | 0.044 | 0.074 | 0.055 | 0.058 | 0.059 |
| WO | 46.326 | 45.985 | 45.309 | 46.718 | 47.419 | 45.266 | 47.369 | 46.559 | 47.015 |
| EN | 45.504 | 41.811 | 41.101 | 41.857 | 40.911 | 42.474 | 40.850 | 40.157 | 39.656 |
| FS | 8.170 | 12.204 | 13.589 | 11.425 | 11.669 | 12.260 | 11.781 | 13.284 | 13.329 |
| WEF | 98.446 | 96.700 | 96.383 | 97.050 | 97.621 | 96.093 | 97.032 | 96.847 | 96.789 |
| JD | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.095 | 0.768 | 0.326 | 0.032 | 0.391 |
| AE | 1.554 | 3.300 | 3.617 | 2.950 | 2.285 | 3.139 | 2.642 | 3.121 | 2.819 |

| Sample | 10.017a | 10.017b | 10.018a | 10.018b | 10.019a | 10.019b | 10.027 | 10.037 | 10.040a |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|
| Analysis | | | | | | | mf | mf | |
| Location | YMD-1-d | YMD-1-d | YMD-1-d | YMD-1-d | YMD-1-d | YMD-1-d | YMD-1-d | YMD-1-pl | YMD-1-d |
| Mineral | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR |
| SiO2 | 49.63 | 48.61 | 50.47 | 50.89 | 49.33 | 50.2 | 51.65 | 49.81 | 52.90 |
| TiO2 | 1.12 | 1.35 | 1.35 | 0.92 | 1.00 | 1.46 | 0.64 | 1.17 | 0.38 |
| Al2O3 | 4.14 | 5.09 | 4.14 | 3.34 | 3.46 | 4.22 | 2.12 | 5.18 | 1.40 |
| FeO | 7.61 | 7.65 | 7.49 | 6.04 | 7.15 | 6.12 | 4.66 | 8.45 | 4.21 |
| Cr2O3 | 0 | 0.02 | 0.09 | 0.15 | 0.03 | 0.36 | 0.6 | 0.01 | 0.34 |
| MnO | 0.17 | 0.15 | 0.14 | 0.17 | 0.15 | 0.07 | 0.13 | 0.12 | 0.04 |
| NiO | 0.04 | 0.03 | 0.07 | 0 | 0.05 | 0.08 | 0 | 0.00 | 0.07 |
| MgO | 15.00 | 15.34 | 14.29 | 15.52 | 14.88 | 14.99 | 16.32 | 15.14 | 17.67 |
| CaO | 21.77 | 20.69 | 22.64 | 22.79 | 22.70 | 22.95 | 23.19 | 21.18 | 22.33 |
| Na2O | 0.53 | 0.35 | 0.4 | 0.41 | 0.38 | 0.35 | 0.29 | 0.43 | 0.34 |
| K2O | 0 | 0.04 | 0 | 0.07 | 0 | 0 | 0 | 0.07 | 0.05 |
| Total | 100.01 | 99.32 | 101.08 | 100.30 | 99.13 | 100.80 | 99.60 | 101.56 | 99.73 |
| TSi | 1.828 | 1.801 | 1.849 | 1.863 | 1.834 | 1.835 | 1.898 | 1.809 | 1.929 |
| TAI | 0.172 | 0.199 | 0.151 | 0.137 | 0.152 | 0.165 | 0.092 | 0.191 | 0.060 |
| TFe3 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.014 | 0.000 | 0.010 | 0.000 | 0.011 |
| M1Al | 0.008 | 0.023 | 0.027 | 0.007 | 0.000 | 0.017 | 0.000 | 0.030 | 0.000 |
| M1Ti | 0.031 | 0.038 | 0.037 | 0.025 | 0.028 | 0.040 | 0.018 | 0.032 | 0.010 |
| M1Fe3 | 0.140 | 0.126 | 0.075 | 0.107 | 0.136 | 0.081 | 0.069 | 0.130 | 0.067 |
| M1Fe2 | 0.000 | 0.000 | 0.076 | 0.009 | 0.009 | 0.032 | 0.001 | 0.000 | 0.000 |
| M1Cr | 0.000 | 0.001 | 0.003 | 0.004 | 0.001 | 0.010 | 0.017 | 0.000 | 0.010 |
| M1Mg | 0.820 | 0.812 | 0.780 | 0.847 | 0.825 | 0.817 | 0.894 | 0.808 | 0.911 |
| M1Ni | 0.001 | 0.001 | 0.002 | 0.000 | 0.001 | 0.002 | 0.000 | 0.000 | 0.002 |
| M2Mg | 0.003 | 0.036 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.012 | 0.049 |
| M2Fe2 | 0.095 | 0.111 | 0.079 | 0.068 | 0.063 | 0.074 | 0.062 | 0.127 | 0.051 |
| M2Mn | 0.005 | 0.005 | 0.004 | 0.005 | 0.005 | 0.002 | 0.004 | 0.004 | 0.001 |
| M2Ca | 0.859 | 0.821 | 0.888 | 0.894 | 0.904 | 0.899 | 0.913 | 0.824 | 0.872 |
| M2Na | 0.038 | 0.025 | 0.028 | 0.029 | 0.027 | 0.025 | 0.021 | 0.030 | 0.024 |
| M2K | 0.000 | 0.002 | 0.000 | 0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.003 | 0.002 |
| Sum_cat | 4.000 | 3.998 | 4.000 | 3.997 | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 3.997 | 3.998 |
| Ca | 48.192 | 46.029 | 48.618 | 49.006 | 50.064 | 49.285 | 48.703 | 46.442 | 46.286 |
| Mg | 46.202 | 47.484 | 42.698 | 46.435 | 45.662 | 44.790 | 47.690 | 46.192 | 50.962 |
| Fe2_Mn | 5.606 | 6.486 | 8.684 | 4.558 | 4.275 | 5.926 | 3.607 | 7.366 | 2.752 |
| JD1 | 0.414 | 1.290 | 1.468 | 0.375 | 0.000 | 0.922 | 0.000 | 1.678 | 0.000 |
| AE1 | 1.671 | 0.206 | 0.066 | 1.374 | 1.498 | 0.422 | 1.093 | 0.179 | 1.380 |
| CFTS1 | 6.030 | 6.801 | 4.130 | 4.643 | 5.972 | 4.538 | 3.501 | 7.020 | 2.624 |
| CTTS1 | 1.709 | 2.082 | 2.009 | 1.369 | 1.529 | 2.174 | 0.935 | 1.771 | 0.546 |
| CATS1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| WO1 | 39.589 | 36.577 | 41.848 | 42.277 | 41.943 | 41.968 | 43.839 | 36.883 | 42.507 |
| EN1 | 45.374 | 46.897 | 42.143 | 45.756 | 45.096 | 44.241 | 47.271 | 45.428 | 50.292 |
| FS1 | 5.213 | 6.146 | 8.336 | 4.207 | 3.963 | 5.736 | 3.361 | 7.040 | 2.651 |
| Q | 1.777 | 1.780 | 1.823 | 1.819 | 1.802 | 1.822 | 1.871 | 1.771 | 1.883 |
| J | 0.076 | 0.050 | 0.057 | 0.058 | 0.055 | 0.050 | 0.041 | 0.061 | 0.048 |
| WO | 44.688 | 42.993 | 46.700 | 46.290 | 46.229 | 47.184 | 46.719 | 43.281 | 44.452 |
| EN | 42.843 | 44.352 | 41.013 | 43.861 | 42.164 | 42.881 | 45.747 | 43.047 | 48.943 |
| FS | 12.469 | 12.654 | 12.288 | 9.849 | 11.607 | 9.935 | 7.535 | 13.672 | 6.605 |
| WEF | 95.926 | 97.259 | 96.985 | 96.908 | 97.056 | 97.352 | 97.843 | 96.700 | 97.513 |
| JD | 0.208 | 0.428 | 0.802 | 0.188 | 0.000 | 0.459 | 0.000 | 0.625 | 0.000 |
| AE | 3.866 | 2.313 | 2.214 | 2.904 | 2.944 | 2.190 | 2.157 | 2.675 | 2.487 |

| Sample | 10.040b | 10.041a | 10.041b | 10.042a | 10.042b | 10.046 | 10.100a | 10.100b | 10.101 |
|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Analysis | | | | mf | mf | mf | mf | mf | mf |
| Location | YMI-1-d | YMI-1-p1 | YMI-1-p1 | YMI-1-p1 | YMI-1-p1 | YMI-1-p1 | YMI-1-p1 | YMI-1-p1 | YMI-1-p1 |
| Mineral | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | opx | opx | opx |
| SiO2 | 54.31 | 49.98 | 51.53 | 48.93 | 48.40 | 53.20 | 53.84 | 53.44 | 48.90 |
| TiO2 | 0.30 | 1.33 | 0.99 | 1.23 | 1.22 | 0.72 | 0.08 | 0.00 | 0.03 |
| Al2O3 | 1.27 | 4.31 | 3.08 | 3.69 | 4.41 | 1.96 | 0.08 | 0.02 | 0.18 |
| FeO | 4.22 | 7.42 | 5.46 | 7.77 | 7.13 | 5.10 | 12.72 | 14.39 | 14.43 |
| Cr2O3 | 0.53 | 0.19 | 0.15 | 0.08 | 0.22 | 0.19 | 0.10 | 0.12 | 0.01 |
| MnO | 0.14 | 0.18 | 0.14 | 0.07 | 0.10 | 0.05 | 0.06 | 0.03 | 0.06 |
| NiO | 0.04 | 0.09 | 0.00 | 0.00 | 0.08 | 0.02 | 0.45 | 0.25 | 0.44 |
| MgO | 17.82 | 14.33 | 15.81 | 14.85 | 14.89 | 16.59 | 23.37 | 22.67 | 25.55 |
| CaO | 22.24 | 23.28 | 23.86 | 22.37 | 22.90 | 23.72 | 0.10 | 0.13 | 0.11 |
| Na2O | 0.35 | 0.40 | 0.28 | 0.31 | 0.42 | 0.23 | 0.05 | 0.09 | 0.04 |
| K2O | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.04 | 0.01 | 0.00 | 0.08 | 0.10 | 0.13 |
| Total | 101.25 | 101.51 | 101.30 | 99.34 | 99.78 | 101.78 | 90.93 | 91.24 | 89.88 |
| TSi | 1.953 | 1.822 | 1.867 | 1.819 | 1.787 | 1.915 | 2.148 | 2.136 | 1.955 |
| TAI | 0.047 | 0.178 | 0.131 | 0.162 | 0.192 | 0.083 | 0.000 | 0.000 | 0.008 |
| TFe3 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.019 | 0.022 | 0.002 | 0.000 | 0.000 | 0.037 |
| M1Al | 0.007 | 0.007 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.004 | 0.001 | 0.000 |
| M1Ti | 0.008 | 0.036 | 0.027 | 0.034 | 0.034 | 0.019 | 0.002 | 0.000 | 0.001 |
| M1Fe3 | 0.035 | 0.120 | 0.094 | 0.133 | 0.169 | 0.056 | 0.000 | 0.000 | 0.053 |
| M1Fe2 | 0.000 | 0.049 | 0.021 | 0.007 | 0.000 | 0.028 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| M1Cr | 0.015 | 0.005 | 0.004 | 0.002 | 0.006 | 0.005 | 0.003 | 0.004 | 0.000 |
| M1Mg | 0.934 | 0.779 | 0.854 | 0.823 | 0.788 | 0.890 | 0.976 | 0.987 | 0.932 |
| M1Ni | 0.001 | 0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.002 | 0.001 | 0.014 | 0.008 | 0.014 |
| M2Mg | 0.021 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.031 | 0.000 | 0.414 | 0.364 | 0.591 |
| M2Fe2 | 0.092 | 0.057 | 0.050 | 0.082 | 0.029 | 0.068 | 0.424 | 0.481 | 0.393 |
| M2Mn | 0.004 | 0.006 | 0.004 | 0.002 | 0.003 | 0.002 | 0.002 | 0.001 | 0.002 |
| M2Ca | 0.857 | 0.909 | 0.926 | 0.891 | 0.906 | 0.915 | 0.004 | 0.006 | 0.005 |
| M2Na | 0.024 | 0.028 | 0.020 | 0.022 | 0.030 | 0.016 | 0.004 | 0.007 | 0.003 |
| M2K | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.002 | 0.000 | 0.000 | 0.004 | 0.005 | 0.007 |
| Sum_cat | 3.999 | 4.000 | 4.000 | 3.998 | 4.000 | 4.000 | 3.996 | 3.995 | 3.993 |
| Ca | 44.896 | 50.520 | 49.930 | 49.353 | 51.529 | 48.096 | 0.235 | 0.303 | 0.245 |
| Mg | 50.052 | 43.268 | 46.033 | 45.585 | 46.619 | 46.804 | 76.343 | 73.477 | 79.216 |
| Fe2_Mn | 5.052 | 6.212 | 4.037 | 5.062 | 1.852 | 5.100 | 23.422 | 26.220 | 20.539 |
| JD1 | 0.345 | 0.394 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.206 | 0.051 | 0.000 |
| AE1 | 0.991 | 1.157 | 1.052 | 1.327 | 1.710 | 0.838 | 0.229 | 0.602 | 0.494 |
| CFTS1 | 1.590 | 5.725 | 4.184 | 6.095 | 8.121 | 2.380 | 0.000 | 0.000 | 2.206 |
| CTTS1 | 0.420 | 2.001 | 1.442 | 1.882 | 1.898 | 1.017 | 0.000 | 0.000 | 0.046 |
| CATS1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| WO1 | 42.385 | 42.164 | 43.893 | 40.781 | 40.719 | 44.334 | 0.234 | 0.301 | 0.000 |
| EN1 | 49.494 | 42.729 | 45.655 | 45.035 | 45.903 | 46.450 | 76.096 | 73.038 | 77.312 |
| FS1 | 4.775 | 5.830 | 3.774 | 4.881 | 1.649 | 4.982 | 23.235 | 26.008 | 19.942 |
| Q | 1.904 | 1.794 | 1.851 | 1.804 | 1.755 | 1.901 | 1.818 | 1.838 | 1.920 |
| J | 0.049 | 0.057 | 0.039 | 0.045 | 0.060 | 0.032 | 0.008 | 0.014 | 0.006 |
| WO | 44.093 | 47.363 | 47.501 | 45.512 | 46.486 | 46.671 | 0.235 | 0.303 | 0.234 |
| EN | 49.157 | 40.565 | 43.794 | 42.037 | 42.056 | 45.418 | 76.343 | 73.477 | 75.685 |
| FS | 6.750 | 12.073 | 8.705 | 12.451 | 11.458 | 7.910 | 23.422 | 26.220 | 24.080 |
| WEF | 97.506 | 96.954 | 97.923 | 97.584 | 96.692 | 98.340 | 99.577 | 99.247 | 99.678 |
| JD | 0.401 | 0.172 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.423 | 0.753 | 0.000 |
| AE | 2.092 | 2.874 | 2.077 | 2.416 | 3.308 | 1.660 | 0.000 | 0.000 | 0.322 |

| Sample | 10.102 | 10c.001a | 10c.001b | 10c.002a | 10c.002b | 10c.003a | 10c.003b | 10c.004a | 10c.004b |
|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Analysis | mf | | | | | | | | |
| Location | YMI-1-d | YMI-1 | YMI-1 | YMI-1C | YMI-1C | YMI-1C | YMI-1C | YMI-1C | YMI-1C |
| Mineral | opx | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR |
| SiO2 | 55.83 | 57.74 | 51.79 | 52.23 | 52.67 | 53.15 | 51.96 | 53.07 | 51.66 |
| TiO2 | 0.00 | 0.47 | 0.78 | 0.55 | 0.53 | 0.46 | 0.65 | 0.24 | 0.56 |
| Al2O3 | 0.10 | 1.88 | 2.23 | 1.97 | 2.41 | 1.91 | 2.66 | 1.62 | 2.49 |
| FeO | 9.09 | 4.10 | 5.35 | 5.40 | 5.95 | 4.01 | 5.64 | 3.98 | 4.65 |
| Cr2O3 | 0.11 | 0.71 | 0.38 | 0.15 | 0.14 | 0.51 | 0.40 | 0.77 | 0.66 |
| MnO | 0.05 | 0.08 | 0.13 | 0.11 | 0.15 | 0.06 | 0.12 | 0.14 | 0.10 |
| NiO | 0.44 | 0.03 | 0 | 0.05 | 0.03 | 0 | 0.01 | 0.02 | 0.08 |
| MgO | 25.47 | 16.21 | 15.36 | 15.66 | 15.67 | 16.81 | 15.62 | 16.78 | 15.79 |
| CaO | 0.12 | 23.39 | 22.88 | 22.94 | 22.83 | 22.76 | 22.95 | 22.51 | 23.55 |
| Na2O | 0.03 | 0.31 | 0.19 | 0.28 | 0.33 | 0.32 | 0.33 | 0.35 | 0.34 |
| K2O | 0.06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.01 |
| Total | 91.30 | 104.92 | 99.09 | 99.34 | 100.71 | 99.58 | 100.34 | 99.48 | 99.89 |
| TSi | 2.184 | 2.022 | 1.924 | 1.931 | 1.922 | 1.945 | 1.903 | 1.947 | 1.896 |
| TAI | 0.000 | 0.000 | 0.076 | 0.069 | 0.078 | 0.055 | 0.097 | 0.053 | 0.104 |
| TFe3 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| M1Al | 0.005 | 0.078 | 0.022 | 0.017 | 0.026 | 0.027 | 0.017 | 0.017 | 0.003 |
| M1Ti | 0.000 | 0.012 | 0.022 | 0.015 | 0.015 | 0.001 | 0.018 | 0.007 | 0.015 |
| M1Fe3 | 0.000 | 0.000 | 0.013 | 0.037 | 0.042 | 0.033 | 0.056 | 0.026 | 0.076 |
| M1Fe2 | 0.000 | 0.043 | 0.082 | 0.062 | 0.060 | 0.007 | 0.045 | 0.011 | 0.021 |
| M1Cr | 0.003 | 0.020 | 0.011 | 0.004 | 0.004 | 0.015 | 0.012 | 0.022 | 0.019 |
| M1Mg | 0.978 | 0.846 | 0.851 | 0.863 | 0.853 | 0.917 | 0.853 | 0.918 | 0.864 |
| M1Ni | 0.014 | 0.001 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.002 |
| M2Mg | 0.507 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| M2Fe2 | 0.297 | 0.077 | 0.071 | 0.068 | 0.079 | 0.083 | 0.072 | 0.086 | 0.046 |
| M2Mn | 0.002 | 0.002 | 0.004 | 0.003 | 0.005 | 0.002 | 0.004 | 0.004 | 0.003 |
| M2Ca | 0.005 | 0.878 | 0.911 | 0.909 | 0.893 | 0.892 | 0.900 | 0.885 | 0.926 |
| M2Na | 0.002 | 0.021 | 0.014 | 0.020 | 0.023 | 0.023 | 0.023 | 0.025 | 0.024 |
| M2K | 0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Sum_cat | 3.997 | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 4.000 |
| Ca | 0.281 | 47.533 | 47.463 | 47.702 | 47.245 | 46.939 | 48.053 | 46.483 | 49.784 |
| Mg | 83.007 | 45.835 | 44.335 | 45.309 | 45.120 | 48.237 | 45.505 | 48.213 | 46.444 |
| Fe2_Mn | 16.711 | 6.632 | 8.202 | 6.989 | 7.634 | 4.824 | 6.442 | 5.304 | 3.772 |
| JD1 | 0.257 | 1.129 | 0.710 | 0.867 | 1.224 | 1.181 | 0.915 | 0.872 | 0.165 |
| AE1 | 0.037 | 0.000 | 0.000 | 0.177 | 0.000 | 0.000 | 0.322 | 0.422 | 1.146 |
| CFTS1 | 0.153 | 1.053 | 1.249 | 1.990 | 2.412 | 2.477 | 3.232 | 2.063 | 3.891 |
| CTTS1 | 0.000 | 0.000 | 1.130 | 0.796 | 0.762 | 0.066 | 0.946 | 0.344 | 0.822 |
| CATS1 | 0.000 | 0.000 | 0.412 | 0.000 | 0.125 | 0.239 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| WO1 | 0.128 | 46.004 | 44.436 | 44.503 | 43.482 | 43.648 | 43.375 | 43.580 | 44.501 |
| EN1 | 82.840 | 45.376 | 44.114 | 44.917 | 44.678 | 47.714 | 45.032 | 47.698 | 45.912 |
| FS1 | 16.585 | 6.438 | 7.949 | 6.749 | 7.317 | 4.675 | 6.178 | 5.021 | 3.564 |
| Q | 1.788 | 1.844 | 1.915 | 1.901 | 1.885 | 1.899 | 1.870 | 1.899 | 1.857 |
| J | 0.005 | 0.042 | 0.027 | 0.040 | 0.047 | 0.045 | 0.047 | 0.050 | 0.048 |
| WO | 0.281 | 47.533 | 47.146 | 46.787 | 46.218 | 46.141 | 46.665 | 45.869 | 47.838 |
| EN | 83.007 | 45.835 | 44.038 | 44.440 | 44.139 | 47.417 | 44.191 | 47.575 | 44.629 |
| FS | 16.711 | 6.632 | 8.817 | 8.774 | 9.642 | 6.442 | 9.144 | 6.556 | 7.533 |
| WEF | 99.746 | 97.771 | 98.593 | 97.936 | 97.588 | 97.667 | 97.560 | 97.451 | 97.464 |
| JD | 0.254 | 2.229 | 0.880 | 0.638 | 0.917 | 1.058 | 0.579 | 1.011 | 0.100 |
| AE | 0.000 | 0.000 | 0.526 | 1.426 | 1.495 | 1.275 | 1.861 | 1.538 | 2.436 |

| Sample | 10.006 | 10.007 | 10.008 | 10.009 | 10.011 | 10.012 | 10.013 | 10.020 | 10.021 |
|----------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|
| Analysis | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm |
| Location | YMI-1-p1 | YMI-1-p1 | YMI-1-p1 | YMI-1-d | YMI-1-p2 | YMI-1-p2 | YMI-1-p2 | YMI-1-d | YMI-1-d |
| Mineral | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR |
| SiO2 | 51.86 | 49.85 | 48.29 | 49.23 | 51.49 | 51.00 | 50.30 | 51.64 | 49.58 |
| TiO2 | 0.82 | 1.13 | 1.77 | 1.42 | 1.04 | 1.11 | 1.10 | 0.82 | 1.42 |
| Al2O3 | 2.01 | 3.77 | 5.39 | 4.40 | 2.64 | 3.29 | 3.23 | 2.18 | 4.09 |
| FeO | 8.17 | 8.06 | 7.79 | 7.26 | 6.93 | 7.39 | 8.01 | 5.48 | 6.42 |
| Cr2O3 | 0.02 | 0.06 | 0.11 | 0.23 | 0 | 0.04 | 0.04 | 0.38 | 0.49 |
| MnO | 0.31 | 0.18 | 0.18 | 0.08 | 0.1 | 0.07 | 0.24 | 0.09 | 0.08 |
| NiO | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.08 | 0 | 0.03 | 0 | 0.03 |
| MgO | 14.28 | 14.91 | 13.66 | 14.08 | 15.52 | 14.54 | 14.79 | 16.19 | 14.67 |
| CaO | 22.42 | 22.25 | 22.58 | 23.11 | 22.67 | 22.78 | 22.42 | 23.07 | 23.4 |
| Na2O | 0.53 | 0.32 | 0.34 | 0.26 | 0.24 | 0.36 | 0.37 | 0.26 | 0.37 |
| K2O | 0.15 | 0.05 | 0.07 | 0.05 | 0.02 | 0 | - | 0.04 | 0.02 |
| Total | 100.57 | 100.58 | 100.18 | 100.12 | 100.73 | 100.58 | - | 100.15 | 100.57 |
| TSi | 1.912 | 1.832 | 1.788 | 1.821 | 1.885 | 1.876 | 1.851 | 1.892 | 1.820 |
| TAI | 0.087 | 0.163 | 0.212 | 0.179 | 0.114 | 0.124 | 0.140 | 0.094 | 0.177 |
| TFe3 | 0.001 | 0.005 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.000 | 0.009 | 0.014 | 0.004 |
| M1Al | 0.000 | 0.000 | 0.023 | 0.013 | 0.000 | 0.018 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| M1Ti | 0.023 | 0.031 | 0.049 | 0.040 | 0.029 | 0.031 | 0.030 | 0.023 | 0.039 |
| M1Fe3 | 0.086 | 0.128 | 0.114 | 0.100 | 0.075 | 0.069 | 0.113 | 0.072 | 0.115 |
| M1Fe2 | 0.105 | 0.022 | 0.056 | 0.064 | 0.047 | 0.084 | 0.043 | 0.010 | 0.029 |
| M1Cr | 0.001 | 0.002 | 0.003 | 0.007 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.011 | 0.014 |
| M1Mg | 0.785 | 0.817 | 0.754 | 0.777 | 0.847 | 0.797 | 0.812 | 0.884 | 0.803 |
| M1Ni | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.002 | 0.000 | 0.001 | 0.000 | 0.001 |
| M2Mg | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| M2Fe2 | 0.060 | 0.093 | 0.071 | 0.060 | 0.090 | 0.075 | 0.082 | 0.071 | 0.050 |
| M2Mn | 0.010 | 0.006 | 0.006 | 0.003 | 0.003 | 0.002 | 0.007 | 0.003 | 0.002 |
| M2Ca | 0.886 | 0.876 | 0.896 | 0.916 | 0.889 | 0.898 | 0.884 | 0.905 | 0.920 |
| M2Na | 0.038 | 0.023 | 0.024 | 0.019 | 0.017 | 0.026 | 0.026 | 0.018 | 0.026 |
| M2K | 0.007 | 0.002 | 0.003 | 0.002 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.002 | 0.001 |
| Sum_cat | 3.993 | 3.998 | 3.997 | 3.998 | 3.999 | 4.000 | 4.000 | 3.998 | 3.999 |
| Ca | 47.999 | 48.311 | 50.251 | 50.349 | 47.407 | 48.378 | 48.352 | 48.319 | 51.006 |
| Mg | 42.537 | 45.045 | 42.298 | 42.681 | 45.158 | 42.964 | 44.381 | 47.181 | 44.492 |
| Fe2_Mn | 9.464 | 6.644 | 7.450 | 6.970 | 7.435 | 8.657 | 7.267 | 4.500 | 4.502 |
| JD1 | 0.000 | 0.000 | 1.279 | 0.709 | 0.000 | 0.966 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| AE1 | 2.390 | 1.372 | 0.257 | 0.435 | 0.951 | 0.400 | 1.429 | 1.075 | 1.491 |
| CFTS1 | 2.237 | 5.718 | 6.241 | 5.389 | 3.016 | 3.326 | 4.725 | 3.319 | 5.552 |
| CTTS1 | 1.209 | 1.704 | 2.732 | 2.150 | 1.515 | 1.634 | 1.648 | 1.195 | 2.144 |
| CATS1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| WO1 | 43.652 | 40.374 | 40.664 | 42.302 | 42.503 | 42.813 | 41.483 | 43.358 | 42.619 |
| EN1 | 41.740 | 44.565 | 41.781 | 42.252 | 44.802 | 42.427 | 43.926 | 46.744 | 43.889 |
| FS1 | 8.772 | 6.267 | 7.046 | 6.763 | 7.213 | 8.433 | 6.787 | 4.310 | 4.305 |
| Q | 1.836 | 1.808 | 1.777 | 1.817 | 1.873 | 1.853 | 1.821 | 1.871 | 1.801 |
| J | 0.076 | 0.046 | 0.049 | 0.037 | 0.034 | 0.051 | 0.053 | 0.037 | 0.053 |
| WO | 45.838 | 45.014 | 47.229 | 47.718 | 45.565 | 46.647 | 45.347 | 46.191 | 47.866 |
| EN | 40.623 | 41.970 | 39.755 | 40.451 | 43.403 | 41.427 | 41.623 | 45.103 | 41.754 |
| FS | 13.539 | 13.016 | 13.016 | 11.831 | 11.031 | 11.925 | 13.030 | 8.707 | 10.380 |
| WEF | 96.055 | 97.547 | 97.334 | 97.991 | 98.216 | 97.307 | 97.193 | 98.067 | 97.164 |
| JD | 0.000 | 0.000 | 0.449 | 0.231 | 0.000 | 0.562 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| AE | 3.945 | 2.453 | 2.217 | 1.778 | 1.784 | 2.131 | 2.807 | 1.933 | 2.836 |

| Sample | 10.022 | 10.023 | 10.024 | 10.025 | 10.026 | 10.028 | 10.029 | 10.030 | 10.031 |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Analysis | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm |
| Location | YMI-1-d | YMI-1-d | YMI-1-d | YMI-1-d | YMI-1-d | YMI-1-d | YMI-1-d | YMI-1-d | YMI-1-d |
| Mineral | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR |
| SiO2 | 50.09 | 51.23 | 50.87 | 51.27 | 50.50 | 50.94 | 51.72 | 48.33 | 52.12 |
| TiO2 | 1.39 | 0.90 | 0.96 | 0.91 | 1.09 | 0.83 | 0.98 | 1.47 | 0.68 |
| Al2O3 | 4.20 | 2.49 | 2.94 | 3.22 | 3.5 | 2.36 | 2.16 | 3.84 | 1.95 |
| FeO | 7.21 | 6.28 | 7.39 | 7.08 | 6.10 | 6.47 | 8.17 | 7.90 | 5.71 |
| Cr2O3 | 0.08 | 0.10 | 0 | 0 | 0.34 | 0.07 | 0.01 | 0.03 | 0.12 |
| MnO | 0.16 | 0.19 | 0.25 | 0.13 | 0.17 | 0.16 | 0.26 | 0.21 | 0.18 |
| NiO | 0.11 | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 0 | 0 | 0.15 | 0.07 | 0.09 |
| MgO | 14.79 | 15.71 | 12.57 | 14.82 | 15.09 | 16.2 | 13.97 | 14.55 | 16.31 |
| CaO | 22.77 | 22.63 | 22.68 | 22.48 | 23.15 | 22.60 | 22.22 | 22.45 | 23.51 |
| Na2O | 0.33 | 0.24 | 0.26 | 0.36 | 0.36 | 0.23 | 0.61 | 0.32 | 0.28 |
| K2O | 0 | 0.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.03 | 0.11 | 0.01 |
| Total | 101.13 | 99.81 | 97.97 | 100.31 | 100.30 | 99.86 | 100.28 | 99.28 | 100.96 |
| TSi | 1.830 | 1.889 | 1.937 | 1.887 | 1.854 | 1.874 | 1.915 | 1.801 | 1.894 |
| TAI | 0.170 | 0.108 | 0.063 | 0.113 | 0.146 | 0.102 | 0.085 | 0.169 | 0.083 |
| TFe3 | 0.000 | 0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.024 | 0.000 | 0.030 | 0.023 |
| M1AI | 0.011 | 0.000 | 0.069 | 0.026 | 0.005 | 0.000 | 0.009 | 0.000 | 0.000 |
| M1Ti | 0.038 | 0.025 | 0.028 | 0.025 | 0.030 | 0.023 | 0.027 | 0.041 | 0.019 |
| M1Fe3 | 0.103 | 0.075 | 0.000 | 0.062 | 0.096 | 0.095 | 0.066 | 0.143 | 0.085 |
| M1Fe2 | 0.037 | 0.032 | 0.188 | 0.073 | 0.033 | 0.000 | 0.122 | 0.004 | 0.006 |
| M1Cr | 0.002 | 0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.010 | 0.002 | 0.000 | 0.001 | 0.003 |
| M1Mg | 0.806 | 0.863 | 0.714 | 0.813 | 0.826 | 0.880 | 0.771 | 0.808 | 0.884 |
| M1Ni | 0.003 | 0.001 | 0.002 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.004 | 0.002 | 0.003 |
| M2Mg | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.008 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| M2Fe2 | 0.080 | 0.083 | 0.047 | 0.084 | 0.058 | 0.080 | 0.065 | 0.069 | 0.059 |
| M2Mn | 0.005 | 0.006 | 0.008 | 0.004 | 0.005 | 0.005 | 0.008 | 0.007 | 0.006 |
| M2Ca | 0.891 | 0.894 | 0.925 | 0.886 | 0.911 | 0.891 | 0.881 | 0.896 | 0.915 |
| M2Na | 0.023 | 0.017 | 0.019 | 0.026 | 0.026 | 0.016 | 0.044 | 0.023 | 0.020 |
| M2K | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.005 | 0.000 |
| Sum_cat | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 3.999 | 3.995 | 4.000 |
| Ca | 49.006 | 47.586 | 49.159 | 47.659 | 49.670 | 47.778 | 47.708 | 50.246 | 48.954 |
| Mg | 44.290 | 45.964 | 37.909 | 43.716 | 45.048 | 47.652 | 41.734 | 45.310 | 47.254 |
| Fe2_Mn | 6.704 | 6.451 | 12.931 | 8.625 | 5.282 | 4.570 | 10.558 | 4.444 | 3.792 |
| JD1 | 0.586 | 0.000 | 1.014 | 1.365 | 0.288 | 0.000 | 0.482 | 0.000 | 0.000 |
| AE1 | 0.687 | 0.908 | 0.000 | 0.000 | 1.095 | 0.875 | 1.916 | 1.570 | 1.072 |
| CFTS1 | 5.062 | 3.228 | 0.000 | 3.271 | 4.602 | 4.277 | 1.604 | 6.416 | 3.646 |
| CTTS1 | 2.079 | 1.321 | 1.452 | 1.339 | 1.624 | 1.224 | 1.448 | 2.282 | 0.986 |
| CATS1 | 0.000 | 0.000 | 1.856 | 0.040 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| WO1 | 41.373 | 42.754 | 45.562 | 42.460 | 42.899 | 41.986 | 43.718 | 40.944 | 43.941 |
| EN1 | 43.846 | 45.691 | 37.687 | 43.214 | 44.554 | 47.362 | 40.913 | 44.765 | 46.886 |
| FS1 | 6.368 | 6.098 | 12.429 | 8.310 | 4.939 | 4.277 | 9.918 | 4.023 | 3.469 |
| Q | 1.814 | 1.873 | 1.874 | 1.856 | 1.828 | 1.859 | 1.839 | 1.777 | 1.864 |
| J | 0.047 | 0.034 | 0.038 | 0.051 | 0.051 | 0.033 | 0.088 | 0.046 | 0.039 |
| WO | 46.372 | 45.680 | 49.159 | 46.132 | 47.205 | 44.915 | 46.061 | 45.791 | 46.277 |
| EN | 41.909 | 44.123 | 37.909 | 42.316 | 42.813 | 44.797 | 40.294 | 41.293 | 44.670 |
| FS | 11.719 | 10.198 | 12.931 | 11.552 | 9.983 | 10.288 | 13.645 | 12.916 | 9.053 |
| WEF | 97.494 | 98.206 | 98.001 | 97.312 | 97.280 | 98.271 | 95.474 | 97.473 | 97.933 |
| JD | 0.236 | 0.000 | 1.999 | 0.808 | 0.144 | 0.000 | 0.548 | 0.000 | 0.000 |
| AE | 2.270 | 1.794 | 0.000 | 1.880 | 2.576 | 1.729 | 3.978 | 2.527 | 2.067 |

| Sample | 10.032 | 10.033 | 10.034 | 10.035 | 10.036 | 10.038 | 10.039 | 10.044 | 10.045 |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|
| Analysis | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm |
| Location | YMD-1-d | YMD-1-d | YMD-1-d | YMD-1-d | YMD-1-d | YMD-1-p1 | YMD-1-p1 | YMD-1-p2 | YMD-1-p1 |
| Mineral | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR |
| SiO2 | 52.92 | 50.64 | 53.11 | 47.78 | 50.08 | 49.84 | 50.83 | 50.38 | 48.41 |
| TiO2 | 0.49 | 1.26 | 0.61 | 1.92 | 1.38 | 1.10 | 1.43 | 1.28 | 1.76 |
| Al2O3 | 1.25 | 2.63 | 1.08 | 5.61 | 3.81 | 4.06 | 3.68 | 3.78 | 5.56 |
| FeO | 4.16 | 6.25 | 4.21 | 8.43 | 6.01 | 6.43 | 6.29 | 8.67 | 8.54 |
| Cr2O3 | 0.60 | 0.00 | 0.27 | 0.01 | 0.40 | 0.50 | 0.43 | 0.00 | 0.03 |
| MnO | 0.09 | 0.05 | 0.13 | 0.13 | 0.14 | 0.13 | 0.17 | 0.20 | 0.21 |
| NiO | 0.00 | 0.09 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 |
| MgO | 17.33 | 15.35 | 17.06 | 13.13 | 14.72 | 14.84 | 15.08 | 14.38 | 13.38 |
| CaO | 22.86 | 23.73 | 23.56 | 22.71 | 23.13 | 22.69 | 23.16 | 22.46 | 22.91 |
| Na2O | 0.23 | 0.21 | 0.22 | 0.33 | 0.33 | 0.35 | 0.38 | 0.34 | 0.52 |
| K2O | 0.10 | 0.06 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.06 | 0.01 | 0.02 | 0.06 |
| Total | 100.03 | 100.27 | 100.25 | 100.05 | 100.02 | 100.00 | 101.46 | 101.51 | 101.39 |
| TSi | 1.930 | 1.861 | 1.935 | 1.777 | 1.847 | 1.837 | 1.848 | 1.842 | 1.773 |
| TAl | 0.054 | 0.114 | 0.046 | 0.223 | 0.153 | 0.163 | 0.152 | 0.158 | 0.227 |
| TFe3 | 0.017 | 0.025 | 0.019 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| M1Al | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.023 | 0.012 | 0.013 | 0.005 | 0.005 | 0.013 |
| M1Ti | 0.013 | 0.035 | 0.017 | 0.054 | 0.038 | 0.030 | 0.039 | 0.035 | 0.048 |
| M1Fe3 | 0.047 | 0.086 | 0.039 | 0.115 | 0.076 | 0.101 | 0.083 | 0.107 | 0.155 |
| M1Fe2 | 0.000 | 0.035 | 0.010 | 0.080 | 0.052 | 0.025 | 0.043 | 0.069 | 0.052 |
| M1Cr | 0.017 | 0.000 | 0.008 | 0.000 | 0.012 | 0.015 | 0.012 | 0.000 | 0.001 |
| M1Mg | 0.923 | 0.841 | 0.927 | 0.728 | 0.809 | 0.815 | 0.817 | 0.784 | 0.731 |
| M1Ni | 0.000 | 0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| M2Mg | 0.020 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| M2Fe2 | 0.064 | 0.046 | 0.061 | 0.067 | 0.057 | 0.072 | 0.065 | 0.089 | 0.055 |
| M2Mn | 0.003 | 0.002 | 0.004 | 0.004 | 0.004 | 0.004 | 0.005 | 0.006 | 0.007 |
| M2Ca | 0.893 | 0.935 | 0.920 | 0.905 | 0.914 | 0.896 | 0.902 | 0.880 | 0.899 |
| M2Na | 0.016 | 0.015 | 0.016 | 0.024 | 0.024 | 0.025 | 0.027 | 0.024 | 0.037 |
| M2K | 0.005 | 0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.003 | 0.000 | 0.001 | 0.003 |
| Sum_cat | 3.995 | 3.997 | 4.000 | 4.000 | 3.999 | 3.997 | 4.000 | 3.999 | 3.997 |
| Ca | 46.968 | 50.289 | 47.881 | 50.729 | 49.761 | 49.439 | 49.214 | 48.141 | 51.594 |
| Mg | 49.542 | 45.262 | 48.241 | 40.809 | 44.063 | 44.991 | 44.587 | 42.886 | 41.926 |
| Fe2_Mn | 3.489 | 4.448 | 3.879 | 8.461 | 6.175 | 5.570 | 6.199 | 8.973 | 6.480 |
| JD1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.267 | 0.672 | 0.725 | 0.294 | 0.260 | 0.727 |
| AE1 | 1.089 | 0.949 | 0.804 | 0.053 | 0.650 | 0.791 | 1.175 | 1.096 | 1.511 |
| CFTS1 | 2.246 | 3.656 | 1.624 | 6.360 | 4.088 | 5.519 | 3.956 | 4.715 | 7.277 |
| CTTS1 | 0.700 | 1.858 | 0.865 | 2.978 | 2.062 | 1.661 | 2.108 | 1.906 | 2.731 |
| CATS1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| WO1 | 43.578 | 44.340 | 45.106 | 40.838 | 43.072 | 41.619 | 42.566 | 41.028 | 40.622 |
| EN1 | 49.074 | 44.871 | 47.953 | 40.363 | 43.585 | 44.408 | 44.057 | 42.448 | 41.141 |
| FS1 | 3.311 | 4.327 | 3.648 | 8.142 | 5.873 | 5.277 | 5.843 | 8.546 | 5.992 |
| Q | 1.899 | 1.857 | 1.917 | 1.780 | 1.832 | 1.808 | 1.828 | 1.821 | 1.736 |
| J | 0.033 | 0.030 | 0.031 | 0.048 | 0.047 | 0.050 | 0.054 | 0.048 | 0.074 |
| WO | 45.455 | 47.454 | 46.482 | 47.648 | 47.776 | 46.822 | 47.086 | 45.471 | 47.375 |
| EN | 47.947 | 42.711 | 46.832 | 38.330 | 42.305 | 42.609 | 42.659 | 40.508 | 38.497 |
| FS | 6.598 | 9.835 | 6.686 | 14.021 | 9.918 | 10.569 | 10.255 | 14.021 | 14.128 |
| WEF | 98.318 | 98.415 | 98.407 | 97.401 | 97.495 | 97.314 | 97.160 | 97.430 | 95.934 |
| JD | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.430 | 0.352 | 0.312 | 0.175 | 0.110 | 0.312 |
| AE | 1.682 | 1.585 | 1.593 | 2.169 | 2.153 | 2.374 | 2.665 | 2.460 | 3.754 |

| Sample | 10.047 | 10.048 | 10.049 | 10.050 | 10e.005 | 10e.006 | 10e.007 | 10e.008 | 10e.009 |
|----------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Analysis | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm |
| Location | YMI-1-p2 | YMI-1-p2 | YMI-1-p2 | YMI-1-p2 | YMI-1C | YMI-1C | YMI-1C | YMI-1C | YMI-1C |
| Mineral | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR |
| SiO2 | 51.54 | 49.76 | 49.97 | 49.94 | 47.69 | 46.97 | 46.99 | 47.38 | 47.30 |
| TiO2 | 1.17 | 1.18 | 1.12 | 1.34 | 1.68 | 1.84 | 1.81 | 1.81 | 2.02 |
| Al2O3 | 3.18 | 4.65 | 4.10 | 3.76 | 5.66 | 5.89 | 5.77 | 5.65 | 5.78 |
| FeO | 7.76 | 7.15 | 6.16 | 8.54 | 8.90 | 9.42 | 8.94 | 9.07 | 8.97 |
| Cr2O3 | 0.06 | 0.62 | 0.28 | 0.05 | 0.03 | 0 | 0.20 | 0.08 | 0.13 |
| MnO | 0.07 | 0.18 | 0.12 | 0.21 | 0.15 | 0.14 | 0.14 | 0.21 | 0.21 |
| NiO | 0.00 | 0.06 | 0.02 | 0.00 | 0.12 | 0.01 | 0.10 | 0.15 | 0 |
| MgO | 14.93 | 14.70 | 14.71 | 14.42 | 12.61 | 12.43 | 12.51 | 12.24 | 12.55 |
| CaO | 23.10 | 23.00 | 23.47 | 22.51 | 22.67 | 22.29 | 22.27 | 22.88 | 22.32 |
| Na2O | 0.35 | 0.35 | 0.31 | 0.33 | 0.45 | 0.43 | 0.42 | 0.51 | 0.49 |
| K2O | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 0.07 | 0 | 0.04 | 0.04 | 0.65 | 0.02 |
| Total | 102.19 | 101.66 | 100.27 | 101.17 | 99.96 | 99.46 | 99.19 | 100.63 | 99.79 |
| TSi | 1.866 | 1.809 | 1.837 | 1.831 | 1.778 | 1.763 | 1.767 | 1.756 | 1.768 |
| TAI | 0.134 | 0.191 | 0.163 | 0.162 | 0.222 | 0.237 | 0.233 | 0.244 | 0.232 |
| TFe3 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.006 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| M1Al | 0.002 | 0.008 | 0.014 | 0.000 | 0.027 | 0.023 | 0.023 | 0.003 | 0.023 |
| M1Ti | 0.032 | 0.032 | 0.031 | 0.037 | 0.047 | 0.052 | 0.051 | 0.050 | 0.057 |
| M1Fe3 | 0.093 | 0.126 | 0.101 | 0.120 | 0.131 | 0.143 | 0.133 | 0.205 | 0.128 |
| M1Fe2 | 0.066 | 0.018 | 0.039 | 0.054 | 0.089 | 0.086 | 0.082 | 0.059 | 0.090 |
| M1Cr | 0.002 | 0.018 | 0.008 | 0.001 | 0.001 | 0.000 | 0.006 | 0.002 | 0.004 |
| M1Mg | 0.806 | 0.797 | 0.806 | 0.788 | 0.701 | 0.695 | 0.701 | 0.676 | 0.699 |
| M1Ni | 0.000 | 0.002 | 0.001 | 0.000 | 0.004 | 0.000 | 0.003 | 0.004 | 0.000 |
| M2Mg | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| M2Fe2 | 0.076 | 0.074 | 0.049 | 0.082 | 0.057 | 0.066 | 0.066 | 0.017 | 0.063 |
| M2Mn | 0.002 | 0.006 | 0.004 | 0.007 | 0.005 | 0.004 | 0.004 | 0.007 | 0.007 |
| M2Ca | 0.896 | 0.896 | 0.924 | 0.884 | 0.906 | 0.896 | 0.897 | 0.909 | 0.894 |
| M2Na | 0.025 | 0.025 | 0.022 | 0.023 | 0.033 | 0.031 | 0.031 | 0.037 | 0.036 |
| M2K | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.003 | 0.000 | 0.002 | 0.002 | 0.031 | 0.001 |
| Sum_cat | 3.999 | 4.000 | 4.000 | 3.997 | 4.000 | 3.998 | 3.998 | 3.969 | 3.999 |
| Ca | 48.532 | 50.052 | 50.715 | 48.720 | 51.534 | 51.252 | 51.246 | 54.470 | 51.002 |
| Mg | 43.644 | 44.510 | 44.227 | 43.425 | 39.885 | 39.767 | 40.054 | 40.545 | 39.901 |
| Fe2_Mn | 7.825 | 5.438 | 5.059 | 7.855 | 8.581 | 8.981 | 8.700 | 4.985 | 9.097 |
| JD1 | 0.082 | 0.432 | 0.775 | 0.000 | 1.505 | 1.289 | 1.284 | 0.157 | 1.265 |
| AE1 | 1.306 | 0.957 | 0.451 | 1.457 | 0.317 | 0.579 | 0.546 | 3.741 | 0.781 |
| CFTS1 | 3.739 | 6.967 | 5.470 | 5.135 | 7.096 | 7.468 | 7.280 | 8.227 | 6.593 |
| CTTS1 | 1.704 | 1.783 | 1.682 | 2.014 | 2.639 | 2.922 | 2.878 | 2.919 | 3.186 |
| CATS1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| WO1 | 42.471 | 40.759 | 43.045 | 41.035 | 40.996 | 40.033 | 40.279 | 41.409 | 40.369 |
| EN1 | 43.088 | 44.028 | 43.774 | 42.947 | 39.264 | 39.124 | 39.422 | 39.119 | 39.234 |
| FS1 | 7.610 | 5.073 | 4.804 | 7.413 | 8.182 | 8.585 | 8.312 | 4.428 | 8.572 |
| Q | 1.844 | 1.784 | 1.819 | 1.809 | 1.753 | 1.744 | 1.747 | 1.661 | 1.746 |
| J | 0.049 | 0.049 | 0.044 | 0.047 | 0.065 | 0.063 | 0.061 | 0.073 | 0.071 |
| WO | 46.213 | 46.770 | 48.054 | 45.562 | 47.947 | 47.377 | 47.621 | 48.520 | 47.540 |
| EN | 41.559 | 41.592 | 41.907 | 40.610 | 37.109 | 36.760 | 37.221 | 36.115 | 37.193 |
| FS | 12.228 | 11.638 | 10.039 | 13.828 | 14.944 | 15.863 | 15.158 | 15.365 | 15.266 |
| WEF | 97.407 | 97.317 | 97.633 | 97.480 | 96.430 | 96.545 | 96.620 | 95.790 | 96.105 |
| JD | 0.042 | 0.157 | 0.293 | 0.000 | 0.606 | 0.477 | 0.494 | 0.055 | 0.585 |
| AE | 2.550 | 2.526 | 2.074 | 2.520 | 2.965 | 2.978 | 2.885 | 4.155 | 3.310 |

| Sample | 10c.010 | 10c.011 | 14.000a | 14.000b | 14.002a | 14.002b | 14.010 | 14.011 | 14.012 |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|---------|
| Analysis | gm | gm | | | | | mf | mf | mf |
| Location | YMI-1C | YMI-1 | YMI-4-1 | YMI-4-1 | YMI-4-1 | YMI-4-1 | YMI-4-br | YMI-4-br | YMI-4-d |
| Mineral | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR |
| SiO2 | 47.67 | 47.44 | 51.39 | 48.28 | 50.15 | 48.21 | 51.64 | 49.98 | 47.78 |
| TiO2 | 1.54 | 1.83 | 0.56 | 1.19 | 0.67 | 1.04 | 0.79 | 1.01 | 0.88 |
| Al2O3 | 4.78 | 4.67 | 3.46 | 5.50 | 4.19 | 4.98 | 3.05 | 4.55 | 6.62 |
| FeO | 8.78 | 12.12 | 6.84 | 7.84 | 7.20 | 7.67 | 6.33 | 8.32 | 8.10 |
| Cr2O3 | 0.15 | 0 | 0.03 | 0.00 | 0.05 | 0.00 | 0.05 | 0.00 | 0.00 |
| MnO | 0.15 | 0.16 | 0.17 | 0.15 | 0.21 | 0.15 | 0.10 | 0.27 | 0.23 |
| NiO | 0 | 0 | 0.03 | 0.06 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| MgO | 12.99 | 12.03 | 14.90 | 13.34 | 14.19 | 14.08 | 15.34 | 14.37 | 13.51 |
| CaO | 22.09 | 20.47 | 23.21 | 22.60 | 23.15 | 22.47 | 23.72 | 22.22 | 21.91 |
| Na2O | 0.37 | 0.58 | 0.33 | 0.36 | 0.31 | 0.35 | 0.20 | 0.32 | 0.32 |
| K2O | 0.02 | 0.08 | 0.00 | 0.02 | 0.03 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.04 |
| Total | 98.54 | 99.38 | 100.92 | 99.34 | 100.15 | 98.95 | 101.24 | 101.04 | 99.39 |
| TSi | 1.802 | 1.796 | 1.877 | 1.801 | 1.850 | 1.800 | 1.879 | 1.832 | 1.778 |
| TAl | 0.198 | 0.204 | 0.123 | 0.199 | 0.150 | 0.200 | 0.121 | 0.168 | 0.222 |
| TFe3 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| M1Al | 0.015 | 0.004 | 0.026 | 0.043 | 0.032 | 0.019 | 0.010 | 0.028 | 0.068 |
| M1Ti | 0.044 | 0.052 | 0.015 | 0.033 | 0.019 | 0.029 | 0.022 | 0.028 | 0.025 |
| M1Fe3 | 0.119 | 0.142 | 0.089 | 0.115 | 0.102 | 0.148 | 0.082 | 0.106 | 0.129 |
| M1Fe2 | 0.086 | 0.123 | 0.057 | 0.065 | 0.065 | 0.021 | 0.054 | 0.052 | 0.029 |
| M1Cr | 0.004 | 0.000 | 0.001 | 0.000 | 0.001 | 0.000 | 0.001 | 0.000 | 0.000 |
| M1Mg | 0.732 | 0.679 | 0.811 | 0.742 | 0.780 | 0.784 | 0.832 | 0.785 | 0.749 |
| M1Ni | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.002 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| M2Mg | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| M2Fe2 | 0.072 | 0.118 | 0.063 | 0.065 | 0.055 | 0.071 | 0.057 | 0.096 | 0.094 |
| M2Mn | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.007 | 0.005 | 0.003 | 0.008 | 0.007 |
| M2Ca | 0.895 | 0.830 | 0.908 | 0.903 | 0.915 | 0.899 | 0.925 | 0.873 | 0.874 |
| M2Na | 0.027 | 0.043 | 0.023 | 0.026 | 0.022 | 0.025 | 0.014 | 0.023 | 0.023 |
| M2K | 0.001 | 0.004 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.000 | 0.001 | 0.000 | 0.002 |
| Sum_cat | 3.999 | 3.996 | 4.000 | 3.999 | 3.999 | 4.000 | 3.999 | 4.000 | 3.998 |
| Ca | 49.974 | 47.288 | 49.224 | 50.764 | 50.219 | 50.522 | 49.426 | 48.081 | 49.817 |
| Mg | 40.889 | 38.668 | 43.968 | 41.692 | 42.830 | 44.048 | 44.475 | 43.265 | 42.740 |
| Fe2_Mn | 9.136 | 14.044 | 6.808 | 7.543 | 6.950 | 5.430 | 6.099 | 8.655 | 7.443 |
| JD1 | 0.810 | 0.210 | 1.254 | 1.498 | 1.283 | 1.045 | 0.506 | 1.243 | 1.411 |
| AE1 | 0.739 | 2.374 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.363 | 0.293 | 0.000 | 0.000 |
| CFTS1 | 6.059 | 5.542 | 4.800 | 6.389 | 5.629 | 7.839 | 4.117 | 5.813 | 7.273 |
| CTTS1 | 2.415 | 2.900 | 0.826 | 1.853 | 1.011 | 1.623 | 1.148 | 1.522 | 1.391 |
| CATS1 | 0.000 | 0.000 | 0.129 | 0.889 | 0.468 | 0.000 | 0.000 | 0.302 | 2.432 |
| WO1 | 40.859 | 37.760 | 42.991 | 41.007 | 42.647 | 40.481 | 43.847 | 40.066 | 38.222 |
| EN1 | 40.364 | 37.779 | 43.541 | 41.177 | 42.434 | 43.544 | 44.193 | 42.925 | 42.312 |
| FS1 | 8.754 | 13.436 | 6.460 | 7.187 | 6.529 | 5.104 | 5.896 | 8.129 | 6.959 |
| Q | 1.785 | 1.750 | 1.840 | 1.775 | 1.816 | 1.774 | 1.868 | 1.806 | 1.746 |
| J | 0.054 | 0.085 | 0.047 | 0.052 | 0.044 | 0.051 | 0.028 | 0.045 | 0.046 |
| WO | 46.864 | 43.744 | 46.969 | 47.680 | 47.556 | 46.651 | 47.361 | 45.419 | 46.408 |
| EN | 38.345 | 35.770 | 41.954 | 39.159 | 40.559 | 40.673 | 42.616 | 40.870 | 39.816 |
| FS | 14.791 | 20.487 | 11.076 | 13.161 | 11.886 | 12.676 | 10.023 | 13.711 | 13.777 |
| WEF | 97.059 | 95.375 | 97.529 | 97.156 | 97.624 | 97.231 | 98.514 | 97.555 | 97.434 |
| JD | 0.323 | 0.119 | 0.557 | 0.773 | 0.570 | 0.313 | 0.155 | 0.513 | 0.887 |
| AE | 2.617 | 4.506 | 1.914 | 2.070 | 1.807 | 2.457 | 1.331 | 1.932 | 1.679 |

| Sample | 14.004 | 14.005 | 14.006 | 14.007 | 14.008 | 14.009 | 14.013 | 14.014 | 14.015a |
|----------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|
| Analysis | gm | gm | gm | gm | gm | mf | mf | mf | |
| Location | YMI-4-l | YMI-4-l | YMI-4-br | YMI-4-br | YMI-4-br | YMI-4-br | YMI-4-d | YMI-4-d | YMI-4-d |
| Mineral | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR |
| SiO2 | 47.30 | 49.09 | 45.40 | 48.32 | 47.94 | 49.63 | 50.19 | 50.19 | 49.33 |
| TiO2 | 1.70 | 1.08 | 1.84 | 1.21 | 1.43 | 0.81 | 0.77 | 0.67 | 0.84 |
| Al2O3 | 6.73 | 5.75 | 7.78 | 5.80 | 6.73 | 4.35 | 3.71 | 3.75 | 4.34 |
| FeO | 9.36 | 8.12 | 9.43 | 9.54 | 9.53 | 7.61 | 7.63 | 7.55 | 7.62 |
| Cr2O3 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.04 | 0.07 | 0.00 | 0.00 |
| MnO | 0.31 | 0.16 | 0.27 | 0.28 | 0.29 | 0.13 | 0.18 | 0.22 | 0.18 |
| NiO | 0.00 | 0.00 | 0.06 | 0.05 | 0.00 | 0.03 | 0.00 | 0.01 | 0.06 |
| MgO | 12.33 | 13.50 | 12.50 | 13.45 | 12.90 | 14.63 | 15.00 | 14.72 | 14.66 |
| CaO | 22.15 | 22.57 | 21.67 | 21.52 | 21.74 | 22.59 | 22.81 | 22.56 | 22.69 |
| Na2O | 0.36 | 0.34 | 0.32 | 0.42 | 0.40 | 0.32 | 0.27 | 0.33 | 0.33 |
| K2O | 0.06 | 0.00 | 0.21 | 0.12 | 0.08 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 |
| Total | 100.34 | 100.61 | 99.48 | 100.71 | 101.04 | 100.14 | 100.63 | 100.01 | 100.05 |
| TSi | 1.760 | 1.809 | 1.700 | 1.783 | 1.766 | 1.829 | 1.841 | 1.852 | 1.819 |
| TAI | 0.240 | 0.191 | 0.300 | 0.217 | 0.234 | 0.171 | 0.159 | 0.148 | 0.181 |
| TFe3 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| M1Al | 0.055 | 0.058 | 0.043 | 0.035 | 0.058 | 0.018 | 0.001 | 0.015 | 0.008 |
| M1Ti | 0.048 | 0.030 | 0.052 | 0.034 | 0.040 | 0.022 | 0.021 | 0.019 | 0.023 |
| M1Fe3 | 0.117 | 0.097 | 0.186 | 0.149 | 0.127 | 0.129 | 0.132 | 0.119 | 0.149 |
| M1Fe2 | 0.096 | 0.074 | 0.020 | 0.040 | 0.066 | 0.025 | 0.023 | 0.037 | 0.012 |
| M1Cr | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.002 | 0.000 | 0.000 |
| M1Mg | 0.684 | 0.741 | 0.698 | 0.740 | 0.709 | 0.804 | 0.820 | 0.810 | 0.806 |
| M1Ni | 0.000 | 0.000 | 0.002 | 0.001 | 0.000 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.002 |
| M2Mg | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| M2Fe2 | 0.078 | 0.080 | 0.089 | 0.105 | 0.100 | 0.081 | 0.079 | 0.077 | 0.074 |
| M2Mn | 0.010 | 0.005 | 0.009 | 0.009 | 0.009 | 0.004 | 0.006 | 0.007 | 0.006 |
| M2Ca | 0.883 | 0.891 | 0.869 | 0.851 | 0.858 | 0.892 | 0.896 | 0.892 | 0.897 |
| M2Na | 0.026 | 0.024 | 0.023 | 0.030 | 0.029 | 0.023 | 0.019 | 0.024 | 0.024 |
| M2K | 0.003 | 0.000 | 0.010 | 0.006 | 0.004 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Sum_cat | 3.997 | 4.000 | 3.990 | 3.994 | 3.996 | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 4.000 |
| Ca | 50.436 | 49.753 | 51.611 | 48.772 | 49.261 | 49.405 | 49.138 | 48.936 | 49.971 |
| Mg | 39.065 | 41.407 | 41.423 | 42.413 | 40.671 | 44.520 | 44.961 | 44.427 | 44.923 |
| Fe2_Mn | 10.499 | 8.840 | 6.957 | 8.816 | 10.068 | 6.075 | 5.901 | 6.637 | 5.106 |
| JD1 | 1.628 | 1.342 | 1.946 | 1.989 | 1.832 | 0.989 | 0.067 | 0.828 | 0.438 |
| AE1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.027 | 0.000 | 0.264 | 0.978 | 0.481 | 0.864 |
| CFTS1 | 6.689 | 5.352 | 10.912 | 8.405 | 7.211 | 6.867 | 6.315 | 5.981 | 7.360 |
| CTTS1 | 2.688 | 1.654 | 3.032 | 1.896 | 2.245 | 1.231 | 1.156 | 1.011 | 1.286 |
| CATS1 | 1.459 | 1.870 | 0.545 | 0.000 | 1.479 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| WO1 | 39.057 | 40.346 | 36.376 | 37.729 | 37.676 | 40.798 | 41.304 | 41.486 | 40.829 |
| EN1 | 38.644 | 40.965 | 40.824 | 41.768 | 40.135 | 44.061 | 44.628 | 44.011 | 44.477 |
| FS1 | 9.834 | 8.470 | 6.365 | 8.187 | 9.422 | 5.790 | 5.553 | 6.202 | 4.745 |
| Q | 1.741 | 1.786 | 1.676 | 1.736 | 1.733 | 1.802 | 1.819 | 1.816 | 1.789 |
| J | 0.052 | 0.049 | 0.046 | 0.060 | 0.057 | 0.046 | 0.038 | 0.047 | 0.047 |
| WO | 47.272 | 47.199 | 46.466 | 44.925 | 45.907 | 46.113 | 45.823 | 45.939 | 46.139 |
| EN | 36.613 | 39.282 | 37.294 | 39.068 | 37.901 | 41.552 | 41.927 | 41.706 | 41.478 |
| FS | 16.115 | 13.519 | 16.241 | 16.007 | 16.192 | 12.335 | 12.250 | 12.354 | 12.384 |
| WEF | 97.118 | 97.359 | 97.316 | 96.669 | 96.824 | 97.529 | 97.938 | 97.475 | 97.437 |
| JD | 0.916 | 0.991 | 0.499 | 0.636 | 1.000 | 0.303 | 0.019 | 0.287 | 0.130 |
| AE | 1.965 | 1.651 | 2.186 | 2.695 | 2.177 | 2.167 | 2.043 | 2.239 | 2.433 |

| Sample | 14 015b | 14.016 | 14 017 | 17.001a | 17.001b | 17.002a | 17.002b | 17.003a | 17.003b |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Analysis | | g/g | g/g | | | | | | |
| Location | YMI-4-d | YMI-4-d | YMI-4-d | YMI-7 | YMI-7 | YMI-7 | YMI-7 | YMI-7 | YMI-7 |
| Mineral | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR |
| SiO2 | 49.09 | 47.80 | 48.57 | 50.93 | 47.86 | 52.33 | 49.73 | 53.07 | 49.46 |
| TiO2 | 1.00 | 1.25 | 1.16 | 1.18 | 1.95 | .39 | 1.61 | 0.43 | 1.00 |
| Al2O3 | 5.20 | 5.99 | 4.80 | 3.18 | 5.06 | 1.56 | 4.37 | 1.74 | 3.66 |
| FeO | 7.31 | 8.27 | 9.03 | 7.11 | 8.35 | 4.30 | 8.23 | 4.28 | 8.09 |
| Cr2O3 | 0.03 | 0.00 | 0.08 | 0.05 | 0 | .023 | 0.01 | 0.48 | 0.04 |
| MnO | 0.19 | 0.24 | 0.33 | 0.12 | 0.16 | 0.11 | 0.22 | 0.03 | 0.28 |
| NiO | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.11 | 0.03 |
| MgO | 13.64 | 13.71 | 14.09 | 15.02 | 13.67 | 17.69 | 13.83 | 16.35 | 12.62 |
| CaO | 22.85 | 22.81 | 21.39 | 22.84 | 22.56 | 23.27 | 22.81 | 23.45 | 24.05 |
| Na2O | 0.28 | 0.33 | 0.22 | 0.39 | 0.44 | 0.25 | 0.35 | 0.36 | 0.54 |
| K2O | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0 | 0 | 0 | 0.02 | 0 |
| Total | 99.61 | 100.41 | 99.67 | 100.83 | 100.07 | 99.94 | 101.18 | 100.32 | 99.77 |
| TSi | 1.824 | 1.763 | 1.810 | 1.864 | 1.775 | 1.903 | 1.826 | 1.934 | 1.845 |
| TAI | 0.176 | 0.237 | 0.190 | 0.136 | 0.221 | 0.067 | 0.174 | 0.066 | 0.155 |
| TFe3 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.003 | 0.030 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| M1Al | 0.052 | 0.023 | 0.021 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.015 | 0.009 | 0.006 |
| M1Ti | 0.028 | 0.035 | 0.033 | 0.032 | 0.054 | 0.011 | 0.044 | 0.012 | 0.028 |
| M1Fe3 | 0.087 | 0.167 | 0.117 | 0.096 | 0.147 | 0.092 | 0.093 | 0.045 | 0.130 |
| M1Fe2 | 0.076 | 0.021 | 0.044 | 0.049 | 0.042 | 0.000 | 0.089 | 0.028 | 0.123 |
| M1Cr | 0.001 | 0.000 | 0.002 | 0.001 | 0.000 | 0.001 | 0.000 | 0.014 | 0.001 |
| M1Mg | 0.756 | 0.754 | 0.783 | 0.820 | 0.756 | 0.896 | 0.757 | 0.888 | 0.702 |
| M1Ni | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.003 | 0.001 |
| M2Mg | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.063 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| M2Fe2 | 0.064 | 0.067 | 0.120 | 0.072 | 0.067 | 0.009 | 0.071 | 0.057 | 0.000 |
| M2Mn | 0.006 | 0.007 | 0.010 | 0.004 | 0.005 | 0.003 | 0.007 | 0.001 | 0.009 |
| M2Ca | 0.910 | 0.901 | 0.854 | 0.896 | 0.897 | 0.907 | 0.898 | 0.916 | 0.961 |
| M2Na | 0.020 | 0.024 | 0.016 | 0.028 | 0.032 | 0.018 | 0.025 | 0.025 | 0.039 |
| M2K | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.000 |
| Sum_cat | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 3.999 | 4.000 |
| Ca | 50.229 | 51.480 | 47.150 | 48.659 | 50.756 | 48.277 | 49.289 | 48.443 | 53.563 |
| Mg | 41.718 | 43.052 | 43.214 | 44.524 | 42.793 | 51.065 | 41.581 | 46.995 | 39.108 |
| Fe2_Mn | 8.053 | 5.468 | 9.636 | 6.817 | 6.451 | 6.657 | 9.129 | 4.562 | 7.329 |
| JD1 | 1.131 | 1.324 | 0.875 | 0.067 | 0.000 | 0.000 | 0.836 | 0.476 | 0.338 |
| AE1 | 0.000 | 0.011 | 0.000 | 1.442 | 1.765 | 0.932 | 0.519 | 0.900 | 1.802 |
| CFTS1 | 4.829 | 9.430 | 6.585 | 3.776 | 6.414 | 3.967 | 4.574 | 2.177 | 5.371 |
| CTTS1 | 1.531 | 1.963 | 1.790 | 1.742 | 3.034 | 0.564 | 2.418 | 0.615 | 1.538 |
| CATS1 | 1.702 | 0.000 | 0.260 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| WO1 | 41.763 | 39.618 | 38.372 | 42.504 | 40.555 | 43.384 | 41.813 | 45.007 | 45.768 |
| EN1 | 41.383 | 42.660 | 43.084 | 43.941 | 42.157 | 50.681 | 41.173 | 46.371 | 38.460 |
| FS1 | 7.661 | 4.994 | 9.034 | 6.528 | 6.075 | 0.473 | 8.667 | 4.453 | 6.723 |
| Q | 1.805 | 1.744 | 1.801 | 1.837 | 1.762 | 1.875 | 1.814 | 1.890 | 1.786 |
| J | 0.040 | 0.047 | 0.032 | 0.055 | 0.063 | 0.035 | 0.050 | 0.051 | 0.078 |
| WO | 47.919 | 47.001 | 44.282 | 46.251 | 46.781 | 45.337 | 46.885 | 47.313 | 49.953 |
| EN | 39.800 | 39.307 | 40.586 | 42.319 | 39.441 | 47.955 | 39.553 | 45.899 | 36.472 |
| FS | 12.281 | 13.692 | 15.132 | 11.430 | 13.777 | 6.709 | 13.562 | 6.788 | 13.576 |
| WEF | 97.821 | 97.375 | 98.275 | 97.080 | 96.541 | 98.157 | 97.335 | 97.379 | 95.829 |
| JD | 0.811 | 0.323 | 0.258 | 0.038 | 0.000 | 0.000 | 0.377 | 0.441 | 0.190 |
| AE | 1.368 | 2.302 | 1.467 | 2.882 | 3.459 | 1.843 | 2.288 | 2.180 | 3.982 |

| Sample | 17.004a | 17.004b | 17.005 | 17.006 | 17.007 | 17.008 | 17.009 | 17.010 | 17.015a |
|----------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Analysis | | | gm | gm | gm | gm | gm | gm | |
| Location | YMI-7 | YMI-7 | YMI-7 | YMI-7 | YMI-7 | YMI-7 | YMI-7 | YMI-7 | YMI-7 |
| Mineral | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR |
| SiO2 | 51.10 | 50.37 | 50.68 | 48.77 | 50.38 | 52.03 | 49.41 | 49.43 | 51.80 |
| TiO2 | 0.84 | 1.11 | 1.09 | 1.90 | 1.33 | 0.96 | 1.48 | 1.53 | 1.15 |
| Al2O3 | 2.55 | 3.29 | 2.70 | 4.64 | 3.16 | 2.21 | 4.03 | 3.52 | 2.83 |
| FeO | 6.49 | 6.65 | 9.65 | 8.43 | 7.98 | 7.21 | 7.27 | 8.50 | 6.34 |
| Cr2O3 | 0.09 | 0.10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.17 | 0 | 0.25 |
| MnO | 0.19 | 0.16 | 0.28 | 0.13 | 0.05 | 0.09 | 0.12 | 0.14 | 0.08 |
| NiO | 0.08 | 0 | 0 | 0 | 0.01 | 0.07 | 0 | 0.04 | 0 |
| MgO | 14.74 | 14.05 | 12.95 | 12.96 | 13.87 | 14.88 | 13.59 | 13.50 | 15.39 |
| CaO | 23.68 | 23.35 | 22.18 | 23.39 | 22.55 | 23.13 | 23.14 | 22.53 | 23.37 |
| Na2O | 0.33 | 0.40 | 0.39 | 0.31 | 0.32 | 0.31 | 0.36 | 0.40 | 0.31 |
| K2O | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.07 | 0.04 | 0 | 0.03 | 0.03 | 0.01 |
| Total | 100.12 | 99.51 | 99.94 | 100.60 | 99.69 | 100.89 | 99.60 | 99.62 | 101.53 |
| TSi | 1.884 | 1.872 | 1.897 | 1.808 | 1.877 | 1.908 | 1.841 | 1.847 | 1.881 |
| TAI | 0.111 | 0.128 | 0.103 | 0.192 | 0.123 | 0.092 | 0.159 | 0.153 | 0.119 |
| TFe3 | 0.005 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| M1Al | 0.000 | 0.016 | 0.016 | 0.011 | 0.016 | 0.003 | 0.017 | 0.002 | 0.002 |
| M1Ti | 0.023 | 0.031 | 0.031 | 0.053 | 0.037 | 0.026 | 0.041 | 0.043 | 0.031 |
| M1Fe3 | 0.091 | 0.077 | 0.054 | 0.100 | 0.056 | 0.058 | 0.081 | 0.096 | 0.069 |
| M1Fe2 | 0.070 | 0.095 | 0.176 | 0.120 | 0.119 | 0.097 | 0.101 | 0.107 | 0.057 |
| M1Cr | 0.003 | 0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.005 | 0.000 | 0.007 |
| M1Mg | 0.810 | 0.778 | 0.723 | 0.716 | 0.771 | 0.813 | 0.755 | 0.752 | 0.833 |
| M1Ni | 0.002 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.002 | 0.000 | 0.001 | 0.000 |
| M2Mg | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| M2Fe2 | 0.034 | 0.035 | 0.072 | 0.041 | 0.073 | 0.066 | 0.045 | 0.063 | 0.066 |
| M2Mn | 0.006 | 0.005 | 0.009 | 0.004 | 0.002 | 0.003 | 0.004 | 0.004 | 0.002 |
| M2Ca | 0.936 | 0.930 | 0.890 | 0.929 | 0.900 | 0.909 | 0.924 | 0.902 | 0.909 |
| M2Na | 0.024 | 0.029 | 0.028 | 0.022 | 0.023 | 0.022 | 0.026 | 0.029 | 0.022 |
| M2K | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.003 | 0.002 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.000 |
| Sum_cat | 3.999 | 3.999 | 3.999 | 3.997 | 3.998 | 4.000 | 3.999 | 3.999 | 4.000 |
| Ca | 50.420 | 50.450 | 47.580 | 51.317 | 48.282 | 48.119 | 50.530 | 49.331 | 48.669 |
| Mg | 43.668 | 42.238 | 38.653 | 39.563 | 41.320 | 43.072 | 41.291 | 41.128 | 44.595 |
| Fe2_Mn | 5.912 | 7.312 | 13.767 | 9.120 | 10.397 | 8.809 | 8.179 | 9.541 | 6.736 |
| JD1 | 0.000 | 0.852 | 0.872 | 0.580 | 0.856 | 0.175 | 0.944 | 0.087 | 0.100 |
| AE1 | 1.334 | 0.767 | 0.676 | 0.817 | 0.469 | 0.980 | 0.538 | 1.553 | 1.080 |
| CFTS1 | 3.675 | 3.510 | 2.159 | 4.660 | 2.517 | 2.036 | 4.096 | 3.602 | 2.962 |
| CTTS1 | 1.243 | 1.661 | 1.624 | 2.892 | 1.974 | 1.388 | 2.240 | 2.319 | 1.664 |
| CATS1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| WO1 | 44.989 | 44.598 | 43.284 | 43.162 | 43.191 | 44.210 | 43.549 | 42.718 | 43.532 |
| EN1 | 43.224 | 41.668 | 38.236 | 39.098 | 40.807 | 42.637 | 40.764 | 40.552 | 44.126 |
| FS1 | 5.536 | 6.944 | 13.149 | 8.790 | 10.185 | 8.574 | 7.870 | 9.168 | 6.535 |
| Q | 1.850 | 1.838 | 1.861 | 1.806 | 1.863 | 1.886 | 1.824 | 1.824 | 1.866 |
| J | 0.047 | 0.058 | 0.057 | 0.045 | 0.046 | 0.044 | 0.052 | 0.058 | 0.044 |
| WO | 47.930 | 48.428 | 46.254 | 48.623 | 46.865 | 46.696 | 48.391 | 46.880 | 46.932 |
| EN | 41.512 | 40.545 | 37.576 | 37.485 | 40.108 | 41.798 | 39.543 | 39.085 | 43.003 |
| FS | 10.558 | 11.028 | 16.170 | 13.892 | 13.027 | 11.505 | 12.065 | 14.035 | 10.065 |
| WEF | 97.520 | 96.967 | 97.061 | 97.597 | 97.580 | 97.719 | 97.233 | 96.927 | 97.717 |
| JD | 0.000 | 0.520 | 0.692 | 0.230 | 0.539 | 0.125 | 0.492 | 0.051 | 0.061 |
| AE | 2.480 | 2.513 | 2.247 | 2.172 | 1.881 | 2.156 | 2.275 | 3.021 | 2.222 |

| Sample | 21.001 | 21.002 | 21.003 | 21.004 | 21.005 | 21.006 | 21.007a | 21.007b | 21.008a |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| Analysis | gm | gm | gm | gm | gm | gm | | | |
| Location | YZU-1 | YZU-1 | YZU-1 | YZU-1 | YZU-1 | YZU-1 | YZU-1 | YZU-1 | YZU-1 |
| Mineral | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR |
| SiO2 | 52.37 | 52.36 | 53.11 | 50.64 | 52.92 | 51.75 | 54.31 | 50.09 | 53.89 |
| TiO2 | 0.75 | 0.54 | 0.61 | 1.26 | 0.49 | 1.33 | 0.3 | 0.38 | 0.25 |
| Al2O3 | 1.63 | 2.24 | 1.03 | 2.63 | 1.25 | 1.79 | 1.27 | 1.4 | 1.48 |
| FeO | 5.51 | 5.32 | 4.21 | 6.25 | 4.16 | 7.21 | 4.22 | 4.21 | 4.36 |
| Cr2O3 | 0.05 | 0.18 | 0.27 | 0 | 0.6 | 0 | 0.53 | 0.34 | 0.56 |
| MnO | 0.14 | 0.12 | 0.13 | 0.05 | 0.09 | 0.18 | 0.14 | 0.04 | 0.08 |
| NiO | 0 | 0 | 0 | 0.09 | 0 | 0 | 0.04 | 0.07 | 0.08 |
| MgO | 16.52 | 16.66 | 17.06 | 15.35 | 17.33 | 14.67 | 17.82 | 17.67 | 17.64 |
| CaO | 23.5 | 22.8 | 23.56 | 23.73 | 22.86 | 23.28 | 22.24 | 22.33 | 22.28 |
| Na2O | 0.2 | 0.43 | 0.22 | 0.21 | 0.23 | 0.5 | 0.35 | 0.34 | 0.32 |
| K2O | 0 | 0.01 | 0 | 0.06 | 0.1 | 0 | 0.03 | 0.05 | 0 |
| Total | 100.67 | 100.66 | 100.20 | 100.27 | 100.03 | 100.71 | 101.25 | 96.92 | 100.94 |
| TSi | 1.908 | 1.900 | 1.936 | 1.861 | 1.930 | 1.902 | 1.953 | 1.874 | 1.945 |
| TAl | 0.070 | 0.096 | 0.044 | 0.114 | 0.054 | 0.077 | 0.047 | 0.062 | 0.055 |
| TFe3 | 0.022 | 0.004 | 0.020 | 0.025 | 0.017 | 0.020 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| M1Al | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.007 | 0.000 | 0.008 |
| M1Ti | 0.021 | 0.015 | 0.017 | 0.035 | 0.013 | 0.037 | 0.008 | 0.011 | 0.007 |
| M1Fe3 | 0.064 | 0.095 | 0.038 | 0.086 | 0.047 | 0.060 | 0.035 | 0.000 | 0.040 |
| M1Fe2 | 0.017 | 0.000 | 0.010 | 0.035 | 0.000 | 0.100 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| M1Cr | 0.001 | 0.005 | 0.008 | 0.000 | 0.017 | 0.000 | 0.015 | 0.010 | 0.016 |
| M1Mg | 0.897 | 0.885 | 0.927 | 0.841 | 0.923 | 0.804 | 0.934 | 0.977 | 0.927 |
| M1Ni | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.002 | 0.002 |
| M2Mg | 0.000 | 0.017 | 0.000 | 0.000 | 0.020 | 0.000 | 0.021 | 0.009 | 0.022 |
| M2Fe2 | 0.064 | 0.062 | 0.060 | 0.046 | 0.064 | 0.042 | 0.092 | 0.132 | 0.092 |
| M2Mn | 0.004 | 0.004 | 0.004 | 0.002 | 0.003 | 0.006 | 0.004 | 0.001 | 0.002 |
| M2Ca | 0.917 | 0.887 | 0.920 | 0.935 | 0.893 | 0.917 | 0.857 | 0.895 | 0.862 |
| M2Na | 0.014 | 0.030 | 0.016 | 0.015 | 0.016 | 0.036 | 0.024 | 0.025 | 0.022 |
| M2K | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.003 | 0.005 | 0.000 | 0.001 | 0.002 | 0.000 |
| Sum_cat | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 3.997 | 3.995 | 4.000 | 3.999 | 3.998 | 4.000 |
| Ca | 48.268 | 47.823 | 47.881 | 50.289 | 46.968 | 49.083 | 44.896 | 44.452 | 45.229 |
| Mg | 47.211 | 48.621 | 48.241 | 45.262 | 49.542 | 43.035 | 50.052 | 48.943 | 49.825 |
| Fe2_Mn | 4.521 | 3.557 | 3.878 | 4.448 | 3.489 | 7.882 | 5.052 | 6.605 | 4.947 |
| JD1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.345 | 0.000 | 0.408 |
| AE1 | 0.740 | 1.633 | 0.804 | 0.949 | 1.089 | 1.878 | 0.991 | 1.326 | 0.755 |
| CFTS1 | 2.675 | 3.711 | 1.569 | 3.656 | 2.246 | 1.267 | 1.590 | 0.000 | 2.143 |
| CTTS1 | 1.076 | 0.784 | 0.865 | 1.858 | 0.700 | 1.937 | 0.420 | 0.524 | 0.353 |
| CATS1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| WO1 | 44.269 | 42.640 | 45.161 | 44.340 | 43.578 | 45.102 | 42.385 | 43.366 | 42.265 |
| EN1 | 46.969 | 47.922 | 47.953 | 44.871 | 49.074 | 42.354 | 49.494 | 48.324 | 49.308 |
| FS1 | 4.272 | 3.309 | 3.648 | 4.327 | 3.311 | 7.462 | 4.775 | 6.459 | 4.768 |
| Q | 1.896 | 1.850 | 1.918 | 1.857 | 1.899 | 1.862 | 1.904 | 2.013 | 1.902 |
| J | 0.028 | 0.061 | 0.031 | 0.030 | 0.033 | 0.071 | 0.049 | 0.049 | 0.045 |
| WO | 46.171 | 45.393 | 46.482 | 47.454 | 45.455 | 47.067 | 44.093 | 44.452 | 44.303 |
| EN | 45.161 | 46.151 | 46.832 | 42.711 | 47.947 | 41.268 | 49.157 | 48.943 | 48.805 |
| FS | 8.667 | 8.456 | 6.686 | 9.835 | 6.598 | 11.666 | 6.750 | 6.605 | 6.893 |
| WEF | 98.535 | 96.839 | 98.407 | 98.415 | 98.318 | 96.325 | 97.506 | 97.609 | 97.703 |
| JD | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.401 | 0.000 | 0.378 |
| AE | 1.465 | 3.161 | 1.593 | 1.585 | 1.682 | 3.675 | 2.092 | 0.027 | 1.919 |

| Sample | 21.008b | 21.009 |
|----------|---------|--------|
| Analysis | | mf |
| Location | YZU-1 | YZU-1 |
| Mineral | PIR | PIR |
| SiO2 | 53.12 | 52.22 |
| TiO2 | 0.59 | 0.91 |
| Al2O3 | 1.87 | 2.02 |
| FeO | 4.64 | 4.59 |
| Cr2O3 | 0.67 | 0.55 |
| MnO | 0.06 | 0.08 |
| NiO | 0.06 | 0.02 |
| MgO | 17.27 | 16.24 |
| CaO | 22.61 | 23.61 |
| Na2O | 0.32 | 0.26 |
| K2O | 0.04 | 0.02 |
| Total | 101.25 | 100.52 |
| TSi | 1.916 | 1.905 |
| TAI | 0.079 | 0.087 |
| TFe3 | 0.005 | 0.009 |
| M1Al | 0.000 | 0.000 |
| M1Ti | 0.016 | 0.025 |
| M1Fe3 | 0.057 | 0.049 |
| M1Fe2 | 0.000 | 0.027 |
| M1Cr | 0.019 | 0.016 |
| M1Mg | 0.906 | 0.883 |
| M1Ni | 0.002 | 0.001 |
| M2Mg | 0.022 | 0.000 |
| M2Fe2 | 0.078 | 0.056 |
| M2Mn | 0.002 | 0.002 |
| M2Ca | 0.874 | 0.923 |
| M2Na | 0.022 | 0.018 |
| M2K | 0.002 | 0.001 |
| Sum_cat | 3.998 | 3.999 |
| Ca | 46.425 | 48.799 |
| Mg | 49.339 | 46.704 |
| Fe2_Mn | 4.236 | 4.497 |
| JD1 | 0.000 | 0.000 |
| AE1 | 1.272 | 1.013 |
| CFTS1 | 2.732 | 2.372 |
| CTTS1 | 0.841 | 1.309 |
| CATS1 | 0.000 | 0.000 |
| WO1 | 42.307 | 44.687 |
| EN1 | 48.759 | 46.291 |
| FS1 | 4.090 | 4.328 |
| Q | 1.880 | 1.888 |
| J | 0.045 | 0.037 |
| WO | 44.943 | 47.360 |
| EN | 47.764 | 45.326 |
| FS | 7.293 | 7.314 |
| WEF | 97.677 | 98.092 |
| JD | 0.000 | 0.000 |
| AE | 2.323 | 1.908 |

| Sample | 15.000a | 15.000b | 15.001a | 15.001b | 15.002 | 15.003a | 15.003b | 15.005a | 15.005b |
|----------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|
| Analysis | | | | | ml | | | q | q |
| Location | YMI-5 | YMI-5 | YMI-5 | YMI-5 | YMI-5 | YMI-5 | YMI-5 | YMI-5 | YMI-5 |
| Mineral | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR |
| SiO2 | 49.67 | 46.87 | 46.75 | 42.97 | 49.73 | 48.59 | 44.31 | 42.98 | 41.99 |
| TiO2 | 1.76 | 1.95 | 2.94 | 4.41 | 1.97 | 1.90 | 3.87 | 4.54 | 5.16 |
| Al2O3 | 3.46 | 6.21 | 5.84 | 8.32 | 3.65 | 4.31 | 7.71 | 8.21 | 8.85 |
| FeO | 7.82 | 7.95 | 7.86 | 9.63 | 8.25 | 7.78 | 8.41 | 13.64 | 12.73 |
| Cr2O3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.04 | 0.00 | 0.03 | 0.07 | 0.03 |
| MnO | 0.21 | 0.22 | 0.14 | 0.27 | 0.25 | 0.15 | 0.12 | 0.3 | 0.21 |
| NiO | 0.08 | 0.05 | 0.05 | 0.01 | 0 | 0.00 | 0.1 | 0.03 | 0.05 |
| MgO | 13.55 | 12.61 | 12.95 | 10.86 | 13.45 | 13.48 | 11.42 | 6.66 | 7.55 |
| CaO | 23.03 | 22.89 | 23.02 | 22.68 | 23.45 | 23.18 | 23.12 | 21.81 | 21.75 |
| Na2O | 0.39 | 0.49 | 0.47 | 0.78 | 0.42 | 0.44 | 0.49 | 0.85 | 0.85 |
| K2O | 0 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.05 | 0.07 | 0 | 0 |
| Total | 99.97 | 99.25 | 100.03 | 99.95 | 101.23 | 99.88 | 99.65 | 99.09 | 99.17 |
| TSi | 1.849 | 1.755 | 1.740 | 1.615 | 1.831 | 1.807 | 1.666 | 1.673 | 1.625 |
| TAI | 0.151 | 0.245 | 0.256 | 0.368 | 0.158 | 0.189 | 0.334 | 0.327 | 0.375 |
| TFe3 | 0.000 | 0.000 | 0.004 | 0.016 | 0.011 | 0.005 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| M1Al | 0.000 | 0.029 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.008 | 0.050 | 0.028 |
| M1Ti | 0.049 | 0.055 | 0.082 | 0.125 | 0.055 | 0.053 | 0.109 | 0.133 | 0.150 |
| M1Fe3 | 0.081 | 0.141 | 0.129 | 0.192 | 0.090 | 0.121 | 0.144 | 0.072 | 0.109 |
| M1Fe2 | 0.116 | 0.069 | 0.069 | 0.074 | 0.117 | 0.079 | 0.094 | 0.356 | 0.275 |
| M1Cr | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.000 | 0.001 | 0.002 | 0.001 |
| M1Mg | 0.752 | 0.704 | 0.719 | 0.609 | 0.738 | 0.747 | 0.640 | 0.387 | 0.435 |
| M1Ni | 0.002 | 0.002 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.003 | 0.001 | 0.002 |
| M2Mg | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| M2Fe2 | 0.047 | 0.039 | 0.043 | 0.020 | 0.036 | 0.038 | 0.026 | 0.016 | 0.028 |
| M2Mn | 0.007 | 0.007 | 0.004 | 0.009 | 0.008 | 0.005 | 0.004 | 0.010 | 0.007 |
| M2Ca | 0.918 | 0.918 | 0.918 | 0.914 | 0.925 | 0.923 | 0.931 | 0.910 | 0.902 |
| M2Na | 0.028 | 0.036 | 0.034 | 0.057 | 0.030 | 0.032 | 0.036 | 0.064 | 0.064 |
| M2K | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.002 | 0.003 | 0.000 | 0.000 |
| Sum_cat | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 3.999 | 3.999 | 3.998 | 3.997 | 4.000 | 4.000 |
| Ca | 49.920 | 52.864 | 52.373 | 56.207 | 50.711 | 51.526 | 54.939 | 54.213 | 54.747 |
| Mg | 40.866 | 40.521 | 40.994 | 37.448 | 40.470 | 41.692 | 37.758 | 23.034 | 26.442 |
| Fe2_Mn | 9.214 | 6.616 | 6.634 | 6.345 | 8.819 | 6.783 | 7.304 | 22.753 | 18.812 |
| JD1 | 0.008 | 1.648 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.439 | 2.864 | 1.631 |
| AE1 | 1.504 | 0.393 | 1.929 | 3.453 | 1.674 | 1.872 | 1.819 | 0.840 | 2.112 |
| CFIS1 | 2.821 | 7.590 | 5.300 | 8.010 | 3.244 | 4.745 | 6.579 | 3.450 | 4.338 |
| CTTS1 | 2.647 | 3.110 | 4.617 | 7.447 | 2.953 | 2.917 | 6.325 | 7.674 | 8.814 |
| CATS1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| WO1 | 43.874 | 41.294 | 41.575 | 39.098 | 43.879 | 43.032 | 40.915 | 41.390 | 39.767 |
| EN1 | 40.394 | 39.853 | 40.304 | 36.347 | 39.963 | 41.019 | 36.988 | 22.312 | 25.559 |
| FS1 | 8.752 | 6.112 | 6.275 | 5.645 | 8.286 | 6.414 | 6.934 | 21.469 | 17.780 |
| Q | 1.833 | 1.730 | 1.748 | 1.617 | 1.816 | 1.788 | 1.692 | 1.668 | 1.640 |
| J | 0.056 | 0.071 | 0.068 | 0.114 | 0.060 | 0.063 | 0.071 | 0.128 | 0.128 |
| WO | 47.826 | 48.895 | 48.684 | 49.824 | 48.052 | 48.164 | 50.625 | 51.977 | 51.349 |
| EN | 39.153 | 37.478 | 38.107 | 33.195 | 38.348 | 38.972 | 34.793 | 22.084 | 24.801 |
| FS | 13.021 | 13.627 | 13.209 | 16.982 | 13.600 | 12.864 | 14.582 | 25.938 | 23.850 |
| WBF | 97.031 | 96.065 | 96.274 | 93.461 | 96.817 | 96.581 | 95.956 | 92.896 | 92.813 |
| JD | 0.005 | 0.673 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.202 | 2.894 | 1.460 |
| AE | 2.964 | 3.261 | 3.726 | 6.539 | 3.183 | 3.419 | 3.842 | 4.210 | 5.727 |

| Sample | 15.006 | 15.007 | 15.008 | 15.009 | 15.010 | 15.011 | 15.012 | 15.013 | 15.021 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Analysis | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm | g |
| Location | YMI-5 | YMI-5 | YMI-5 | YMI-5 | YMI-5 | YMI-5 | YMI-5 | YMI-5 | YMI-5 |
| Mineral | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR |
| SiO2 | 47.28 | 48.14 | 47.92 | 45.83 | 49.69 | 49.65 | 48.77 | 50.30 | 41.36 |
| TiO2 | 2.07 | 2.51 | 2.58 | 3.53 | 1.60 | 1.68 | 2.39 | 2.03 | 5.87 |
| Al2O3 | 4.42 | 5.08 | 5.75 | 6.84 | 3.45 | 3.44 | 3.91 | 0.7 | 9.37 |
| FeO | 8.56 | 8.24 | 8.62 | 8.49 | 7.28 | 7.22 | 8.62 | 26.12 | 12.5 |
| Cr2O3 | 0.04 | 0.02 | 0 | 0.03 | 0 | 0.05 | 0.08 | 0.02 | 0.03 |
| MnO | 0.2 | 0.21 | 0.1 | 0.17 | .014 | 0.2 | 0.31 | 0.86 | 0.27 |
| NiO | 0.02 | 0.07 | 0 | 0 | 0.09 | 0 | 0.04 | 0 | 0 |
| MgO | 12.58 | 13.03 | 12.23 | 11.75 | 13.91 | 13.84 | 12.89 | 0.34 | 7.06 |
| CaO | 23.3 | 23.09 | 22.86 | 23.40 | 22.9 | 23.3 | 22.85 | 10.64 | 22.23 |
| Na2O | 0.42 | 0.49 | 0.52 | 0.51 | 0.37 | 0.33 | 0.40 | 6.80 | 0.8 |
| K2O | 0.01 | 0.02 | 0.07 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.05 | 0.03 | 0 |
| Total | 98.90 | 100.90 | 100.65 | 100.58 | 99.33 | 99.74 | 100.31 | 97.84 | 99.49 |
| TSi | 1.785 | 1.778 | 1.779 | 1.707 | 1.855 | 1.848 | 1.818 | 2.005 | 1.600 |
| TAl | 0.196 | 0.221 | 0.221 | 0.293 | 0.145 | 0.151 | 0.172 | 0.000 | 0.400 |
| TFe3 | 0.019 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.002 | 0.010 | 0.000 | 0.000 |
| M1Al | 0.000 | 0.000 | 0.030 | 0.006 | 0.007 | 0.000 | 0.000 | 0.033 | 0.027 |
| M1Ti | 0.059 | 0.070 | 0.072 | 0.099 | 0.045 | 0.047 | 0.067 | 0.061 | 0.171 |
| M1Fe3 | 0.127 | 0.117 | 0.087 | 0.126 | 0.077 | 0.082 | 0.076 | 0.363 | 0.090 |
| M1Fe2 | 0.104 | 0.093 | 0.134 | 0.116 | 0.095 | 0.102 | 0.137 | 0.508 | 0.305 |
| M1Cr | 0.001 | 0.001 | 0.000 | 0.001 | 0.000 | 0.001 | 0.002 | 0.001 | 0.001 |
| M1Mg | 0.708 | 0.718 | 0.677 | 0.652 | 0.774 | 0.768 | 0.717 | 0.020 | 0.407 |
| M1Ni | 0.001 | 0.002 | 0.000 | 0.000 | 0.003 | 0.000 | 0.001 | 0.000 | 0.000 |
| M2Mg | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| M2Fe2 | 0.020 | 0.044 | 0.047 | 0.023 | 0.055 | 0.039 | 0.046 | 0.000 | 0.010 |
| M2Mn | 0.006 | 0.007 | 0.003 | 0.005 | 0.000 | 0.006 | 0.010 | 0.029 | 0.009 |
| M2Ca | 0.942 | 0.914 | 0.909 | 0.934 | 0.916 | 0.929 | 0.913 | 0.454 | 0.921 |
| M2Na | 0.031 | 0.035 | 0.037 | 0.037 | 0.027 | 0.024 | 0.029 | 0.525 | 0.060 |
| M2K | 0.000 | 0.001 | 0.003 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.000 |
| Sum_cat | 4.000 | 3.999 | 3.997 | 3.999 | 3.999 | 3.999 | 3.998 | 3.998 | 4.000 |
| Ca | 52.910 | 51.499 | 51.363 | 53.969 | 49.746 | 50.362 | 50.095 | 44.913 | 55.771 |
| Mg | 39.748 | 40.436 | 38.234 | 37.706 | 42.043 | 41.623 | 39.320 | 1.997 | 24.645 |
| Fe2_Mn | 7.342 | 8.065 | 10.403 | 8.325 | 8.211 | 8.015 | 10.584 | 53.090 | 19.584 |
| JD1 | 0.000 | 0.000 | 1.679 | 0.367 | 0.349 | 0.000 | 0.000 | 2.176 | 1.566 |
| AE1 | 1.729 | 1.998 | 0.575 | 1.803 | 1.161 | 1.354 | 1.698 | 32.735 | 1.957 |
| CFTS1 | 5.376 | 4.528 | 4.215 | 5.380 | 2.935 | 3.102 | 2.546 | 0.000 | 3.364 |
| CTTS1 | 3.255 | 3.866 | 3.985 | 5.609 | 2.404 | 2.523 | 3.636 | 0.000 | 10.028 |
| CATS1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| WO1 | 43.552 | 42.263 | 42.095 | 41.973 | 43.668 | 44.225 | 43.330 | 30.097 | 40.704 |
| EN1 | 39.201 | 39.775 | 37.439 | 37.003 | 41.419 | 41.200 | 38.861 | 1.338 | 23.904 |
| FS1 | 6.887 | 7.569 | 10.013 | 7.865 | 8.065 | 7.596 | 9.930 | 33.654 | 18.476 |
| Q | 1.775 | 1.768 | 1.767 | 1.724 | 1.841 | 1.838 | 1.812 | 0.983 | 1.643 |
| J | 0.061 | 0.070 | 0.075 | 0.074 | 0.054 | 0.048 | 0.058 | 1.051 | 0.120 |
| WO | 48.905 | 48.288 | 48.967 | 50.312 | 47.760 | 48.190 | 47.845 | 33.063 | 52.899 |
| EN | 36.739 | 37.915 | 36.451 | 35.151 | 40.365 | 39.828 | 37.554 | 1.470 | 23.376 |
| FS | 14.356 | 13.798 | 14.582 | 14.537 | 11.874 | 11.983 | 14.601 | 65.467 | 23.726 |
| WEF | 96.663 | 96.195 | 95.943 | 95.916 | 97.173 | 97.483 | 96.924 | 49.045 | 93.227 |
| JD | 0.000 | 0.000 | 1.053 | 0.200 | 0.222 | 0.000 | 0.000 | 4.234 | 1.553 |
| AE | 3.337 | 3.805 | 3.004 | 3.884 | 2.605 | 2.517 | 3.076 | 46.721 | 5.220 |

| | | |
|----------|--------|--------|
| Sample | 15 022 | 15.023 |
| Analysis | 9 | 9 |
| Location | YMI-5 | YMI-5 |
| Mineral | PIR | PIR |
| SiO2 | 39.82 | 41.58 |
| TiO2 | 6.17 | 5.26 |
| Al2O3 | 10.17 | 8.55 |
| FeO | 11.89 | 12.37 |
| Cr2O3 | 0.09 | 0.07 |
| MnO | 0.21 | 0.33 |
| NiO | 0.01 | |
| MgO | 7.87 | 7.49 |
| CaO | 22.25 | 22.09 |
| Na2O | 0.81 | 0.85 |
| K2O | 0 | 0.03 |
| Total | 99.29 | 98.62 |
| TSi | 1.535 | 1.618 |
| TAI | 0.462 | 0.382 |
| TFe3 | 0.004 | 0.000 |
| M1Al | 0.000 | 0.010 |
| M1Ti | 0.179 | 0.154 |
| M1Fe3 | 0.164 | 0.127 |
| M1Fe2 | 0.202 | 0.273 |
| M1Cr | 0.003 | 0.002 |
| M1Mg | 0.452 | 0.434 |
| M1Ni | 0.000 | 0.000 |
| M2Mg | 0.000 | 0.000 |
| M2Fe2 | 0.014 | 0.003 |
| M2Mn | 0.007 | 0.011 |
| M2Ca | 0.919 | 0.921 |
| M2Na | 0.061 | 0.064 |
| M2K | 0.000 | 0.001 |
| Sum_cat | 4.000 | 3.999 |
| Ca | 57.655 | 56.093 |
| Mg | 28.375 | 26.463 |
| Fe2_Mn | 13.970 | 17.444 |
| JD1 | 0.000 | 0.565 |
| AE1 | 3.675 | 3.303 |
| CFTS1 | 6.439 | 4.310 |
| CTTS1 | 10.859 | 9.074 |
| CATS1 | 0.000 | 0.000 |
| WO1 | 38.479 | 40.898 |
| EN1 | 27.450 | 25.609 |
| FS1 | 13.099 | 16.240 |
| Q | 1.587 | 1.631 |
| J | 0.121 | 0.128 |
| WO | 52.173 | 52.065 |
| EN | 25.676 | 24.563 |
| FS | 22.151 | 23.372 |
| WEF | 92.939 | 92.754 |
| JD | 0.000 | 0.508 |
| AE | 7.061 | 6.738 |

| Sample | 22.000a | 22.000b | 22.001a | 22.001b | 22.002a | 22.002b | 22.003a | 22.003b | 22.004 |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| Analysis | | | | | | | | | |
| Location | YZU-2 | YZU-2 | YZU-2 | YZU-2 | YZU-2 | YZU-2 | YZU-2 | YZU-2 | YZU-2 |
| Mineral | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR |
| SiO2 | 52.69 | 52.69 | 54.15 | 52.35 | 53.63 | 52.63 | 53.62 | 51.18 | 51.99 |
| TiO2 | 1.25 | 1.33 | 0.88 | 1.24 | 0.84 | 1.61 | 1.23 | 1.35 | 1.13 |
| Al2O3 | 0.97 | 1.04 | 0.64 | 0.53 | 0.65 | 0.8 | 0.56 | 0.75 | 0.78 |
| FeO | 6.98 | 6.13 | 5.88 | 6.48 | 5.43 | 6.51 | 5.78 | 5.79 | 5.85 |
| Cr2O3 | 0.04 | 0.07 | 0.03 | 0.05 | 0.15 | 0 | 0 | 0.11 | 0.07 |
| MnO | 0.21 | 0.11 | 0.11 | 0.2 | 0.14 | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.23 |
| NiO | 0 | 0 | 0.11 | 0.09 | 0.04 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.05 |
| MgO | 14.89 | 15.38 | 15.91 | 15.46 | 14.9 | 15.31 | 15.75 | 15.63 | 15.71 |
| CaO | 21.52 | 23.19 | 23.16 | 22.72 | 23.1 | 23.01 | 23.1 | 22.83 | 22.54 |
| Na2O | 0.93 | 0.62 | 0.62 | 0.71 | 0.55 | 0.84 | 0.67 | 0.63 | 0.67 |
| K2O | 0 | 0 | 0.01 | 0.04 | 0.04 | 0.01 | 0.02 | 0.12 | 0.06 |
| Total | 99.48 | 100.56 | 101.50 | 99.87 | 99.47 | 100.74 | 100.85 | 98.60 | 99.08 |
| TSi | 1.954 | 1.931 | 1.961 | 1.931 | 1.988 | 1.925 | 1.955 | 1.908 | 1.928 |
| TAI | 0.042 | 0.045 | 0.027 | 0.023 | 0.012 | 0.034 | 0.024 | 0.033 | 0.034 |
| TFe3 | 0.004 | 0.024 | 0.011 | 0.046 | 0.000 | 0.041 | 0.021 | 0.060 | 0.038 |
| M1Al | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.016 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| M1Ti | 0.035 | 0.037 | 0.024 | 0.034 | 0.023 | 0.044 | 0.034 | 0.038 | 0.032 |
| M1Fe3 | 0.042 | 0.038 | 0.034 | 0.051 | 0.000 | 0.046 | 0.025 | 0.065 | 0.058 |
| M1Fe2 | 0.059 | 0.083 | 0.079 | 0.060 | 0.131 | 0.074 | 0.084 | 0.026 | 0.038 |
| M1Cr | 0.001 | 0.002 | 0.001 | 0.001 | 0.004 | 0.000 | 0.000 | 0.003 | 0.002 |
| M1Mg | 0.823 | 0.840 | 0.859 | 0.850 | 0.823 | 0.835 | 0.856 | 0.868 | 0.868 |
| M1Ni | 0.000 | 0.000 | 0.003 | 0.003 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.000 | 0.001 |
| M2Mg | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| M2Fe2 | 0.072 | 0.042 | 0.054 | 0.043 | 0.037 | 0.038 | 0.046 | 0.031 | 0.046 |
| M2Mn | 0.007 | 0.003 | 0.003 | 0.006 | 0.004 | 0.000 | 0.003 | 0.006 | 0.007 |
| M2Ca | 0.855 | 0.910 | 0.899 | 0.898 | 0.917 | 0.902 | 0.903 | 0.912 | 0.895 |
| M2Na | 0.067 | 0.044 | 0.044 | 0.051 | 0.040 | 0.060 | 0.047 | 0.046 | 0.048 |
| M2K | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.002 | 0.002 | 0.000 | 0.001 | 0.006 | 0.003 |
| Sum_cat | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 3.998 | 3.998 | 4.000 | 3.999 | 3.994 | 3.997 |
| Ca | 46.089 | 48.443 | 47.450 | 48.341 | 47.944 | 48.776 | 47.704 | 49.474 | 48.250 |
| Mg | 44.371 | 44.703 | 45.354 | 45.768 | 43.029 | 45.155 | 45.256 | 47.128 | 46.792 |
| Fe2_Mn | 9.540 | 6.854 | 7.197 | 5.892 | 9.027 | 6.069 | 7.040 | 3.397 | 4.958 |
| JD1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.830 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| AE1 | 3.491 | 2.294 | 2.274 | 2.766 | 1.294 | 3.146 | 2.494 | 2.714 | 2.685 |
| CFTS1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.882 | 0.489 |
| CTTS1 | 1.820 | 1.909 | 1.239 | 1.209 | 0.625 | 1.805 | 1.241 | 1.744 | 1.659 |
| CATS1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| WO1 | 42.818 | 45.508 | 45.214 | 45.953 | 46.410 | 45.436 | 45.349 | 45.671 | 44.990 |
| EN1 | 42.975 | 43.757 | 44.401 | 44.652 | 42.212 | 43.735 | 44.200 | 46.007 | 45.713 |
| FS1 | 8.895 | 6.531 | 6.871 | 5.420 | 8.630 | 5.878 | 6.716 | 2.982 | 4.463 |
| Q | 1.848 | 1.876 | 1.891 | 1.852 | 1.909 | 1.849 | 1.889 | 1.836 | 1.848 |
| J | 0.134 | 0.088 | 0.087 | 0.102 | 0.079 | 0.119 | 0.095 | 0.091 | 0.096 |
| WO | 44.972 | 46.885 | 46.344 | 45.948 | 47.944 | 46.585 | 46.568 | 46.351 | 45.863 |
| EN | 43.296 | 43.265 | 44.297 | 43.503 | 43.029 | 43.127 | 44.178 | 44.153 | 44.476 |
| FS | 11.732 | 9.850 | 9.358 | 10.549 | 9.027 | 10.288 | 9.254 | 9.496 | 9.661 |
| WEF | 93.276 | 95.522 | 95.604 | 94.816 | 96.032 | 93.945 | 95.231 | 95.291 | 95.065 |
| JD | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 3.968 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| AE | 6.724 | 4.478 | 4.396 | 5.184 | 0.000 | 6.055 | 4.769 | 4.709 | 4.935 |

| Symbol | 22.004 | 22.005a | 22.005b | 22.006a | 22.006b | 22.007 | 22.007b | 22.008 | 22.009 |
|----------|--------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|--------|--------|
| Analysis | Smelt | | | | | mf | gm | pp | pp |
| Location | Y2U-2 | Y2U-2 | Y2U-2 | Y2U-2 | Y2U-2 | Y2U-2 | Y2U-2 | Y2U-2 | Y2U-2 |
| Name | P0 | P0 | P0 | P0 | P0 | P0 | P0 | P0 | P0 |
| SO2 | 50.78 | 53.82 | 52.49 | 51.93 | 53.21 | 53.09 | 52.89 | 53.17 | 52.34 |
| FeO | 6.34 | 6.61 | 1.39 | 1.20 | 0.90 | 0.69 | 1.34 | 1.28 | 1.27 |
| Al2O3 | 2.81 | 0.80 | 0.72 | 0.78 | 1.04 | 0.97 | 1.13 | 0.84 | 0.66 |
| CaO | 16.53 | 4.07 | 0.62 | 5.92 | 4.67 | 5.59 | 5.68 | 3.37 | 5.92 |
| CO2 | 0 | 0.08 | 0.06 | 0.05 | 0.07 | 0.23 | 0.16 | 0.11 | 0.11 |
| MgO | 0.16 | 0.05 | 0.13 | 0.14 | 0.17 | 0.18 | 0.12 | 0.03 | 0.14 |
| NO | 0.06 | 0.13 | 0.13 | 0.05 | 0.01 | 0.07 | 0 | 0.07 | 0.12 |
| MgS | 4.67 | 16.75 | 14.59 | 14.94 | 16.23 | 16.47 | 14.37 | 15.34 | 15.34 |
| CaO | 3.74 | 23.12 | 22.20 | 22.81 | 23.69 | 23.68 | 22.00 | 23.39 | 22.99 |
| Na2O | 11.28 | 0.53 | 1.06 | 0.80 | 0.55 | 0.32 | 0.86 | 0.73 | 0.55 |
| K2O | 0.70 | 0 | 0 | 0.01 | 0.03 | 0.02 | 0.31 | 0.02 | 0.0 |
| Sum | 97.07 | 100.51 | 96.41 | 98.53 | 100.31 | 98.55 | 99.46 | 99.49 | 99.27 |
| Ti | 1.905 | 1.954 | 1.948 | 1.938 | 1.899 | 1.952 | 1.959 | 1.925 | 1.941 |
| Al | 0.065 | 0.034 | 0.031 | 0.034 | 0.043 | 0.042 | 0.041 | 0.027 | 0.029 |
| Fe | 0.000 | 0.012 | 0.001 | 0.008 | 0.014 | 0.008 | 0.000 | 0.008 | 0.010 |
| Mn | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.026 | 0.000 | 0.000 |
| Mg | 0.179 | 0.017 | 0.029 | 0.024 | 0.016 | 0.019 | 0.037 | 0.036 | 0.035 |
| Si | 0.000 | 0.046 | 0.046 | 0.051 | 0.046 | 0.020 | 0.021 | 0.054 | 0.051 |
| SiO2 | 0.214 | 0.023 | 0.099 | 0.081 | 0.051 | 0.042 | 0.117 | 0.059 | 0.082 |
| WCO | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.002 | 0.011 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| MnO | 0.261 | 0.006 | 0.807 | 0.831 | 0.884 | 0.902 | 0.793 | 0.812 | 0.820 |
| MgO | 0.002 | 0.004 | 0.004 | 0.002 | 0.000 | 0.002 | 0.000 | 0.002 | 0.004 |
| MgO | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| MgO | 0.000 | 0.043 | 0.057 | 0.025 | 0.029 | 0.041 | 0.037 | 0.024 | 0.046 |
| MgO | 0.005 | 0.003 | 0.004 | 0.004 | 0.005 | 0.003 | 0.004 | 0.003 | 0.004 |
| MgO | 0.120 | 0.617 | 0.883 | 0.912 | 0.931 | 0.932 | 0.873 | 0.921 | 0.910 |
| MgO | 0.821 | 0.034 | 0.036 | 0.038 | 0.039 | 0.033 | 0.062 | 0.054 | 0.040 |
| MgO | 0.034 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.024 | 0.001 | 0.000 |
| Sum | 3.966 | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 3.999 | 3.994 | 3.976 | 3.900 | 4.000 |
| Ca | 16.074 | 48.420 | 48.240 | 49.206 | 49.336 | 48.543 | 47.844 | 48.980 | 48.072 |
| Mg | 27.927 | 47.922 | 44.112 | 44.843 | 47.143 | 46.979 | 43.482 | 44.215 | 44.890 |
| Fe2_Mn | 55.968 | 3.659 | 7.644 | 5.922 | 5.320 | 4.479 | 9.674 | 4.003 | 7.031 |
| Si | 1.859 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.254 | 0.000 | 0.000 |
| Al | 46.208 | 2.011 | 4.010 | 3.060 | 2.108 | 1.227 | 3.149 | 2.889 | 2.079 |
| CO2 | 0.000 | 0.842 | 0.000 | 0.000 | 1.458 | 0.585 | 0.000 | 0.156 | 0.000 |
| CO2 | 2.209 | 0.803 | 1.654 | 1.796 | 0.891 | 0.982 | 1.058 | 1.881 | 1.498 |
| CaSO4 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| WCO | 3.127 | 46.034 | 44.753 | 46.048 | 46.132 | 46.460 | 43.826 | 46.339 | 45.691 |
| SiO | 14.628 | 47.034 | 42.438 | 43.574 | 46.280 | 46.479 | 41.610 | 44.912 | 44.034 |
| Si | 20.068 | 3.431 | 7.143 | 5.351 | 3.180 | 4.271 | 8.104 | 3.843 | 6.672 |
| O | 0.930 | 1.887 | 1.826 | 1.849 | 1.870 | 1.817 | 1.821 | 1.849 | 1.889 |
| I | 1.641 | 0.077 | 0.132 | 0.116 | 0.078 | 0.046 | 0.124 | 0.103 | 0.079 |
| WO | 16.074 | 46.988 | 46.472 | 47.197 | 47.278 | 47.860 | 47.289 | 47.407 | 46.713 |
| Si | 27.927 | 46.316 | 43.496 | 43.012 | 43.179 | 46.316 | 42.978 | 44.611 | 43.677 |
| FS | 55.968 | 0.303 | 11.032 | 0.790 | 7.543 | 3.823 | 0.734 | 8.380 | 9.449 |
| WZ | 36.301 | 46.002 | 43.303 | 44.221 | 46.018 | 47.683 | 42.560 | 44.516 | 45.981 |
| Si | 83.899 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 3.465 | 0.000 | 0.000 |
| AS | 0.000 | 1.027 | 7.697 | 1.876 | 1.491 | 1.314 | 2.875 | 3.484 | 4.019 |

| Sample | 22.015 | 22.017 | 22.019 | 22.020 | 22.021 | 22.023 | 22.024 | 22.025 | 22.026 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Analysis | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm |
| Location | YZU-2 | YZU-2 | YZU-2 | YZU-2 | YZU-2 | YZU-2 | YZU-2 | YZU-2 | YZU-2 |
| Mineral | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR |
| SiO2 | 51.44 | 52.48 | 53.19 | 54.75 | 52.59 | 53.09 | 52.28 | 51.15 | 52.72 |
| TiO2 | 1.27 | 1.18 | 1.15 | 0.43 | 1.21 | 0.91 | 1.27 | 8.78 | 1.12 |
| Al2O3 | 0.56 | 0.75 | 0.59 | 0.7 | 0.39 | 0.84 | 0.90 | 1.10 | 0.58 |
| FeO | 6.66 | 28.95 | 5.64 | 3.97 | 6.51 | 5.19 | 5.58 | 19.30 | 5.33 |
| Cr2O3 | 0 | 0 | 0 | 0.2 | 0 | 0.02 | 0.03 | 0 | 0.02 |
| MnO | 0.11 | 0.16 | 0.17 | 0.07 | 0.24 | 0.16 | 0.10 | 0.18 | 0.11 |
| NiO | 0 | 0.02 | 0 | 0.15 | 0.15 | 0.13 | 0 | 0.05 | 0 |
| MgO | 15.81 | 0.39 | 15.47 | 17.13 | 14.88 | 15.95 | 15.78 | 2.02 | 15.67 |
| CaO | 22.97 | 0.35 | 23.35 | 23.77 | 21.61 | 23.72 | 22.46 | 1.62 | 23.14 |
| Na2O | 0.03 | 12.29 | 0.69 | 0.32 | 1.31 | 0.50 | 0.88 | 13.09 | 0.74 |
| K2O | 0 | 0.08 | 0 | 0.03 | 0.04 | 0.01 | 0.01 | 0.18 | 0.02 |
| Total | 98.85 | 96.65 | 100.25 | 101.52 | 98.93 | 100.52 | 99.29 | 97.47 | 99.45 |
| TSi | 1.924 | 2.028 | 1.951 | 1.969 | 1.954 | 1.939 | 1.930 | 1.935 | 1.945 |
| TAl | 0.025 | 0.000 | 0.025 | 0.030 | 0.017 | 0.036 | 0.039 | 0.049 | 0.025 |
| TFe3 | 0.052 | 0.000 | 0.023 | 0.001 | 0.029 | 0.025 | 0.031 | 0.016 | 0.030 |
| M1Al | 0.000 | 0.034 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| M1Ti | 0.036 | 0.034 | 0.032 | 0.012 | 0.034 | 0.025 | 0.035 | 0.250 | 0.031 |
| M1Fe3 | 0.007 | 0.766 | 0.034 | 0.026 | 0.075 | 0.046 | 0.062 | 0.534 | 0.046 |
| M1Fe2 | 0.076 | 0.143 | 0.088 | 0.034 | 0.063 | 0.056 | 0.033 | 0.060 | 0.060 |
| M1Cr | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.006 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.000 | 0.001 |
| M1Mg | 0.881 | 0.022 | 0.846 | 0.918 | 0.824 | 0.868 | 0.868 | 0.114 | 0.862 |
| M1Ni | 0.000 | 0.001 | 0.000 | 0.004 | 0.004 | 0.004 | 0.000 | 0.002 | 0.000 |
| M2Mg | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| M2Fe2 | 0.074 | 0.027 | 0.028 | 0.058 | 0.036 | 0.031 | 0.045 | 0.000 | 0.028 |
| M2Mn | 0.003 | 0.005 | 0.005 | 0.002 | 0.008 | 0.005 | 0.003 | 0.006 | 0.003 |
| M2Ca | 0.920 | 0.014 | 0.918 | 0.916 | 0.860 | 0.928 | 0.888 | 0.066 | 0.915 |
| M2Na | 0.002 | 0.921 | 0.049 | 0.022 | 0.094 | 0.035 | 0.063 | 0.960 | 0.053 |
| M2K | 0.000 | 0.004 | 0.000 | 0.001 | 0.002 | 0.000 | 0.000 | 0.009 | 0.001 |
| Sum_cat | 4.000 | 3.996 | 4.000 | 3.999 | 3.998 | 4.000 | 4.000 | 3.991 | 3.999 |
| Ca | 47.074 | 6.832 | 48.690 | 47.481 | 48.038 | 49.149 | 48.321 | 26.722 | 48.955 |
| Mg | 45.082 | 10.592 | 44.884 | 47.610 | 46.023 | 45.984 | 47.237 | 46.362 | 46.127 |
| Fe2_Mn | 7.845 | 82.577 | 6.425 | 4.910 | 5.939 | 4.867 | 4.441 | 26.916 | 4.918 |
| JD1 | 0.000 | 3.016 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| AE1 | 0.111 | 78.704 | 2.545 | 1.215 | 5.122 | 1.869 | 3.342 | 80.150 | 2.808 |
| CFTS1 | 0.240 | 0.000 | 0.000 | 0.387 | 0.000 | 0.581 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| CTTS1 | 1.262 | 0.000 | 1.322 | 0.596 | 0.908 | 1.302 | 1.857 | 4.054 | 1.313 |
| CATS1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| WO1 | 45.603 | 1.280 | 46.263 | 45.973 | 44.862 | 46.474 | 44.929 | 1.378 | 46.355 |
| EN1 | 45.112 | 1.985 | 43.865 | 47.083 | 43.851 | 45.243 | 45.736 | 9.424 | 44.914 |
| FS1 | 7.672 | 15.015 | 6.005 | 4.746 | 5.257 | 4.530 | 4.136 | 4.994 | 4.610 |
| Q | 1.952 | 0.207 | 1.880 | 1.927 | 1.783 | 1.883 | 1.835 | 0.240 | 1.865 |
| J | 0.004 | 1.842 | 0.098 | 0.045 | 0.189 | 0.071 | 0.126 | 1.920 | 0.106 |
| WO | 45.708 | 1.482 | 47.256 | 46.829 | 45.413 | 47.355 | 45.977 | 8.250 | 47.042 |
| EN | 43.774 | 2.298 | 43.562 | 46.957 | 43.509 | 44.305 | 44.945 | 14.312 | 44.324 |
| FS | 10.518 | 96.220 | 9.181 | 6.214 | 11.077 | 8.340 | 9.078 | 77.438 | 8.634 |
| WEF | 99.778 | 10.328 | 95.050 | 97.739 | 90.465 | 96.386 | 93.587 | 11.344 | 94.637 |
| JD | 0.000 | 3.827 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| AE | 0.222 | 85.846 | 4.950 | 2.261 | 9.535 | 3.614 | 6.413 | 88.656 | 5.363 |

| Sample | 22.027 | 22.028 | 23.000a | 23.000b | 23.002a | 23.002b | 23.004a | 23.004b | 23.005 |
|----------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| Analysis | gm | gn | | | | | | | gn |
| Location | YZU-2 | YZU-2 | YZU-3 | YZU-3 | YZU-3 | YZU-3 | YZU-3 | YZU-3 | YZU-3 |
| Mineral | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR |
| SiO2 | 52.06 | 52.90 | 52.05 | 52.31 | 53.10 | 51.96 | 51.25 | 49.98 | 52.34 |
| TiO2 | 1.44 | 1.41 | 1.11 | 1.06 | 1.05 | 0.99 | 1.24 | 1.41 | 1.07 |
| Al2O3 | 0.70 | 0.57 | 0.87 | 1.73 | 0.86 | 1.91 | 1.91 | 2.09 | 1.86 |
| FeO | 6.77 | 6.58 | 7.15 | 5.98 | 7.75 | 6.40 | 6.60 | 7.07 | 6.44 |
| Cr2O3 | 0.09 | 0 | 0.01 | 0.27 | 0.04 | 0.06 | 0.17 | 0.18 | 0.05 |
| MnO | 0.16 | 0.26 | 0.21 | 0.13 | 0.17 | 0.16 | 0.14 | 0.09 | 0.14 |
| NiO | 0 | 0 | 0.03 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| MgO | 15.35 | 15.05 | 14.74 | 15.26 | 13.88 | 15.07 | 15.34 | 15.06 | 14.43 |
| CaO | 22.65 | 22.17 | 20.49 | 22.95 | 20.35 | 22.83 | 22.39 | 22.40 | 22.40 |
| Na2O | 0.55 | 0.94 | 1.83 | 0.72 | 1.87 | 0.45 | 0.54 | 0.73 | 1.04 |
| K2O | 0 | 0.03 | 0.02 | 0 | 0 | 0.01 | 0 | 0.10 | 0.03 |
| Total | 99.77 | 99.91 | 98.51 | 100.43 | 99.08 | 99.86 | 99.60 | 99.13 | 99.82 |
| TSi | 1.927 | 1.952 | 1.935 | 1.916 | 1.972 | 1.919 | 1.896 | 1.857 | 1.930 |
| TAI | 0.031 | 0.025 | 0.038 | 0.075 | 0.028 | 0.081 | 0.083 | 0.091 | 0.070 |
| TFe3 | 0.042 | 0.023 | 0.027 | 0.010 | 0.000 | 0.000 | 0.021 | 0.051 | 0.000 |
| M1Al | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.010 | 0.002 | 0.000 | 0.000 | 0.011 |
| M1Ti | 0.040 | 0.039 | 0.031 | 0.029 | 0.029 | 0.027 | 0.035 | 0.039 | 0.030 |
| M1Fe3 | 0.029 | 0.038 | 0.135 | 0.069 | 0.092 | 0.055 | 0.069 | 0.116 | 0.073 |
| M1Fe2 | 0.081 | 0.095 | 0.015 | 0.060 | 0.098 | 0.084 | 0.045 | 0.005 | 0.090 |
| M1Cr | 0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.008 | 0.001 | 0.002 | 0.005 | 0.005 | 0.001 |
| M1Mg | 0.847 | 0.828 | 0.817 | 0.833 | 0.769 | 0.830 | 0.846 | 0.834 | 0.793 |
| M1Ni | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| M2Mg | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| M2Fe2 | 0.057 | 0.047 | 0.044 | 0.044 | 0.050 | 0.059 | 0.069 | 0.048 | 0.035 |
| M2Mn | 0.005 | 0.008 | 0.007 | 0.004 | 0.005 | 0.005 | 0.004 | 0.003 | 0.004 |
| M2Ca | 0.898 | 0.876 | 0.816 | 0.901 | 0.810 | 0.903 | 0.887 | 0.892 | 0.885 |
| M2Na | 0.039 | 0.067 | 0.132 | 0.051 | 0.135 | 0.032 | 0.039 | 0.053 | 0.074 |
| M2K | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.005 | 0.001 |
| Sum_cat | 4.000 | 3.999 | 3.999 | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 3.995 | 3.999 |
| Ca | 47.572 | 47.279 | 48.021 | 48.879 | 46.756 | 48.033 | 47.902 | 50.056 | 48.954 |
| Mg | 44.858 | 44.657 | 48.066 | 45.222 | 44.372 | 44.116 | 45.664 | 46.825 | 43.879 |
| Fe2_Mn | 7.570 | 8.063 | 3.913 | 5.899 | 8.873 | 7.851 | 6.434 | 3.119 | 7.168 |
| JD1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.535 | 0.098 | 0.000 | 0.000 | 0.588 |
| AE1 | 2.053 | 3.587 | 7.277 | 2.706 | 6.700 | 1.615 | 2.053 | 3.123 | 3.444 |
| CFISI | 0.000 | 0.000 | 0.157 | 1.354 | 0.000 | 1.359 | 1.843 | 3.466 | 0.539 |
| CTTSI | 1.587 | 1.294 | 1.700 | 1.545 | 1.485 | 1.441 | 1.829 | 2.146 | 1.579 |
| CATSI | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| WO1 | 45.132 | 44.490 | 42.844 | 44.762 | 42.022 | 44.536 | 43.359 | 42.958 | 44.976 |
| EN1 | 44.054 | 43.245 | 44.742 | 44.095 | 41.289 | 43.476 | 44.833 | 45.435 | 42.211 |
| FS1 | 7.174 | 7.384 | 3.280 | 5.538 | 7.969 | 7.475 | 6.084 | 2.872 | 6.663 |
| Q | 1.883 | 1.846 | 1.693 | 1.838 | 1.727 | 1.876 | 1.848 | 1.779 | 1.804 |
| J | 0.079 | 0.135 | 0.264 | 0.102 | 0.269 | 0.064 | 0.077 | 0.105 | 0.149 |
| WO | 45.833 | 45.757 | 43.833 | 46.882 | 44.388 | 46.668 | 45.697 | 45.767 | 47.044 |
| EN | 43.218 | 43.219 | 43.873 | 43.373 | 42.125 | 42.862 | 43.562 | 42.813 | 42.167 |
| FS | 10.949 | 11.024 | 12.294 | 9.745 | 13.488 | 10.470 | 10.740 | 11.420 | 10.789 |
| WEF | 95.987 | 93.235 | 86.562 | 94.741 | 86.542 | 96.687 | 95.986 | 94.425 | 92.399 |
| JD | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.310 | 0.109 | 0.000 | 0.000 | 0.994 |
| AE | 4.013 | 6.765 | 13.438 | 5.259 | 12.148 | 3.204 | 4.014 | 5.575 | 6.607 |

| Sample | 23.006 | 23.007 | 23.008 | 23.009 | 23.010 | 23.011 | 23.020 | 23.024 | 23.025 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Analysis | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm | DeMar93 |
| Location | YZU-3 | YZU-3 | YZU-3 | YZU-3 | YZU-3 | YZU-3 | YZU-3 | YZU-3 | Yzu-3 |
| Mineral | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR |
| SiO2 | 51.48 | 52.97 | 52.18 | 52.11 | 51.90 | 51.57 | 51.74 | 50.73 | 52.68 |
| TiO2 | 0.98 | 1.55 | 1.29 | 1.40 | 1.16 | 1.09 | 1.31 | 1.20 | 1.23 |
| Al2O3 | 1.44 | 0.69 | 1.16 | 1.04 | 2.14 | 1.91 | 1.90 | 2.46 | 1.73 |
| FeO | 5.92 | 7.90 | 6.37 | 6.74 | 7.04 | 6.55 | 6.51 | 8.47 | 5.70 |
| Cr2O3 | 0.11 | 0.03 | 0.01 | 0.04 | 0.11 | 0.22 | 0.17 | 0.07 | 0.55 |
| MnO | 0.16 | 0.19 | 0.22 | 0.26 | 0.16 | 0.16 | 0.15 | 0.19 | 0.16 |
| NiO | 0.01 | 0.01 | 0 | 0.01 | 0.02 | 0 | 0.03 | 0 | 0.00 |
| MgO | 15.01 | 14.74 | 14.95 | 14.80 | 13.94 | 14.70 | 14.91 | 13.99 | 16.36 |
| CaO | 22.53 | 20.34 | 21.01 | 20.79 | 21.68 | 22.93 | 22.39 | 22.33 | 21.85 |
| Na2O | 1.07 | 1.72 | 1.33 | 1.60 | 1.25 | 0.83 | 0.98 | 1.18 | 0.30 |
| K2O | 0.01 | 0.01 | 0.06 | 0.06 | 0.14 | 0.02 | 0 | 0.04 | 0.00 |
| Total | 98.72 | 100.15 | 98.58 | 98.85 | 99.54 | 99.98 | 100.09 | 100.66 | 100.56 |
| TSi | 1.912 | 1.946 | 1.942 | 1.934 | 1.922 | 1.900 | 1.902 | 1.863 | 1.927 |
| TAI | 0.063 | 0.030 | 0.051 | 0.045 | 0.078 | 0.083 | 0.082 | 0.106 | 0.073 |
| TFc3 | 0.025 | 0.024 | 0.007 | 0.021 | 0.000 | 0.017 | 0.016 | 0.031 | 0.000 |
| MIAI | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.015 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 |
| MITi | 0.027 | 0.043 | 0.036 | 0.039 | 0.032 | 0.030 | 0.036 | 0.033 | 0.034 |
| MIFc3 | 0.107 | 0.090 | 0.084 | 0.105 | 0.092 | 0.093 | 0.090 | 0.155 | 0.000 |
| MIFe2 | 0.031 | 0.059 | 0.050 | 0.036 | 0.088 | 0.063 | 0.051 | 0.044 | 0.057 |
| MICr | 0.003 | 0.001 | 0.000 | 0.001 | 0.003 | 0.006 | 0.005 | 0.002 | 0.016 |
| MIMg | 0.831 | 0.807 | 0.829 | 0.819 | 0.769 | 0.808 | 0.817 | 0.766 | 0.892 |
| MINi | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.000 | 0.001 | 0.000 | 0.000 |
| M2Mg | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| M2Fe2 | 0.021 | 0.070 | 0.057 | 0.047 | 0.039 | 0.029 | 0.044 | 0.030 | 0.117 |
| M2Mn | 0.005 | 0.006 | 0.007 | 0.008 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.006 | 0.005 |
| M2Ca | 0.897 | 0.801 | 0.838 | 0.827 | 0.860 | 0.905 | 0.882 | 0.878 | 0.856 |
| M2Na | 0.077 | 0.123 | 0.096 | 0.115 | 0.090 | 0.059 | 0.070 | 0.084 | 0.021 |
| M2K | 0.000 | 0.000 | 0.003 | 0.003 | 0.007 | 0.001 | 0.000 | 0.002 | 0.000 |
| Sum_cat | 4.000 | 4.000 | 3.997 | 3.997 | 3.993 | 3.999 | 4.000 | 3.998 | 4.000 |
| Ca | 50.249 | 45.943 | 47.050 | 47.595 | 48.841 | 50.008 | 49.050 | 50.944 | 44.421 |
| Mg | 46.579 | 46.325 | 46.583 | 47.143 | 43.695 | 44.607 | 45.447 | 44.409 | 46.277 |
| Fe2_Mn | 3.172 | 7.733 | 6.366 | 5.262 | 7.464 | 5.385 | 5.503 | 4.647 | 9.302 |
| JD1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.809 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.070 |
| AE1 | 4.176 | 6.613 | 5.278 | 6.389 | 4.393 | 3.229 | 3.749 | 4.760 | 1.025 |
| CFTS1 | 1.778 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.725 | 2.083 | 1.355 | 3.928 | 0.000 |
| CTTS1 | 1.475 | 1.605 | 1.929 | 2.116 | 1.744 | 1.619 | 1.944 | 1.837 | 1.741 |
| CATS1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| WO1 | 45.034 | 41.445 | 42.813 | 42.649 | 43.964 | 44.825 | 44.034 | 42.921 | 42.307 |
| EN1 | 44.761 | 43.408 | 44.297 | 44.340 | 41.541 | 43.286 | 43.857 | 42.440 | 45.889 |
| FS1 | 2.777 | 6.928 | 5.684 | 4.506 | 6.825 | 4.957 | 5.060 | 4.114 | 8.969 |
| Q | 1.779 | 1.737 | 1.773 | 1.728 | 1.756 | 1.805 | 1.793 | 1.718 | 1.923 |
| J | 0.154 | 0.245 | 0.192 | 0.230 | 0.179 | 0.119 | 0.140 | 0.168 | 0.043 |
| WO | 46.780 | 43.125 | 44.743 | 44.377 | 46.426 | 47.159 | 46.322 | 45.987 | 44.421 |
| EN | 43.364 | 43.483 | 44.298 | 43.955 | 41.535 | 42.066 | 42.920 | 40.088 | 46.277 |
| FS | 9.857 | 13.392 | 10.959 | 11.668 | 12.038 | 10.775 | 10.758 | 13.925 | 9.302 |
| WEF | 92.049 | 87.672 | 90.269 | 88.294 | 90.750 | 93.851 | 92.790 | 91.121 | 97.840 |
| JD | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.301 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 2.160 |
| AE | 7.951 | 12.328 | 9.731 | 11.706 | 7.949 | 6.149 | 7.210 | 8.879 | 0.000 |

| Sample | 30.006 | 30.007 | 30.008 | 30.009 | 30.010 | 30.011 | 30.012 | 30.013 | 30.014 |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Analysis | DeMin93 | DeMin93 | DeMin93 | DeMin93 | DeMin93 | DeMin93 | DeMin93 | DeMin93 | DeMin93 |
| Location | plaglc | plaglc | plaglc | plaglc | plaglc | plaglc | plaglc | plaglc | plaglc |
| Mineral | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR | PIR |
| SiO2 | 49.42 | 48.67 | 49.36 | 46.33 | 48.68 | 49.51 | 50.47 | 50.24 | 51.68 |
| TiO2 | 1.62 | 1.95 | 1.75 | 3.00 | 1.62 | 1.40 | 2.10 | 1.43 | 1.22 |
| Al2O3 | 4.55 | 5.16 | 4.33 | 6.35 | 4.59 | 5.65 | 1.68 | 3.29 | 2.77 |
| FeO | 7.61 | 7.94 | 7.47 | 9.53 | 8.07 | 14.92 | 24.21 | 7.59 | 6.58 |
| Cr2O3 | 0.08 | 0.02 | 0.00 | 0.02 | 0.06 | 0.08 | 0.01 | 0.07 | 0.09 |
| MnO | 0.61 | 0.23 | 0.17 | 0.26 | 0.24 | 0.91 | 1.59 | 0.33 | 0.26 |
| NiO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| MgO | 13.93 | 13.27 | 13.73 | 11.48 | 13.04 | 7.52 | 1.50 | 15.24 | 15.62 |
| CaO | 22.26 | 22.08 | 22.28 | 22.14 | 22.38 | 21.10 | 10.93 | 20.28 | 21.20 |
| Na2O | 0.49 | 0.63 | 0.55 | 0.54 | 0.59 | 1.44 | 7.41 | 0.51 | 0.57 |
| K2O | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Total | 100.57 | 99.95 | 99.64 | 99.65 | 99.27 | 102.53 | 99.90 | 98.98 | 99.99 |
| TSi | 1.822 | 1.807 | 1.835 | 1.746 | 1.822 | 1.848 | 1.942 | 1.873 | 1.901 |
| TAl | 0.178 | 0.193 | 0.165 | 0.254 | 0.178 | 0.152 | 0.058 | 0.127 | 0.099 |
| TFe3 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| M1Al | 0.019 | 0.033 | 0.025 | 0.028 | 0.024 | 0.097 | 0.018 | 0.017 | 0.021 |
| M1Ti | 0.045 | 0.054 | 0.049 | 0.085 | 0.046 | 0.039 | 0.061 | 0.040 | 0.034 |
| M1Fe3 | 0.101 | 0.095 | 0.081 | 0.095 | 0.103 | 0.077 | 0.470 | 0.064 | 0.049 |
| M1Fe2 | 0.067 | 0.082 | 0.084 | 0.147 | 0.098 | 0.366 | 0.309 | 0.030 | 0.038 |
| M1Cr | 0.002 | 0.001 | 0.000 | 0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.000 | 0.002 | 0.003 |
| M1Mg | 0.766 | 0.735 | 0.761 | 0.645 | 0.728 | 0.419 | 0.086 | 0.847 | 0.856 |
| M1Ni | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| M2Mg | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| M2Fe2 | 0.067 | 0.069 | 0.067 | 0.058 | 0.052 | 0.023 | 0.000 | 0.143 | 0.116 |
| M2Mn | 0.019 | 0.007 | 0.005 | 0.008 | 0.008 | 0.029 | 0.052 | 0.010 | 0.008 |
| M2Ca | 0.879 | 0.878 | 0.888 | 0.894 | 0.898 | 0.844 | 0.451 | 0.810 | 0.835 |
| M2Na | 0.035 | 0.045 | 0.040 | 0.039 | 0.043 | 0.104 | 0.553 | 0.037 | 0.041 |
| M2K | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Sum_cat | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 4.000 |
| Ca | 48.918 | 49.583 | 49.160 | 50.997 | 50.347 | 50.239 | 50.219 | 44.030 | 45.070 |
| Mg | 42.594 | 41.462 | 42.152 | 36.793 | 40.817 | 24.913 | 9.589 | 46.037 | 46.205 |
| Fe2_Mn | 8.488 | 8.954 | 8.689 | 12.210 | 8.837 | 24.848 | 40.192 | 9.933 | 8.725 |
| JD1 | 1.067 | 1.814 | 1.360 | 1.545 | 1.344 | 5.518 | 1.311 | 0.919 | 1.097 |
| AE1 | 0.865 | 0.693 | 0.795 | 0.666 | 1.012 | 0.420 | 38.227 | 1.057 | 1.058 |
| CFTS1 | 4.839 | 4.598 | 3.594 | 4.670 | 4.734 | 4.111 | 0.000 | 2.500 | 1.666 |
| CTTS1 | 2.477 | 3.009 | 2.660 | 4.767 | 2.509 | 2.240 | 4.134 | 2.149 | 1.789 |
| CATS1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| WO1 | 41.171 | 40.931 | 41.989 | 40.670 | 42.128 | 41.729 | 28.091 | 38.757 | 40.837 |
| EN1 | 42.218 | 40.589 | 41.366 | 36.150 | 40.026 | 23.842 | 6.153 | 45.385 | 45.407 |
| FS1 | 7.363 | 8.366 | 8.236 | 11.532 | 8.247 | 22.140 | 22.085 | 9.234 | 8.145 |
| Q | 1.778 | 1.764 | 1.800 | 1.744 | 1.775 | 1.651 | 0.846 | 1.829 | 1.845 |
| J | 0.070 | 0.091 | 0.079 | 0.079 | 0.086 | 0.208 | 1.106 | 0.074 | 0.081 |
| WO | 46.313 | 47.056 | 47.055 | 48.386 | 47.604 | 48.033 | 32.950 | 42.542 | 43.915 |
| EN | 40.325 | 39.349 | 40.347 | 34.908 | 38.593 | 23.819 | 6.292 | 44.482 | 45.020 |
| FS | 13.362 | 13.595 | 12.598 | 16.706 | 13.802 | 28.148 | 60.758 | 12.975 | 11.065 |
| WEF | 96.249 | 95.129 | 95.792 | 95.692 | 95.416 | 88.960 | 44.797 | 96.147 | 95.798 |
| JD | 0.602 | 1.249 | 0.995 | 0.972 | 0.881 | 6.145 | 2.071 | 0.811 | 1.252 |
| AE | 3.149 | 3.622 | 3.212 | 3.336 | 3.703 | 4.895 | 53.132 | 3.042 | 2.950 |

| Sample | 30.015 | 30.016 | 30.017 |
|----------|---------|---------|---------|
| Analysis | DeMin93 | DeMin93 | DeMin93 |
| Location | plaglc | plaglc | plaglc |
| Mineral | PIR | PIR | PIR |
| SiO2 | 51.35 | 50.52 | 48.68 |
| TiO2 | 1.25 | 1.19 | 1.62 |
| Al2O3 | 3.02 | 3.00 | 4.59 |
| FeO | 7.72 | 8.11 | 8.07 |
| Cr2O3 | 0.15 | 0.06 | 0.06 |
| MnO | 0.39 | 0.30 | 0.24 |
| NiO | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| MgO | 14.26 | 13.81 | 13.04 |
| CaO | 21.64 | 21.47 | 22.38 |
| Na2O | 0.37 | 0.90 | 0.59 |
| K2O | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Total | 100.15 | 99.36 | 99.27 |
| TSi | 1.903 | 1.882 | 1.822 |
| TAl | 0.097 | 0.118 | 0.178 |
| TFe3 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| M1Al | 0.035 | 0.014 | 0.024 |
| M1Ti | 0.035 | 0.033 | 0.046 |
| M1Fe3 | 0.013 | 0.100 | 0.103 |
| M1Fe2 | 0.124 | 0.084 | 0.098 |
| M1Cr | 0.004 | 0.002 | 0.002 |
| M1Mg | 0.788 | 0.767 | 0.728 |
| M1Ni | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| M2Mg | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| M2Fe2 | 0.102 | 0.069 | 0.052 |
| M2Mn | 0.012 | 0.009 | 0.008 |
| M2Ca | 0.859 | 0.857 | 0.898 |
| M2Na | 0.027 | 0.065 | 0.043 |
| M2K | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Sum_cat | 4.000 | 4.000 | 4.000 |
| Ca | 45.581 | 47.988 | 50.347 |
| Mg | 41.793 | 42.948 | 40.817 |
| Fe2_Mn | 12.626 | 9.063 | 8.837 |
| JD1 | 1.400 | 0.746 | 1.344 |
| AE1 | 0.000 | 2.784 | 1.012 |
| CFTS1 | 0.942 | 2.758 | 4.734 |
| CTTS1 | 1.835 | 1.811 | 2.509 |
| CATS1 | 0.454 | 0.000 | 0.000 |
| WO1 | 42.007 | 41.972 | 42.128 |
| EN1 | 41.477 | 41.653 | 40.026 |
| FS1 | 11.886 | 8.276 | 8.247 |
| Q | 1.873 | 1.776 | 1.775 |
| J | 0.053 | 0.130 | 0.086 |
| WO | 45.257 | 45.437 | 47.604 |
| EN | 41.496 | 40.665 | 38.593 |
| FS | 13.247 | 13.899 | 13.802 |
| WEF | 97.257 | 93.213 | 95.416 |
| JD | 1.983 | 0.818 | 0.881 |
| AE | 0.760 | 5.969 | 3.703 |

A4

Composição química, em porcentagem em peso, de espinélios
de rochas "lamprofíricas" do Paraguai.
(sp)

"Lamprófiros"

Ymi-1 (010.007-010.138a/b-ferocristais/microferocristais; 100.049-100.088-
inclusão; 1.102-1.145-matriz; 10.00-10.69-concentrado e; 10c.001-10c.002);
Ymi-4 (14.010-14.159);
Ymi-7 (17.001-17.008);
Yzu-1 (21.001-21.019);

"Lamproitos"

Ymi-5 (15.000-15.120);
Yzu-2 (22.000-22.164);
Yzu-3 (23.012-23.167);
Yzu-6 (26.000-26.011);

Rico em Mn: 10.068, 1.117, 1.130, 1.131, 1.136, 1.139, 1.140, 1.110, 1.113,
1.115, 1.120, 1.130, 1.136, 1.139, 1.140, 100.002, 14.159, 22.001, 22.154,
22.156, 22.162, 23.018, 23.152, 23.158.
Manganesífero: 100.062, 1.137, 14.102b, 15.000, 15.030, 15.104, 15.110,
26.000, 26.010

| SAMPLE | ANALYSIS | LOCATION | ANNUAL | R02 | T01 | AL203 | CR203 | FE2O3 | FE0 | MND | MOO | MO | ZNO | THER | ClOsm | TI | AL | TI | FEI | CR | MO | FEI | MK | THER |
|---------|----------|----------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|------|
| 10.90 | C | YMI-1-co | sp | 0.050 | 0.900 | 8,840 | 56,100 | 1,100 | 23,190 | 0.420 | 6,040 | 0.060 | 0.000 | 96,400 | 0.014 | 2,943 | 0.128 | 0.234 | 12,524 | 2,545 | 5,482 | 0.101 | 23,971 | |
| 10.98 | C | YMI-1 | sp | 0.030 | 0.850 | 7,710 | 51,890 | 9,430 | 21,390 | 0.400 | 7,590 | 0.060 | 0.000 | 98,920 | 0.008 | 2,501 | 0.135 | 1,693 | 11,244 | 3,117 | 4,921 | 0.093 | 23,972 | |
| 10.00 | C | YMI-1-co | sp | 0.020 | 0.990 | 8,040 | 52,150 | 8,720 | 21,840 | 0.360 | 7,450 | 0.050 | 0.000 | 99,320 | 0.005 | 2,597 | 0.142 | 1,798 | 11,294 | 3,048 | 5,009 | 0.084 | 23,975 | |
| 10.01 | C | YMI-1-co | sp | 0.000 | 0.710 | 8,890 | 53,410 | 10,890 | 18,450 | 0.330 | 5,430 | 0.090 | 0.000 | 97,970 | 0.000 | 2,887 | 0.147 | 2,218 | 11,832 | 2,232 | 4,255 | 0.077 | 23,448 | |
| 10.02 | C | YMI-1-co | sp | 0.040 | 0.980 | 8,780 | 54,300 | 3,000 | 23,840 | 0.300 | 5,770 | 0.050 | 0.000 | 96,720 | 0.011 | 2,917 | 0.140 | 0,838 | 12,125 | 2,432 | 5,638 | 0.072 | 23,973 | |
| 10.03 | C | YMI-1 | sp | 0.070 | 0.880 | 10,140 | 50,800 | 3,870 | 25,020 | 0.370 | 5,180 | 0.700 | 0.000 | 97,130 | 0.020 | 3,393 | 0.186 | 0,840 | 11,297 | 2,175 | 5,892 | 0.088 | 23,981 | |
| 10.04 | C | YMI-1 | sp | 0.180 | 0.510 | 8,610 | 57,250 | 0,990 | 23,850 | 0.300 | 8,040 | 0.140 | 0.000 | 98,070 | 0.050 | 2,888 | 0.107 | 0,207 | 12,578 | 2,505 | 5,549 | 0.071 | 23,953 | |
| 10.05 | C-173 | YMI-1 | sp | 0.190 | 0.900 | 9,320 | 52,080 | 5,480 | 21,850 | 0.230 | 7,590 | 0.100 | 0.000 | 97,840 | 0.052 | 3,025 | 0.187 | 1,135 | 11,336 | 3,119 | 5,080 | 0.054 | 23,968 | |
| 10.06 | C | YMI-1 | sp | 0.050 | 0.430 | 8,520 | 52,180 | 8,710 | 18,600 | 0.400 | 8,670 | 0.020 | 0.000 | 98,580 | 0.014 | 2,740 | 0.088 | 1,788 | 11,252 | 3,529 | 4,478 | 0.093 | 23,980 | |
| 10.11 | C | YMI-1 | sp | 0.110 | 0.540 | 11,290 | 51,400 | 9,010 | 17,850 | 0.530 | 6,410 | 0.070 | 0.000 | 97,310 | 0.030 | 3,631 | 0.111 | 1,850 | 11,084 | 2,909 | 4,099 | 0.123 | 23,537 | |
| 10.12 | C | YMI-1-co | sp | 0.220 | 1.530 | 8,530 | 51,540 | 5,710 | 19,140 | 0.220 | 9,410 | 0.090 | 0.000 | 96,990 | 0.081 | 2,779 | 0.318 | 1,187 | 11,259 | 3,881 | 4,428 | 0.052 | 23,985 | |
| 10.13 | C-173 | YMI-1 | sp | 0.290 | 1.580 | 7,990 | 53,720 | 5,270 | 18,300 | 0.180 | 10,180 | 0.080 | 0.000 | 97,570 | 0.079 | 2,585 | 0.320 | 1,080 | 11,583 | 4,137 | 4,172 | 0.042 | 23,958 | |
| 10.14 | C-173 | YMI-1 | sp | 0.280 | 1.100 | 8,890 | 50,550 | 8,750 | 18,470 | 0.390 | 10,360 | 0.140 | 0.000 | 100,080 | 0.074 | 3,109 | 0.219 | 1,739 | 10,551 | 4,094 | 4,082 | 0.087 | 23,955 | |
| 10.15 | C-173 | YMI-1 | sp | 0.170 | 1.590 | 8,180 | 53,650 | 5,810 | 19,270 | 0.120 | 9,740 | 0.140 | 0.000 | 98,440 | 0.048 | 2,807 | 0.322 | 1,144 | 11,495 | 3,940 | 4,372 | 0.028 | 23,954 | |
| 10.16 | C-173 | YMI-1 | sp | 0.220 | 0.480 | 8,200 | 55,430 | 7,920 | 18,490 | 0.330 | 10,110 | 0.060 | 0.000 | 101,270 | 0.058 | 2,549 | 0.095 | 1,572 | 11,558 | 3,979 | 4,082 | 0.074 | 23,995 | |
| 10.17 | C | YMI-1-co | sp | 0.100 | 0.540 | 8,300 | 55,200 | 0,720 | 22,440 | 0.220 | 5,900 | 0.100 | 0.000 | 93,750 | 0.029 | 2,845 | 0.118 | 0,156 | 12,687 | 2,590 | 5,482 | 0.054 | 23,913 | |
| 10.18 | C | YMI-1-co | sp | 0.110 | 0.950 | 9,760 | 50,840 | 4,330 | 23,120 | 0.340 | 8,350 | 0.050 | 0.000 | 95,850 | 0.031 | 3,249 | 0.202 | 0,920 | 11,349 | 2,878 | 5,485 | 0.081 | 23,973 | |
| 10.19 | C-173 | YMI-1 | sp | 0.140 | 1.270 | 12,220 | 49,070 | 3,810 | 23,890 | 0.250 | 8,790 | 0.100 | 0.000 | 97,340 | 0.038 | 3,953 | 0.262 | 0,787 | 10,843 | 2,780 | 5,441 | 0.058 | 23,982 | |
| 10.20 | C | YMI-1 | sp | 0.020 | 1.010 | 8,900 | 49,830 | 5,780 | 24,850 | 0.290 | 5,390 | 0.090 | 0.000 | 96,980 | 0.006 | 3,180 | 0.214 | 1,228 | 11,127 | 2,287 | 5,884 | 0.069 | 23,983 | |
| 10.21 | C-173 | YMI-1 | sp | 0.130 | 1.070 | 10,040 | 49,070 | 7,510 | 20,220 | 0.590 | 6,219 | 0.160 | 0.000 | 99,500 | 0.035 | 3,188 | 0.338 | 1,312 | 10,565 | 3,879 | 4,527 | 0.134 | 23,951 | |
| 10.22 | C-co | YMI-1 | sp | 0.020 | 0.370 | 10,280 | 43,500 | 13,300 | 18,180 | 0.710 | 8,140 | 0.090 | 0.000 | 95,570 | 0.008 | 3,388 | 0.078 | 2,802 | 9,627 | 3,401 | 4,495 | 0.189 | 23,984 | |
| 10.23 | C | YMI-1 | sp | 0.000 | 1.490 | 10,710 | 47,770 | 6,450 | 23,150 | 0.280 | 6,870 | 0.050 | 0.000 | 96,750 | 0.000 | 3,511 | 0.312 | 1,350 | 10,500 | 2,851 | 5,389 | 0.081 | 23,974 | |
| 10.24 | C | YMI-1 | sp | 0.000 | 1.080 | 11,480 | 48,440 | 7,650 | 20,080 | 0.240 | 6,030 | 0.100 | 0.000 | 96,680 | 0.000 | 3,691 | 0.348 | 1,573 | 10,029 | 3,881 | 4,588 | 0.058 | 23,984 | |
| 10.25 | C | YMI-1 | sp | 0.040 | 1.330 | 12,520 | 41,220 | 13,130 | 22,700 | 0.320 | 7,820 | 0.100 | 0.000 | 98,980 | 0.011 | 3,878 | 0.270 | 2,893 | 8,782 | 3,065 | 5,122 | 0.073 | 23,984 | |
| 10.26 | C | YMI-1 | sp | 0.000 | 1.300 | 11,810 | 43,550 | 13,360 | 20,600 | 0.370 | 9,000 | 0.100 | 0.000 | 98,890 | 0.000 | 3,639 | 0.280 | 2,873 | 9,153 | 3,571 | 4,585 | 0.083 | 23,984 | |
| 10.27 | C-173 | YMI-1 | sp | 0.190 | 2.330 | 10,870 | 48,430 | 7,510 | 20,350 | 0.210 | 8,860 | 0.110 | 0.000 | 97,680 | 0.051 | 3,400 | 0.474 | 1,528 | 9,921 | 3,977 | 4,805 | 0.048 | 24,004 | |
| 10.28 | C | YMI-1-co | sp | 0.100 | 1.490 | 8,800 | 49,530 | 4,090 | 18,320 | 0.140 | 8,180 | 0.140 | 0.150 | 91,640 | 0.029 | 3,014 | 0.328 | 0,894 | 11,374 | 3,548 | 4,898 | 0.034 | 23,915 | |
| 10.29 | C | YMI-1-fs | sp | 0.210 | 0.730 | 9,950 | 49,550 | 11,000 | 18,010 | 0.370 | 10,380 | 0.100 | 0.000 | 100,300 | 0.055 | 3,093 | 0.145 | 2,183 | 10,330 | 4,085 | 3,878 | 0.083 | 23,950 | |
| 10.31 | C | YMI-1 | sp | 0.150 | 1.480 | 8,880 | 49,480 | 4,890 | 18,220 | 0.280 | 8,440 | 0.050 | 0.030 | 92,490 | 0.043 | 2,848 | 0.324 | 1,018 | 11,288 | 3,835 | 4,843 | 0.089 | 23,988 | |
| 10.33 | C | YMI-1-co | sp | 0.110 | 0.800 | 9,180 | 48,040 | 8,920 | 21,130 | 0.470 | 7,870 | 0.050 | 0.000 | 97,350 | 0.031 | 2,893 | 0.187 | 2,089 | 10,527 | 3,173 | 4,903 | 0.110 | 23,973 | |
| 10.34 | C | YMI-1-fs | sp | 0.240 | 2.200 | 11,480 | 42,470 | 11,470 | 22,210 | 0.230 | 8,550 | 0.180 | 0.000 | 99,040 | 0.084 | 3,638 | 0.445 | 2,317 | 9,013 | 3,425 | 4,992 | 0.052 | 23,944 | |
| 10.35 | C | YMI-1-co | sp | 0.210 | 1.820 | 8,990 | 47,870 | 8,310 | 17,950 | 0.140 | 9,320 | 0.180 | 0.300 | 92,870 | 0.080 | 3,031 | 0.349 | 1,358 | 10,777 | 3,978 | 4,298 | 0.034 | 23,885 | |
| 10.36 | C | YMI-1-co | sp | 0.030 | 1.250 | 10,950 | 49,740 | 4,150 | 22,240 | 0.800 | 7,020 | 0.080 | 0.000 | 96,040 | 0.008 | 3,801 | 0.283 | 0,871 | 10,989 | 2,923 | 5,194 | 0.142 | 23,971 | |
| 10.37 | C | YMI-1-fs | sp | 0.170 | 1.510 | 12,520 | 39,790 | 13,590 | 22,430 | 0.400 | 7,810 | 0.110 | 0.000 | 98,330 | 0.048 | 3,895 | 0.308 | 2,788 | 8,514 | 3,155 | 5,083 | 0.092 | 23,981 | |
| 10.38 | C | YMI-1-fs | sp | 0.200 | 2.470 | 9,980 | 39,510 | 17,070 | 18,830 | 0.380 | 10,110 | 0.080 | 0.000 | 99,590 | 0.053 | 3,131 | 0.496 | 3,428 | 8,329 | 4,024 | 4,427 | 0.081 | 23,987 | |
| 10.39 | C | YMI-1-co | sp | 0.140 | 1.890 | 13,580 | 39,480 | 13,980 | 17,490 | 0.230 | 10,870 | 0.180 | 0.100 | 96,700 | 0.037 | 4,271 | 0.340 | 2,828 | 8,333 | 4,373 | 3,912 | 0.052 | 23,944 | |
| 10.40 | C-173 | YMI-1 | sp | 0.230 | 2.040 | 19,580 | 33,110 | 15,230 | 19,170 | 0.280 | 11,730 | 0.150 | 0.000 | 101,500 | 0.057 | 5,739 | 0.382 | 2,852 | 8,514 | 4,357 | 3,994 | 0.059 | 23,954 | |
| 10.41 | C-173 | YMI-1 | sp | 0.270 | 2.810 | 22,440 | 29,490 | 13,840 | 19,440 | 0.180 | 12,060 | 0.200 | 0.000 | 100,880 | 0.087 | 8,533 | 0.485 | 2,591 | 5,757 | 4,458 | 4,019 | 0.038 | 23,948 | |
| 10.42 | XC-173 | YMI-1 | sp | 0.270 | 0.380 | 33,330 | 33,250 | 0,500 | 14,580 | 0.220 | 14,880 | 0.210 | 0.000 | 96,830 | 0.080 | 8,720 | 0.084 | 0,879 | 5,834 | 4,683 | 3,888 | 0.041 | 24,049 | |
| 10.43 | XC-173 | YMI-1 | sp | 0.180 | 0.110 | 23,280 | 38,840 | 7,300 | 17,890 | 0.290 | 11,310 | 0.180 | 0.000 | 99,210 | 0.045 | 8,850 | 0.021 | 1,372 | 7,831 | 4,219 | 3,782 | 0.055 | 23,952 | |
| 10.44 | C | YMI-1 | sp | 0.000 | 4.990 | 2,890 | 19,990 | 33,890 | 32,680 | 0.090 | 1,880 | 0.010 | 0.000 | 96,280 | 0.000 | 1,074 | 1,148 | 7,787 | 4,829 | 0,788 | 8,358 | 0.023 | 23,983 | |
| 10.45 | C | YMI-1 | sp | 0.040 | 28.010 | 0.470 | 0.000 | 11,100 | 53,800 | 0.330 | 0.880 | 0.090 | 0.000 | 94,720 | 0.013 | 0.173 | 8,505 | 2,812 | 0.000 | 0.411 | 14,083 | 0.087 | 23,974 | |
| 10.46 | C | YMI-1 | sp | 0.150 | 16,880 | 0.990 | 0.040 | 32,720 | 44,840 | 0.380 | 0.820 | 0.010 | 0.000 | 96,570 | 0.048 | 0.381 | 3,858 | 7,818 | 0.010 | 0.379 | 11,520 | 0.100 | 23,990 | |
| 10.47 | C | YMI-1 | sp | 0.200 | 14,180 | 2.450 | 0.040 | 37,220 | 41,830 | 0.480 | 1,220 | 0.000 | 0.000 | 97,600 | 0.081 | 0.877 | 3,241 | 6,502 | 0.010 | 0.553 | 10,829 | 0.118 | 23,991 | |
| 10.48 | C | YMI-1 | sp | 0.150 | 25,110 | 0.270 | 0.000 | 16,720 | 50,880 | 0.350 | 1,010 | 0.100 | 0.000 | 94,890 | 0.047 | 0.100 | 5,829 | 3,848 | 0.000 | 0.473 | 13,383 | 0.093 | 23,971 | |
| 10.87 | C-173 | YMI-1 | sp | 0.180 | 0.510 | 9,230 | 54,980 | 3,940 | 20,440 | 0.320 | 8,300 | 0.050 | 0.000 | 97,930 | 0.049 | 2,677 | 0.105 | 0,811 | 11,887 | 3,389 | 4,882 | 0.074 | 23,974 | |
| 10.88 | C-173 | YMI-1 | sp | 0.510 | 30,100 | 1,780 | 0,090 | 1,980 | 54,720 | 2,500 | 0.120 | 0.070 | 0.000 | 91,850 | 0.183 | 0.672 | 7,254 | 0.472 | 0.023 | 0.057 | 14,881 | 0.878 | 23,980 | |
| 100.048 | XI100250 | YMI-1-d | sp | 0.250 | 0.850 | 9,740 | 53,080 | 8,230 | 15,020 | 0.200 | 12,520 | 0.250 | 0.000 | 100,120 | 0.085 | 2,989 | 0.187 | 1,812 | 10,819 | 4,684 | 3,273 | 0.044 | 23,933 | |
| 100.050 | XI | YMI-1-p1 | sp | 0.170 | 1,090 | 9,360 | 51,810 | 8,470 | 14,900 | 0.300 | 12,520 | 0.100 | 0.000 | 99,520 | 0.045 | 2,894 | 0.215 | 1,889 | 10,701 | 4,901 | 3,272 | 0.087 | 23,984 | |
| 100.051 | XI | YMI-1-d | sp | 0.230 | 1,180 | 11,890 | 51,210 | 5,810 | 14,820 | 0.130 | 12,890 | 0.190 | 0.000 | 98,220 | 0.080 | 3,659 | 0.233 | 1,144 | 10,595 | 4,958 | 3,289 | 0.029 | 23,945 | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|
| 100.072 | f-100010 | YMI-1-p1 | sp | 0.070 | 1,770 | 10,850 | 40,420 | 15,860 | 20,240 | 0.200 | 9,280 | 0.170 | 0.000 | 88,880 | 0.019 | 3,448 | 0.359 | 3,175 | 8,808 | 3,731 | 4,565 | 0.046 | 23,048 |
| 100.073 | f | YMI-1-p1 | sp | 0.200 | 1,380 | 8,800 | 48,770 | 10,980 | 28,830 | 0.810 | 4,850 | 0.080 | 0.000 | 100,480 | 0.055 | 2,857 | 0.282 | 2,271 | 10,181 | 1,983 | 6,185 | 0.142 | 23,988 |
| 100.074 | f-100020 | YMI-1-p1 | sp | 0.080 | 0,880 | 9,960 | 44,110 | 15,450 | 20,410 | 0.270 | 8,830 | 0.170 | 0.000 | 100,150 | 0.024 | 3,143 | 0.173 | 3,112 | 8,334 | 3,527 | 4,574 | 0.081 | 23,948 |
| 100.075 | f-100010 | YMI-1-p1 | sp | 0.150 | 0,940 | 10,550 | 41,180 | 15,580 | 20,510 | 0.230 | 9,480 | 0.090 | 0.000 | 97,880 | 0.041 | 3,404 | 0.184 | 3,211 | 8,905 | 3,455 | 4,999 | 0.053 | 23,962 |
| 100.076 | X1100330 | YMI-1-d | sp | 0.230 | 1,300 | 11,240 | 48,430 | 11,400 | 17,280 | 0.280 | 11,270 | 0.280 | 0.000 | 99,870 | 0.080 | 3,475 | 0.257 | 2,250 | 8,828 | 4,411 | 3,784 | 0.058 | 23,971 |
| 100.077 | f | YMI-1-p1 | sp | 0.210 | 1,370 | 11,710 | 38,430 | 17,980 | 20,830 | 0.350 | 8,850 | 0.170 | 0.230 | 99,810 | 0.058 | 3,880 | 0.275 | 3,543 | 8,090 | 3,521 | 4,648 | 0.078 | 23,902 |
| 100.078 | f | YMI-1-d | sp | 0.510 | 1,080 | 11,890 | 38,420 | 18,840 | 20,350 | 0.330 | 9,220 | 0.190 | 0.000 | 88,840 | 0.137 | 3,751 | 0.220 | 3,392 | 8,128 | 3,682 | 4,559 | 0.075 | 23,944 |
| 100.079 | f-10008 | YMI-1-p1 | sp | 0.120 | 3,030 | 10,020 | 20,470 | 32,580 | 27,280 | 0.430 | 5,280 | 0.080 | 0.000 | 99,230 | 0.034 | 3,285 | 0.638 | 8,838 | 4,513 | 2,189 | 8,385 | 0.102 | 23,972 |
| 100.080 | f | YMI-1-p1 | sp | 1,210 | 7,520 | 8,840 | 17,240 | 21,480 | 33,330 | 0.340 | 3,830 | 0.070 | 0.290 | 93,920 | 0.359 | 3,088 | 1,878 | 4,790 | 4,039 | 1,605 | 8,289 | 0.085 | 23,913 |
| 100.081a | XI | YMI-1-d | sp | 0.220 | 0,720 | 10,280 | 50,210 | 8,720 | 24,000 | 0.840 | 5,210 | 0.110 | 0.000 | 98,110 | 0.081 | 3,380 | 0.150 | 1,402 | 11,005 | 2,158 | 5,571 | 0.150 | 23,855 |
| 100.081b | f | YMI-1-d | sp | 0.200 | 17,480 | 4,820 | 4,010 | 21,480 | 42,280 | 0.370 | 2,190 | 0.130 | 0.000 | 92,750 | 0.082 | 1,892 | 4,085 | 5,022 | 0,985 | 1,015 | 11,000 | 0.097 | 23,958 |
| 100.082 | f-0px | YMI-1-d | sp | 0.180 | 1,630 | 9,510 | 53,010 | 8,750 | 13,810 | 0.240 | 14,090 | 0.150 | 0.000 | 101,150 | 0.041 | 2,888 | 0.314 | 1,863 | 10,714 | 5,378 | 2,913 | 0.052 | 23,959 |
| 100.083 | fx-0px | YMI-1-d | sp | 0.170 | 0,990 | 7,930 | 55,280 | 8,300 | 15,050 | 0.150 | 11,980 | 0.180 | 0.000 | 98,010 | 0.048 | 2,507 | 0.200 | 1,271 | 11,715 | 4,794 | 3,378 | 0.034 | 23,948 |
| 100.084 | fx-0px | YMI-1-d | sp | 0.270 | 1,470 | 9,210 | 52,840 | 7,150 | 14,810 | 0.300 | 12,780 | 0.230 | 0.000 | 98,840 | 0.071 | 2,884 | 0.292 | 1,419 | 10,975 | 5,022 | 3,228 | 0.087 | 23,930 |
| 100.085 | fx | YMI-1-d | sp | 0.190 | 1,870 | 9,740 | 45,240 | 17,890 | 11,070 | 0.180 | 15,820 | 0.220 | 0.000 | 102,070 | 0.048 | 2,888 | 0.318 | 3,383 | 8,988 | 5,952 | 2,328 | 0.038 | 23,940 |
| 100.088 | fx100120 | YMI-1-p1 | sp | 0.280 | 1,010 | 10,780 | 52,480 | 8,710 | 7,400 | 0.230 | 17,380 | 0.190 | 0.000 | 98,470 | 0.071 | 3,233 | 0.193 | 1,867 | 10,554 | 8,802 | 1,578 | 0.050 | 23,948 |
| 100.087 | fx100120 | YMI-1-p1 | sp | 0.210 | 0,890 | 10,120 | 52,780 | 8,210 | 14,720 | 0.170 | 12,770 | 0.230 | 0.000 | 100,100 | 0.055 | 3,086 | 0.174 | 1,803 | 10,828 | 4,945 | 3,198 | 0.037 | 23,938 |
| 010.082 | f | YMI-1-p1 | sp | 0.130 | 0,750 | 9,870 | 53,180 | 8,700 | 10,350 | 0.370 | 14,440 | 0.220 | 0.100 | 98,980 | 0.035 | 3,085 | 0.150 | 1,341 | 11,178 | 5,732 | 2,305 | 0.083 | 23,919 |
| 010.083 | f | YMI-1-d | sp | 0.280 | 1,010 | 10,780 | 53,480 | 8,700 | 7,390 | 0.230 | 17,390 | 0.190 | 0.000 | 99,450 | 0.071 | 3,203 | 0.192 | 1,850 | 10,858 | 8,541 | 1,559 | 0.049 | 23,921 |
| 010.084 | f | YMI-1-d | sp | 0.220 | 0,720 | 10,280 | 50,210 | 8,720 | 24,000 | 0.840 | 8,210 | 0.110 | 0.000 | 99,110 | 0.080 | 3,317 | 0.148 | 1,384 | 10,885 | 2,537 | 5,500 | 0.148 | 23,960 |
| 010.085a | f | YMI-1-d | sp | 0.210 | 1,130 | 8,780 | 45,980 | 7,150 | 20,240 | 0.580 | 7,130 | 0.070 | 0.000 | 91,130 | 0.062 | 3,052 | 0.251 | 1,590 | 10,715 | 3,145 | 5,008 | 0.145 | 23,988 |
| 010.085b | f | YMI-1-d | sp | 0.270 | 13,480 | 8,380 | 9,890 | 18,810 | 39,770 | 0.290 | 2,480 | 0.070 | 0.000 | 88,200 | 0.089 | 2,484 | 3,336 | 4,108 | 2,570 | 1,207 | 10,117 | 0.081 | 23,972 |
| 010.086a | f | YMI-1-p1 | sp | 0.170 | 0,840 | 8,450 | 48,850 | 8,710 | 21,530 | 0.780 | 9,990 | 0.110 | 0.000 | 91,400 | 0.051 | 2,988 | 0.188 | 1,504 | 11,033 | 2,845 | 5,370 | 0.200 | 23,959 |
| 010.086b | f | YMI-1-p1 | sp | 0.380 | 8,070 | 9,250 | 19,590 | 15,750 | 31,300 | 0.280 | 3,730 | 0.030 | 0.000 | 88,340 | 0.113 | 3,411 | 1,901 | 3,707 | 4,844 | 1,741 | 8,198 | 0.089 | 23,962 |
| 010.087a | f | YMI-1-p1 | sp | 0.280 | 0,910 | 9,890 | 49,830 | 8,740 | 24,310 | 0.590 | 8,110 | 0.020 | 0.000 | 98,880 | 0.072 | 3,212 | 0.189 | 1,397 | 10,853 | 2,512 | 5,607 | 0.138 | 23,980 |
| 010.087b | f | YMI-1-p1 | sp | 0.090 | 10,180 | 8,470 | 9,500 | 30,880 | 34,840 | 0.530 | 3,340 | 0.140 | 0.000 | 95,970 | 0.027 | 2,283 | 2,274 | 8,895 | 2,226 | 1,479 | 8,854 | 0.133 | 23,953 |
| 010.088a | f | YMI-1-p1 | sp | 0.250 | 0,850 | 9,340 | 47,220 | 8,470 | 21,180 | 0.870 | 8,830 | 0.170 | 0.000 | 92,980 | 0.073 | 3,185 | 0.188 | 1,413 | 10,831 | 2,957 | 5,140 | 0.185 | 23,980 |
| 010.088b | f | YMI-1-p1 | sp | 0.200 | 10,050 | 8,980 | 14,770 | 40,450 | 13,410 | 0.280 | 3,240 | 0.130 | 0.000 | 91,400 | 0.058 | 3,024 | 2,184 | 8,784 | 3,389 | 1,395 | 3,239 | 0.084 | 23,917 |
| 010.089a | f | YMI-1-p1 | sp | 0.190 | 1,080 | 9,900 | 49,930 | 8,280 | 21,310 | 0.510 | 7,820 | 0.130 | 0.240 | 97,170 | 0.053 | 3,225 | 0.221 | 1,308 | 10,908 | 3,143 | 4,900 | 0.120 | 23,988 |
| 010.089b | f | YMI-1-p1 | sp | 0.200 | 11,050 | 8,180 | 12,250 | 24,510 | 38,280 | 0.340 | 3,280 | 0.100 | 0.380 | 96,570 | 0.056 | 2,814 | 2,428 | 5,382 | 2,828 | 1,428 | 8,882 | 0.084 | 23,982 |
| 010.090a | f | YMI-1-p1 | sp | 0.090 | 1,250 | 7,510 | 43,890 | 10,400 | 23,830 | 2,290 | 3,870 | 0.300 | 0.700 | 93,730 | 0.027 | 2,844 | 0.291 | 2,337 | 10,361 | 1,835 | 5,807 | 0.580 | 23,772 |
| 010.090b | f | YMI-1-p1 | sp | 0.220 | 14,830 | 2,540 | 3,040 | 28,880 | 41,080 | 0.490 | 0,780 | 0.100 | 0.290 | 92,000 | 0.071 | 0,983 | 3,591 | 8,938 | 0,773 | 0,374 | 11,080 | 0.125 | 23,883 |
| 010.091a | f | YMI-1-d | sp | 0.070 | 2,190 | 8,230 | 41,720 | 18,970 | 22,110 | 0.380 | 8,230 | 0.120 | 0.000 | 100,000 | 0.018 | 2,833 | 0.448 | 3,488 | 8,952 | 3,334 | 5,024 | 0.083 | 23,959 |
| 010.091b | f | YMI-1-d | sp | 0.230 | 10,800 | 7,340 | 8,030 | 33,530 | 38,580 | 0.750 | 3,480 | 0.130 | 0.000 | 100,870 | 0.085 | 2,442 | 2,252 | 7,121 | 1,791 | 1,488 | 8,842 | 0.179 | 23,958 |
| 010.092 | f | YMI-1-p1 | sp | 0.110 | 1,170 | 9,140 | 47,140 | 7,770 | 24,580 | 0.880 | 5,180 | 0.050 | 0.040 | 95,880 | 0.032 | 3,083 | 0.252 | 1,873 | 10,882 | 2,212 | 5,887 | 0.185 | 23,968 |
| 010.093a | f | YMI-1-p1 | sp | 0.250 | 1,380 | 9,050 | 45,830 | 8,020 | 19,810 | 1,130 | 7,830 | 0.030 | 0.000 | 93,210 | 0.072 | 3,089 | 0.295 | 1,738 | 10,448 | 3,382 | 4,723 | 0.278 | 23,978 |
| 010.093b | f | YMI-1-p1 | sp | 0.120 | 12,730 | 7,390 | 12,820 | 15,800 | 34,700 | 0.430 | 3,490 | 0.090 | 0.000 | 87,340 | 0.038 | 2,777 | 3,088 | 3,194 | 1,867 | 9,299 | 0.117 | 23,966 | |
| 010.094a | f | YMI-1-p1 | sp | 0.210 | 1,130 | 8,780 | 45,880 | 7,150 | 20,240 | 0.580 | 7,130 | 0.070 | 0.000 | 91,130 | 0.082 | 3,052 | 0.251 | 1,590 | 10,715 | 3,145 | 5,008 | 0.145 | 23,988 |
| 010.094b | f | YMI-1-p1 | sp | 0.270 | 13,480 | 8,380 | 9,890 | 18,810 | 39,770 | 0.290 | 2,480 | 0.070 | 0.000 | 88,200 | 0.089 | 2,484 | 3,308 | 4,073 | 2,548 | 1,198 | 10,304 | 0.080 | 24,008 |
| 010.097a | f | YMI-1-p1 | sp | 0.110 | 2,550 | 10,770 | 33,080 | 17,750 | 25,020 | 0.780 | 5,570 | 0.180 | 0.180 | 95,870 | 0.031 | 3,807 | 0.548 | 3,795 | 7,430 | 2,382 | 5,951 | 0.188 | 23,910 |
| 010.097b | f | YMI-1-p1 | sp | 0.100 | 18,170 | 3,360 | 7,700 | 22,140 | 41,450 | 0.880 | 1,550 | 0.090 | 0.140 | 93,580 | 0.031 | 1,243 | 3,797 | 5,189 | 1,898 | 0,721 | 10,822 | 0.227 | 23,935 |
| 010.098 | f | YMI-1-d | sp | 0.220 | 1,350 | 10,080 | 23,210 | 30,770 | 23,750 | 0.300 | 5,880 | 0.140 | 0.230 | 95,890 | 0.083 | 3,398 | 0.291 | 8,830 | 5,253 | 2,504 | 5,893 | 0.073 | 23,903 |
| 010.099 | f | YMI-1-d | sp | 0.480 | 10,910 | 3,120 | 18,300 | 28,120 | 39,070 | 1,640 | 0,930 | 0.040 | 0.000 | 98,810 | 0.143 | 1,097 | 2,450 | 5,882 | 3,843 | 0,414 | 9,755 | 0.415 | 23,979 |
| 010.007 | mf | YMI-1-d | sp | 0.080 | 12,890 | 2,580 | 11,880 | 28,180 | 39,880 | 2,090 | 0,770 | 0.050 | 0.000 | 98,350 | 0.024 | 9,908 | 2,914 | 6,381 | 2,829 | 0,348 | 10,048 | 0.533 | 23,978 |
| 010.008 | mf | YMI-1-d | sp | 0.180 | 12,700 | 3,270 | 11,080 | 27,790 | 39,870 | 1,900 | 0,850 | 0.010 | 0.000 | 97,650 | 0.054 | 1,183 | 2,884 | 8,308 | 2,842 | 0,383 | 10,068 | 0.488 | 23,988 |
| 010.009 | mf | YMI-1-d | sp | 0.150 | 11,870 | 5,410 | 6,080 | 32,540 | 39,700 | 0.880 | 2,090 | 0.070 | 0.000 | 100,870 | 0.043 | 1,835 | 2,583 | 7,045 | 1,838 | 0,897 | 9,581 | 0.181 | 23,973 |
| 010.010 | mf | YMI-1-d | sp | 0.080 | 12,880 | 3,980 | 6,780 | 32,380 | 40,110 | 0.780 | 1,850 | 0.030 | 0.000 | 98,810 | 0.018 | 1,392 | 2,877 | 7,224 | 1,585 | 0,730 | 9,981 | 0.198 | 23,983 |
| 010.010 | mf | YMI-1-p1 | sp | 0.220 | 24,080 | 4,350 | 1,730 | 13,840 | 48,580 | 0.410 | 2,700 | 0.070 | 0.000 | 95,790 | 0.088 | 1,534 | 5,425 | 3,070 | 0,409 | 1,205 | 12,164 | 0.104 | 23,977 |
| 010.133a | mf | YMI-1-p1 | sp | 0.120 | 15,810 | 7,550 | 5,890 | 22,340 | 39,300 | 0.780 | 3,710 | 0.070 | 0.000 | 95,340 | 0.035 | 2,824 | 3,510 | 4,857 | 1,319 | 1,832 | 9,701 | 0.195 | 23,973 |
| 010.121 | mf | YMI-1-d | sp | 0.110 | 15,510 | 3,100 | 3,180 | 32,400 | 42,040 | 0.880 | 1,900 | 0.100 | 0.000 | 99,230 | 0.033 | 1,080 | 3,450 | 7,203 | 0,743 | 0,838 | 10,398 | 0.223 | 23,988 |
| 010.118 | mf | YMI-1-d | sp | 0. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|----|-------|----|-------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|
| 21.012 | gm | YZU-1 | sp | 0.060 | 10,550 | 2,240 | 0.150 | 24,530 | 46,100 | 0.690 | 1,330 | 0.130 | 0,000 | 95,810 | 0,212 | 0,612 | 4,524 | 5,673 | 0,036 | 0,610 | 11,881 | 0,232 | 23,060 |
| 21.013 | gm | YZU-1 | sp | 0,290 | 10,450 | 2,410 | 0,080 | 27,110 | 45,350 | 0,790 | 1,880 | 0,100 | 0,000 | 97,460 | 0,067 | 0,855 | 4,405 | 6,137 | 0,019 | 0,844 | 11,420 | 0,201 | 23,068 |
| 21.014 | gm | YZU-1 | sp | 0,340 | 10,180 | 2,260 | 0,140 | 27,920 | 44,190 | 0,950 | 2,430 | 0,000 | 0,000 | 97,390 | 0,102 | 0,799 | 4,328 | 6,303 | 0,003 | 1,088 | 11,097 | 0,242 | 23,992 |
| 21.015 | gm | YZU-1 | sp | 1,080 | 21,340 | 2,470 | 0,230 | 20,100 | 48,140 | 0,730 | 1,670 | 0,000 | 0,000 | 95,760 | 0,329 | 0,687 | 4,694 | 4,807 | 0,055 | 0,759 | 12,274 | 0,189 | 23,994 |
| 21.016 | gm | YZU-1 | sp | 0,150 | 10,430 | 2,300 | 0,050 | 27,470 | 44,760 | 0,880 | 2,060 | 0,000 | 0,000 | 97,060 | 0,045 | 0,619 | 4,418 | 6,240 | 0,012 | 0,928 | 11,312 | 0,220 | 23,992 |
| 21.017 | gm | YZU-1 | sp | 1,330 | 18,440 | 2,420 | 0,180 | 24,310 | 45,810 | 0,980 | 1,250 | 0,040 | 0,000 | 94,760 | 0,412 | 0,682 | 4,294 | 5,657 | 0,044 | 0,577 | 11,860 | 0,257 | 23,983 |
| 21.018 | gm | YZU-1 | sp | 1,190 | 19,850 | 2,660 | 0,010 | 22,590 | 46,940 | 0,740 | 1,590 | 0,080 | 0,000 | 95,670 | 0,363 | 0,964 | 4,559 | 5,185 | 0,002 | 0,724 | 11,965 | 0,191 | 23,973 |
| 21.019 | gm | YZU-1 | sp | 0,200 | 18,180 | 2,500 | 0,450 | 26,120 | 42,410 | 0,720 | 2,800 | 0,030 | 0,000 | 95,210 | 0,061 | 0,902 | 4,191 | 6,478 | 0,109 | 1,168 | 10,889 | 0,167 | 23,965 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|----|-------|----|-------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|
| 28 008 | גמ | YZU-8 | sp | 0.090 | 18,230 | 0.250 | 0.090 | 24,880 | 40,060 | 3,520 | 0.380 | 0.090 | 0.000 | 87,810 | 0.031 | 0.101 | 4,898 | 8,410 | 0.024 | 0.184 | 11,487 | 1,022 | 23,988 |
| 28 009 | גמ | YZU-8 | sp | 0.350 | 14,490 | 0.260 | 0.010 | 34,730 | 38,450 | 3,990 | 0.010 | 0.210 | 0.000 | 92,500 | 0.114 | 0.100 | 3,583 | 8,535 | 0.003 | 0.005 | 10,511 | 1,105 | 23,938 |
| 28 010 | גמ | YZU-8 | sp | 0.870 | 24,990 | 0.240 | 0.050 | 10,850 | 48,100 | 3,080 | 0.200 | 0.050 | 0.000 | 88,230 | 0.226 | 0.065 | 6,343 | 2,752 | 0.013 | 0.101 | 13,573 | 0,880 | 23,983 |
| 28 011 | גמ | YZU-8 | sp | 0.330 | 13,180 | 0.260 | 0.030 | 34,940 | 39,530 | 0,550 | 0.150 | 0.020 | 0.000 | 88,070 | 0.112 | 0.104 | 3,384 | 8,027 | 0.008 | 0.078 | 11,236 | 0,158 | 23,984 |

A5

**Composição química, em porcentagem em peso, de anfíbólios
de rochas “lamprofíricas” do Paraguai.**

(ANF)

“Lamprófiro”

Ymi-1 (10.000-10.011, 10c.000-10c.003);

Ymi-4 (14.000-14.005);

Ymi-7 (17.000-17.004);

Yzu-1 (21.000).

“Lamproítos”

Ymi-5 (15.000-15.005);

Yzu-2 (22.000-22.005);

Yzu-3 (23.000);

Yzu-6 (26.001-26.007).

| Sample | 10.000 | 10.001 | 10.002 | 10.003 | 10.004 | 10.005 | 10.006a | 10.006b | 10.007 |
|----------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|----------|
| Analysis | gm | gm | gm | gm | gm | gm | fen | fen | gm |
| Location | YMI-1-p1 | YMI-1-d | YMI-1-p2 | YMI-1-p2 | YMI-1-p2 | YMI-1-p1 | YMI-1-d | YMI-1-d | YMI-1-p2 |
| Mineral | ANF | ANF | ANF | ANF | ANF | ANF | ANF | ANF | ANF |
| SiO2 | 50.14 | 39.28 | 46.12 | 39.17 | 45.23 | 37.16 | 48.94 | 48.61 | 47.35 |
| TiO2 | 2.59 | 3.85 | 0.11 | 0.06 | 1.38 | 0.28 | 1.10 | 1.35 | 1.38 |
| Al2O3 | 16.59 | 15.02 | 0.29 | 3.13 | 4.86 | 7.54 | 4.08 | 5.09 | 4.55 |
| FeO | 8.50 | 16.28 | 25.11 | 18.10 | 7.80 | 21.10 | 7.50 | 7.65 | 7.66 |
| Cr2O3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.01 |
| MnO | 0.12 | 0.23 | 0.11 | 0.09 | 0.14 | 0.11 | 0.16 | 0.15 | 0.20 |
| MgO | 9.25 | 8.38 | 19.27 | 24.19 | 14.42 | 21.23 | 14.80 | 15.34 | 14.12 |
| CaO | 0.19 | 1.74 | 0.41 | 1.45 | 22.38 | 0.31 | 21.47 | 20.69 | 22.51 |
| Na2O | 1.54 | 1.27 | 0.36 | 0.27 | 0.41 | 0.94 | 0.52 | 0.35 | 0.41 |
| K2O | 8.81 | 6.59 | 1.29 | 1.05 | 0.00 | 1.76 | 0.00 | 0.04 | 0.00 |
| F | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Cl | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Total | 97.73 | 92.64 | 93.07 | 87.51 | 96.62 | 90.43 | 98.57 | 99.27 | 98.18 |
| O_F_Cl | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| O_F | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| O_Cl | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| H2O | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| CTotal | 97.73 | 92.64 | 93.07 | 87.51 | 96.62 | 90.43 | 98.57 | 99.27 | 98.18 |
| TSi | 7.126 | 6.252 | 7.349 | 6.541 | 6.769 | 6.112 | 7.091 | 6.979 | 6.938 |
| TAI | 0.874 | 1.748 | 0.054 | 0.616 | 0.857 | 1.461 | 0.696 | 0.861 | 0.785 |
| TFe3 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| TTi | 0.000 | 0.000 | 0.013 | 0.008 | 0.155 | 0.035 | 0.120 | 0.146 | 0.152 |
| Sum_T | 8.000 | 8.000 | 7.416 | 7.164 | 7.781 | 7.608 | 7.908 | 7.985 | 7.875 |
| CAI | 1.903 | 1.067 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| CCr | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.005 | 0.000 | 0.000 | 0.002 | 0.001 |
| CFe3 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| CTi | 0.277 | 0.461 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| CMg | 1.960 | 1.988 | 4.577 | 5.000 | 3.217 | 5.000 | 3.197 | 3.283 | 3.084 |
| CFe2 | 0.860 | 1.484 | 0.423 | 0.000 | 0.976 | 0.000 | 0.909 | 0.919 | 0.939 |
| CMn | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.018 | 0.000 | 0.020 | 0.018 | 0.025 |
| CCa | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.784 | 0.000 | 0.874 | 0.778 | 0.951 |
| Sum_C | 5.000 | 5.000 | 5.000 | 5.000 | 5.000 | 5.000 | 5.000 | 5.000 | 5.000 |
| BMg | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.022 | 0.000 | 0.206 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| BFe2 | 0.150 | 0.683 | 2.923 | 2.528 | 0.000 | 2.903 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| BMn | 0.014 | 0.031 | 0.015 | 0.013 | 0.000 | 0.015 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| BCa | 0.029 | 0.297 | 0.000 | 0.000 | 2.000 | 0.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 |
| BNa | 0.424 | 0.392 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Sum_B | 0.618 | 1.403 | 2.938 | 3.563 | 2.000 | 3.124 | 2.000 | 2.000 | 2.000 |
| ACa | 0.000 | 0.000 | 0.070 | 0.259 | 0.804 | 0.055 | 0.459 | 0.405 | 0.583 |
| ANa | 0.000 | 0.000 | 0.111 | 0.087 | 0.119 | 0.300 | 0.146 | 0.097 | 0.116 |
| AK | 1.597 | 1.338 | 0.262 | 0.224 | 0.000 | 0.369 | 0.000 | 0.007 | 0.000 |
| Sum_A | 1.597 | 1.338 | 0.443 | 0.571 | 0.923 | 0.724 | 0.605 | 0.510 | 0.699 |
| Sum_cat | 15.215 | 15.741 | 15.798 | 16.298 | 15.704 | 16.455 | 15.512 | 15.495 | 15.574 |
| CCl | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| CF | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| OH | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Sum_ox | 22.996 | 22.996 | 23.000 | 22.999 | 22.999 | 22.998 | 22.999 | 22.999 | 22.999 |

| Sample | 10.008 | 10.010 | 10.011 | 10.c000 | 10.c001 | 10.c002 | 10.c003 | 12.001 | 14.000 |
|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|
| Analysis | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm | bor.mica |
| Location | YMI-1-p2 | YMI-1-d | YMI-1-d | YMI-1C | YMI-1C | YMI-1C | YMI-1C | | YMI-4-1 |
| Mineral | ANF | ANF | ANF | ANF | ANF | ANF | ANF | ANF | ANF |
| SiO2 | 34.09 | 58.77 | 53.91 | 43.53 | 53.85 | 42.24 | 40.39 | 53.75 | 39.23 |
| TiO2 | 1.80 | 0.06 | 0.70 | 0.00 | 0.19 | 4.62 | 0.89 | 0.82 | 0.03 |
| Al2O3 | 17.41 | 25.67 | 7.50 | 4.49 | 22.27 | 5.25 | 12.04 | 15.03 | 30.75 |
| FeO | 14.19 | 0.98 | 4.41 | 22.82 | 2.23 | 31.70 | 14.45 | 9.41 | 0.09 |
| Cr2O3 | 0.00 | 0.00 | 0.11 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.09 | 0.07 | 0.00 |
| MnO | 0.15 | 0.02 | 0.08 | 0.16 | 0.13 | 0.54 | 0.28 | 0.07 | 0.07 |
| MgO | 16.57 | 0.77 | 12.72 | 15.66 | 1.48 | 6.67 | 17.30 | 1.56 | 0.09 |
| CaO | 0.85 | 0.55 | 18.32 | 1.25 | 1.21 | 3.98 | 1.72 | 7.51 | 12.34 |
| Na2O | 0.22 | 4.92 | 1.02 | 0.49 | 7.87 | 0.86 | 0.65 | 0.88 | 2.56 |
| K2O | 4.38 | 1.87 | 0.02 | 0.28 | 4.71 | 2.46 | 8.74 | 8.08 | 0.00 |
| F | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0 | 0.00 |
| Cl | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0 | 0.00 |
| Total | 89.66 | 93.61 | 98.68 | 88.68 | 93.94 | 98.32 | 96.46 | 97.11 | 85.16 |
| O_F_Cl | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| O_F | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| O_Cl | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| H2O | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0 | 0.00 |
| CTotal | 89.66 | 93.61 | 98.68 | 88.68 | 93.94 | 98.32 | 96.46 | 97.11 | 85.16 |
| TSi | 5.510 | 7.879 | 7.487 | 7.174 | 7.576 | 6.733 | 6.207 | 7.741 | 6.062 |
| TAI | 2.490 | 0.121 | 0.513 | 0.826 | 0.424 | 0.986 | 1.793 | 0.259 | 1.938 |
| TFe3 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| TTi | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.554 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Sum_T | 8.000 | 8.000 | 8.000 | 8.000 | 8.000 | 8.272 | 8.000 | 8.000 | 8.000 |
| CAI | 0.825 | 3.932 | 0.713 | 0.045 | 3.266 | 0.000 | 0.385 | 2.290 | 3.657 |
| CCr | 0.000 | 0.000 | 0.012 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.011 | 0.008 | 0.000 |
| CFe3 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| CTi | 0.219 | 0.006 | 0.073 | 0.000 | 0.020 | 0.000 | 0.103 | 0.089 | 0.003 |
| CMg | 3.956 | 0.154 | 2.633 | 3.847 | 0.310 | 1.585 | 3.963 | 0.335 | 0.021 |
| CFe2 | 0.000 | 0.110 | 0.512 | 1.107 | 0.262 | 3.415 | 0.538 | 1.133 | 0.012 |
| CMn | 0.000 | 0.002 | 0.009 | 0.000 | 0.015 | 0.000 | 0.000 | 0.009 | 0.009 |
| CCa | 0.000 | 0.079 | 1.046 | 0.000 | 0.182 | 0.000 | 0.000 | 1.136 | 1.298 |
| Sum_C | 5.000 | 4.283 | 5.000 | 5.000 | 4.057 | 5.000 | 5.000 | 5.000 | 5.000 |
| BMg | 0.036 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| BFe2 | 1.918 | 0.000 | 0.000 | 2.038 | 0.000 | 0.811 | 1.319 | 0.000 | 0.000 |
| BMn | 0.021 | 0.000 | 0.000 | 0.022 | 0.000 | 0.073 | 0.036 | 0.000 | 0.000 |
| BCa | 0.025 | 0.000 | 1.680 | 0.000 | 0.000 | 0.680 | 0.283 | 0.023 | 0.745 |
| BNa | 0.000 | 1.279 | 0.275 | 0.000 | 2.000 | 0.266 | 0.194 | 0.246 | 0.767 |
| Sum_B | 2.000 | 1.279 | 1.954 | 2.060 | 2.000 | 1.829 | 1.833 | 0.268 | 1.512 |
| ACa | 0.122 | 0.000 | 0.000 | 0.221 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| ANa | 0.069 | 0.000 | 0.000 | 0.157 | 0.147 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| AK | 0.903 | 0.320 | 0.004 | 0.059 | 0.845 | 0.500 | 1.713 | 1.485 | 0.000 |
| Sum_A | 1.095 | 0.320 | 0.004 | 0.436 | 0.992 | 0.500 | 1.713 | 1.485 | 0.000 |
| Sum_cat | 16.095 | 13.882 | 14.958 | 15.497 | 15.049 | 15.602 | 16.546 | 14.753 | 14.512 |
| CCl | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| CF | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| OH | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Sum_oxy | 22.995 | 22.994 | 22.998 | 22.999 | 22.994 | 22.999 | 22.997 | 22.996 | 22.992 |

| Sample | 14.001 | 14.002 | 14.003 | 14.004 | 14.005 | 17.000 | 17.001 | 17.002 | 17.003 |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|
| Analysis | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm | gm |
| Location | YMI-4-d | YMI-4-d | YMI-4-d | YMI-4-d | YMI-4-d | YMI-7 | YMI-7 | YMI-7 | YMI-7 |
| Mineral | ANF | ANF | ANF | ANF | ANF | ANF | ANF | ANF | ANF |
| SiO2 | 39.81 | 38.82 | 34.14 | 59.79 | 42.86 | 47.28 | 42.70 | 30.48 | 29.60 |
| TiO2 | 0.31 | 0.06 | 0.25 | 0.08 | 2.35 | 1.26 | 0.00 | 0.01 | 0.00 |
| Al2O3 | 17.24 | 15.28 | 10.06 | 21.96 | 12.10 | 3.29 | 5.99 | 0.01 | 0.00 |
| FeO | 13.77 | 8.82 | 25.00 | 1.13 | 7.85 | 9.18 | 19.57 | 12.43 | 16.74 |
| Cr2O3 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.09 | 0.00 | 0.05 | 0.00 | 0.06 | 0.07 |
| MnO | 0.18 | 0.31 | 0.54 | 0.00 | 0.10 | 0.22 | 0.00 | 0.19 | 0.32 |
| MgO | 12.32 | 17.33 | 16.03 | 0.94 | 19.11 | 14.76 | 18.19 | 48.94 | 44.32 |
| CaO | 1.14 | 1.35 | 1.20 | 0.39 | 0.00 | 21.29 | 1.53 | 0.18 | 0.17 |
| Na2O | 0.13 | 0.09 | 1.95 | 3.56 | 1.39 | 0.37 | 0.12 | 0.00 | 0.03 |
| K2O | 6.70 | 0.98 | 0.10 | 5.12 | 9.53 | 0.01 | 0.31 | 0.00 | 0.00 |
| F | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Cl | 0.00 | 0.00 | 0.000 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Total | 91.60 | 83.04 | 89.27 | 92.97 | 95.29 | 97.66 | 88.41 | 92.24 | 91.18 |
| O_F_Cl | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| O_F | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| O_Cl | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| H2O | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| CTotal | 91.60 | 83.04 | 89.27 | 92.97 | 95.29 | 97.66 | 88.41 | 92.24 | 91.18 |
| TSr | 6.262 | 6.360 | 5.817 | 8.180 | 6.434 | 6.999 | 6.944 | 4.842 | 4.869 |
| TAl | 1.738 | 1.640 | 2.019 | 0.000 | 1.566 | 0.574 | 1.056 | 0.002 | 0.000 |
| TFe3 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| TTi | 0.000 | 0.000 | 0.032 | 0.000 | 0.000 | 0.140 | 0.000 | 0.001 | 0.000 |
| Sum_T | 8.000 | 8.000 | 7.868 | 8.180 | 8.000 | 7.713 | 8.000 | 4.845 | 4.869 |
| CAI | 1.455 | 1.308 | 0.000 | 3.538 | 0.573 | 0.000 | 0.091 | 0.000 | 0.000 |
| CCr | 0.000 | 0.000 | 0.004 | 0.010 | 0.000 | 0.006 | 0.000 | 0.008 | 0.009 |
| CFe3 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| CTi | 0.037 | 0.007 | 0.000 | 0.008 | 0.265 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| CMg | 2.889 | 3.684 | 4.072 | 0.192 | 4.162 | 3.257 | 4.410 | 4.992 | 4.991 |
| CFe2 | 0.619 | 0.000 | 0.924 | 0.129 | 0.000 | 1.136 | 0.499 | 0.000 | 0.000 |
| CMn | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.028 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| CCa | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.057 | 0.000 | 0.573 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Sum_C | 5.000 | 5.000 | 5.000 | 3.934 | 5.000 | 5.000 | 5.000 | 5.000 | 5.000 |
| BMg | 0.000 | 0.549 | 0.000 | 0.000 | 0.115 | 0.000 | 0.000 | 6.599 | 5.876 |
| BFe2 | 1.192 | 1.208 | 2.638 | 0.000 | 0.985 | 0.000 | 2.163 | 1.651 | 2.303 |
| BMn | 0.024 | 0.043 | 0.078 | 0.000 | 0.013 | 0.000 | 0.000 | 0.026 | 0.045 |
| BCa | 0.192 | 0.200 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 2.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| BNa | 0.040 | 0.000 | 0.000 | 0.944 | 0.405 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Sum_B | 1.448 | 2.000 | 2.716 | 0.944 | 1.518 | 2.000 | 2.163 | 8.276 | 8.224 |
| ACa | 0.000 | 0.037 | 0.219 | 0.000 | 0.000 | 0.804 | 0.267 | 0.031 | 0.030 |
| ANa | 0.000 | 0.029 | 0.644 | 0.000 | 0.000 | 0.106 | 0.038 | 0.000 | 0.010 |
| AK | 1.344 | 0.205 | 0.022 | 0.894 | 1.825 | 0.002 | 0.064 | 0.000 | 0.000 |
| Sum_A | 1.344 | 0.271 | 0.885 | 0.894 | 1.825 | 0.912 | 0.369 | 0.031 | 0.040 |
| Sum_cat | 15.792 | 15.271 | 16.469 | 13.952 | 16.343 | 15.624 | 15.532 | 18.152 | 18.132 |
| CCl | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| CF | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| OH | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Sum_oxy | 22.995 | 22.996 | 22.997 | 22.995 | 22.997 | 22.999 | 22.998 | 23.000 | 23.000 |

| Sample | 17.004 | 20.000 |
|----------|--------|--------|
| Analysis | gm | gm |
| Location | YMI-7 | YZU-1 |
| Mineral | ANF | ANF |
| SiO2 | 46.25 | 42.76 |
| TiO2 | 1.84 | 1.18 |
| Al2O3 | 6.30 | 11.52 |
| FeO | 11.28 | 26.22 |
| Cr2O3 | 0.00 | 0.00 |
| MnO | 0.22 | 0.45 |
| MgO | 13.06 | 5.40 |
| CaO | 18.71 | 0.23 |
| Na2O | 0.41 | 2.83 |
| K2O | 0.91 | 5.41 |
| F | 0.00 | 0.00 |
| Cl | 0.00 | 0.00 |
| Total | 98.98 | 96.00 |
| O_F_Cl | 0.00 | 0.00 |
| O_F | 0.00 | 0.00 |
| O_Cl | 0.00 | 0.00 |
| H2O | 0.00 | 0.00 |
| CTotal | 98.98 | 96.00 |
| TSi | 6.796 | 6.808 |
| TAl | 1.090 | 1.192 |
| TFe3 | 0.000 | 0.000 |
| TTi | 0.203 | 0.000 |
| Sum_T | 8.090 | 8.000 |
| CAI | 0.000 | 0.968 |
| CCr | 0.000 | 0.000 |
| CFe3 | 0.000 | 0.000 |
| CTi | 0.000 | 0.141 |
| CMg | 2.861 | 1.282 |
| CFe2 | 1.386 | 2.609 |
| CMn | 0.027 | 0.000 |
| CCa | 0.725 | 0.000 |
| Sum_C | 5.000 | 5.000 |
| BMg | 0.000 | 0.000 |
| BFe2 | 0.000 | 0.882 |
| BMn | 0.000 | 0.061 |
| BCa | 2.000 | 0.039 |
| BNa | 0.000 | 0.874 |
| Sum_B | 2.000 | 1.855 |
| ACa | 0.220 | 0.000 |
| ANa | 0.117 | 0.000 |
| AK | 0.171 | 1.099 |
| Sum_A | 0.508 | 1.099 |
| Sum_cat | 15.597 | 15.954 |
| CCl | 0.000 | 0.000 |
| CF | 0.000 | 0.000 |
| OH | - | - |
| Sum_oxy | 22.998 | 22.997 |

| Sample | 15.000 | 15.001 | 15.002 | 15.005 | 22.000 | 22.001 | 22.002 | 22.003 | 22.004 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Analysis | | | | | | | | | |
| Location | YMI-5 | YMI-5 | YMI-5 | YMI-5 | YZU-2 | YZU-2 | YZU-2 | YZU-2 | YZU-2 |
| Mineral | ANF | ANF | ANF | ANF | ANF | ANF | ANF | ANF | ANF |
| SiO2 | 47.42 | 49.53 | 53.75 | 42.26 | 53.75 | 48.69 | 48.77 | 47.23 | 54.74 |
| TiO2 | 2.82 | 2.96 | 0.82 | 3.85 | 0.82 | 7.84 | 9.05 | 6.82 | 3.37 |
| Al2O3 | 14.81 | 16.20 | 15.03 | 13.71 | 15.03 | 1.45 | 1.45 | 2.12 | 11.62 |
| FeO | 15.58 | 14.91 | 9.41 | 18.55 | 9.41 | 17.71 | 17.30 | 17.14 | 10.04 |
| Cr2O3 | 0.05 | 0.00 | 0.07 | 0.00 | 0.07 | 0.06 | 0.00 | 0.07 | 0.00 |
| MnO | 0.19 | 0.12 | 0.07 | 0.24 | 0.07 | 0.19 | 0.21 | 0.16 | 0.15 |
| MgO | 5.61 | 4.02 | 1.56 | 5.12 | 1.56 | 7.69 | 5.96 | 9.97 | 3.14 |
| CaO | 0.22 | 0.30 | 7.51 | 0.07 | 7.51 | 0.69 | 2.70 | 1.26 | 0.91 |
| Na2O | 0.87 | 0.89 | 0.88 | 0.93 | 0.88 | 8.67 | 10.59 | 7.89 | 4.05 |
| K2O | 11.15 | 11.29 | 8.08 | 10.48 | 8.08 | 3.60 | 1.32 | 3.44 | 9.46 |
| F | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Cl | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Total | 98.67 | 100.22 | 97.11 | 95.21 | 97.11 | 96.53 | 97.35 | 96.03 | 97.48 |
| O_F_Cl | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| O_F | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| O_Cl | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| H2O | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| CTotal | 98.67 | 100.22 | 97.11 | 95.21 | 97.11 | 96.53 | 97.35 | 96.03 | 97.48 |
| TSi | 7.033 | 7.160 | 7.741 | 6.677 | 7.741 | 7.481 | 7.416 | 7.287 | 7.907 |
| TAI | 0.967 | 0.840 | 0.259 | 1.323 | 0.259 | 0.262 | 0.260 | 0.385 | 0.093 |
| TFe3 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| TTi | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.906 | 1.035 | 0.791 | 0.000 |
| Sum_T | 8.000 | 8.000 | 8.000 | 8.000 | 8.000 | 8.650 | 8.711 | 8.463 | 8.000 |
| CAI | 1.620 | 1.918 | 2.290 | 1.228 | 2.290 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.883 |
| CCr | 0.006 | 0.000 | 0.008 | 0.000 | 0.008 | 0.007 | 0.000 | 0.009 | 0.000 |
| CFe3 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| CTi | 0.315 | 0.322 | 0.089 | 0.458 | 0.089 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.366 |
| CMg | 1.240 | 0.866 | 0.335 | 1.206 | 0.335 | 1.761 | 1.351 | 2.293 | 0.676 |
| CFe2 | 1.819 | 1.802 | 1.133 | 2.108 | 1.133 | 2.276 | 2.200 | 2.211 | 1.213 |
| CMn | 0.000 | 0.015 | 0.009 | 0.000 | 0.009 | 0.025 | 0.027 | 0.021 | 0.018 |
| CCa | 0.000 | 0.046 | 1.136 | 0.000 | 1.136 | 0.114 | 0.440 | 0.208 | 0.141 |
| Sum_C | 5.000 | 4.969 | 5.000 | 5.000 | 5.000 | 4.183 | 4.018 | 4.742 | 4.297 |
| BMg | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| BFe2 | 0.113 | 0.000 | 0.000 | 0.343 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| BMn | 0.024 | 0.000 | 0.000 | 0.032 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| BCa | 0.035 | 0.000 | 0.023 | 0.012 | 0.023 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| BNa | 0.250 | 0.249 | 0.246 | 0.285 | 0.246 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 1.134 |
| Sum_B | 0.422 | 0.249 | 0.268 | 0.672 | 0.268 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 1.134 |
| ACa | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| ANa | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.583 | 1.123 | 0.360 | 0.000 |
| AK | 2.110 | 2.082 | 1.485 | 2.112 | 1.485 | 0.706 | 0.256 | 0.677 | 1.743 |
| Sum_A | 2.110 | 2.082 | 1.485 | 2.112 | 1.485 | 1.289 | 1.379 | 1.037 | 1.743 |
| Sum_csa | 15.532 | 15.301 | 14.753 | 15.784 | 14.753 | 16.122 | 16.108 | 16.243 | 15.175 |
| CCl | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| CF | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| OH | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Sum_oxy | 22.996 | 22.996 | 22.996 | 22.996 | 22.996 | 23.000 | 23.000 | 22.999 | 22.997 |

| Sample | 26.008 | 26.009 | 26.010 | 26.011 |
|----------|--------|--------|--------|--------|
| Analysis | | | | |
| Location | YM0-6 | YZU-6 | YM0-6 | YM0-6 |
| Mineral | ANF | ANF | ANF | ANF |
| SiO2 | 44.80 | 43.26 | 42.67 | 42.05 |
| TiO2 | 0.14 | 0.08 | 0 | 0 |
| Al2O3 | 8.33 | 7.14 | 7.86 | 8.16 |
| FeO | 8.93 | 8.92 | 9.11 | 9.34 |
| Cr2O3 | 0 | 0.08 | 0 | 0 |
| MnO | 0.05 | 0.08 | 0 | 0.09 |
| MgO | 19.11 | 21.10 | 20.52 | 17.85 |
| CaO | 1.64 | 1.60 | 2.20 | 2.12 |
| Na2O | 0.03 | 0.08 | 0 | 0 |
| K2O | 0.97 | 0.07 | 0.08 | 0.12 |
| F | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cl | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 84.00 | 82.33 | 82.44 | 79.73 |
| O_F_Cl | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| O_F | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| O_Cl | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| H2O | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CTotal | 84.00 | 82.33 | 82.44 | 79.73 |
| TSi | 7.208 | 7.098 | 7.017 | 7.144 |
| TAI | 0.792 | 0.902 | 0.983 | 0.856 |
| TFe3 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| TTi | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Sum_T | 8.000 | 8.000 | 8.000 | 8.000 |
| CAI | 0.787 | 0.478 | 0.540 | 0.777 |
| CCr | 0.000 | 0.010 | 0.000 | 0.000 |
| CFe3 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| CTi | 0.017 | 0.010 | 0.000 | 0.000 |
| CMg | 4.196 | 4.502 | 4.460 | 4.223 |
| CFe2 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| CMn | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| CCa | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Sum_C | 5.000 | 5.000 | 5.000 | 5.000 |
| BMg | 0.388 | 0.659 | 0.570 | 0.298 |
| BFe2 | 1.202 | 1.224 | 1.253 | 1.327 |
| BMn | 0.007 | 0.011 | 0.000 | 0.013 |
| BCa | 0.283 | 0.106 | 0.177 | 0.362 |
| BNa | 0.009 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Sum_B | 1.888 | 2.000 | 2.000 | 2.000 |
| ACa | 0.000 | 0.175 | 0.211 | 0.024 |
| ANa | 0.000 | 0.025 | 0.000 | 0.000 |
| AK | 0.199 | 0.015 | 0.017 | 0.026 |
| Sum_A | 0.199 | 0.215 | 0.228 | 0.050 |
| Sum_cat | 15.087 | 15.215 | 15.228 | 15.050 |
| CCI | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| CF | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| OH | - | - | - | - |
| Sum_oxy | 22.998 | 22.998 | 22.998 | 22.998 |

A6

**Composição química, em porcentagem em peso, de feldspatoide/zeólitas de rochas "lamproíricas" do Paraguai.
(Lc, ZEO)**

"Lamprófiros"

Ymi1 (10.000-10.101; 10c.000-10c.004);

Ymi-4 (14.000-14.019);

Ymi-7 (17.000-17.006);

Yzu-1 (21.000-21.003).

"Lamproítos"

Ymi-5 (15.002-15.006);

Yzu-2 (22.00-22.004).

| SAMPLE | ANALYSIS | LOCATION | MINERAL | SiO2 | AL2O3 | FeO | MNO | MGO | CAO | NA2O | K2O | BAO | TOTAL |
|---------|----------|----------|---------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|------|-------|
| 21.000 | gm | YZU.1 | Lc | 55,25 | 24,62 | 0,03 | 0,04 | 0,07 | 0,11 | 10,43 | 0,12 | 0,04 | 90,71 |
| 21.001 | gm | YZU.1 | Lc | 56,38 | 24,70 | 0,20 | 0,00 | 0,04 | 0,13 | 9,22 | 0,14 | 0,13 | 90,94 |
| 21.002 | gm | YZU.1 | Lc | 55,92 | 24,89 | 0,13 | 0,03 | 0,08 | 0,19 | 10,26 | 0,08 | 0,00 | 91,58 |
| 21.003 | gm | YZU.1 | Lc | 55,80 | 24,55 | 0,07 | 0,00 | 0,03 | 0,15 | 10,36 | 0,11 | 0,00 | 91,07 |
| 10.002 | gm | YMI-1-p1 | Lc | 58,20 | 25,35 | 0,24 | 0,00 | 0,15 | 0,09 | 5,21 | 0,25 | 0,00 | 89,49 |
| 10.003 | gm | YMI-1-p1 | Lc | 56,67 | 24,94 | 0,34 | 0,01 | 0,09 | 0,14 | 5,36 | 0,29 | 0,00 | 87,84 |
| 10.004 | gm | YMI-1-p1 | Lc | 58,25 | 25,10 | 0,44 | 0,00 | 0,15 | 0,16 | 5,76 | 0,28 | 0,19 | 90,33 |
| 10.007 | gm | YMI-1-p1 | Lc | 59,28 | 24,83 | 0,26 | 0,00 | 0,12 | 0,20 | 4,70 | 0,17 | 0,00 | 89,56 |
| 10.009 | gm | YMI-1-p1 | Lc | 58,63 | 25,22 | 0,18 | 0,00 | 0,10 | 0,23 | 4,46 | 0,17 | 0,11 | 89,10 |
| 10.010 | gm | YMI-1-p2 | Lc | 57,61 | 25,93 | 0,29 | 0,03 | 0,20 | 0,41 | 4,33 | 1,41 | 0,00 | 90,21 |
| 10.013 | gm | YMI-1-p2 | Lc | 58,77 | 25,05 | 0,33 | 0,04 | 0,12 | 0,39 | 3,95 | 1,61 | 0,07 | 90,33 |
| 10.014 | gm | YMI-1-p2 | Lc | 58,32 | 25,15 | 0,32 | 0,03 | 0,16 | 0,44 | 3,59 | 1,65 | 0,04 | 89,70 |
| 10.018 | gm | YMI-1-d | Lc | 59,58 | 23,82 | 0,30 | 0,06 | 0,09 | 4,94 | 6,54 | 2,59 | 0,34 | 98,26 |
| 10.019 | gm | YMI-1-d | Lc | 58,57 | 25,56 | 0,38 | 0,00 | 0,15 | 0,16 | 4,99 | 0,26 | 0,00 | 90,07 |
| 10.020 | gm | YMI-1-d | Lc | 58,47 | 25,11 | 0,37 | 0,04 | 0,11 | 0,13 | 4,76 | 0,22 | 0,02 | 89,23 |
| 10.021 | gm | YMI-1-d | Lc | 58,58 | 25,03 | 0,38 | 0,00 | 0,11 | 0,10 | 5,57 | 0,24 | 0,09 | 90,10 |
| 10c.000 | gm | YMI-1C | Lc | 56,52 | 25,12 | 0,35 | 0,00 | 0,12 | 0,20 | 11,46 | 0,22 | 0,00 | 93,99 |
| 10c.001 | gm | YMI-1C | Lc | 57,84 | 18,10 | 0,61 | 0,05 | 0,10 | 5,83 | 3,25 | 10,40 | 0,26 | 96,44 |
| 10c.002 | gm | YMI-1C | Lc | 57,13 | 22,52 | 0,63 | 0,00 | 0,06 | 0,98 | 5,62 | 8,04 | 0,48 | 95,46 |
| 10c.003 | gm | YMI-1C | Lc | 54,36 | 24,01 | 0,57 | 0,00 | 0,04 | 0,73 | 12,99 | 0,44 | 0,10 | 93,24 |
| 10c.004 | gm | YMI-1C | Lc | 53,85 | 22,27 | 2,23 | 0,13 | 1,48 | 1,21 | 7,87 | 4,71 | 0,00 | 93,75 |
| 17.000 | gm | YMI-7 | Lc | 54,18 | 16,92 | 4,12 | 0,04 | 5,05 | 9,28 | 5,37 | 0,20 | 0,00 | 95,16 |
| 17.001 | gm | YMI-7 | Lc | 58,32 | 25,23 | 0,67 | 0,02 | 0,09 | 0,22 | 8,52 | 0,20 | 0,00 | 93,27 |
| 17.002 | gm | YMI-7 | Lc | 58,19 | 25,03 | 0,32 | 0,01 | 0,04 | 0,14 | 9,33 | 0,17 | 0,00 | 93,23 |
| 17.005 | gm | YMI-7 | Lc | 55,95 | 24,14 | 0,23 | 0,09 | 0,00 | 0,23 | 10,71 | 0,20 | 0,00 | 91,55 |
| 17.004 | gm | YMI-7 | Lc | 54,72 | 24,98 | 0,37 | 0,00 | 0,08 | 0,30 | 12,20 | 0,19 | 0,03 | 92,87 |
| 17.006 | gm | YMI-7 | Lc | 55,25 | 24,25 | 0,30 | 0,11 | 0,02 | 0,97 | 8,89 | 4,21 | 0,55 | 94,55 |
| 14.000 | ad. | YMI-4-d | ZEO | 44,73 | 29,57 | 0,07 | 0,00 | 0,07 | 8,13 | 4,25 | 0,04 | 0,00 | 86,86 |
| 14.001 | ad. | YMI-4-d | ZEO | 56,80 | 24,63 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,11 | 9,57 | 0,08 | 0,00 | 91,19 |
| 14.002 | ad. | YMI-4-d | ZEO | 41,79 | 30,41 | 0,06 | 0,01 | 0,56 | 10,88 | 2,26 | 0,05 | 0,11 | 86,13 |
| 14.003 | ad. | YMI-4-d | ZEO | 46,31 | 28,86 | 0,00 | 0,04 | 0,77 | 5,65 | 2,97 | 0,08 | 0,07 | 84,75 |
| 14.004 | ad. | YMI-4-l | ZEO | 56,81 | 23,60 | 0,00 | 0,01 | 0,08 | 0,05 | 11,20 | 0,01 | 0,02 | 91,78 |
| 14.007 | ad. | YMI-4-l | ZEO | 49,67 | 29,81 | 0,00 | 0,03 | 0,08 | 3,95 | 6,11 | 0,00 | 0,00 | 89,65 |
| 14.006 | ad. | YMI-4-l | ZEO | 40,38 | 23,94 | 0,05 | 0,00 | 0,02 | 3,16 | 4,00 | 0,01 | 0,18 | 71,74 |
| 14.008 | gm | YMI-4-d | ZEO | 39,39 | 30,30 | 0,34 | 0,07 | 0,16 | 12,02 | 2,67 | 0,31 | 0,00 | 85,26 |
| 14.009 | gm | YMI-4-d | ZEO | 42,71 | 30,00 | 0,30 | 0,05 | 0,13 | 10,68 | 2,15 | 1,45 | 0,15 | 87,62 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|--------|-----|----------|-----|-------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|------|-------|
| 14.010 | gm | YMI-4-d | ZEO | 39,15 | 31,16 | 0,28 | 0,06 | 0,11 | 12,22 | 2,96 | 0,04 | 0,19 | 86,17 |
| 14.011 | gm | YMI-4-d | ana | 56,11 | 24,79 | 0,11 | 0,00 | 0,01 | 0,05 | 10,62 | 0,08 | 0,00 | 91,77 |
| 14.012 | gm | YMI-4-d | ana | 55,96 | 24,25 | 0,03 | 0,00 | 0,04 | 0,04 | 10,68 | 0,05 | 0,00 | 91,05 |
| 14.013 | gm | YMI-4-d | ana | 56,91 | 24,11 | 0,00 | 0,00 | 0,06 | 0,07 | 10,40 | 0,08 | 0,15 | 91,78 |
| 14.014 | gm | YMI-4-d | ana | 56,61 | 24,15 | 0,01 | 0,00 | 0,10 | 0,07 | 10,64 | 0,08 | 0,00 | 91,66 |
| 14.015 | gm | YMI-4-d | ana | 56,54 | 23,90 | 0,04 | 0,00 | 0,04 | 0,04 | 9,98 | 0,07 | 0,04 | 90,65 |
| 14.016 | gm | YMI-4-l | ana | 56,66 | 23,98 | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,02 | 11,16 | 0,03 | 0,07 | 92,02 |
| 14.017 | gm | YMI-4-l | ana | 57,38 | 24,22 | 0,05 | 0,01 | 0,11 | 0,13 | 10,25 | 0,03 | 0,04 | 92,22 |
| 14.018 | gm | YMI-4-l | ana | 57,06 | 24,69 | 0,11 | 0,00 | 0,08 | 0,14 | 10,32 | 0,08 | 0,19 | 92,67 |
| 14.005 | ad. | YMI-4-l | ZEO | 56,38 | 24,16 | 0,42 | 0,00 | 0,15 | 0,69 | 8,40 | 0,77 | 0,19 | 91,16 |
| 14.019 | gm | YMI-4-l | ana | 57,69 | 24,71 | 0,12 | 0,00 | 0,06 | 0,06 | 10,23 | 0,09 | 0,22 | 93,18 |
| 10.000 | gm | YMI-1-p2 | Lc | 57,35 | 24,99 | 0,30 | 0,00 | 0,08 | 3,34 | 7,91 | 1,88 | 0,00 | 95,85 |
| 10.100 | gm | YMI-1-d | ana | 61,22 | 19,18 | 0,83 | 0,00 | 1,34 | 1,80 | 3,99 | 8,98 | 0,00 | 97,34 |
| 10.010 | gm | YMI-1-d | Lc | 58,79 | 25,37 | 0,55 | 0,06 | 0,38 | 6,31 | 6,36 | 1,20 | 0,00 | 99,02 |
| 10.011 | gm | YMI-1-p1 | Lc | 59,35 | 23,46 | 0,42 | 0,01 | 0,28 | 4,32 | 5,59 | 3,79 | 0,00 | 97,22 |
| 10.005 | gm | YMI-1-p1 | Lc | 61,48 | 18,26 | 0,61 | 0,04 | 0,13 | 2,20 | 3,20 | 11,38 | 0,00 | 97,30 |
| 10.006 | gm | YMI-1-p1 | Lc | 49,96 | 32,40 | 1,17 | 0,04 | 0,16 | 0,27 | 10,53 | 3,77 | 0,00 | 98,30 |
| 10.101 | gm | YMI-1-d | ana | 51,33 | 22,36 | 0,56 | 0,00 | 0,46 | 5,07 | 4,62 | 0,19 | 0,00 | 84,59 |
| 10.022 | gm | YMI-1-d | Lc | 58,93 | 24,91 | 0,50 | 0,00 | 0,18 | 0,34 | 4,90 | 0,14 | 0,00 | 89,90 |

| Sample | 15.002 | 15.003 | 15.004 | 15.005 | 15.006 | 22.000 | 22.001 | 22.002 | 22.003 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Analysis | psd-lc | psd-lc | psd-lc | gm | gm | | | psd-lc | psd-lc |
| Location | YMI-5 | YMI-5 | YMI-5 | YMI-5 | YMI-5 | YZU-3 | YZU-2 | YZU-2 | YZU-2 |
| Mineral | Lc | Lc | Lc | Lc | Lc | ZEO | ZEO | ZEO | ZEO |
| SiO2 | 56.87 | 56.81 | 55.93 | 48.11 | 54.27 | 60.15 | 59.85 | 39.86 | 49.93 |
| TiO2 | 0.00 | 0.02 | 0.12 | 0.00 | 0.00 | 0.08 | 0.05 | 0.02 | 0.05 |
| Al2O3 | 25.51 | 25.88 | 26.66 | 30.10 | 25.67 | 25.03 | 25.99 | 30.85 | 26.94 |
| Fe2O3 | 0.25 | 0.33 | 0.26 | 0.01 | 0.39 | 0.79 | 0.20 | 1.14 | 0.46 |
| MnO | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.07 | 0.00 | 0.02 |
| MgO | 0.02 | 0.06 | 0.10 | 0.05 | 0.11 | 0.09 | 0.10 | 0.14 | 0.30 |
| CaO | 0.11 | 0.26 | 0.28 | 0.65 | 0.09 | 1.74 | 1.01 | 11.72 | 9.30 |
| Na2O | 6.85 | 7.53 | 6.13 | 9.54 | 8.79 | 2.80 | 3.34 | 2.19 | 2.77 |
| K2O | 0.36 | 0.54 | 0.73 | 0.05 | 0.42 | 5.31 | 1.95 | 0.32 | 0.26 |
| BaO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.24 | 0.14 | 0.12 | 0.04 |
| SrO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Total | 89.98 | 91.44 | 90.21 | 88.52 | 89.75 | 96.23 | 92.70 | 86.36 | 90.07 |
| Si | 10,953 | 10,833 | 10,760 | 9,651 | 10,626 | 11,077 | 11,149 | 8,462 | 9,900 |
| Al | 5,786 | 5,812 | 6,040 | 7,111 | 5,919 | 5,428 | 5,702 | 7,713 | 6,291 |
| Fe3 | 0,036 | 0,047 | 0,038 | 0,002 | 0,057 | 0,109 | 0,028 | 0,182 | 0,069 |
| Ti | 0,000 | 0,003 | 0,017 | 0,000 | 0,000 | 0,011 | 0,007 | 0,003 | 0,007 |
| Mn | 0,002 | 0,002 | 0,000 | 0,002 | 0,002 | 0,000 | 0,011 | 0,000 | 0,003 |
| Mg | 0,006 | 0,017 | 0,029 | 0,015 | 0,032 | 0,025 | 0,028 | 0,044 | 0,089 |
| Ca | 0,023 | 0,053 | 0,058 | 0,140 | 0,019 | 0,343 | 0,202 | 2,666 | 1,976 |
| Na | 2,558 | 2,784 | 2,287 | 3,711 | 3,337 | 1,000 | 1,206 | 0,902 | 1,065 |
| K | 0,088 | 0,131 | 0,179 | 0,013 | 0,105 | 1,248 | 0,463 | 0,087 | 0,066 |
| Ba | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,017 | 0,010 | 0,010 | 0,003 |
| Sr | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Cations | 17,000 | 17,000 | 18,000 | 19,000 | 18,000 | 18,000 | 17,000 | 17,000 | 17,000 |
| Ab | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 50,0 | 100,0 | 0,0 | 50,0 |
| An | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 100,0 | 50,0 |
| Or | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 50,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

| | |
|----------|--------|
| Sample | 22.004 |
| Analysis | psd-1c |
| Location | YZU-2 |
| Mineral | ZEO |
| SiO2 | 54.08 |
| TiO2 | 0.07 |
| Al2O3 | 24.39 |
| Fe2O3 | 3.43 |
| MnO | 0.00 |
| MgO | 0.39 |
| CaO | 2.53 |
| Na2O | 0.71 |
| K2O | 10.12 |
| BaO | 1.29 |
| SrO | 0.00 |
| Total | 97.01 |
| Si | 10,412 |
| Al | 5,530 |
| Fe3 | 0,496 |
| Ti | 0,010 |
| Mn | 0,000 |
| Mg | 0,112 |
| Ca | 0,522 |
| Na | 0,265 |
| K | 2,486 |
| Ba | 0,097 |
| Sr | 0,000 |
| Cations | 17,000 |
| Ab | 0,0 |
| An | 0,0 |
| Or | 100,0 |

A7

Composição química, em porcentagem em peso, de feldspatos de rochas "lamprofíricas" do Paraguai.

(SAN)

"Lamprófiros"

Ymi-1 (10.000-10.026, 10c.001-10c.007);

Ymi-4 (14.000-14.003);

Ymi-7 (17.001-17.002);

Yzu-1 (21.000-21.015).

"Lamproítos"

Ymi-5 (15.000-15.012);

Yzu-2 (22.000-22.017);

Ymi-3 (23.000-23.013);

Ymi-6 (26.000-26.014).

Ricos em Fe: 10.010, 21.001, 21.004-21.006, 21.008, 21.010-21.012, 21.015, 15.001, 22.000-22.005, 22.007-22.009, 22.012-22.014, 22.016, 23.000, 23.002, 26.000-26.012, 26.014.

Ricos em Ba: 21.002, 21.003, 21.007, 21.008, 21.010-21.012, 21.015, 15.001, 15.004-15.006, 15.008, 15.011, 15.012, 22.000, 22.001, 22.003, 22.005, 22.007, 22.009, 22.012-22.014, 23.006, 23.010, 26.003, 26.004, 26.006.

| Sample | 10.000 | 10.001 | 10.002 | 10.003 | 10.004 | 10.005 | 10.006 | 10.007 | 10.008 |
|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Analysis | | | | | | | | | |
| Location | Ymi-1-d | Ymi-1-p1 | Ymi-1-p1 | Ymi-1-p1 | Ymi-1-p1 | Ymi-1-p1 | Ymi-1-p1 | Ymi-1-p2 | Ymi-1-p2 |
| Mineral | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN |
| SiO2 | 60.05 | 62.86 | 62.92 | 63.16 | 64.86 | 65.34 | 63.24 | 64.45 | 63.89 |
| TiO2 | 0.06 | 0.03 | 0.22 | 0.02 | 0.09 | 0.09 | 0.07 | 0.10 | 0.10 |
| Al2O3 | 25.03 | 20.31 | 20.85 | 20.16 | 19.92 | 19.45 | 18.52 | 20.60 | 20.11 |
| FeO | 0.38 | 0.10 | 0.24 | 0.54 | 0.21 | 0.25 | 0.16 | 0.25 | 0.16 |
| MnO | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| MgO | 0.20 | 0.06 | 0.04 | 0.02 | 0.04 | 0.01 | 0.00 | 0.06 | 0.07 |
| BaO | 0.00 | 0.80 | 0.78 | 0.00 | 0.07 | 0.00 | 0.15 | 0.61 | 0.15 |
| CaO | 6.02 | 0.00 | 1.12 | 1.01 | 0.37 | 0.34 | 2.76 | 1.11 | 0.83 |
| Na2O | 6.94 | 0.26 | 5.08 | 4.96 | 4.71 | 4.48 | 3.73 | 5.54 | 4.85 |
| K2O | 1.11 | 16.75 | 7.76 | 8.50 | 9.50 | 9.92 | 10.43 | 7.47 | 8.76 |
| Total | 99.83 | 101.17 | 99.01 | 98.37 | 99.77 | 99.88 | 99.06 | 100.19 | 98.92 |
| Si | 10.736 | 11.620 | 11.526 | 11.630 | 11.768 | 11.849 | 11.714 | 11.630 | 11.685 |
| Al | 5.270 | 4.422 | 4.498 | 4.371 | 4.256 | 4.154 | 4.040 | 4.378 | 4.331 |
| Fe3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Ti | 0.008 | 0.004 | 0.030 | 0.003 | 0.012 | 0.012 | 0.010 | 0.014 | 0.014 |
| Fe2 | 0.057 | 0.015 | 0.037 | 0.083 | 0.032 | 0.038 | 0.025 | 0.038 | 0.024 |
| Mn | 0.006 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Mg | 0.053 | 0.017 | 0.011 | 0.005 | 0.011 | 0.003 | 0.000 | 0.016 | 0.019 |
| Ba | 0.000 | 0.058 | 0.056 | 0.000 | 0.005 | 0.000 | 0.011 | 0.043 | 0.011 |
| Ca | 1.153 | 0.000 | 0.220 | 0.199 | 0.072 | 0.066 | 0.548 | 0.215 | 0.163 |
| Na | 2.406 | 0.093 | 1.804 | 1.771 | 1.657 | 1.575 | 1.340 | 1.938 | 1.720 |
| K | 0.253 | 3.950 | 1.814 | 1.997 | 2.199 | 2.295 | 2.465 | 1.720 | 2.044 |
| Cations | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| X | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Z | 3.928 | 4.133 | 3.942 | 4.055 | 3.976 | 3.977 | 4.389 | 3.970 | 3.981 |
| Ab | 63.1 | 2.3 | 47.0 | 44.6 | 42.2 | 40.0 | 30.8 | 50.0 | 43.8 |
| An | 30.2 | 0.0 | 5.7 | 5.0 | 1.8 | 1.7 | 12.6 | 5.6 | 4.2 |
| Or | 6.6 | 97.7 | 47.3 | 50.3 | 56.0 | 58.3 | 56.6 | 44.4 | 52.0 |

| Sample | 16006 | 16007 | 16008 | 16009 | 16010 | 16011 | 16012 | 16013 | 16014 |
|----------|----------|---------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|----------|
| Analysis | | | | | | | | | |
| Location | Yes-1-p2 | Yes-1-d | Yes-1-p2 | Yes-1-p2 | Yes-1-d | Yes-1-d | Yes-1-d | Yes-1-d | Yes-1-p2 |
| Unit | g/g | g/g | g/g | g/g | g/g | g/g | g/g | g/g | g/g |
| SiO2 | 64.47 | 64.18 | 64.49 | 64.96 | 64.14 | 64.42 | 66.08 | 62.38 | 61.26 |
| TiO2 | 0.06 | 0.12 | 0.06 | 0.11 | 0.14 | 0.18 | 0.12 | 0.16 | 0.11 |
| Al2O3 | 21.29 | 19.16 | 19.01 | 19.28 | 20.11 | 20.46 | 19.88 | 18.76 | 23.28 |
| FeO | 0.20 | 1.29 | 0.80 | 0.54 | 0.24 | 0.13 | 0.34 | 0.45 | 0.77 |
| MnO | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.00 |
| MgO | 0.03 | 0.00 | 0.29 | 0.41 | 0.00 | 0.13 | 0.08 | 0.96 | 0.19 |
| BaO | 0.87 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.45 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| CaO | 1.13 | 0.00 | 1.58 | 0.82 | 0.68 | 1.16 | 0.90 | 1.18 | 1.41 |
| Na2O | 3.79 | 2.92 | 2.48 | 2.22 | 3.32 | 4.70 | 4.41 | 4.86 | 6.47 |
| K2O | 0.79 | 12.58 | 11.94 | 12.46 | 4.34 | 8.96 | 10.00 | 9.95 | 1.18 |
| Total | 101.00 | 100.11 | 100.29 | 99.23 | 99.02 | 106.53 | 109.54 | 97.78 | 98.60 |
| Si | 11.338 | 11.282 | 11.803 | 11.710 | 11.692 | 11.629 | 11.814 | 11.057 | 11.190 |
| Al | 4.467 | 4.144 | 4.083 | 4.199 | 4.290 | 4.350 | 4.187 | 4.201 | 4.967 |
| Fe | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Ti | 0.012 | 0.021 | 0.000 | 0.014 | 0.022 | 0.024 | 0.000 | 0.022 | 0.016 |
| Fe2 | 0.010 | 0.184 | 0.046 | 0.087 | 0.036 | 0.023 | 0.081 | 0.100 | 0.066 |
| Mn | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Mg | 0.008 | 0.000 | 0.079 | 0.119 | 0.000 | 0.080 | 0.016 | 0.267 | 0.031 |
| Ba | 0.061 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.032 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ca | 0.291 | 0.000 | 0.389 | 0.162 | 0.332 | 0.224 | 0.072 | 0.236 | 0.446 |
| Na | 1.966 | 1.640 | 1.477 | 1.396 | 1.879 | 2.645 | 2.328 | 2.390 | 3.243 |
| K | 1.330 | 2.938 | 2.779 | 2.919 | 2.043 | 2.040 | 2.280 | 2.172 | 0.716 |
| Caesium | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Rb | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Sr | 4.081 | 4.102 | 4.060 | 4.103 | 4.000 | 4.004 | 3.950 | 4.384 | 3.831 |
| Zn | 02.0 | 26.1 | 22.1 | 20.4 | 46.3 | 42.1 | 30.4 | 34.9 | 62.4 |
| As | 3.8 | 0.0 | 3.8 | 4.2 | 3.8 | 9.7 | 1.0 | 5.9 | 17.8 |
| Pb | 40.4 | 32.9 | 30.1 | 25.4 | 26.4 | 52.2 | 38.7 | 36.2 | 18.4 |

| Sample | 10.021 | 10.025 | 10.026 | 10.c001 | 10.c002 | 10.c003 | 10.c004 | 10.c005 | 10.c006 |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Analysis | | | | | | | | | |
| Location | Ymi-1-d | Ymi-1-d | Ymi-1-d | Ymi-1C | Ymi-1C | Ymi-1C | Ymi-1C | Ymi-1C | Ymi-1C |
| Mineral | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN |
| SiO2 | 60.41 | 62.39 | 59.68 | 62.22 | 64.23 | 62.84 | 64.26 | 54.29 | 62.54 |
| TiO2 | 0.05 | 0.07 | 0.08 | 0.11 | 0.12 | 0.10 | 0.08 | 0.17 | 0.11 |
| Al2O3 | 24.48 | 18.98 | 23.82 | 20.00 | 19.63 | 20.44 | 19.49 | 27.91 | 21.53 |
| FeO | 0.40 | 0.24 | 0.30 | 0.36 | 0.36 | 0.27 | 0.25 | 0.90 | 0.40 |
| MnO | 0.06 | 0.04 | 0.06 | 0.02 | 0.06 | 0.06 | 0.00 | 0.03 | 0.07 |
| MgO | 0.07 | 0.07 | 0.09 | 0.08 | 0.04 | 0.07 | 0.05 | 0.12 | 0.00 |
| BaO | 0.00 | 0.00 | 0.34 | 0.06 | 0.23 | 0.79 | 0.26 | 0.23 | 0.00 |
| CaO | 5.19 | 2.41 | 4.94 | 1.08 | 0.70 | 0.86 | 0.96 | 8.47 | 2.25 |
| Na2O | 6.60 | 3.09 | 6.54 | 4.69 | 5.44 | 3.73 | 3.92 | 6.24 | 6.41 |
| K2O | 2.10 | 11.31 | 2.59 | 9.78 | 8.65 | 10.49 | 10.83 | 0.74 | 6.42 |
| Total | 99.36 | 98.60 | 98.44 | 98.40 | 99.46 | 99.65 | 100.10 | 99.10 | 99.73 |
| Si | 10.862 | 11.636 | 10.885 | 11.551 | 11.718 | 11.564 | 11.735 | 9.937 | 11.343 |
| Al | 5.184 | 4.169 | 5.116 | 4.372 | 4.218 | 4.430 | 4.192 | 6.016 | 4.599 |
| Fe3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Ti | 0.007 | 0.010 | 0.011 | 0.015 | 0.016 | 0.014 | 0.011 | 0.023 | 0.015 |
| Fe2 | 0.060 | 0.037 | 0.046 | 0.056 | 0.055 | 0.042 | 0.038 | 0.138 | 0.061 |
| Mn | 0.009 | 0.006 | 0.009 | 0.003 | 0.009 | 0.009 | 0.000 | 0.005 | 0.011 |
| Mg | 0.019 | 0.019 | 0.024 | 0.022 | 0.011 | 0.019 | 0.014 | 0.033 | 0.000 |
| Ba | 0.000 | 0.000 | 0.024 | 0.004 | 0.016 | 0.057 | 0.019 | 0.016 | 0.000 |
| Ca | 1.000 | 0.482 | 0.965 | 0.215 | 0.137 | 0.170 | 0.188 | 1.661 | 0.437 |
| Na | 2.301 | 1.117 | 2.313 | 1.688 | 1.924 | 1.331 | 1.388 | 2.215 | 2.254 |
| K | 0.482 | 2.691 | 0.603 | 2.316 | 2.013 | 2.463 | 2.523 | 0.173 | 1.486 |
| Cations | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| X | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Z | 3.871 | 4.352 | 3.984 | 4.304 | 4.165 | 4.091 | 4.170 | 4.241 | 4.249 |
| Ab | 60.8 | 26.0 | 59.6 | 40.0 | 47.2 | 33.6 | 33.9 | 54.7 | 54.0 |
| An | 26.4 | 11.2 | 24.9 | 5.1 | 3.4 | 4.3 | 4.6 | 41.0 | 10.5 |
| Or | 12.7 | 62.7 | 15.5 | 54.9 | 49.4 | 62.1 | 61.6 | 4.3 | 35.6 |

| Sample | 10c.007 | 14.000 | 14.001 | 14.002 | 14.003 | 17.001 | 17.002 | 2.d18 | 21.000 |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|
| Analysis | | | | | | | | | |
| Location | Ymi-1C | Ymi-4-l | Ymi-4-d | Ymi-4-d | Ymi-4-d | Ymi-7 | Ymi-7 | YZU | YZU-1 |
| Mineral | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN |
| SiO2 | 64.16 | 57.94 | 63.09 | 61.83 | 60.80 | 63.79 | 61.71 | 64.40 | 63.15 |
| TiO2 | 0.15 | 0.05 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Al2O3 | 20.04 | 26.13 | 18.83 | 18.81 | 20.88 | 19.95 | 19.85 | 18.42 | 21.47 |
| FeO | 0.56 | 0.51 | 0.14 | 0.09 | 0.18 | 0.88 | 0.22 | 0.38 | 0.64 |
| MnO | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.04 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| MgO | 0.17 | 0.18 | 0.06 | 0.03 | 0.05 | 0.37 | 0.07 | 0.00 | 0.10 |
| BaO | 0.29 | 0.15 | 0.00 | 0.00 | 0.34 | 0.13 | 0.16 | 0.19 | 1.27 |
| CaO | 0.94 | 0.10 | 0.00 | 2.02 | 0.00 | 1.19 | 0.92 | 0.10 | 1.27 |
| Na2O | 5.57 | 4.70 | 0.08 | 0.86 | 1.69 | 4.20 | 3.49 | 2.87 | 5.89 |
| K2O | 8.26 | 6.67 | 16.83 | 13.71 | 13.02 | 9.61 | 11.74 | 12.37 | 5.30 |
| Total | 100.14 | 96.43 | 99.07 | 97.39 | 96.99 | 100.16 | 98.17 | 98.73 | 99.09 |
| Si | 11.633 | 10.790 | 11.838 | 11.720 | 11.523 | 11.616 | 11.566 | 11.944 | 11.488 |
| Al | 4.279 | 5.731 | 4.161 | 4.199 | 4.660 | 4.278 | 4.381 | 4.023 | 4.600 |
| Fe3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Ti | 0.020 | 0.007 | 0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.004 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Fe2 | 0.085 | 0.079 | 0.022 | 0.014 | 0.029 | 0.134 | 0.034 | 0.059 | 0.097 |
| Mn | 0.000 | 0.000 | 0.003 | 0.006 | 0.005 | 0.002 | 0.002 | 0.000 | 0.000 |
| Mg | 0.046 | 0.050 | 0.017 | 0.008 | 0.014 | 0.100 | 0.020 | 0.000 | 0.027 |
| Ba | 0.021 | 0.011 | 0.000 | 0.000 | 0.025 | 0.009 | 0.012 | 0.014 | 0.091 |
| Ca | 0.183 | 0.020 | 0.000 | 0.410 | 0.000 | 0.232 | 0.185 | 0.020 | 0.248 |
| Na | 1.958 | 1.697 | 0.029 | 0.316 | 0.621 | 1.483 | 1.268 | 1.032 | 2.078 |
| K | 1.911 | 1.585 | 4.029 | 3.315 | 3.148 | 2.233 | 2.807 | 2.927 | 1.230 |
| Cations | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| X | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Z | 4.204 | 3.442 | 4.100 | 4.069 | 3.842 | 4.193 | 4.328 | 4.052 | 3.771 |
| Ab | 48.3 | 51.4 | 0.7 | 7.8 | 16.5 | 37.6 | 29.8 | 25.9 | 58.4 |
| An | 4.5 | 0.6 | 0.0 | 10.1 | 0.0 | 5.9 | 4.3 | 0.5 | 7.0 |
| Or | 47.2 | 48.0 | 99.3 | 82.0 | 83.5 | 56.6 | 65.9 | 73.6 | 34.6 |

| Sample | 21.001 | 21.002 | 21.003 | 21.004 | 21.005 | 21.006 | 21.007 | 21.008 | 21.009 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Analysis | | | | | | | | | |
| Location | YZU-1 | YZU-1 | YZU-1 | YZU-1 | YZU-1 | YZU-1 | YZU-1 | YZU-1 | YZU-1 |
| Mineral | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN |
| SiO2 | 65.67 | 59.82 | 63.86 | 59.23 | 61.66 | 62.18 | 61.20 | 61.57 | 63.65 |
| TiO2 | 0.19 | 0.18 | 0.28 | 0.02 | 0.16 | 0.00 | 0.45 | 0.00 | 0.02 |
| Al2O3 | 20.37 | 22.40 | 21.08 | 21.86 | 19.23 | 19.12 | 21.15 | 16.98 | 19.33 |
| FeO | 1.02 | 0.56 | 0.45 | 1.14 | 1.07 | 1.06 | 0.54 | 2.47 | 0.64 |
| MnO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| MgO | 0.51 | 0.26 | 0.09 | 1.10 | 1.24 | 1.18 | 0.05 | 0.02 | 0.27 |
| BaO | 0.27 | 3.65 | 1.51 | 0.04 | 0.19 | 0.11 | 4.31 | 1.49 | 0.00 |
| CaO | 0.34 | 0.83 | 1.17 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.27 | 0.00 | 0.00 |
| Na2O | 3.88 | 3.44 | 6.18 | 0.81 | 1.11 | 1.97 | 4.50 | 0.12 | 0.09 |
| K2O | 9.21 | 7.47 | 5.29 | 14.12 | 14.05 | 13.14 | 7.24 | 16.06 | 015.06 |
| Total | 101.46 | 98.61 | 99.91 | 98.32 | 98.71 | 98.76 | 99.71 | 98.71 | 99.06 |
| Si | 11.716 | 11.208 | 11.536 | 11.179 | 11.578 | 11.626 | 11.389 | 11.854 | 11.832 |
| Al | 4.280 | 4.942 | 4.485 | 4.859 | 4.252 | 4.210 | 4.635 | 3.850 | 4.232 |
| Fe3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Ti | 0.025 | 0.025 | 0.038 | 0.003 | 0.023 | 0.000 | 0.063 | 0.000 | 0.003 |
| Fe2 | 0.152 | 0.088 | 0.068 | 0.180 | 0.168 | 0.166 | 0.084 | 0.398 | 0.099 |
| Mn | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Mg | 0.136 | 0.073 | 0.024 | 0.310 | 0.347 | 0.329 | 0.014 | 0.006 | 0.075 |
| Ba | 0.019 | 0.268 | 0.107 | 0.003 | 0.014 | 0.008 | 0.314 | 0.112 | 0.000 |
| Ca | 0.065 | 0.167 | 0.226 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.054 | 0.000 | 0.000 |
| Na | 1.342 | 1.250 | 2.165 | 0.296 | 0.404 | 0.714 | 1.624 | 0.045 | 0.032 |
| K | 2.096 | 1.785 | 1.219 | 3.400 | 3.366 | 3.134 | 1.719 | 3.945 | 3.572 |
| Cations | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| X | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Z | 3.810 | 3.631 | 3.809 | 4.189 | 4.299 | 4.351 | 3.809 | 4.506 | 3.778 |
| Ab | 38.3 | 39.0 | 60.0 | 8.0 | 10.7 | 18.6 | 47.8 | 1.1 | 0.9 |
| An | 1.9 | 5.2 | 6.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.6 | 0.0 | 0.0 |
| Or | 59.8 | 55.7 | 33.8 | 92.0 | 89.3 | 81.4 | 50.6 | 98.9 | 99.1 |

| Sample | 21 010 | 21 011 | 21 012 | 21 013 | 21 014 | 21 015 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Analysis | | | | | | |
| Location | YZU-1 | YZU-1 | YZU-1 | YZU-1 | YZU-1 | YZU-1 |
| Mineral | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN |
| SiO2 | 61.56 | 61.11 | 63.37 | 67.69 | 66.47 | 64.12 |
| TiO2 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.10 |
| Al2O3 | 17.32 | 17.24 | 17.13 | 20.09 | 20.64 | 16.37 |
| FeO | 2.53 | 2.88 | 2.37 | 0.18 | 0.15 | 3.12 |
| MnO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| MgO | 0.06 | 0.08 | 0.17 | 0.08 | 0.07 | 0.08 |
| BaO | 1.79 | 2.60 | 1.08 | 0.12 | 0.00 | 1.21 |
| CaO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Na2O | 0.00 | 0.18 | 0.36 | 0.12 | 0.21 | 0.17 |
| K2O | 15.35 | 15.27 | 14.74 | 13.22 | 13.85 | 15.15 |
| Total | 98.63 | 99.36 | 99.22 | 101.50 | 101.41 | 100.32 |
| Si | 11.833 | 11.768 | 11.968 | 12.049 | 11.901 | 12.044 |
| Al | 3.921 | 3.910 | 3.810 | 4.211 | 4.352 | 3.621 |
| Fe3 | - | - | - | - | - | - |
| Ti | 0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.003 | 0.014 |
| Fe2 | 0.407 | 0.464 | 0.374 | 0.027 | 0.022 | 0.490 |
| Mn | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Mg | 0.017 | 0.023 | 0.048 | 0.021 | 0.019 | 0.022 |
| Ba | 0.135 | 0.196 | 0.080 | 0.008 | 0.000 | 0.089 |
| Ca | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Na | 0.000 | 0.067 | 0.132 | 0.041 | 0.073 | 0.062 |
| K | 3.764 | 3.752 | 3.551 | 3.002 | 3.163 | 3.630 |
| Cations | - | - | - | - | - | - |
| X | - | - | - | - | - | - |
| Z | 4.323 | 4.502 | 4.185 | 3.099 | 3.277 | 4.293 |
| Ab | 0.0 | 1.8 | 3.6 | 1.3 | 2.3 | 1.7 |
| An | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Or | 100.0 | 98.2 | 96.4 | 98.7 | 97.7 | 98.3 |

| Sample | 15.000 | 15.001 | 15.002 | 15.003 | 15.004 | 15.005 | 15.006 | 15.007 | 15.008 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Analysis | | | | | | | | | |
| Location | Ymi-5 | Ymi-5 | Ymi-5 | Ymi-5 | Ymi-5 | Ymi-5 | Ymi-5 | Ymi-5 | Ymi-5 |
| Mineral | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN |
| SiO2 | 61.90 | 61.67 | 61.45 | 61.30 | 62.31 | 63.62 | 63.09 | 61.12 | 63.93 |
| TiO2 | 0.07 | 0.27 | 0.14 | 0.05 | 0.03 | 0.10 | 0.13 | 0.05 | 0.02 |
| Al2O3 | 19.40 | 19.88 | 19.41 | 20.83 | 19.28 | 19.79 | 19.69 | 18.64 | 19.06 |
| FeO | 0.44 | 1.23 | 0.33 | 0.43 | 0.50 | 0.68 | 0.60 | 0.43 | 0.58 |
| MnO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| MgO | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.02 | 0.01 | 0.04 | 0.07 | 0.02 | 0.02 |
| BaO | 0.00 | 2.40 | 0.00 | 0.00 | 3.26 | 1.86 | 2.69 | 0.00 | 1.28 |
| CaO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.10 | 0.00 |
| Na2O | 0.74 | 1.85 | 1.65 | 1.80 | 2.36 | 2.02 | 2.52 | 1.19 | 1.35 |
| K2O | 13.64 | 12.53 | 13.60 | 12.50 | 12.03 | 13.00 | 12.13 | 15.06 | 14.65 |
| Total | 96.23 | 99.87 | 96.63 | 96.93 | 99.78 | 101.11 | 100.92 | 97.61 | 100.89 |
| Si | 11.787 | 11.560 | 11.701 | 11.565 | 11.699 | 11.701 | 11.668 | 11.669 | 11.807 |
| Al | 4.350 | 4.389 | 4.352 | 4.628 | 4.263 | 4.286 | 4.288 | 4.191 | 4.146 |
| Fe3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Ti | 0.010 | 0.038 | 0.020 | 0.007 | 0.004 | 0.014 | 0.018 | 0.007 | 0.003 |
| Fe2 | 0.070 | 0.193 | 0.053 | 0.068 | 0.079 | 0.105 | 0.093 | 0.069 | 0.090 |
| Mn | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Mg | 0.011 | 0.011 | 0.014 | 0.006 | 0.003 | 0.011 | 0.019 | 0.006 | 0.006 |
| Ba | 0.000 | 0.176 | 0.000 | 0.000 | 0.240 | 0.134 | 0.195 | 0.000 | 0.093 |
| Ca | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.225 | 0.000 |
| Na | 0.273 | 0.672 | 0.609 | 0.658 | 0.859 | 0.720 | 0.904 | 0.441 | 0.483 |
| K | 3.313 | 2.996 | 3.304 | 3.009 | 2.882 | 3.050 | 2.862 | 3.668 | 3.452 |
| Cations | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| X | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Z | 3.667 | 4.048 | 3.980 | 3.741 | 4.063 | 4.020 | 4.073 | 4.409 | 4.124 |
| Ab | 7.6 | 18.3 | 15.6 | 17.9 | 23.0 | 19.1 | 24.0 | 10.2 | 12.3 |
| An | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.2 | 0.0 |
| Or | 92.4 | 81.7 | 84.4 | 82.1 | 77.0 | 80.9 | 76.0 | 84.6 | 87.7 |

| Sample | 15.009 | 15.010 | 15.011 | 15.012 | 20.000 | 22.001 | 22.002 | 22.003 | 22.004 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Analysis | | | | | | | | | |
| Location | Ymi-5 | Ymi-5 | Ymi-5 | Ymi-5 | YZU-2 | YZU-2 | YZU-2 | YZU-2 | YZU-2 |
| Mineral | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN |
| SiO2 | 63.93 | 62.20 | 61.50 | 61.53 | 63.12 | 61.31 | 63.08 | 62.80 | 63.11 |
| TiO2 | 0.00 | 0.10 | 0.03 | 0.03 | 0.13 | 0.38 | 0.09 | 0.14 | 0.06 |
| Al2O3 | 18.54 | 18.13 | 19.45 | 20.49 | 17.21 | 15.62 | 17.59 | 17.75 | 17.18 |
| FeO | 0.29 | 0.39 | 0.62 | 0.68 | 2.10 | 3.27 | 1.66 | 1.86 | 2.65 |
| MnO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.04 | 0.14 | 0.03 | 0.00 |
| MgO | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.05 | 0.10 | 0.11 | 0.00 | 0.11 | 0.06 |
| BaO | 0.07 | 0.11 | 1.88 | 4.10 | 1.09 | 1.73 | 0.48 | 1.45 | 0.95 |
| CaO | 0.00 | 1.36 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.10 | 0.02 | 0.00 | 0.03 |
| Na2O | 1.80 | 1.74 | 0.99 | 2.04 | 0.15 | 0.25 | 0.16 | 0.24 | 0.08 |
| K2O | 14.52 | 14.22 | 14.21 | 11.28 | 16.14 | 15.01 | 16.48 | 15.64 | 16.40 |
| Total | 99.15 | 98.25 | 98.69 | 100.20 | 100.05 | 97.82 | 99.70 | 100.02 | 100.52 |
| Si | 11.899 | 11.764 | 11.663 | 11.531 | 11.906 | 11.938 | 11.889 | 11.841 | 11.884 |
| Al | 4.064 | 4.038 | 4.344 | 4.522 | 3.823 | 3.582 | 3.904 | 3.941 | 3.810 |
| Fe3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Ti | 0.000 | 0.014 | 0.004 | 0.004 | 0.018 | 0.056 | 0.013 | 0.020 | 0.008 |
| Fe2 | 0.045 | 0.062 | 0.098 | 0.107 | 0.331 | 0.532 | 0.262 | 0.293 | 0.417 |
| Mn | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.007 | 0.022 | 0.005 | 0.000 |
| Mg | 0.000 | 0.000 | 0.003 | 0.014 | 0.028 | 0.032 | 0.000 | 0.031 | 0.017 |
| Ba | 0.005 | 0.008 | 0.140 | 0.301 | 0.081 | 0.132 | 0.035 | 0.107 | 0.070 |
| Ca | 0.000 | 0.276 | 0.000 | 0.000 | 0.002 | 0.021 | 0.004 | 0.000 | 0.006 |
| Na | 0.650 | 0.638 | 0.364 | 0.741 | 0.055 | 0.094 | 0.058 | 0.088 | 0.029 |
| K | 3.448 | 3.431 | 3.438 | 2.697 | 3.884 | 3.729 | 3.963 | 3.762 | 3.940 |
| Cations | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| X | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Z | 4.148 | 4.415 | 4.043 | 3.860 | 4.381 | 4.547 | 4.344 | 4.286 | 4.479 |
| Ab | 15.9 | 14.7 | 9.6 | 21.6 | 1.4 | 2.4 | 1.4 | 2.3 | 0.7 |
| An | 0.0 | 6.4 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.5 | 0.1 | 0.0 | 0.2 |
| Or | 84.1 | 79.0 | 90.4 | 78.4 | 98.6 | 97.0 | 98.5 | 97.7 | 99.1 |

| Sample | 22.005 | 22.006 | 22.007 | 22.008 | 22.009 | 22.010 | 22.011 | 22.012 | 22.013 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Analysis | | | | | | | | | |
| Location | YZU-2 | YZU-2 | YZU-2 | YZU-2 | YZU-2 | YZU-2 | YZU-2 | YZU-2 | YZU-2 |
| Mineral | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN |
| SiO2 | 61.57 | 63.65 | 61.56 | 61.11 | 63.37 | 67.69 | 66.47 | 64.12 | 63.37 |
| TiO2 | 0.00 | 0.02 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.10 | 0.08 |
| Al2O3 | 16.98 | 19.33 | 17.32 | 17.24 | 17.13 | 20.09 | 20.64 | 16.37 | 15.86 |
| FeO | 2.47 | 0.64 | 2.53 | 2.88 | 2.37 | 0.18 | 0.15 | 3.12 | 3.69 |
| MnO | 0.02 | 0.27 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| MgO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.08 | 0.17 | 0.18 | 0.07 | 0.08 | 0.06 |
| BaO | 1.49 | 0.00 | 1.79 | 2.60 | 1.08 | 0.12 | 0.00 | 1.21 | 1.95 |
| CaO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Na2O | 0.12 | 0.09 | 0.00 | 0.18 | 0.36 | 0.12 | 0.21 | 0.17 | 0.26 |
| K2O | 16.06 | 15.06 | 15.35 | 15.27 | 14.74 | 13.22 | 13.85 | 15.15 | 14.77 |
| Total | 98.71 | 99.06 | 98.57 | 99.36 | 99.22 | 101.60 | 101.41 | 100.32 | 100.04 |
| Si | 11.855 | 11.844 | 11.840 | 11.768 | 11.968 | 12.039 | 11.901 | 12.044 | 12.033 |
| Al | 3.850 | 4.236 | 3.923 | 3.910 | 3.810 | 4.208 | 4.352 | 3.621 | 3.547 |
| Fe3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Ti | 0.000 | 0.003 | 0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.003 | 0.014 | 0.011 |
| Fe2 | 0.398 | 0.100 | 0.407 | 0.464 | 0.374 | 0.027 | 0.022 | 0.490 | 0.586 |
| Mn | 0.003 | 0.043 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Mg | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.023 | 0.048 | 0.048 | 0.019 | 0.022 | 0.017 |
| Ba | 0.112 | 0.000 | 0.135 | 0.196 | 0.080 | 0.008 | 0.000 | 0.089 | 0.145 |
| Ca | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Na | 0.045 | 0.032 | 0.000 | 0.067 | 0.132 | 0.041 | 0.073 | 0.062 | 0.096 |
| K | 3.945 | 3.575 | 3.766 | 3.752 | 3.551 | 3.000 | 3.163 | 3.630 | 3.578 |
| Cations | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| X | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Z | 4.503 | 3.750 | 4.308 | 4.502 | 4.185 | 3.124 | 3.277 | 4.293 | 4.422 |
| Ab | 1.1 | 0.9 | 0.0 | 1.8 | 3.6 | 1.3 | 2.3 | 1.7 | 2.6 |
| An | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Or | 98.9 | 99.1 | 100.0 | 98.2 | 96.4 | 98.7 | 97.7 | 98.3 | 97.4 |

| Sample | 22.014 | 22.015 | 22.016 | 22.017 | 23.000 | 23.001 | 23.002 | 23.003 | 23.004 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Analysis | | psd-1c | psd-1c | psd-1c | | | | | |
| Location | YZU-2 | YZU-2 | YZU-2 | YZU-2 | YZU-3 | YZU-3 | YZU-3 | YZU-3 | YZU-3 |
| Mineral | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN |
| SiO2 | 62.85 | 63.76 | 60.83 | 61.97 | 64.02 | 64.12 | 64.27 | 64.38 | 63.19 |
| TiO2 | 0.00 | 0.07 | 0.23 | 0.00 | 0.23 | 0.27 | 0.22 | 0.22 | 0.29 |
| Al2O3 | 16.98 | 21.11 | 18.60 | 19.99 | 17.85 | 18.61 | 18.97 | 18.72 | 19.22 |
| FeO | 2.24 | 0.23 | 2.51 | 0.41 | 1.32 | 0.82 | 1.16 | 0.86 | 0.99 |
| MnO | 0.00 | 0.02 | 0.04 | 0.04 | 0.00 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.02 |
| MgO | 0.04 | 0.26 | 2.73 | 0.90 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 |
| BaO | 2.25 | 0.24 | 0.20 | 0.70 | 0.52 | 0.09 | 0.06 | 0.01 | 1.58 |
| CaO | 0.00 | 0.01 | 0.11 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.08 | 0.02 | 0.01 |
| Na2O | 0.12 | 0.59 | 0.43 | 0.31 | 1.78 | 1.43 | 1.12 | 1.66 | 2.01 |
| K2O | 13.70 | 15.26 | 11.60 | 14.46 | 12.92 | 14.19 | 14.22 | 13.32 | 12.24 |
| Total | 98.18 | 101.55 | 97.28 | 98.78 | 98.65 | 99.56 | 100.10 | 99.20 | 99.55 |
| Si | 12.015 | 11.595 | 11.511 | 11.610 | 11.964 | 11.878 | 11.844 | 11.904 | 11.754 |
| Al | 3.823 | 4.521 | 4.145 | 4.410 | 3.928 | 4.060 | 4.117 | 4.076 | 4.210 |
| Fe3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Ti | 0.000 | 0.010 | 0.033 | 0.000 | 0.032 | 0.038 | 0.030 | 0.031 | 0.041 |
| Fe2 | 0.358 | 0.035 | 0.397 | 0.064 | 0.206 | 0.127 | 0.179 | 0.133 | 0.154 |
| Mn | 0.000 | 0.003 | 0.006 | 0.006 | 0.000 | 0.005 | 0.000 | 0.000 | 0.003 |
| Mg | 0.011 | 0.070 | 0.770 | 0.251 | 0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.003 | 0.000 |
| Ba | 0.169 | 0.017 | 0.015 | 0.051 | 0.038 | 0.007 | 0.004 | 0.001 | 0.115 |
| Ca | 0.000 | 0.002 | 0.022 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.016 | 0.004 | 0.002 |
| Na | 0.044 | 0.208 | 0.158 | 0.113 | 0.645 | 0.514 | 0.400 | 0.595 | 0.725 |
| K | 3.341 | 3.540 | 2.800 | 3.456 | 3.080 | 3.354 | 3.343 | 3.142 | 2.905 |
| Cations | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| X | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Z | 3.923 | 3.875 | 4.168 | 3.941 | 3.972 | 4.007 | 3.942 | 3.878 | 3.904 |
| Ab | 1.3 | 5.5 | 5.3 | 3.2 | 17.3 | 13.3 | 10.6 | 15.9 | 20.0 |
| An | 0.0 | 0.1 | 0.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 0.1 | 0.1 |
| Or | 98.7 | 94.4 | 94.0 | 96.8 | 82.7 | 86.7 | 88.9 | 84.0 | 80.0 |

| Sample | 23 005 | 23 006 | 23 007 | 23 008 | 23 009 | 23 010 | 23 011 | 23 012 | 23 013 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| Analysis | | | | | | | | DeMin93 | DeMin93 |
| Location | YZU-3 | YZU-3 | YZU-3 | YZU-3 | YZU-3 | YZU-3 | YZU-3 | YZU-3 | YZU-3 |
| Mineral | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN |
| SiO2 | 62.93 | 60.98 | 64.82 | 62.62 | 65.45 | 62.97 | 61.81 | 64.90 | 64.98 |
| TiO2 | 0.17 | 0.25 | 0.27 | 0.25 | 0.25 | 0.17 | 0.30 | 0.00 | 0.00 |
| Al2O3 | 18.92 | 18.72 | 19.09 | 18.94 | 18.88 | 19.61 | 18.13 | 18.36 | 13.38 |
| FeO | 0.01 | 0.63 | 0.87 | 0.71 | 0.70 | 0.70 | 0.81 | 0.00 | 0.00 |
| MnO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| MgO | 0.02 | 0.00 | 0.03 | 0.04 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| BaO | 0.90 | 1.18 | 0.16 | 0.58 | 0.28 | 1.34 | 0.07 | 0.00 | 0.00 |
| CaO | 0.00 | 0.02 | 0.14 | 0.02 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| Na2O | 2.19 | 1.78 | 1.50 | 1.86 | 1.83 | 1.82 | 1.67 | 0.25 | 0.57 |
| K2O | 12.33 | 12.59 | 13.85 | 12.85 | 13.27 | 12.74 | 12.72 | 16.60 | 16.22 |
| Total | 97.47 | 96.15 | 100.73 | 97.87 | 100.67 | 99.37 | 95.53 | 100.11 | 95.15 |
| Si | 11.849 | 11.741 | 11.848 | 11.787 | 11.926 | 11.722 | 11.873 | 11.998 | 12.639 |
| Al | 4.195 | 4.245 | 4.109 | 4.198 | 4.052 | 4.299 | 4.101 | 3.997 | 3.065 |
| Fe3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Ti | 0.024 | 0.036 | 0.037 | 0.035 | 0.034 | 0.024 | 0.043 | 0.000 | 0.000 |
| Fe2 | 0.002 | 0.101 | 0.133 | 0.112 | 0.107 | 0.109 | 0.130 | 0.000 | 0.000 |
| Mn | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.002 | 0.000 | 0.000 |
| Mg | 0.006 | 0.000 | 0.008 | 0.011 | 0.003 | 0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ba | 0.066 | 0.089 | 0.011 | 0.043 | 0.020 | 0.098 | 0.005 | 0.000 | 0.000 |
| Ca | 0.000 | 0.004 | 0.027 | 0.004 | 0.000 | 0.002 | 0.002 | 0.000 | 0.000 |
| Na | 0.800 | 0.665 | 0.532 | 0.679 | 0.647 | 0.657 | 0.622 | 0.090 | 0.215 |
| K | 2.962 | 3.092 | 3.230 | 3.086 | 3.085 | 3.026 | 3.117 | 3.915 | 4.025 |
| Cations | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| X | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Z | 3.836 | 3.951 | 3.941 | 3.935 | 3.862 | 3.895 | 3.878 | 4.005 | 4.240 |
| Ab | 21.3 | 17.7 | 14.0 | 18.0 | 17.3 | 17.8 | 16.6 | 2.2 | 5.1 |
| An | 0.0 | 0.1 | 0.7 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 |
| Or | 78.7 | 82.2 | 85.2 | 81.9 | 82.7 | 82.1 | 83.3 | 97.8 | 94.9 |

| Sample | 26.000 | 26.001 | 26.002 | 26.003 | 26.004 | 26.005 | 26.006 | 26.007 | 26.008 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Analysis | | | | | | | | | |
| Location | YZU-6 | YZU-6 | YZU-6 | YZU-6 | YZU-6 | YZU-6 | YZU-6 | YZU-6 | YZU-6 |
| Mineral | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN |
| SiO2 | 64.33 | 64.07 | 64.11 | 67.79 | 63.71 | 62.47 | 63.43 | 64.22 | 63.18 |
| TiO2 | 0.27 | 0.17 | 0.26 | 0.20 | 0.11 | 0.88 | 0.24 | 0.02 | 0.19 |
| Al2O3 | 17.80 | 17.98 | 17.92 | 18.21 | 17.90 | 17.42 | 18.20 | 17.88 | 18.14 |
| FeO | 1.41 | 1.17 | 1.27 | 1.45 | 1.56 | 3.21 | 1.40 | 1.46 | 1.12 |
| MnO | 0.04 | 0.12 | 0.12 | 0.02 | 0.00 | 0.11 | 0.00 | 0.00 | 0.07 |
| MgO | 0.09 | 0.00 | 0.10 | 0.00 | 0.05 | 0.04 | 0.02 | 0.00 | 0.06 |
| BaO | 0.69 | 0.55 | 0.48 | 1.40 | 1.21 | 0.00 | 1.10 | 0.57 | 0.06 |
| CaO | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.16 | 0.01 | 0.03 | 0.05 |
| Na2O | 2.15 | 2.07 | 1.99 | 2.03 | 2.30 | 2.02 | 2.11 | 2.01 | 2.14 |
| K2O | 13.37 | 13.63 | 13.62 | 13.35 | 13.26 | 13.15 | 13.44 | 13.85 | 13.74 |
| Total | 100.15 | 99.76 | 99.88 | 104.45 | 100.10 | 99.46 | 99.95 | 100.04 | 98.75 |
| Si | 11.915 | 11.907 | 11.898 | 12.029 | 11.868 | 11.730 | 11.824 | 11.924 | 11.842 |
| Al | 3.883 | 3.935 | 3.917 | 3.805 | 3.927 | 3.852 | 3.995 | 3.910 | 4.004 |
| Fe3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Ti | 0.038 | 0.024 | 0.036 | 0.027 | 0.015 | 0.124 | 0.034 | 0.003 | 0.027 |
| Fe2 | 0.218 | 0.182 | 0.197 | 0.215 | 0.243 | 0.504 | 0.218 | 0.227 | 0.176 |
| Mn | 0.006 | 0.019 | 0.019 | 0.003 | 0.000 | 0.017 | 0.000 | 0.000 | 0.011 |
| Mg | 0.025 | 0.000 | 0.028 | 0.000 | 0.014 | 0.011 | 0.006 | 0.000 | 0.017 |
| Ba | 0.050 | 0.040 | 0.035 | 0.097 | 0.088 | 0.000 | 0.080 | 0.041 | 0.004 |
| Ca | 0.000 | 0.000 | 0.002 | 0.000 | 0.000 | 0.032 | 0.002 | 0.006 | 0.010 |
| Na | 0.772 | 0.746 | 0.716 | 0.698 | 0.831 | 0.735 | 0.763 | 0.724 | 0.778 |
| K | 3.159 | 3.232 | 3.225 | 3.022 | 3.151 | 3.150 | 3.196 | 3.281 | 3.286 |
| Cations | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| X | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Z | 4.230 | 4.219 | 4.222 | 4.035 | 4.327 | 4.449 | 4.265 | 4.279 | 4.282 |
| Ab | 19.6 | 18.8 | 18.2 | 18.8 | 20.9 | 18.8 | 19.3 | 18.1 | 19.1 |
| An | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.8 | 0.1 | 0.1 | 0.2 |
| Or | 80.4 | 81.2 | 81.8 | 81.2 | 79.1 | 80.4 | 80.7 | 81.8 | 80.7 |

| Sample | 26.009 | 26.010 | 26.011 | 26.012 | 26.013 | 26.014 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Analysis | | | | | | |
| Location | YZU-6 | YZU-6 | YZU-6 | YZU-6 | YZU-6 | YZU-6 |
| Mineral | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN | SAN |
| SiO2 | 63.97 | 63.29 | 63.64 | 64.18 | 62.92 | 64.29 |
| TiO2 | 0.26 | 0.10 | 0.23 | 0.30 | 0.06 | 0.20 |
| Al2O3 | 17.95 | 17.81 | 17.97 | 18.05 | 18.56 | 18.01 |
| FeO | 1.36 | 1.40 | 1.37 | 1.47 | 0.52 | 1.64 |
| MnO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.10 | 0.08 |
| MgO | 0.07 | 0.00 | 0.06 | 0.00 | 0.09 | 0.06 |
| BaO | 0.00 | 0.35 | 0.58 | 0.23 | 0.00 | 0.54 |
| CaO | 0.00 | 0.02 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Na2O | 2.17 | 2.03 | 2.48 | 2.19 | 0.20 | 1.94 |
| K2O | 13.76 | 13.76 | 13.62 | 13.55 | 16.40 | 13.68 |
| Total | 99.54 | 98.76 | 99.98 | 99.99 | 98.85 | 100.44 |
| Si | 11.888 | 11.893 | 11.841 | 11.883 | 11.840 | 11.887 |
| Al | 3.928 | 3.941 | 3.937 | 3.936 | 4.113 | 3.921 |
| Fe3 | - | - | - | - | - | - |
| Ti | 0.036 | 0.014 | 0.032 | 0.042 | 0.008 | 0.028 |
| Fe2 | 0.211 | 0.220 | 0.213 | 0.228 | 0.082 | 0.254 |
| Mn | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.003 | 0.016 | 0.013 |
| Mg | 0.019 | 0.000 | 0.017 | 0.000 | 0.025 | 0.017 |
| Ba | 0.000 | 0.026 | 0.042 | 0.017 | 0.000 | 0.039 |
| Ca | 0.000 | 0.004 | 0.006 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Na | 0.782 | 0.740 | 0.895 | 0.786 | 0.073 | 0.696 |
| K | 3.262 | 3.299 | 3.233 | 3.201 | 3.937 | 3.227 |
| Cations | - | - | - | - | - | - |
| X | - | - | - | - | - | - |
| Z | 4.274 | 4.289 | 4.406 | 4.235 | 4.133 | 4.246 |
| Ab | 19.3 | 18.3 | 21.6 | 19.7 | 1.8 | 17.7 |
| An | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Or | 80.7 | 81.6 | 78.2 | 80.3 | 98.2 | 82.3 |

A8

Composição química, em porcentagem em peso, de minerais de titânio das rochas “lamprofíricas” do Paraguai: *pseudobrookitas*: $TiO_2 > 55\%$ *Ilmenitas*: $TiO_2 < 55\%$, (ambos como Ilm), *rutilos* (RUT, rut), *perovskita* (Per).

“lamprófiros”

Ymi-1 (10.001-10.031 e sem numeração rutilo de Nb);
Ymi-8 (*pipe*) (18.001-18.028).

“lamproítos”

Yzu-2 (22.000-22.012);
Yzu-3 (23.000-23.003);
Yzu-6 (26.000-26.001)

Ymi-5 (15.001-15.002) e Três Ranchos 4: 001. = perovskita.

| Sample | 10.020 | 10.021 | 10.022 | 10.023 | 10.024 | 10.030 | 10.031 |
|----------|----------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Analysis | | | | | | | |
| Location | YMI-1-6s | YMI-1-6s | YMI-1 | YMI-1 | YMI-1 | YMI-1 | YMI-1 |
| Mineral | rut | rut | rut | rut | rut | rut | rut |
| TiO2 | 99,60 | 98,87 | 92,70 | 93,14 | 99,16 | 53,65 | 52,41 |
| Cr2O3 | 0,09 | 0,37 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Al2O3 | 0,13 | 0,02 | 0,10 | 0,11 | 0,13 | 0,27 | 0,27 |
| FeO | 0,18 | 0,12 | 2,53 | 2,44 | 0,13 | 1,85 | 2,27 |
| Fe2O3 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9,46 | 9,33 |
| MnO | 0,00 | 0,07 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,45 | 0,52 |
| MgO | 0,10 | 0,07 | 0,06 | 0,00 | 0,16 | 0,04 | 0,04 |
| NiO | 0,02 | 0,00 | 0,04 | 0,00 | 0,00 | 0,15 | 0,05 |
| Total | 100,12 | 99,52 | 95,43 | 95,70 | 99,58 | 65,87 | 64,89 |

| | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| TiO2 | 54,7 | 55,09 | 54,52 | 47,85 | 45,83 | 54,85 |
| ZrO2 | 0,97 | 0,58 | 0,97 | 1,19 | 1,28 | 1,21 |
| Al2O3 | 0,26 | | | | | |
| Ce2O3 | 0,6 | | | | | |
| Fe2O3 | 9,47 | | | | | |
| FeO | 1,99 | | | | | |
| MnO | 0,41 | | | | | |
| MgO | 0,1 | | | | | |
| NiO | 0,1 | 0,12 | 0 | 0 | 0,07 | 0,09 |
| BaO | 0,25 | | | | | |
| PbO | 0,22 | | | | | |
| Na2O | 0,02 | | | | | |
| K2O | 0 | | | | | |
| Nb2O5 | 23,35 | | | | | |
| Total | 92,65 | | | | | |

| | | | | |
|--------------------------------|--------|-------|-------|-------|
| Sample | 18.00 | 18.02 | 18.02 | 18.00 |
| Analysis | | | | |
| Location | 734.8 | 734.8 | 734.8 | 734.8 |
| Mixed | 827 | 827 | 827 | 827 |
| SiO ₂ | 100.14 | 98.89 | 95.17 | 97.30 |
| CaO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Al ₂ O ₃ | 0.00 | 0.13 | 0.23 | 0.10 |
| FeO | 0.12 | 0.22 | 1.67 | 0.69 |
| Fe ₂ O ₃ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| MnO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.07 |
| MgO | 0.13 | 0.13 | 0.07 | 0.08 |
| K ₂ O | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.10 |
| Total | 100.31 | 99.37 | 97.24 | 98.34 |

| Sample | 10.001 | 10.002 | 10.003 | 10.004 | 10.005 | 10.006 | 10.007 | 10.008 | 10.011 |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| Analysis | | | | | | | | | 173 |
| Location | YMI-1-fs | YMI-1-fs | YMI-1-fs | YMI-1-fs | YMI-1-fs | YMI-1-fs | YMI-1-fs | YMI-1-fs | YMI-1 |
| Mineral | Ilm | Ilm | Ilm | Ilm | Ilm | Ilm | Ilm | Ilm | Ilm |
| TiO2 | 57.52 | 58.68 | 53.89 | 61.01 | 63.05 | 63.83 | 55.67 | 60.37 | 59.27 |
| Cr2O3 | 0.06 | 0.11 | 0.00 | 0.04 | 0.15 | 0.02 | 0.05 | 0.00 | 0.02 |
| Al2O3 | 0.28 | 0.14 | 0.22 | 0.35 | 1.24 | 0.27 | 0.23 | 0.45 | 0.56 |
| FeO | 21.7 | 21.27 | 27.14 | 11.68 | 13.36 | 17.12 | 25.28 | 19.87 | 21.34 |
| Fe2O3 | 13.91 | 14.12 | 14.16 | 14.00 | 13.58 | 14.10 | 14.68 | 14.22 | 14.29 |
| MnO | 0.69 | 1.33 | 2.77 | 7.86 | 0.80 | 0.76 | 0.85 | 1.70 | 1.07 |
| MgO | 0.20 | 0.24 | 0.35 | 0.18 | 0.23 | 0.12 | 1.54 | 0.15 | 0.25 |
| NiO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.13 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Total | 94.36 | 95.89 | 98.53 | 95.25 | 92.41 | 96.22 | 98.30 | 96.76 | 96.80 |

| Sample | 10.012 | 10.017 | 18.013 | 18.016 |
|----------|--------|----------|--------|--------|
| Analysis | 173 | | | |
| Location | YMI-1 | YMI-1-fs | YMI-8 | YMI-8 |
| Mineral | Ilm | Ilm | Ilm | Ilm |
| TiO2 | 58.68 | 59.96 | 52.96 | 55.06 |
| Cr2O3 | 0.00 | 0.12 | 0.04 | 0.00 |
| Al2O3 | 0.27 | 0.34 | 0.23 | 0.36 |
| FeO | 19.77 | 21.37 | 27.56 | 21.80 |
| Fe2O3 | 14.14 | 14.29 | 14.22 | 13.51 |
| MnO | 2.96 | 0.60 | 0.50 | 0.51 |
| MgO | 0.17 | 0.29 | 0.47 | 0.40 |
| NiO | 0.09 | 0.03 | 0.03 | 0.00 |
| Total | 96.08 | 97.00 | 96.01 | 91.64 |

| Sample | 10.009 | 10.010 | 10.013 | 10.014 | 10.016 | 18.001 | 18.002 | 18.003 | 18.004 |
|----------|--------|--------|--------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Analysis | | | 173 | | | | | | |
| Location | YMI-1 | YMI-1 | YMI-1 | YMI-1-6s | YMI-1 | YMI-8 | YMI-8 | YMI-8 | YMI-8 |
| Mineral | Ilm | Ilm | Ilm | Ilm | Ilm | Ilm | Ilm | Ilm | Ilm |
| TiO2 | 40.35 | 40.50 | 46.52 | 48.27 | 41.44 | 50.44 | 50.73 | 51.00 | 49.69 |
| Cr2O3 | 0.01 | 0.05 | 0.01 | 0.02 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.09 |
| Al2O3 | 0.25 | 0.22 | 0.56 | 0.17 | 0.29 | 0.12 | 0.11 | 0.19 | 0.10 |
| FeO | 37.13 | 38.74 | 30.83 | 33.01 | 37.81 | 33.35 | 32.84 | 31.58 | 33.31 |
| Fe2O3 | 14.44 | 14.80 | 15.58 | 14.58 | 14.81 | 14.58 | 14.91 | 14.63 | 14.76 |
| MnO | 1.12 | 1.36 | 0.39 | 1.51 | 1.27 | 0.58 | 0.49 | 0.51 | 0.60 |
| MgO | 1.69 | 1.72 | 5.71 | 0.32 | 1.73 | 0.18 | 0.84 | 0.49 | 0.51 |
| NiO | 0.07 | 0.00 | 0.03 | 0.01 | 0.04 | 0.06 | 0.03 | 0.00 | 0.09 |
| Total | 95.06 | 97.39 | 99.63 | 97.89 | 97.39 | 99.32 | 99.95 | 98.41 | 99.15 |

| Sample | 18.005 | 18.006 | 18.007 | 18.008 | 18.009 | 18.010 | 18.011 | 18.012 | 18.014 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Analysis | | | | | | | | | |
| Location | YMI-8 | YMI-8 | YMI-8 | YMI-8 | YMI-8 | YMI-8 | YMI-8 | YMI-8 | YMI-8 |
| Mineral | Ilm | Ilm | Ilm | Ilm | Ilm | Ilm | Ilm | Ilm | Ilm |
| TiO2 | 48.80 | 50.08 | 49.04 | 49.09 | 49.80 | 48.57 | 48.08 | 49.30 | 49.42 |
| Cr2O3 | 0.68 | 0.03 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | 0.09 | 0.05 | 0.00 | 0.0 |
| Al2O3 | 0.06 | 0.15 | 0.04 | 0.14 | 0.14 | 0.13 | 0.14 | 0.20 | 0.12 |
| FeO | 33.54 | 33.34 | 32.53 | 32.97 | 33.23 | 32.54 | 29.48 | 32.20 | 33.06 |
| Fe2O3 | 14.60 | 15.02 | 14.52 | 14.60 | 14.80 | 14.53 | 13.74 | 14.45 | 14.69 |
| MnO | 0.45 | 0.61 | 1.34 | 0.41 | 0.61 | 0.58 | 0.48 | 0.39 | 0.58 |
| MgO | 0.08 | 1.11 | 0.20 | 0.61 | 0.60 | 0.83 | 0.48 | 0.53 | 0.60 |
| NiO | 0.00 | 0.00 | 0.08 | 0.14 | 0.12 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.13 |
| Total | 98.21 | 100.34 | 97.77 | 97.97 | 99.30 | 97.28 | 92.45 | 97.07 | 98.60 |

| Sample | 18 015 | 18 018 | 18 019 |
|--------------------------------|--------|--------|--------|
| Analysis | | | |
| Location | YMI-8 | YMI-8 | YMI-8 |
| Mineral | Dm | Dm | Dm |
| TiO ₂ | 51.38 | 49.61 | 49.41 |
| Cr ₂ O ₃ | 0.11 | 0.05 | 0.08 |
| Al ₂ O ₃ | 0.12 | 0.03 | 0.06 |
| FeO | 32.18 | 33.93 | 34.13 |
| Fe ₂ O ₃ | 14.95 | 14.77 | 14.81 |
| MnO | 0.63 | 0.43 | 0.59 |
| MgO | 0.84 | 0.41 | 0.44 |
| NiO | 0.07 | 0.05 | 0.00 |
| Total | 100.28 | 99.28 | 99.52 |

| Sample | 22.000 | 22.001 | 22.002 | 22.003 | 22.004 | 22.005 | 22.006 | 22.007 | 22.008 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Analysis | | | | | | | | | |
| Location | Yzu-2 | Yzu-2 | Yzu-2 | Yzu-2 | Yzu-2 | Yzu-2 | Yzu-2 | Yzu-2 | Yzu-2 |
| Mineral | Ilm | Ilm | Ilm | Ilm | Ilm | Ilm | Ilm | Ilm | Ilm |
| TiO2 | 46.65 | 49.71 | 47.62 | 47.85 | 47.86 | 48.94 | 49.45 | 48.68 | 48.79 |
| Cr2O3 | 0.02 | 0.05 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.08 | 0.00 | 0.04 |
| Al2O3 | 0.53 | 0.06 | 0.53 | 0.96 | 0.05 | 0.26 | 1.38 | 0.07 | 0.04 |
| FeO | 21.82 | 28.09 | 28.70 | 25.62 | 30.04 | 33.75 | 38.22 | 27.09 | 27.29 |
| Fe2O3 | 13.35 | 14.47 | 8.00 | 14.16 | 14.38 | 4.90 | 1.32 | 14.12 | 14.70 |
| MnO | 3.77 | 3.07 | 3.77 | 2.74 | 2.25 | 2.76 | 4.23 | 2.82 | 4.70 |
| MgO | 1.73 | 1.13 | 1.73 | 2.24 | 1.20 | 1.40 | 1.98 | 1.17 | 1.94 |
| NiO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Total | 87.87 | 96.58 | 90.37 | 93.57 | 95.78 | 92.08 | 96.66 | 93.95 | 97.50 |

| Sample | 22.009 | 22.010 | 22.011 | 22.012 | 23.000 | 23.001 | 23.002 | 23.003 | 26.000 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|
| Analysis | | | | | | | | DeMin93 | |
| Location | Yzu-2 | Yzu-2 | Yzu-2 | Yzu-2 | Yzu-3 | Yzu-3 | Yzu-3 | Yzu-3 | Yzu-6 |
| Mineral | Ilm | Ilm | Ilm | Ilm | Ilm | Ilm | Ilm | Ilm | Ilm |
| TiO2 | 48.78 | 49.16 | 49.59 | 49.23 | 46.96 | 47.78 | 48.45 | 53.10 | 51.40 |
| Cr2O3 | 0.00 | 0.00 | 0.05 | 0.10 | 0.06 | 0.13 | 0.09 | 0.05 | 0.00 |
| Al2O3 | 0.10 | 0.14 | 0.27 | 0.15 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.29 |
| FeO | 27.66 | 28.31 | 36.58 | 22.76 | 40.68 | 40.92 | 41.37 | 0.00 | 32.82 |
| Fe2O3 | 14.68 | 14.70 | 6.33 | 13.77 | 5.37 | 5.76 | 5.01 | 40.99 | 14.85 |
| MnO | 6.60 | 5.23 | 4.04 | 5.74 | 1.12 | 1.01 | 1.08 | 1.07 | 0.33 |
| MgO | 0.59 | 0.80 | 2.09 | 0.69 | 5.63 | 5.47 | 5.66 | 3.67 | 0.23 |
| NiO | 0.00 | 0.02 | 0.06 | 0.07 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.13 |
| Total | 98.41 | 98.36 | 99.01 | 92.51 | 99.82 | 101.08 | 101.67 | 98.88 | 100.05 |

| Sample | 26 001 | Sample | 001 | 15 001 | 15 002 |
|----------|--------|----------|-------|--------|--------|
| Analysis | | Analysis | | | |
| Location | Yzu-6 | Location | 3R4 | YMI-5 | YMI-5 |
| Mineral | flm | Mineral | Per | Per | Per |
| TiO2 | 49.95 | | | | |
| Cr2O3 | 0.08 | SiO2 | 0.16 | 0.16 | 0.98 |
| Al2O3 | 1.38 | TiO2 | 51.03 | 61.91 | 49.01 |
| FeO | 22.87 | Al2O3 | 0.12 | 0.11 | 0.92 |
| Fe2O3 | 14.27 | FeO | 1.42 | 0.96 | 0.96 |
| MnO | 4.23 | Cr2O3 | 0.17 | 0.03 | 0.00 |
| MgO | 1.98 | MnO | 0.05 | 0.00 | 0.63 |
| NiO | 0.00 | NiO | 0.00 | 0.07 | 0.01 |
| Total | 94.76 | MgO | 0.27 | 0.06 | 0.23 |
| | | CeO | 31.22 | 22.44 | 18.92 |
| | | Na2O | 1.72 | 0.20 | 0.14 |
| | | K2O | 0.13 | 0.02 | 0.12 |
| | | BaO | - | 0.18 | - |
| | | SrO | - | 0.29 | - |
| | | REE | - | - | - |

A9

**Composição química, em porcentagem em peso, de carbonatos
e turmalinas de rochas "lamproíricas" do Paraguai.
(car, CAR, tur)**

"Lamprófiros"

Ymi-1 (10.000-10.007=carbonato), (10.002-10.043=turmalina);
Yzu-6 (26.000-26.002=carbonato)

"Lamproitos"

20.00-20.41 = turmalinas (tirados de Fipke, 1994).

| Sample | 10.000 | 10.001 | 10.002 | 10.003 | 10.004 | 10.005 | 10.006 | 10.007 |
|----------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|
| Analysis | | | | | | | | |
| Location | YMI-1-d | YMI-1-d | YMI-1-d | YMI-1-d | YMI-1-p1 | YMI-1-d | YMI-1-d | YMI-1-d |
| Mineral | car | car | car | car | car | car | car | car |
| SiO2 | 0.08 | 0.61 | 0.11 | 0.08 | 0.19 | 0.13 | 0.11 | 3.37 |
| FeO | 21.10 | 21.37 | 22.96 | 21.48 | 0.13 | 25.52 | 23.46 | 22.44 |
| MnO | 0.60 | 0.42 | 0.83 | 0.69 | 0.84 | 1.12 | 0.78 | 0.98 |
| MgO | 31.94 | 31.78 | 30.87 | 32.24 | 0.79 | 26.19 | 27.89 | 27.89 |
| SrO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| CaO | 0.52 | 0.41 | 0.53 | 0.48 | 58.28 | 1.63 | 0.57 | 1.53 |
| Na2O | 0.08 | 0.03 | 0.04 | 0.00 | 0.11 | 0.05 | 0.00 | 0.13 |
| K2O | 0.00 | 0.04 | 0.00 | 0.01 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.00 |
| P2O5 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| SO3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| F | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Cl | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Total | 54.32 | 54.66 | 55.34 | 54.98 | 60.37 | 54.67 | 52.84 | 56.34 |

| Sample | 26.000 | 26.001 | 26.002 |
|----------|--------|--------|--------|
| Analysis | | anug | C/flug |
| Location | YZU-6 | YZU-6 | YZU-6 |
| Mineral | CAR | CAR | CAR |
| SiO2 | 0.05 | 0.03 | 0.13 |
| FeO | 0.69 | 4.93 | 0.09 |
| MnO | 1.17 | 0.66 | 0.01 |
| MgO | 1.12 | 17.07 | 0.28 |
| SrO | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| CaO | 53.39 | 29.87 | 55.82 |
| Na2O | 0.00 | 0.00 | 0.01 |
| K2O | 0.02 | 0.00 | 0.18 |
| P2O5 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| SO3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| F | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Cl | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Total | 56.44 | 52.56 | 56.52 |

| Sample | 10.002 | 10.013 | 10.024 | 10.027 | 10.029 | 10.030 | 10.031 | 10.032 | 10.033 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Analysis | J02 | J02 | J02 | J02 | J02 | J02 | J02 | J02 | J02 |
| Location | YMI-1 | YMI-1 | YMI-1 | YMI-1 | YMI-1 | YMI-1 | YMI-1 | YMI-1 | YMI-1 |
| Mineral | tur | tur | tur | tur | tur | tur | tur | tur | tur |
| SiO2 | 36.86 | 36.21 | 37.47 | 35.55 | 34.65 | 36.35 | 35.31 | 35.94 | 34.06 |
| TiO2 | 0.44 | 0.00 | 0.23 | 0.23 | 0.65 | 0.85 | 0.68 | 0.15 | 0.89 |
| Al2O3 | 32.64 | 20.03 | 37.34 | 36.69 | 31.55 | 31.89 | 33.84 | 36.06 | 34.87 |
| Cr2O3 | 0.05 | 0.00 | 0.00 | 0.04 | 0.00 | 0.03 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| FeO | 8.84 | 21.34 | 3.86 | 14.14 | 13.31 | 8.47 | 8.56 | 8.46 | 11.12 |
| MnO | 0.11 | 0.72 | 0.00 | 0.27 | 0.12 | 0.00 | 0.03 | 0.05 | 0.06 |
| MgO | 6.42 | 1.9 | 6.67 | 0.95 | 3.89 | 6.66 | 5.41 | 4.46 | 2.84 |
| BaO | 0.00 | 0.00 | 0.14 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| CaO | 0.53 | 0.78 | 0.23 | 0.08 | 0.36 | 0.56 | 0.21 | 0.06 | 0.19 |
| Na2O | 1.91 | 0.08 | 1.39 | 1.72 | 2.25 | 2.08 | 2.02 | 1.57 | 1.75 |
| K2O | 0.06 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.05 |
| F | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Cl | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| H2O | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Total | 87.86 | 81.08 | 87.36 | 89.70 | 86.82 | 86.95 | 86.11 | 86.77 | 85.83 |

| Sample | 10.034 | 10.035 | 10.036 | 10.037 | 10.038 | 10.039 | 10.040 | 10.041 | 10.042 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Analysis | J02 | J02 | J02 | J02 | J02 | J02 | J02 | J02 | J02 |
| Location | YMI-1 | YMI-1 | YMI-1 | YMI-1 | YMI-1 | YMI-1 | YMI-1 | YMI-1 | YMI-1 |
| Mineral | tur | tur | tur | tur | tur | tur | tur | tur | tur |
| SiO2 | 34.46 | 35.41 | 35.36 | 34.50 | 35.98 | 35.72 | 33.75 | 34.91 | 35.37 |
| TiO2 | 0.25 | 0.68 | 0.26 | 0.64 | 0.49 | 0.29 | 1.04 | 0.70 | 0.65 |
| Al2O3 | 35.35 | 33.74 | 34.51 | 34.45 | 34.78 | 35.39 | 33.53 | 34.54 | 34.20 |
| Cr2O3 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.03 | 0.03 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| FeO | 11.37 | 10.47 | 12.93 | 12.38 | 10.12 | 11.75 | 11.28 | 13.08 | 9.75 |
| MnO | 0.10 | 0.14 | 0.23 | 0.01 | 0.13 | 0.17 | 0.11 | 0.10 | 0.05 |
| MgO | 2.65 | 3.87 | 2.31 | 2.81 | 3.58 | 2.26 | 3.65 | 1.88 | 4.54 |
| BaO | 0.02 | 0.00 | 0.06 | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.00 |
| CaO | 0.11 | 0.15 | 0.12 | 0.15 | 0.18 | 0.11 | 0.45 | 0.14 | 0.31 |
| Na2O | 1.51 | 1.94 | 2.00 | 1.85 | 1.71 | 1.64 | 2.00 | 1.63 | 1.97 |
| K2O | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.05 | 0.04 | 0.01 |
| F | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Cl | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| H2O | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Total | 85.87 | 86.45 | 87.83 | 86.91 | 87.03 | 87.39 | 85.89 | 87.02 | 86.85 |

| Sample | 10 043 | 20 00 | 20.01 | 20 02 | 20.03 | 20 034 | 20.035 | 20 040 | 20 041 |
|----------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Analysis | J02 | | | | | | | | |
| Location | YM0-1 | AK1 | AK1 | AK1 | AK1 | AK1 | AK1 | SK | SK |
| Mineral | tur | tur | tur | tur | tur | tur | tur | tur | tur |
| SiO2 | 36.01 | 35.82 | 34.99 | 34.87 | 34.90 | 35.43 | 35.03 | 35.59 | 34.61 |
| TiO2 | 0.41 | 0.95 | 1.04 | 0.90 | 0.70 | 0.24 | 0.99 | 0.11 | 0.81 |
| Al2O3 | 34.25 | 33.44 | 33.22 | 33.93 | 33.74 | 34.56 | 33.03 | 34.57 | 32.64 |
| Cr2O3 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| FeO | 9.52 | 7.36 | 9.57 | 7.68 | 9.54 | 10.17 | 8.12 | 11.15 | 12.15 |
| MnO | 0.08 | 0.02 | 0.00 | 0.02 | 0.10 | 0.05 | 0.02 | 0.02 | 0.09 |
| MgO | 4.47 | 5.82 | 4.26 | 5.44 | 4.08 | 3.06 | 4.76 | 2.69 | 3.06 |
| BaO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| CaO | 0.16 | 0.80 | 0.62 | 0.70 | 0.41 | 0.15 | 0.59 | 0.05 | 0.51 |
| Na2O | 1.82 | 1.79 | 1.86 | 1.83 | 1.92 | 1.61 | 1.75 | 1.52 | 1.91 |
| K2O | 0.04 | 0.06 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.02 | 0.05 |
| F | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Cl | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| H2O | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Total | 86.78 | 86.06 | 85.61 | 85.41 | 85.43 | 85.31 | 84.33 | 85.72 | 85.83 |