

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**A INTRUSÃO ULTRAPOTÁSSICA INDAIÁ II, PROVÍNCIA ALCALINA ALTO
PARANAÍBA (MG):
PROCESSOS MAGMÁTICOS DE SISTEMA ABERTO E IMPLICAÇÕES
PETROGENÉTICAS**

NICHOLAS MACHADO LIMA

Dissertação apresentada ao Instituto de
Geociências de São Paulo como exigência
parcial para a obtenção do título de Mestre em
ciências

Área de concentração: Petrologia Ígnea e
Metamórfica

Orientador: Prof. Dr. Rogério Guitarrari Azzone

VERSÃO CORRIGIDA

SÃO PAULO
2019

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Serviço de Biblioteca e Documentação do IGc/USP

Ficha catalográfica gerada automaticamente com dados fornecidos pelo(a) autor(a) via programa desenvolvido pela Seção Técnica de Informática do ICMC/USP

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de catalogação da publicação:

Sonia Regina Yole Guerra - CRB-8/4208 | Anderson de Santana - CRB-8/6658

Machado Lima, Nicholas

A INTRUSÃO ULTRAPOTÁSSICA INDAIÁ II, PROVÍNCIA ALCALINA ALTO PARANAÍBA (MG): Processos magmáticos de sistema aberto e implicações petrogenéticas / Nicholas Machado Lima; orientador Rogério Guitarrari Azzone. - São Paulo, 2018.
183 p.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Mineralogia e Petrologia) -- Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 2018.

1. Kimberlitos. 2. Rochas ultrapotássicas. 3. Contaminação crustal. I. Guitarrari Azzone, Rogério, orient. II. Título.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**A INTRUSÃO ULTRAPOTÁSSICA INDAIÁ II, PROVÍNCIA ALCALINA ALTO
PARANAÍBA (MG): PROCESSOS MAGMÁTICOS DE SISTEMA ABERTO E
IMPLICAÇÕES PETROGENÉTICAS**

NICHOLAS MACHADO LIMA

Orientador: Prof. Dr. Rogério Guitarrari Azzone

Dissertação de Mestrado

Nº 816

COMISSÃO JULGADORA

Dr. Rogério Guitarrari Azzone

Dra. Elisa Soares Rocha Barbosa

Dr. Elson Paiva de Oliveira

SÃO PAULO
2019

AGRADECIMENTOS

Deixo aqui registrado meu agradecimento a todos que me auxiliaram na realização desse trabalho. Agradeço primeiramente a minha mãe Josane e meu pai Gil, assim como minha família e minha madrasta Alessandra. Por todo apoio e confiança durante o mestrado e em todo o caminho trilhado até chegar aqui. Sem eles nada disso seria possível.

Ao meu orientador Rogério Azzone por todo o conhecimento transmitido, por toda dedicação, disponibilidade e paciência ao me orientar durante a elaboração desse trabalho e durante a pós graduação como um todo. Sou muito grato por tudo.

À CAPES pela minha bolsa de mestrado, e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (projetos 2012/06082-6 e 2017/03768-8) por fornecer o auxílio financeiro para realização dessa pesquisa.

Aos Professores do IGc Usp, com quem também aprendi muito: Excelso Ruberti, Gaston Enrich, Patrício Munhoz, Renato de Moraes, Silvio Vlach e Valdecir Janasi, Obrigado por compartilhar seus conhecimentos.

Aos funcionários do IGc-USP pelo suporte durante todas as fases dessa pesquisa, em especial os técnicos que me auxiliaram nos processos analíticos diretamente: Marcos e Leandro (microsonda), Vinícius (*laser ablation*), José Paulo (FRX), Samuca (LTA) e Liliane (CPgeo).

À minha namorada Flávia Lameck, por todo amor e carinho. Por estar ao meu lado, ouvindo minhas reclamações, e também comemorando as vitórias comigo, apesar de todos os sacrifícios e da distância que foram necessários para completar esse trabalho. Muito obrigado.

A Júlio Lopes pelo incentivo de tentar o mestrado, pelas discussões petrológicas, e por toda ajuda durante o mestrado e pela amizade desde os tempos de Rural. Sou muito Grato.

A Iuri Retamal (Zuri) pela amizade e pela ajuda quando cheguei a São Paulo, muito obrigado.

A todos os amigos e colegas da Pós Graduação do IGc com quem compartilhei dessa ótima convivência nesses últimos quase 3 anos, especialmente: à galera do Bosque (Fernando Prado, Thomas Akabane, Stephani Somekawa, Raquel Romão, Funga, John), Lina Maria, Anny Forero e Camila Sayuri. Obrigado pelas ajudas, conversas, desabafos, e momentos de descontração.

Agradeço também aos Komodos do Crusp: Zé Renato, Marcelão, Piero, Ricardo, Jean, Muay Thai, Fabian, Carlão e toda a galera que passou perrengue comigo no alojamento (risos). Obrigado pelos papos, brejas e jogos de xadrez.

Por fim agradeço à Universidade de São Paulo e ao Instituto de Geociências da Usp pela inesquecível experiência, muito obrigado.

“Discovery is the ability to be puzzled by simple things.”

— Noam Chomsky

RESUMO

As intrusões Indaiá I e II (também referidas como Perdizes 3-A e 3-B) são corpos intrusivos hipoabissais ultrabásicos de pequeno porte, associados ao magmatismo cretácico da Província Alcalina Alto Paranaíba, oeste do Estado de Minas Gerais. Esta dissertação de mestrado objetivou compreender a gênese e processos de evolução relacionados a intrusão Indaiá II, cuja classificação ambígua entre kimberlito e kamafugito dividiu autores em trabalhos anteriores.. Também buscou-se discutir a possível vinculação genética com a intrusão vizinha, Indaiá I. Para tanto, foram realizadas novas análises petrográficas, geoquímicas e isotópicas de rocha total, e química mineral. A intrusão principal (Indaiá I) é classificada como um kimberlito do Grupo I. Já a intrusão satélite (Indaiá II) distingue-se quimicamente e petrograficamente, possuindo uma composição ultrapotássica, similar à kamafugítica, e apresenta menor concentração de macrocristais de olivina, diopsídio como o principal constituinte da matriz (e não a monticellita como Indaiá I) e possui uma presença abundante de microenclaves félsicos. Estes enclaves apresentam estrutura estirada, e são constituídos principalmente por kalsilita/nefelina, vidro devitrificado, diopsídio e flogopita. A presença de texturas sugestivas de desequilíbrio físico-químico como *embayment* e *sieve* em grãos de olivina e clinopiroxênio em Indaiá II são indicativas de processos de sistema aberto. A abundância de diopsídio na matriz e a substituição de olivina por clinopiroxênio nas bordas de macrocristais e microcristais apontam para um aumento da atividade de sílica no decorrer do processo de cristalização. A alta proporção de xenólitos crustais na rocha, totalmente transformados ou com evidências de fusão parcial, e a presença de apatitas aciculares nas suas cercanias, indicam a operação de um processo de contaminação crustal. Novos dados de química mineral e litogeoquímica de elementos maiores e traços corroboram esse processo. Os *trends* composicionais de minerais como espinélio e flogopita são bastante similares a ocorrências de kimberlitos contaminados registrados na literatura. Além disso, amostras de Indaiá II apresentam elevado *C.I.* (*Contamination Index*, 2,12-2,25), maior percentual de SiO₂, K₂O e maior razão Rb/Sr que a intrusão principal. Modelos de contaminação crustal foram efetuados a partir da mistura do fundido de Indaiá I e do fundido das rochas granitoides encaixantes. Os fundidos de Indaiá I e II foram obtidos pela extração do volume dos núcleos de macrocristais de olivina, considerados xenocristais em ambas as ocorrências, das análises de rocha total. A quantidade de olivina foi obtida através de análises modais, e a composição considerada foi obtida através de uma média das análises pontuais de microsonda eletrônica e LA-ICP-MS. O fundido da encaixante foi estimado utilizando-se as análises de rocha-total das encaixantes crustais da área e calculando-se um fundido parcial desta rocha a 750°C e pressões entre 1-5Kbar com o software *RhyoliteMelts* (para elementos maiores). A composição de elementos-traço do fundido foi modelada por balanço de massa, a partir de coeficientes de partição compilados da literatura e a proporção de minerais no resíduo sólido obtida dos modelos por elementos maiores. Curvas de mistura entre elementos maiores e traços também parecem confirmar o processo. Novos dados isotópicos de ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr e ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd foram obtidos para estas intrusões, como também para a encaixante local. Curvas de *mixing* isotópico foram feitas para tentar estabelecer a quantidade de contribuição crustal nos magmas de Indaiá II. Nestes modelos, as amostras de Indaiá II ajustam-se concordantemente às curvas de mistura entre os polos de Indaiá I e da encaixante. Concluímos que: 1) a intrusão Indaiá II representaria uma intrusão kimberlítica altamente contaminada, 2) a contaminação provavelmente ocorreu pela assimilação de fundidos anatéticos oriundos das principais rochas encaixantes crustais da área, 3) que Indaiá I e Indaiá II poderiam ter um mesmo magma progenitor, mas com diferentes graus de contaminação crustal.

Palavras-Chave: Kimberlitos, rochas ultrapotássicas, contaminação crustal.

ABSTRACT

The intrusions Indaiá I and II (also referred as Perdizes 3-A and 3-B) are hypoabissal ultrabasic bodies of small size associated with the Cretaceous magmatism of the Alto Paranaíba Alkaline Province, west of the Minas Gerais state. This master's dissertation aimed a better understanding of the genesis and the evolution processes related to the Indaiá II intrusion, whose ambiguous classification between kimberlite and kamafugite divided the authors of former works. Also, it is discussed the possible genetic linkage of Indaiá II with the neighbor intrusion, Indaiá I. For this purpose, new petrographic, whole rock geochemical, isotopic and mineral chemistry analyses were made. The main intrusion (Indaiá I) was classified as a group-I kimberlite. The satellite intrusion, Indaiá II, is petrographically and chemically distinct of the main one, having a ultrapotassic composition, similar to those of kamafugites, and presenting lower volumes of olivine macrocrysts, diopside as the main matrix phase (instead of monticellite as found in Indaiá I), and an abundant presence of felsic microenclaves. These enclaves present elongated structure and they mainly have kalsilite, devitrified glass, diopside and phlogopite. The presence of textures indicative of physical-chemical disequilibrium, such as embayment and sieve in olivine and clinopyroxene grains from Indaiá II are indicative of an open system process. The high amounts of diopside in the matrix and the substitution of the rims of olivine macro- and microcrysts by clinopyroxene point to an increase in the silica activity during the crystallization. The high proportion of crustal xenoliths in the rocks, most of these totally transformed or with evidences with partial melt, and the presence of acicular apatite in their border regions, indicate the action of crustal contamination processes. New mineral chemistry and whole rock geochemical (major and trace elements) data corroborate this process. The spinel and phlogopite compositional trends are very similar with those from contaminated kimberlitic occurrences registered in the literature. Moreover, samples from Indaiá II have high *Contamination Index* (C.I., 2.12-2.25), greater amounts of SiO₂, K₂O and higher Rb/Sr ratios than those from the main intrusion. Crustal contamination models were developed considering a mixing between the melt of Indaiá I and the partial melt of the granitoid host rocks of the area. The composition of melts from Indaiá I and II were calculated by the extraction of the amount of the cores of olivine macrocrysts, considered xenocrysts in both occurrences, from the whole-rock compositions. The amount of olivines was taken from modal concentrations and the considered composition was obtained by the average of electron microprobe and laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry (LA ICP-MS) analyses. The major element composition of the partial melt of the host rock was estimated using the algorithm *RhyoliteMelts*. For these models, we considered the whole-rock compositions of the main host rocks of the area and used 750°C and 1-5Kbar. The trace element composition of the host rock partial melts was modeled by mass balance calculations, using partition coefficients from the literature and the proportion of minerals in the solid residue obtained for the major element models. After the calculation of these liquid compositions, mixing curve models using major and trace element compositions were made and they are concordant with the crustal contamination processes. New ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr and ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd isotopic data were obtained for Indaiá I and II intrusions, as well as for the local host rock. Isotopic mixing curves were also made trying to constrain the amount of crustal contribution in Indaiá II magmas. In these models, Indaiá II samples fit concordantly with the mixing curves having Indaiá I and the host rock ratios as the main poles. We conclude that 1) Indaiá II is representative of a highly contaminated kimberlitic intrusion, 2) the contamination possibly occurred by the assimilation of the anatectic melts from the main crustal host rocks of this area and 3) that Indaiá I and Indaiá II could have the same parent melt, but with different degrees of crustal contamination.

Keywords: kimberlites, ultrapotassic rocks, crustal contamination

SUMÁRIO

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO	IV
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS	IV
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO	IV
LISTA DE FIGURAS	XII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 <i>Introdução e objetivos</i>	1
1.2 <i>Contexto geológico</i>	2
1.2.1 <i>Província Ígnea Alcalina Alto Paranaíba</i>	2
1.2.2 <i>As intrusões Indaiá I e II</i>	6
2. METODOS ANALÍTICOS	10
2.1 MICROSCOPIA ÓPTICA.....	10
2.2 ANÁLISE DE IMAGENS.....	10
2.3 MICROSCOPIA ELETRÔNICA	10
2.4 LITOGEOQUÍMICA E QUÍMICA MINERAL.....	11
2.4.1 <i>Preparação de amostras</i>	11
2.4.2 <i>Fluorescência de raios X</i>	12
2.4.3 <i>ICP-MS</i>	12
2.4.4 <i>Microssonda Eletrônica e LA-ICP-MS</i>	13
2.5 GEOQUÍMICA ISOTÓPICA.....	14
3. RESULTADOS	16
3.1 PETROGRAFIA	16
3.1.1 <i>Macrocristais</i>	17
3.1.2 <i>Matriz</i>	20
3.1.3 <i>Estrutura e xenólitos</i>	23
3.1.4 <i>Classificação e fácies petrográficas</i>	27
3.2 QUÍMICA MINERAL.....	29
3.2.1 <i>Olivina</i>	29
3.2.2 <i>Piroxênio</i>	38
3.2.3 <i>Mica</i>	41
3.2.4 <i>Minerais Opacos</i>	45
3.2.5 <i>Perovskita</i>	49
3.2 LITOGEOQUÍMICA	52
3.2.1 <i>Elementos Maiores</i>	52
3.2.2 <i>Elementos menores e traços</i>	59
3.3 DADOS ISOTÓPICOS.....	66

4. DISCUSSÕES	68
4.1 EVIDÊNCIAS DE PROCESSOS DE SISTEMA ABERTO	68
4.2 MODELAGEM DO PROCESSO DE CONTAMINAÇÃO CRUSTAL.....	70
4.2.1 <i>Modelagem do contaminante</i>	71
4.2.2 <i>Composição dos fundidos de Indaiá I e II</i>	73
4.2.3 <i>Curvas de Mistura</i>	76
4.2.4 <i>Modelo geológico</i>	83
5. CONCLUSÕES.....	85
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86
Apêndice A – Dados de química mineral.....	94
Apêndice B Dados de litogeoquímica e isótopos em rocha total.....	156
Apêndice C – Fundidos calculados e coeficientes de partição.....	162

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização e idades de algumas ocorrências magmáticas da Província Ígnea do Alto Paranaíba. extraído de Guarino <i>et al.</i> (2013).....	5
Figura 2 Mapa geológico do Supercampo kimberlítico Coromandel-Três Ranchos com intrusões de afinidade kimberlítica indicada pelos triângulos pretos. Círculo amarelo mostrando a intrusão alvo. Modificado de Cabral Neto et al. (2017).....	8
Figura 3 a) Mapa geológico esquemático modificado de Féboli e Pinheiro (2014)b) Mapa geológico esquemático das intrusões Indaiá I e II, modificado de Meyer et al. (1991).	9
Figura 4 Aspecto macroscópico das rochas da intrusão Indaiá II em amostra de mão. Notar a presença de xenólito crustal e microenclaves estirados (setas vermelhas) definindo estrutura orientada, e a matriz de coloração mais clara em suas proximidades.	16
Figura 5 Macrocristais de olivina observados sob microscópio óptico: a) e b) Setas amarelas e contorno vermelho indicando faixa com micro inclusões nas bordas dos macrocristais, em contraste com núcleos mais límpidos. Polarizadores em paralelo. c) Macrocristal apresentando microestrutura de <i>embayment</i> indicado por setas amarelas. Polarizadores em paralelo. d) Texturas tipo <i>sieve</i> em macrocristal subédrico. e) e f) Olivina apresentando feições de corrosão e substituição por clinopiroxênio. Polarizadores em paralelo e cruzados, respectivamente. Siglas utilizadas: Ol - olivina, Cpx - clinopiroxênio.	18
Figura 6 Zonamentos abruptos observados em macrocristais de olivina em imagens de elétrons retroespalhados: a) Macrocristal de olivina apresentando zonamento abrupto normal com núcleo mais rico em Mg (escala equivale a 100µm). b) Macrocristal de olivina apresentando zonamento abrupto reverso com bordas mais ricas em Mg que o núcleo (escala equivale a 500 µm).	19
Figura 7 Aspectos texturais e mineralógicos da matriz da intrusão Indaiá II. a) Visão geral da matriz; b) detalhe dos constituintes da matriz: diopsídio (Di), titanomagnetita (TiMag), perovskita (Prv) e apatita (Ap). c) microcristais de flogopita ricos em inclusões d) "necklace" de perovskita formado ao redor de microcristal de olivina. e) espinélio avermelhado apresentando coroa de óxidos e f) microcristal de flogopita apresentando inclusões de apatita, diopsídio e opacos. Luz polarizada em (a, c, d, e) e imagens de retroespalhados em (b, f)..	21
Figura 8 Aspectos petrográficos da intrusão Indaiá II. a) Microcristal euédrico apresentando zonamento reverso gradual, com núcleo mais pobre em Mg. b) Microcristal euédrico apresentando zonamento complexo, com núcleo e zona intermediária apresentando zonamento abrupto normal e borda rica em Mg. c) Microcristais de olivina (setas vermelhas) apresentando feições reacionais próximas a microenclave félsico. d) Microcristais de olivina parcialmente substituindo por serpentina (bordas esverdeadas) e flogopita (borda cor de cobre, seta vermelha). e) e f) Microcristal de olivina (com contornos destacados) apresentando feições de corrosão e substituição por clinopiroxênio e flogopita. Imagens de elétrons retroespalhados em (a) e (b). Luz polarizada em (c, d, e) e polarizadores cruzados (f). Siglas utilizadas: Ol - olivina, Cpx-Clinopiroxênio, Phl - flogopita.	22
Figura 9 Relações texturais e estruturais entre matriz e microenclaves félsicos: a) e b) Alinhamento de microenclaves e microcristais de olivina formando estrutura sugestiva de fluxo (setas indicando direção de fluxo). b) Detalhe de microenclave félsico mostrando grãos de kalsilita/ nefelina imersos em material amarelado amorfo, possivelmente vidro devitrificado. d) Microclave substituído por grãos de clinopiroxênio com textura <i>sieve</i> e flogopita. e) Imagem de elétrons retroespalhados de contato entre matriz e microenclave substituído por diopsídio com textura <i>sieve</i> . f) Microenclave félsico apresentando substituição por flogopita e a presença de grão de apatita	

de hábito ocelar, e granulação relativamente grossa. Luz polarizada em (a, b, d, f) e imagens de elétrons retroespalhados em (b, c).....	24
Figura 10 . a) e b) Fotomicrografias ilustrando reação entre borda de microcristal de olivina e microenclave félsico. A olivina apresenta corrosão (realçada nas figuras) e cristalização de microcristal de flogopita poiquilítica. Luz polarizada e polarizadores cruzados, respectivamente. c) Imagem de elétrons retroespalhados mostro grãos de kalsilita com feições de desequilíbrio e parcialmente substituídos por flogopita, no interior de um microenclave.	25
Figura 11 Feições petrográficas observadas em microenclaves e xenólitos crustais de Indaiá II: a) e b) Microenclave félsico texturalmente similar a buchito apresentando zona de influência na matriz, colocada em evidência pela linha tracejada amarela, cuja granulação se torna mais fina e mais rica em diopsídio nas proximidades do enclave. É notável também o grão ocelar de apatita (seta vermelha), de granulação bem mais grossa que os outros constituintes do microenclave. c) Xenólito crustal parcialmente fundido apresentando grãos proeminentes de apatita (Ap), similares ao constatado nos xenólitos félsicos. Também são identificáveis grãos de flogopita (Phl), e possível actinolita (Act). d) Xenólito crustal contendo grãos de apatita acicular (Ap) e analcima (Anl), circundados por vidro amarelado. e) Borda de xenólito crustal rica em analcima, flogopita mimetizado fundido, e uma borda mais externa que apresenta kalsilita (Ks). e) Xenólito crustal apresentando digestão de grão de feldspato maior, e cristalização de novas ripas de k-feldspato junto ao vidro. Luz polarizada em (a, b, c, d) e imagens de elétrons retroespalhados em (e, f).....	26
Figura 12 Variação composicional das olivinas de Indaiá II em função dos teores de TiO ₂ , Al ₂ O ₃ , CaO, NiO, Cr ₂ O ₃ (% em massa) e do membro final forsterita (Fo). Representada em boxplots separadas em grupos texturais: 1- Núcleos de macrocristais, 2- bordas de macrocristais, 3- Núcleos de Microcristais euédricos/subédricos, 4- Bordas de microcristais euédricos/subédricos, 6- Zonas reacionais internas a macrocristais (“manchas”), 7- Grãos da matriz, 8- Xenocristais francos.....	30
Figura 13 Diagramas divariantes de Mg# [Mg/(Mg+Fe), em prop. Moleculares] vs. a) NiO, b) CaO e c) MnO e de d) CaO vs NiO, ilustrando a variação composicional dos grãos de olivina de Indaiá II. Tendências e grupos: I) núcleos e xenocristais do manto definindo uma “mantle trend”(grupo representado pela linha pontilhada preta, II) bordas definindo “melt trend” (linha pontilhada vermelha), e III) zona reacionais internas a macrocristais (“manchas”), caracterizadas por enriquecimento em MnO e CaO e empobrecimento em MgO (seta roxa). Dados em porcentagem em massa.	32
Figura 14 Diagramas divariantes de elementos menores e traço analisados por LA-ICP-MS ilustrando as diferenças composicionais entre bordas e núcleos de olivina. Núcleos representam círculos pretos e bordas os triângulos vermelhos. Dados em ppm.	34
Figura 15 a) Concentrações médias das análises de elementos menores e traço em olivina obtidas via LA-ICP-MS divididas em núcleos e bordas. As bordas são enriquecidas em in Zr, Li, Sc, P, Na, Al, Ti, Cr, Ca e Mn. Já os núcleos são enriquecidos em Nb, Zn, V, Co e Ni. b) Variação composicional de núcleos de olivina em relação a V/Sc vs Ni como indicador de fusão no manto em condições oxidantes (Foley <i>et al.</i> 2013). c) Composição de núcleos de olivina em relação a Ca vs Ti como indicado da natureza do agente metassomático na fonte mantélica. Dados em ppm.	36

Figura 16 Diagramas divariantes Zn vs Li e Ti vs Li indicativos de incorporação de material crustal reciclado na fonte mantélica. Círculos pretos representam núcleos de macrocristais e triângulos vermelhos, bordas de macrocristais (tendências segundo Foley, 2013; dados em ppm).	37
Figura 17 a) a c) Diagramas de classificação dos piroxênios segundo Morimoto (1988). Abreviações: Q=Ca+Mg+Fe ²⁺ ; J=2Na; WEF-(Wo,En,Fs): Wo- wollastonita; En- enstatita; Fs- ferrosilita; Ae- egirina. d) Comparação da composição de Ti e Al (em átomos por fórmula unitária, a.p.f.u) dos piroxênios de Indaiá II com os dos kamafeugitos de Brasil e Itália (Tappe, Foley e Pearson, 2003).	39
Figura 18 Diagrama divariante ilustrando possíveis substituições nos grãos de diopsídio da matriz e enclaves. Dados em apfu. Mesma simbologia da figura 17.....	40
Figura 19 a) Diagrama ternário de classificação das flogopitas de Indaiá II, comparando outras ocorrências da APAP e da Província Serra do Mar, SE do Brasil (Melluso et al., 2008).b) Diagrama divariante ilustrando a correlação entre a incorporação de Fe ³⁺ e a presença de Si e Al em sítios tetraédricos (dados em apfu). c) Diagrama Si vs Al ^{IV} mostro a deficiência nesses elementos no sítio tetraédrico. Área em cinza representa a composição das micas de outras ocorrências brasileiras conhecidas (Morbidelli et al., 1995).....	42
Figura 20 Diagramas divariantes mostrando as prováveis substituições encontradas nas flogopitas de Indaiá II. a) Substituição de K+Si por Ba+Al (em apfu) devido a incorporação do componente kinoshitalita e b) Incorporação de Ti via substituição acoplada deixando o sítio M com vacância.	43
Figura 21 Diagrama Al ₂ O ₃ vs TiO ₂ (% em peso) ilustrando a variedade composicional dos grãos de flogopita analisados em Indaiá II. Para comparação estão representados os campos composicionais das flogopitas de mafuritos, uganditos e kimberlitos da APAP, compilados de Araújo <i>et al.</i> (2001), e os campos representativos dos kimberlitos mais contaminados (Di-Mel-Phl kimberlito) e menos contaminados (Mo-Phl-Srp kimberlito) por xenólitos graníticos de Caro <i>et al.</i> (2004). Mesma simbologia da figura 20.	44
Figura 22 <i>Trends</i> evolutivos dos espinélios projetados nas faces do prisma reduzido do espinélio (modificado de (Mitchell, 1986). Os espinélios da intrusão Indaiá II apresentam evolução compatível com o trend magmático II dos kimberlitos. Dados do prisma central apresentam apenas os <i>trends</i> indicados por Mitchell (1986).	46
Figura 23 <i>Trends</i> evolutivos dos espinélios projetados nas faces do prisma oxidado do espinélio (modificado de (Mitchell, 1986). Os espinélios da intrusão Indaiá II apresentam evolução compatível com o trend magmático II dos kimberlitos. Dados do prisma central apresentam apenas os <i>trends</i> indicados por Mitchell (1986).	47
Figura 24 Classificação das perovskitas analisadas nos diagramas de componentes moleculares a) Perovskita-Tausonita-Loparita e b) Perovskita-Lueshita-Loparita (calculados segundo Locock e Mitchell, 2018), mostro que os grãos analisados aproximam-se do membro ideal CaTiO ₃	50
Figura 25 Diagramas bivariantes mostrando a relação entre a fugacidade de oxigênio (fO ₂) calculada e a concentração de alguns óxidos na perovskita. Fugacidades em ΔNNO e óxidos em % em massa.	51
Figura 26 . Rochas das intrusões Indaiá I e II e encaixantes classificadas nos diagramas de rochas vulcânicas baseado em elementos maiores: a) Le Bas (1986) e b) De la Roche <i>et al</i> (1980).....	54
Figura 27 Campos de classificação de rochas ultrapotássicas baseados em Foley et al.(1987). Os campos designados são representativos de rochas do Grupo I (Lamproitos), Grupo II (kamafeugitos) e Grupo II (Leucititos ultrapotássicos).	55
Figura 28 Diagramas bivariantes ilustrando a variação composicional dos elementos maiores de Indaiá I e II e da encaixante em função de MgO (% em peso), e comparação com os campos referentes a composição de kimberlitos,	

kamafugitos e flogopita picritos (lamprófiros ultramáficos) da APAP. Dados compilados a partir de Gomes e Comin-Chiaramonti (2005) e Guarino <i>et al.</i> (2013).	56
Figura 29 Diagramas divariantes ilustrando a variação composicional dos elementos maiores da Intrusão Indaiá II, tendo MgO como índice de diferenciação. Os dados estão representados em percentagem em massa. As setas tracejadas representam possíveis tendências lineares de evolução	57
Figura 30 . Diagramas bivariantes ilustrando a variação composicional dos elementos maiores da Intrusão Indaiá II, tendo SiO ₂ como índice de diferenciação. Os dados estão representados em percentagem em massa. As setas tracejadas representam possíveis tendências lineares de evolução.	58
Figura 31 Diagramas bivariantes ilustrando a variação composicional dos elementos compatíveis em Indaiá I e II, tendo MgO como índice de diferenciação (elementos compatíveis em ppm e MgO em % em massa).	60
Figura 32 Diagramas bivariantes ilustrando a variação composicional dos elementos de alto potencial iônico (HFSE) em Indaiá I e II, tendo MgO como índice de diferenciação (HFSE em ppm e MgO em % em massa). .	61
Figura 33 Diagramas bivariantes ilustrando a variação composicional dos elementos litófilos (LILE) em Indaiá I e II, tendo como a SiO ₂ como índice de diferenciação (LILE em ppm e SiO ₂ em % em massa).....	62
Figura 34 . Amostras de Indaiá I e II e das rochas encaixantes plotadas nos diagramas: a) <i>Spidergram</i> normalizado para o manto primitivo segundo McDonough e Sun (1995) e b) diagramas de elementos terras raras também normalizado pelo manto primitivo de McDonough e Sun (1995).	64
Figura 35 Diagramas divariantes ilustrando a relação entre a razão Gd/Lu e SiO ₂ (a) e Gd/Lu e Pb, que segundo Le Rouex <i>et al.</i> (2003) seriam indicadores de contaminação crustal.....	65
Figura 36 Diagrama ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr vs. εNd ilustrando os diversos campos isotópicos referentes às rochas da Província Alcalina do Alto Paranaíba e outras ocorrências de rochas alcalinas brasileiras e em outros países, como as ocorrências de kimberlitos do grupo I e II da África do Sul, kamafugitos-tipo de Uganda, kimberlitos de Braúna (Brasil), rochas vulcânicas da Ilha de Trindade. Também foi incluído um vetor referente a possível contaminação por contribuição crustal. Diagrama modificado de Guarino <i>et al.</i> (2013).	67
Figura 37 Diagrama baseado em Gudfinnson e Presnall (2005) para estimativa de pressão de geração dos fundidos de Indaiá I a partir da fusão de um peridotito carbonatado. Campos referentes a kimberlitos e kamafugitos da APAP. Modificado de Guarino <i>et al.</i> (2013).	75
Figura 38 Diagrama MgO/CaO vs SiO ₂ /MgO para as rochas de Indaiá I e II, com os campos e <i>trends</i> definidos por Sparks <i>et al.</i> (2009), mostrando tendência coerente com a contaminação crustal.	75
Figura 39 Diagrama pseudoternário proposto por Sparks <i>et al.</i> (2009) para representar fundidos kimberlíticos a 1kbar e pressões de saturação em CO ₂ e H ₂ O. Nele estão representadas os fundidos reconstruídos de Indaiá I e II e do fundido contaminante. Uma linha de amarração está representada entre o fundido não contaminado proposto e o contaminante granítico.....	77
Figura 40 Diagramas bivariantes apresentando linhas de mistura de elementos maiores formadas tendo como polos: o fundido calculado de Indaiá I e o fundido calculado da encaixante crustal. Também representados os fundidos de Indaiá I calculados por Guarino <i>et al.</i> (2013), e as composições de rocha total de Indaiá I e da encaixante. As porcentagens nos gráficos referem-se ao percentual de incorporação de material crustal (dados em % em peso).	79
Figura 41 Diagramas bivariantes apresentando linhas de mistura de elementos-traço e SiO ₂ , tendo como polos: o fundido calculado de Indaiá I e o fundido calculado da encaixante crustal. Também representados os fundidos de	

Indaiá I calculados por Guarino *et al.* (2013), e as composições de rocha total de Indaiá I e da rocha encaixante. As porcentagens nos gráficos referem-se ao percentual de incorporação de material crustal (dados dos elementos-traço em ppm e de SiO₂ em % em massa). 80

Figura 42 Curvas de mixing de ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr vs SiO₂ e K₂O tendo como polos: o fundido calculado de Indaiá I e o fundido calculado da encaixante crustal. Também representados os fundidos de Indaiá I calculados por Guarino *et al.* (2013), e as composições de rocha total de Indaiá I e da encaixante. As porcentagens nos gráficos referem-se ao percentual de incorporação de material crustal (dados de elementos maiores em % em massa). Os dados calculados de Indaiá II ajustam-se bem a curva de mistura, confirmando o processo de contaminação crustal. 81

Figura 43 Diagrama ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr_i vs ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd_i para as rochas de Indaiá I e II, bem como suas encaixantes. Curvas de *mixing* isotópico são apresentadas, tendo como polos: o fundido calculado de Indaiá I e o fundido calculado da encaixante crustal. Também representados os fundidos de Indaiá I calculados por Guarino *et al.* (2013), e as composições de rocha total de Indaiá I e da encaixante. As porcentagens nos gráficos referem-se ao percentual de incorporação de material crustal. As composições de Indaiá II ajustam-se bem a curva de mistura. 82

Figura 44 Modelo esquemático ilustrando a contaminação pela incorporação de fundidos anatéticos ocorrida em Indaiá II. Essa contaminação provavelmente foi mais eficiente no topo da intrusão onde a perda de calor é mais eficiente. A contaminação é auxiliada através do fluxo turbulento durante a colocação do magma (representado na figura pelas setas amarelas). Nesse modelo a contaminação se concentra na parte superior da câmara, devido a maior interação com os fundidos e menor densidade dos fundidos crustais. 84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Sumário petrográfico das rochas da intrusão Indaiá II. Valores das concentrações minerais em porcentagem em volume (% vol.).....	28
Apêndice A - Tabela 1 Composição em óxidos (% massa) e fórmula estrutural das olivinas da intrusão Indaiá II (continua)	96
Apêndice A – Tabela 2 Composição de elementos traço (em ppm) obtidas por laser ablation-ICP-MS das olivinas da intrusão Indaiá II (continua).....	110
Apêndice A – Tabela 3 Valor preferido do padrão BHVO-2G para o controle de qualidade (continua).....	122
Apêndice A – Tabela 4 Valor preferido do padrão NIST610 para o controle de qualidade.....	124
Apêndice A – Tabela 5 Valor preferido do padrão NIST612 para o controle de qualidade.....	126
Apêndice A – Tabela 6 Composições (% em massa) e fórmula estrutural dos piroxênios da intrusão Indaiá II (continua).....	128
Apêndice A – Tabela 7 Composições (% em massa) e fórmula estrutural das micas da intrusão Indaiá II (continua).....	136
Apêndice A – Tabela 8 Composições (% em massa) e fórmula estrutural dos espinélios da intrusão Indaiá II (continua).....	143
Apêndice A – Tabela 9 Composições (% em massa) e fórmula estrutural das perovskitas da intrusão Indaiá II (continua).....	148
Apêndice B – Tabela 10 Dados de análises de elementos maiores e traços em rocha total por FRX e ICP-MS (continua).....	157
Apêndice B – Tabela 11 Dados de análises isotópicas em rocha total dos sistemas Rb-Sr e Sm-Nd. Dados obtidos ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$) e corrigidos para 80Ma ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{80\text{Ma}}$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{80\text{Ma}}$). Também incluídos idades modelo e valores de ϵ Sr e Nd.....	161
Apêndice C – Tabela 12 coeficientes de partição para magmas de composição riolítica compilados a partir da literatura (Rollinson, 1993; Nielsen, 2006).....	163
Apêndice C – Tabela 13 Composições de elementos maiores e traços dos fundidos gerados a partir do <i>RhyoliteMelts</i> , e porcentagem em massa dos fundidos e resíduos sólidos.....	164
Apêndice C – Tabela 14 Composições recalculadas dos fundidos e Indaiá I e II e composição média dos núcleos de olivina extraídas por balanço de massa (continua).....	165

1. INTRODUÇÃO

1.1 Introdução e objetivos

O comportamento magmático de sistema aberto envolve uma série de processos nos quais ocorre troca de massa e energia entre um corpo de magma e seu ambiente externo (Streck, 2008). Dentre esses processos, geralmente são considerados os principais a interação entre o magma e rochas encaixantes (digestão de xenólitos, introdução fundidos parciais ou fluidos etc.) e mistura entre magmas de composições distintas (Leeman e Hawkesworth, 1986). Tais trocas de material e energia induzem mudanças nos parâmetros físico-químicos do magma e consequente desequilíbrio entre o fundido contaminado ou hibridizado e a assembleia mineral cristalizada previamente. O registro geológico desses processos pode ser investigado através do estudo das variações químicas, isotópicas e texturais dos minerais e rochas cristalizados a partir destes magmas (Streck, 2008).

Magmas alcalinos ultrabásicos fortemente insaturados em sílica como os de afinidade kimberlítica e kamafugítica, tendem a apresentar uma forte interação com a crosta continental. Isso ocorre em função de suas temperaturas relativamente altas (Sparks *et al.*, 2009; Fedortchouk e Canil, 2004; Stoppa e Sharygin, 2009), composição exótica contrastante com a da crosta, e de sua natureza reativa devido ao alto conteúdo de componentes voláteis, principalmente CO₂ e H₂O (Vuorinen e Skelton, 2004). Tais características levam esses magmas a terem como tendência principal o comportamento de sistemas abertos.

Contudo os estudos focados na interação entre esses magmas e a crosta ainda não são abundantes. Isso se deve em parte ao enfoque muitas vezes econômico dado a essas rochas, mas principalmente ao seu alto conteúdo de elementos incompatíveis, por vezes mais elevado do que na crosta. Isso implica que mesmo a incorporação de material crustal induza pequena mudança nas características de elementos-traço e isotópicas desses litotipos (Albarède, 1995; Faure, 2001).

Soma-se a isso a incerteza da composição representativa de um fundido nessas rochas (Sparks, 2013). Tal incerteza se deve a dois fatores principais: a primeira fonte de incerteza deve-se a seu caráter ultramáfico rico em voláteis, que faz com que essas rochas sejam muito susceptíveis a alteração intempélica e hidrotermal. A segunda fonte de incerteza é a abundante população de xenocristais e xenólitos do manto e da crosta, incorporados ao magma e carregados durante sua rápida ascensão através da litosfera. Dentre a carga de xenocristais do manto carregados por esses magmas o principal componente é a olivina, que em magmas

kimberlítica é considerada predominantemente xenocristalina. Recentemente, alguns trabalhos trouxeram contribuições na caracterização química de elementos menores e traço em olivina, visando distinguir populações de fenocristais e xenocristais, e também distinguir alguns processos petrológicos envolvidos na gênese desses magmas (p.ex., Bussweiler *et al.*, 2015; Foley *et al.*, 2013)

Esta dissertação de mestrado fez uso de petrografia, geoquímica de rocha-total, química mineral e análises isotópicas de rocha-total da intrusão ultrapotássica Indaiá II, Província Alcalina do Alto Paranaíba (MG), cuja classificação ambígua entre kimberlito e kamafugito dividiu alguns autores (Meyer *et al.*, 1994; Gibson *et al.*, 1995; Silva, 2008), com a finalidade de caracterizá-la em detalhe e melhor compreender sua geração, processos evolutivos, e a influência dos processos magmáticos de sistema aberto em sua petrogênese. Também se buscou entender sua possível associação com a intrusão vizinha Indaiá I, de afinidade kimberlítica (Meyer *et al.*, 1994; Gibson *et al.*, 1995; Silva, 2008). Também foram feitas análises de elementos-traço em olivina, visando estabelecer relações genéticas dos macrocristais (fenocristais ou xenocristais) e inferências sobre fontes e processos no manto.

Essa dissertação está organizada da seguinte maneira: o capítulo 1 aborda uma síntese do contexto geológico do trabalho. O capítulo 2 descreve os métodos analíticos utilizados e o capítulo 3 apresenta a descrição dos resultados obtidos a partir desses métodos utilizados. O capítulo 4 apresenta as discussões envolvendo o teste de hipóteses petrológicas e um modelo geológico sugerido, e o capítulo 5 sumariza as conclusões do trabalho.

1.2 Contexto geológico

1.2.1 Província Ígnea Alcalina Alto Paranaíba

As ocorrências estudadas neste presente trabalho localizam-se na Província Alcalina Alto Paranaíba (APAP), oeste do estado de Minas Gerais, Brasil (Figura 1). Essa extensa província ígnea alcalina foi definida primeiramente por Almeida (1983), em seu clássico trabalho de revisão sobre as ocorrências alcalinas do Jurássico Superior ao Eoceno no Brasil, Paraguai e Uruguai.

Essa província é notável por hospedar uma das maiores ocorrências magmáticas máficas-ultramáficas de natureza potássica, com cerca de 2000 km de extensão e mais de $20 \times 10^5 \text{ Km}^3$ de volume (Gibson *et al.*, 1995; Gomes e Comin-Chiaramonti, 2005; Araujo *et al.*, 2001). A APAP compreende as rochas vulcânicas e vulcanoclásticas kamafugíticas da Formação Mata da Corda, grandes complexos alcalino-carbonatíticos e pequenas intrusões de

rochas alcalinas fortemente insaturadas em sílica, de natureza potássica a ultrapotássica, como kimberlitos, lamprófiros ultramáficos e kamafugitos (Gibson *et al.*, 1995; Gomes e Comin-Chiaramonti, 2005; Guarino *et al.*, 2013).

Algumas dessas ocorrências hospedam depósitos de interesse econômico de Elementos Terras-Raras, Fósforo, Titânio e Diamante, como por exemplo os depósitos de Nióbio dos complexos alcalino-carbonatíticos de Araxá e Tapira, e ocorrências de Diamante como no kimberlito Três Ranchos IV (Biondi, 2005; Guarino *et al.*, 2013).

Diversos trabalhos foram realizados para delimitar a idade dos eventos magmáticos da Província Alcalina Alto Paranaíba. Na década de 1960 e 1980 alguns trabalhos realizaram datações, principalmente pelo método K-Ar, em rochas alcalinas da região (p.ex.: Hasui and Cordani, 1968; Hama *et al.*, 1979; entre outros). Sonoki e Garda (1988) compilaram essas idades e as corrigiu para as constantes de decaimento propostas por (Steiger e Jäger, 1977). Essas correções resultaram em idades de: 83,4 – 83,7Ma para Serra Negra; 82,5 – 86,3Ma para Salitre; 89,4 – 77,4Ma para Araxá (separados de biotita /flogopita); 85,6 – 71,2Ma para Tapira (separados de biotita); 85Ma para Catalão (rocha total); e 79,7 para Pântano (rocha total). Sgarbi *et al.* (2004) propõe 75 – 81Ma como o intervalo de idades dos kamafugitos da Província, através de datação U-Pb em perovskita. Mais recentemente Guarino *et al.* (2013) determinaram por meio de datações U-Pb em perovskita um intervalo de 91-78 Ma (Cretáceo Superior) para a província como um todo, sugerindo idades um pouco mais antigas para as ocorrências kimberlíticas (~91–80 Ma), e mais jovens para kamafugitos (~81–78 Ma) e lamprófiros ultramáficos (flogopita picritos; ~90–82 Ma).

A alta razão entre elementos terras raras leves e pesados, e o caráter potássico exibidos pelos magmas da APAP parece indicar a presença de veios ricos em flogopita e anfibólio na fonte mantélica desses magmas, o que é corroborado pela presença de xenólitos do manto ricos em k-richterita e flogopita em algumas lavas da província (Gomes e Comin-Chiaramonti, 2005). Carlson *et al.*, (1996) e Araujo *et al.*, (2001) argumentam em favor de fontes litosféricas para os magmas da APAP com base em comparações entre idades modelo dos sistemas isotópicos de Sm-Nd e Re-Os e razões de $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$. Esses dados apontam que o manto foi enriquecido por elementos incompatíveis litófilos a cerca de 1Ga, durante a formação de eventos orogênicos na borda oeste do Cráton São Francisco. Esses autores também consideram que a fonte dessas rochas alcalinas consistem em um manto metassomatizado, contendo veios ricos em clinopiroxênio e anfibólio similares ao modelo de *vein-plus-wallrock-melting* de Foley

(1992). Guarino *et al.* (2013) também apontam que o caráter fortemente insaturado em sílica, rico em CaO e voláteis (CO₂ e H₂O), e não tão rico em álcalis, não poderia ser formado por um lherzolito comum de 4 fases, e tem como fonte mais provável um manto lherzolítico enriquecido em voláteis, com uma assembléia mineral metassomatizada por veios ricos em flogopita e carbonatos.

Entre os modelos geodinâmicos propostos para província inclui-se como fonte termal o impacto da pluma de Trindade no Cráton São Francisco, onde a borda menos espessa correspondente a transição do cráton com a faixa móvel adjacente (Faixa Brasília) agiu como um “*thinspot*”, fundindo preferencialmente a litosfera metassomatizada, menos refratária (Gibson *et al.*, 1995). Bizzi *et al.* (1995) baseados na anomalia Dupal nas composições isotópicas de Sr-Nd-Pb, também presente na Elevação do Rio Grande e na Cadeia de Walvis, consideraram que a fonte da APAP foi modificada isotopicamente pelo *hotspot* de Tristan da Cunha. Baseados na ausência da assinatura isotópica tipicamente litosférica, padrão errático de distribuição de idades e forte controle tectônico ligado a descontinuidades litosféricas, trabalhos mais recentes argumentam que o magmatismo da APAP está relacionado a reativação de profundas falhas litosféricas, e variação de campos de tensão da placa permitiram a geração e colocação dessas ocorrências (Riccomini *et al.*, 2005; Guarino *et al.*, 2013).

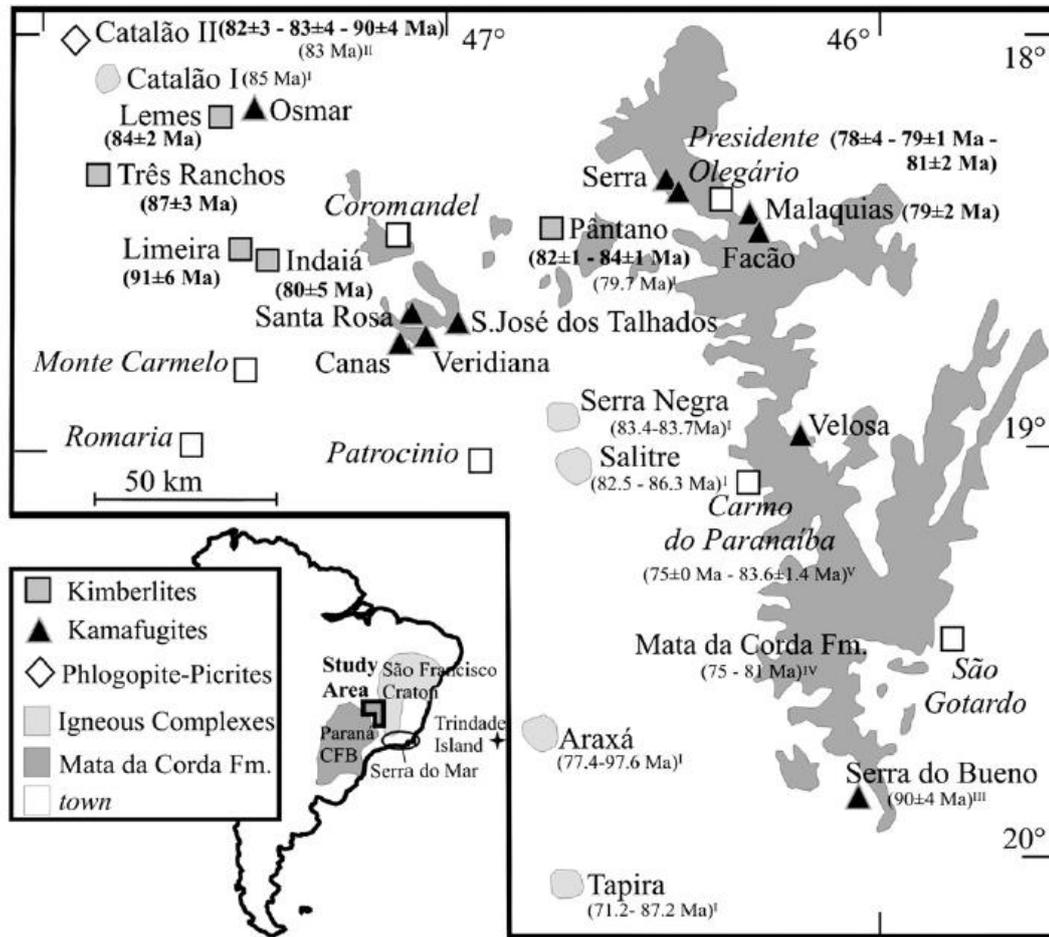


Figura 1. Localização e idades de algumas ocorrências magmáticas da Província Ígnea do Alto Paranaíba. extraído de Guarino *et al.* (2013)

1.2.2 As intrusões Indaiá I e II

As Intrusões Indaiá I e II são corpos alcalinos ultrabásicos de tendência alcalina pertencentes a Província ígnea do Alto Paranaíba. Dentro da província localizam-se no Supercampo Kimberlítico Coromandel – Três Ranchos (Cabral Neto et al., 2017) área compreendida entre os municípios e Catalão (Go) e Patrocínio (Mg) (figura 2). Essa região estende-se por uma área de 11.600 km², e contém uma concentração anômala de corpos kimberlíticos (*lato sensu*, 580 ocorrências), intrudidos em rochas da Faixa Brasília (Neoproterozóico).

A via de localização dos corpos é uma estrada vicinal que parte da rodovia MG –190, ligando as vilas de Monte Carmelo e Abadia dos Dourados no Oeste Mineiro.

As intrusões estão encaixadas em rochas granitoides cataclasados do Complexo Monte Carmelo (Seer e Moraes, 2013), conforme pode ser observado no mapa da figura 3. As encaixantes são encontradas aflorando na forma de blocos na estrada de terra que passa entre as intrusões.

Indaiá I é a intrusão principal com cerca de 3.2 ha, já Indaiá II é a intrusão satélite, distante cerca de 100m NE da intrusão principal, e de diâmetro de aproximadamente 150m (figura 3b). A intrusão aflora como rocha fresca em uma drenagem, e é caracterizada por uma anomalia avermelhada no solo. Já a intrusão Indaiá II, destaca-se como um pequeno morrote, cercado por vegetação. Consiste de um afloramento de blocos de coloração cinza-esverdeada, granulação muito fina e alta densidade. Ambos os corpos tiveram seu contorno aproximado definido por métodos geofísicos (Haralyi e Svisero, 1984).

Apesar da proximidade entre os corpos, as intrusões possuem características petrográficas distintas. Indaiá I representa um kimberlito hipoabissal macrocristalino do Grupo I típico, apresentando macrocristais de olivina, diopsídio, flogopita, ilmenita magnesiana e cromita em uma matriz rica em serpentina monticellita, carbonato, perovskita, apatita e espinélio (Meyer *et al.*, 1994; Silva, 2008). Já a Intrusão Indaiá II é textural e mineralogicamente diferenciada: mais pobre em macrocristais, tendo como olivina e flogopita como principais representantes, uma matriz composta majoritariamente por diopsídio microlítico, ausência de monticellita, e minerais acessórios similares. A rocha apresenta estrutura de fluxo, definida pela orientação dos minerais da matriz e por enclaves estirados, formados principalmente por diopsídio, kalsilita e vidro amarelado devitrificado. Esses são

denominados por Meyer *et al.*, (1994) de “*schilieren*”, em alusão à clássica estrutura observada em migmatitos.

Quimicamente, Indaiá II é diferente de qualquer kimberlito conhecido, possui caráter ultrapotássico sendo similar com os kamafeugitos de Toro-Ankole, levando alguns autores a classificar a ocorrência como de afinidade kamafeugítica (Meyer *et al.*, 1994; Gomes e Comin-Chiaramonti, 2005). Contudo Silva (2008) descarta essa classificação baseando-se na ocorrência de feldspatoides restrita ao interior de xenólitos, classificando-a como Kimberlito.

Vale ressaltar que Cabral Neto *et al.* (2017) no trabalho que faz parte de um conjunto de informações atualizadas sobre a geologia do diamante de Minas Gerais vinculado ao Projeto Diamante Brasil (CPRM), utiliza nomenclatura diferente para essas intrusões considerando Indaiá I como Perdizes 3-A e Indaiá II como Perdizes 3-B. Essa escolha foi feita pelo autor para evitar conflito entre a nomenclatura usada nos trabalhos acadêmicos da área, e na nomenclatura utilizada pelas empresas que realizaram trabalhos de exploração na área. Contudo nesse trabalho será mantida a nomenclatura original Indaiá I e II.

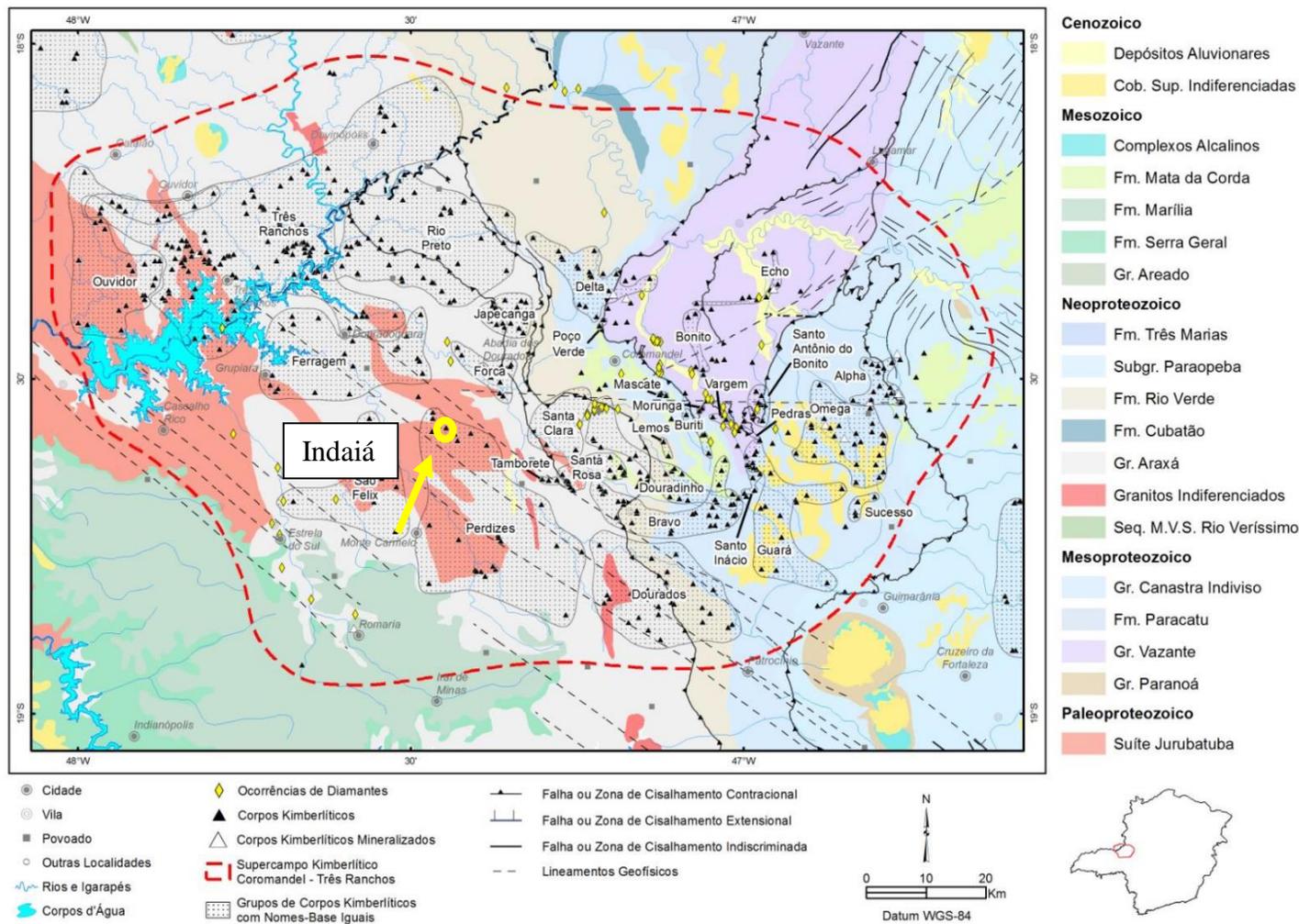


Figura 2 Mapa geológico do Supercampo kimberlítico Coromandel-Três Ranchos com intrusões de afinidade kimberlítica indicada pelos triângulos pretos. Círculo amarelo mostrando a intrusão alvo. Modificado de Cabral Neto et al. (2017).

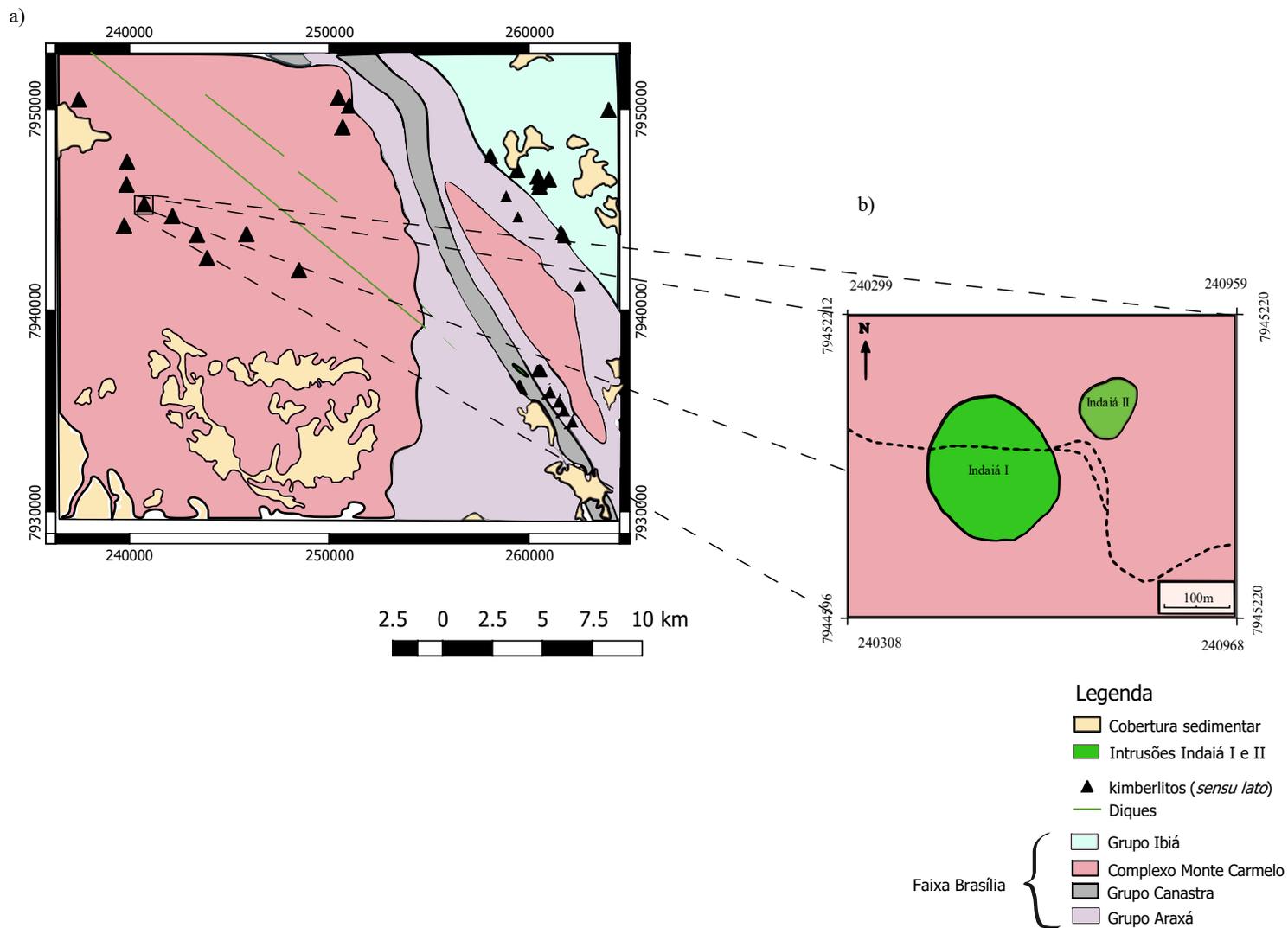


Figura 3 a) Mapa geológico esquemático modificado de Féboli e Pinheiro (2014) b) Mapa geológico esquemático das intrusões Indaiá I e II, modificado de Meyer et al. (1991).

2. METODOS ANALÍTICOS

2.1 Microscopia óptica

A partir de amostras coletadas em diversos pontos da intrusão Indaiá II em trabalhos anteriores, foram confeccionadas 40 seções delgadas no Laboratório de Laminação do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IGc-USP). Para o estudo petrográfico essas seções foram analisadas sob luz transmitida nos microscópios Olympus BXP-50 e Zeiss AxioPlan no Laboratório de Microscopia Petrográfica do Departamento de Mineralogia e Geotectônica do IGc-USP, utilizando-se as objetivas de 2,5; 5; 10; 20 e 40 vezes. As fotomicrografias das fases minerais e feições texturais de interesse foram registradas no microscópio Zeiss com a câmera acoplada AxioCamMR3 e tratadas com os softwares AxioVision 4.9.1 SP1 e posteriormente PhotoScape.

A quantificação das porcentagens modais dos minerais foi estimada visualmente e também por contagem de pontos (mínimo de 700 pontos) de lâminas consideradas representativas das variações encontradas.

2.2 Análise de Imagens

A porcentagem de macrocristais/ microcristais de olivina e de xenólitos crustais e enclaves foi efetuada a partir de análise de imagens. Primeiramente, todas as 40 seções delgadas foram escaneadas utilizando-se o scanner Epson Perfection V500 PHOTO. Em seguida as imagens obtidas foram analisadas pelo *software* de processamento de imagens *ImageJ*.

Este *software* é ferramenta Java de domínio público que através dos diferentes tons de cinza, quantifica a área de uma superfície analisada. Esse método é particularmente eficiente onde há contraste de cor clara e escura entre as fases analisadas, nesse caso a olivina que é incolor à luz transmitida em comparação a coloração escura da matriz, e a coloração diferenciada dos enclaves e xenólitos.

2.3 Microscopia eletrônica

Foram confeccionadas 6 seções polidas que passaram por metalização de carbono para um estudo petrográfico mais detalhado das texturas de interesse e aquisição de imagens de elétrons retroespalhados sob microscopia eletrônica de varredura (MEV). Sessões de MEV foram realizadas em três ocasiões. Uma seção foi realizada no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura do Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental do IGc-USP com um MEV LEO 440I. Outras duas sessões foram realizadas no Laboratório de Caracterização Tecnológica (LCT), vinculado ao Departamento de Engenharia de Minas e de

Petróleo da Escola Politécnica da USP, onde foi utilizado um Microscópio eletrônico de varredura Quanta 650 (*Field Emission*), Marca FEI, com sistemas de microanálise Quantax, marca Bruker. As condições analíticas foram as mesmas durante toda etapa analítica, sendo 20kv de potencial de aceleração e 5.8 de intensidade do feixe.

Em ambas sessões também foram efetuadas microanálises qualitativas de elétrons dispersivos (EDS), cujos espectros foram comparados com os de Severin (2004) para identificação de fases minerais observadas. No LCT também foram produzidos mapas composicionais visando observar diferenças entre matriz e enclaves.

2.4 Litogeoquímica e química mineral

2.4.1 Preparação de amostras

Foram selecionadas 10 amostras para determinação da concentração de elementos maiores e traço em rocha-total: 6 amostras de Indaiá II, 2 amostras de Indaiá I e 2 amostras das rochas encaixantes. As amostras de Indaiá II eram amostras pertencentes a coleção do orientador, coletadas em 2014; já as amostras de Indaiá I e das encaixantes, foram coletadas durante um trabalho de campo em dezembro de 2016.

As amostras foram preparadas no Laboratório de Preparação de Amostras (LTA) do NAP-GeoAnalítica, vinculado ao IGc-USP, pelo autor deste trabalho com auxílio dos técnicos do laboratório. Primeiramente efetuou-se o corte das amostras selecionadas em serra diamantada para, com descarte das porções alteradas, seguido pela etapa de trituração com o auxílio de uma prensa hidráulica. Durante a prensagem foram descartadas manualmente porções que possuíam xenólitos crustais ou mantélicos visíveis, e porções perceptivelmente intemperizadas. As amostras trituradas foram então homogeneizadas e quarteadas e armazenadas em sacos de polietileno identificados. As amostras então foram pulverizadas em moinho de ágata durante quinze minutos, duas vezes, a fim de obter uma granulometria inferior a 200 *mesh*. Entre cada análise o moinho foi devidamente higienizado com água e detergente, limpas novamente com álcool etílico e estopa e secas com jato de ar pressurizado. Após secas foram ambientadas com a amostra a ser analisada em seguida, para evitar contaminação. Foi separado material suficiente para as próximas etapas e o material sobressalente foi armazenado e identificado.

Para a produção das pastilhas prensadas, uma alíquota do material já preparado no moinho de ágata foi micronizada em álcool durante 20 minutos e mantidas em uma estufa a 60°C por pelo menos 48h. Das amostras micronizadas já secas, foi retirada uma alíquota de 7

$\pm 0.005\text{g}$ e misturada manualmente com $1.4 \pm 0.005\text{g}$ de cera ligante ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_3\text{N}_2$). Essa mistura foi alocada em uma prensa de carbetto de tungstênio que produz as pastilhas prensadas, utilizadas para a análise de elementos menores por fluorescência de raios-X (FRX).

Para a produção das pastilhas fundidas e determinação de perda ao fogo, outra alíquota das amostras pulverizadas no moinho de ágata foi seca em uma estufa a 105°C durante 3 horas, para a perda da umidade adsorvida, e em seguida, aquecidas em uma mufla a 1000°C durante 12 horas para as amostras de Indaiá I e II, e por uma hora para as encaixantes, para o cálculo da perda ao fogo (LOI) via método gravimétrico. O longo tempo de dessecação das amostras de afinidade kimberlítica nessa etapa é importante, devido ao alto conteúdo de voláteis desses litotipos. Uma alíquota de $1.0000 \pm 0.0003\text{g}$ foi cuidadosamente pesada em balança analítica e misturada com $9.0000 \pm 0.0003\text{g}$ de um fundente, constituído de uma mistura 4:1 de metaborato de lítio e tetraborato de lítio. A mistura é então fundida na máquina de fusão Claisse elétrica da marca TheOX a 1000°C durante cerca de 30 minutos, e depois despejada em cadinhos de platina resfriada a temperatura ambiente, para a produção das pastilhas fundidas, utilizadas na análise de elementos maiores por FRX.

2.4.2 *Fluorescência de raios X*

As análises foram realizadas no Laboratório de Fluorescência de raios X do NAP-GeoAnalítica, vinculado ao IGc-USP, por meio de um instrumental PANalytical modelo AXIOS MAX Advanced, com trocador de amostras automático, sistema no-break e gerador. Para a análise quantitativa de elementos maiores e menores (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5) foram utilizadas as pastilhas fundidas preparadas anteriormente e para análise quantitativa de 23 elementos-traço (Ba, Ce, Co, Cr, Cu, Ga, La, Nb, Nd, Ni, Pb, Rb, Sc, Sr, Th, U, V, Y, Zn, Zr) e semiquantitativas (F, Cl, S) foram utilizadas as pastilhas prensadas produzidas anteriormente. Tanto a preparação como os procedimentos analíticos da FRX foram baseados em geral em Mori *et al.*, (1999).

2.4.3 *ICP-MS*

As análises de espectrometria de massa por plasma indutivamente acoplado (ICP-MS) em rocha total foram realizadas no Laboratório de química e ICP, também vinculado ao NAP-GeoAnalítica USP, com o auxílio de um instrumental (Neptune) Perkin Elmer ICP-MS Quadrupolo, modelo ELAN 6100 DRC, com nebulizador tipo Meinhard acoplado a bomba peristáltica e câmara ciclônica em quartzo. As rotinas analíticas utilizadas são descritas em

Navarro *et al.* (2008). Essas análises em rocha-total foram efetuadas para se obter as concentrações dos elementos terras-raras (ETRs) e traços em geral.

2.4.4 *Microssonda Eletrônica e LA-ICP-MS*

A etapa de análises de microssonda eletrônica foi realizada no Laboratório de Microssonda Eletrônica do NAP GeoAnalítica-USP, em um equipamento JEOL FXA-FE 8530F com fonte tipo Field Emission equipado com cinco espectrômetros com cinco pares de cristais: **TAP/STE**, **LIFL/PET**, **PETJ/LIF**, **LIFL/PET**, **TAPH/PET**. As análises quantitativas de química mineral realizadas por dispersão de comprimento de onda (WDS), e as imagens de elétrons retroespalhados (BSE) foram realizadas nas seções polidas previamente recobertas com película de carbono (~25nm) por evaporador AUTO 306 da EDWARDS. As condições analíticas utilizadas foram: 15kv de potencial de aceleração e 20 η A de corrente com feixe de 1 μ m para olivina, piroxênio, flogopita, opacos e perovskita. Posteriormente, foram efetuadas condições específicas para a análise de perovskita para a melhor determinação da concentração dos elementos terras raras leves: 25kV e corrente 50 η A. As fórmulas estruturais, de maneira geral, foram calculadas seguindo os procedimentos expostos em Deer *et al.*(1992) e Klein e Dutrow (2009). Especificamente, no caso dos espinélios, foi utilizado o software End-Member Generator (Ferracutti *et al.*, 2015) e no das perovskitas, a planilha em Excel de Locock e Mitchell (2018).LA-ICP-MS

As análises *in situ* para determinação de elementos menores e traço em olivina foram efetuadas por meio da técnica de espectrometria de massa com Laser Ablation (LA-ICP-MS). Esse método consiste de um laser a gás que incide sobre o mineral provocando sua ablação, ou seja, a remoção de partículas do material durante a análise, que são carregadas por meio de um fluxo de gás, para serem analisadas pelo espectrômetro de massas com plasma indutivamente acoplado. A ablação foi efetuada por um sistema Laser Ablation New Wave UP 213 AF com câmara Super-célula, acoplado ao mesmo sistema de espectrômetro utilizado nas amostras de rocha total. Para essas análises foram utilizadas as seções polidas analisadas na microssonda eletrônica, que já possuíam uma espessura maior (~100 μ m) para permitir maior contagem de segundos de análise. Essas lâminas tiveram o recobrimento de carbono removido e polidas novamente com pó de alumina. Depois foram limpas com banho ultrassônico em água destilada e secas em estufa a aproximadamente 70°C. A rotina analítica foi baseada em Erade *et al.*(2014).

Os padrões de calibração (NIST610, BHVO e BCR-2G) foram analisados a cada 5 análises de olivina, e no início e fim de cada lâmina foi analisado o padrão NIST 612 como controle de qualidade. As análises pontuais de olivina foram feitas nos núcleos e bordas nos grãos, com feixe circular de cerca de 50 μm , onde buscou-se analisar grãos previamente analisados por microsonda eletrônica. O tempo de contagem da análise e do branco foi de 60 segundos, com 60 segundos de ablação. O tempo de espera entre cada análise (*Wash out*) foi de 30 segundos. Foi usado o Si como elemento de padrão interno a partir das análises de SiO_2 obtidas na microsonda, devido a sua concentração alta e baixa variabilidade de concentração nas olivinas analisadas.

Para a redução dos dados foi utilizado o software Glitter® (Griffin, 2008), que permite entre outras funções a escolha do tempo de integração utilizado nas análises definindo o tempo utilizado para o branco analítico e remoção de inclusões e impurezas do sinal.

2.5 Geoquímica Isotópica

Foram realizadas análises isotópicas de Rb-Sr e Sm-Nd em rocha total para 5 amostras: uma da intrusão Indaiá I, três de Indaiá II e uma da rocha encaixante coletada no local. Essas amostras já haviam sido previamente analisadas por FRX e ICP-MS para determinação de elementos maiores menores e traço, e os resultados das concentrações de Rb, Sr, Sm e Nd determinadas por ICP-MS foram utilizadas para o cálculo das razões isotópicas. Estas análises foram efetuadas no Centro de Pesquisas Geocronológicas (CPGeo) do IGc-USP, com participação do autor auxiliado pelos técnicos de laboratório.

Os procedimentos utilizados no laboratório seguem as rotinas descritas em Torquato e Kawashita (1994) para o método Rb-Sr e Sato *et al.* (1995) para o método Sm-Nd. Uma alíquota do pó das amostras que haviam sido pulverizadas no moinho foi pesado em frascos savillex®, e dissolvidas em uma solução de ácido fluorídrico (HF) e ácido nítrico (HNO_3) durante 5 dias em chapa aquecida a 80°C. Após a dissolução total da amostra, ela foi evaporada e retomada pela adição de uma solução de ácido clorídrico 6N e novamente evaporada totalmente, durante uma noite em chapa aquecida a 80°C. Em seguida foi realizada a separação e concentração do Rb, Sr, Sm e Nd por meio de colunas de troca iônica. Isso se dá através da passagem da solução através de resinas específicas que primeiramente separam Rb, Sr e os elementos terras raras (resina AG-50-W-X8 da Bio Rad) e para a separação de Sm e Nd dos demais terras raras coletados anteriormente, utiliza-se a resina LN Resin da Eichrom Technologies. Com a coleta

dos elementos de interesse, o material é seco por evaporação e submetido a espectrometria de massas para a determinação das razões isotópicas.

A determinação da razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ foram efetuadas no Espectrômetro de Massas por Termoionização (TIMS) - Thermo Triton. Já a determinação das razões $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ foi efetuada no Espectrômetro de Massas ICP-MS Thermo-Neptune. Para obter as razões iniciais de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ foi realizado o procedimento descrito em Faure e Mensing (2005) corrigidos pela idade de aproximadamente 80Ma determinada para a intrusão Indaiá (Guarino et al., 2013).

3. RESULTADOS

3.1 Petrografia

Macroscopicamente as rochas da intrusão Indaiá II são cinza-esverdeadas, inequigranulares bimodais apresentando macrocristais de olivina de hábito arredondado imersos em uma matriz afanítica (figura 4). É notável a presença de microenclaves milimétricos (1-5mm) orientados e de formato estirado, cujo contato com a matriz apresenta bordas de reação de coloração mais clara que a matriz (figura 4). A presença desses enclaves dá à rocha uma estrutura de aspecto fluidal. Também, nota-se a presença de xenólitos crustais, com bordas de reação similares às dos microenclaves, e de nódulos mantélicos milimétricos.

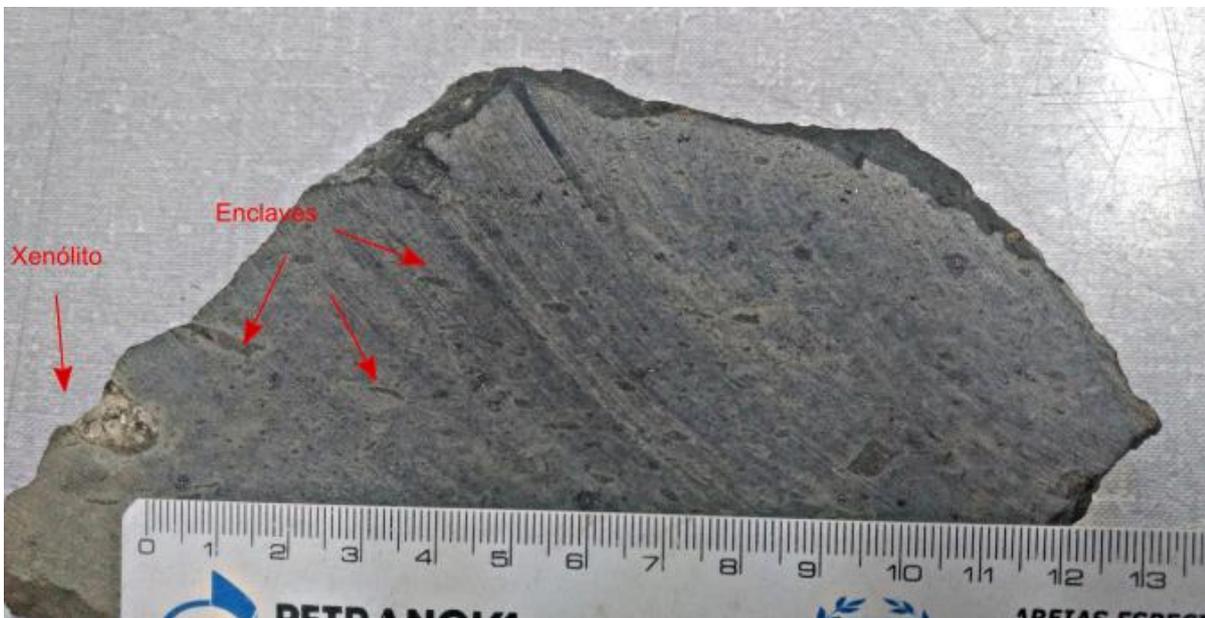


Figura 4 Aspecto macroscópico das rochas da intrusão Indaiá II em amostra de mão. Notar a presença de xenólito crustal e microenclaves estirados (setas vermelhas) definindo estrutura orientada, e a matriz de coloração mais clara em suas proximidades.

3.1.1 *Macrocristais*

Aqui é adotada a nomenclatura de macrocristal proposta por Scott-Smith *et al.* (2013) em que os cristais podem ser divididos descritivamente com base em seu tamanho. Nesse contexto foram considerados macrocristais os grãos maiores que 1 mm, independentemente do hábito do cristal. Já os grãos com tamanho inferior a 1 mm são denominados microcristais. A proporção dos macrocristais foi estimada através da análise de lâminas escaneadas com o software *ImageJ*. A olivina é o único macrocristal presente, perfazendo de 0,5 a 7,5% em volume da rocha, com cerca de 3% na maioria das amostras. No contexto de Scott-Smith *et al.* (2013) tais rochas podem ser classificadas pela abundância desses como pobre a muito pobre em macrocristais.

Os macrocristais variam de 1 a 3mm, possuem hábito predominantemente anédrico e arredondado a subordinadamente euédrico/ subédrico. São em sua maioria grãos frescos, embora em algumas amostras apresentem bordas serpentinizadas. A maioria desses possui nas bordas uma faixa de micro inclusões de minerais próxima da borda e um núcleo límpido (figuras 5a e 5b). É recorrente nesses grãos a microestrutura de *embayment* (figura 5c), texturas tipo *sieve* (figura 5d), e outras feições típicas de corrosão nesses grãos. Tal fato sugere estágios de reabsorção desses grãos de olivina pelo fundido. Alguns macrocristais encontram-se parcialmente substituídos por clinopiroxênio e flogopita, especialmente quando próximos a xenólitos crustais e aos microenclaves félsicos (Figura 5e e f).

Em imagens de elétrons retroespalhados são notáveis zonamentos abruptos, onde o núcleo e borda dos macrocristais apresentam composições químicas contrastantes. Os mais comuns são zonamentos normais, com núcleos mais ricos em Mg (figura 6a). Embora localmente também ocorra zonamentos do tipo reverso (explicar... mais ricos em Fe e com bordas mais ricas em Mg) (figura 6b).

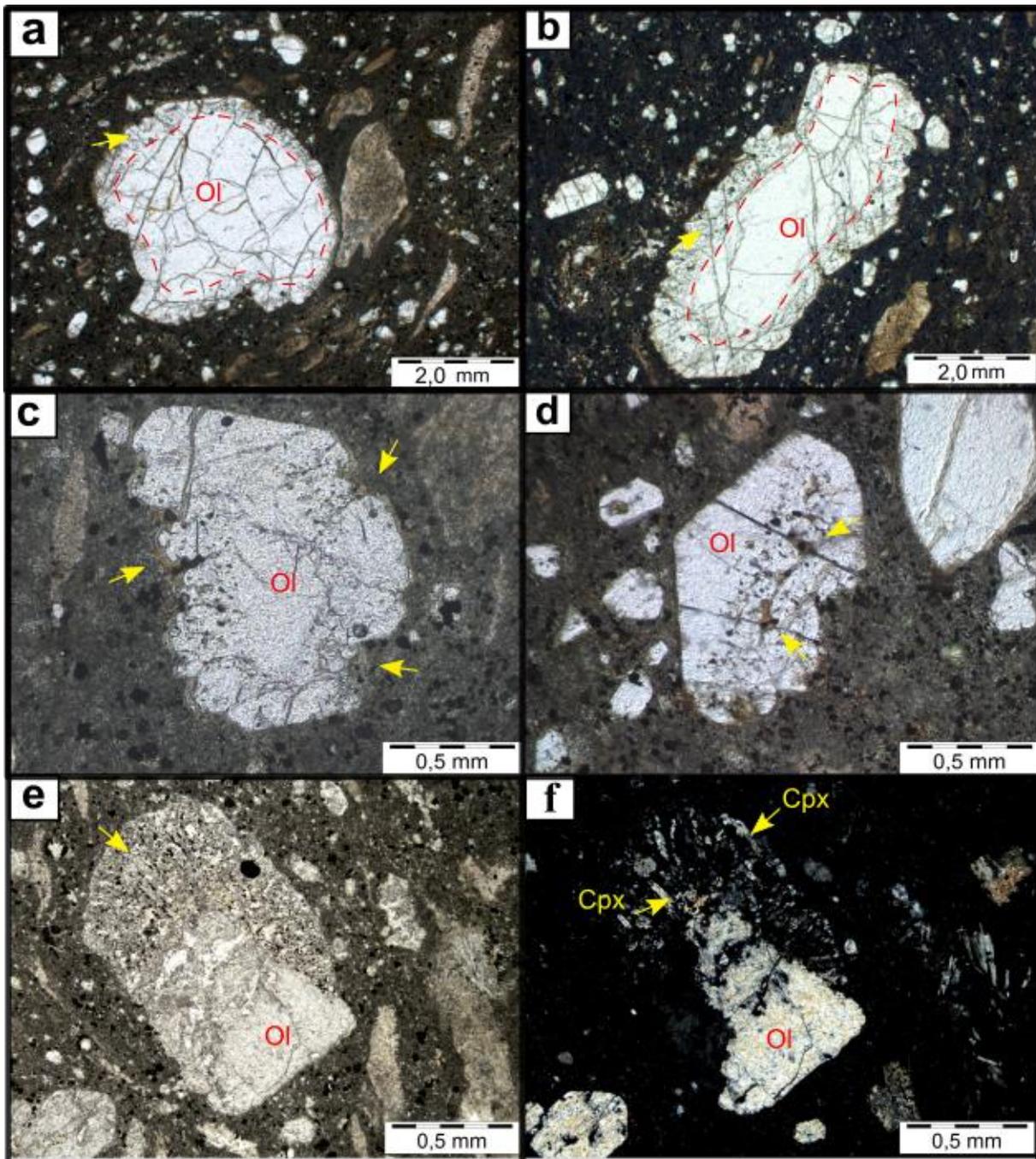


Figura 5 Macrocristais de olivina observados sob microscópio óptico: a) e b) Setas amarelas e contorno vermelho indicando faixa com micro inclusões nas bordas dos macrocristais, em contraste com núcleos mais límpidos. Polarizadores em paralelo. c) Macrocrystal apresentando microestrutura de *embayment* indicado por setas amarelas. Polarizadores em paralelo. d) Texturas tipo *sieve* em macrocrystal subédrico. e) e f) Olivina apresentando feições de corrosão e substituição por clinopiroxênio. Polarizadores em paralelo e cruzados, respectivamente. Siglas utilizadas: Ol - olivina, Cpx - clinopiroxênio.

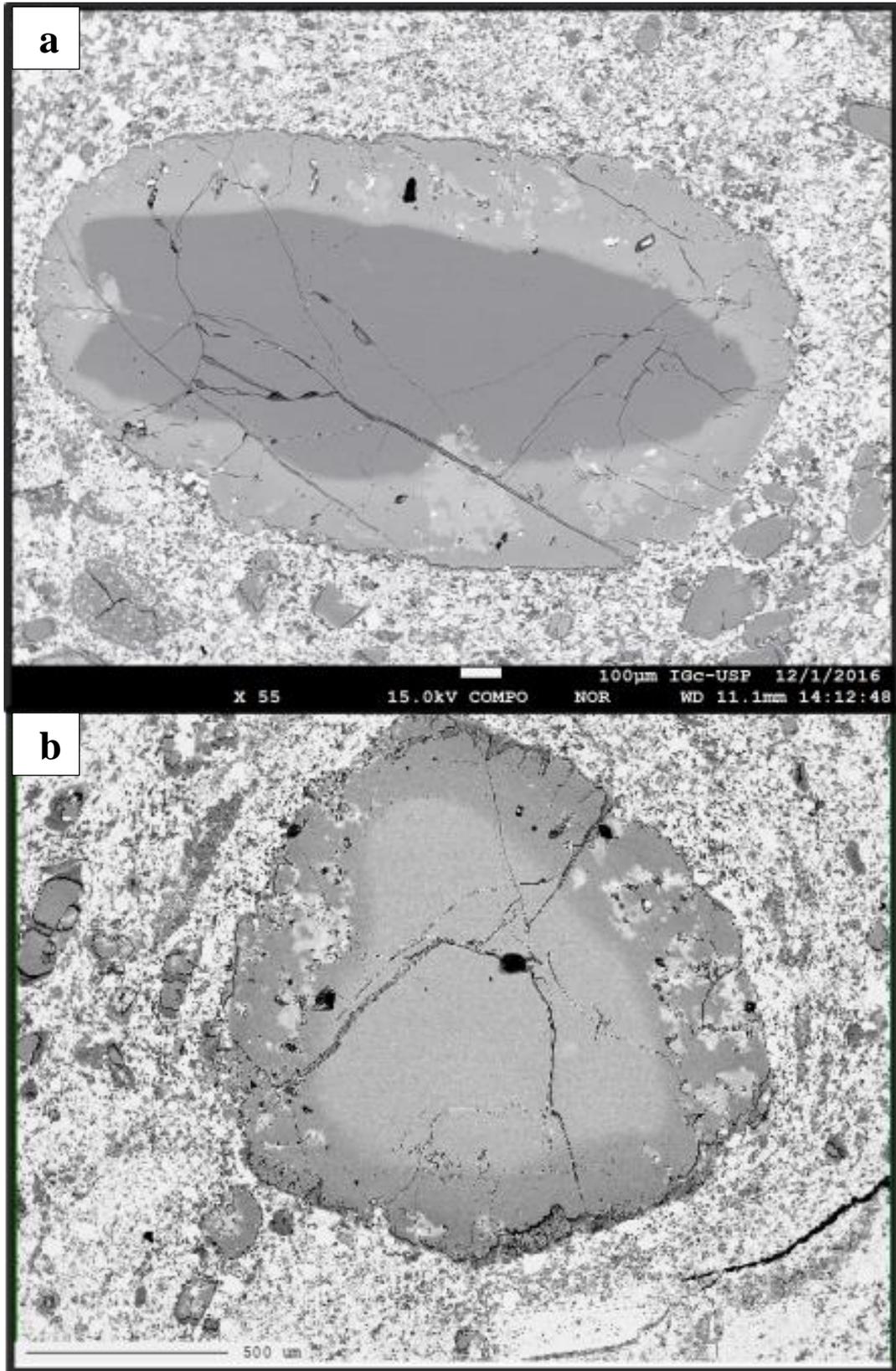


Figura 6 Zonamentos abruptos observados em macrocristais de olivina em imagens de elétrons retroespalhados: a) Macrocristal de olivina apresentando zonamento abrupto normal com núcleo mais rico em Mg (escala equivale a 100µm). b) Macrocristal de olivina apresentando zonamento abrupto reverso com bordas mais ricas em Mg que o núcleo (escala equivale a 500 µm).

3.1.2. Matriz

A matriz possui granulação fina a muito fina e é constituída principalmente por uma mesóstase (50–60% em volume) de diopsídio muito fino e um material intersticial isotrópico, provavelmente representativo de vidro (figura 7a e 7b). Subordinadamente também ocorrem como minerais da matriz: microcristais de olivina de granulação fina a muito fina, (8-16.5% em volume), microcristais de flogopita finos a muito finos (até 5% em volume), minerais opacos de granulação fina a muito fina de hábito quadrático/octaédrico dispersos ou em *clusters* (5-9% em volume), perovskita euédrica a subédrica de granulação muito fina (4-6% em volume) dispersa pela matriz ou formando *necklaces* (figura 7d) sobre grãos de olivina. Apatita prismática a acicular, zeólita, carbonato, e espinélio avermelhado (figura 7e) ocorrem tipicamente como fases acessórias.

Os microcristais de olivina da matriz apresentam-se como grãos anédricos de terminações arredondadas a euédricos/ subédricos de hábito prismático característico. Possuem granulação fina a muito fina e tamanho bastante variável (de 0.01 a 0.8mm). Por vezes possuem bordas serpentinizadas (figura 8d), sendo raramente totalmente substituídos por serpentina. Os grãos euédricos são geralmente maiores e ao microscópio eletrônico revelam-se zonados, apresentando zonamentos normais e reversos, tanto abruptos quanto mais graduais (figura 8 a; b), mas a maioria dos grãos menores é homogênea. Assim como nos macrocristais, também ocorrem grãos parcialmente corroídos e por vezes substituídos por diopsídio, flogopita e serpentina, principalmente quando próximos a xenólitos crustais e microenclaves félsicos (Figuras 8 c a f).

A flogopita, além de ocorrer como produto de substituição da olivina, apresenta-se como grãos euédricos a subédricos de hábito lamelar, pleocróicos em tons de laranja (figura 7c). Sua ocorrência como mais abundante como microcristal se dá em amostras com maior grau de serpentinização das olivinas. Geralmente é poiquilítica, possuindo núcleo com abundantes inclusões, principalmente de diopsídio e a apatita, e uma borda mais límpida, pobre ou sem inclusões (figura 7f). Grãos morfológicamente idênticos aos macrocristais de flogopita dispersos na rocha ocorrem na zona de interação entre a matriz e xenólitos crustais, e substituindo os microenclaves félsicos estirados. Isso sugere que os microcristais dispersos na matriz podem ter se formado também como produto de reação. Contudo, uma origem mista tanto magmática primária quanto reacional, não pode ser descartada.

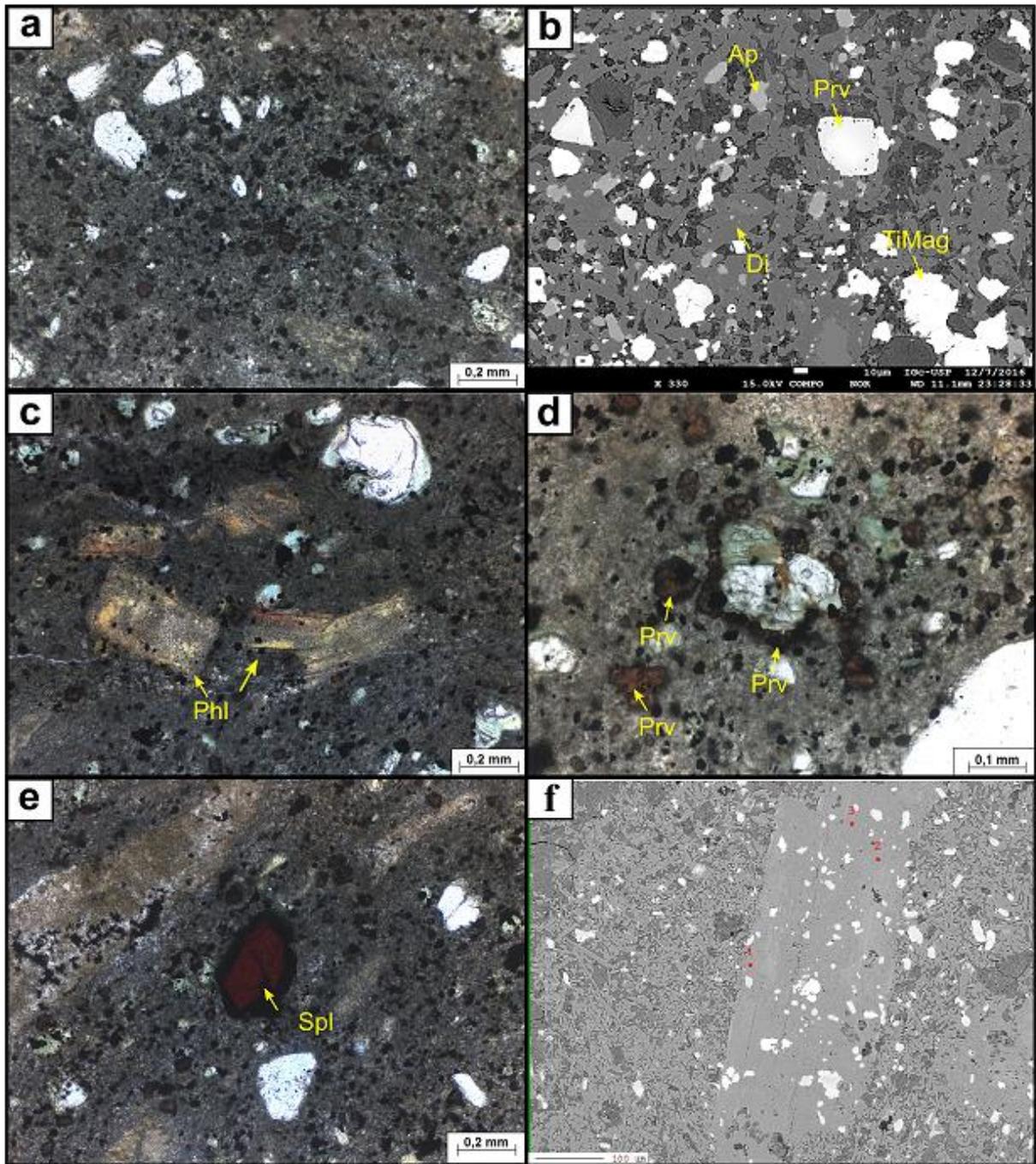


Figura 7 Aspectos texturais e mineralógicos da matriz da intrusão Indaiá II. a) Visão geral da matriz; b) detalhe dos constituintes da matriz: diopsídio (Di), titanomagnetita (TiMag), perovskita (Prv) e apatita (Ap). c) microcristais de flogopita ricos em inclusões d) "necklace" de perovskita formado ao redor de microcristal de olivina. e) espinélio avermelhado apresentando coroa de óxidos e f) microcristal de flogopita apresentando inclusões de apatita, diopsídio e opacos. Luz polarizada em (a, c, d, e) e imagens de retroespalhados em (b, f).

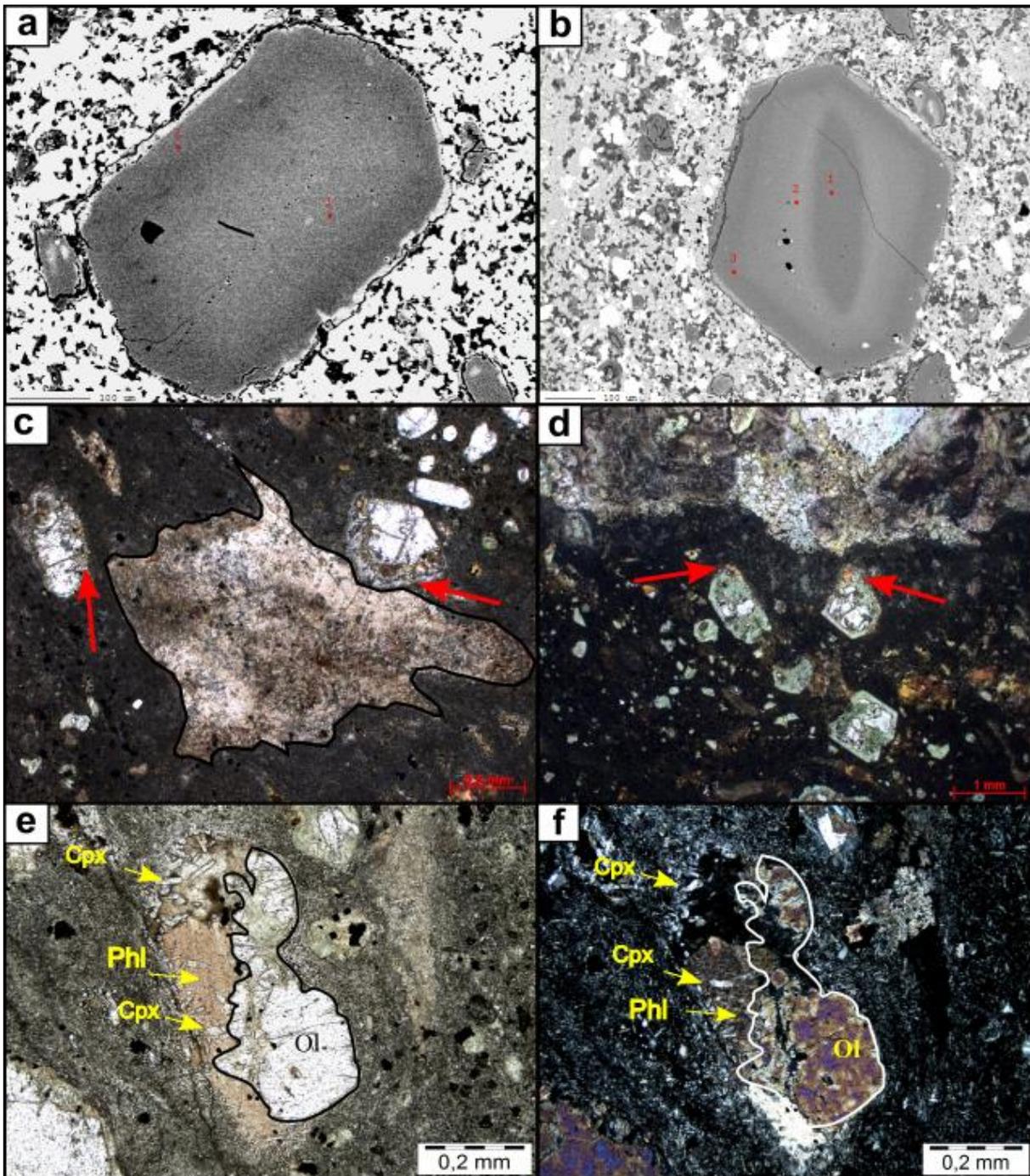


Figura 8 Aspectos petrográficos da intrusão Indaiá II. a) Microcristal euédrico apresentando zonamento reverso gradual, com núcleo mais pobre em Mg. b) Microcristal euédrico apresentando zonamento complexo, com núcleo e zona intermediária apresentando zonamento abrupto normal e borda rica em Mg. c) Microcristais de olivina (setas vermelhas) apresentando feições reacionais próximas a microenclave félsico. d) Microcristais de olivina parcialmente substituindo por serpentina (bordas esverdeadas) e flogopita (borda cor de cobre, seta vermelha). e) e f) Microcristal de olivina (com contornos destacados) apresentando feições de corrosão e substituição por clinopiroxênio e flogopita. Imagens de elétrons retroespalhados em (a) e (b). Luz polarizada em (c, d, e) e polarizadores cruzados (f). Siglas utilizadas: Ol - olivina, Cpx-Clinopiroxênio, Phl - flogopita.

3.1.3 Estrutura e xenólitos

As rochas de Indaiá II possuem uma estrutura orientada, definida principalmente pelo alinhamento dos microenclaves félsicos estirados, e subordinadamente dos macrocristais e microcristais de olivina (figura 9a). Esses microenclaves possuem caráter félsico e estão presentes em quantidades elevadas nessas rochas (até 30%), e devido ao seu aspecto estirado foram denominados de *schilieren* por Meyer *et al.* (1991). São compostos principalmente por grãos quadráticos de kalsilita e nefelina (conforme análise por microsonda eletrônica por Silva, 2008) e vidro intersticial amarelado parcialmente devitrificado (figura 9b,c). Subordinadamente ocorrem minerais opacos aciculares, diopsídio e apatita. O diopsídio ocorre com grãos anédricos a subédricos de baixa integridade (Hibbard, 1995) com hábito plumoso a *sieve* (figura 9d, e). A apatita ocorre pontualmente em alguns desses enclaves na forma de grãos ocelares a prismáticos de granulação relativamente mais grossa (figuras 9f; 11 a,b) e raramente aciculares, na interface com a matriz da rocha.

Nesses enclaves, grãos lamelares de flogopita poiquilítica parecem se desenvolver num contexto reacional do material do enclave com o fundido (figura 9f), ou com a olivina, como demonstra claramente a figura 10 (a,b), em que a flogopita se desenvolveu no contato entre um microenclave félsico e o grão de olivina, e essa apresenta uma feição de corrosão. Isso sugere que flogopita poiquilítica cristalizou-se às expensas dos grãos de kalsilita já presentes no enclave. Essa aparente substituição de kalsilita por flogopita também pode ser constatada em imagens de elétrons retroespalhados onde a kalsilita se encontra parcialmente substituída pelo oikocristal de flogopita e com terminações arredondadas e em *embayment*, indicando desequilíbrio (figura 10c).

Os xenólitos crustais apresentam-se fortemente alterados. Neles são identificáveis grãos parcialmente preservados de plagioclásio e feldspato alcalino, que atestam sua origem crustal, embora boa parte o material esteja alterado e substituído por sericita, zeólita, pectolita analcima, flogopita e um anfibólio verde de hábito fibroradial (actinolita?).

Estão presentes nesses xenólitos diversas evidências texturais de fusão parcial, e assimilação. Feições como bolsões de vidro amarelado e parcialmente devitrificado no interior e na margem dos xenólitos são observáveis em lâmina delgada (figura 11c,d). No interior desses bolsões ocorrem grãos de feldspatos com texturas indicando dissolução, e também cristalização rápida (figura 11e,f).

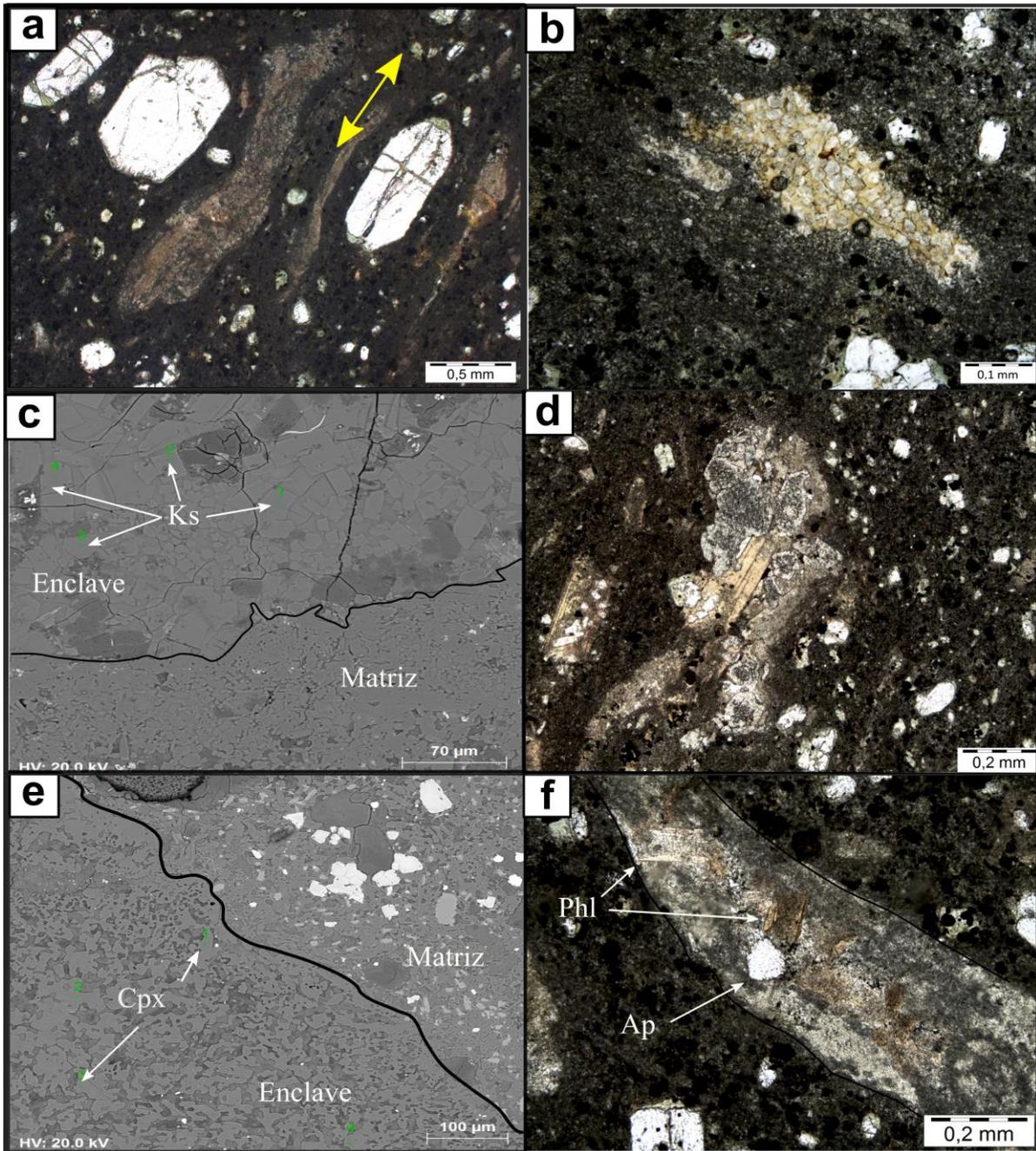


Figura 9 Relações texturais e estruturais entre matriz e microenclaves félsicos: a) e b) Alinhamento de microenclaves e microcristais de olivina formando estrutura sugestiva de fluxo (setas indicando direção de fluxo). b) Detalhe de microenclave félsico mostrando grãos de kalsilita/ nefelina imersos em material amarelado amorfo, possivelmente vidro devitrificado. d) Microclave substituído por grãos de clinopiroxênio com textura *sieve* e flogopita. e) Imagem de elétrons retroespalhados de contato entre matriz e microenclave substituído por diopsídio com textura *sieve*. f) Microenclave félsico apresentando substituição por flogopita e a presença de grão de apatita de hábito ocelar, e granulação relativamente grossa. Luz polarizada em (a, b, d, f) e imagens de elétrons retroespalhados em (b, c).

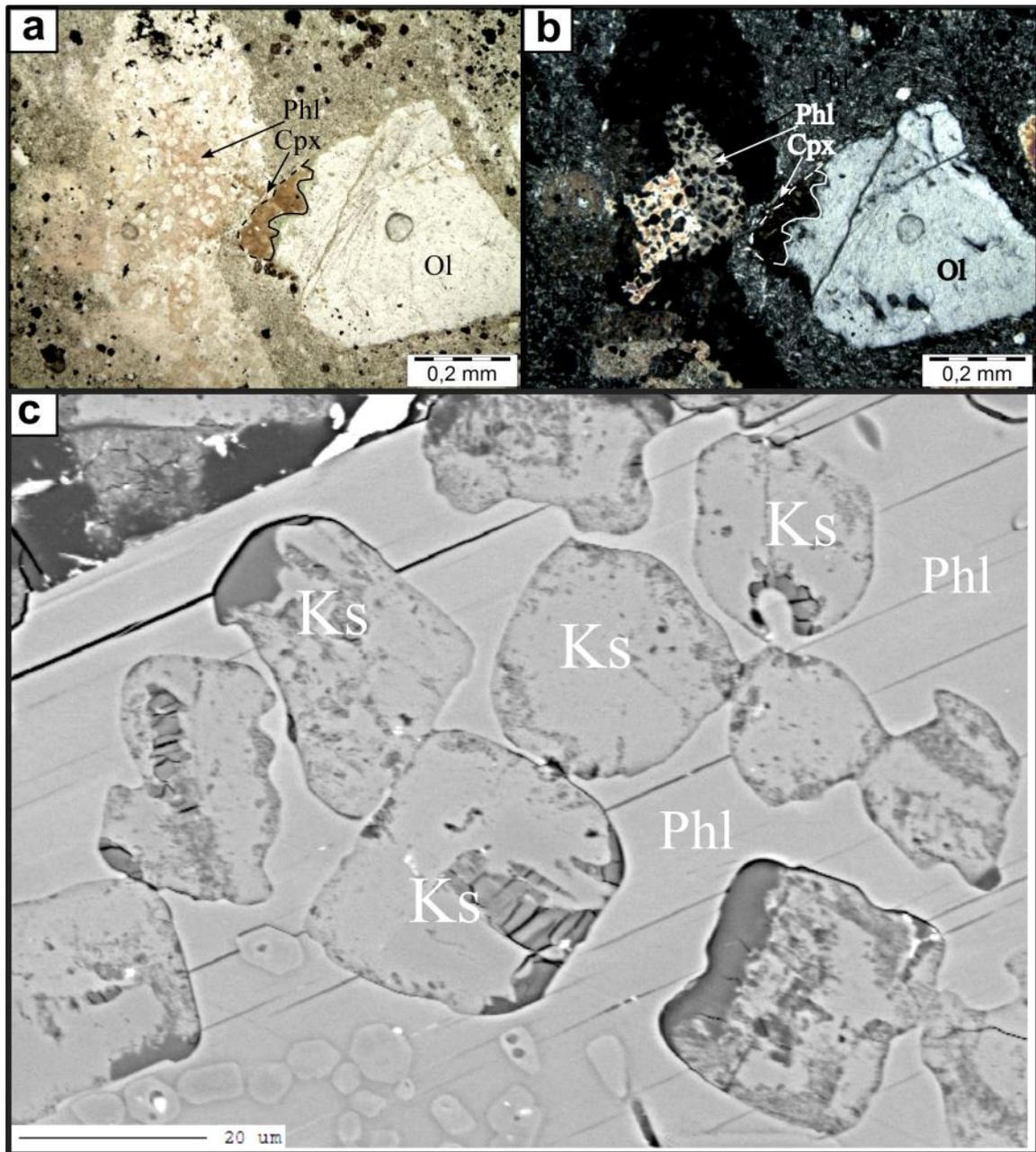


Figura 10 . a) e b) Fotomicrografias ilustrando reação entre borda de microcristal de olivina e microenclave félsico. A olivina apresenta corrosão (realçada nas figuras) e cristalização de microcristal de flogopita poiquilítica. Luz polarizada e polarizadores cruzados, respectivamente. c) Imagem de elétrons retroespalhados mostro grãos de kalsilita com feições de desequilíbrio e parcialmente substituídos por flogopita, no interior de um microenclave.

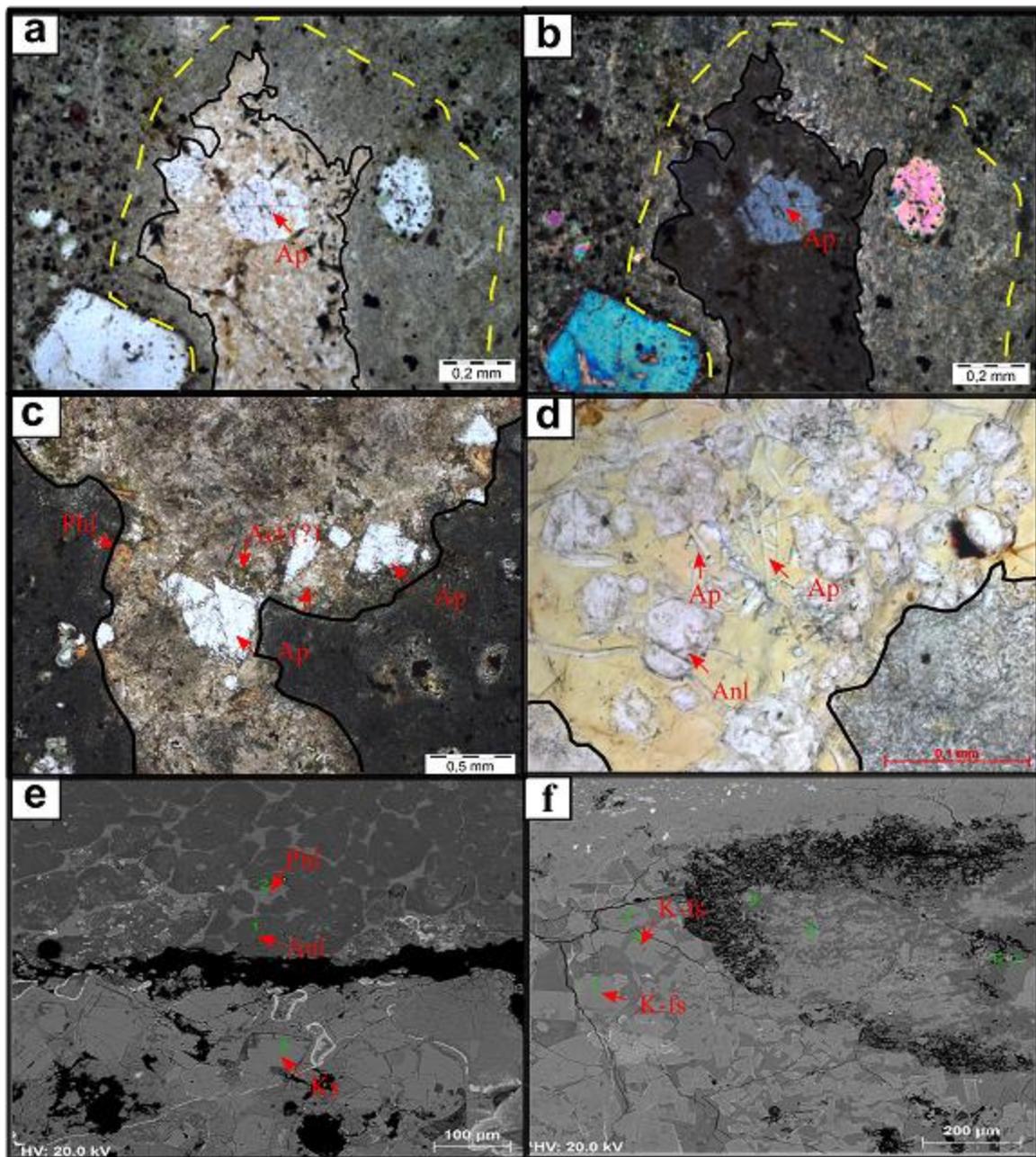


Figura 11 Feições petrográficas observadas em microenclaves e xenólitos crustais de Indaiá II: a) e b) Microenclave félsico texturalmente similar a buchito apresentando zona de influência na matriz, colocada em evidência pela linha tracejada amarela, cuja granulação se torna mais fina e mais rica em diopsídio nas proximidades do enclave. É notável também o grão ocelar de apatita (seta vermelha), de granulação bem mais grossa que os outros constituintes do microenclave. c) Xenólito crustal parcialmente fundido apresentando grãos proeminentes de apatita (Ap), similares ao constatado nos xenólitos félsicos. Também são identificáveis grãos de flogopita (Phl), e possível actinolita (Act). d) Xenólito crustal contendo grãos de apatita acicular (Ap) e analcima (Anl), circundados por vidro amarelado. e) Borda de xenólito crustal rica em analcima, flogopita mimetizando fundido, e uma borda mais externa que apresenta kalsilita (Ks). e) Xenólito crustal apresentando digestão de grão de feldspato maior, e cristalização de de novas ripas de k-feldspato junto ao vidro. Luz polarizada em (a, b, c, d) e imagens de elétrons retroespalhados em (e, f).

No interior dos xenólitos crustais e em suas bordas encontram-se greses grãos prismáticos e finos grãos aciculares de apatita (figura 11d), cujo desenvolvimento está provavelmente relacionado a supersaturação pelo rápido resfriamento, ou interação do material crustal com o magma ultrabásico. Nas bordas de alguns xenólitos crustais são encontrados grãos quadráticos de kalsilita, esses ocorrem associados ao vidro. A sua ocorrência restrita a porções próximas a interface dos xenólitos com a matriz parece indicar uma origem associada a reação com o magma hospedeiro.

Localmente foram observados xenólitos mantélicos, milimétricos a centimétrico, contendo olivina, enstatita, Cr-diopsídio e espinélio de coloração avermelhada. Porém sua ocorrência é restrita.

3.1.4 Classificação e fácies petrográficas

Baseando-se nas características petrográficas observadas, pode-se classificar as rochas da intrusão Indaiá II como kimberlíticas *sensu lato*. No sentido que se tratam de rochas ultramáficas inequigranulares bimodais onde a olivina é o principal macrocristal, altamente insaturadas em sílica (dada a presença abundante de perovskita), em que o plagioclásio, feldspato alcalino ou feldspatóides não foram detectados na matriz. A presença de kalsilita implicaria em uma classificação como rochas da série kamafugítica (conforme Le Maitre, 2002), contudo esse mineral não foi observado como fase cognata na matriz, e sim restrita a xenólitos crustais e microenclaves, provavelmente de origem exógena. A ausência de monticellita como fase na matriz, típica de kimberlitos, pode estar relacionada a abundância de diopsídio de granulação fina, que embora não seja um mineral comum em kimberlitos do Grupo I, substitui a monticellita em ocorrências que evoluíram a partir de elevadas taxas de contaminação crustal (Mitchell, 1989, 1995).

À luz das características petrográficas, mineralógicas e texturais, foi possível individualizar duas fácies petrográficas distintas com base na abundância de diopsídio e de flogopita: diopsídio kimberlito e flogopita diopsídio kimberlito. A abundância de flogopita parece estar associada a um maior grau de serpentinização das olivinas. Provavelmente isso significa uma cristalização dessa fácies a uma maior pressão de água.

Segundo os termos propostos por Scott-Smith *et al.* (2013) essas fácies são caracterizadas com base na abundância dos componentes como: muito pobres a pobres em macrocristais, pobre em olivina, pobre a rica em micro xenólitos crustais, e de matriz intersticial ultrafina a muito fina. Quanto a textura formada pela estrutura orientada dos microenclaves

félsicos, optou-se a manter a terminologia utilizada por Meyer *et al.* (1991): *schilieren*. A presença comum de feições de dissolução de xenólitos crustais e ausência de feições como magmaclastos e pirocristais (no sentido de Scott-Smith *et al.* 2013), indica cristalização em ambiente subvulcânico e portanto um caráter hipoabissal. A classificação, feições petrográficas observadas, e a abundância dos compostos estão sumarizados na Tabela 1.

Tabela 1: Sumário petrográfico das rochas da intrusão Indaiá II. Valores das concentrações minerais em porcentagem em volume (% vol.).

Fácies:		Diopsídio Kimberlito	Flogopita Diopsídio Kimberlito
Alteração		Frescas a levemente alteradas	Fraca a moderadamente alteradas
Estrutura		maciça (raro) a fortemente orientada	Moderadamente a fortemente orientadas
Textura		Pseudoporfirítica, "schilieren"	Pseudoporfirítica, "schilieren"
Macrocristais (i.e. > 1mm)	Olivina (% vol.)	0,25 a 7,3 (2,3 em média)	0,3 a 3,2 (2,0 em média)
Microcristais (i. e. <1mm)	Olivina (% vol.)	10,2 em média	7,8 em média
	Flogopita (% vol.)	< 3	> 3
	Perovskita (% vol.)	2,8 - 6,2	
	Opacos (% vol.)	5,0 - 13,4	
Matriz fina	Diopsídio + vidro devitrificado + flogopita (% vol.)	49,2 – 60,0 mm	
Minerais Acessórios		Apatita, espinélio, flogopita	Apatita, espinélio
Microenclaves (% vol.)		14,6 em média	18,4 em média

3.2 Química mineral

3.2.1 Olivina

A olivina é um nesossilicato de fórmula geral $(M1,M2)_2SiO_4$ onde M1 e M2 são sítios cristalográficos de posições octaédricas semelhantes e ligados a tetraedros de SiO_4 independentes (não polimerizados) (Klein e Dutrow, 2009). Os resultados analíticos obtidos por microsonda eletrônica (Tabela 1 – Apêndice 1) revelam que as principais trocas catiônicas na estrutura mineral desse mineral se dão pela substituição entre Fe e Mg. Portanto, podem ser consideradas principalmente como soluções sólidas entre os membros finais forsterita (**Fo**, Mg_2SiO_4) e faialita (**Fa**, Fe_2SiO_4). Logo, a fórmula estrutural da olivina foi calculada com base nos membros finais Fo – Fa e 4 átomos de oxigênio, seguindo as recomendações de Deer *et al.* (1992). A fim de facilitar o controle químico, os grãos foram divididos em 7 grupos morfológicos distintos sejam eles:

- i) Núcleos de macrocristais.
- ii) Bordas de macrocristais.
- iii) Núcleos de microcristais euédricos/subédricos.
- iv) Bordas de microcristais subédricos.
- v) Matriz.
- vi) Zonas esparsas e de reação interna a macrocristais (similar a manchas de menor mg#).
- vii) Xenocristais analisados em xenólitos mantélicos não desagregados.

A variação composicional desses grupos pode ser observada a partir da Figura 12, representada através de *boxplots* demonstrando a variação de CaO, Al_2O_3 , TiO_2 , NiO, Cr_2O_3 e do membro final Fo. O teor de forsterita apresenta uma distribuição bimodal entre os núcleos de macrocristais e microcristais euédricos com um agrupamento de valores iguais ou superiores a Fo90 provavelmente representativos de xenocristais mantélicos, e outro próximo a Fo86 para os macrocristais e um na faixa de Fo87-89, o que corresponde aos grãos que apresentam zonamento reverso, com núcleos empobrecidos em Fo. Esse empobrecimento pode indicar equilíbrio com um líquido mais evoluído ou uma origem xenocristalina. As bordas de macrocristais microcristais euédricos/subédricos e os grãos da matriz apresentam medianas próximas a Fo88-89 o que indica que provavelmente se cristalizaram em uma condição próxima ao equilíbrio com o mesmo fundido. As zonas esparsas e reacionais encontradas em alguns macrocristais e algumas análises de grãos da matriz

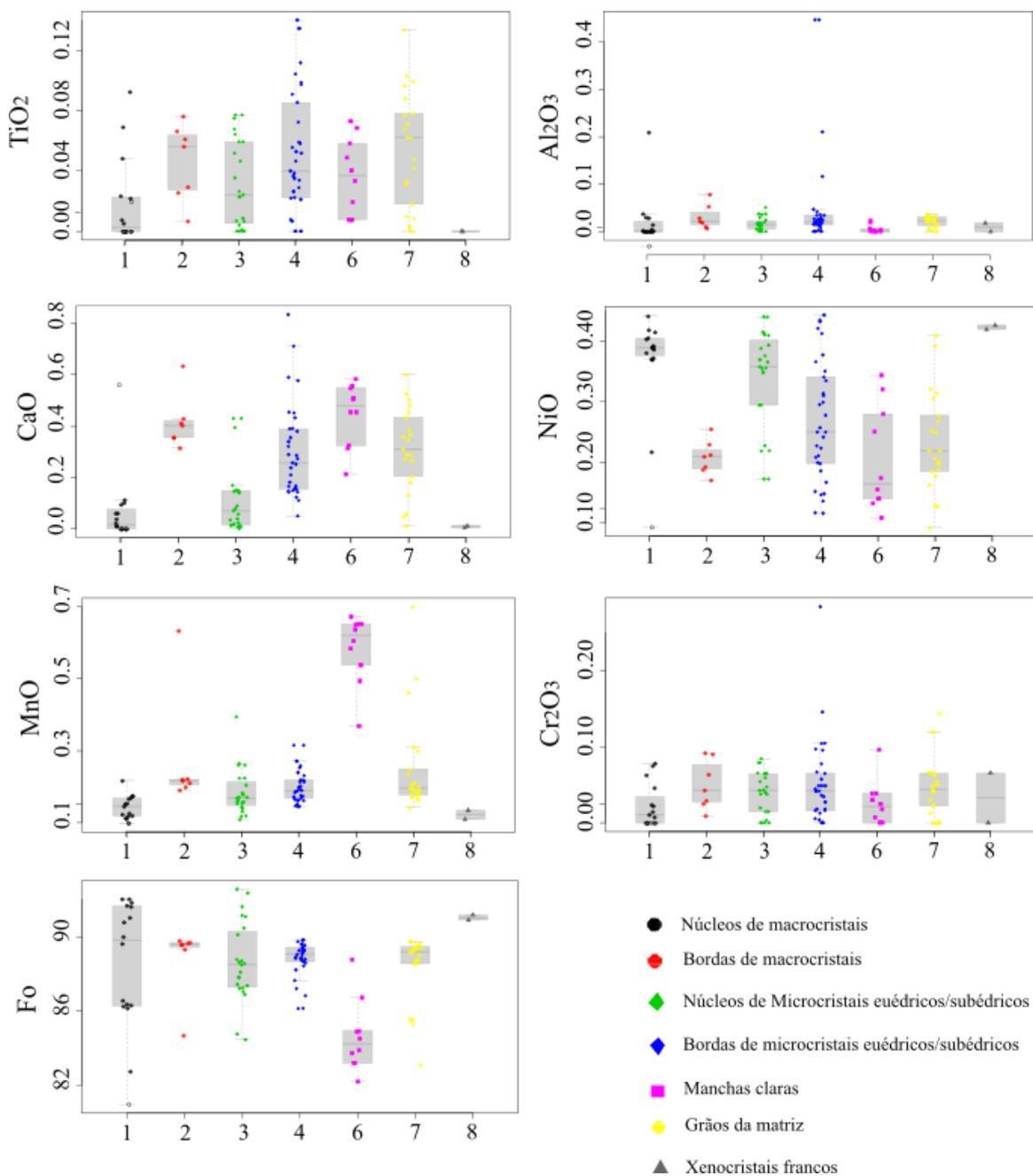


Figura 12 Variação composicional das olivinas de Indaiá II em função dos teores de TiO_2 , Al_2O_3 , CaO , NiO , Cr_2O_3 (% em massa) e do membro final forsterita (Fo). Representada em boxplots separadas em grupos texturais: 1- Núcleos de macrocristais, 2- bordas de macrocristais, 3- Núcleos de Microcristais euédricos/subédricos, 4- Bordas de microcristais euédricos/subédricos, 6- Zonas reacionais internas a macrocristais (“manchas”), 7- Grãos da matriz, 8- Xenocristais francos

revelam maior empobrecimento em Mg, de Fo_{87} a Fo_{82} . Tais composições associadas à geometria difusa destas zonas que se assemelham a manchas internas em macrocristais,

podem representar zonas reacionais de cristais com um fundido mais diferenciado ou uma alteração posterior.

Os teores de CaO são mais empobrecidos nos núcleos de macro e microcristais e enriquecidos nas bordas de macro e microcristais e nos cristais da matriz, apresentando dispersão similar entre os dois últimos. A menor distribuição entre os valores de bordas de macrocristais pode ser atribuída ao menor número de análises deste grupo. Os teores de NiO são de maior concentração e com valores menos variáveis nos núcleos de macro e microcristais e nos xenocristais de olivina. Ocorrem em menores concentrações nas bordas dos grãos, com menor variabilidade nas bordas de macrocristais e espalhamento considerável em bordas de microcristais, matriz e nas zonas reacionais. Os teores de TiO₂ indicam enriquecimento para as bordas dos microcristais e nos grãos na matriz e possui concentrações similares nos outros tipos morfológicos. Cr₂O₃ não apresenta correlação observável entre os tipos morfológicos e os valores extremos observados nas bordas de microcristais possivelmente se dão por interferência de micro inclusões de opacos encontrados nas bordas dos grãos de olivina. O Al₂O₃ se mostra levemente enriquecidos nas bordas de macro e microcristais e na matriz, apresentando valores *outliers* possivelmente associados a presença de microinclusões nas bordas dos microcristais. O MnO se mostra enriquecido exclusivamente nas zonas reacionais internas a macrocristais, denotando uma condição de formação diferente das demais, provavelmente associada a alteração ou reequilíbrio com fundidos mais diferenciados.

A figura 13 ilustra as tendências composicionais entre os diferentes grupos morfológicos em diagramas bivariantes de CaO, NiO e MnO vs Mg# (Mg/(Mg+FeO, em apfu) e também CaO vs NiO. Os diagramas sugerem que a olivina apresenta pelo menos três tendências composicionais distintas. A primeira (figura 13a) compreende os xenocristais do manto, núcleos de macrocristais e microcristais e alguns grãos de matriz, e é caracterizada por maiores teores de NiO e menores de CaO e MnO e valores mais dispersos de Mg#. A segunda (figura 13b) compreende as bordas de macrocristais e microcristais e grãos da matriz e consiste em aumento de CaO e diminuição de NiO a um Mg# relativamente constante. A terceira (figura 13, c) é caracterizada por altos teores de MnO e CaO e diminuição dos teores de NiO e MgO, e consiste nas chamadas zonas reacionais, com aspecto de “manchas”, observadas em imagens de elétrons retroespalhados como domínios de maior número atômico no cristal e zonamento do tipo *patchy* (Hibbard, 1995; Streck, 2008).

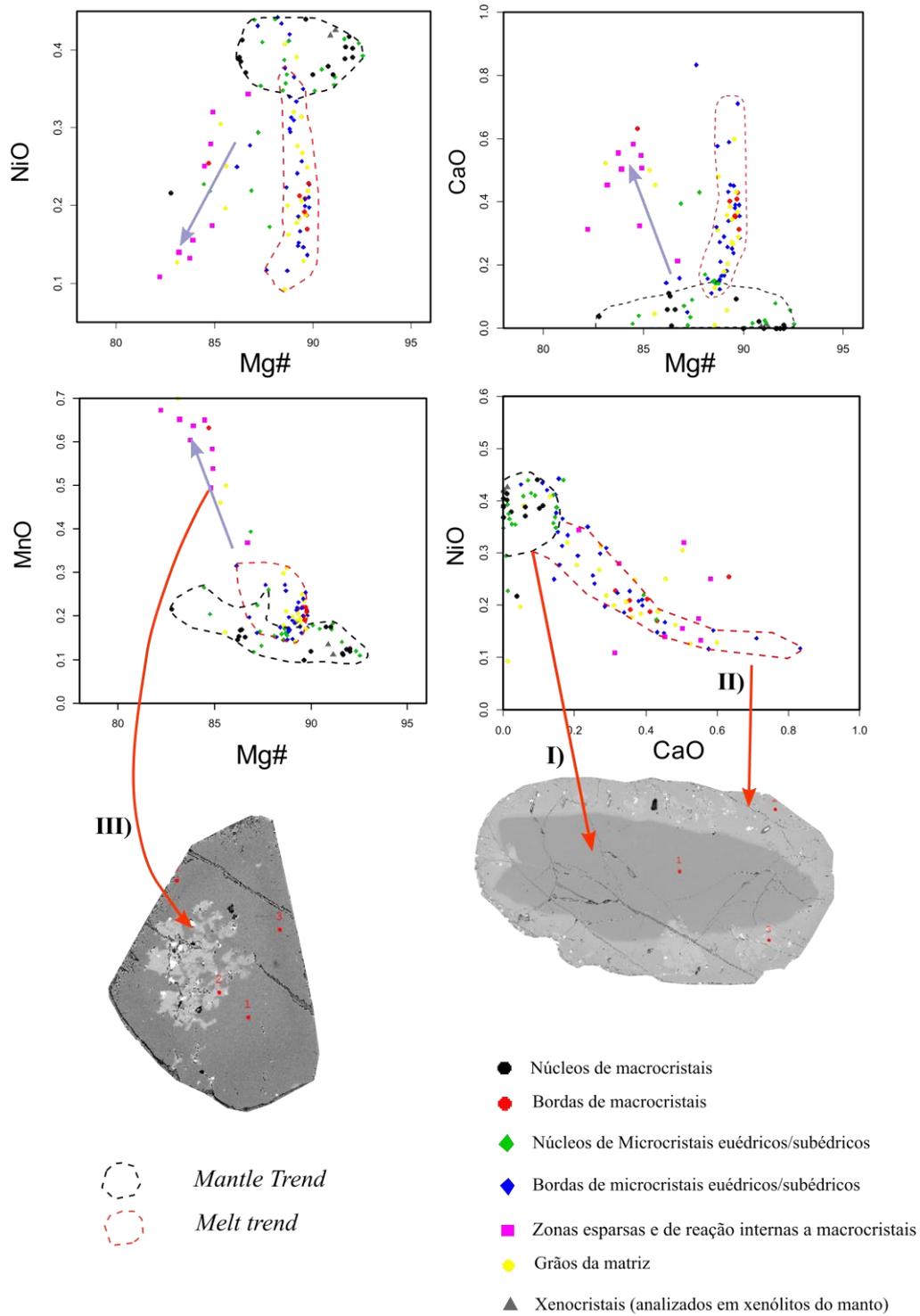


Figura 13 Diagramas divariantes de Mg# [Mg/(Mg+Fe), em prop. Moleculares] vs. a) NiO, b) CaO e c) MnO e de d) CaO vs NiO, ilustrando a variação composicional dos grãos de olivina de Indaiá II. Tendências e grupos: I) núcleos e xenocristais do manto definindo uma “mantle trend”(grupo representado pela linha pontilhada preta, II) bordas definindo “melt trend”(linha pontilhada vermelha), e III) zona reacionais internas a macrocristais (“manchas”), caracterizadas por enriquecimento em MnO e CaO e empobrecimento em MgO (seta roxa). Dados em porcentagem em massa.

Os teores de elementos como CaO, NiO e também o Mg# são utilizados em alguns estudos para diferenciar olivinas do manto (xenocristais) e as cristalizadas a partir do líquido magmático (Foley et al., 2013). As tendências I e II observadas na figura 13 são similares às descritas em olivinas kimberlíticas por Bussweiler *et al.* (2015) como *mantle trend* e *melt trend*, respectivamente. O *mantle trend* seria característico de xenocristais carreados do manto enquanto que o *melt trend* equivaleria a composição de olivinas cristalizadas a partir de um fundido kimberlítico.

Por ser geralmente o primeiro mineral silicático a se cristalizar a partir de magmas gerados no manto, a composição de elementos-traço da olivina possui potencial para elucidar a história dos processos de fusão e metassomatismo no manto e a história inicial de cristalização desses magmas (Foley et al., 2011, 2013). Contudo por conta das concentrações muito reduzidas dos elementos-traço nesse mineral, seu potencial como traçador petrogenético não foi bem explorado até o uso mais extensivo da microsonda eletrônica de alta precisão e técnica de LA-ICP-MS, que permite microanálise *in situ* a limites de detecção adequados (Foley et al., 2013). Foram efetuadas 55 análises pontuais de elementos menores e traço através de LA-ICP-MS em macro e microcristais de olivina, utilizando-se os dados de SiO₂ analisados via microsonda eletrônica como padrão. Os dados obtidos encontram-se no Apêndice A, Tabela 2.

Os macrocristais e microcristais de olivina de Indaiá II apresentam enriquecimento em Ca e Ti do núcleo para as bordas, e núcleos ricos em Ni (>2200 ppm), conforme ilustrado nos diagramas da figura 14. Mn e Sc parecem ser sutilmente enriquecidos nas bordas e Nb, Na e V não apresentam variações sistemáticas entre núcleo e borda. Tais características favorecem a interpretação dos núcleos como xenocristais do manto, e as bordas como sobrecrescimentos magmáticos.

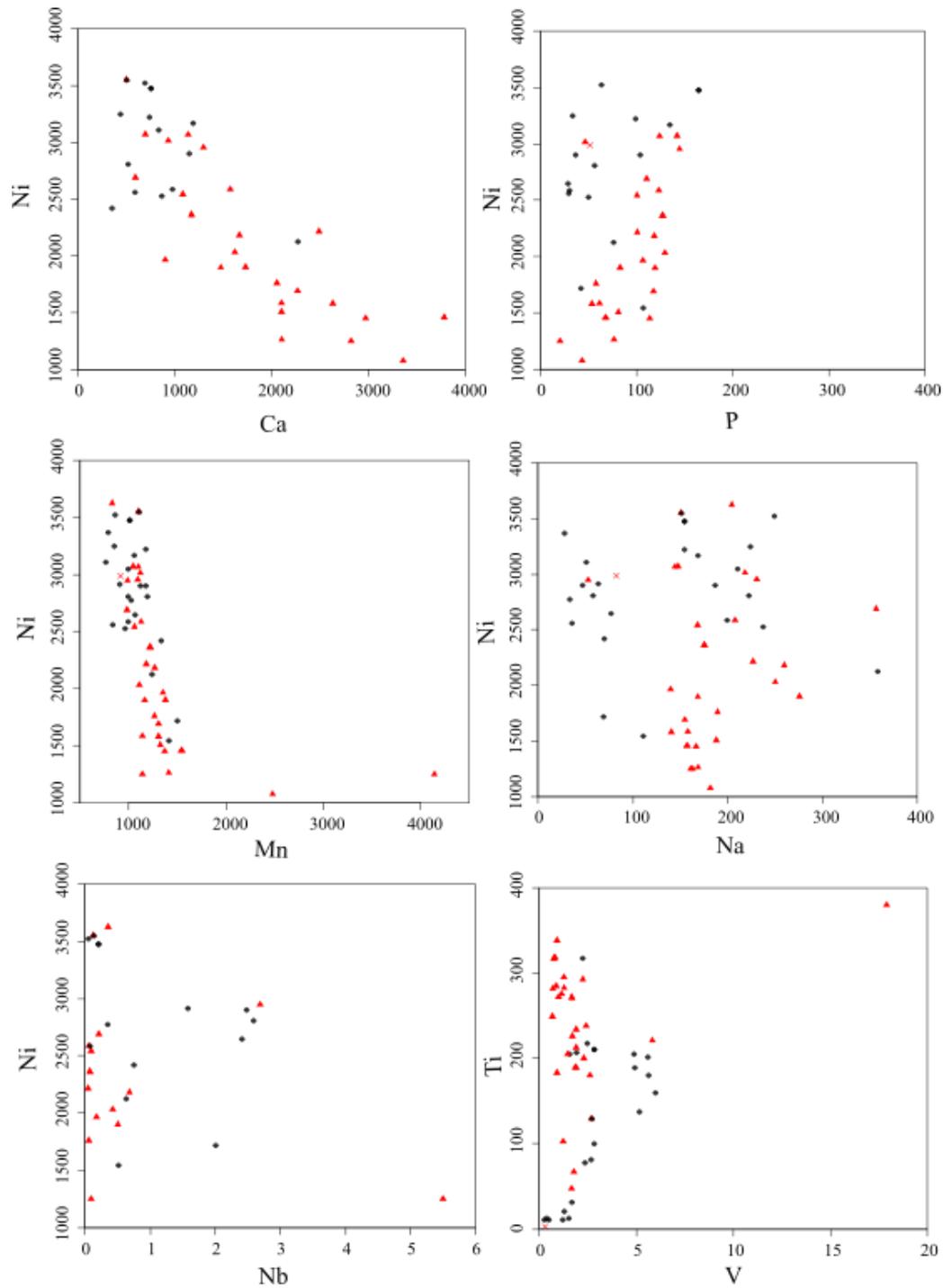


Figura 14 Diagramas divariantes de elementos menores e traço analisados por LA-ICP-MS ilustrando as diferenças composicionais entre bordas e núcleos de olivina. Núcleos representam círculos pretos e bordas os triângulos vermelhos. Dados em ppm.

A razão V/Sc (figura 15 b) pode ser utilizada como um monitor do estado de oxidação durante a fusão no manto para os núcleos de olivinas considerados xenocristalinos. Tal monitor se baseia no fato de que V e o Sc possuem compatibilidades similares com a estrutura da olivina, porém, em ambientes oxidantes, o V pode se encontrar no estado de valência V^{5+} , que possui menor compatibilidade na olivina, reduzindo a sua razão V/Sc (Foley, 2013). As características composicionais dos grãos de olivina analisados indicam uma fusão em um ambiente oxidante.

Outra aplicação da determinação dos elementos-traço em olivinas é determinar a natureza do agente metassomático que infiltrou no manto amostrado por essas rochas magmáticas. O diagrama Ca vs Ti (figura 15c) apresenta a diferenciação de agentes metassomáticos ricos em Ti e Fe típicos de regiões cratônicas, e ricos em Ca e Ti, que podem ser representativos de fundidos carbonatíticos a altas pressões (Foley, 2013). Os núcleos de olivina analisados parecem ter amostrado porções de manto metassomatizados por fluidos carbonatíticos.

O Li é um elemento que parece ser especialmente distintivo entre núcleos e bordas de olivina em Indaiá II, apresentando-se sistematicamente enriquecido nas bordas (figura 15 a), com mais de 16 ppm de média. O enriquecimento em Li nas olivinas é apontado como característico de magmas que possuem crosta continental reciclada envolvida em sua petrogênese, especialmente quando acoplado com o alto Zn e baixo Ti. Contudo, apesar do enriquecimento em Zn (Figura 16 a) as bordas também possuem alto Ti (figura 16 b), o que descaracteriza essa tendência. Uma possível explicação para esse enriquecimento em Li nas bordas de olivinas é a incorporação de material crustal (rico em Li) em um ambiente de câmara magmática residente na crosta, por um magma rico em Ti, como Indaiá II, sendo possivelmente um indicador de contaminação crustal.

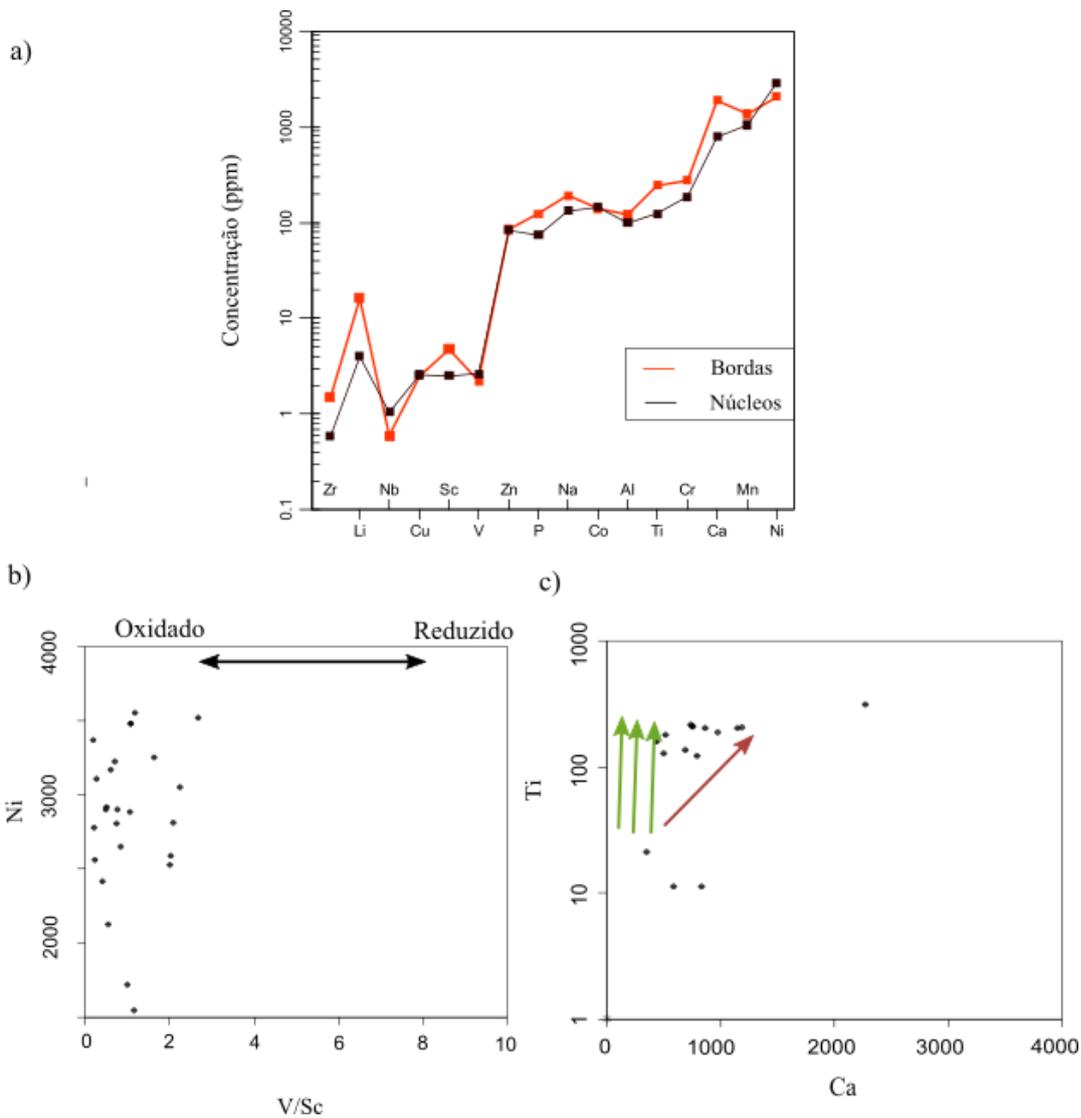


Figura 15 a) Concentrações médias das análises de elementos menores e traço em olivina obtidas via LA-ICP-MS divididas em núcleos e bordas. As bordas são enriquecidas em in Zr, Li , Sc, P, Na, Al,Ti, Cr, Ca e Mn. Já os núcleos são enriquecidos em Nb, Zn, V, Co e Ni. b) Variação composicional de núcleos de olivina em relação a V/Sc vs Ni como indicador de fusão no manto em condições oxidantes (Foley *et al.* 2013). c) Composição de núcleos de olivina em relação a Ca vs Ti como indicado da natureza do agente metassomático na fonte mantélica. Dados em ppm.

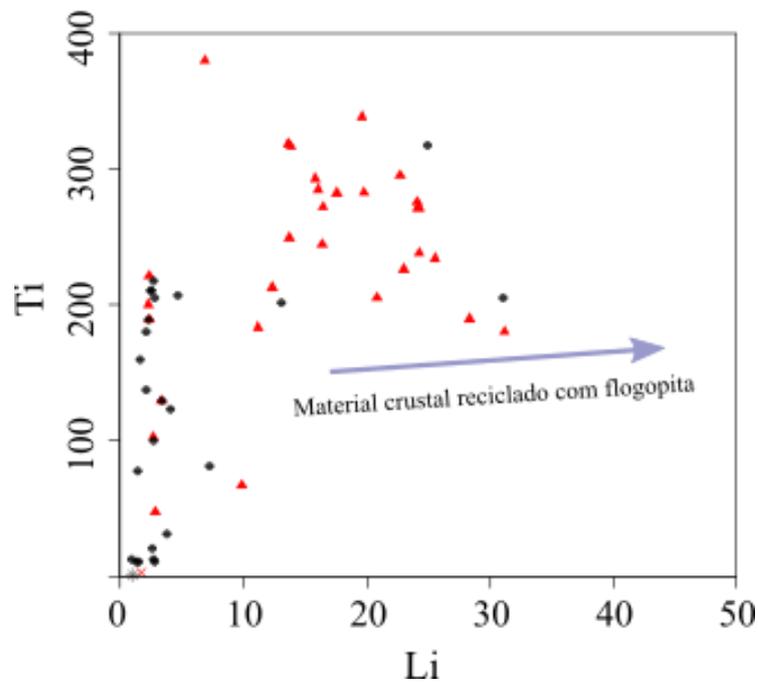
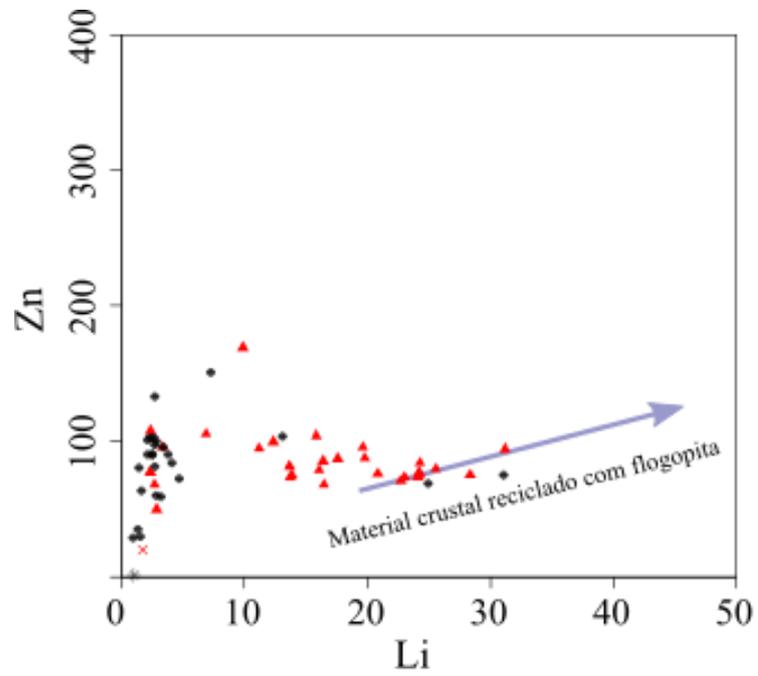


Figura 16 Diagramas divariantes Zn vs Li e Ti vs Li indicativos de incorporação de material crustal reciclado na fonte mantélica. Círculos pretos representam núcleos de macrocristais e triângulos vermelhos, bordas de macrocristais (tendências segundo Foley, 2013; dados em ppm).

3.2.2 Piroxênio

Foram efetuadas 43 análises pontuais de grãos de piroxênio em Indaiá II. A maioria das análises de piroxênio da matriz foram realizadas nos núcleos dos grãos, devido às dimensões reduzidas dos mesmos, que muitas vezes não permitiu análises das bordas. A fórmula estrutural desse mineral foi calculada usando o software MINPET, que segue as recomendações de (Morimoto, 1988): fórmula geral $M_2M_1T_2O_6$, onde **M1** se refere ao sítio de coordenação octaédrica regular e **M2** o sítio octaédrico distorcido. O sítio **T** corresponde ao sítio catiônico de coordenação tetraédrica. Os dados obtidos dispostos na Tabela 6 no Apêndice A em percentual em massa de óxidos, fórmula estrutural e componentes moleculares: wollastonita (Wo, $Ca_2Si_2O_6$), enstatita (En, $Mg_2Si_2O_6$), ferrossilita (Fs, $Fe^{2+}_2Si_2O_6$), egirina (Ae, $Na(K)Fe^{3+}(Cr)Si_2O_6$), jadeíta (Jd, $NaAl^V Si_2O_6$), esseneíta ($CaFe^{3+}Al^{IV}SiO_6$), cálcio tschermakita ($CaAl^{IV}Al^{VI}SiO_6$) e cálcio-titano tschermakita ($CaTiAl_2O_6$).

Nos grãos da matriz o sítio **T** é preenchido principalmente por Si (1.897-1.974 a.p.f.u.) e por Al^{IV} (0.009-0.094 a.p.f.u); contudo esses elementos são por vezes insuficientes para preencher o sítio, e ocorre a presença subordinada do cátion Fe^{3+} (0-0,073 a.p.f.u). O sítio M1 é ocupado preferencialmente por Mg^{2+} (0.797- 0.905 a.p.f.u.) e subordinadamente por Fe^{2+} , Fe^{3+} , e Ti. O sítio M2 é ocupado principalmente por Ca^{2+} (0.832-0.940 a.p.f.u.), e subordinadamente por Fe^{2+} (0.000-0.0490 a.p.f.u.), Na^+ , Mn^{2+} , Mg^{2+} e K^+ .

Um grão de xenólito do manto analisado foi classificado como diopsídio rico em Cr, cujas altas concentrações de Al o permitem diagnosticar como pertencente a fácies espinélio (Read *et al.* 2004). Já uma inclusão de clinopiroxênio em um núcleo de macrocristal de olivina possui características químicas de fácies granada ($Cr+Al-Na-K < 0.05$ em apfu; conforme Read *et al.* 2004), contudo esse grão é classificado como augita, provavelmente por reequilíbrio com o grão hospedeiro, portanto a confiabilidade dessa inferência fica comprometida.

Na figura 17 são apresentados os diagramas de classificação de Morimoto (1988). No diagrama Q-J (figura 17a) nota-se esses piroxênios estão contidos no domínio *Quad*, referente aos piroxênios de Ca-Mg-Fe. No gráfico En-Wo-Fs (figura 17b) os grãos de piroxênio da matriz e dos enclaves félsicos plotam no campo do diopsídio ($En_{43,2-48,6}Wo_{44,58-48,71}Fs_{3,67-11,32}$), e podem portanto serem classificados como diopsídio com Al, Na e Ti segundo Morimoto (1988) devido aos teores superiores a 0,01 a.p.f.u desses elementos. No diagrama WEF-JD-AE (figura 17c) os piroxênios também estão classificados no *Quad*, por apresentarem baixo Na.

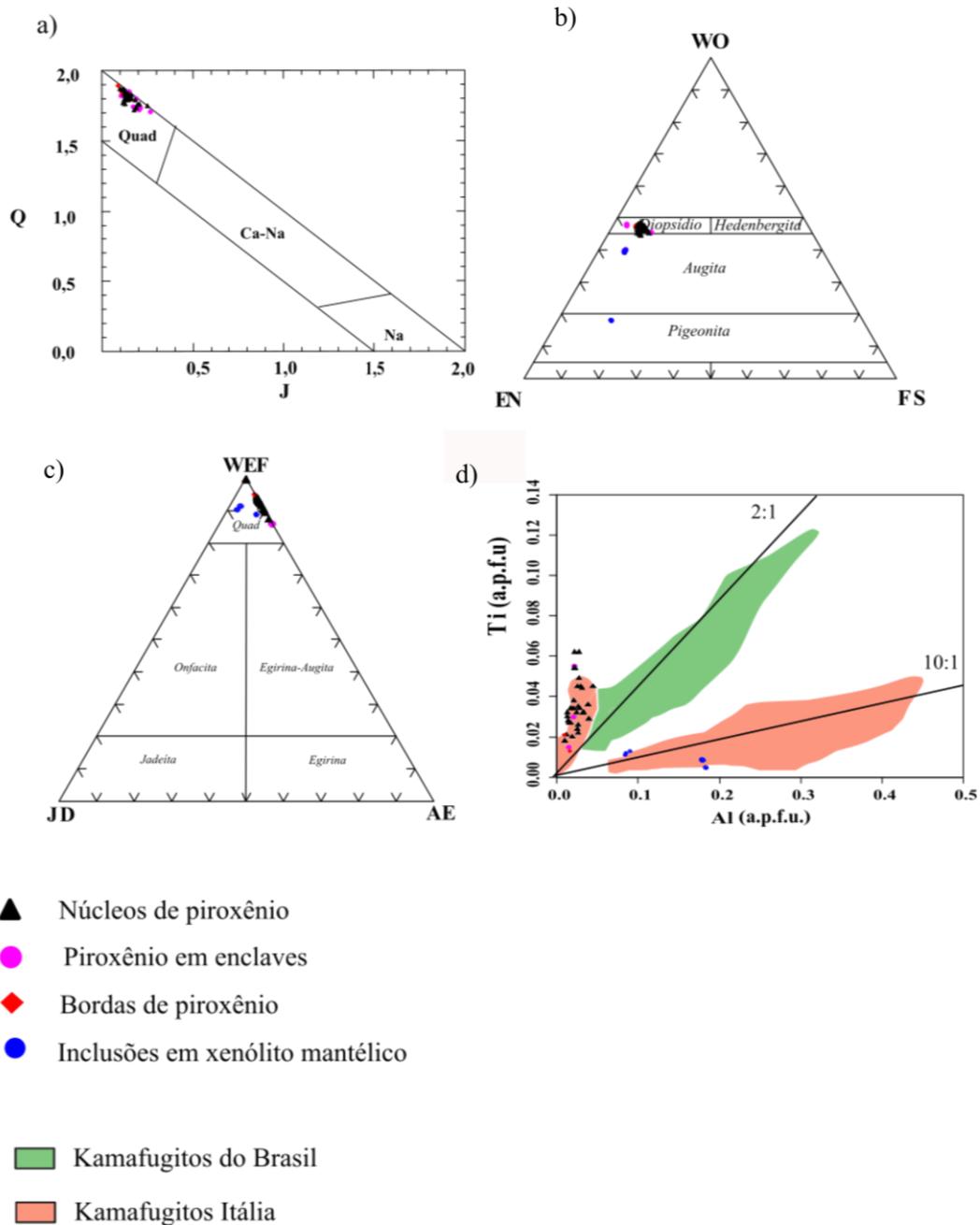
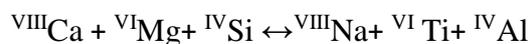


Figura 17 a) a c) Diagramas de classificação dos piroxênios segundo Morimoto (1988). Abreviações: Q=Ca+Mg+Fe²⁺; J=2Na; WEF-(Wo,En,Fs): Wo- wollastonita; En- enstatita; Fs- ferrosilita; Ae- egirina. d) Comparação da composição de Ti e Al (em átomos por fórmula unitária, a.p.f.u) dos piroxênios de Indaiá II com os dos kamafugitos de Brasil e Itália (Tappe, Foley e Pearson, 2003).

No gráfico de Al vs Ti em átomos por fórmula unitária (figura 17d), pode-se observar que os piroxênios da matriz de Indaiá II possuem um padrão de enriquecimento em Ti e que em geral não acompanha o de Al. Estes são diferenciados dos piroxênios de kamafugitos de Santo Antônio da Barra (Brasil) e similares aos de ocorrências kamafugíticas de San Venanzo e Cupaello na Itália.

A soma dos teores de Na no sítio M2, Ti no sítio M1 e Al no sítio T se correlacionam negativamente com a soma de Ca no sítio M2, Mg no sítio M1 e Si no sítio T, formando uma tendência linear (figura 18), o que sugere a substituição acoplada do componente diopsídico, $\text{Ca}(\text{Mg,Fe})\text{Si}_2\text{O}_6$, por NaTiAlSiO_6 , conforme a equação sugerida por Sgarbi *et al.*(2000):



A partir da composição dos clinopiroxênios da matriz foi aplicado o geotermômetro de Putirka (2008) a fim de estabelecer uma possível temperatura de cristalização desses minerais e conseqüentemente do líquido magmático. Esse geotermômetro se baseia na partição intracristalina de Fe^{2+} - Mg entre os sítios M1 e M2. Para executar esses cálculos foi utilizado o software Winpyrox (Yavuz, 2013) supondo uma cristalização em ambiente de câmara rasa (1Kbar). Como resultado a temperatura média estimada de cristalização foi de 1081°C, com temperatura máxima calculada de 1176°C.

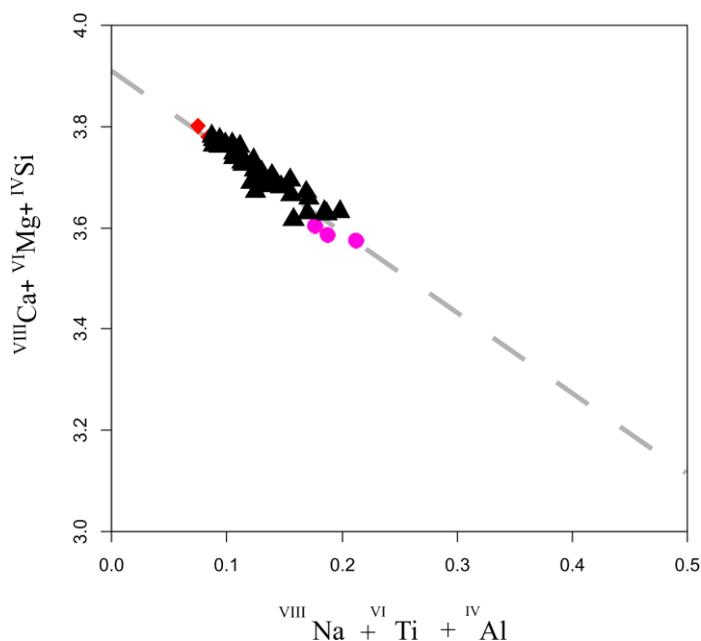


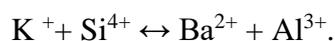
Figura 18 Diagrama divariante ilustrando possíveis substituições nos grãos de diopsídio da matriz e enclaves. Dados em apfu. Mesma simbologia da figura 17

3.2.3. Mica

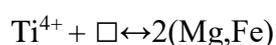
Foram efetuadas 33 análises pontuais em grãos de mica (Tabela 7 em Apêndice A). O cálculo da fórmula estrutural foi baseado em geral nas recomendações de Rieder et al.(1998) e calculados em base anidra com 11 oxigênios. A fórmula geral das micas pode ser expressa como $\text{IM}_{2-3}\square_{1-0}\text{T}_4\text{O}_{10}\text{A}_2$, onde: **I** é o Sítio intercamadas ocupado em geral por K,Na, Ca (nas chamadas micas “quebradiças”), Ba, Rb ,Cs e NH₄; **M** é um sítio octaédrico ocupado por Li,Fe²⁺,Fe³⁺,Mg, Al, Ti,Mn, Zn,Cr e V; \square corresponde a um sítio estrutural vago; **T** é o sítio tetraédrico ocupado por Si e Al , por vezes Fe³⁺, e mais raramente B e Be ; e **A** corresponde aos sítios aniônicos ocupados por OH, F ,Cl ,O e S.

As micas da intrusão Indaiá II classificam-se composicionalmente como flogopita, uma vez que possuem uma relação Mg:Fe superior a 2:1, situando-se na série flogopita-tetraferroflogopita, conforme o diagrama ternário Al-Mg-(Fe_t+Mn) (figura 19a). A presença significativa do componente tetraferroflogopita é indicada pela deficiência em Al para completar o sítio tetraédrico (^{IV}Si+ ^{IV}Al<8 *apfu*) (figura 19b), que é completo pela presença de Fe³⁺ (figura 19c). Tal substituição é atribuída na literatura à baixa concentração de Al (e Si) e à alta fugacidade de oxigênio nos fundidos (Mitchell, 1995a; Brigatti et al., 1996).

Outra característica composicional notável das micas de Indaiá II é o enriquecimento em TiO₂ e BaO. Os teores de TiO₂ variam de 4,53 até 6,94% em massa, equivalentes a 0,5 a 0,77 apfu, enquanto os teores de BaO variam entre 1,1 até 4,92% em massa, o equivalente a 0,06 a 0.29 apfu. O enriquecimento em BaO aparentemente se dá através da solução sólida entre os componentes flogopita-kinoshitalita, pela reação de substituição acoplada:



como pode ser observado na tendência linear paralela à substituição estequiométrica (1:1) entre estes componentes ilustrada na figura 20a. O enriquecimento em BaO é uma característica observada em kimberlitos contaminados por granitos descritos por Caro *et al.* (2004).A incorporação de Ti nas flogopitas provavelmente se dá pela substituição por Mg e Fe²⁺ nos sítios octaédricos como evidenciado pela relação linear entre o conteúdo de Ti e Mg+Fe²⁺. Uma das possíveis substituições é a seguinte, conforme Ibhi *et al.* (2005):



deixando uma vacância no sítio estrutural M para manter o balanço de cargas.

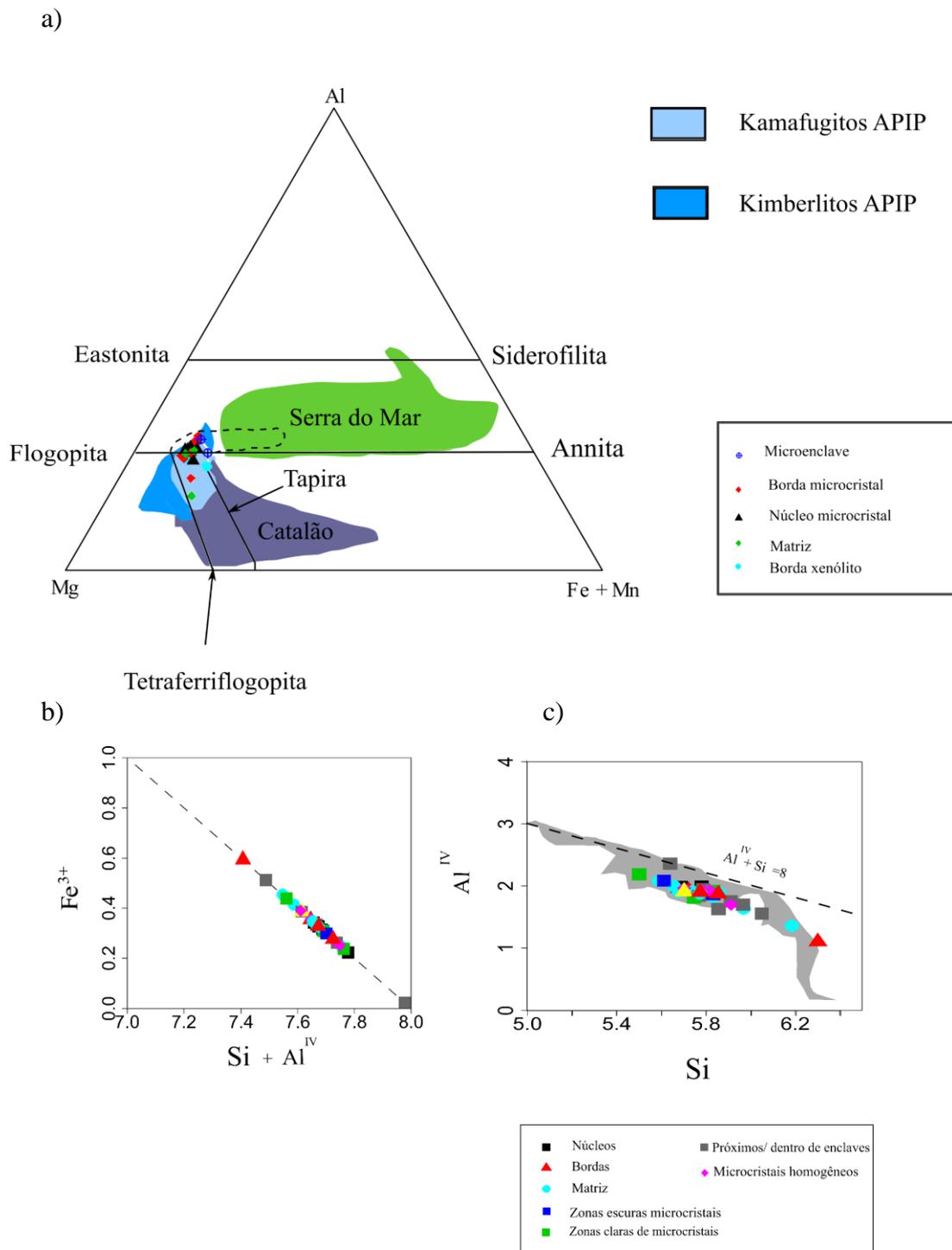


Figura 19 a) Diagrama ternário de classificação das flogopitas de Indaiá II, comparando outras ocorrências da APAP e da Província Serra do Mar, SE do Brasil (Melluso et al., 2008). b) Diagrama divergente ilustrando a correlação entre a incorporação de Fe^{3+} e a presença de Si e Al em sítios tetraédricos (dados em apfu). c) Diagrama Si vs Al^{IV} mostro a deficiência nesses elementos no sítio tetraédrico. Área em cinza representa a composição das micas de outras ocorrências brasileiras conhecidas (Morbidelli et al., 1995)

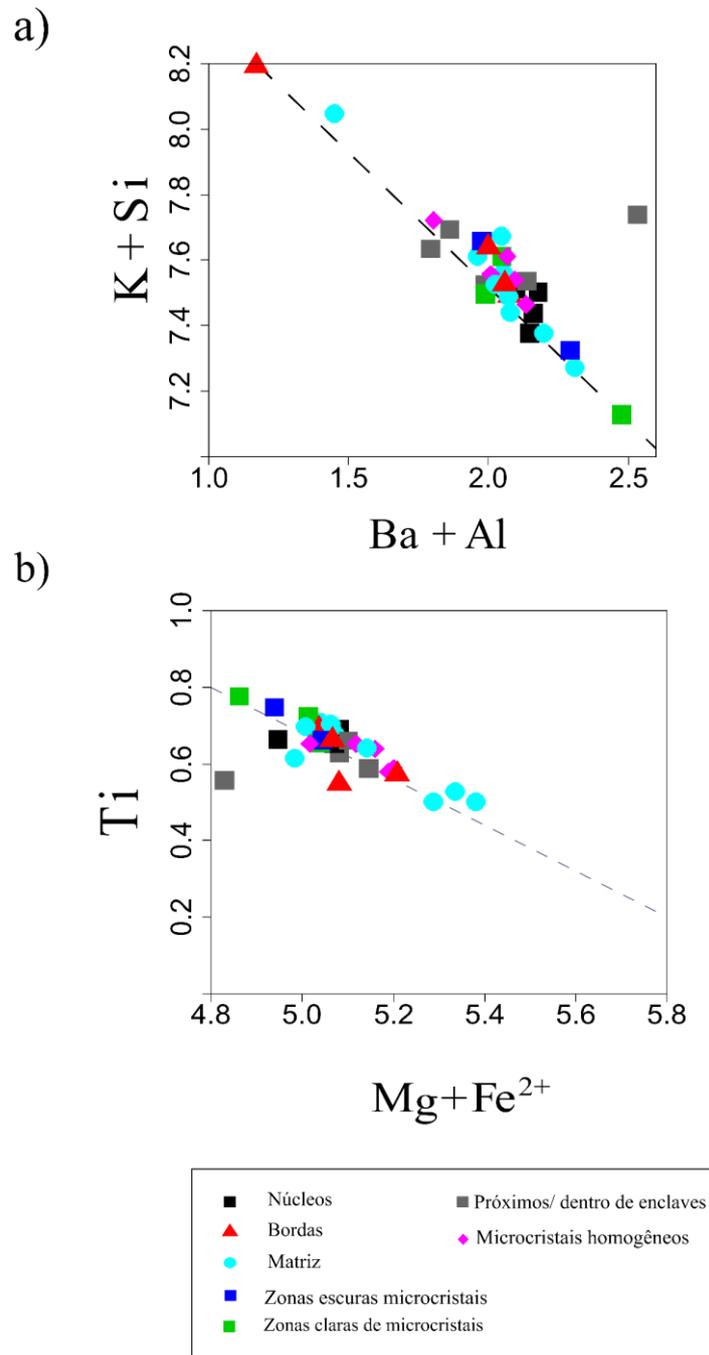


Figura 20 Diagramas divariantes mostrando as prováveis substituições encontradas nas flogopitas de Indaiá II. a) Substituição de K+Si por Ba+Al (em apfu) devido a incorporação do componente kinoshitalita e b) Incorporação de Ti via substituição acoplada deixando o sítio M com vacância.

Quando observados os teores de Al_2O_3 e TiO_2 , os trends exibidos não coincidem com os trends clássicos de evolução de kimberlitos, orangeítos, lamproítos e minettes definidos por Mitchell (1995), apresentando uma correlação positiva entre Al_2O_3 e TiO_2 . Comparadas às ocorrências de kimberlitos e kamafugitos da APAP compiladas por Araujo et al. (2001) as composições se localizam dispersas entre os campos de mafuritos e uganditos.

O *trend* de enriquecimento conjunto observado nesses elementos é similar ao observado por Caro et al., (2004) no *cluster* kimberlítico de Gauchou Kue no Canadá. Nessa ocorrência ocorrem corpos kimberlíticos afetados por diferentes graus de contaminação crustal por encaixantes de afinidade granítica. e a flogopita das fácies mais afetadas pela contaminação crustal, com abundante diopsídio na matriz, possuem enriquecimento conjunto em Al_2O_3 e TiO_2 . Já as variedades com pouca contaminação crustal tem uma correlação negativa entre Al_2O_3 e TiO_2 . Essas variações estão ilustradas em conjunto na figura 21.

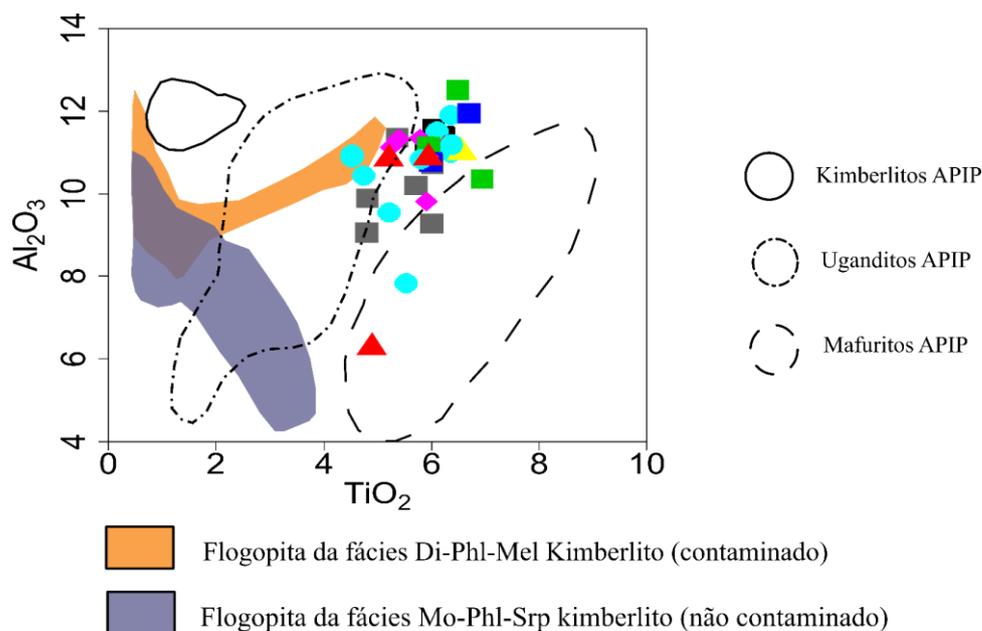


Figura 21 Diagrama Al_2O_3 vs TiO_2 (% em peso) ilustrando a variedade composicional dos grãos de flogopita analisados em Indaiá II. Para comparação estão representados os campos composicionais das flogopitas de mafuritos, uganditos e kimberlitos da APAP, compilados de Araújo et al. (2001), e os campos representativos dos kimberlitos mais contaminados (Di-Mel-Phl kimberlito) e menos contaminados (Mo-Phl-Srp kimberlito) por xenólitos graníticos de Caro et al. (2004). Mesma simbologia da figura 20.

3.2.4. *Minerais Opacos*

Foram realizadas 25 análises de grãos de minerais opacos pertencentes ao grupo do espinélio. O cálculo da fórmula estrutural do espinélio e proporções de membros finais foi realizado com o auxílio do *software End-Members Generator* (Ferracutti et al., 2015). O software se baseia no método de Spear (1993) modificado para 3 cátions por fórmula mineral, e a razão Fe^{3+}/Fe^{2+} é calculada por estequiometria seguindo o método de Droop (1987). Os membros finais, seguindo a fórmula ideal $X^{2+}Y^{3+}_2O_4$, foram recalculados como: espinélio ($MgAl_2O_4$), hercynita ($Fe^{2+}Al_2O_4$), magnesioferrita ($MgFe^{2+}O_4$), magnetita ($Fe^{2+}Fe^{3+}O_4$), magnesiocromita ($MgCr_2O_4$), cromita ($Fe^{2+}Cr_2O_4$), qandilita (Mg_2TiO_4), ülvoespinélio ($Fe^{2+}TiO_4$), galaxita ($MnAl_2O_4$), jacobsita ($MnFe_2O_4$) e manganocromita ($MnCr_2O_4$). Os dados obtidos estão reunidos na Tabela 8 do Apêndice A.

Composicionalmente, os espinélios apresentam variação expressiva, principalmente entre núcleo e borda. Os núcleos dos grãos são, em geral, mais ricos em Cr (45.6% mol. de cromita e 20.4% mol. de magnesiocromita, em média), Al e Mg, já as bordas são ricas em Fe e Ti (componente magnetita 51.4% mol., em média, e ülvoespinélio 17.2% mol, média).

As variações composicionais do grupo do espinélio são comumente representadas em espaços tridimensionais com 6 componentes, os chamados prismas de espinélio (Irvine, 1965; Mitchell, 1986). Os prismas podem ser divididos principalmente em dois tipos: Reduzido, em que o ferro total é calculado como FeO, e o Oxidado, que leva em conta as proporções de Fe^{3+} e Fe^{2+} . Em virtude da dificuldade na construção e representação das composições nesses gráficos, é conveniente sua representação como projeções bidimensionais, conforme foi realizado nesse trabalho.

As tendências exibidas no prisma reduzido de espinélio (Figura 22) mostram núcleos com aumento da razão de $Fe/(Fe+Mg)$ a teores baixos e constantes da razão $Ti/(Cr+Al+Ti)$, e bordas e núcleos homogêneos da matriz com $Fe/(Fe+Mg)$ relativamente constantes e rápido aumento da razão $Ti/(Cr+Al+Ti)$. Outro padrão de evolução pode ser observado nas razões aproximadamente constantes de $Cr/(Cr+Al)$ nos núcleos, com ligeiro aumento para as bordas e súbito decréscimo conforme o aumento de $Fe/(Fe+Mg)$ para os grãos homogêneos da matriz. No prisma oxidado (figura 23), pode ser observado o aumento da razão Fe^{3+}/Fe^{2+} dos núcleos para as bordas conforme pode ser observado no gráfico $Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Mg)$ vs $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)$.

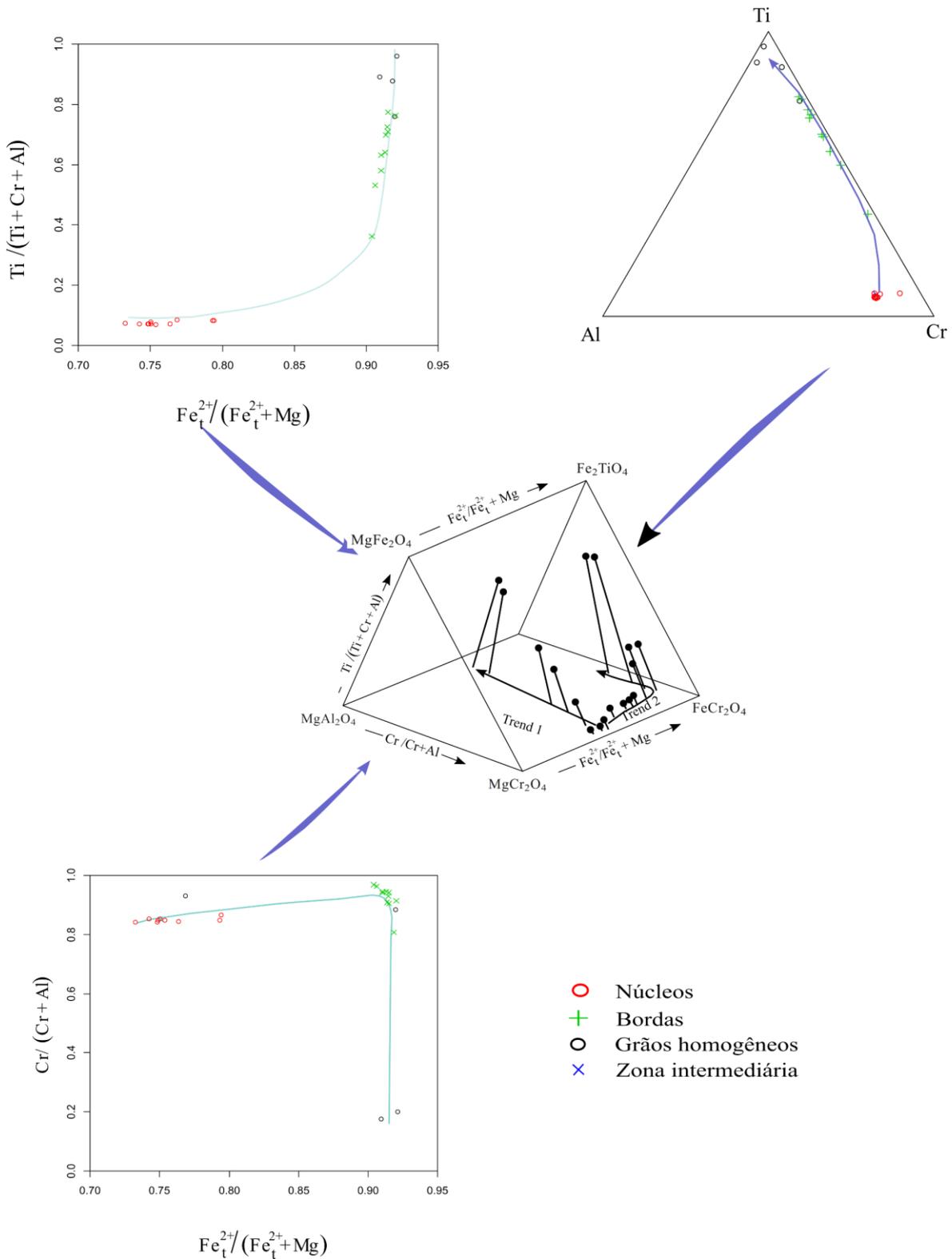


Figura 22 *Trends* evolutivos dos espinelos projetados nas faces do prisma reduzido do espineló (modificado de Mitchell, 1986). Os espinelos da intrusão Indaiá II apresentam evolução compatível com o trend magmático II dos kimberlitos. Dados do prisma central apresentam apenas os *trends* indicados por Mitchell (1986).

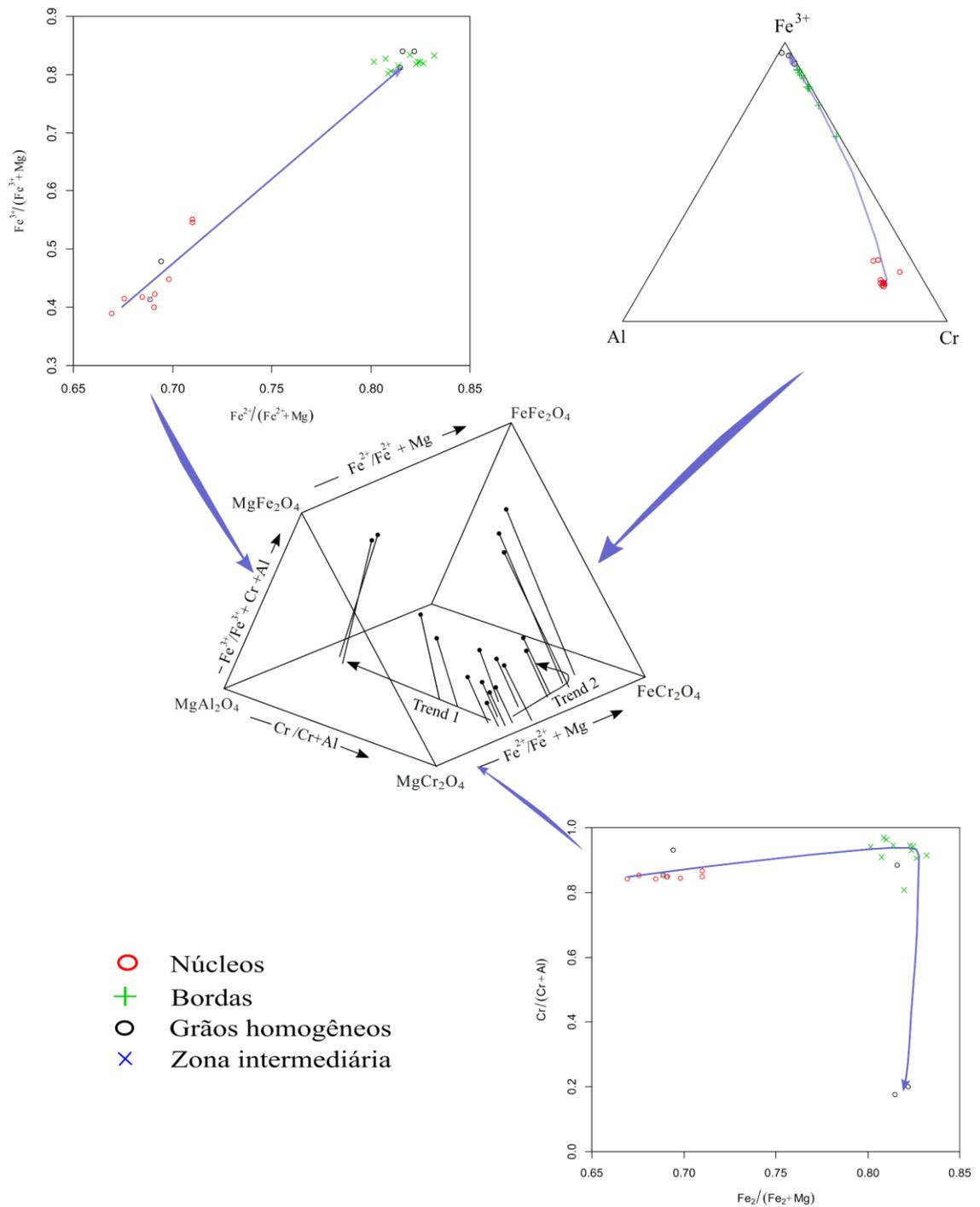


Figura 23 *Trends* evolutivos dos espinélios projetados nas faces do prisma oxidado do espinélio (modificado de Mitchell, 1986). Os espinélios da intrusão Indaiá II apresentam evolução compatível com o trend magmático II dos kimberlitos. Dados do prisma central apresentam apenas os *trends* indicados por Mitchell (1986).

As tendências evolutivas exibidas no prisma oxidado do espinélio (figura 23) consistem de núcleos com menores razões $Fe^{3+}/(Fe^{3+} + Mg)$ e $Fe^{2+}/(Fe^{2+} + Mg)$ que evoluem para bordas mais com ambas razões mais elevadas seguindo uma tendência linear. Concomitantemente, tornam-se mais pobres em Mg Cr e Al, mostrando um empobrecimento do componente cromíta e magnesiocromita e aumento do componente magnetita durante a evolução magmática.

Essa tendência evolutiva é similar ao *Trend Magmático 2* ou *Trend da Titanomagnetita* de kimberlitos conforme Mitchell (1995) que reconhece essa tendência evolutiva como característica de alguns kimberlitos como de Tunraq e Zagodochnaya e relaciona com kimberlitos do Grupo I que passaram por cristalização de flogopita antes dos espinélios. Contudo não é um trend evolutivo exclusivo de kimberlitos, uma vez que também ocorre em outros grupos de rochas, como orangeítos (kimberlitos do grupo II). Esse *trend* também é encontrado no kimberlito do Grupo I do *cluster* Gaucho Kue, onde ocorre contaminação pela digestão de xenólitos graníticos (Caro et al., 2004).

3.2.5. Perovskita

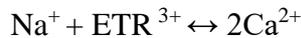
Foram realizadas 38 análises pontuais (WDS) em grãos de perovskita. Destas, contudo, apenas 12 foram realizadas em condições analíticas diferenciadas (25keV de potencial de aceleração e 100nA de corrente do feixe), para determinação mais precisa de elementos terras raras; nas demais foram utilizadas as condições usuais de 15KeV e 20 nA. A fórmula estrutural das perovskitas foi calculada na base de 3 oxigênios, e o cálculo de seu membros finais foi baseado em Locock e Mitchell (2018). Esses resultados estão expressos junto a porcentagem em peso de óxidos na Tabela 9 do Apêndice A.

Os minerais do subgrupo da perovskita (Mitchell et al., 2017), possuem em geral uma fórmula estrutural ABX_3 onde A e B são sítios catiônicos não equivalentes ($A > B$) em que podem ser ocupados por mais de 20 elementos diferentes, entre os mais comuns: $A = Ca, Sr, Na, ETR, Ba, Pb$; e $B = Ti, Fe, Zr, Nb, Sn, Si$. X corresponde ao sítio aniônico de tamanho similar a B , ocupado pelo oxigênio. Em rochas ígneas alcalinas, a perovskita é um indicador de insaturação em sílica, sendo comumente encontrada em rochas alcalinas insaturadas como kimberlitos, orangeítos, kamafugitos, nefelinitos, entre outras. A composição das perovskitas naturais pode ser muito variável, exibindo extensas soluções sólidas. Isso deve-se a sua estrutura cristalina que admite significativas distorções (Mitchell, 1995b). (Gibson et al., 1995)(Gibson et al., 1995)

Os grãos analisados são composicionalmente próximos do membro ideal perovskita ($CaTiO_3$), que perfaz mais de 91% em componente molecular. Outros componentes que possuem concentração relevante são loparita ($Na_{0.5}ETR_{0.5}TiO_3$) que varia de 1,72% mol. a 3,89% mol., e $ETRFEO_3$ que varia de 0.067% mol. a 4.04% mol.. Importante frisar que os teores mínimos de ETR são subestimados nas análises feitas em condições analíticas não específicas. Quando consideradas apenas as análises em condições de maior corrente e aceleração, as variações de porcentagem de $ETRFEO_3$ variam de 2,29% mol. a 4,04% mol. Contudo, as proporções de loparita não apresentam variação significativa, pois não ocorre alteração importante na detecção do sódio, presente nesse componente molecular. As perovskitas são pobres em Nióbio, o que se traduz em menos de 1% do componente lueshita ($NaNbO_3$). As composições são representadas nos diagramas da figura 24.

Existe uma pequena diminuição da soma de elementos terras raras nas bordas dos grãos de perovskita. Também é observado que a soma dos ETR possui correlação positiva com o

conteúdo de Na e negativa com o de Ca. Essa relação sugere uma substituição acoplada do componente loparita por perovskita de núcleo para borda de tipo:



Canil e Bellis (2007), por meio de trabalhos experimentais, desenvolveram um método para quantificar a fugacidade de oxigênio de um magma kimberlítico a partir da composição química das perovskitas cristalizadas desse fundido por meio da equação:

$$\Delta\text{NNO} = [-0.50(\pm 0.021) \times \text{Nb} + \text{Fe}(\pm 0.031) - 0.030(\pm 0.001)/0.004(\pm 0.0002)]$$

onde a fugacidade de oxigênio relativa ao *buffer* níquel-óxido de níquel (ΔNNO) na fórmula está relacionada as proporções catiônicas de Fe e Nb para 3 oxigênios, e os valores entre parênteses representam incertezas a 2σ .

A aplicação deste método às perovskitas de Indaiá II aponta que cristalizaram em um magma relativamente oxidante, com fO_2 entre $\Delta\text{NNO} +2$ e $+3,68$. As variações calculadas da fO_2 não apresentam clara relação direta com a área do cristal analisada, contudo o maior valor associado a uma borda de cristal, como pode ser observado na figura 25.

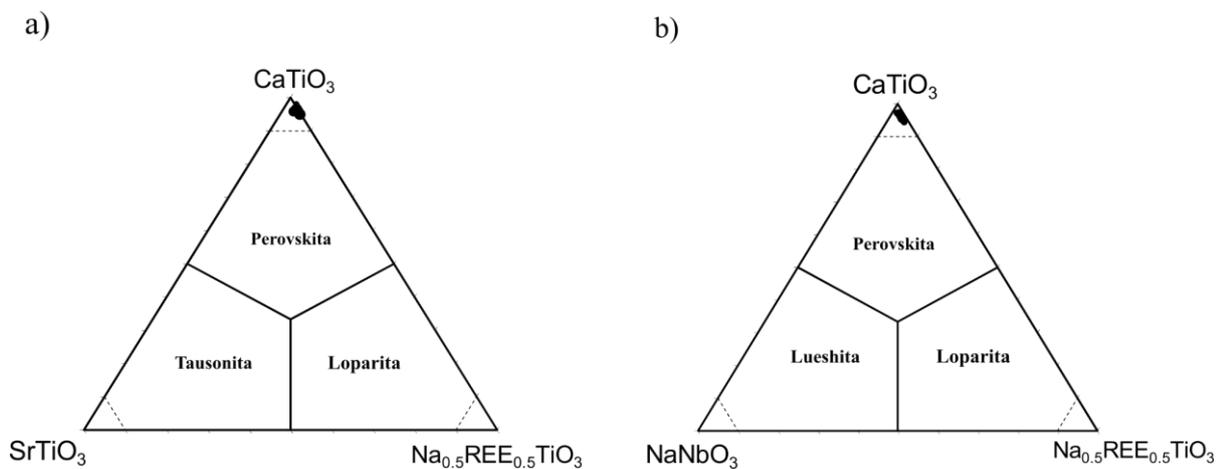


Figura 24 Classificação das perovskitas analisadas nos diagramas de componentes moleculares a) Perovskita-Tausonita-Loparita e b) Perovskita-Lueshita-Loparita (calculados segundo Locock e Mitchell, 2018), mostreo que os grãos analisados aproximam-se do membro ideal CaTiO_3 .

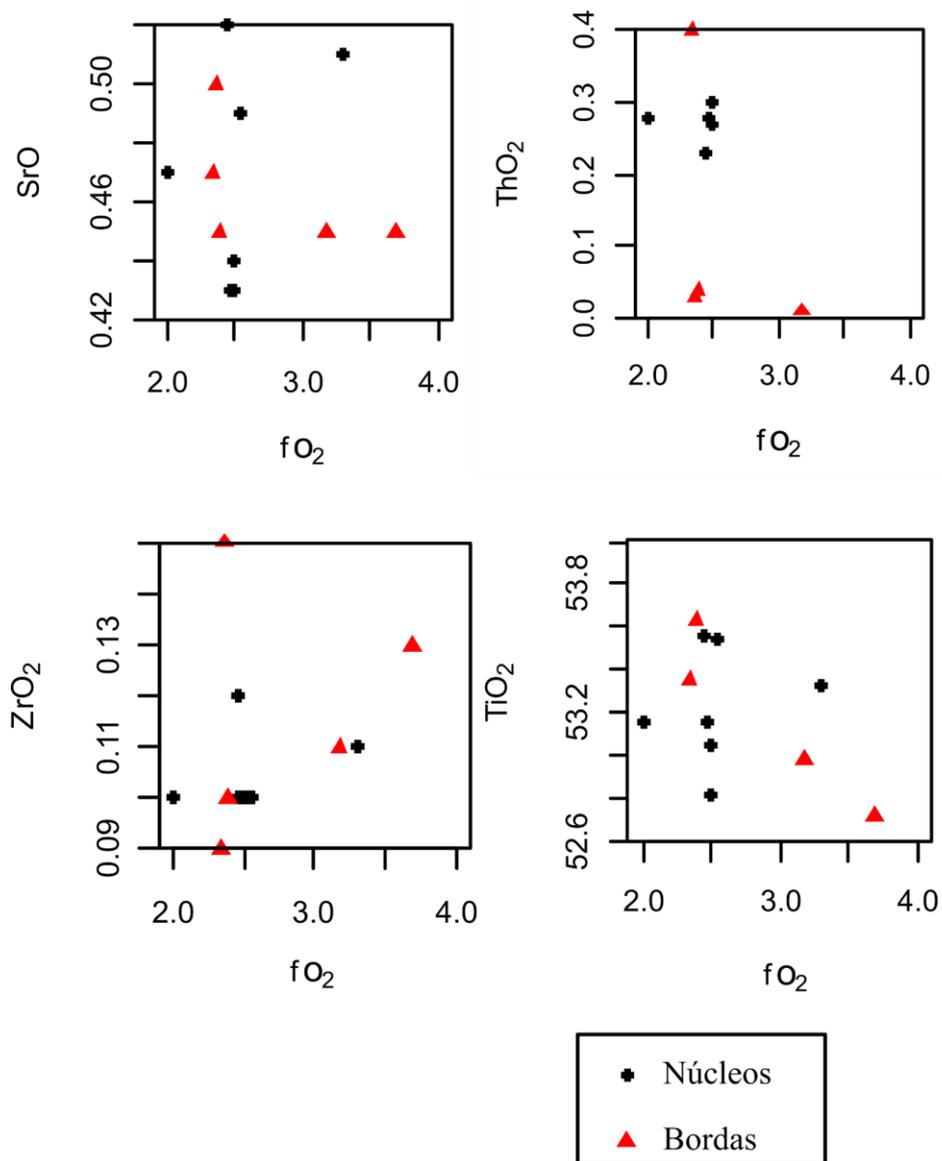


Figura 25 Diagramas bivariantes mostrando a relação entre a fugacidade de oxigênio (fO_2) calculada e a concentração de alguns óxidos na perovskita. Fugacidades em ΔNNO e óxidos em % em massa.

Como pode ser observado na figura 25, sugere-se uma correlação positiva entre a fO_2 e as concentrações de ZrO_2 e negativa com as concentrações de TiO_2 e ThO_2 . Já as duas bordas com maior fO_2 registradas possuem menor concentrações de SrO , o que não é observado nos núcleos.

3.2 Litogeoquímica

3.2.1 Elementos Maiores

Amostras das Intrusões Indaiá I e II, bem como a encaixante local, foram analisadas por fluorescência de raios X para a obtenção das concentrações de elementos maiores. Os dados obtidos encontram-se Apêndice B, tabela 10.

As amostras da Intrusão Indaiá I são de caráter ultrabásico, sendo muito pobres em SiO₂ (28,22-28,55% em massa), Al₂O₃ (2,03-2,15% em massa), Na₂O (0-0,07% em massa) e K₂O (0,97-0,98% em massa), e ricas em MgO (28,26-28,31% em massa), Fe₂O_{3t} (11,17-11,26% em massa), CaO (12,80-12,88% em massa), TiO₂ (2,50-2,53% em massa), P₂O₅ (2,89-2,81% em massa), e apresentam teores de MnO de cerca de 0,20% em massa. Os litotipos de Indaiá II são também ultrabásicos, contudo possuem SiO₂ bem mais elevado (39,77-40,94% em massa). São mais ricas em relação a intrusão principal em Al₂O₃ (6,61-6,86% em massa), Na₂O (1,24-1,93% em massa), K₂O (3,36-3,88% em massa) e TiO₂ (3,21 a 3,27% em massa), e mais pobres em Fe₂O_{3t} (10,40-10,66% em massa), MgO (14,76-15,57% em massa) e P₂O₅ (1,32 a 1,69% em massa), possuindo CaO (12,86-13,87 % em massa) e MnO (0,181-1,89% em massa) similares a intrusão Indaiá I. Uma feição química comum entre as duas intrusões é o enriquecimento de K₂O sobre NaO, que as caracteriza como potássicas. Além disso Indaiá II também pode ser considerada uma rocha de caráter ultrapotássico segundo Foley *et al.* (1987), uma vez que atende aos critérios propostos por esse autor: K₂O > 3%, MgO > 3% e K₂O/Na₂O > 2.

Ambas as ocorrências apresentam expressiva perda ao fogo (LOI), que é mais elevada nos litotipos de Indaiá I (9,25-9,54% em massa) que nos de Indaiá II (3,17-3,64% em massa). Tal perda substantiva reflete a presença abundante de fases ricas em componentes voláteis (CO₂ e H₂O) como flogopita, serpentina e carbonatos nessas rochas. Tais fases podem ser originárias tanto de estágios magmáticos primários, reflexo da abundância de voláteis do magma, como efeito de alteração pós-magmática/intempérica.

As rochas encaixantes colhidas na área são ricas em sílica (>70%) e alumínio (>14%) e apresentam-se mais ricas em Na₂O que em K₂O, possuem LOI relativamente baixo e composição essencialmente granítica.

O Índice de Contaminação (C.I.; *Contamination Index*) proposto por Clement (1982) avalia a presença de contaminação crustal em rochas kimberlíticas, e foi aplicado nas amostras de Indaiá I e II para avaliar a importância da incorporação de componentes crustais nessas ocorrências. O C.I. $(SiO_2 + Al_2O_3 + Na_2O) / (MgO + 2K_2O)$ para kimberlitos considerados não

contaminados normalmente se situa próximo de 1 (Clement, 1982). Isso indica que as amostras escolhidas de Indaiá I, com C.I. em torno de 1, devem ter sido pouco afetadas por contaminação crustal; já Indaiá II, apresenta intervalo de C.I. 2,12-2,25 e, se considerada efetivamente de afinidade kimberlítica, teria sofrido contaminação crustal significativa.

No diagrama *Total alkalis versus sílica* (Le Bas et al., 1986), os litotipos das intrusões Indaiá I e II ficam fora dos campos de classificação devido a seu baixo percentual de SiO₂, com Indaiá II apenas tangenciando o campo dos tefritos e basanitos. Nesse gráfico as rochas encaixantes se encontram no campo composicional dos riolitos (Figura 26a). Já utilizando-se o diagrama R₁-R₂ (De la Roche et al., 1980) os litotipos de Indaiá I plotam no campo das rochas picríticas refletindo seu caráter fortemente magnésiano, e os de Indaiá II no campo composicional dos ankaratritos. As encaixantes plotam no campo referente aos riocácitos (Figura 26b). Estes diagramas são apresentados apenas como referência composicional, não para nomenclatura.

Ambas diagramas citados acima não levam em conta a dominância de K₂O sobre Na₂O desses litotipos, especialmente o caráter ultrapotássico de Indaiá II. Quando comparadas aos grupos da classificação proposta por Foley *et al.* (1987) para rochas ultrapotássicas, gráficos CaO vs MgO e CaO vs Al₂O₃ (figuras 27 a,b), Indaiá II pode ser agrupada no campo das ultrapotássicas do Grupo II, rochas similares as da Província Toro-Ankole. Tais rochas seriam equivalentes as ocorrências-tipo da série kamafugítica (acrônimo para **K**atungito, **ma**furito e **u**gandito) conforme Sahama (1974).

Ao comparar a variação da composição de elementos maiores das intrusões estudadas com outras rochas similares da Província Ígnea do Alto Paranaíba compiladas de trabalhos da literatura (Melluso *et al.*, 2008; Gomes e Comin-Chiaramonti, 2005; Guarino *et al.*, 2013), pode-se ter a percepção da diferença composicional entre as duas intrusões, onde é notável a afinidade composicional de Indaiá I com tipos kimberlíticos e a semelhança Indaiá II com os tipos kamafugíticos (figura 28).

Considerando-se apenas as análises de Indaiá II, foram elaborados diagramas divariantes para avaliar a variação composicional das amostras tomando como índices de diferenciação MgO e SiO₂ (% em peso). O MgO apresenta uma correlação linear positiva com P₂O₅ e FeO_T, e negativa com K₂O. Já SiO₂ apresenta correlações lineares positivas com Na₂O e Al₂O₃ e negativas com P₂O₅.

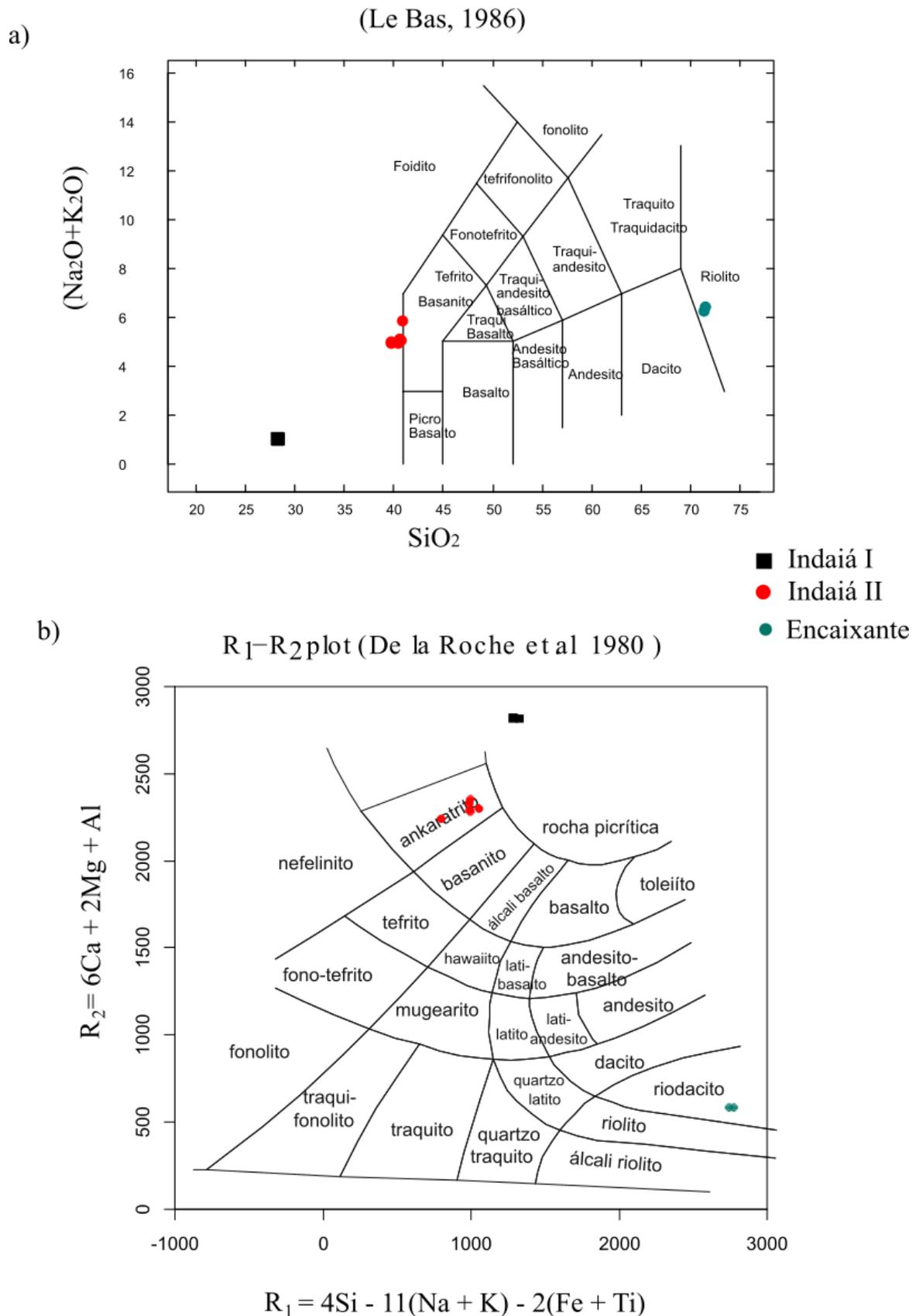


Figura 26 . Rochas das intrusões Indaiá I e II e encaixantes classificadas nos diagramas de rochas vulcânicas baseado em elementos maiores: a) Le Bas (1986) e b) De la Roche *et al* (1980).

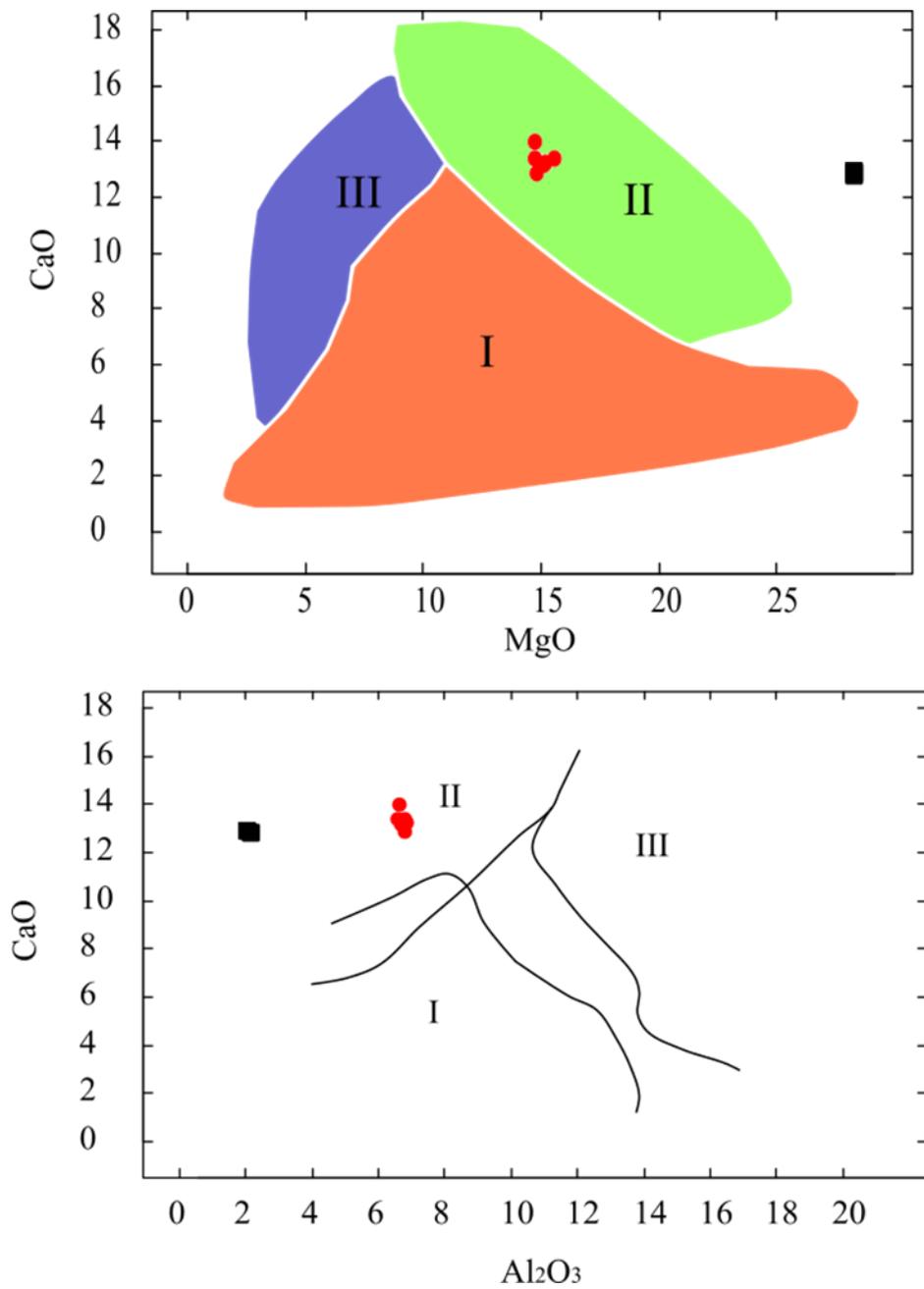


Figura 27 Campos de classificação de rochas ultrapotássicas baseados em Foley et al.(1987). Os campos designados são representativos de rochas do Grupo I (Lamproitos), Grupo II (kamafugitos) e Grupo II (Leucititos ultrapotássicos).

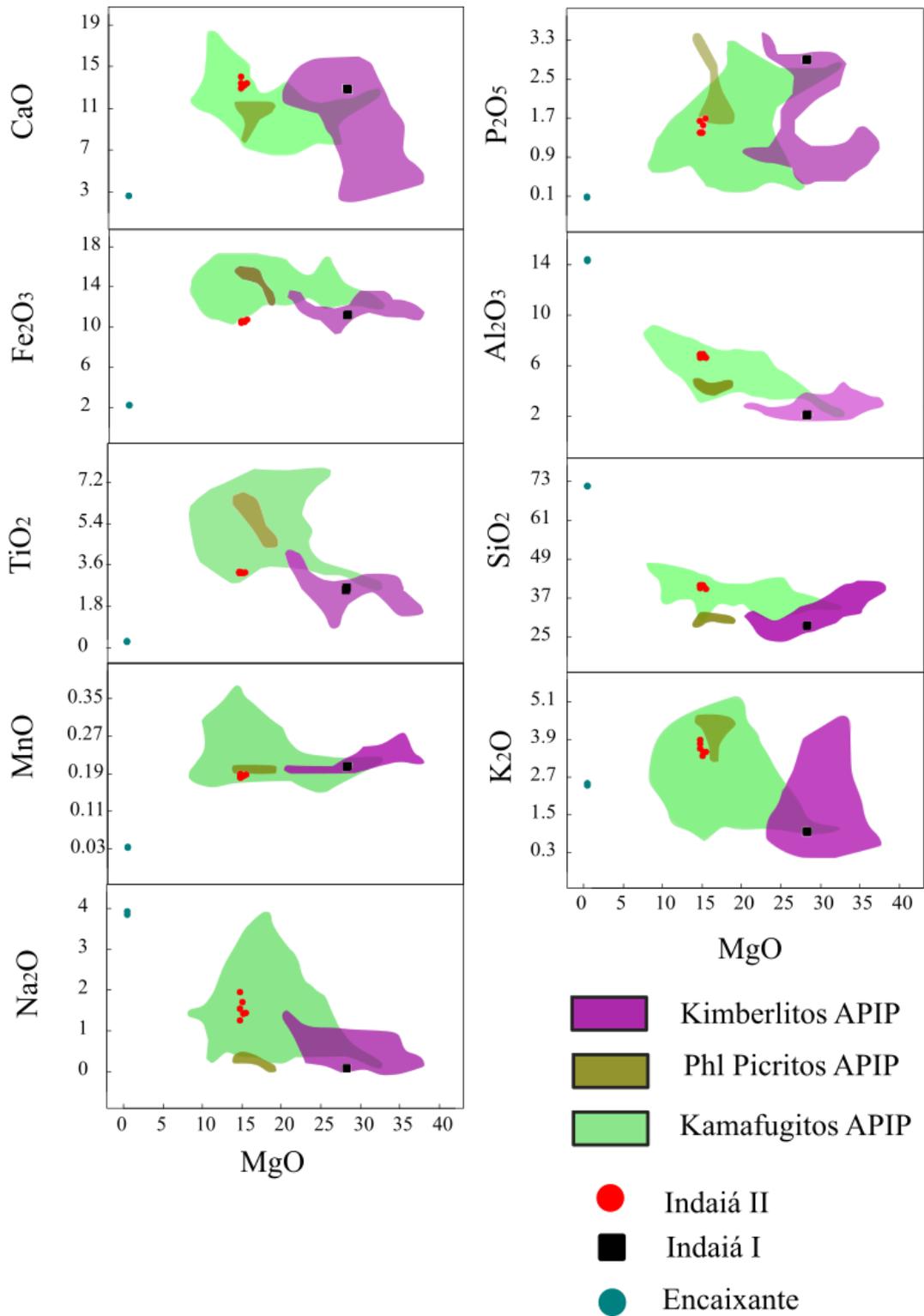


Figura 28 Diagramas bivariantes ilustrando a variação composicional dos elementos maiores de Indaiá I e II e da encaixante em função de MgO (% em peso), e comparação com os campos referentes a composição de kimberlitos, kamafugitos e flogopita picritos (lamprófiros ultramáficos) da APAP. Dados compilados a partir de Gomes e Comin-Chiaramonti (2005) e Guarino *et al.* (2013).

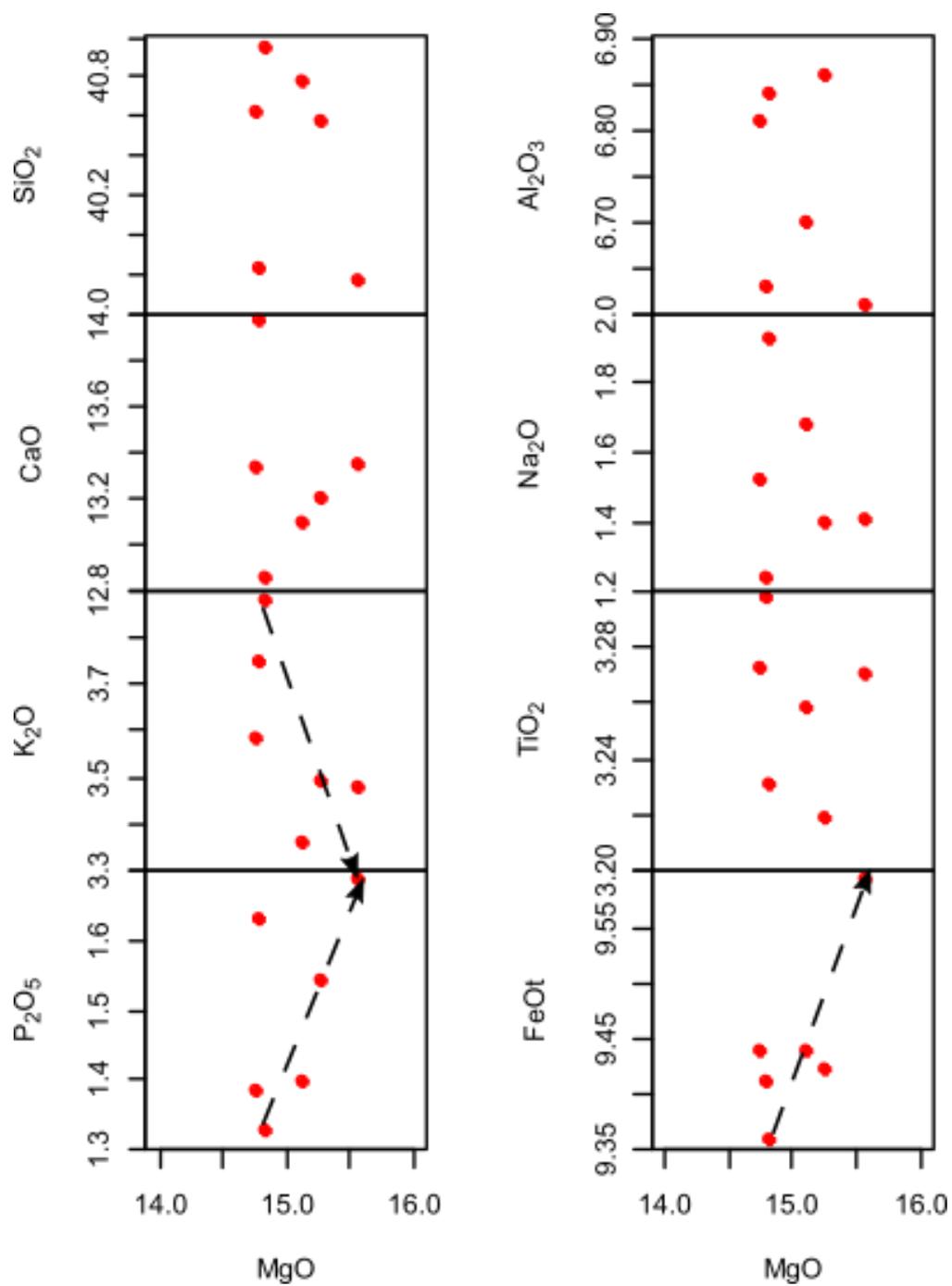


Figura 29 Diagramas divariantes ilustrando a variação composicional dos elementos maiores da Intrusão Indaiá II, tendo MgO como índice de diferenciação. Os dados estão representados em percentagem em massa. As setas tracejadas representam possíveis tendências lineares de evolução

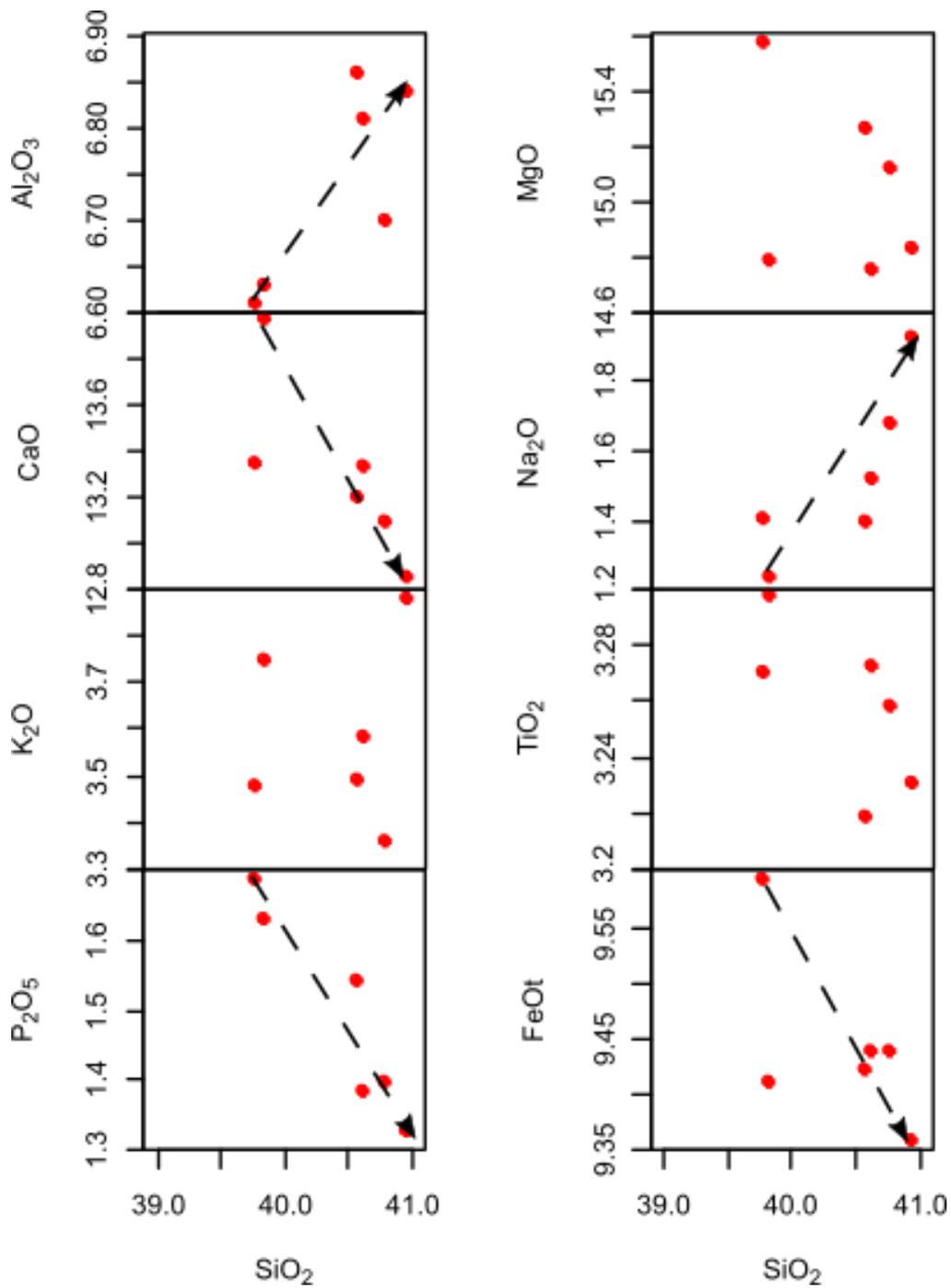


Figura 30 . Diagramas bivariantes ilustrando a variação composicional dos elementos maiores da Intrusão Indaiá II, tendo SiO₂ como índice de diferenciação. Os dados estão representados em percentagem em massa. As setas tracejadas representam possíveis tendências lineares de evolução.

Essa variação composicional sugere a maior abundância de fases como de apatita e olivina/opacos nas amostras mais primitivas, e possível fracionamento dessas fases durante a evolução do magma, onde concomitantemente ocorreu um enriquecimento do fundido em K_2O , Na_2O e Al_2O_3 . O leve empobrecimento em CaO possivelmente pode ser devido ao fracionamento de perovskita ou diopsídio.

Embora sejam observadas correlações entre os elementos maiores, a baixa variabilidade da concentração dos elementos maiores sugere que a operação do processo de cristalização fracionada no magma representativo das amostras analisadas teve uma importância restrita.

3.2.2. *Elementos menores e traços*

As rochas da Intrusão Indaiá I e II apresentam-se ricas tanto em elementos menores e traços compatíveis e incompatíveis, que são características composicionais comuns às rochas ígneas potássicas insaturadas em sílica (Gupta, 2015). Dados de elementos menores e traços determinados por fluorescência de raios X e ICP-MS são encontrados na Tabela 10 do Apêndice B.

Em relação ao teor dos elementos compatíveis, Indaiá II apresenta-se comparativamente enriquecida em Ga, Cu e Zn, e Indaiá I enriquecida em Ni, Co, V e Cr. As concentrações de Sc são similares em ambos os corpos (figura 31).

Os elementos de alto potencial iônico (*high field strength*, **HFS**) em geral possuem concentrações similares em ambas as ocorrências, com Indaiá I levemente enriquecida em Zr e Y e Indaiá II em Hf e U. Uma variação anômala ocorre com a concentração de Nb nos resultados do ICP-MS nas amostras de Indaiá II, com intervalo relativamente expandido de sua concentração (48-187 ppm) quando comparados aos dados obtidos por fluorescência de raios X (184-194 ppm). Tal variação provavelmente está relacionado a precipitação durante a preparação no ataque ácido. Tendo em vista esse fato, foram utilizados os resultados de FRX que apresentam resultados mais confiáveis para este elemento.

Os elementos litófilos de raio iônico grande (*large ion lithophile elements*, **LILE**) apresentam diferentes concentrações entre Indaiá I e II, com Indaiá II aparentemente mais rica nos LILE mais incompatíveis como Rb e Cs e Indaiá I mais rica nos compatíveis como Sr.

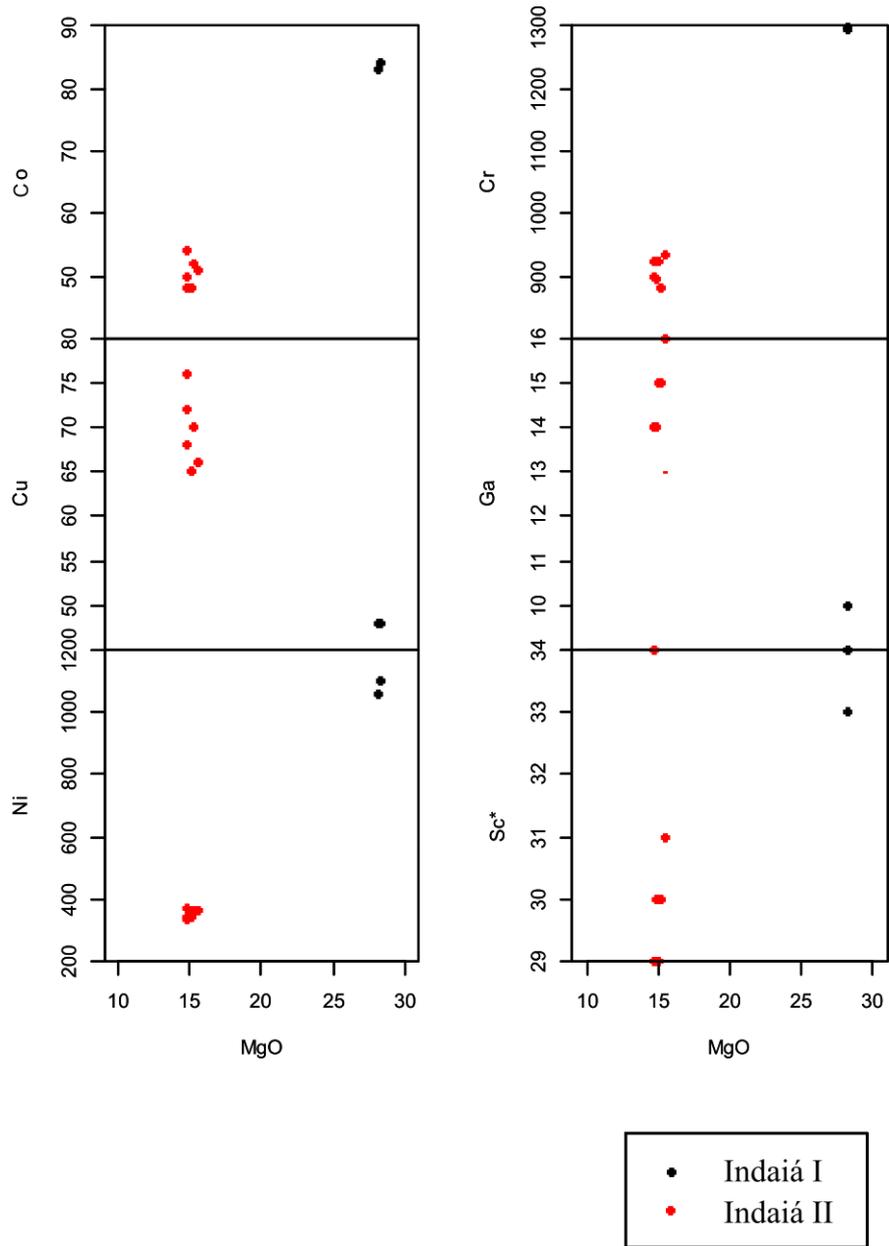


Figura 31 Diagramas bivariantes ilustrando a variação composicional dos elementos compatíveis em Indaiá I e II, tendo MgO como índice de diferenciação (elementos compatíveis em ppm e MgO em % em massa).

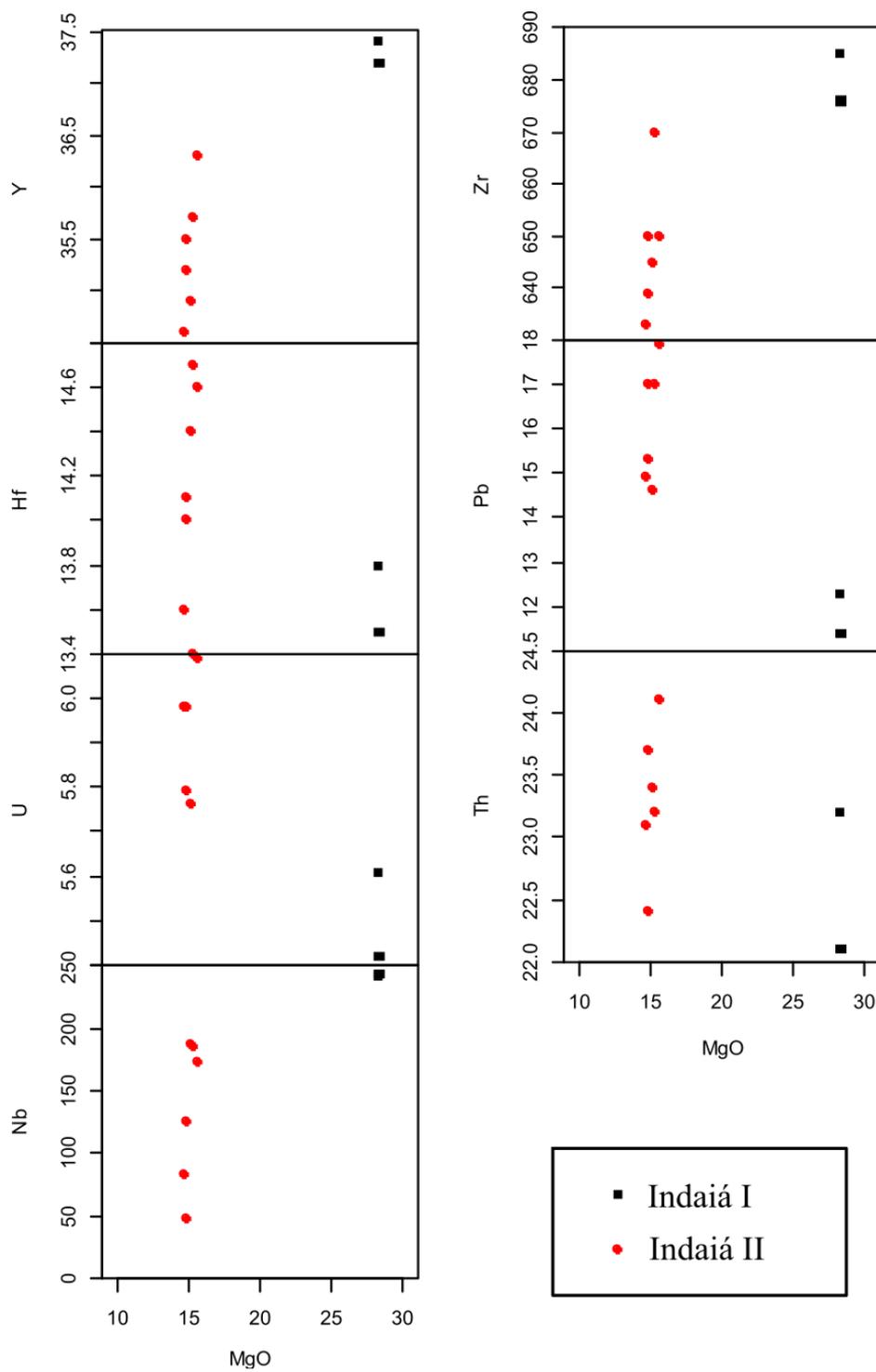


Figura 32 Diagramas bivariantes ilustrando a variação composicional dos elementos de alto potencial iônico (HFSE) em Indaiá I e II, tendo MgO como índice de diferenciação (HFSE em ppm e MgO em % em massa).

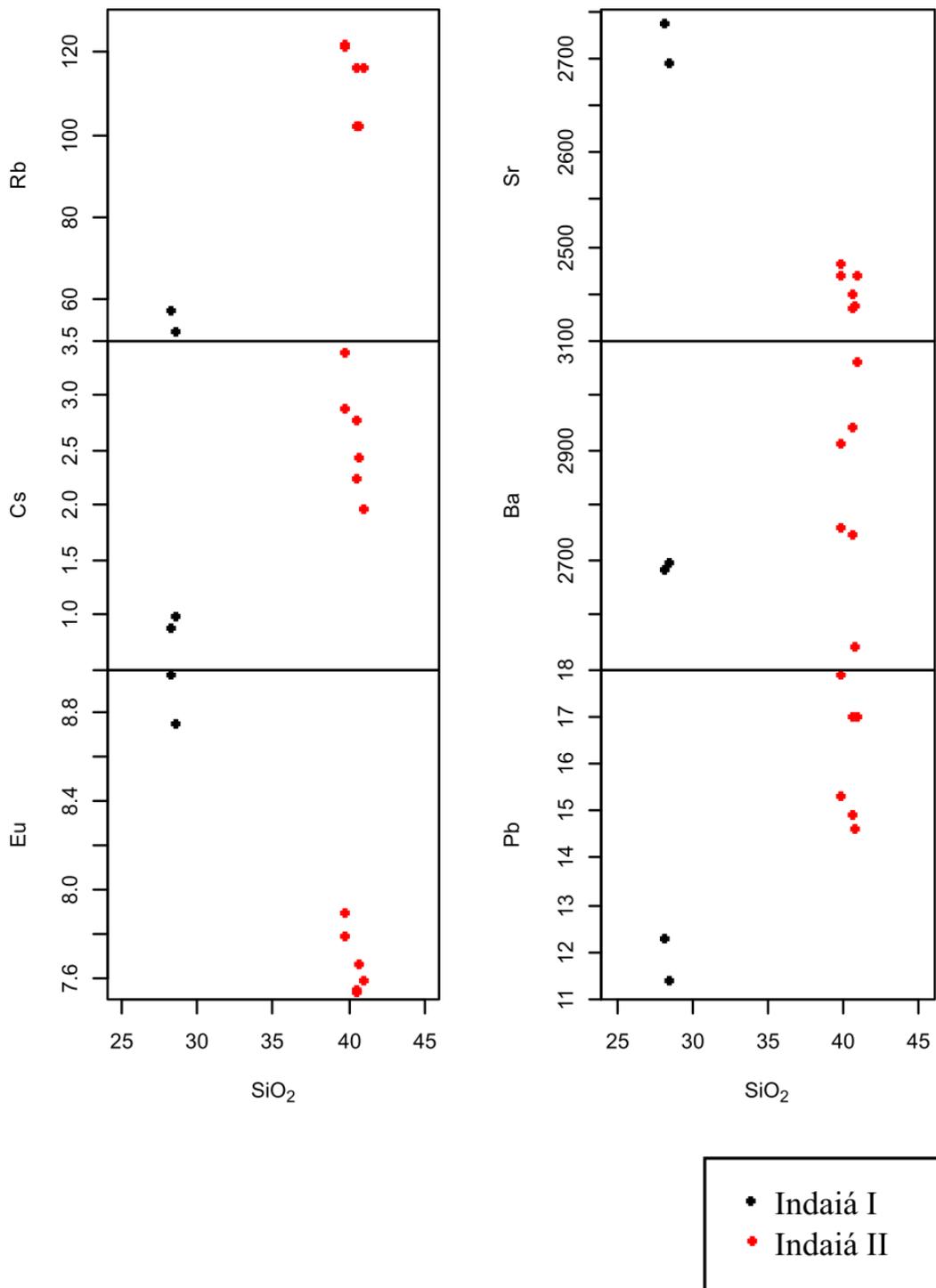


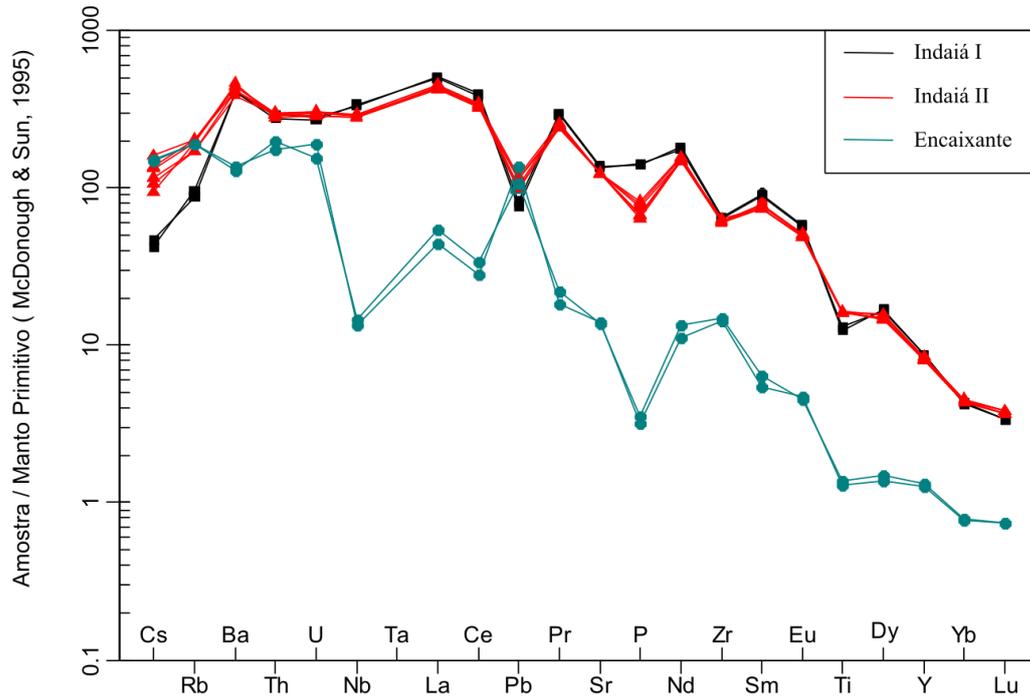
Figura 33 Diagramas bivalentes ilustrando a variação composicional dos elementos litófilos (LILE) em Indaiá I e II, tendo como a SiO₂ como índice de diferenciação (LILE em ppm e SiO₂ em % em massa).

Os diagramas de elementos-traço normalizados pelo Manto Primitivo (McDonough e Sun, 1995) das duas intrusões mostram padrões em geral muito similares (figura 34a). Com Indaiá II comparativamente enriquecida em LILEs (Cs, Rb, Ba, Pb), Yb e Lu, e Indaiá I mais enriquecida nos demais elementos. As rochas encaixantes possuem um padrão típico de rochas crustais e são menos enriquecidas que as intrusões na maioria dos elementos traço, com a importante exceção do Pb que exibe uma anomalia positiva bastante proeminente.

Os Elementos Terras Raras (ETRs) ocorrem em altas concentrações em ambos os corpos, com a intrusão satélite (Indaiá II) com soma de ETR variando no intervalo 1140-1218 ppm, e o corpo principal (Indaiá I) com total de ETR no intervalo 1346-1381 ppm cujo alto fracionamento pode ser observado no diagrama de elementos-terras-raras normalizados pelo manto primitivo (McDonough e Sun, 1995) que apresenta altas razões $(La/Yb)_N$ (122-123 em Indaiá I e 100-106 em Indaiá II) (Figura 34b). As duas intrusões são marcados padrões subparalelos, muito similares entre si com Indaiá I sendo mais rica na maioria dos ETRs, exceto nos pesados Lu e Yb (figura 34b), conforme comentado acima. As duas encaixantes apresentam um padrão subparalelo entre si e também um enriquecimento de ETRs leves sobre os pesados, embora sejam bem menos enriquecidas que as Indaiá I e II.

Le Roex *et al.* (2003) observa nos kimberlitos da África do sul um aumento nas concentrações de Pb e ETRs pesados nas amostras que sofreram contaminação crustal, acompanhado pelo decréscimo da razão Gd/Lu com o aumento de SiO₂ nesses magmas, o mesmo pode ser observado quando comparadas as amostras de Indaiá I (maior razão Gd/Lu) e Indaiá II (menor razão Gd/Lu e maior SiO₂) conforme mostram as figuras 35 a) e b).

a)



b)

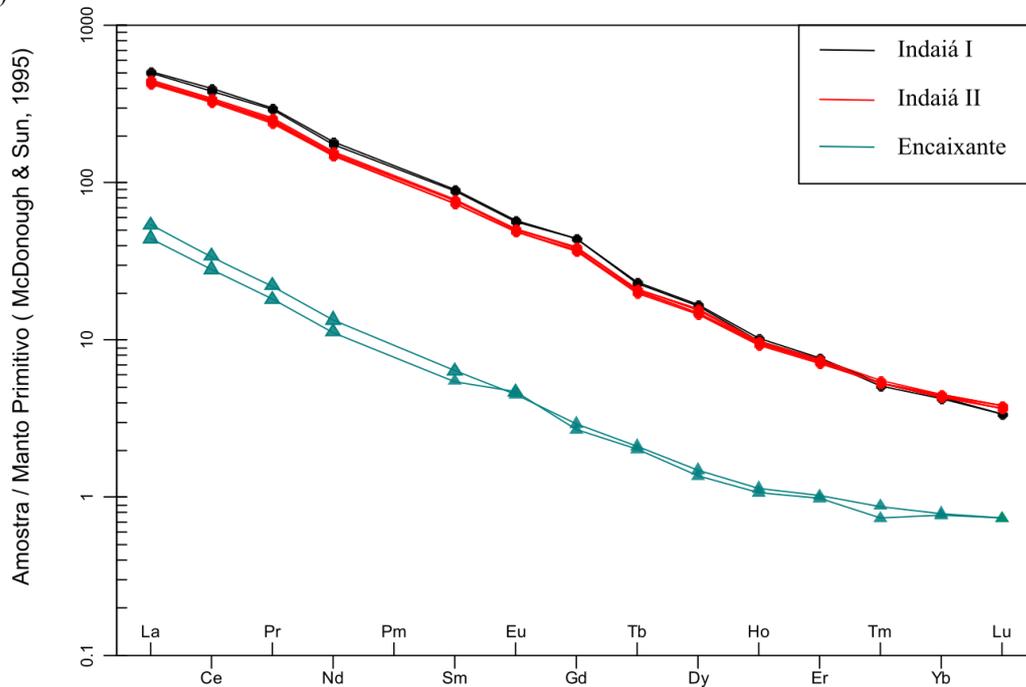
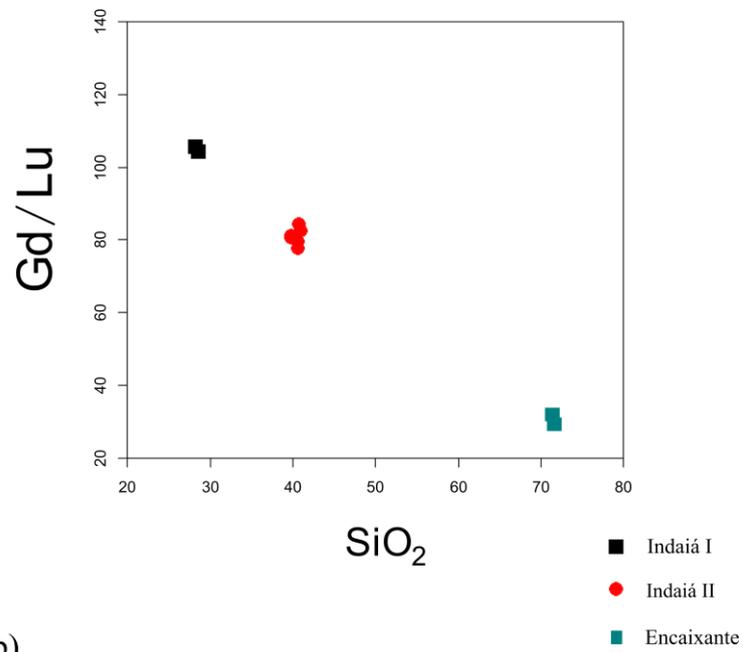


Figura 34 . Amostras de Indaiá I e II e das rochas encaixantes plotadas nos diagramas: a) *Spidergram* normalizado para o manto primitivo segundo McDonough e Sun (1995) e b) diagramas de elementos terras raras também normalizado pelo manto primitivo de McDonough e Sun (1995).

a)



b)

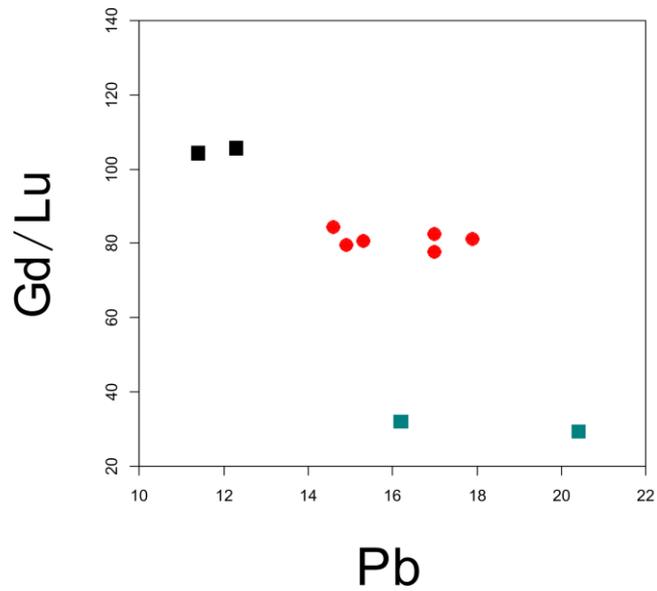


Figura 35 Diagramas divariantes ilustrando a relação entre a razão Gd/Lu e SiO₂ (a) e Gd/Lu e Pb, que segundo Le Roux *et al.* (2003) seriam indicadores de contaminação crustal.

3.3 Dados isotópicos

As análises isotópicas em rocha-total dos sistemas Rb-Sr e Sm-Nd foram realizadas em ambas as ocorrências na a encaixante local. Utilizou-se para a idade inicial 80 Ma, tal idade representa a datação obtida para a intrusão Indaiá via U-Pb em perovskita no trabalho de Guarino *et al.* (2013). Os dados obtidos estão sumarizados na Tabela 11, Apêndice B.

A intrusão Indaiá I apresenta razões de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i$ de 0.70592 e $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_i$ de 0.512259, com $\epsilon\text{Sr}(t)$ positivo e $\epsilon\text{Nd}(t)$ negativo. A intrusão Indaiá II possui maior razão $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ e razões de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i$ ligeiramente mais radiogênicas, de 0,70565 a 0,70569, menor razão $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ e razões $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_i$ menos radiogênicas: de 0,512223 a 0,512227. Também possuem $\epsilon\text{Sr}(t)$ positivo e $\epsilon\text{Nd}(t)$ negativo. Indaiá II possui $\epsilon\text{Nd}(t)$ mais negativo (-5,36 para Indaiá I e -5,99 a -6,08 para Indaiá II).

As variações isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e $\epsilon\text{Nd}(t)$ observadas nesses corpos, estão contidas nos campos atribuídos aos kimberlitos, kamaflugitos e flogopita picritos já analisados na Província Alcalina do Alto Paranaíba, já que esses campos são em grande parte superpostos (figura 36). Esses dados mostram uma composição isotópica intermediária entre os kimberlitos-tipo do Grupo I e Grupo II da África do Sul. Considerando o vetor relacionado a contribuição crustal, Indaiá II se encontraria uma maior contribuição crustal de que Indaiá I.

A amostra de rocha encaixante analisada possui, em valores corrigidos para 80Ma, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de 0,7183 e $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ de 0,51204, ambos bastante distintos das intrusões analisadas. Esses dados isotópicos serão utilizados para fins de modelagem de um possível processo de contaminação crustal que será discutido mais adiante no capítulo 4.

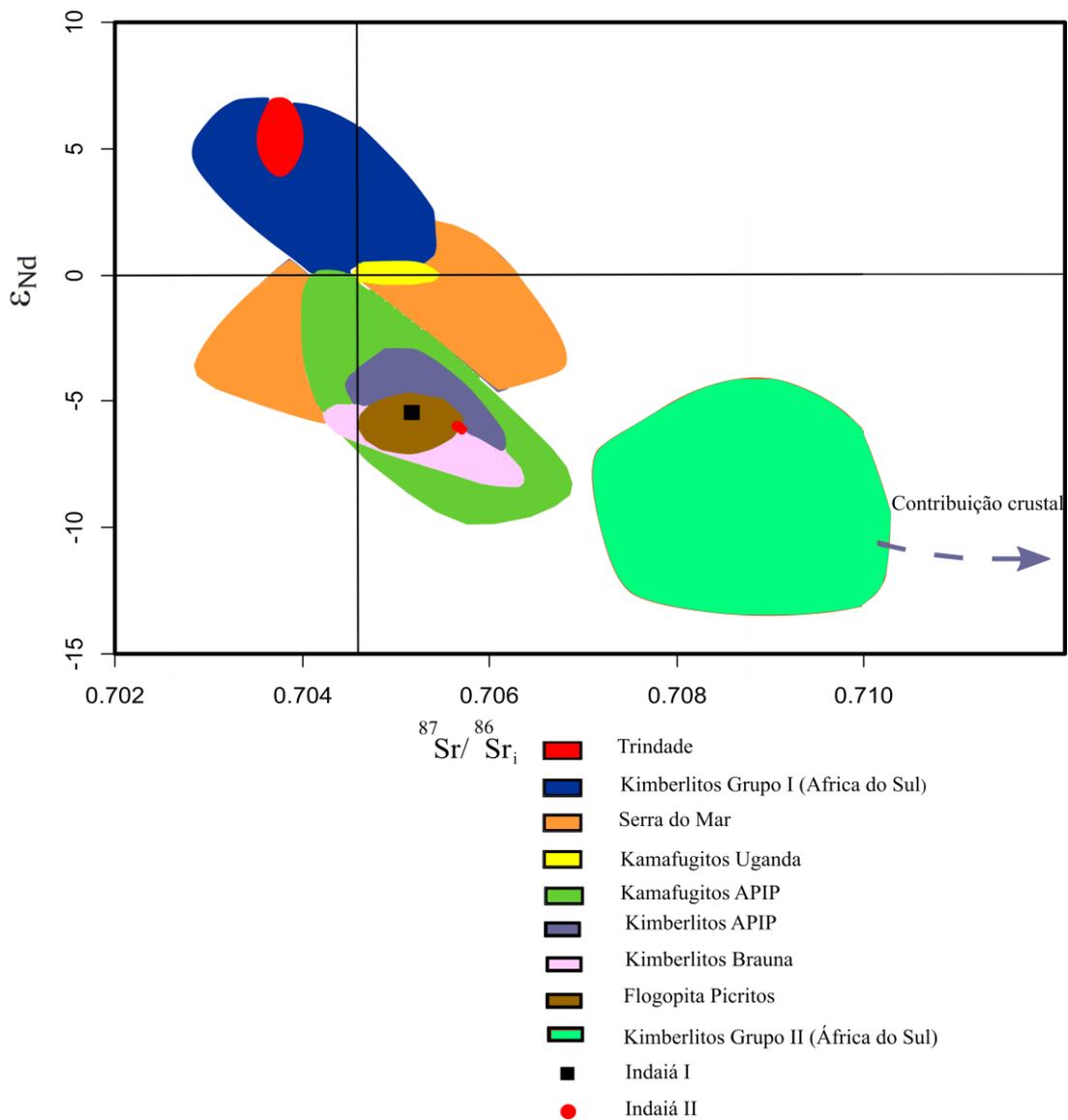


Figura 36 Diagrama $^{87}Sr/^{86}Sr$ vs. ϵNd ilustrando os diversos campos isotópicos referentes às rochas da Província Alcalina do Alto Paranaíba e outras ocorrências de rochas alcalinas brasileiras e em outros países, como as ocorrências de kimberlitos do grupo I e II da África do Sul, kamafugitos-tipo de Uganda, kimberlitos de Brauna (Brasil), rochas vulcânicas da Ilha de Trindade. Também foi incluído um vetor referente a possível contaminação por contribuição crustal. Diagrama modificado de Guarino *et al.* (2013).

4. DISCUSSÕES

4.1 Evidências de processos de sistema aberto

Evidências indicam que a intrusão Indaiá II teve em sua diferenciação magmática um comportamento de sistema aberto com contribuição tanto crustal como do manto.

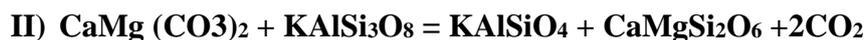
Os núcleos de olivina com zonamento normal abrupto indicam sua origem como xenocrystalina, a partir da desagregação de material do manto o que é corroborado por suas características químicas ($Fo > 89$, alto Ni, baixo Al, Ca e Cr). Já as bordas apresentam características químicas coerentes com olivinas cristalizadas a partir de magmas (Foley *et al.*, 2013). Tais bordas apresentam alta concentração de Li e Zn e alto Ti, diferentemente dos núcleos. Isso possivelmente indica uma interação do magma com um componente crustal, mais rico em lítio.

As diversas texturas de desequilíbrio exibidas como *embayments* e do tipo *sieve*, por macrocristais e microcristais de olivina e clinopiroxênio (figuras 9 e 10) e outras fases minerais como são consideradas evidências de processos de sistemas abertos (Streck, 2008). As reações de corrosão e substituição de olivinas por clinopiroxênio e flogopita também parecem corroborar esse processo (figuras 9 e 10).

O formato sinuoso e estirado e por vezes *boudinado* dos enclaves félsicos, que sugerem estado plástico durante sua consolidação definem uma *flow structure* (Perugini e Poli, 2012), apontada como característica de mistura entre magmas. Os enclaves estirados são formados principalmente por kalsilita, nefelina e vidro, e subordinadamente por diopsídio, opacos e flogopita e apatita com hábito anédrico. Tais enclaves mostram similaridade textural com buchitos, rochas formadas por pirometamorfismo (Grapes, 2006), sugerindo uma origem relacionadas a xenólitos crustais que sofreram fusão parcial. A matriz adjacente a esses xenólitos apresenta granulação mais fina e é mais rica em diopsídio e mais pobre em minerais opacos e perovskita, e os enclaves são por vezes total ou parcialmente substituídos por diopsídio e flogopita, feições observadas em kimberlitos que sofreram contaminação crustal por xenólitos graníticos (Caro *et al.*, 2004).

Os xenólitos graníticos que mantiveram parcialmente a integridade, apresentam claras feições de fusão parcial e reação com o magma ultrabásico, demonstradas pela presença de bolsões de vidro de coloração amarelada bordados por grãos de feldspato alcalino com texturas de dissolução (figura 11). No interior dos bolsões ocorre grãos microlíticos de feldspato alcalino (figura 11), provavelmente cristalizado do fundido granítico, e grãos de apatita acicular,

Diante desse cenário, uma possível explicação para a presença de kalsilita restrita aos xenólitos é relacionada também por uma reação de dessilificação análoga a proposta por Philpotts *et al.* (1967). Neste trabalho, Philpotts *et al.* (*op. cit.*) indica que xenólitos de dolomito impuro inclusos no gabro alcalino de Brome Mountain, Quebec, foram metamorfisados em fácies sanidinito e possuem kalsilita e diopsídio gerados partir da reação II:



(Dolomita) (Ortoclásio) (Kalsilita) (Diopsídio)

Dado que kimberlitos são caracterizados como magmas ricos em CaO, MgO e CO₂, o fundido kimberlítico pode ser considerado rico em um componente dolomítico, que ao reagir com um componente *liquidus* equivalente à composição da fusão parcial de encaixante rica em K-feldspato, geraria diopsídio exsolvendo gás carbônico.

Os trends de evolução química do espinélio (trend II) e da flogopita são similares aos dos kimberlitos contaminados por granitos estudados por Caro *et al.* (2004), conforme mencionado anteriormente, e a geoquímica de elementos maiores também é consistente com o processo de contaminação crustal. Teores mais elevados de Al₂O₃, SiO₂, K₂O e Na₂O são esperados em um magma kimberlítico contaminado a partir de assimilação material crustal, o que pode ser constatado em Indaiá II em relação a intrusão principal, além de um elevado C.I (>2) em Indaiá II. A menor perda ao fogo (LOI) das amostras de Indaiá II também é consistente com o fato de ambas as reações (I e II) causarem exsolução de componentes voláteis (CO₂).

4.2 Modelagem do processo de contaminação Crustal

A contaminação crustal de um magma pode ocorrer através de uma gama de processos que resultam na incorporação de rochas encaixantes a um magma. Esses processos podem variar entre processos seletivos e não seletivos. A digestão e assimilação completa de xenólitos incorporados a um magma é um exemplo de uma contaminação não seletiva, isso é, no qual o contaminante possui a mesma composição das rochas encaixantes. Uma contaminação seletiva envolve a contaminação por dissolução incongruente de grãos da encaixante, com geração de novas fases nas proximidades das interfaces com porções menos refratárias das rochas encaixantes, e também a incorporação de fundidos parciais das rochas encaixantes, um processo que pode ocorrer se o magma for quente o suficiente para iniciar a fusão em sítios preferenciais (Hibbard, 1995). Nesse processo um dos sítios preferenciais de fusão ocorre

devido a quebra de fases hidratadas como a biotita, produzindo fusão por desidratação conforme explicitado por Beard et al. (2005). Esse processo gera fundidos com composição global diferente das rochas encaixantes. A composição rica em K_2O de Indaiá II só seria possível de ser gerada por contaminação crustal seletiva: a partir da fusão parcial das encaixantes, produzindo fundidos ricos em potássio que, hibridizados com o magma kimberlítico, seriam capazes de resultar em uma assinatura ultrapotássica no magma contaminado.

Reiners *et al.* (1995) e Tegner *et al.* (2005) demonstraram por modelos termodinâmicos que a razão entre a taxa de contaminação e a taxa de cristalização, o fator r das equações de AFC de DePaolo (1981), de magmas máficos primitivos ao assimilarem crosta, tende a ser bastante alta nos primeiros estágios, mesmo substancialmente maior que 1. Segundo esses autores, grande quantidade de assimilação crustal pode ocorrer nos estágios iniciais de resfriamento do magma, mesmo com um baixo grau de cristalização de olivina (3-7%). Isso significa que, nesse cenário, uma equação de mistura de dois componentes pode ser considerada mais apropriada para modelar um processo de contaminação crustal que as curvas de AFC com valor de r fixo (Malarkey *et al.*, 2010; Azzone *et al.*, 2016, 2018). Portanto nesse trabalho foi utilizada essa abordagem do processo de contaminação como um processo de *mixing* entre dois componentes.

4.2.1 Modelagem do contaminante

. Nesse trabalho, os contaminantes foram modelados considerando-os como fundidos parciais da rocha encaixante, a partir das amostras encaixantes coletadas imediatamente ao lado da intrusão para efeito de simplificação do modelo. Esta escolha, a opção mais acessível encontrada, é considerada representativa de um polo crustal da região. Porém, isto não implica que a rocha encaixante coletada tenha sido efetivamente o único contaminante do magma, pois a assimilação pode ter ocorrido em profundidades maiores, com diferentes encaixantes.

A partir dos dados obtidos de elementos maiores da encaixante foram efetuados modelos termodinâmicos com o software rhyoliteMELTS 1.2x (Gualda e Ghiorso, 2015), determinando-se a composição de elementos maiores do fundido e os constituintes restícticos da fusão parcial e suas proporções em condições de equilíbrio a partir da composição de rocha-total da encaixante. Os parâmetros intensivos utilizados foram: temperaturas de 750°C, na zona de quebra da biotita, e pressões de 1, 3 e 5Kbar para considerar cenários a diferentes profundidades e os constituintes voláteis foram estimados a partir dos valores de LOI da rocha total.

Quanto à fO_2 , outro parâmetro considerado pelo algoritmo, foram realizados modelos de fusão variando entre $\log \Delta NNO$ -2 e +2. A partir destes testes, observou-se que a variação desse parâmetro gera mudanças pouco significativas na composição de elementos maiores para os diferentes fundidos gerados. Assim, foi selecionada uma fO_2 mais oxidante ($\log \Delta NNO$ +2) por haver interação com um magma de caráter oxidante, conforme determinado pela oxibarometria de perovskita.

Para a determinação da concentração de elementos-traço no fundido foi efetuada uma abordagem utilizando balanço de massa, levando-se em consideração as proporções entre líquido e fases residuais obtidas a partir da modelagem termodinâmica para maiores, e Baseando nas equações propostas por Bédard (1994),.

A concentração de um elemento i em uma assembléia multifásica pode ser expressa como a soma das proporções em massa das fases do sistema (cuja soma é igual a 1), multiplicada pela concentração do elemento i em um mineral ou fase j conforme equação (1):

$$C_i^{Rocha} = \sum_{j=1}^n \phi^j C_i^j \quad (1)$$

onde ϕ^j é a proporção em massa de uma fase j , mineral ou fundido, e C_i^j é a concentração do elemento i nessa mesma fase j . Expandindo-se a equação (1) tem-se a equação (2):

$$C_i^{Rocha} = (\phi^1 \times C_i^1) + (\phi^2 \times C_i^2) + \dots (\phi^n \times C_i^n) \quad (2)$$

em que C_i^1 é a concentração do elemento i em uma fase 1 e assim por diante. Considerando um sistema constituído por um fundido e uma assembleia mineral que corresponde ao resíduo sólido em equilíbrio, a concentração do elemento i em uma fase j qualquer se dá pela relação:

$$C_i^j = C_i^{liq} \times D_i^j \quad (3)$$

em que a concentração do elemento i em uma fase j (C_i^j) é igual a concentração do elemento i no fundido (C_i^{liq}) multiplicado pelo coeficiente de partição mineral/ líquido entre a fase j e o fundido (D_i^j). Substituindo-se a equação (3) em (2) vem:

$$C_i^{Rocha} = [(\phi^1 \times C_i^{liq} \times D_i^1) + (\phi^2 \times C_i^{liq} \times D_i^2) + \dots (\phi^{liq} \times C_i^{liq})] \quad (4)$$

Colocando C_i^{liq} em evidência temos a equação (5):

$$C_i^{Rocha} = C_i^{líq} \times [(\emptyset^{líq} + (\emptyset^1 \times D_i^1) + (\emptyset^2 \times D_i^2) + \dots (\emptyset^n \times D_i^n)] \quad (5)$$

Finalmente, colocando em função de $C_i^{líq}$ temos a equação (6):

$$C_i^{líq} = \frac{C_i^{Rocha}}{[(\emptyset^{líq} + (\emptyset^1 \times D_i^1) + (\emptyset^2 \times D_i^2) + \dots (\emptyset^n \times D_i^n)]} \quad (6)$$

onde a partir da concentração de um elemento traço i qualquer, determinado em análises de rocha-total, das proporções entre fundido e fases sólidas obtidas a partir das simulações do software rhyoliteMELTS, e de coeficientes de partição compilados da literatura, pode-se estimar a concentração de um elemento traço i em um fundido em equilíbrio. Coeficientes de partição para magmas riolíticos compilados de Rollinson (1993) e do Geochemical Earth Database (Nielsen, 2006), foram aplicados na equação (6), a fim de obter as concentrações de elementos traço do fundido gerado a partir da encaixante, esses coeficientes estão compilados se encontra no Apêndice C – Tabela 12. A composição de elementos maiores e traços dos fundidos gerados, o percentual de fusão e das fases restíticas estão sumarizadas na Tabela 13 do Apêndice C.

4.2.2 Composição dos fundidos de Indaiá I e II

As composições de rocha-total das intrusões Indaiá I e Indaiá II não devem ser consideradas representativas de um fundido, uma vez que rochas de afinidade kimberlíticas possuem em geral cargas expressivas de xenocristais do manto, especialmente de olivina (Bussweiler, *et al.* 2015; Kjarsgaard, *et al.* 2009; Patterson *et al.*, 2009). A fim de corrigir essa distorção, balanços de massa foram aplicados à composição de rocha-total para a eliminação da influência dos xenocristais de olivina, os mais abundantes nestas intrusões, e consequente determinação do líquido híbrido progenitor (mas não primário) da intrusão. Para isso, utilizou-se a composição média para elementos maiores e traço determinadas para os núcleos de olivina xenocristalina de Indaiá II, partindo do princípio que núcleos de olivina de ambas as intrusões possuem composições similares. Segundo as estimativas de Patterson *et al.* (2009) somente cerca de 5% em massa das olivinas de kimberlitos podem ser consideradas como fenocristais, isto é, cristalizadas em equilíbrio com o líquido. Partindo desse pressuposto foi subtraído 19% em massa de olivina considerada xenocristalina em Indaiá I, com base nas porcentagens modais de olivina (24%) determinadas por Silva (2008). A equação utilizada é a recomendada por Ubide *et al.* (2012) e Menezes *et al.* (2015) a saber:

$$C_{RT}^i = C_{Liq}^i (1 - \sum v) + \sum (C_{OL_{xen}}^i + v)$$

onde C_{RT}^i , C_{Liq}^i e $C_{Ol_{xen}}^i$ são as concentrações do elemento I na rocha-total, no líquido híbrido kimberlítico e nos xenocristais de olivina, respectivamente, e v é o volume modal dos xenocristais. O resultado é bastante similar ao fundido estimado por Guarino *et al.* (2013) para possíveis líquidos da mesma província e da mesma intrusão (Tabela 14 - Apêndice C).

Em Indaiá II as rochas apresentam-se bem mais pobres em macrocristais de olivina (cerca de 3% em média), e os microcristais possuem em geral contornos mais euédricos. Portanto, considera-se que a maior parte das olivinas da matriz foi cristalizada do fundido kimberlítico, e foi subtraído o volume de 2,3% de olivina da composição média das rochas de Indaiá II, considerados xenocristais, para obter a composição aproximada de um fundido contaminado.

Através das composições calculadas é possível fazer algumas inferências acerca da pressão de geração e temperatura dessas rochas. Ao ser plotada a composição de Indaiá I no diagrama MgO/CaO vs SiO₂/Al₂O₃ baseado em Gudfinnsson e Presnall (2005), é possível estimar uma pressão para geração desse magma a partir da fusão de um peridotito carbonatado de pouco mais de 5GPa (figura 37). Considerando 0.1 GPa como equivalente a cerca de 3 Km de profundidade da crosta, pode-se inferir uma profundidade de fusão superior a 150km.

A temperatura do fundido de Indaiá II pode ser estimada a partir da temperatura de saturação de clinopiroxênio, principal fase constituinte da matriz, com base na equação proposta por Putirka (2008) para magmas básicos ricos em voláteis. Considerando uma profundidade rasa (1Kbar) e a porcentagem de H₂O equivalente a perda ao fogo, chega-se a uma temperatura média de 1170°C, e também próximas às calculadas pelo geotermômetro de Putirka (2008) para único clinopiroxênio na mesma condição de pressão (Apêndice C – Tabela 14). Essa temperatura se encontra dentro das estimativas para magmas de afinidade kimberlítica como Kavanagh e Sparks (2009), e considerada suficiente para gerar fusão parcial de uma encaixante granítica.. As composições dos fundidos de Indaiá I e II quando plotadas no diagrama MgO/CaO vs SiO₂/MgO de Sparks *et al.* (2009) formam uma tendência paralela a esperada pela incorporação de material crustal (figura 38).

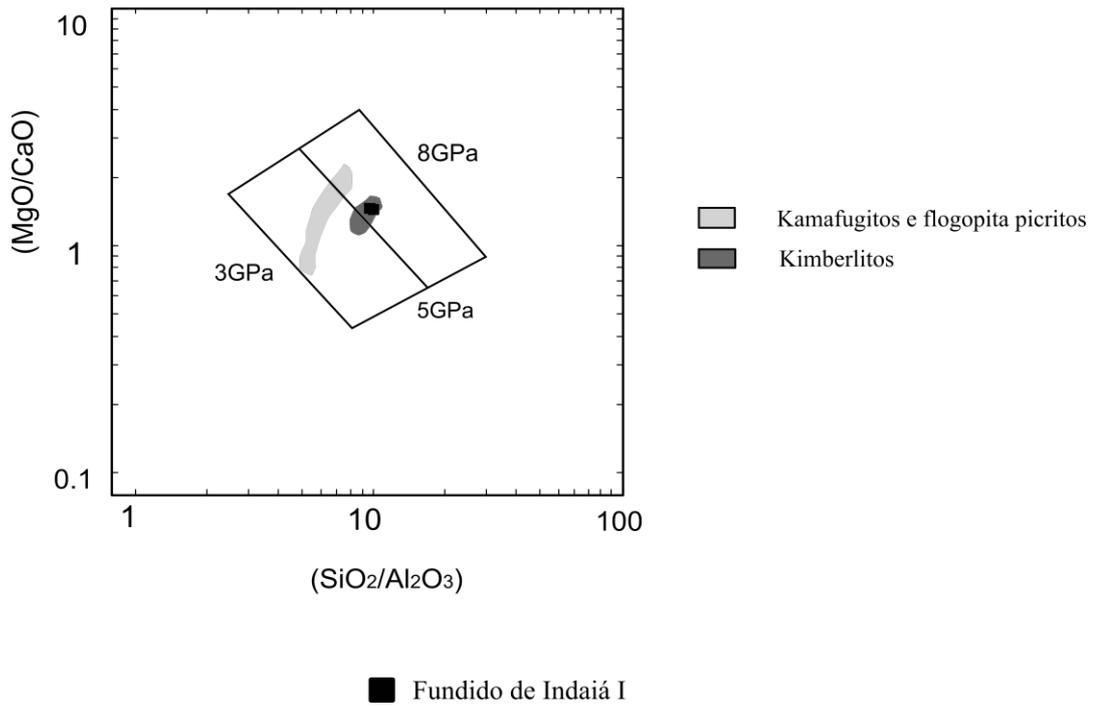


Figura 37 Diagrama baseado em Gudfinsson e Presnall (2005) para estimativa de pressão de geração dos fundidos de Indaiá I a partir da fusão de um peridotito carbonatado. Campos referentes a kimberlitos e kamafugitos da APAP. Modificado de Guarino et al. (2013).

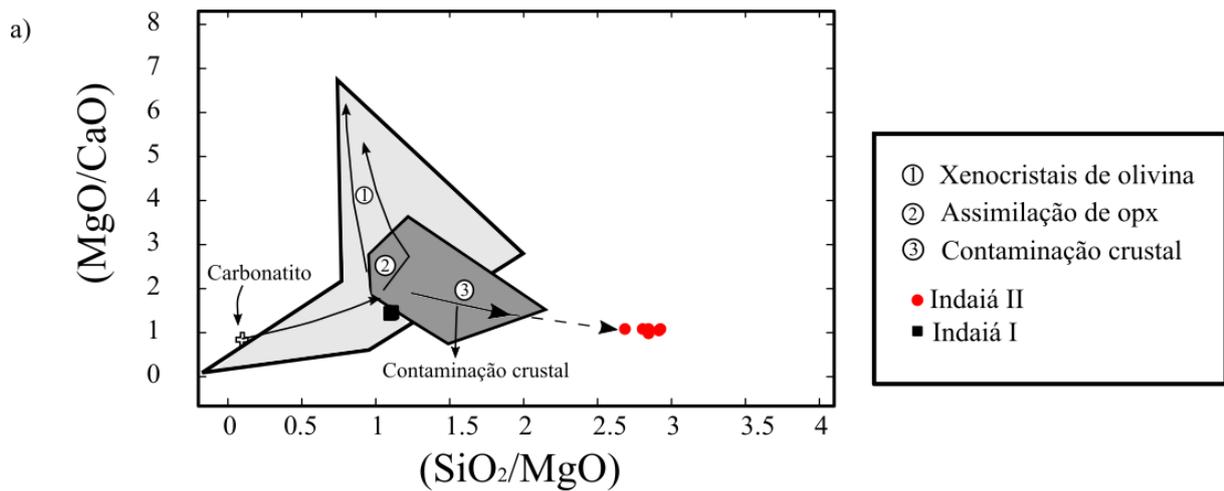


Figura 38 Diagrama MgO/CaO vs SiO₂/MgO para as rochas de Indaiá I e II, com os campos e *trends* definidos por Sparks *et al.* (2009), mostrando tendência coerente com a contaminação crustal.

4.2.3 *Curvas de Mistura*

Quando as composições dos fundidos são plotados num diagrama de fases ternário construído para representar fundidos kimberlítico a baixa pressão (Sparks *et al.*, 2009), as composições reconstruídas de Indaiá I encontram-se próximas as cotéticas de cristalização de espinélio e olivina, e as de Indaiá II no campo de cristalização do diopsídio. Os polos do fundido granítico calculado e de Indaiá I formam uma linha de amarração onde Indaiá II corresponderia a um ponto intermediário com uma incorporação de cerca de 30% do contaminante proposto (figura 39).

Também, uma vez obtidas as composições calculadas do fundido de Indaiá I e II, foram geradas curvas de *mixing* para elementos maiores e traço a partir do software PETROMODELER® (Ersoy, 2013) onde utilizou-se o fundido calculado de Indaiá I e as fusões calculadas da rocha encaixante como polos da mistura. Partindo da porcentagem de fundido e de minerais restícticos estimadas para essa condição aplicou-se a equação (6) para o cálculo da concentração elementos-traço sensíveis a processos de contaminação crustal (Rb, Sr, Pb, ETR, Nb,) presentes no fundido.

Nos modelos de mistura gerados a partir da concentração de elementos maiores (figura 40), os fundidos de Indaiá II se ajustam melhor às linhas formadas por misturas com fundidos de composição granítica gerados a maiores profundidades, por fusão a 5kbar. Essa conclusão é coerente, uma vez que o potencial de assimilação é maximizado em regiões mais profundas, onde o gradiente térmico entre o magma e as rochas encaixantes é menor. As curvas explicam as maiores concentrações de K_2O , Al_2O_3 e SiO_2 assim como a diminuição dos conteúdos de CaO apresentados em Indaiá II a partir da contaminação de Indaiá I com fundidos anatéticos de composição granítica.

Os diagramas da figura 38 ilustram essas relações, e também incluem dados dos fundidos calculados de Indaiá I do trabalho de (Guarino *et al.*, 2013), assim como os dados de rocha-total de Indaiá I sem o desconto dos xenocristais, e os dados de rocha-total das encaixantes. Os fundidos de Indaiá II ajustam-se bem a curva, como pontos intermediários nas linhas de mistura geradas, apresentando cerca de 30% de contaminante.

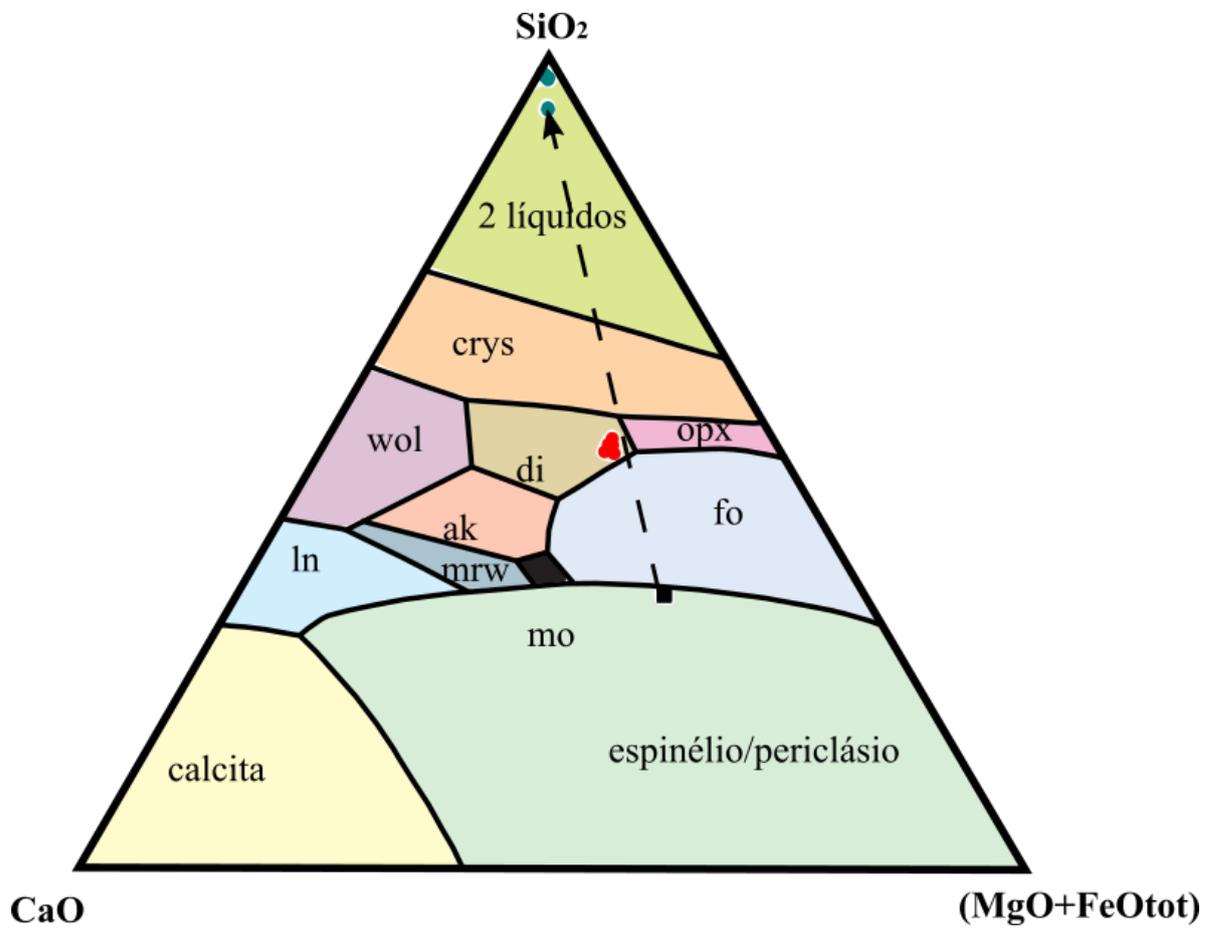


Figura 39 Diagrama pseudoternário proposto por Sparks *et al.* (2009) para representar fundidos kimberlíticos a 1kbar e pressões de saturação em CO₂ e H₂O. Nele estão representadas os fundidos reconstruídos de Indaiá I e II e do fundido contaminante. Uma linha de amarração esta representada entre o fundido não contaminado proposto e o contaminante granítico.

Os modelos de mistura utilizando as concentrações de elementos-traço obtidas (figura 41) apresentam um aumento de Rb, e diminuição dos teores da razão Ce/Pb com a incorporação de fundido crustal pelo magma kimberlítico, compatíveis com o que seria esperado num caso de assimilação crustal. Também ocorre diminuição da concentração de La, Ce, Sm, Nd, e Sr, com pequena variação das razões Rb/Sr. Os fundidos de Indaiá II posicionam-se concordantes aos modelos gerados para La vs Ce e Sm vs Nd (figura 41) quase perfeitamente, enquanto os que apresentam Rb, Sr, e Pb possuem uma dispersão um pouco maior, mas ainda concordantes. Uma provável razão é a menor mobilidade geoquímica dos elementos terras raras a processos pós-magmáticos e intempéricos, comparado aos elementos litófilos (Rollinson, 1993). As razões La/Nb tem pequena variação no diagrama de mistura com SiO₂, uma vez que as encaixantes são relativamente pobres tanto em La como Nb. Os fundidos de Indaiá II plotam concordantemente as curvas de mistura, com uma proporção de contaminante entre 30% e 40 % em massa, aproximadamente.

A partir das concentrações de Nd, Sm, Sr e Rb modeladas nos fundidos, foram também geradas curvas de mixing utilizando razões isotópicas de ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr e ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd. Para tal, foi considerado que os fundidos gerados pela anatexia das rochas encaixantes, possuem a mesma razão das rochas encaixantes, porém recalculadas com os teores de elementos-traço do fundido modelado. Para os fundidos de Indaiá I e II também foram utilizadas suas razões isotópicas corrigidas para 80Ma e a concentração dos elementos traço obtidas pela extração dos xenocristais de olivina.

Os modelos de mistura utilizando os dados isotópicos também parecem corroborar o processo de contaminação, justificando as razões mais radiogênicas de ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr de Indaiá II em relação a Indaiá I ao mesmo tempo que se correlaciona com o aumento de SiO₂ e K₂O, inseridos no sistema pela assimilação (figura 42). Finalmente, o diagrama ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr vs ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd (figura 43) também favorece essa hipótese.

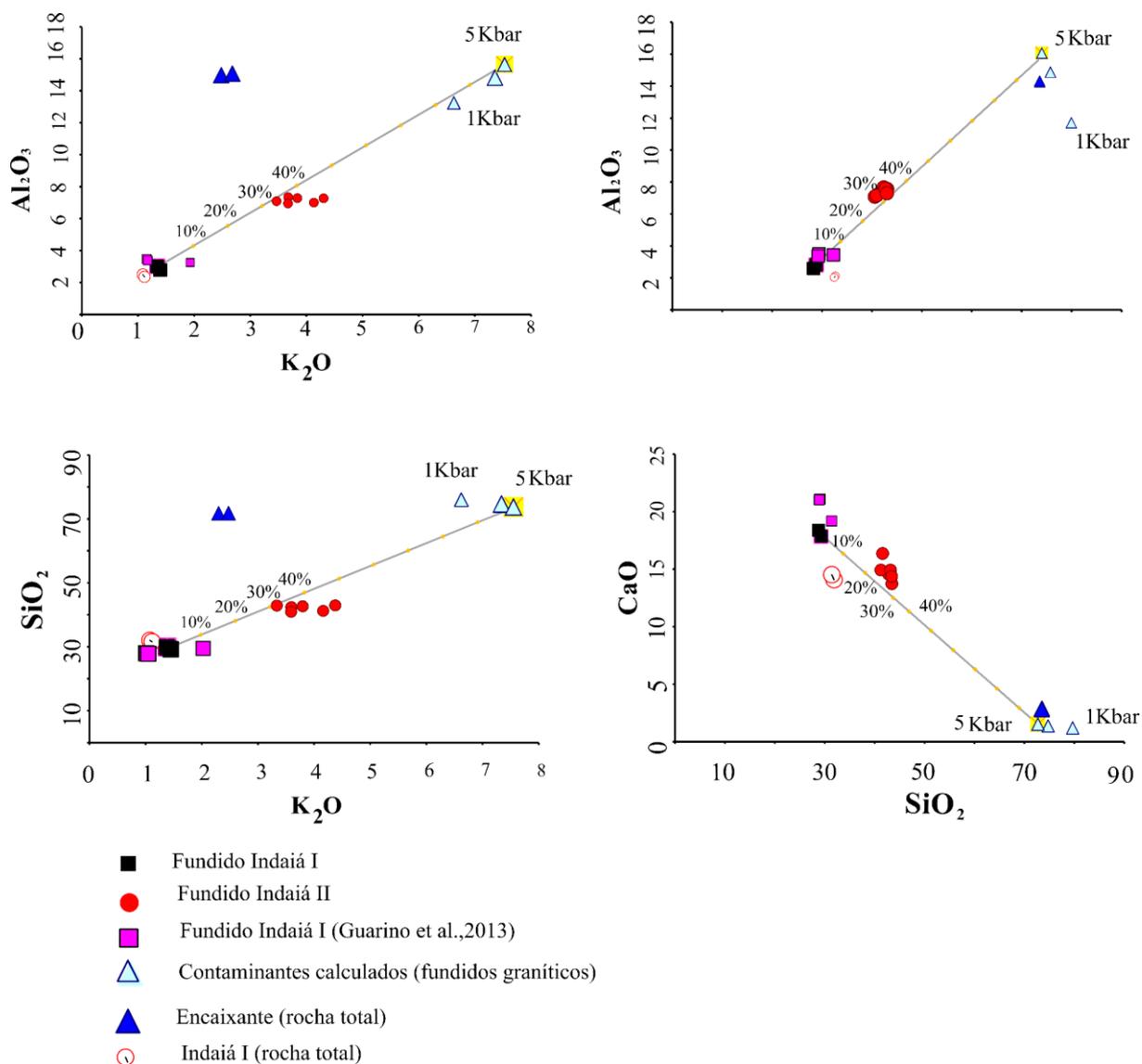


Figura 40 Diagramas bivariantes apresentando linhas de mistura de elementos maiores formadas tendo como polos: o fundido calculado de Indaiá I e o fundido calculado da encaixante crustal. Também representados os fundidos de Indaiá I calculados por Guarino *et al.* (2013), e as composições de rocha total de indaiá I e da encaixante. As porcentagens nos gráficos referem-se ao percentual de incorporação de material crustal (dados em % em peso).

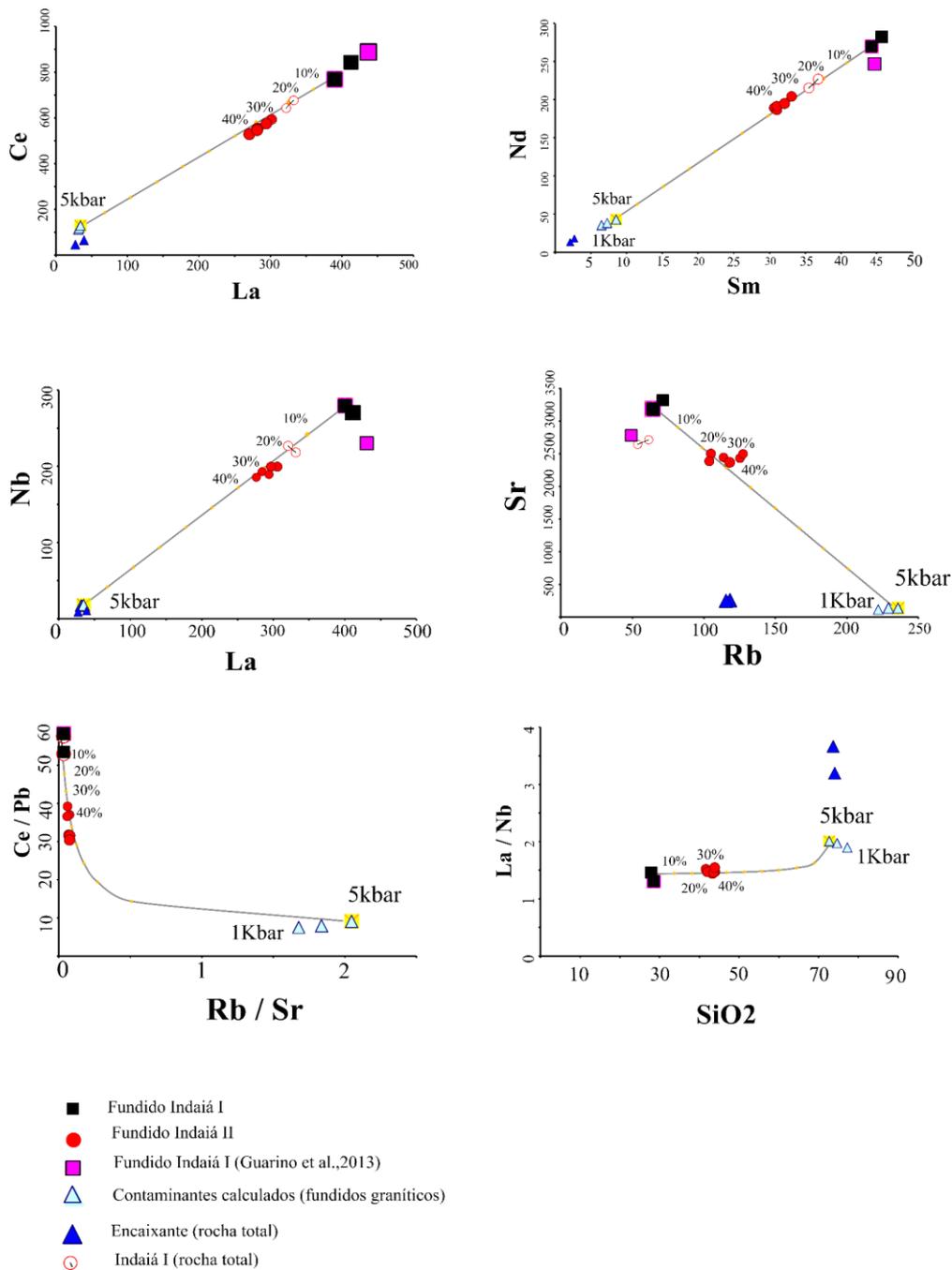
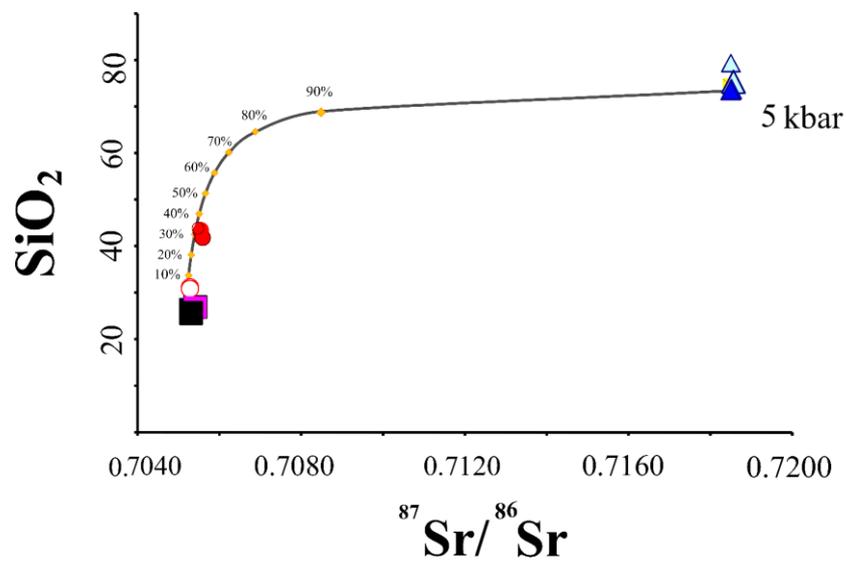
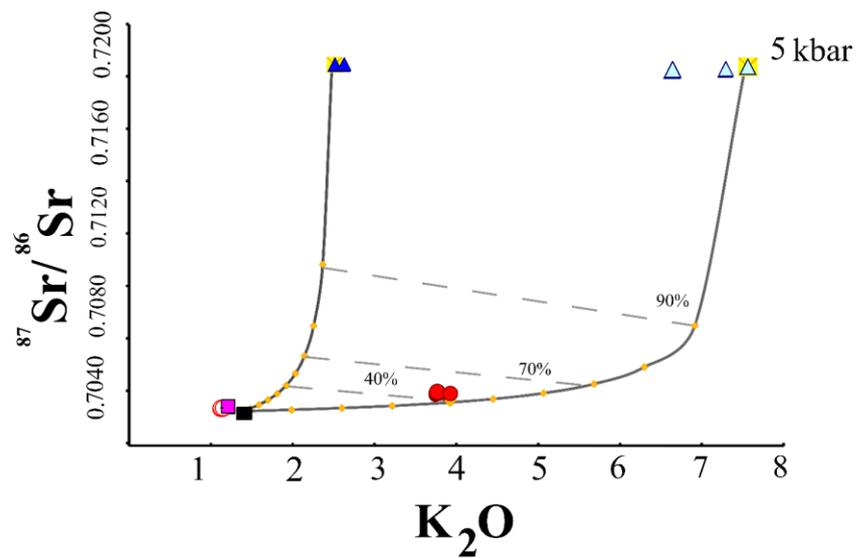
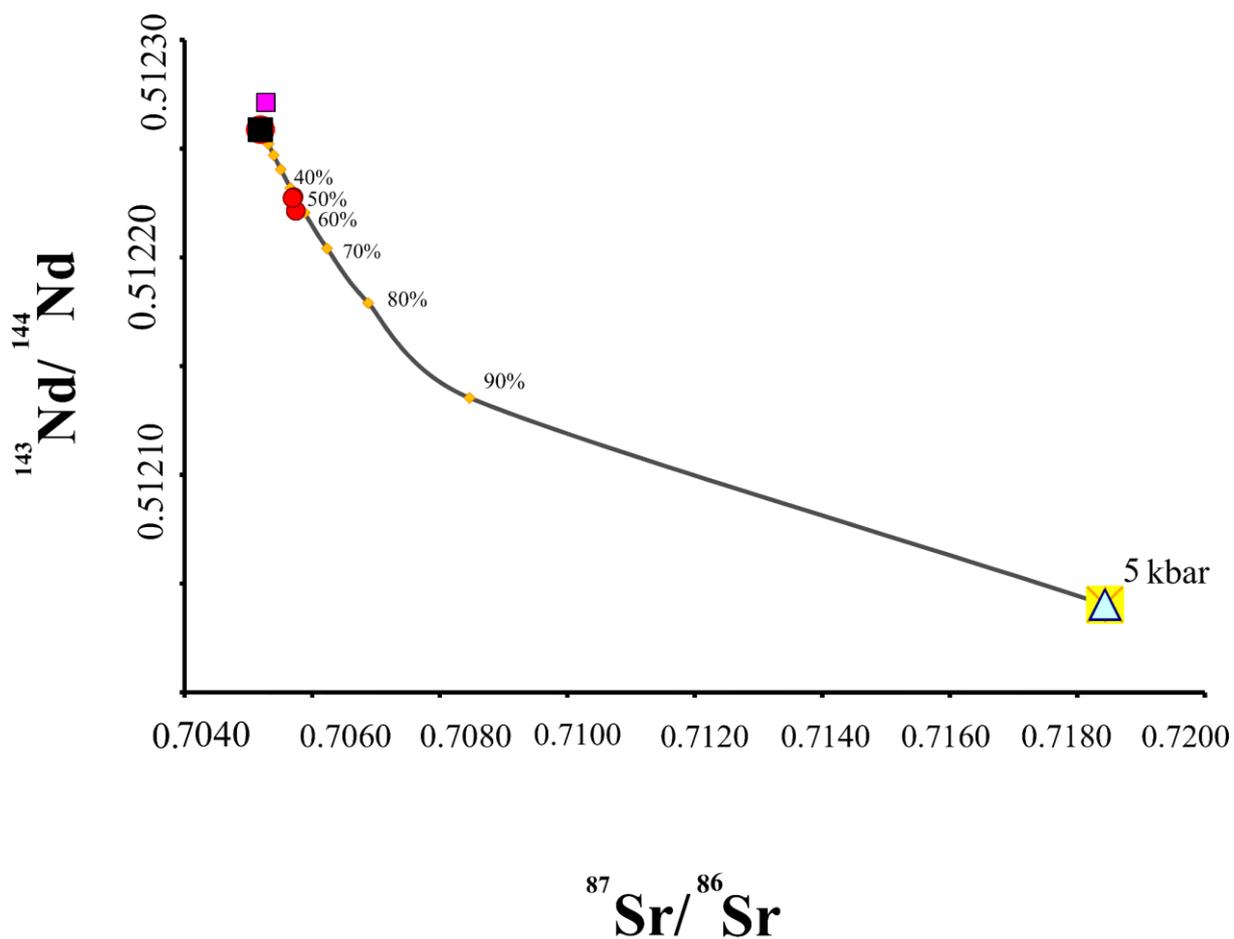


Figura 41 Diagramas bivariantes apresentando linhas de mistura de elementos-traço e SiO₂, tendo como polos: o fundido calculado de Indaiá I e o fundido calculado da encaixante crustal. Também representados os fundidos de Indaiá I calculados por Guarino *et al.* (2013), e as composições de rocha total de Indaiá I e da rocha encaixante. As porcentagens nos gráficos referem-se ao percentual de incorporação de material crustal (dados dos elementos-traço em ppm e de SiO₂ em % em massa).



- Fundido Indaiá I
- Fundido Indaiá II
- Fundido Indaiá I (Guarino et al., 2013)
- △ Contaminantes calculados (fundidos graníticos)
- ▲ Encaixante (rocha total)

Figura 42 Curvas de mixing de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vs SiO_2 e K_2O tendo como polos: o fundido calculado de Indaiá I e o fundido calculado da encaixante crustal. Também representados os fundidos de Indaiá I calculados por Guarino *et al.* (2013), e as composições de rocha total de Indaiá I e da encaixante. As porcentagens nos gráficos referem-se ao percentual de incorporação de material crustal (dados de elementos maiores em % em massa). Os dados calculados de Indaiá II ajustam-se bem a curva de mistura, confirmando o processo de contaminação crustal.



- Fundido Indaiá I
- Fundido Indaiá II
- Fundido Indaiá I (Guarino et al., 2013)
- △ Contaminantes calculados (fundidos graníticos)
- ▲ Encaixante (rocha total)

Figura 43 Diagrama $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i$ vs $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_i$ para as rochas de Indaiá I e II, bem como suas encaixantes. Curvas de *mixing* isotópico são apresentadas, tendo como polos: o fundido calculado de Indaiá I e o fundido calculado da encaixante crustal. Também representados os fundidos de Indaiá I calculados por Guarino *et al.* (2013), e as composições de rocha total de Indaiá I e da encaixante. As porcentagens nos gráficos referem-se ao percentual de incorporação de material crustal. As composições de Indaiá II ajustam-se bem a curva de mistura.

4.2.4 Modelo geológico

O modelo geológico proposto a partir dos dados obtidos sugere que a intrusão Indaiá II foi um corpo de magma kimberlítico que sofreu evolução num contexto magmático de sistema aberto, sofrendo grande contribuição de contaminação crustal seletiva, a partir da incorporação fundidos anatóxicos das rochas encaixantes a temperaturas próximas ao *liquidus* do sistema. Os magmas das intrusões Indaiá I e II seriam cogenéticos, derivadas de um mesmo magma progenitor, em que Indaiá I sofreu uma contribuição crustal pouco relevante, e Indaiá II muito relevante.

Neste modelo, parte dos fundidos crustais reagiu com o magma, porém não foram totalmente incorporados, e ficaram preservados como os microenclaves félsicos, parcialmente estirados e formando *schlierens*. A fusão das rochas encaixantes foi favorecida pela quebra de minerais hidratados, como a biotita, com talvez alguma contribuição dos voláteis degaseificados do próprio magma kimberlítico. Essa contaminação provavelmente começou em profundidade e se manteve durante a colocação turbulenta em um ambiente de câmara rasa, provavelmente como um *blind pipe* (figura 44). Essa colocação deve ter ocorrido em pelo menos dois pulsos magmáticos, gerando as fácies diopsídio kimberlito e flogopita diopsídio kimberlito.

A baixa viscosidade dos magmas ultramáficos favorece uma colocação em condições de regime de fluxo turbulento, onde há uma troca de calor mais eficiente entre o magma e as paredes da câmara, favorecendo altas taxas de contaminação crustal (Huppert et al., 1985). A maior parte da fusão provavelmente ocorreria na porção superior da câmara onde a perda de calor seria mais eficiente e a contaminação mais intensa devido a menor densidade dos fundidos graníticos, e do magma contaminado. O modelo proposto está esquematizado na figura 44.

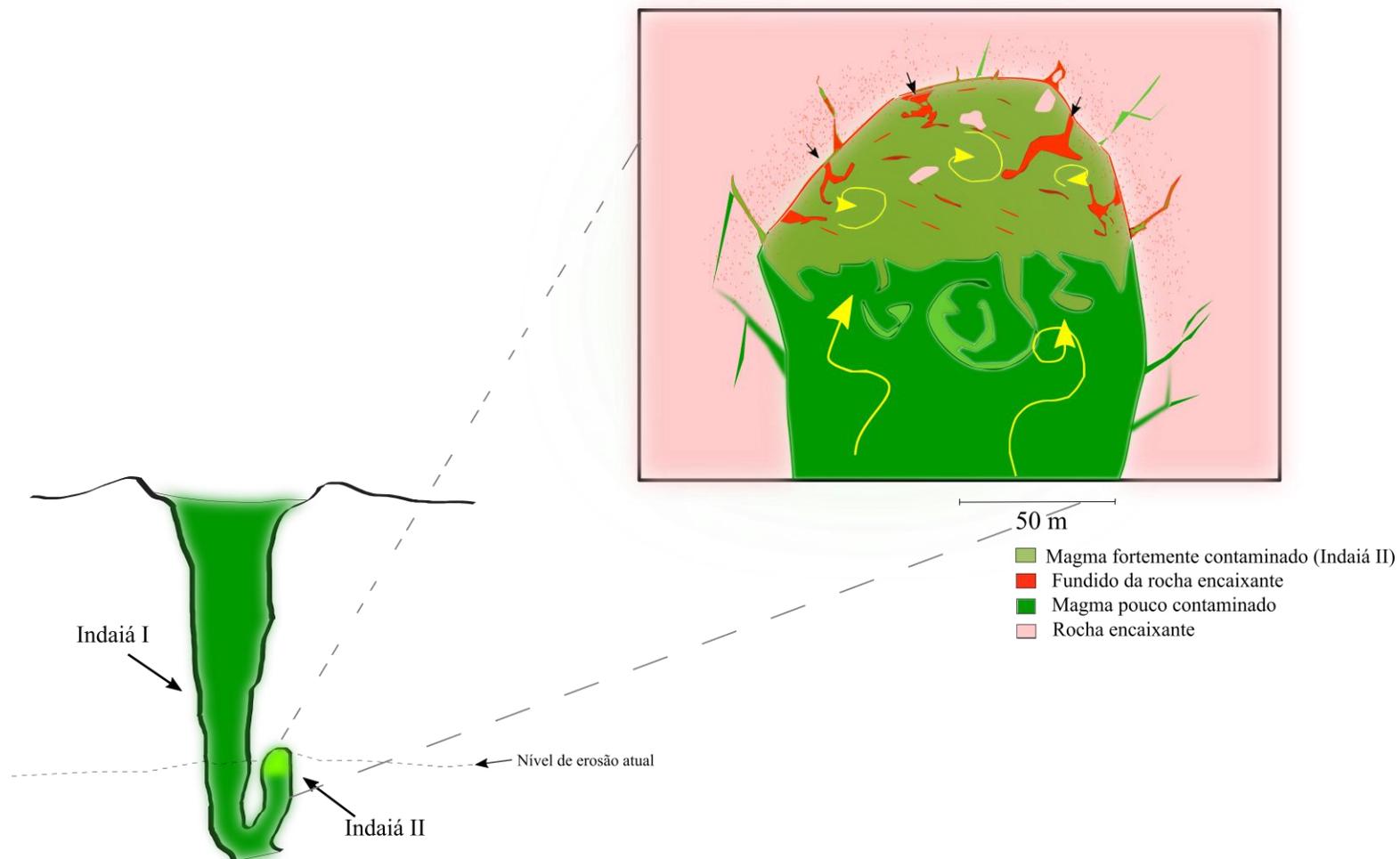


Figura 44 Modelo esquemático ilustrando a contaminação pela incorporação de fundidos anatóxicos ocorrida em Indaiá II. Essa contaminação provavelmente foi mais eficiente no topo da intrusão onde a perda de calor é mais eficiente. A contaminação é auxiliada através do fluxo turbulento durante a colocação do magma (representado na figura pelas setas amarelas). Nesse modelo a contaminação se concentra na parte superior da câmara, devido a maior interação com os fundidos e menor densidade dos fundidos crustais.

5. CONCLUSÕES

A Intrusão Indaiá II mostra uma relação genética com a Intrusão vizinha Indaiá I, de afinidade kimberlítica, onde Indaiá II apresenta clara influência de processos de contaminação crustal na sua evolução. Esse processo é demonstrado por evidências mineralógicas, texturais e geoquímicas, sejam elas:

- I) A presença de diopsídio de granulação fina e flogopita desenvolvidos a partir da reação do magma e xenólitos crustais, associados a texturas de desequilíbrio e reabsorção em macrocristais e microcristais de olivina, indicando comportamento de sistema aberto.
- II) Feições indicativas de fusão parcial em xenólitos graníticos parcialmente preservados e *schilierens* com feldspatóides, produzidos por possíveis reações de dessilicificação com o fundido.
- III) *Trends* de química mineral associados com contaminação crustal como flogopitas ricas em Ti e Ba e espinélios com *trend* da titanomagnetita.
- IV) Alto índice de contaminação (C.I.) na geoquímica de rocha-total.
- V) Modelagem geoquímica e isotópica, que indica a incorporação incompleta de cerca de 30 – 40% de fundidos crustais, a partir de um magma progenitor com a composição do fundido de Indaiá I.

Conclui-se que a intrusão Indaiá II representa um processo de contaminação de fundidos derivados das rochas granitoides encaixantes a um magma progenitor similar a Indaiá I, possivelmente num mesmo conduto. A afinidade geoquímica ultrapotássica, similar à kamafugítica, é atribuída à incorporação de fundidos parciais graníticos a um magma de composição kimberlítica.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albarède, F., 1995, *Introduction to geochemical modeling*: Cambridge University Press, 543 p.
- Almeida, F.F.M. de, 1983, Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozóicas da região meridional da Plataforma Sul-Americana: *Revista Brasileira de Geociências*, v. 13, p. 139–158.
- Andrade, S., Ulbrich, H.H., de Barros Gomes, C., and Martins, L., 2014, Methodology for the determination of trace and minor elements in minerals and fused rock glasses with laser ablation associated with quadrupole inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-Q-ICPMS): *American Journal of Analytical Chemistry*, v. 5, p. 701.
- Araujo, A., Carlson, R.W., Gaspar, J.C., and Bizzi, L. a., 2001, Petrology of kamafugites and kimberlites from the Alto Paranaíba Alkaline Province, Minas Gerais, Brazil: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 142, p. 163–177, doi:10.1007/s004100100280.
- Azzone, R.G., Montecinos Munoz, P., Enrich, G.E.R., Alves, A., Ruberti, E., and Gomes, C.B., 2016, Petrographic, geochemical and isotopic evidence of crustal assimilation processes in the Ponte Nova alkaline mafic–ultramafic massif, SE Brazil: *Lithos*, v. 260, p. 58–75, doi:10.1016/J.LITHOS.2016.05.004.
- Azzone, R.G., Ruberti, E., Silva, J.C.L. da, Gomes, C. de B., Rojas, G.E.E., Hollanda, M.H.B.M. de, and Tassinari, C.C.G., 2018, Upper Cretaceous weakly to strongly silica-undersaturated alkaline dike series of the Mantiqueira Range, Serra do Mar alkaline province: Crustal assimilation processes and mantle source signatures: *Brazilian Journal of Geology*, v. 48, p. 373–390, doi:10.1590/2317-4889201820170089.
- Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A., and Zanettin, B., 1986, A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram: *Journal of Petrology*, doi:10.1093/petrology/27.3.745.
- Bédard, J.H., 1994, A procedure for calculating the equilibrium distribution of trace elements among the minerals of cumulate rocks, and the concentration of trace elements in the coexisting liquids: *Chemical Geology*, v. 118, p. 143–153, doi:10.1016/0009-2541(94)90173-2.

- Best, M.G., 2003, *Igneous and metamorphic petrology*: Blackwell Publishers, 729 p.
- Biondi, J.C., 2005, Brazilian mineral deposits associated with alkaline and alkaline-carbonatite complexes, *in* Comin-Chiaramonti, P. and Gomes, C. de B. eds., *Mesozoic to Cenozoic Alkaline Magmatism in the Brazilian Platform*, São Paulo, Edusp-Fapesp, p. 707–750.
- Brigatti, M.F., Medici, L., Saccani, E., and Vaccaro, C., 1996, Crystal chemistry and petrologic significance of Fe³⁺-rich phlogopite from the Tapira carbonatite complex, Brazil: *American Mineralogist*, v. 81, p. 913–927, doi:10.2138/am-1996-7-814.
- Bussweiler, Y., Foley, S.F., Prelevic, D., and Jacob, D.E., 2015, The olivine macrocryst problem: New insights from minor and trace element compositions of olivine from Lac de Gras kimberlites, Canada: *Lithos*, v. 220–223, p. 238–252, doi:10.1016/j.lithos.2015.02.016.
- Cabral Neto, I., Nannini, F., Valdir Silveira, F., and Matos Cunha, L., 2017, Áreas kimberlíticas e diamantíferas do estado de Minas Gerais: Programa Geologia do Brasil, Série Pedras Preciosas nº 10, Projeto Diamante, Serviço Geológico do Brasil - CPRM.
- Canil, D., and Bellis, A.J., 2007, Ferric Iron in CaTiO₃ Perovskite as an Oxygen Barometer for Kimberlite Magmas II: Applications: *Journal of Petrology*, v. 48, p. 231–252, doi:10.1093/petrology/egl067.
- Carlson, R.W., Esperança, S., and Svisero, D.P., 1996, Chemical and Os isotopic study of Cretaceous potassic rocks from Southern Brazil: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 125, p. 393–405, doi:10.1007/s004100050230.
- Caro, G., Kopylova, M.G., and Creaser, R.A., 2004, The hypabyssal 5034 kimberlite of the Gahcho Kue cluster, southeastern Slave craton, northwest territories, Canada: A granite-contaminated group-I kimberlite: *Canadian Mineralogist*, v. 42, p. 183–207.
- Clement, C.R., 1982, A comparative geological study of some major kimberlite pipes in the Northern Cape and Orange Free State: [Phd Thesis].
- DePaolo, D.J., 1981, Trace element and isotopic effects of combined wallrock assimilation and fractional crystallization: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 53, p. 189–202, doi:10.1016/0012-821X(81)90153-9.
- Droop, G.T.R., 1987, A general equation for estimating Fe³⁺ concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses, using stoichiometric criteria: *Mineralogical*

magazine, v. 51, p. 431–435.

- Ersoy, E.Y., 2013, PETROMODELER (Petrological Modeler): a Microsoft® Excel© spreadsheet program for modelling melting, mixing, crystallization and assimilation processes in magmatic systems: *Turkish Journal of Earth Sciences*, v. 22, p. 115–125.
- Faure, G., 2001, *Origin of Igneous Rocks: The Isotopic Evidence*: Springer Science & Business Media, 496 p., doi:10.1007/978-3-662-04474-2.
- Faure, G., and Mensing, T.M., 2005, *Isotopes : principles and applications.*: Wiley, 897 p.
- Féboli, W.L., and Pinheiro, M.A.P., 2014, Carta Geológica Preliminar, Folha SE.23-Y-A-V - MONTE CARMELO, Escala 1:100.000 - CPRM - 2014:
- Fedortchouk, Y., and Canil, D., 2004, Intensive variables in kimberlite magmas, Lac de Gras, Canada and implications for diamond survival: *Journal of Petrology*, v. 45, p. 1725–1745.
- Ferracutti, G.R., Gargiulo, M.F., Ganuza, M.L., Bjerg, E.A., and Castro, S.M., 2015, Determination of the spinel group end-members based on electron microprobe analyses: *Mineralogy and Petrology*, v. 109, p. 153–160.
- Foley, S., 1992, Vein-plus-wall-rock melting mechanisms in the lithosphere and the origin of potassic alkaline magmas: *Lithos*, v. 28, p. 435–453, doi:10.1016/0024-4937(92)90018-T.
- Foley, S.F., Jacob, D.E., and O'Neill, H.S.C., 2011, Trace element variations in olivine phenocrysts from Ugandan potassic rocks as clues to the chemical characteristics of parental magmas: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 162, p. 1–20, doi:10.1007/s00410-010-0579-y.
- Foley, S.F., Prelevic, D., Rehfeldt, T., and Jacob, D.E., 2013, Minor and trace elements in olivines as probes into early igneous and mantle melting processes: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 363, p. 181–191, doi:10.1016/j.epsl.2012.11.025.
- Foley, S.F., Venturelli, G., Green, D.H., and Toscani, L., 1987, The ultrapotassic rocks: Characteristics, classification, and constraints for petrogenetic models: *Earth Science Reviews*, v. 24, p. 81–134, doi:10.1016/0012-8252(87)90001-8.
- Gibson, S.A., Thompson, R.N., Leonardos, O.H., Dickin, A.P., and Mitchell, J.G., 1995, The late cretaceous impact of the trindade mantle plume: Evidence from large-volume, mafic, potassic magmatism in SE Brazil: *Journal of Petrology*, v. 36, p. 189–229,

doi:10.1093/petrology/36.1.189.

- Gomes, C.B., and Comin-Chiaramonti, P., 2005, Some notes on the Alto Paranaíba igneous province, *in* Comin-Chiaramonti, P. and Gomes, C.B. eds., Mesozoic to Cenozoic alkaline magmatism in the Brazilian Platform, São Paulo, Edusp-Fapesp, p. 317–340.
- Grapes, R.H., 2006, Pyrometamorphism: Berlin/Heidelberg, Springer-Verlag, 275 p., doi:10.1007/3-540-29454-6.
- Griffin, W.L., 2008, GLITTER: data reduction software for laser ablation ICP-MS: Laser Ablation ICP-MS in the Earth Sciences: Current practices and outstanding issues, p. 308–311.
- Gualda, G.A.R., and Ghiorso, M.S., 2015, MELTS_Excel: A Microsoft Excel-based MELTS interface for research and teaching of magma properties and evolution: *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, v. 16, p. 315–324.
- Guarino, V., Wu, F.Y., Lustrino, M., Melluso, L., Brotzu, P., Gomes, C. de B., Ruberti, E., Tassinari, C.C.G., and Svisero, D.P., 2013, U-Pb ages, Sr-Nd- isotope geochemistry, and petrogenesis of kimberlites, kamafugites and phlogopite-picrites of the Alto Paranaíba Igneous Province, Brazil: *Chemical Geology*, v. 353, p. 65–82, doi:10.1016/j.chemgeo.2012.06.016.
- Gudfinnsson, G.H., and Presnall, D.C., 2005, Continuous gradations among primary carbonatitic, kimberlitic, melilititic, basaltic, picritic, and komatiitic melts in equilibrium with garnet lherzolite at 3-8 GPa: *Journal of Petrology*, v. 46, p. 1645–1659, doi:10.1093/petrology/egi029.
- Gupta, A.K., 2015, Origin of potassium-rich silica-deficient igneous rocks: New Delhi, Springer India, 536 p., doi:10.1007/978-81-322-2083-1.
- Hama, M., Algarte, J.P., Kaefer, L.O., and Artur, A.C., 1979, Idade Rb/Sr e K/Ar na região sul de Minas Gerais e leste de São Paulo: *Simpósio Regional de Geologia*, v. 1, p. 71–86.
- Haralyi, N.L.E., and Svisero, D.P., 1984, Metodologia geofísica integrada aplicada à prospecção de kimberlitos da região oeste de Minas Gerais: *Revista Brasileira de Geociências*, v. 14, p. 12–22.
- Hasui, Y., and Cordani, U.G., 1968, Idades potássio-argônio de rochas eruptivas mesozóicas do oeste mineiro e sul de Goiás, *in* Congresso Brasileiro de Geologia, v. 22, p. 139–143.

- Hibbard, M.J., 1995, *Petrography to petrogenesis*: Englewood Cliffs, Prentice Hall, Inc, 587 p.
- Huppert, H.E., Stephen, R., and Sparks, J., 1985, Cooling and contamination of mafic and ultramafic magmas during ascent through continental crust: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 74, p. 371–386, doi:10.1016/S0012-821X(85)80009-1.
- Ibhi, A., Nachit, H., and El Abia, H., 2005, Titanium and barium incorporation into the phyllosilicate phases: The example of phlogopite-kinoshitalite solid solution, *in* *Journal de Physique IV (Proceedings)*, EDP sciences, v. 123, p. 331–335.
- Irvine, T.N., 1965, Chromian spinel as a petrogenetic indicator: *Canadian Journal of Earth Sciences*, doi:10.1139/e67-004.
- Kjarsgaard, B.A., Pearson, D.G., Tappe, S., Nowell, G.M., and Dowall, D.P., 2009, Geochemistry of hypabyssal kimberlites from Lac de Gras, Canada: Comparisons to a global database and applications to the parent magma problem: *Lithos*, v. 112, p. 236–248, doi:10.1016/j.lithos.2009.06.001.
- Klein, C., and Dutrow, B., 2009, *Manual de ciência dos minerais*: Bookman Editora.
- De la Roche, H., Leterrier, J., Grandclaude, P., and Marchal, M., 1980, A classification of volcanic and plutonic rocks using R1R2-diagram and major-element analyses - Its relationships with current nomenclature: *Chemical Geology*, doi:10.1016/0009-2541(80)90020-0.
- Leeman, W.P., and Hawkesworth, C.J., 1986, Open magma systems: trace element and isotopic constraints: *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, v. 91, p. 5901–5912.
- Locock, A.J., and Mitchell, R.H., 2018, Perovskite classification: An Excel spreadsheet to determine and depict end-member proportions for the perovskite- and vapnikite-subgroups of the perovskite supergroup: *Computers and Geosciences*, v. 113, p. 106–114, doi:10.1016/j.cageo.2018.01.012.
- Malarkey, J., Pearson, D.G., Kjarsgaard, B.A., Davidson, J.P., Nowell, G.M., Ottley, C.J., and Stammer, J., 2010, From source to crust: Tracing magmatic evolution in a kimberlite and a melilitite using microsample geochemistry: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 299, p. 80–90, doi:10.1016/j.epsl.2010.08.020.
- Melluso, L., Lustrino, M., Ruberti, E., Brotzu, P., de Barros Gomes, C., Morbidelli, L., Morra, V., Svisero, D.P., and D'Amelio, F., 2008, Major- and trace-element composition of

- olivine, perovskite, clinopyroxene, Cr-Fe-Ti oxides, phlogopite and host kamafugites and kimberlites, Alto Paranaíba, Brazil: *Canadian Mineralogist*, v. 46, p. 19–40, doi:10.3749/canmin.46.1.19.
- Menezes, S.G. et al., 2015, The antecryst compositional influence on Cretaceous alkaline lamprophyre dykes, SE Brazil: *Brazilian Journal of Geology*, v. 45, p. 79–93, doi:10.1590/23174889201500010006.
- Meyer, H.O.A., Garwood, B.L., Svisero, D.P., and Smith, C.B., 1994, Alkaline intrusions in western Minas Gerais, Brazil, *in* Proceedings of the 5th International Kimberlite Conference, Araxá, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, p. 140–155.
- Mitchell, R.H., 1995a, Kimberlites, Orangeites, and Related Rocks: New York, Plenum Press, 410 p.
- Mitchell, R.H., 1986, Kimberlites: Mineralogy, Geochemistry, and Petrology.: New York, Plenum Press, 442 p.
- Mitchell, R.H., 1995b, Perovskites: a revised classification scheme for an important rare earth element host in alkaline rocks, *in* Mineralogical Society Series, Chapman & Hall, v. 7, p. 41–76.
- Mitchell, R.H., Welch, M.D., and Chakhmouradian, A.R., 2017, Nomenclature of the perovskite supergroup : A hierarchical system of classification based on crystal structure and composition: *Mineralogical Magazine*, v. 81, p. 411–461.
- Morbidelli, L., Gomes, C.B., Beccaluva, L., Brotzu, P., Conte, A.M., Ruberti, E., and Traversa, G., 1995, Mineralogical, petrological and geochemical aspects of alkaline and alkaline-carbonatite associations from Brazil: *Earth-Science Reviews*, v. 39, p. 135–168.
- Mori, P.E., Reeves, S., Correia, C.T., and Haukka, M., 1999, Development of a fused glass disc XRF facility and comparison with the pressed powder pellet technique at Instituto de Geociencias, Sao Paulo University: *Revista Brasileira de Geociencias*, v. 29, p. 441–6, doi:10.5327/rbg.v29i3.715.
- Morimoto, N., 1988, Nomenclature of Pyroxenes: *Mineralogy and Petrology*, v. 39, p. 55–76, doi:10.1007/BF01226262.
- Nielsen, R., 2006, Geochemical earth reference model (GERM) partition coefficient (Kd) database:, <https://earthref.org/KDD/> (acessado em novembro de 2017).

- Patterson, M., Francis, D., and McCandless, T., 2009, Kimberlites: Magmas or mixtures? *Lithos*, v. 112, p. 191–200, doi:10.1016/j.lithos.2009.06.004.
- Perugini, D., and Poli, G., 2012, The mixing of magmas in plutonic and volcanic environments: Analogies and differences: *Lithos*, v. 153, p. 261–277, doi:10.1016/j.lithos.2012.02.002.
- Philpotts, A.R., Pattison, E.F., and Fox, J.S., 1967, Kalsilite, diopside and melilite in a sedimentary xenolith from Brome Mountain, Quebec: *Nature*, v. 214, p. 1322–1323.
- Putirka, K.D., 2008, Thermometers and Barometers for Volcanic Systems: Reviews in Mineralogy and Geochemistry, v. 69, p. 61–120, doi:10.2138/rmg.2008.69.3.
- Reiners, P.W., Nelson, B.K., and Ghiorso, M.S., 1995, Assimilation of felsic crust by basaltic magma: Thermal limits and extents of crustal contamination of mantle-derived magmas: *Geology*, v. 23, p. 563, doi:10.1130/0091-7613(1995)023<0563:AOFBB>2.3.CO;2.
- Riccomini, C., Velázquez, V.F., and Gomes, C.B., 2005, Tectonic controls of the Mesozoic and Cenozoic alkaline magmatism in central-southeastern Brazilian platform., *in* Comin-Chiaromonte, P. and Gomes, C.B. eds., *Mesozoic to Cenozoic Alkaline Magmatism in the Brazilian Platform*, São Paulo, Edusp-Fapesp, p. 31–55.
- Rieder, M. et al., 1998, Nomenclature of the micas: *Canadian Mineralogist*, v. 36, p. 905–912, doi:10.1346/CCMN.1998.0460513.
- Le Roex, A.P., Bell, D.R., and Davis, P., 2003, Petrogenesis of Group I Kimberlites from Kimberley, South Africa: Evidence from Bulk-rock Geochemistry: *Journal of Petrology*, v. 44, p. 2261–2286, doi:10.1093/petrology/egg077.
- Rollinson, H.R., 1993, *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*: London, Longman Scientific & Technical, 352 p.
- Sahama, T.G., 1974, Potassium-rich alkaline rocks, *in* Sørensen, H. ed., *The alkaline rocks*, New York, Wiley, NY, p. 96–100.
- Sato, Kei, Tassinari, C.C.G., Kawashita, K., Petronilho, L., 1995, O método geocronológico Sm-Nd no IG-USP e suas aplicações: *An. Acad. Bras. Cienc.*, v. 67, p. 313–336.
- Seer, H.J., and Moraes, L., 2013, Within plate, arc, and collisional Neoproterozoic granitic magmatism in the Araxá Group, Southern Brasília belt, Minas Gerais, Brazil: *Brazilian Journal of Geology*, v. 43, p. 333–354, doi:10.5327/Z2317-48892013000200010.

- Severin, K.P., 2004, *Energy Dispersive Spectrometry of Common Rock Forming Minerals*: Dordrecht, Springer Netherlands, doi:10.1007/978-1-4020-2841-0.
- Sgarbi, P.B.A., Gaspar, J.C., and Valença, J.G., 2000, Clinopyroxene from Brazilian kamafugites: *Lithos*, v. 53, p. 101–116, doi:10.1016/S0024-4937(00)00011-6.
- Sgarbi, P.B.A., Heaman, L.M., and Gaspar, J.C., 2004, U-Pb perovskite ages for brazilian kamafugitic rocks: Further support for a temporal link to a mantle plume hotspot track: *Journal of South American Earth Sciences*, v. 16, p. 715–724, doi:10.1016/j.jsames.2003.12.005.
- Silva, S.D.A., 2008, *Petrografia E Química Mineral Das Intrusões Indaiá I E Indaiá II , Oeste Do Estado De Minas Gerais*: Universidade de São Paulo.
- Skinner, E.M.W., and Marsh, J.S., 2004, Distinct kimberlite pipe classes with contrasting eruption processes: *Lithos*, v. 76, p. 183–200.
- Sonoki, I.K., and Garda, G.M., 1988, Idades K-Ar de rochas alcalinas do Brasil Meridional e Paraguai Oriental: compilação e adaptação às novas constantes de decaimento: *Boletim IG-USP. Série Científica*, v. 19, p. 63–85.
- Sparks, R.S.J., 2013, Kimberlite Volcanism: *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, v. 41, p. 497–528, doi:10.1146/annurev-earth-042711-105252.
- Sparks, R.S.J., Brooker, R.A., Field, M., Kavanagh, J., Schumacher, J.C., Walter, M.J., and White, J., 2009, The nature of erupting kimberlite melts: *Lithos*, v. 112, p. 429–438, doi:10.1016/j.lithos.2009.05.032.
- Spear, F.S., 1993, Spear, F. S. (1993). *Metamorphic Phase Equilibria and Pressure–Temperature–Time Paths* (Mineralogi, p. 799). Washington, D.C.: Mineralogical Society of America Washington, DC, v. 1, 799 p.
- Steiger, R.H., and Jäger, E., 1977, Subcommittee on geochronology: Convention on the use of decay constants in geo- and cosmochemistry: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 36, p. 359–362, doi:10.1016/0012-821X(77)90060-7.
- Stoppa, F., and Sharygin, V. V., 2009, Melilitolite intrusion and pelite digestion by high temperature kamafugitic magma at Colle Fabbri, Spoleto, Italy: *Lithos*, v. 112, p. 306–320, doi:10.1016/j.lithos.2009.03.001.

- Streck, M.J., 2008, Mineral textures and zoning as evidence for open system processes: *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, v. 69, p. 595–622.
- Tegner, C., Wilson, J.R., and Robins, B., 2005, Crustal assimilation in basalt and jotunite: Constraints from layered intrusions: *Lithos*, v. 83, p. 299–316, doi:10.1016/j.lithos.2005.03.007.
- Torquato, J.R., and Kawashita, K., 1994, Geocronologia nuclear – O método Rb/Sr: *Revista de Geologia*, v. 7, p. 91–123.
- Ubide, T., Arranz, E., Lago, M., Gal??, C., and Larrea, P., 2012, The influence of crystal settling on the compositional zoning of a thin lamprophyre sill: A multi-method approach: *Lithos*, v. 132–133, p. 37–49, doi:10.1016/j.lithos.2011.11.012.
- Vernon, R.H., 2004, *A Practical Guide to Rock Microstructure*., doi:10.1017/CBO9780511807206.
- Vuorinen, J.H., and Skelton, A.D.L., 2004, Origin of silicate minerals in carbonatites from Alnö Island, Sweden: Magmatic crystallization or wall rock assimilation? *Terra Nova*, v. 16, p. 210–215, doi:10.1111/j.1365-3121.2004.00557.x.
- Yavuz, F., 2013, WinPyrox: A Windows program for pyroxene calculation classification and thermobarometry: *American Mineralogist*, v. 98, p. 1338–1359, doi:10.2138/am.2013.4292.

APÊNDICE A: DADOS DE QUÍMICA MINERAL

Apêndice A - Tabela 1 Composição em óxidos (% massa) e fórmula estrutural das olivinas da intrusão Indaiá II (continua)

Amostra	A3-2	A3-2	C1-1	B1-3	A3-2	B1-3	A2-3
Grão ¹	6MC	6MC	2MC	1MC	1MC	2MC	1MC
Localização ²	n	n	n	n	n	n	n
SiO ₂	41.24	41.09	41.17	40.88	41.24	40.62	40.66
Al ₂ O ₃		0.02	0.04				0.21
TiO ₂	0.05	0.02	0.02	0.01			0.09
FeO	7.42	7.64	7.92	7.85	8.16	8.18	8.31
MnO	0.11	0.12	0.12	0.13	0.12	0.11	0.11
MgO	51.63	51.63	51.16	50.62	51.36	50.40	50.86
CaO	0.01	0.06	0.01				
Na ₂ O			0.03	0.01			
K ₂ O	0.01	0.01	0.02		0.02		
NiO	0.39	0.41	0.40	0.39	0.42	0.40	0.39
Cr ₂ O ₃	0.01	0.01	0.05		0.02		
Total	100.88	101.01	100.93	99.88	101.34	99.71	100.64
<i>Fórmula estrutural na base de 4 oxigênios</i>							
Si	0.993	0.989	0.993	0.996	0.992	0.993	0.986
Al		0.001	0.001				0.006
Ti	0.001						0.002
Fe ⁺²	0.149	0.154	0.160	0.160	0.164	0.167	0.168
Mn	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.002	0.002
Mg	1.853	1.853	1.839	1.838	1.841	1.837	1.838
Ca		0.001					
K			0.001		0.001		
<i>Componentes Moleculares (%)</i>							
Forsterita	92.54	92.33	92.01	92.00	91.82	91.65	91.60
Faialita	7.46	7.67	7.99	8.00	8.18	8.35	8.40

¹ Abreviações: MC = macrocristal; X = xenocristal; MTZ = cristal da matriz; EU = euédrico.

² Localização da análise no grão: n = núcleo, i = intermédio, b = borda, mtz = cristal da matriz.

Apêndice A - Tabela 1 Composição em óxidos (% massa) e fórmula estrutural das olivinas da intrusão Indaiá II (continuação)

Amostra	A2-3	A3-4	C1-2	B1-3	C1-2	A3-4	C1-2
Grão ¹	3MC	2X	1MC	7MC_EU	6MC	1X	4MC
Localização ²	n		n	n	n		n
SiO ₂	40.53	40.95	40.72	40.84	40.85	40.75	40.67
Al ₂ O ₃	0.01	0.02	0.02	0.01			
TiO ₂			0.01				
FeO	8.25	8.69	8.80	8.72	8.87	9.05	9.08
MnO	0.14	0.11	0.18	0.17	0.18	0.13	0.18
MgO	50.49	50.22	50.71	49.87	50.39	50.66	50.13
CaO	0.08	0.01	0.02	0.02			0.02
Na ₂ O				0.01	0.02	0.01	
K ₂ O	0.02			0.01		0.01	0.01
NiO	0.41	0.43	0.37	0.36	0.37	0.42	0.38
Cr ₂ O ₃	0.07	0.07			0.01		
Total	100.01	100.49	100.83	100.01	100.68	101.03	100.47
<i>Fórmula estrutural na base de 4 oxigênios</i>							
Si	0.989	0.995	0.988	0.997	0.992	0.988	0.991
Al		0.001	0.001				
Ti							
Fe ⁺²	0.168	0.177	0.179	0.178	0.180	0.183	0.185
Mn	0.003	0.002	0.004	0.004	0.004	0.003	0.004
Mg	1.837	1.819	1.834	1.815	1.824	1.830	1.821
Ca	0.002			0.001			0.001
K	0.001						
Na				0.001	0.001		
Ni	0.008	0.008	0.007	0.007	0.007	0.008	0.007
Cr	0.001	0.001					
∑ cátions	3.010	3.004	3.011	3.002	3.008	3.012	3.009
mg# ³	0.916	0.912	0.911	0.911	0.910	0.909	0.908
<i>Componentes Moleculares (%)</i>							
Forsterita	91.60	91.15	91.13	91.07	91.01	90.89	90.78
Faialita	8.40	8.85	8.87	8.93	8.99	9.11	9.22

¹ Abreviações: MC = macrocristal; X = xenocristal; MTZ = cristal da matriz; EU = euédrico.

² Localização da análise no grão: n = núcleo, i = intermédio, b = borda, mtz = cristal da matriz.

Apêndice A – Tabela 1 Composição em óxidos (% massa) e fórmula estrutural das olivinas da intrusão indaiá II (continuação)

Amostra	C1-2	A3-4	A3-4	A2-3	A3-4	A2-3	C1-1
Grão ¹	2MC	5MC	2MC	3MC	4MC	4MC	2MC
Localização ²	n	n	n	b	b	b	b
SiO ₂	40.84	40.84	40.97	39.99	40.22	40.37	40.44
Al ₂ O ₃	0.01	0.04	0.01	0.01	0.02	0.03	0.08
TiO ₂				0.01	0.06	0.09	0.03
FeO	9.42	9.72	9.80	9.95	9.96	9.85	10.03
MnO	0.17	0.18	0.12	0.20	0.17	0.21	0.21
MgO	50.07	49.63	49.38	49.23	49.27	48.59	49.41
CaO	0.01			0.28	0.35	0.39	0.31
Na ₂ O	0.01			0.01		0.01	0.03
K ₂ O			0.01			0.01	0.04
NiO	0.38	0.35	0.37	0.20	0.23	0.21	0.23
Cr ₂ O ₃	0.05			0.04	0.03	0.04	0.06
Total	100.96	100.76	100.67	99.94	100.31	99.80	100.87
<i>Fórmula estrutural na base de 4 oxigênios</i>							
Si	0.992	0.994	0.998	0.985	0.987	0.994	0.987
Al		0.001			0.001	0.001	0.002
Ti					0.001	0.002	
Fe ⁺²	0.191	0.198	0.200	0.205	0.204	0.203	0.205
Mn	0.004	0.004	0.002	0.004	0.004	0.004	0.004
Mg	1.812	1.801	1.793	1.807	1.802	1.784	1.797
Ca				0.008	0.009	0.010	0.008
K							0.001
Na				0.001			0.001
Ni	0.007	0.007	0.007	0.004	0.004	0.004	0.004
Cr	0.001			0.001	0.001	0.001	0.001
∑ cátions	3.007	3.005	3.001	3.014	3.012	3.003	3.012
mg# ³	0.905	0.901	0.900	0.898	0.898	0.898	0.898
<i>Componentes Moleculares (%)</i>							
Forsterita	90.45	90.10	89.98	89.82	89.81	89.79	89.78
Faialita	9.55	9.90	10.02	10.18	10.19	10.21	10.22

¹ Abreviações: MC = macrocristal; X = xenocristal; MTZ = cristal da matriz; EU = euédrico.

² Localização da análise no grão: n = núcleo, i = intermédio, b = borda, mtz = cristal da matriz.

Apêndice A - Tabela 1 composição em óxidos (% massa) e fórmula estrutural das olivinas da intrusão indaiá ii (continuação)

Amostra	A3-2	A3-2	A3-2	A3-4	C1-1	A3-4	A2-3
Grão ¹	6MC	3MTZ	4MTZ	6MTZ	2MC	1MC	2MC
Localização ²	b	n	n	mtz	b	b	n
SiO ₂	39.99	40.71	40.71	40.51	40.55	39.96	40.30
Al ₂ O ₃	0.02	0.02	0.02		0.02	0.01	0.03
TiO ₂	0.06	0.06	0.06	0.09	0.06	0.01	0.02
FeO	10.22	10.03	10.03	10.05	10.06	10.20	10.05
MnO	0.25	0.17	0.17	0.20	0.22	0.19	0.10
MgO	50.07	49.12	49.12	49.09	49.05	49.55	48.70
CaO	0.71	0.29	0.29	0.37	0.43	0.41	0.09
Na ₂ O	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.03
K ₂ O				0.02	0.03		
NiO	0.14	0.22	0.22	0.25	0.17	0.19	0.44
Cr ₂ O ₃	0.04	0.12	0.12	0.07	0.03	0.09	0.08
Total	101.53	100.75	100.75	100.67	100.63	100.63	99.85
Fórmula estrutural na base de 4 oxigênios							
Si	0.973	0.993	0.993	0.990	0.991	0.979	0.993
Al	0.001	0.001	0.001		0.001		0.001
Ti	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001		
Fe ⁺²	0.208	0.205	0.205	0.205	0.206	0.209	0.207
Mn	0.005	0.004	0.004	0.004	0.005	0.004	0.002
Mg	1.816	1.787	1.787	1.789	1.788	1.810	1.789
Ca	0.019	0.008	0.008	0.010	0.011	0.011	0.002
K				0.001	0.001		
Na	0.001			0.001	0.001	0.001	0.001
Ni	0.003	0.004	0.004	0.005	0.003	0.004	0.009
Cr	0.001	0.002	0.002	0.001		0.002	0.002
∑ cátions	3.026	3.004	3.004	3.008	3.007	3.020	3.006
mg# ³	0.897	0.897	0.897	0.897	0.897	0.896	0.896
Componentes Moleculares (%)							
Forsterita	89.73	89.72	89.72	89.70	89.68	89.65	89.62
Faialita	10.27	10.28	10.28	10.30	10.32	10.35	10.38

¹ Abreviações: MC = macrocristal; X = xenocristal; MTZ = cristal da matriz; EU = euédrico.

² Localização da análise no grão: n = núcleo, i = intermédio, b = borda, mtz = cristal da matriz

Apêndice A - Tabela 1 composição em óxidos (% massa) e fórmula estrutural das olivinas da intrusão indaiá ii (continuação)

Amostra	A3-4	C1-1	A2-3	A2-3	C1-1	C1-2	A3-4
Grão ¹	9MTZ	5MC	3MC	2MC	1MC	2MC	10MTZ
Localização ²	n	b	b	b	b	b	b
SiO ₂	40.02	40.05	40.87	40.18	40.51	40.30	40.19
Al ₂ O ₃	0.03	0.02	0.03	0.04	0.02	0.02	0.03
TiO ₂	0.05	0.04	0.06	0.10	0.07	0.11	0.13
FeO	10.04	10.26	9.99	10.15	10.30	10.28	10.18
MnO	0.24	0.24	0.20	0.20	0.22	0.22	0.25
MgO	48.60	49.58	48.25	48.98	49.50	49.24	48.75
CaO	0.43	0.39	0.35	0.38	0.36	0.45	0.60
Na ₂ O		0.01		0.01		0.01	
K ₂ O		0.03			0.01	0.02	0.03
NiO	0.19	0.20	0.21	0.21	0.19	0.15	0.13
Cr ₂ O ₃	0.02	0.03	0.09	0.02	0.01		0.04
Total	99.61	100.83	100.06	100.28	101.18	100.80	100.34
Si	0.989	0.980	1.003	0.987	0.986	0.985	0.987
Al	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Ti	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.002	0.002
Fe ⁺²	0.208	0.210	0.205	0.208	0.210	0.210	0.209
Mn	0.005	0.005	0.004	0.004	0.005	0.005	0.005
Mg	1.791	1.808	1.765	1.793	1.796	1.795	1.785
Ca	0.011	0.010	0.009	0.010	0.009	0.012	0.016
K		0.001				0.001	0.001
Na				0.001			
Ni	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003
Cr		0.001	0.002				0.001
∑ cátions	3.009	3.019	2.995	3.011	3.012	3.012	3.010
mg# ³	0.896	0.896	0.896	0.896	0.895	0.895	0.895
Forsterita	89.61	89.60	89.59	89.59	89.55	89.52	89.51
Faialita	10.39	10.40	10.41	10.41	10.45	10.48	10.49

¹ Abreviações: MC = macrocristal; X = xenocristal; MTZ = cristal da matriz; EU = euédrico.

² Localização da análise no grão: n = núcleo, i = intermédio, b = borda, mtz = cristal da matriz

Apêndice A – Tabela 1 Composição em óxidos (% massa) e fórmula estrutural das olivinas da intrusão Indaiá II (continuação)

Amostra	B1-3	B1-3	C1-1	B1-3	A3-2	C1-1	A3-4
Grão ¹	6MC_EU	7MC_EU	3MC	8MTZ	3MTZ	7MTZ	3MC
Localização ²	b	b	b	n	n3	n	b
SiO ₂	40.27	40.18	40.80	40.14	40.51	40.58	40.35
Al ₂ O ₃	0.03	0.04	0.01	0.03		0.02	0.02
TiO ₂	0.04	0.01		0.04	0.03	0.01	0.05
FeO	10.29	10.35	10.48	10.44	10.50	10.62	10.59
MnO	0.19	0.21	0.19	0.19	0.18	0.14	0.18
MgO	47.94	48.19	48.61	48.32	48.55	49.08	48.89
CaO	0.34	0.43	0.26	0.20	0.36	0.06	0.18
Na ₂ O	0.03	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02
K ₂ O				0.00	0.02		
NiO	0.19	0.15	0.24	0.28	0.18	0.39	0.33
Cr ₂ O ₃	0.02	0.05		0.05	0.05	0.04	0.07
Total	99.34	99.63	100.61	99.71	100.39	100.96	100.68
<i>Fórmula estrutural na base de 4 oxigênios</i>							
Si	0.998	0.994	0.998	0.992	0.994	0.991	0.989
Al	0.001	0.001		0.001			0.001
Ti	0.001			0.001	0.001		0.001
Fe ⁺²	0.213	0.214	0.214	0.216	0.216	0.217	0.217
Mn	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.004
Mg	1.771	1.776	1.773	1.780	1.776	1.787	1.786
Ca	0.009	0.011	0.007	0.005	0.009	0.002	0.005
K							
Na	0.002		0.001		0.001	0.001	0.001
Ni	0.004	0.003	0.005	0.006	0.004	0.008	0.007
Cr		0.001		0.001	0.001	0.001	0.001
∑ cátions	3.001	3.005	3.002	3.006	3.005	3.008	3.010
mg# ³	0.893	0.892	0.892	0.892	0.892	0.892	0.892
<i>Componentes Moleculares (%)</i>							
Forsterita	89.25	89.25	89.21	89.19	89.18	89.18	89.17
Faialita	10.75	10.75	10.79	10.81	10.82	10.82	10.83

¹ Abreviações: MC = macrocristal; X = xenocristal; MTZ = cristal da matriz; EU = euédrico.

² Localização da análise no grão: n = núcleo, i = intermédio, b = borda, mtz = cristal da matriz

Apêndice A – Tabela 1 Composição em óxidos (% massa) e fórmula estrutural das olivinas da intrusão Indaiá II (continuação)

Amostra	A3-4	C1-2	C1-2	C1-2	C1-1	C1-2	C1-2
Grão ¹	2MC	4MC	3MTZ	4MC	3MC	2MC	1MC
Localização ²	b	b	n	b	b	i	i
SiO ₂	40.33	40.31	40.33	40.21	40.61	40.46	40.29
Al ₂ O ₃			0.01	0.02	0.02		
TiO ₂	0.04	0.02		0.05	0.02	0.07	0.03
FeO	10.67	10.64	10.65	10.87	10.83	11.02	10.86
MnO	0.15	0.19	0.20	0.17	0.20	0.17	0.16
MgO	48.62	48.47	48.48	48.83	48.43	49.13	48.40
CaO	0.17	0.29	0.18	0.16	0.21	0.27	0.15
Na ₂ O	0.02	0.03	0.03		0.02	0.02	0.01
K ₂ O		0.04			0.01	0.03	
NiO	0.37	0.31	0.32	0.31	0.29	0.30	0.34
Cr ₂ O ₃	0.05	0.10	0.06	0.08	0.01	0.03	0.15
Total	100.40	100.39	100.27	100.70	100.65	101.51	100.41
<i>Fórmula estrutural na base de 4 oxigênios</i>							
Si	0.991	0.991	0.992	0.986	0.995	0.985	0.991
Al							
Ti	0.001			0.001		0.001	0.001
Fe ⁺²	0.219	0.219	0.219	0.223	0.222	0.224	0.223
Mn	0.003	0.004	0.004	0.003	0.004	0.003	0.003
Mg	1.781	1.776	1.778	1.785	1.770	1.784	1.775
Ca	0.004	0.008	0.005	0.004	0.005	0.007	0.004
K		0.001				0.001	
Na	0.001	0.001	0.001		0.001	0.001	0.001
Ni	0.007	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.007
Cr	0.001	0.002	0.001	0.002		0.001	0.003
∑ cátions	3.008	3.009	3.007	3.011	3.003	3.014	3.007
mg# ³	0.890	0.890	0.890	0.889	0.889	0.888	0.888
<i>Componentes Moleculares (%)</i>							
Forsterita	89.04	89.04	89.03	88.90	88.85	88.82	88.82
Faialita	10.96	10.96	10.97	11.10	11.15	11.18	11.18

¹ Abreviações: MC = macrocristal; X = xenocristal; MTZ = cristal da matriz; EU = euédrico.

² Localização da análise no grão: n = núcleo, i = intermédio, b = borda, mtz = cristal da matriz

Apêndice A – Tabela 1 Composição em óxidos (% massa) e fórmula estrutural das olivinas da intrusão Indaiá II (continuação)

Amostra	A2-3	A3-2	A2-3	A2-3	A3-4	C1-1	B1-3
Grão ¹	3MC	2MC	2MC	2MC	9MTZ	8MTZ	2MC
Localização ²	i	b	n	zona clara	b		b
SiO ₂	40.33	39.88	40.12	39.47	40.13	40.33	40.28
Al ₂ O ₃	0.02	0.21	0.03		0.03	0.03	0.03
TiO ₂	0.02	0.03		0.01		0.10	0.14
FeO	10.91	10.98	10.87	14.36	10.88	10.98	10.88
MnO	0.17	0.15	0.16	0.49	0.31	0.21	0.26
MgO	48.58	48.72	48.16	44.94	48.08	48.39	47.92
CaO	0.12	0.15	0.14	0.32	0.48	0.31	0.58
Na ₂ O	0.01	0.01		0.03		0.03	
K ₂ O	0.01	0.02		0.03	0.05		0.01
NiO	0.42	0.41	0.41	0.28	0.16	0.20	0.12
Cr ₂ O ₃	0.05	0.28	0.04	0.10		0.04	
Total	100.64	100.85	99.92	100.02	100.13	100.62	100.21
Fórmula estrutural na base de 4 oxigênios							
Si	0.990	0.979	0.992	0.992	0.991	0.990	0.993
Al	0.001	0.006	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Ti						0.002	0.003
Fe ⁺²	0.224	0.225	0.225	0.225	0.225	0.225	0.224
Mn	0.003	0.003	0.003	0.003	0.007	0.004	0.005
Mg	1.778	1.783	1.775	1.775	1.769	1.771	1.761
Ca	0.003	0.004	0.004	0.004	0.013	0.008	0.015
K		0.001			0.001		
Na	0.001	0.001				0.001	
Ni	0.008	0.008	0.008	0.008	0.003	0.004	0.002
Cr	0.001	0.006	0.001	0.001		0.001	
∑ cátions	3.009	3.015	3.008	3.008	3.009	3.008	3.004
mg# ³	0.888	0.888	0.888	0.888	0.887	0.887	0.887
Componentes Moleculares (%)							
Forsterita	88.81	88.78	88.76	88.76	88.74	88.71	88.70
Faialita	11.19	11.22	11.24	11.24	11.26	11.29	11.30

¹ Abreviações: MC = macrocristal; X = xenocristal; MTZ = cristal da matriz; EU = euédrico.

² Localização da análise no grão: n = núcleo, i = intermédio, b = borda, mtz = cristal da matriz

Apêndice A – Tabela 1 Composição em óxidos (% massa) e fórmula estrutural das olivinas da intrusão Indaiá II (continuação)

Amostra	A3-2	B1-3	B1-3	A2-3	A3-4	B1-3	A2-3
Grão ¹	2MC	1MC	3MC	2MC	6MTZ	4MTZ	4MC
Localização ²	n	b	n	b	n	b	n
SiO ₂	40.57	39.86	40.31	40.18	40.33	40.32	40.06
Al ₂ O ₃		0.02			0.01	0.02	0.02
TiO ₂	0.05	0.03			0.07	0.08	0.02
FeO	11.08	11.07	10.89	11.14	11.08	10.84	11.16
MnO	0.16	0.27	0.17	0.15	0.18	0.30	0.14
MgO	48.69	48.55	47.54	48.47	48.11	47.04	48.37
CaO	0.15	0.32	0.14	0.15	0.13	0.01	0.15
Na ₂ O	0.02	0.01	0.02		0.01	0.01	0.02
K ₂ O	0.01	0.02				0.01	0.02
NiO	0.37	0.22	0.36	0.38	0.41	0.09	0.39
Cr ₂ O ₃	0.06		0.06	0.10	0.05		0.04
Total	101.16	100.38	99.50	100.56	100.39	99.71	100.40
<i>Fórmula estrutural na base de 4 oxigênios</i>							
Si	0.991	0.983	1.000	0.988	0.993	0.015	0.987
Al							0.001
Ti	0.001	0.001			0.001		
Fe ⁺²	0.226	0.228	0.226	0.229	0.228	0.003	0.230
Mn	0.003	0.006	0.004	0.003	0.004	0.000	0.003
Mg	1.773	1.785	1.758	1.777	1.766	0.026	1.777
Ca	0.004	0.008	0.004	0.004	0.003	3.942	0.004
K		0.001					0.001
Na	0.001	0.001	0.001		0.001		0.001
Ni	0.007	0.004	0.007	0.007	0.008		0.008
Cr	0.001		0.001	0.002	0.001		0.001
∑ cátions	3.008	3.016	3.000	3.011	3.005	3.985	3.012
mg# ³	0.887	0.887	0.886	0.886	0.886	0.886	0.885
<i>Componentes Moleculares (%)</i>							
Forsterita	88.68	88.66	88.61	88.58	88.56	88.55	88.54
Faialita	11.32	11.34	11.39	11.42	11.44	11.45	11.46

¹ Abreviações: MC = macrocristal; X = xenocristal; MTZ = cristal da matriz; EU = euédrico.

² Localização da análise no grão: n = núcleo, i = intermédio, b = borda, mtz = cristal da matriz

Apêndice A - Tabela 1 Composição em óxidos (% massa) e fórmula estrutural das olivinas da intrusão Indaiá II (continuação)

Amostra	B1-3	A2-3	A3-4	B1-3	A3-2	A3-2	C1-2
Grão ¹	6MC_EU	2MC	5MC	7MC_EU	3MTZ	4MTZ	1MC
Localização ²	n	b	b	n	n2	n	b
SiO ₂	39.85	40.59	40.14	39.96	40.23	40.23	38.72
Al ₂ O ₃		0.03	0.03	0.04	0.02	0.02	0.12
TiO ₂	0.04	0.04	0.05	0.06	0.08	0.08	0.10
FeO	11.16	11.20	11.41	11.46	11.92	11.92	10.96
MnO	0.16	0.17	0.15	0.15	0.26	0.26	0.27
MgO	48.08	47.93	47.90	47.50	48.11	48.11	43.61
CaO	0.15	0.11	0.16	0.17	0.43	0.43	0.83
Na ₂ O		0.02	0.02	0.05	0.02	0.02	0.02
K ₂ O			0.02	0.01			0.09
NiO	0.35	0.43	0.44	0.44	0.17	0.17	0.12
Cr ₂ O ₃	0.05	0.06	0.10	0.08	0.08	0.08	
Total	99.83	100.59	100.40	99.93	101.31	101.31	95.89
Fórmula estrutural na base de 4 oxigênios							
Si	0.988	0.997	0.990	0.991	0.986	0.986	1.011
Al		0.001	0.001	0.001			0.004
Ti	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002
Fe ⁺²	0.231	0.230	0.235	0.238	0.244	0.244	0.239
Mn	0.003	0.004	0.003	0.003	0.005	0.005	0.006
Mg	1.776	1.755	1.762	1.756	1.758	1.758	1.697
Ca	0.004	0.003	0.004	0.004	0.011	0.011	0.023
K			0.001				0.003
Na		0.001	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001
Ni	0.007	0.009	0.009	0.009	0.003	0.003	0.002
Cr	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	
∑ cátions	3.011	3.001	3.008	3.008	3.012	3.012	2.988
mg# ³	0.885	0.884	0.882	0.881	0.878	0.878	0.876
Componentes Moleculares (%)							
Forsterita	88.48	88.41	88.21	88.08	87.80	87.80	87.64
Faialita	11.52	11.59	11.79	11.92	12.20	12.20	12.36

¹ Abreviações: MC = macrocristal; X = xenocristal; MTZ = cristal da matriz; EU = euédrico.

² Localização da análise no grão: n = núcleo, i = intermédio, b = borda, mtz = cristal da matriz

Apêndice A - Tabela 1 Composição em óxidos (% massa) e fórmula estrutural das olivinas da intrusão Indaiá II (continuação)

Amostra	C1-1	A3-2	C1-1	C1-1	C1-1	C1-1	A3-4
Grão ¹	3MC	5MC_EU	4MC	4MC	3MC	3MC	9MTZ
Localização ²	n	n	n	n	i	n	n
SiO ₂	40.01	40.56	40.26	40.26	40.19	40.10	39.54
Al ₂ O ₃	0.05	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.04
TiO ₂	0.08	0.01	0.06	0.06		0.03	0.07
FeO	12.08	12.32	12.51	12.51	12.36	12.61	12.50
MnO	0.13	0.16	0.22	0.22	0.16	0.12	0.39
MgO	47.14	47.73	47.87	47.87	47.24	47.45	46.40
CaO	0.09	0.03	0.01	0.01	0.05	0.07	0.39
Na ₂ O	0.03				0.03	0.01	0.23
K ₂ O	0.03	0.02				0.02	0.47
NiO	0.41	0.35	0.29	0.29	0.43	0.44	0.22
Cr ₂ O ₃	0.06		0.04	0.04	0.06	0.06	0.02
Total	100.12	101.21	101.28	101.28	100.55	100.92	100.28
Fórmula estrutural na base de 4 oxigênios							
Si	0.992	0.995	0.988	0.988	0.993	0.989	0.986
Al	0.001				0.001	0.001	0.001
Ti	0.001		0.001	0.001			0.001
Fe ⁺²	0.251	0.253	0.257	0.257	0.256	0.260	0.261
Mn	0.003	0.003	0.005	0.005	0.003	0.002	0.008
Mg	1.743	1.745	1.752	1.752	1.741	1.745	1.725
Ca	0.002	0.001			0.001	0.002	0.011
K	0.001	0.001				0.001	0.015
Na	0.001	0.000			0.002	0.001	0.011
Ni	0.008	0.007	0.006	0.006	0.009	0.009	0.004
Cr	0.001		0.001	0.001	0.001	0.001	
∑ cátions	3.006	3.005	3.010	3.010	3.006	3.010	3.024
mg# ³	0.874	0.874	0.872	0.872	0.872	0.870	0.869
Componentes Moleculares (%)							
Forsterita	87.43	87.35	87.21	87.21	87.20	87.03	86.87
Faialita	12.57	12.65	12.79	12.79	12.80	12.97	13.13

¹ Abreviações: MC = macrocristal; X = xenocristal; MTZ = cristal da matriz; EU = euédrico.

² Localização da análise no grão: n = núcleo, i = intermédio, b = borda, mtz = cristal da matriz

Apêndice A - Tabela 1 Composição em óxidos (% massa) e fórmula estrutural das olivinas da intrusão Indaiá II (continuação)

Amostra	C1-2	C1-1	A2-3	A2-3	C1-1	C1-1	A3-4
Grão ¹	6MC	5MC	3MC	3MC	1MC	1MC	3MC
Localização ²	b	zona clara	n	n	n	n	n
SiO ₂	39.90	40.17	40.03	40.34	40.18	40.49	39.94
Al ₂ O ₃	0.02		0.03				
TiO ₂	0.03	0.07		0.05	0.01	0.07	
FeO	12.86	12.87	13.10	13.27	13.19	13.33	13.30
MnO	0.20	0.37	0.15	0.17	0.17	0.15	0.15
MgO	47.47	47.11	47.30	47.20	46.67	46.89	46.44
CaO	0.16	0.21	0.06	0.01	0.10	0.11	0.06
Na ₂ O	0.02	0.01	0.02	0.01	0.03	0.02	0.01
K ₂ O			0.01		0.02		0.01
NiO	0.28	0.34	0.37	0.41	0.39	0.39	0.39
Cr ₂ O ₃	0.04		0.02	0.01	0.08		0.06
Total	100.97	101.15	101.09	101.52	100.83	101.45	100.37
Fórmula estrutural na base de 4 oxigênios							
Si	0.985	0.990	0.988	0.992	0.994	0.995	0.993
Al			0.001				
Ti		0.001		0.001		0.001	
Fe ⁺²	0.266	0.265	0.270	0.273	0.273	0.274	0.277
Mn	0.004	0.008	0.003	0.004	0.004	0.003	0.003
Mg	1.747	1.731	1.740	1.730	1.721	1.718	1.722
Ca	0.004	0.006	0.002		0.003	0.003	0.002
K					0.001		
Na	0.001		0.001		0.001	0.001	
Ni	0.006	0.007	0.007	0.008	0.008	0.008	0.008
Cr	0.001				0.001		0.001
∑ cátions	3.013	3.008	3.012	3.007	3.006	3.004	3.006
mg# ³	0.868	0.867	0.866	0.864	0.863	0.862	0.862
Componentes Moleculares (%)							
Forsterita	86.81	86.71	86.55	86.38	86.31	86.25	86.16
Faialita	13.19	13.29	13.45	13.62	13.69	13.75	13.84

¹ Abreviações: MC = macrocristal; X = xenocristal; MTZ = cristal da matriz; EU = euédrico.

² Localização da análise no grão: n = núcleo, i = intermédio, b = borda, mtz = cristal da matriz

Apêndice A - Tabela 1 Composição em óxidos (% massa) e fórmula estrutural das olivinas da intrusão Indaiá II (continuação)

Amostra	C1-1	C1-1	A3-4	C1-1	C1-1	C1-2	A2-3
Grão ¹	4MC	4MC	10MTZ	6MC	6MC	1MC	3MTZ
Localização ²	b	b	n	1//3	3//3	zona clara	b clara
SiO ₂	41.13	41.13	39.94	39.46	39.95	39.80	39.44
Al ₂ O ₃	0.45	0.45	0.02	0.01	0.04	0.02	0.01
TiO ₂	0.13	0.13	0.07	0.10	0.01	0.02	0.04
FeO	13.07	13.07	13.68	13.90	13.93	14.30	14.39
MnO	0.32	0.32	0.50	0.16	0.46	0.54	0.58
MgO	45.55	45.55	45.52	46.04	45.30	45.17	45.33
CaO	0.14	0.14	0.45	0.05	0.50	0.51	0.55
Na ₂ O				0.01			0.01
K ₂ O	0.04	0.04			0.02	0.02	
NiO	0.25	0.25	0.25	0.20	0.31	0.32	0.17
Cr ₂ O ₃	0.02	0.02	0.07	0.14	0.03	0.03	0.01
Total	101.10	101.10	100.50	100.06	100.55	100.72	100.54
Fórmula estrutural na base de 4 oxigênios							
Si	1.011	1.011	0.995	0.987	0.996	0.993	0.987
Al	0.013	0.013	0.001		0.001	0.001	
Ti	0.002	0.002	0.001	0.002			0.001
Fe ⁺²	0.269	0.269	0.285	0.291	0.291	0.298	0.301
Mn	0.007	0.007	0.011	0.003	0.010	0.011	0.012
Mg	1.669	1.669	1.691	1.717	1.684	1.681	1.691
Ca	0.004	0.004	0.012	0.001	0.013	0.014	0.015
K	0.001	0.001				0.001	
Na							0.001
Ni	0.005	0.005	0.005	0.004	0.006	0.006	0.003
Cr			0.001	0.003	0.001	0.001	
∑ cátions	2.980	2.980	3.002	3.009	3.002	3.006	3.012
mg# ³	0.861	0.861	0.856	0.855	0.853	0.849	0.849
Componentes Moleculares (%)							
Forsterita	86.13	86.13	85.57	85.52	85.29	84.92	84.88
Faialita	13.87	13.87	14.43	14.48	14.71	15.08	15.12

¹ Abreviações: MC = macrocristal; X = xenocristal; MTZ = cristal da matriz; EU = euédrico.

² Localização da análise no grão: n = núcleo, i = intermédio, b = borda, mtz = cristal da matriz

Apêndice A - Tabela 1 Composição em óxidos (% massa) e fórmula estrutural das olivinas da intrusão Indaiá II (continuação)

Amostra	C1-1	C1-2	C1-2	A3-4	A2-3	B1-3	A3-2
Grão ¹	5MC	6MC	2MC	4MC	3MTZ	4MTZ	3MTZ
Localização ²	n	b	zona clara	n	zona clara	zona clara	b clara
SiO ₂	39.86	39.88	39.39	39.68	39.48	39.31	39.37
Al ₂ O ₃	0.01	0.01					
TiO ₂	0.01	0.03	0.03	0.02	0.07	0.05	0.01
FeO	14.68	14.52	14.70	14.88	15.14	15.27	15.80
MnO	0.20	0.63	0.65	0.27	0.64	0.60	0.65
MgO	45.81	44.99	44.95	45.36	44.25	44.07	43.85
CaO	0.04	0.63	0.58	0.01	0.50	0.55	0.45
Na ₂ O	0.02	0.01	0.01	0.01		0.02	
K ₂ O	0.03	0.01	0.01	0.02			
NiO	0.22	0.25	0.25	0.23	0.16	0.13	0.14
Cr ₂ O ₃		0.04		0.04	0.02		0.04
Total	100.87	101.01	100.58	100.51	100.27	100.02	100.32
Fórmula estrutural na base de 4 oxigênios							
Si	0.992	0.994	0.988	0.992	0.994	0.993	0.993
Al							
Ti		0.001	0.001		0.001	0.001	
Fe ⁺²	0.306	0.303	0.308	0.311	0.319	0.322	0.333
Mn	0.004	0.013	0.014	0.006	0.014	0.013	0.014
Mg	1.699	1.671	1.680	1.691	1.660	1.659	1.649
Ca	0.001	0.017	0.016		0.014	0.015	0.012
K	0.001			0.001			
Na	0.001					0.001	
Ni	0.004	0.005	0.005	0.005	0.003	0.003	0.003
Cr		0.001		0.001			0.001
∑ cátions	3.008	3.004	3.011	3.006	3.004	3.007	3.006
mg# ³	0.848	0.847	0.845	0.845	0.839	0.837	0.832
Componentes Moleculares (%)							
Forsterita	84.76	84.67	84.50	84.46	83.90	83.73	83.19
Faialita	15.24	15.33	15.50	15.54	16.10	16.27	16.81

¹ Abreviações: MC = macrocristal; X = xenocristal; MTZ = cristal da matriz; EU = euédrico.

² Localização da análise no grão: n = núcleo, i = intermédio, b = borda, mtz = cristal da matriz

Apêndice A – Tabela 1 Composição em óxidos (% massa) e fórmula estrutural das olivinas da intrusão Indaiá II (continuação)

Amostra	A3-2	A3-4	A3-4	A2-3	C1-1
Grão ¹	4MTZ	6MTZ	1MC	4MC	6MC
Localização ²	b clara	b	n	b clara	02/mar
SiO ₂	39.37	38.57	39.45	38.81	40.83
Al ₂ O ₃		0.02		0.02	0.03
TiO ₂	0.01			0.06	0.03
FeO	15.80	16.26	16.21	16.77	10.34
MnO	0.65	0.70	0.22	0.67	0.20
MgO	43.85	44.79	43.67	43.48	48.90
CaO	0.45	0.52	0.04	0.31	0.34
Na ₂ O		0.01			0.01
K ₂ O		0.01	0.02	0.02	0.02
NiO	0.14	0.13	0.22	0.11	0.21
Cr ₂ O ₃	0.04		0.01	0.02	0.02
Total	100.32	101.01	99.83	100.27	100.94
Fórmula estrutural na base de 4 oxigênios					
Si	0.993	0.971	0.999	0.985	0.995
Al		0.001		0.001	0.001
Ti				0.001	0.001
Fe ⁺²	0.333	0.342	0.343	0.356	0.211
Mn	0.014	0.015	0.005	0.014	0.004
Mg	1.649	1.682	1.648	1.645	1.777
Ca	0.012	0.014	0.001	0.009	0.009
K			0.001	0.001	0.001
Na					0.001
Ni	0.003	0.003	0.004	0.002	0.004
Cr	0.001				
∑ cátions	3.006	3.028	3.001	3.013	3.004
mg# ³	0.832	0.831	0.828	0.822	0.894
Componentes Moleculares (%)					
Forsterita	83.19	83.08	82.77	82.21	89.40
Faialita	16.81	16.92	17.23	17.79	10.60

¹ Abreviações: MC = macrocristal; X = xenocristal; MTZ = cristal da matriz; EU = euédrico.

² Localização da análise no grão: n = núcleo, i = intermédio, b = borda, mtz = cristal da matriz

Apêndice A - Tabela 2 Composição de elementos traço (em ppm) obtidas por laser ablation-ICP-MS das olivinas da intrusão Indaia II (continua).

Amostra	C1-2	C1-2	C1-2	C1-2	C1-2	C1-2
Grão ¹	4MC	4MC	1MC	1MC	2MC	2MC
Localização ²	n	b	n	b	n	n2
Li	2.66	15.83	3.77	12.35	15.60	3.15
Na	57.69	275.63	46.27	230.66	179.50	33.26
Al	n.d	135.51	n.d	92.80	91.05	4.35
P	n.d	82.57	36.36	144.80	124.21	n.d
Ca	n.d	1731.85	n.d	1294.46	1164.24	n.d
Sc	2.03	4.36	2.21	3.41	2.41	1.72
Ti	12.85	293.37	31.61	213.08	194.38	n.d
V	1.48	2.23	1.65	1.88	1.67	0.35
Cr	26.42	211.88	23.52	544.90	263.59	5.47
Mn	1186.67	1377.92	1167.83	1093.41	1176.44	1022.44
Co	135.30	151.82	132.08	157.68	151.78	142.43
Ni	2809.03	1902.35	2901.86	2955.08	2816.35	2778.08
Cu	4.74	n.d	1.86	20.74	2.69	n.d
Zn	98.14	104.26	90.33	99.63	93.44	59.50
Rb	n.d	0.340	n.d	n.d	0.401	n.d
Sr	n.d	3.710	n.d	0.342	5.730	n.d
Y	n.d	0.160	n.d	0.102	0.080	n.d
Zr	0.089	1.120	n.d	0.240	1.850	n.d
Nb	2.580	0.503	2.470	n.d	1.070	0.347
Ba	n.d	6.160	n.d	n.d	6.710	n.d
La	n.d	0.537	n.d	n.d	0.690	n.d
Ce	n.d	0.830	n.d	0.076	1.110	n.d
Pr	n.d	0.068	n.d	n.d	0.183	n.d
Nd	n.d	n.d	n.d	n.d	0.360	0.410
Sm	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Eu	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Gd	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Tb	n.d	0.062	n.d	n.d	n.d	n.d
Dy	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Ho	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Er	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Tm	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Yb	n.d	n.d	n.d	n.d	0.240	n.d
Lu	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Hf	0.350	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Ta	0.141	n.d	0.093	n.d	n.d	n.d
Pb	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Th	n.d	0.064	n.d	n.d	0.064	0.0082
U	n.d	0.0086	0.0042	n.d	n.d	n.d

1 MC = macrocristal, MIC = microcristal, X = xenocristal, MTZ = cristal da matriz e EU = cristal euédrico

2 n = núcleo, i = intermédio e b = borda

* n.d= não detectado

Apêndice A - Tabela 2: Composição de elementos traço (em ppm) obtidas por laser ablation-ICP-MS das olivinas da intrusão Indaia II (continua)

Amostra	C1-2	C1-2	C1-2	C1-2	C1-2	C1-1
Grão ¹	2MC	6MC	6MC	7MC	7MC	1MC
Localização ²	b	n	b	n	b	n
Li	23.00	2.69	31.16	6.40	14.09	2.79
Na	250.12	52.73	139.88	185.38	161.43	236.72
Al	122.55	n.d	68.74	84.97	110.78	72.02
P	129.65	n.d	106.80	40.41	73.42	49.54
Ca	1620.34	n.d	896.91	930.27	2554.06	859.42
Sc	3.92	2.23	4.48	2.52	4.79	2.44
Ti	226.26	102.62	180.51	131.15	250.04	205.41
V	1.70	1.23	2.60	4.96	0.69	4.87
Cr	233.87	43.51	247.04	229.82	196.26	303.20
Mn	1108.42	984.52	1348.79	973.51	1250.36	955.82
Co	134.41	127.35	148.53	166.43	126.32	156.70
Ni	2033.19	2946.69	1965.29	3058.15	1538.87	2526.54
Cu	6.61	n.d	2.15	7.42	n.d	4.22
Zn	73.18	67.75	94.32	104.39	74.47	100.12
Rb	0.254	n.d	0.193	n.d	n.d	n.d
Sr	3.900	n.d	2.170	n.d	0.143	n.d
Y	0.142	0.031	0.176	n.d	0.164	0.043
Zr	1.440	0.104	1.330	0.371	0.307	0.477
Nb	0.424	2.690	0.177	n.d	0.062	n.d
Ba	6.180	n.d	3.030	n.d	n.d	n.d
La	0.406	n.d	0.251	n.d	n.d	0.028
Ce	0.950	n.d	0.560	n.d	n.d	n.d
Pr	0.082	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Nd	0.420	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Sm	0.410	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Eu	n.d	0.069	0.158	n.d	n.d	n.d
Gd	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Tb	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Dy	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Ho	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Er	n.d	n.d	0.085	n.d	n.d	n.d
Tm	n.d	n.d	0.064	n.d	n.d	n.d
Yb	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Lu	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Hf	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Ta	n.d	0.061	n.d	n.d	n.d	n.d
Pb	n.d	0.420	n.d	n.d	0.880	n.d
Th	0.053	n.d	0.025	n.d	n.d	n.d
U	n.d	n.d	0.021	0.0064	0.0079	0.0082

1 MC = macrocristal, MIC = microcristal, X = xenocristal, MTZ = cristal da matriz e EU = cristal euédrico

2 n = núcleo, i = intermédio e b = borda

* n.d= não detectado

Apêndice A - Tabela 2: Composição de elementos traço (em ppm) obtidas por laser ablation-ICP-MS das olivinas da intrusão Indaia II (continuação)

Amostra	C1-1	C1-1	C1-1	C1-1	C1-1	C1-1
Grão ¹	1MC	5MC	5MC	6MC	6MC	3MC
Localização ²	b	n	b	n	b	n
Li	24.07	7.19	19.78	6.86	17.54	2.10
Na	168.52	68.29	226.47	160.90	166.52	222.03
Al	107.84	8.97	104.36	23.48	113.70	116.19
P	119.17	42.09	100.64	885.17	113.94	55.79
Ca	1473.38	n.d	2487.38	n.d	2968.15	508.92
Sc	4.35	2.64	3.78	18.25	5.32	2.71
Ti	275.65	81.76	282.84	380.31	282.48	180.46
V	1129.00	2.62	1.27	17.91	0.69	5.60
Cr	252.33	33.69	284.58	725.66	243.94	311.39
Mn	1164.78	1497.38	1178.99	1136.29	1366.12	986.84
Co	131.06	144.12	145.19	132.03	131.13	165.68
Ni	1897.92	1718.21	2215.69	1250.63	1447.75	2812.13
Cu	0.56	n.d	n.d	1.28	0.22	4.22
Zn	73.59	150.89	87.70	105.38	87.16	100.89
Rb	n.d	n.d	0.118	0.049	n.d	n.d
Sr	0.042	n.d	0.459	0.023	0.095	n.d
Y	0.117	n.d	0.143	0.086	0.242	n.d
Zr	0.350	0.255	0.511	19.340	0.626	0.301
Nb	n.d	2.000	0.046	5.500	n.d	n.d
Ba	n.d	n.d	0.590	0.510	n.d	n.d
La	n.d	n.d	n.d	0.036	n.d	n.d
Ce	n.d	n.d	0.056	n.d	n.d	n.d
Pr	n.d	n.d	n.d	n.d	0.025	n.d
Nd	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Sm	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Eu	0.075	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Gd	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Tb	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Dy	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Ho	n.d	n.d	n.d	0.046	n.d	n.d
Er	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Tm	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Yb	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Lu	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Hf	n.d	n.d	n.d	0.630	n.d	n.d
Ta	n.d	0.086	n.d	0.710	n.d	n.d
Pb	n.d	n.d	n.d	n.d	0.131	n.d
Th	0.0053	n.d	0.011	n.d	n.d	n.d
U	n.d	n.d	n.d	0.025	n.d	n.d

1 MC = macrocristal, MIC = microcristal, X = xenocristal, MTZ = cristal da matriz e EU = cristal euédrico

2 n = núcleo, i = intermédio e b = borda * n.d= não detectado

Apêndice A - Tabela 2: Composição de elementos traço (em ppm) obtidas por laser ablation-ICP-MS das olivinas da intrusão Indaia II (continuação)

Amostra	C1-1	C1-1	C1-1	C1-1	C1-1	C1-1
Grão ¹	3MC	4MC	4MC	1MC	1MC	7MTZ
Localização ²	b	n	b	n	b	n
Li	13.86	2.53	9.88	7.48	16.63	15.96
Na	168.63	69.61	163.17	37.51	146.38	67.88
Al	108.18	n.d	8.30	3.10	112.92	18.75
P	76.69	n.d	20.21	n.d	92.26	n.d
Ca	2104.25	342.83	2818.28	522.11	2163.41	n.d
Sc	5.22	3.16	5.31	2.06	5.16	2.77
Ti	316.74	21.42	67.00	9.67	308.93	27.87
V	0.74	1257.00	1.78	0.43	0.87	1.48
Cr	144.19	21.12	10.55	2.67	185.49	84.08
Mn	1411.11	1327.62	4139.19	734.54	1423.37	1119.52
Co	119.88	124.86	170.70	121.56	132.11	123.67
Ni	1261.41	2419.24	1248.19	2762.68	1600.26	2449.80
Cu	0.23	n.d	0.26	n.d	0.45	n.d
Zn	74.93	103.28	169.10	27.58	88.34	56.54
Rb	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Sr	0.140	0.125	0.101	0.036	0.100	0.039
Y	0.212	n.d	1.380	n.d	0.249	n.d
Zr	0.547	0.092	0.142	0.052	0.322	0.200
Nb	n.d	0.748	0.090	n.d	n.d	n.d
Ba	0.560	n.d	n.d	n.d	0.290	0.280
La	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Ce	0.050	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Pr	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0.036
Nd	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Sm	n.d	n.d	0.220	n.d	n.d	n.d
Eu	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Gd	0.290	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Tb	0.023	n.d	n.d	0.031	n.d	n.d
Dy	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Ho	n.d	0.037	0.065	n.d	n.d	n.d
Er	n.d	n.d	0.184	n.d	n.d	n.d
Tm	n.d	n.d	0.034	n.d	n.d	n.d
Yb	n.d	n.d	0.510	n.d	n.d	n.d
Lu	n.d	n.d	0.058	n.d	n.d	n.d
Hf	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Ta	n.d	0.075	n.d	n.d	n.d	n.d
Pb	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Th	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
U	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0.013

¹ MC = macrocristal, MIC = microcristal, X = xenocristal, MTZ = cristal da matriz e EU = cristal euédrico

² n = núcleo, i = intermédio e b = borda * n.d= não detectado

Apêndice A - Tabela 2: Composição de elementos traço (em ppm) obtidas por laser ablation-ICP-MS das olivinas da intrusão Indaia II (continuação)

Amostra	C1-1	B1-3	B1-3	B1-3	B1-3	B1-3
Grão ¹	7MTZ	1MC	1MC	2MC	2MC	6MC_EU
Localização ²	b	n	b	n	b	n
Li	18.19	2.76	25.53	0.85	24.17	2.49
Na	119.20	63.46	168.01	27.18	175.12	154.07
Al	105.45	n.d	95.55	n.d	99.99	93.94
P	74.60	n.d	100.59	n.d	126.84	164.53
Ca	1905.14	n.d	1080.47	n.d	1171.46	747.74
Sc	4.91	2.42	3.78	2.04	4.36	2.65
Ti	299.30	10.91	234.40	12.92	271.99	210.74
V	0.95	1164.00	1.88	0.34	1.67	2.80
Cr	165.03	26.06	266.63	3.95	424.52	375.38
Mn	1431.17	897.62	1055.84	781.43	1218.75	1001.61
Co	129.80	125.40	135.60	133.41	138.53	156.62
Ni	1565.18	2918.94	2543.82	3372.90	2361.75	3481.06
Cu	n.d	n.d	1.71	n.d	1.01	3.48
Zn	77.90	60.67	79.50	29.30	76.43	90.51
Rb	0.039	n.d	n.d	n.d	0.082	0.114
Sr	n.d	n.d	0.820	n.d	1.160	0.700
Y	0.148	n.d	0.055	n.d	0.116	0.041
Zr	0.459	n.d	0.700	n.d	0.930	1.270
Nb	n.d	1.580	0.093	n.d	0.074	0.201
Ba	0.290	n.d	1.260	n.d	1.210	0.830
La	n.d	n.d	n.d	n.d	0.141	0.081
Ce	n.d	n.d	n.d	n.d	0.286	0.223
Pr	n.d	0.030	n.d	0.046	0.068	0.055
Nd	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Sm	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Eu	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Gd	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Tb	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Dy	n.d	0.199	n.d	n.d	n.d	n.d
Ho	0.026	n.d	n.d	n.d	0.076	n.d
Er	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Tm	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Yb	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Lu	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Hf	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Ta	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Pb	0.034	n.d	n.d	0.068	n.d	n.d
Th	n.d	n.d	n.d	n.d	0.012	0.034
U	n.d	n.d	n.d	0.0091	n.d	n.d

1 MC = macrocristal, MIC = microcristal, X = xenocristal, MTZ = cristal da matriz e EU = cristal euédrico

2 n = núcleo, i = intermédio e b = borda * n.d= não detectado

Apêndice A - Tabela 2: Composição de elementos traço (em ppm) obtidas por laser ablation-ICP-MS das olivinas da intrusão Indaia II (continuação)

Amostra	B1-3	B1-3	B1-3	B1-3	B1-3	A3-4
Grão ¹	6MC_EU	5MC_EU	5MC_EU	7MC_EU	7MC_EU	1X
Localização ²	b	n	b	n	b	xeno
Li	16.04	2.06	27.27	3.33	19.60	1.68
Na	154.88	159.06	282.88	150.44	188.09	82.71
Al	110.50	68.53	113.40	56.30	121.68	n.d
P	117.35	n.d	149.35	n.d	80.87	51.59
Ca	2269.28	n.d	1502.94	499.42	2101.94	n.d
Sc	4.73	2.55	4.15	2.31	6.42	1.37
Ti	285.21	191.02	281.87	129.61	338.68	2.85
V	0.86	5.29	1.64	2.69	0.91	0.27
Cr	171.62	327.43	403.66	266.04	290.77	n.d
Mn	1304.58	959.26	1156.40	1097.11	1324.30	913.55
Co	125.98	130.24	148.30	165.68	120.41	138.41
Ni	1690.66	2914.90	2525.17	3554.31	1507.69	2987.94
Cu	n.d	3.30	0.29	1.57	0.36	n.d
Zn	78.72	88.63	81.79	95.68	95.80	19.66
Rb	n.d	n.d	0.063	n.d	0.048	n.d
Sr	0.067	n.d	1.270	0.045	0.259	n.d
Y	0.194	n.d	0.074	n.d	0.250	n.d
Zr	0.408	0.322	0.650	0.238	0.393	n.d
Nb	n.d	0.048	0.112	0.122	n.d	n.d
Ba	n.d	n.d	1.670	n.d	n.d	n.d
La	n.d	n.d	0.105	n.d	n.d	n.d
Ce	n.d	n.d	0.226	n.d	0.108	n.d
Pr	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Nd	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Sm	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Eu	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Gd	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0.550
Tb	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Dy	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Ho	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Er	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Tm	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Yb	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Lu	n.d	n.d	n.d	0.052	n.d	n.d
Hf	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Ta	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Pb	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Th	n.d	n.d	0.028	n.d	n.d	n.d
U	n.d	0.0043	n.d	n.d	n.d	n.d

1 MC = macrocristal, MIC = microcristal, X = xenocristal, MTZ = cristal da matriz e EU = cristal euédrico

2 n = núcleo, i = intermédio e b = borda * n.d= não detectado

Apêndice A - Tabela 2: Composição de elementos traço (em ppm) obtidas por laser ablation-ICP-MS das olivinas da intrusão Indaia II (continuação)

Amostra	A3-4	A3-4	A3-4	A3-4	A3-4	A3-4
Grão ¹	1MC	1MC	3MC	3MC	2MC	2MC
Localização ²	b	n	n	b	n	b
Li	24.25	2.60	2.30	28.31	1.43	2.35
Na	259.58	110.33	199.09	356.66	35.51	147.82
Al	220.97	n.d	84.16	97.07	6.16	91.36
P	118.35	106.80	29.86	110.29	29.36	141.89
Ca	1666.57	n.d	970.53	590.21	582.55	695.19
Sc	3.80	2.42	2.43	3.25	1.19	3.47
Ti	238.63	100.81	189.88	189.74	11.34	189.32
V	2.41	2.78	4.91	1.85	0.24	1.88
Cr	238.33	40.28	274.25	339.42	2.78	353.28
Mn	1263.17	1404.59	988.79	979.77	829.85	1041.55
Co	140.59	143.92	159.31	131.11	128.20	148.97
Ni	2182.35	1546.46	2591.89	2690.46	2561.27	3071.47
Cu	0.54	0.37	4.40	1.97	0.29	1.98
Zn	84.08	133.58	102.88	75.26	29.63	76.76
Rb	0.290	n.d	n.d	0.186	n.d	n.d
Sr	1.610	0.095	n.d	1.650	n.d	0.114
Y	0.156	n.d	n.d	0.083	n.d	0.082
Zr	6.550	0.301	0.376	0.730	n.d	0.527
Nb	0.680	0.507	0.070	0.211	n.d	n.d
Ba	4.070	n.d	n.d	2.110	0.510	n.d
La	n.d	n.d	n.d	0.227	n.d	n.d
Ce	0.156	n.d	n.d	0.387	n.d	0.055
Pr	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Nd	n.d	n.d	n.d	0.530	n.d	n.d
Sm	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Eu	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Gd	n.d	n.d	n.d	n.d	0.370	n.d
Tb	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Dy	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Ho	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Er	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Tm	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Yb	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Lu	n.d	n.d	0.082	n.d	n.d	n.d
Hf	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Ta	n.d	0.085	n.d	n.d	n.d	n.d
Pb	0.300	n.d	n.d	0.190	n.d	n.d
Th	n.d	0.059	0.046	0.047	n.d	n.d
U	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d

1 MC = macrocristal, MIC = microcristal, X = xenocristal, MTZ = cristal da matriz e EU = cristal euédrico

2 n = núcleo, i = intermédio e b = borda * n.d= não detectado

Apêndice A - Tabela 2: Composição de elementos traço (em ppm) obtidas por laser ablation-ICP-MS das olivinas da intrusão Indaia II (continuação)

Amostra	A3-4	A3-4	A3-4	A3-4	A3-4	A3-4
Grão ¹	5MC	5MC	4MC	4MC	6MTZ	6MTZ
Localização ²	n	b	n	b	n	b
Li	1.39	20.80	13.02	13.74	4.63	11.19
Na	76.34	207.50	210.51	157.85	168.28	181.48
Al	9.56	96.51	47.22	109.94	80.74	62.73
P	28.18	123.08	n.d	61.60	134.31	43.19
Ca	n.d	1572.85	n.d	2100.33	1180.87	3360.53
Sc	2.82	3.34	2.49	4.52	3.26	4.53
Ti	78.08	205.54	202.34	249.48	207.94	183.33
V	2.34	1.45	5.57	0.66	1.89	0.90
Cr	26.69	451.45	277.00	154.17	403.87	80.81
Mn	1059.46	1125.92	986.76	1138.24	1055.16	2477.62
Co	122.82	142.40	173.26	120.86	146.47	138.31
Ni	2653.06	2587.33	3053.25	1584.90	3168.68	1074.79
Cu	0.25	0.64	0.50	n.d	2.78	n.d
Zn	81.24	76.14	104.37	73.55	72.40	94.72
Rb	n.d	n.d	0.107	n.d	0.116	n.d
Sr	n.d	0.209	n.d	n.d	n.d	0.132
Y	n.d	0.058	n.d	0.140	n.d	0.400
Zr	0.203	0.503	0.860	0.540	0.590	0.370
Nb	2.400	0.054	n.d	n.d	n.d	n.d
Ba	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
La	n.d	n.d	0.105	n.d	n.d	n.d
Ce	n.d	n.d	0.126	n.d	n.d	n.d
Pr	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Nd	n.d	n.d	n.d	n.d	0.630	n.d
Sm	n.d	n.d	n.d	n.d	0.430	n.d
Eu	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Gd	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Tb	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Dy	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Ho	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Er	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Tm	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Yb	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Lu	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Hf	n.d	n.d	n.d	0.560	n.d	n.d
Ta	0.137	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Pb	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Th	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
U	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d

¹ MC = macrocristal, MIC = microcristal, X = xenocristal, MTZ = cristal da matriz e EU = cristal euédrico

² n = núcleo, i = intermédio e b = borda * n.d= não detectado

Apêndice A - Tabela 2: Composição de elementos traço (em ppm) obtidas por laser ablation-ICP-MS das olivinas da intrusão Indaia II (continuação)

Amostra	A3-4	A3-4	A2-2	A2-2	A2-2	A2-2
Grão ¹	7MTZ	7MTZ	3MC	3MC	2MC	2MC
Localização ²	n	b	n	b	n	b
Li	1.79	14.40	2.35	24.84	2.09	2.30
Na	117.07	147.70	218.41	357.59	248.80	144.21
Al	43.20	107.76	64.39	663.48	126.25	83.22
P	68.34	91.08	46.71	75.33	62.96	123.71
Ca	552.34	1888.42	929.34	2264.39	685.66	1134.05
Sc	2.97	3.49	2.71	4.20	1.93	3.84
Ti	88.06	250.24	221.48	317.88	137.92	200.28
V	3.32	1.13	5.82	2.21	5.13	2.29
Cr	151.57	267.05	267.64	443.22	291.77	454.87
Mn	1309.40	1154.13	1118.54	1230.28	850.95	1095.97
Co	139.79	124.37	181.58	130.58	162.15	150.77
Ni	2242.24	1962.51	3014.89	2125.03	3523.90	3066.99
Cu	0.98	0.87	5.44	2.35	5.50	2.80
Zn	100.64	66.29	107.56	69.60	90.34	77.11
Rb	n.d	n.d	n.d	0.521	n.d	n.d
Sr	n.d	0.097	0.041	7.740	n.d	n.d
Y	0.074	0.137	n.d	0.274	n.d	n.d
Zr	0.241	0.423	0.560	2.860	0.427	0.428
Nb	1.050	n.d	n.d	0.630	0.042	n.d
Ba	n.d	n.d	n.d	11.370	n.d	n.d
La	n.d	n.d	n.d	0.760	n.d	n.d
Ce	n.d	0.066	n.d	1.700	n.d	n.d
Pr	n.d	n.d	n.d	0.240	n.d	n.d
Nd	n.d	n.d	n.d	0.530	n.d	n.d
Sm	n.d	n.d	n.d	0.450	n.d	n.d
Eu	n.d	n.d	n.d	0.095	n.d	n.d
Gd	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Tb	n.d	n.d	n.d	0.064	n.d	n.d
Dy	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Ho	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Er	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Tm	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Yb	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Lu	n.d	n.d	n.d	n.d	0.064	n.d
Hf	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Ta	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Pb	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Th	n.d	n.d	n.d	0.060	0.028	0.0068
U	n.d	n.d	n.d	n.d	0.0058	n.d

¹ MC = macrocristal, MIC = microcristal, X = xenocristal, MTZ = cristal da matriz e EU = cristal euédrico

² n = núcleo, i = intermédio e b = borda * n.d= não detectado

Apêndice A - Tabela 2: Composição de elementos traço (em ppm) obtidas por laser ablation-ICP-MS das olivinas da intrusão Indaia II (continuação)

Amostra	A2-2	A2-2	A2-2	A2-2	A2-2	A2-2
Grão ¹	1MC	1MC	2MIC	2MIC	3MIC	3MIC
Localização ²	b	n	n	b	n	b
Li	2.83	1.29	2.64	13.66	1.55	16.44
Na	204.25	50.11	153.88	156.90	223.22	140.64
Al	69.78	n.d	90.28	194.08	86.59	124.57
P	n.d	n.d	98.29	68.08	32.87	53.44
Ca	n.d	825.54	737.36	3781.56	431.72	2633.54
Sc	2.12	1.86	3.54	5.56	3.68	4.41
Ti	47.43	11.36	218.21	318.49	160.62	272.19
V	1.64	0.46	2.46	0.77	5.95	0.98
Cr	14.70	4.95	405.18	190.78	387.44	167.04
Mn	827.31	756.25	1168.41	1541.94	849.29	1302.39
Co	153.97	134.14	158.01	139.27	139.38	123.69
Ni	3628.75	3109.90	3225.37	1455.38	3251.53	1580.15
Cu	2.83	n.d	2.32	n.d	2.59	0.40
Zn	49.64	34.97	82.02	81.19	64.07	67.94
Rb	0.460	n.d	n.d	0.149	n.d	n.d
Sr	3.630	n.d	0.071	0.136	0.109	0.049
Y	n.d	n.d	0.072	0.230	n.d	0.191
Zr	1.100	n.d	0.670	0.433	0.454	0.330
Nb	0.350	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Ba	6.060	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
La	0.580	n.d	n.d	n.d	0.050	n.d
Ce	1.070	n.d	0.046	n.d	n.d	n.d
Pr	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Nd	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Sm	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Eu	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0.060
Gd	n.d	0.480	n.d	n.d	n.d	n.d
Tb	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Dy	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Ho	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Er	n.d	n.d	n.d	n.d	0.247	n.d
Tm	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Yb	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Lu	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Hf	n.d	n.d	0.450	n.d	n.d	n.d
Ta	0.169	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Pb	n.d	n.d	n.d	0.105	n.d	0.085
Th	0.137	n.d	n.d	0.0071	n.d	n.d
U	n.d	n.d	0.010	n.d	n.d	n.d

¹ MC = macrocristal, MIC = microcristal, X = xenocristal, MTZ = cristal da matriz e EU = cristal euédrico

² n = núcleo, i = intermédio e b = borda * n.d= não detectado

Apêndice A - Tabela 2: Composição de elementos traço (em ppm) obtidas por laser ablation-ICP-MS das olivinas da intrusão Indaia II (continuação)

Amostra	A2-2	A2-2	A2-2	A2-2	A2-2	A2-2
Grão ¹	1MTZ	1MTZ	1MIC	1MIC	2MTZ	2MTZ
Localização ²	n	b	n	b	b	n
Li	30.98	22.68	2.41	27.80	16.60	23.24
Na	186.71	189.18	249.16	176.94	203.12	177.72
Al	97.40	574.31	92.60	112.14	115.72	110.65
P	103.48	57.87	113.95	99.23	73.51	76.90
Ca	1144.94	2052.94	n.d	2038.64	1255.61	2012.49
Sc	3.25	4.87	2.72	4.09	3.88	3.61
Ti	206.14	295.32	222.54	256.14	270.85	253.43
V	1.55	1.25	1.67	2.21	1.05	1.14
Cr	312.22	345.23	401.37	405.38	203.85	203.78
Mn	1115.33	1261.94	1161.63	1222.92	1259.28	1184.52
Co	150.27	131.55	175.37	162.79	135.01	133.91
Ni	2904.06	1759.89	3820.13	2928.43	1817.42	2015.08
Cu	0.50	0.27	3.22	0.72	n.d	n.d
Zn	75.28	70.53	87.43	79.55	67.01	69.37
Rb	n.d	0.494	n.d	n.d	n.d	n.d
Sr	n.d	0.247	n.d	0.075	0.403	n.d
Y	n.d	0.121	n.d	n.d	0.155	0.079
Zr	0.480	0.245	0.560	0.250	0.460	0.255
Nb	n.d	0.055	n.d	0.104	n.d	n.d
Ba	n.d	0.350	n.d	n.d	0.770	n.d
La	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Ce	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Pr	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Nd	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Sm	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Eu	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Gd	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Tb	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Dy	0.240	0.230	n.d	n.d	n.d	n.d
Ho	n.d	n.d	n.d	n.d	0.077	n.d
Er	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Tm	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Yb	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Lu	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Hf	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Ta	n.d	n.d	0.094	n.d	n.d	n.d
Pb	n.d	0.256	n.d	n.d	n.d	0.088
Th	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0.015
U	n.d	0.013	0.051	n.d	n.d	0.127

¹ MC = macrocristal, MIC = microcristal, X = xenocristal, MTZ = cristal da matriz e EU = cristal euédrico

² n = núcleo, i = intermédio e b = borda * n.d= não detectado

Apêndice A - Tabela 2: Composição de elementos traço (em ppm) obtidas por laser ablation-ICP-MS das olivinas da intrusão Indaia II (continuação)

Amostra	A2-2	A2-2
Grão ¹	1X	1X
Localização ²	n	b
Li	2.88	11.21
Na	207.78	200.59
Al	102.88	133.27
P	40.32	40.58
Ca	906.98	425.51
Sc	2.43	2.39
Ti	166.09	143.54
V	5.66	5.97
Cr	288.08	277.93
Mn	1006.72	943.26
Co	174.50	152.87
Ni	3260.49	2676.82
Cu	5.56	2.89
Zn	92.76	96.57
Rb	n.d	0.083
Sr	n.d	0.062
Y	n.d	n.d
Zr	0.229	0.217
Nb	n.d	0.079
Ba	n.d	n.d
La	n.d	n.d
Ce	n.d	n.d
Pr	n.d	n.d
Nd	n.d	n.d
Sm	n.d	n.d
Eu	n.d	n.d
Gd	n.d	n.d
Tb	n.d	n.d
Dy	n.d	0.310
Ho	n.d	0.079
Er	n.d	n.d
Tm	n.d	n.d
Yb	n.d	n.d
Lu	n.d	n.d
Hf	n.d	n.d
Ta	n.d	n.d
Pb	n.d	0.560
Th	n.d	n.d
U	n.d	n.d

¹ MC = macrocristal, MIC = microcristal, X = xenocristal, MTZ = cristal da matriz e EU = cristal euédrico

² n = núcleo, i = intermédio e b = borda * n.d= não detectado

Apêndice A - Tabela 3 Valor preferido do padrão BHVO-2G para o controle de qualidade (continua).

Elemento	BHVO-2G (USGS)							
	GeoReM			C1-2	B1-3	A3-4	C1-1	
	Valor preferido	Erro	Incerteza ¹	1 análise	1 análise	1 análise	2 análises	
							Média	D.P.
Li	4.40	0.80	D.P.	3.85	3.93	3.69	4.06	0.184
Na	1.78	0.07	D.P.	23003	23238	24352	24367	4.97
Al	7.20	0.05	D.P.	51427	54019	58827	54750	1614
P	0.127	0.01	D.P.	688	967	996	950	82.2
Ca	8.15	0.07	D.P.	79782	75059	77032	79726	2861
Sc	33	2	D.P.	33.43	33.88	33.16	35.73	1.80
Ti	16300	900	D.P.	13125	18930	18718	19411	681
V	308	19	D.P.	277	281	296	301	18.38
Cr	293	12	D.P.	268	295	283	291	6.99
Mn	0.132	0.023	D.P.	1045	1160	1136	1155	11.36
Co	44	2	D.P.	38.27	42.80	40.05	39.71	0.799
Ni	116	7	D.P.	106	122	112	102	3.62
Cu	127	11	D.P.	63.85	95.22	97.58	90.57	1.16
Zn	102	6	D.P.	92.36	113	94.75	106	4.74
Rb	9.2	0.04	D.P.	8.23	7.86	7.69	8.14	0.0283
Sr	396	1	D.P.	350	346	358	366	8.57
Y	26	2	D.P.	23.59	23.83	23.47	26.38	0.37
Zr	170	7	D.P.	161	157	155	167	12.19
Nb	18.3	0.8	D.P.	16.73	15.71	16.37	17.33	1.53
Ba	131	2	INCERTO	118	117	109	115	9.71
La	15.2	0.2	INCERTO	15.28	14.57	15.08	15.34	1.47
Ce	37.6	0.2	D.P.	34.67	33.85	32.71	33.46	3.66
Pr	5.35	0.22	D.P.	4.84	4.81	4.70	5.20	0.460
Nd	24.5	0.2	INCERTO	26.34	23.51	23.48	24.78	1.93
Sm	6.1	0.03	D.P.	5.97	5.77	5.57	6.20	0.59
Eu	2.07	0.01	D.P.	1.85	1.69	1.81	1.97	0.156
Gd	6.16	0.05	D.P.	6.28	5.42	5.65	6.40	0.97
Tb	0.92	0.04	D.P.	0.820	0.780	0.850	0.899	0.074
Dy	5.28	0.05	D.P.	5.21	5.57	5.19	5.68	0.552
Ho	0.98	0.04	D.P.	0.950	0.960	0.910	562	793
Er	2.56	0.02	D.P.	2.78	2.67	2.58	2.37	0.13
Tm	0.34	0.02	D.P.	0.325	0.418	0.383	0.307	0.0177
Yb	2.01	0.02	INCERTO	2.50	2.22	2.34	2.08	0.34
Lu	0.279	0.003	INCERTO	0.287	0.342	0.290	0.290	0.0014
Hf	4.32	0.18	D.P.	3.89	4.22	3.63	4.60	0.127
Ta	1.15	0.1	D.P.	1.26	1.18	1.12	1.18	0.049
Pb	1.7	0.2	D.P.	1.72	1.66	1.37	1.91	0.396
Th	1.22	0.05	D.P.	1.16	1.25	1.26	1.39	0.148
U	0.403	0.003	D.P.	0.407	0.363	0.321	0.414	0.072

¹Tipo de Incerteza: D.P. = desvio padrão

Apêndice A - Tabela 3 Valor preferido do padrão BHVO-2G para o controle de qualidade (continuação).

Lâmina Elemento	BHVO-2G (USGS)	
	A2-3	
	2 análises	
	Média	D.P.
Li	4.18	0.0636
Na	25459	132
Al	59780	458
P	711	4.24
Ca	80899	53.88
Sc	35.04	0.587
Ti	19269	533
V	308	6.66
Cr	281	5.37
Mn	1161	34.54
Co	41.96	1.35
Ni	111	4.16
Cu	101	0.481
Zn	109	1.55
Rb	8.26	0.0354
Sr	382	7.28
Y	26.53	0.98
Zr	175	5.85
Nb	17.87	0.403
Ba	117	3.04
La	15.64	0.679
Ce	34.53	1.79
Pr	5.09	0.021
Nd	25.24	1.15
Sm	6.47	0.318
Eu	1.72	0.0283
Gd	6.68	0.375
Tb	0.840	0.085
Dy	5.21	0.445
Ho	0.980	0.028
Er	2.51	0.32
Tm	0.386	0.0042
Yb	1.94	0.16
Lu	0.265	0.0354
Hf	4.77	0.304
Ta	1.14	0.035
Pb	1.90	0.184
Th	1.20	0.064
U	0.421	0.0042

D.P. = Desvio padrão

Apêndice A - Tabela 4 Valor preferido do padrão NIST610 para o controle de qualidade.

Elemento	NIST610						
	Valor preferido	GeoReM		C1-2	B1-3	C1-1	A2-3
		Erro	Incerteza ¹	1 análise	1 análise	1 análise	1 análise
Li	468	24	95%CL	442	455	480	418
Na	9.94	0.223	95%CL	9.221	8.913	9.216	9.556
Al	1.03	0.021	95%CL	1.179	1.271	1.251	1.208
P	413	46	95%CL	257	400	322	227
Ca	8.15	0.143	95%CL	85654	87344	87180	87661
Sc	455	10	95%CL	537	570	548	555
Ti	452	10	95%CL	466	622	578	573
V	450	9	95%CL	425	457	447	467
Cr	408	10	95%CL	413	467	446	439
Mn	444	13	95%CL	418	453	441	446
Co	410	10	95%CL	384	416	396	403
Ni	458.7	4	95%CL	414	475	421	440
Cu	441	15	95%CL	338	411	383	400
Zn	460	18	95%CL	427	448	424	418
Rb	425.7	1	95%CL	399	415	402	417
Sr	515.5	1	95%CL	512	550	520	544
Y	462	11	95%CL	525	551	534	538
Zr	448	9	95%CL	488	506	494	490
Nb	465	34	95%CL	496	505	495	498
Ba	452	9	95%CL	440	459	440	453
La	440	10	95%CL	485	486	498	479
Ce	453	8	95%CL	455	475	468	465
Pr	448	7	95%CL	470	482	481	485
Nd	430	8	95%CL	467	449	487	498
Sm	453	11	95%CL	504	510	510	501
Eu	447	12	95%CL	473	482	505	460
Gd	449	12	95%CL	532	496	522	506
Tb	437	9	95%CL	503	508	523	489
Dy	437	11	95%CL	523	541	533	515
Ho	449	12	95%CL	535	542	553	521
Er	455	14	95%CL	530	530	541	522
Tm	435	10	95%CL	528	553	542	519
Yb	450	9	95%CL	553	561	545	528
Lu	439	8	95%CL	550	573	556	526
Hf	435	12	95%CL	492	507	526	480
Ta	446	33	95%CL	559	577	574	549
Pb	426	1	95%CL	432	452	450	375
Th	457.2	1	95%CL	529	546	563	518
U	461.5	1	95%CL	447	448	465	440

¹Tipo de Incerteza: Dentro do intervalo de confiança de 95%

²D.P. = desvio padrão

Apêndice A - Tabela 4 Valor preferido do padrão NIST610 para o controle de qualidade.

Elemento	NIST610				
	GeoReM			A3-4	
	Valor preferido	Erro	Incerteza ¹	2 análises	
				Média	D.P. ²
Li	468	24	95%CL	328	118
Na	9.94	0.223	95%CL	7.151	2.766
Al	1.03	0.021	95%CL	0.943	0.397
P	413	46	95%CL	275	98.8
Ca	8.15	0.143	95%CL	67213	26956
Sc	455	10	95%CL	445	180
Ti	452	10	95%CL	455	157
V	450	9	95%CL	353	135
Cr	408	10	95%CL	355	151
Mn	444	13	95%CL	353	151
Co	410	10	95%CL	319	137
Ni	458.7	4	95%CL	353	141
Cu	441	15	95%CL	303	126
Zn	460	18	95%CL	322	140
Rb	425.7	1	95%CL	303	133
Sr	515.5	1	95%CL	400	178
Y	462	11	95%CL	403	178
Zr	448	9	95%CL	372	170
Nb	465	34	95%CL	376	179
Ba	452	9	95%CL	337	157
La	440	10	95%CL	375	164
Ce	453	8	95%CL	350	155
Pr	448	7	95%CL	352	150
Nd	430	8	95%CL	353	143
Sm	453	11	95%CL	389	166
Eu	447	12	95%CL	355	149
Gd	449	12	95%CL	389	171
Tb	437	9	95%CL	365	149
Dy	437	11	95%CL	368	147
Ho	449	12	95%CL	375	147
Er	455	14	95%CL	367	154
Tm	435	10	95%CL	378	153
Yb	450	9	95%CL	393	156
Lu	439	8	95%CL	382	139
Hf	435	12	95%CL	363	137
Ta	446	33	95%CL	416	148
Pb	426	1	95%CL	313	98.3
Th	457.2	1	95%CL	394	118
U	461.5	1	95%CL	329	96.9

¹ Tipo de Incerteza: Dentro do intervalo de confiança de 95%

² D.P. = desvio padrão

Apêndice A - Tabela 5 Valor preferido do padrão NIST612 para o controle de qualidade.

Elemento	NIST612								
	GeoReM			C1-2 5 análises		B1-3 5 análises		C1-1 6 análises	
	Valor preferido	Erro	Incerteza	Média	D.P. ²	Média	D.P.	Média	D.P.
Li	40.20	1.3	95%CL	41.56	0.544	41.56	0.967	42.07	1.85
Na	10.16	0.223	95%CL	10.41	3.69	10.33	33.61	10.47	2.58
Al	1.07	0.0212	95%CL	1.120	0.379	1.113	0.888	11.154	0.107
P	46.6	6.9	95%CL	58.8	13.18	65.9	20.1	71.1	14.6
Ca	8.5	0.0715	95%CL	8.553	0.386	8.400	0.334	8.568	1.859
Sc	39.9	2.5	95%CL	41.10	1.56	40.52	1.24	41.40	1.13
Ti	44.0	2.3	95%CL	48.24	8.95	47.80	3.07	48.31	1.94
V	38.8	1.2	95%CL	39.28	1.47	38.67	1.47	39.03	0.67
Cr	36.4	1.5	95%CL	40.05	3.92	39.76	1.02	40.04	1.68
Mn	38.7	0.9	95%CL	38.35	1.76	37.43	2.34	38.69	1.67
Co	35.5	1	95%CL	35.35	1.58	34.38	2.06	35.02	1.25
Ni	38.8	0.2	95%CL	38.53	1.82	37.84	1.60	38.22	1.89
Cu	37.8	1.5	95%CL	36.81	5.12	35.50	2.79	37.01	1.16
Zn	39.1	1.7	95%CL	37.78	4.69	37.54	1.78	38.02	1.63
Rb	31.4	0.4	95%CL	31.70	1.30	30.36	2.91	31.57	1.10
Sr	78.4	0.2	95%CL	76.35	3.22	73.97	6.35	76.27	1.13
Y	38.3	1.4	95%CL	38.33	1.37	37.08	2.95	38.46	1.25
Zr	37.9	1.2	95%CL	36.10	1.78	34.96	3.09	36.07	1.13
Nb	38.9	2.1	95%CL	38.21	2.09	37.27	2.66	38.61	1.72
Ba	39.3	0.9	95%CL	37.92	2.51	37.18	3.01	38.48	1.96
La	36.0	0.7	95%CL	35.83	1.33	34.70	2.74	36.00	1.25
Ce	38.4	0.7	95%CL	38.53	2.53	37.48	2.70	38.57	0.89
Pr	37.9	1.0	95%CL	37.22	1.24	36.61	1.48	37.37	1.61
Nd	35.5	0.7	95%CL	35.27	1.30	34.53	2.09	35.79	1.95
Sm	37.7	0.8	95%CL	36.88	2.61	36.16	2.21	36.97	1.60
Eu	35.6	0.8	95%CL	34.49	1.16	34.07	2.70	34.46	0.45
Gd	37.3	0.9	95%CL	37.04	1.87	36.17	3.60	36.83	0.81
Tb	37.6	1.1	95%CL	35.99	1.49	35.58	2.57	36.53	1.51
Dy	35.5	0.7	95%CL	36.05	1.65	35.54	3.01	36.25	1.03
Ho	38.3	0.8	95%CL	38.00	2.10	37.49	2.46	38.41	1.33
Er	38.0	0.9	95%CL	37.51	1.75	37.12	2.41	37.61	1.08
Tm	36.8	0.6	95%CL	37.65	1.92	37.23	1.95	37.89	1.19
Yb	39.2	0.9	95%CL	40.04	1.82	39.83	1.77	39.82	1.14
Lu	37.0	0.9	95%CL	37.79	1.89	37.73	1.31	38.12	1.36
Hf	36.7	1.2	95%CL	34.90	2.14	35.09	1.27	35.30	1.48
Ta	37.6	1.9	95%CL	39.84	1.77	39.70	1.27	40.16	1.41
Pb	38.57	0.2	95%CL	38.97	2.70	39.27	1.63	39.63	1.70
Th	37.79	0.08	95%CL	37.27	1.55	37.23	0.78	37.69	1.57
U	37.38	0.08	95%CL	37.27	2.30	36.77	2.16	37.82	1.78

¹ D.P. = desvio padrão

CL= Dentro do intervalo de confiança de 95%

Apêndice A - Tabela 5 Valor preferido do padrão NIST612 para o controle de qualidade

Elemento	NIST612						
	GeoReM			A2-3		A3-4	
	Valor preferido	Erro	Incerteza	6 análises		6 análises	
				Média	D.P.	Média	D.P.
Li	40.20	1.3	95%CL	41.64	1.56	41.38	1.38
Na	10.16	0.223	95%CL	10.43	6.13	10.41	2.10
Al	1.07	0.0212	95%CL	1.130	0.916	1.126	0.583
P	46.6	6.9	95%CL	59.9	11.0	69.4	15.2
Ca	8.5	0.0715	95%CL	8.545	0.448	8.493	0.612
Sc	39.9	2.5	95%CL	41.22	2.78	41.22	2.94
Ti	44.0	2.3	95%CL	48.31	4.11	47.24	4.63
V	38.8	1.2	95%CL	39.48	3.12	39.23	3.10
Cr	36.4	1.5	95%CL	40.08	3.00	39.85	2.76
Mn	38.7	0.9	95%CL	38.53	2.08	38.77	2.38
Co	35.5	1	95%CL	35.50	2.88	35.41	1.81
Ni	38.8	0.2	95%CL	38.80	3.84	38.45	4.02
Cu	37.8	1.5	95%CL	37.03	3.45	36.42	2.00
Zn	39.1	1.7	95%CL	38.32	3.98	37.13	3.18
Rb	31.4	0.4	95%CL	31.76	1.86	31.75	2.57
Sr	78.4	0.2	95%CL	76.76	5.98	75.71	3.52
Y	38.3	1.4	95%CL	38.58	3.20	38.49	2.10
Zr	37.9	1.2	95%CL	36.29	3.13	35.87	1.86
Nb	38.9	2.1	95%CL	38.37	3.17	38.17	2.23
Ba	39.3	0.9	95%CL	38.08	3.75	38.19	2.47
La	36.0	0.7	95%CL	36.10	3.27	36.11	2.36
Ce	38.4	0.7	95%CL	38.64	3.18	38.73	1.49
Pr	37.9	1.0	95%CL	37.51	3.36	37.53	2.48
Nd	35.5	0.7	95%CL	35.64	3.82	36.65	4.49
Sm	37.7	0.8	95%CL	37.16	4.28	36.72	2.96
Eu	35.6	0.8	95%CL	34.71	2.86	34.23	2.23
Gd	37.3	0.9	95%CL	37.31	3.87	37.32	2.23
Tb	37.6	1.1	95%CL	36.21	3.16	35.71	1.62
Dy	35.5	0.7	95%CL	36.33	3.60	35.72	2.32
Ho	38.3	0.8	95%CL	38.19	3.41	37.30	2.04
Er	38.0	0.9	95%CL	37.68	2.90	36.98	2.14
Tm	36.8	0.6	95%CL	37.83	2.92	37.06	1.92
Yb	39.2	0.9	95%CL	40.05	1.88	39.23	2.36
Lu	37.0	0.9	95%CL	37.89	2.42	36.90	2.79
Hf	36.7	1.2	95%CL	34.88	1.76	34.33	3.45
Ta	37.6	1.9	95%CL	40.00	2.76	39.74	3.68
Pb	38.57	0.2	95%CL	38.99	1.29	39.19	2.97
Th	37.79	0.08	95%CL	37.47	2.95	37.29	2.88
U	37.38	0.08	95%CL	37.31	2.22	37.16	2.82

¹ D.P. = desvio padrão

* CL = Dentro do intervalo de confiança de 95%

Apêndice A – Tabela 6 Composições (% em massa) e fórmula estrutural dos piroxênios da intrusão Indaia II (continua)

Amostra	C12	C12	C12	C12	C12	C12
Grão	cpx_43	cpx_44	cpx_45	cpx_46	cpx_48	cpx_49
Localização ¹	cx	cx	cx	n	n	n
SiO ₂	53.56	53.79	52.04	52.88	51.61	53.1
TiO ₂	1.09	0.53	1.95	1.64	1.6	1.03
Al ₂ O ₃	0.48	0.35	0.5	0.68	1	0.33
FeO	4.95	4.84	6.53	4.86	5.45	4.87
Cr ₂ O ₃	0.03		0.01		0.01	0.06
MnO		0.09	0.18			
MgO	15.57	16.11	14.36	15.64	15.12	15.87
CaO	22.95	22.13	21.03	22.66	22.41	23.32
Na ₂ O	1.04	1.32	1.87	1.13	1.13	1
K ₂ O			0.12			0.14
Total	99.67	99.16	98.59	99.49	98.33	99.72
Fórmula estrutural na base de 6 oxigênios						
<i>TSi</i>	1.967	1.974	1.938	1.945	1.924	1.946
<i>TAl</i>	0.021	0.015	0.022	0.029	0.044	0.014
<i>TFe3</i>	0.012	0.011	0.041	0.026	0.032	0.04
<i>MI Al</i>						
<i>MI Ti</i>	0.03	0.015	0.055	0.045	0.045	0.028
<i>MI Fe3</i>	0.046	0.091	0.094	0.045	0.068	0.073
<i>MI Fe2</i>	0.071	0.013	0.054	0.052	0.047	0.03
<i>MI Cr</i>	0.001					0.002
<i>MI Mg</i>	0.852	0.881	0.797	0.857	0.84	0.867
<i>M2 Mg</i>						
<i>M2 Fe2</i>	0.023	0.033	0.015	0.027	0.023	0.007
<i>M2 Mn</i>		0.003	0.006			
<i>M2 Ca</i>	0.903	0.87	0.839	0.893	0.895	0.916
<i>M2 Na</i>	0.074	0.094	0.135	0.081	0.082	0.071
<i>M2 K</i>			0.006			0.007
Σ Cátions	4	4	3.994	4	4	3.993
Componentes moleculares (%)						
<i>Jadeíta</i>						
<i>Egirina</i>	7.416	9.446	13.631	8.098	8.297	7.246
<i>Esseneíta</i>						
<i>CaTi-Tschermakita</i>	1.079	0.773	1.188	1.542	2.326	0.751
<i>Ca-Tschermakita</i>						
<i>Wollastonita</i>	47.341	45.729	45.471	46.998	46.979	47.396
<i>Enstatita</i>	44.689	46.318	43.201	45.134	44.103	44.878
<i>Ferrossilita</i>	7.97	7.953	11.328	7.868	8.918	7.726
<i>Nome</i>	Diopsídio	Diopsídio	Diopsídio	Diopsídio	Diopsídio	Diopsídio
<i>Modificador</i>	com Fe ³⁺					
<i>T(°C)</i> ²	1113	1141	1077	1106	1097	1015

¹ Localização: n = núcleo, b = borda, inc = inclusão, cx = enclave félsico e x = xenocrystal., ²T(em °C) por Putirka (2008) em 1kbar

Apêndice A – Tabela 6 Composições (% em massa) e formula estrutural dos piroxênios da intrusão Indaia II (continuação)

Amostra	C1-1	C1-1	C1-1	C1-1	C1-1	C1-1
Grão	cpx_50	cpx_51	cpx_53	cpx_54	cpx_39	cpx_40
Localização ¹	n	n	n	n	inc	inc
SiO ₂	52.15	52.06	52.57	52.33	53.97	53.85
TiO ₂	1.95	1.95	1.62	1.6	0.44	0.48
Al ₂ O ₃	0.51	0.52	0.57	0.71	2	2.12
FeO	5.24	5.63	4.95	5.11	4.22	4.28
Cr ₂ O ₃	0.02	0.01	0.04	0.02	1.63	1.72
MnO	0.12	0.14			0.13	0.15
MgO	15.43	15.69	15.58	15.58	17.85	17.87
CaO	23.46	22.85	23.07	22.58	18.82	18.47
Na ₂ O	0.91	1.13	0.96	1	1.51	1.47
K ₂ O	0.16		0.08	0.3	0.02	0.21
Total	99.95	99.98	99.44	99.23	100.59	100.62
Fórmula estrutural na base de 6 oxigênios						
TSi	1.917	1.91	1.937	1.931	1.939	1.935
TAl	0.022	0.022	0.025	0.031	0.061	0.065
TFe3	0.061	0.068	0.038	0.038		
M1 Al					0.024	0.025
M1 Ti	0.054	0.054	0.045	0.044	0.012	0.013
M1 Fe3	0.047	0.063	0.044	0.065	0.072	0.077
M1 Fe2	0.053	0.025	0.054	0.033		
M1 Cr	0.001		0.001	0.001	0.046	0.049
M1 Mg	0.845	0.858	0.856	0.857	0.846	0.836
M2 Mg					0.111	0.121
M2 Fe2		0.017	0.017	0.022	0.055	0.051
M2 Mn	0.004	0.004			0.004	0.005
M2 Ca	0.924	0.898	0.911	0.893	0.725	0.711
M2 Na	0.065	0.08	0.069	0.072	0.105	0.102
M2 K	0.008		0.004	0.014	0.001	0.01
∑ Cátions	3.992	4	3.996	3.986	3.999	3.99
Componentes moleculares (%)						
Jadeíta					2.699	2.571
Egirina	6.632	8.187	6.947	7.349	8.093	8.048
Esseneíta					1.976	2.111
CaTi-Tschermakita	1.165	1.196	1.295	1.633	0.646	0.708
Ca-Tschermakita						
Wollastonita	47.766	46.456	47.458	46.801	39.997	39.471
Enstatita	43.713	44.384	44.594	44.932	52.784	53.136
Ferrossilita	8.521	9.159	7.948	8.267	7.219	7.393
Nome	Diopsídio	Diopsídio	Diopsídio	Diopsídio	Augita	Augita
Modificador	com Fe ³⁺	com Fe ³⁺	com Fe ³⁺	com Fe ³⁺	com cromo e sódio	com cromo e sódio
T(°C) ²	971	1080	1080	1090	-	-

¹ Localização: n = núcleo, b = borda, inc = inclusão, cx = enclave félsico e x = xenocrystal., ²T(em °C) por Putirka (2008) em 1kbar

Apêndice A – Tabela 6 Composições (% em massa) e formula estrutural dos piroxênios da intrusão Indaia II (continua)

Amostra	C1-1	C1-1	C1-1	C1-1	C1-1	C1-1
Grão	cpx_41	cpx_42	cpx_29	cpx_30	cpx_31	cpx_32
Localização ¹	inc	inc	n	n	n	n
SiO ₂	53.88	55.07	53.23	53.3	52.42	52.87
TiO ₂	0.39	0.37	1.22	0.82	0.98	1.16
Al ₂ O ₃	2	1.54	0.42	0.61	0.38	0.77
FeO	4.14	6.23	4.62	4.51	4.35	4.59
Cr ₂ O ₃	1.9	1.01	0.01		0.07	
MnO	0.14	0.13			0.14	0.13
MgO	17.9	27.1	16.04	16.54	16.03	16.33
CaO	18.69	9	23.37	22.98	24.51	21.93
Na ₂ O	1.5	0.76	0.84	0.93	0.7	0.84
K ₂ O		0.01	0.05	0.24	0.15	0.81
Total	100.54	101.22	99.8	99.93	99.73	99.43
Fórmula estrutural na base de 6 oxigênios						
<i>TSi</i>	1.938	1.919	1.951	1.942	1.922	1.938
<i>TAl</i>	0.062	0.063	0.018	0.026	0.016	0.033
<i>TFe3</i>		0.018	0.031	0.032		0.028
<i>MI Al</i>	0.022					
<i>MI Ti</i>	0.011	0.01	0.034	0.022	0.027	0.032
<i>MI Fe3</i>	0.069	0.086	0.044	0.09		0.095
<i>MI Fe2</i>			0.046		0.095	
<i>MI Cr</i>	0.054	0.028			0.002	
<i>MI Mg</i>	0.844	0.877	0.876	0.887	0.876	0.873
<i>M2 Mg</i>	0.116	0.531		0.011		0.02
<i>M2 Fe2</i>	0.055	0.078	0.02	0.015	0.038	0.017
<i>M2 Mn</i>	0.004	0.004			0.004	0.004
<i>M2 Ca</i>	0.72	0.336	0.918	0.897	0.963	0.861
<i>M2 Na</i>	0.105	0.051	0.06	0.066	0.05	0.06
<i>M2 K</i>			0.002	0.011	0.007	0.038
∑ Cátions	4	4	3.998	3.989	3.993	3.962
Componentes moleculares (%)						
<i>Jadeíta</i>	2.622					
<i>Egirina</i>	8.114	5.327	6.03	6.766	0.057	6.303
<i>Esseneíta</i>	2.22	3.292		0.698		
<i>CaTi-Tschermakita</i>	0.573	0.518	0.943	1.191	0.809	1.712
<i>Ca-Tschermakita</i>						
<i>Wollastonita</i>	39.818	17.417	47.409	46.411	48.708	45.369
<i>Enstatita</i>	53.061	72.973	45.275	46.479	44.324	47.006
<i>Ferrossilita</i>	7.12	9.61	7.316	7.11	6.968	7.625
<i>Nome</i>	Augita	Pigeonita	Diopsídio	Diopsídio	Diopsídio	Diopsídio
<i>Modificador</i>	com cromo e sódio	com cromo e cálcio	com Fe ³⁺	com Fe ³⁺	com Fe ³⁺	com Fe ³⁺
<i>T(°C)²</i>	-	-	1100	1112	1112	1131

¹Localização: n = núcleo, b = borda, inc = inclusão, cx = enclave félsico e x = xenocristal., ²T (em °C) por Putirka (2008) em 1kbar

Apêndice A – Tabela 6 Composições (% em massa) e formula estrutural dos piroxênios da intrusão Indaia II (continua)

Amostra	C1-1	C1-1	C1-1	C1-1	C1-1	C1-1
Grão	cpx_33	cpx_34	cpx_35	cpx_37	cpx_38	cpx_26
Localização ¹	n	n	n	x	x	n
SiO ₂	52.77	52.92	53.13	53.41	53.22	53.16
TiO ₂	1.37	1.28	0.94	0.18	0.34	0.73
Al ₂ O ₃	0.49	0.87	1.21	4.38	4.25	0.43
FeO	5.06	5.45	4.31	2.08	2.23	4.22
Cr ₂ O ₃		0.03		0.98	1.08	
MnO				0.08	0.08	
MgO	15.55	14.88	15.88	15.88	16.3	16.41
CaO	23.14	21.48	22.75	22.08	22.13	23.57
Na ₂ O	1	1.73	0.91	1.33	1.23	0.85
K ₂ O	0.06		0.79	0.03		0.14
Total	99.44	98.64	99.92	100.43	100.86	99.51
Fórmula estrutural na base de 6 oxigênios						
T Si	1.944	1.959	1.938	1.921	1.906	1.946
T Al	0.021	0.038	0.052	0.079	0.094	0.019
T Fe3	0.035	0.003	0.011			0.036
M1 Al				0.106	0.086	
M1 Ti	0.038	0.036	0.026	0.005	0.009	0.02
M1 Fe3	0.055	0.093	0.112	0.029	0.044	0.081
M1 Fe2	0.054	0.05				0.004
M1 Cr		0.001		0.028	0.031	
M1 Mg	0.854	0.821	0.862	0.832	0.831	0.895
M2 Mg			0.001	0.019	0.04	
M2 Fe2	0.013	0.024	0.009	0.033	0.023	0.009
M2 Mn				0.002	0.002	
M2 Ca	0.913	0.852	0.889	0.851	0.849	0.924
M2 Na	0.071	0.124	0.064	0.093	0.085	0.06
M2 K	0.003		0.037	0.001		0.007
Σ Cátions	3.997	4	3.963	3.999	4	3.993
Componentes moleculares (%)						
Jadeíta				7.569	5.908	
Egirina	7.228	12.45	6.809	2.074	3.009	6.178
Esseneíta			0.578	3.111	4.06	0.741
CaTi-Tschermakita	1.114	1.905	1.385	0.266	0.501	0.976
Ca-Tschermakita				0.658	0.018	
Wollastonita	47.49	46.255	47.19	48.144	47.475	47.428
Enstatita	44.404	44.584	45.832	48.178	48.655	45.944
Ferrossilita	8.106	9.161	6.978	3.678	3.87	6.628
Nome	Diopsídio	Diopsídio	Diopsídio	Diopsídio	Diopsídio	Diopsídio
Modificador	com Fe ³⁺	com Fe ³⁺ e sódio	com Fe ³⁺	com cromo e alumínio	com cromo e alumínio	com Fe ³⁺
T(°C) ²	1067	1103	1030	1171	1176	1028

¹ Localização: n = núcleo, b = borda, inc = inclusão, cx = enclave félsico e x = xenocrystal., ²T(em °C) por Putirka (2008) em 1kbar

Apêndice A – Tabela 6 Composições (% em massa) e formula estrutural dos piroxênios da intrusão Indaia II (continua)

Amostra	C1-1	B1-3	B1-3	B1-3	A3-4	A3-4
Grão	cpx_10	cpx_11	cpx_12	cpx_13	cpx_14	cpx_15
Localização ¹	n	b	n	n	n	n
SiO ₂	53.61	53.86	52.91	53.59	51.94	52.45
TiO ₂	0.64	0.47	1.15	0.86	2.22	1.16
Al ₂ O ₃	0.24	0.38	0.29	0.58	0.51	0.74
FeO	4.62	4.04	5.83	4.17	5.73	5.05
Cr ₂ O ₃	0.01	0.02				
MnO	0.16	0.15	0.18		0.14	0.13
MgO	16.04	16.69	15.53	16.14	15.2	16.07
CaO	23.44	23.65	23.03	23.3	22.1	22.28
Na ₂ O	0.85	0.78	1.07	0.87	1.44	0.87
K ₂ O	0.04	0.16	0.15		0.08	0.47
Total	99.65	100.2	100.14	99.51	99.36	99.22
Fórmula estrutural na base de 6 oxigênios						
<i>TSi</i>	1.965	1.956	1.937	1.964	1.917	1.931
<i>TAl</i>	0.01	0.016	0.013	0.025	0.022	0.032
<i>TFe3</i>	0.024	0.027	0.05	0.011	0.06	0.037
<i>M1 Al</i>						
<i>M1 Ti</i>	0.018	0.013	0.032	0.024	0.062	0.032
<i>M1 Fe3</i>	0.061	0.08	0.082	0.05	0.066	0.089
<i>M1 Fe2</i>	0.044	0.003	0.038	0.044	0.036	
<i>M1 Cr</i>		0.001				
<i>M1 Mg</i>	0.877	0.904	0.848	0.882	0.837	0.879
<i>M2 Mg</i>						0.003
<i>M2 Fe2</i>	0.012	0.013	0.008	0.023	0.015	0.03
<i>M2 Mn</i>	0.005	0.005	0.006		0.004	0.004
<i>M2 Ca</i>	0.921	0.92	0.904	0.915	0.874	0.879
<i>M2 Na</i>	0.06	0.055	0.076	0.062	0.103	0.062
<i>M2 K</i>	0.002	0.007	0.007		0.004	0.022
∑ Cátions	3.998	3.993	3.993	4	3.996	3.978
Componentes moleculares (%)						
<i>Jadeíta</i>						
<i>Egirina</i>	6.105	5.622	7.772	6.22	10.456	6.473
<i>Esseneíta</i>		0.938				0.242
<i>CaTi-Tschermakita</i>	0.541	0.675	0.665	1.231	1.187	1.711
<i>Ca-Tschermakita</i>						
<i>Wollastonita</i>	47.363	47.164	46.684	47.539	46.203	45.764
<i>Enstatita</i>	45.095	46.311	43.803	45.82	44.215	45.928
<i>Ferrossilita</i>	7.542	6.525	9.513	6.641	9.582	8.308
<i>Nome</i>	Diopsídio	Diopsídio	Diopsídio	Diopsídio	Diopsídio	Diopsídio
<i>Modificador</i>	com Fe ³⁺					
					e sódio	
<i>T(°C)</i> ²	1099	1092	1065	1115	1067	1127

¹ Localização: n = núcleo, b = borda, inc = inclusão, cx = enclave félsico e x = xenocristal., ²T(em °C) por Putirka (2008) em 1kbar

Apêndice A – Tabela 6 Composições (% em massa) e formula estrutural dos piroxênios da intrusão Indaia II (continua)

Amostra	A3-4	A3-4	A3-4	A3-4	A3-4	A3-4
Grão	cpx_16	cpx_17	cpx_18	cpx_19	cpx_20	cpx_22
Localização ¹	n	n	n	n	n	n
SiO ₂	53.36	52.84	51.5	52.73	52.35	52.15
TiO ₂	0.98	1.15	2.25	1.26	1.05	1.77
Al ₂ O ₃	0.36	0.55	0.63	0.61	0.9	0.62
FeO	4.46	4.91	5.74	4.9	5.39	5
Cr ₂ O ₃	0.07		0.01			0.03
MnO	0.13	0.13		0.12		0.16
MgO	16.09	15.97	15.3	16	15.71	15.96
CaO	23.74	22.85	22.69	23.28	20.97	21.8
Na ₂ O	0.9	0.95	1.35	0.93	1.25	1.32
K ₂ O	0.09	0.17	0.1	0.27	0.74	0.42
Total	100.18	99.52	99.57	100.1	98.36	99.23
Fórmula estrutural na base de 6 oxigênios						
<i>TSi</i>	1.946	1.941	1.897	1.926	1.94	1.917
<i>TAl</i>	0.015	0.024	0.027	0.026	0.039	0.027
<i>TFe3</i>	0.039	0.036	0.076	0.048	0.021	0.056
<i>M1 Al</i>						
<i>M1 Ti</i>	0.027	0.032	0.062	0.035	0.029	0.049
<i>M1 Fe3</i>	0.066	0.071	0.079	0.084	0.127	0.098
<i>M1 Fe2</i>	0.03	0.022	0.018	0.011		
<i>M1 Cr</i>	0.002					0.001
<i>M1 Mg</i>	0.875	0.874	0.84	0.871	0.844	0.853
<i>M2 Mg</i>					0.024	0.022
<i>M2 Fe2</i>	0.001	0.021	0.004	0.007	0.019	
<i>M2 Mn</i>	0.004	0.004		0.004		0.005
<i>M2 Ca</i>	0.927	0.899	0.895	0.911	0.832	0.859
<i>M2 Na</i>	0.064	0.068	0.096	0.066	0.09	0.094
<i>M2 K</i>	0.004	0.008	0.005	0.013	0.035	0.02
∑ Cátions	3.996	3.992	3.995	3.987	3.965	3.98
Componentes moleculares (%)						
<i>Jadeíta</i>						
<i>Egirina</i>	6.479	6.916	9.889	6.806	9.458	9.767
<i>Esseneíta</i>	0.026			0.275	0.098	
<i>CaTi-Tschermakita</i>	0.813	1.257	1.471	1.397	1.587	1.453
<i>Ca-Tschermakita</i>						
<i>Wollastonita</i>	47.756	46.627	46.823	47.067	44.583	45.383
<i>Enstatita</i>	45.035	45.343	43.931	45.009	46.472	46.229
<i>Ferrossilita</i>	7.21	8.03	9.246	7.924	8.945	8.388
<i>Nome</i>	Diopsídio	Diopsídio	Diopsídio	Diopsídio	Augita	Diopsídio
<i>Modificador</i>	com Fe ³⁺					
<i>T(°C)²</i>	984	1108	852	1035	1134	1089

¹ Localização: n = núcleo, b = borda, inc = inclusão, cx = enclave félsico e x = xenocrystal., ²T(em °C) por Putirka (2008) em 1kbar

Apêndice A – Tabela 6 Composições (% em massa) e formula estrutural dos piroxênios da intrusão Indaia II (continua)

Amostra	A3-4	A3-4	A3-4	A3-2	A3-2	A3-2
Grão	cpx_24	cpx_25	cpx_7	cpx_8	cpx_9	cpx_2
Localização ¹	n	n	int	int	b	n
SiO ₂	54.19	53.93	53.46	53.78	53.86	53.09
TiO ₂	0.76	1.11	0.87	0.93	0.76	1.23
Al ₂ O ₃	0.28	0.3	0.29	0.29	0.2	0.39
FeO	4.3	4.9	4.19	4.18	3.88	4.69
Cr ₂ O ₃		0.01	0.01		0.04	
MnO	0.15	0.14	0.12	0.09	0.12	
MgO	16.29	15.87	16.39	16.33	16.64	16.24
CaO	24.04	23.78	24.04	23.9	23.82	22.97
Na ₂ O	0.78	0.89	0.72	0.81	0.63	1.01
K ₂ O	0.08	0.07		0.02	0.04	
Total	100.87	101	100.09	100.33	99.99	99.62
Fórmula estrutural na base de 6 oxigênios						
<i>TSi</i>	1.962	1.956	1.95	1.957	1.965	1.945
<i>TAl</i>	0.012	0.013	0.012	0.012	0.009	0.017
<i>TFe3</i>	0.026	0.031	0.037	0.031	0.027	0.038
<i>M1 Al</i>						
<i>M1 Ti</i>	0.021	0.03	0.024	0.025	0.021	0.034
<i>M1 Fe3</i>	0.055	0.049	0.053	0.05	0.039	0.059
<i>M1 Fe2</i>	0.045	0.062	0.032	0.038	0.034	0.02
<i>M1 Cr</i>					0.001	
<i>M1 Mg</i>	0.879	0.858	0.891	0.886	0.905	0.887
<i>M2 Mg</i>						
<i>M2 Fe2</i>	0.004	0.006	0.006	0.007	0.019	0.027
<i>M2 Mn</i>	0.005	0.004	0.004	0.003	0.004	
<i>M2 Ca</i>	0.933	0.924	0.94	0.932	0.931	0.902
<i>M2 Na</i>	0.055	0.063	0.051	0.057	0.045	0.072
<i>M2 K</i>	0.004	0.003		0.001	0.002	
∑ Cátions	3.996	3.997	4	3.999	3.998	4
Componentes moleculares (%)						
<i>Jadeíta</i>						
<i>Egirina</i>	5.544	6.323	5.16	5.771	4.497	7.251
<i>Esseneíta</i>			0.111			
<i>CaTi-Tschermakita</i>	0.622	0.669	0.649	0.647	0.444	0.882
<i>Ca-Tschermakita</i>						
<i>Wollastonita</i>	47.907	47.754	47.879	47.843	47.549	46.661
<i>Enstatita</i>	45.168	44.343	45.419	45.484	46.217	45.902
<i>Ferrossilita</i>	6.925	7.903	6.703	6.674	6.235	7.437
<i>Nome</i>	Diopsídio	Diopsídio	Diopsídio	Diopsídio	Diopsídio	Diopsídio
<i>Modificador</i>	com Fe ³⁺					
<i>T(°C)²</i>	1055	1063	1051	1059	1115	1110

¹ Localização: n = núcleo, b = borda, inc = inclusão, cx = enclave félsico e x = xenocristal., ²T(em °C) por Putirka (2008) em 1kbar

Apêndice A – Tabela 6 Composições (% em massa) e formula estrutural dos piroxênios da intrusão Indaia II (continua)

Amostra	A3-2	A2-3	A2-3
Grão	cpx_4	cpx_5	cpx_6
Localização ¹	n	n	n
SiO ₂	53.48	53.33	52.25
TiO ₂	0.97	1.24	1.96
Al ₂ O ₃	0.39	0.66	0.5
FeO	4	5.08	5.2
Cr ₂ O ₃		0.02	0.04
MnO	0.13	0.12	
MgO	16.04	16.15	15.48
CaO	23.35	21.8	22.84
Na ₂ O	0.85	1.04	1.3
K ₂ O	0.08	0.41	
Total	99.29	99.85	99.57
Fórmula estrutural na base de 6 oxigênios			
T Si	1.966	1.95	1.922
T Al	0.017	0.028	0.022
T Fe3	0.017	0.021	0.057
M1 Al			
M1 Ti	0.027	0.034	0.054
M1 Fe3	0.045	0.074	0.061
M1 Fe2	0.05	0.011	0.034
M1 Cr		0.001	0.001
M1 Mg	0.879	0.88	0.849
M2 Mg			
M2 Fe2	0.012	0.049	0.007
M2 Mn	0.004	0.004	
M2 Ca	0.92	0.854	0.9
M2 Na	0.061	0.074	0.093
M2 K	0.004	0.019	
∑ Cátions	3.996	3.981	4
Componentes moleculares (%)			
Jadeíta			
Egirina	6.104	7.578	9.384
Esseneíta			
CaTi-Tschermakita	0.877	1.506	1.15
Ca-Tschermakita			
Wollastonita	47.757	45.106	47.153
Enstatita	45.647	46.494	44.467
Ferrossilita	6.596	8.401	8.38
Nome	Diopsídio	Diopsídio	Augita
Modificador	com Fe ³⁺	com Fe ³⁺	com Fe ³⁺
T(°C) ²	1091	1147	1176

¹ Localização: n = núcleo, b = borda, inc = inclusão, cx = enclave félsico e x = xenocristal., ²T(em °C) por Putirka (2008) em 1kbar

Apêndice A - Tabela 7 Composições (% em massa) e formula estrutural das micas da intrusão Indaia II (continua)

Amostra	C1-2	C1-2	C1-2	C1-2	C1-2	C1-2	
Grão ¹	1_xeno	1_xeno	2_poiq	2_poiq	2_poiq	3_poiq	
Localização ²	n	b	n	n	n		
SiO ₂	40.51	39.25	38.54	38.42	39.51	37.72	
TiO ₂	5.71	6.00	6.21	6.22	6.03	6.35	
Al ₂ O ₃	10.20	9.27	11.40	11.38	11.58	11.91	
FeO	5.75	8.47	6.01	6.01	6.15	5.97	
MnO	0.08	0.08	0.07	0.08	0.09	0.07	
MgO	21.67	20.22	21.01	21.26	20.25	20.97	
ZnO	0.003		0.03		0.02	0.02	
CaO	0.06	0.07	0.04	0.10	0.23	0.07	
Na ₂ O	0.51	0.58	0.30	0.37	0.27	0.28	
K ₂ O	9.57	9.34	9.29	9.03	9.22	8.91	
BaO	1.86	2.77	3.02	2.85	3.14	3.97	
Cl			0.02			0.02	
F	0.92	0.92	0.87	0.95	0.78	0.91	
Total	96.84	96.97	96.81	96.67	97.28	97.17	
Fórmula estrutural na base de 11 oxigênios							
Sítio tetraédrico	Si	5.911	5.857	5.689	5.675	5.781	5.589
	Al	1.755	1.631	1.984	1.982	1.997	2.080
	Fe3+	0.334	0.512	0.327	0.343	0.222	0.331
	Σ cátions	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
Sítio octaédrico	Al	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Ti	0.627	0.673	0.690	0.691	0.664	0.708
	Fe2+	0.367	0.545	0.415	0.399	0.530	0.408
	Mn	0.010	0.011	0.008	0.010	0.012	0.009
Plano intercarnadas	Mg	4.714	4.498	4.623	4.682	4.417	4.632
	Σ cátions	5.718	5.727	5.736	5.782	5.622	5.757
	Ca	0.009	0.011	0.006	0.016	0.037	0.010
	Ba	0.106	0.162	0.175	0.165	0.180	0.230
Voláteis	Na	0.143	0.168	0.087	0.105	0.077	0.080
	K	1.782	1.778	1.749	1.702	1.721	1.684
	Σ cátions	2.040	2.118	2.017	1.987	2.015	2.005
	F	0.423	0.436	0.406	0.446	0.362	0.426
Voláteis	Cl	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.005
	OH	3.577	3.564	3.589	3.554	3.638	3.568
	Σ ânions	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Componentes moleculares							
Flogopita	0.82	0.79	0.81	0.81	0.79	0.80	
Annita	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
Tetraferroflogopita	0.04	0.06	0.04	0.04	0.03	0.04	
kinoshitalita	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
Siderofilita	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
total	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	

Apêndice A - Tabela 7 Composições (% em massa) e formula estrutural das micas da intrusão Indaia II (continuação)

Amostra	C1-2	C1-2	C1-2	C1-2	C1-2	A3-4	
Grão ¹	3_poiq	3_poiq	4_mtz	4_mtz	4_mtz	2_mtz	
Localização ²			n	zc	b		
SiO ₂	38.20	40.92	39.26	37.05	38.83	39.22	
TiO ₂	6.10	5.22	5.91	6.49	6.24	4.53	
Al ₂ O ₃	11.50	9.54	11.08	12.51	11.06	10.89	
FeO	5.90	5.86	5.70	6.09	6.15	5.54	
MnO	0.05	0.06	0.02	0.06	0.08	0.04	
MgO	21.19	20.05	21.39	20.63	21.09	22.87	
ZnO			0.04	0.03		0.02	
CaO	0.10	4.38	0.02	0.02	0.02	0.03	
Na ₂ O	0.32	0.40	0.39	0.30	0.38	0.49	
K ₂ O	9.10	7.45	9.31	8.59	9.41	9.47	
BaO	3.30	2.29	3.10	4.92	2.68	2.75	
Cl		0.01	0.02				
F	0.89	0.82	0.91	0.90	0.91	1.04	
Total	96.65	97.00	97.16	97.59	96.86	96.89	
Fórmula estrutural na base de 11 oxigênios							
Sítio tetraédrico	Si	5.656	5.968	5.767	5.501	5.723	5.781
	Al	2.007	1.640	1.919	2.190	1.922	1.892
	Fe3+	0.336	0.391	0.315	0.309	0.355	0.327
	Σ cátions	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
Sítio octaédrico	Al	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Ti	0.679	0.573	0.653	0.725	0.692	0.502
	Fe2+	0.394	0.323	0.386	0.447	0.403	0.356
	Mn	0.007	0.008	0.003	0.007	0.010	0.005
Plano intercarnadas	Mg	4.677	4.360	4.684	4.566	4.634	5.025
	Σ cátions	5.758	5.263	5.725	5.746	5.739	5.889
	Ca	0.015	0.684	0.004	0.003	0.004	0.005
	Ba	0.191	0.131	0.178	0.286	0.155	0.159
Voláteis	Na	0.091	0.114	0.111	0.087	0.109	0.139
	K	1.719	1.386	1.745	1.627	1.769	1.781
	Σ cátions	2.017	2.315	2.038	2.003	2.037	2.083
	F	0.418	0.376	0.424	0.425	0.426	0.485
Voláteis	Cl	0.000	0.004	0.004	0.000	0.000	0.000
	OH	3.582	3.620	3.571	3.575	3.574	3.515
	Σ ânions	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Componentes moleculares							
Flogopita	0.81	0.83	0.82	0.79	0.81	0.85	
Annita	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
Tetraferroflogopita	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	
kinoshitalita	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
Siderofilita	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
total	1.0	1.0	1.0	1.1	1.0	1.0	

Apêndice A - Tabela 7 Composições (% em massa) e formula estrutural das micas da intrusão Indaia II (continuação)

Amostra	A3-2	A3-2	A3-2	A3-2	A2-3	A2-3	
Grão ¹	2_xeno	2_xeno	2_mc	2_mc	3_mc	3_mc	
Localização ²	enclave	enclave			zc	ze	
SiO ₂	38.47	39.52	38.78	39.93	39.78	37.85	
TiO ₂	5.04	6.01	5.78	5.39	5.94	6.70	
Al ₂ O ₃	13.99	10.72	11.34	11.33	11.16	11.95	
FeO	5.83	6.33	6.11	5.77	5.78	6.43	
MnO	0.07	0.08	0.07	0.06	0.07	0.04	
MgO	18.83	21.66	21.63	22.00	20.90	20.09	
ZnO	0.02	0.05			0.02	0.05	
CaO	0.02	0.10	0.01	0.06	0.003	0.05	
Na ₂ O	0.90	0.45	0.31	0.42	0.42	0.30	
K ₂ O	11.23	9.43	9.40	9.40	9.51	9.05	
BaO	3.00	2.48	2.94	2.75	2.06	3.49	
Cl			0.01		0.02	0.01	
F	0.88	0.96	0.99	1.08	0.95	0.86	
Total	98.28	97.78	97.37	98.19	96.62	96.88	
<i>Fórmula estrutural na base de 11 oxigênios</i>							
Sítio tetraédrico	Si	5.639	5.769	5.702	5.798	5.833	5.612
	Al	2.361	1.845	1.966	1.939	1.929	2.089
	Fe3+	0.000	0.386	0.332	0.263	0.238	0.299
	Σ cátions	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
Sítio octaédrico	Al	0.056	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Ti	0.556	0.660	0.639	0.589	0.655	0.747
	Fe2+	0.715	0.387	0.419	0.438	0.471	0.498
	Mn	0.009	0.010	0.009	0.008	0.008	0.005
	Mg	4.114	4.714	4.741	4.762	4.569	4.441
Σ cátions	5.449	5.771	5.809	5.796	5.703	5.691	
Plano intercarnadas	Ca	0.002	0.015	0.002	0.009	0.001	0.007
	Ba	0.172	0.142	0.169	0.156	0.118	0.203
	Na	0.256	0.127	0.089	0.119	0.120	0.088
	K	2.100	1.756	1.763	1.741	1.779	1.712
	Σ cátions	2.531	2.040	2.023	2.025	2.018	2.010
Voláteis	F	0.409	0.443	0.460	0.496	0.442	0.405
	Cl	0.000	0.000	0.002	0.000	0.006	0.004
	OH	3.591	3.557	3.538	3.504	3.552	3.591
	Σ ânions	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
<i>Componentes moleculares (%)</i>							
Flogopita	0.76	0.82	0.82	0.82	0.80	0.78	
Annita	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
Tetraferroflogopita	0.00	0.05	0.04	0.03	0.03	0.04	
kinoshitalita	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
Siderofilita	0.061	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
total	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	

Apêndice A - Tabela 7 Composições (% em massa) e fórmula estrutural das micas da intrusão Indaia II (continuação)

Amostra	A3-4	A3-4	A3-2	A3-2	A3-2	A3-2	
Grão ¹	2_mtz	2_mtz	mtz	mtz	mtz	2_xeno	
Localização ²						enclave	
SiO ₂	39.40	39.92	38.58	39.53	41.87	39.69	
TiO ₂	4.73	4.53	6.35	6.38	5.53	5.36	
Al ₂ O ₃	10.44	10.96	11.00	11.19	7.82	11.36	
FeO	5.91	5.58	6.45	6.08	7.23	5.76	
MnO	0.06	0.06	0.03	0.07	0.07	0.05	
MgO	22.44	22.16	21.34	21.31	20.63	21.65	
ZnO		0.04	0.05	0.01			
CaO	0.01	0.08	0.06	0.08	0.08	0.09	
Na ₂ O	0.52	0.45	0.34	0.44	1.02	0.45	
K ₂ O	9.42	9.69	9.39	9.44	9.88	9.41	
BaO	2.41	2.59	2.94	2.73	1.47	3.26	
Cl	0.003				0.02	0.01	
F	1.04	1.01	0.92	0.92	1.10	0.99	
Total	96.38	97.08	97.46	98.18	96.72	98.08	
<i>Fórmula estrutural na base de 11 oxigênios</i>							
Sítio tetraédrico	Si	5.832	5.858	5.678	5.740	6.185	5.786
	Al	1.822	1.896	1.908	1.916	1.362	1.952
	Fe3+	0.347	0.246	0.413	0.344	0.453	0.262
	Σ cátions	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
Sítio octaédrico	Al	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Ti	0.527	0.500	0.703	0.697	0.614	0.588
	Fe2+	0.385	0.439	0.381	0.394	0.440	0.441
	Mn	0.007	0.008	0.004	0.008	0.009	0.006
Plano intercamadas	Mg	4.951	4.848	4.682	4.613	4.543	4.705
	Σ cátions	5.870	5.794	5.770	5.713	5.606	5.739
	Ca	0.001	0.013	0.010	0.013	0.012	0.014
	Ba	0.140	0.149	0.170	0.155	0.085	0.186
Voláteis	Na	0.148	0.129	0.098	0.122	0.292	0.128
	K	1.779	1.814	1.763	1.749	1.862	1.750
	Σ cátions	2.068	2.106	2.041	2.040	2.251	2.079
	F	0.487	0.469	0.430	0.424	0.514	0.455
Voláteis	Cl	0.001	0.000	0.000	0.000	0.006	0.004
	OH	3.512	3.531	3.570	3.576	3.480	3.542
	Σ ânions	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
<i>Componentes moleculares</i>							
Flogopita	0.84	0.84	0.81	0.81	0.81	0.82	
Annita	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
Tetraferri-flogopita	0.04	0.03	0.05	0.04	0.06	0.03	
kinoshitalita	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	
Siderofilita	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
total	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	

Apêndice A - Tabela 7 Composições (% em massa) e formula estrutural das micas da intrusão Indaia II (continuação)

Amostra	A2-3	A2-3	A2-3	A2-3	A2-3	A2-3	
Grão ¹	3_mc	3_mc	3_mc	1_xenoC	2_xenoC	3_xenoC	
Localização ²	zc	i	ze	enclave	enclave	enclave	
SiO ₂	38.66	38.68	39.65	41.45	48.87	40.89	
TiO ₂	6.94	6.56	5.98	4.80	2.76	4.81	
Al ₂ O ₃	10.36	11.00	10.77	9.06	3.36	9.89	
FeO	7.85	6.63	6.02	5.46	5.13	5.25	
MnO	0.06	0.06	0.07	0.06	0.11	0.07	
MgO	19.52	20.77	20.99	20.04	17.07	21.19	
ZnO	0.06		0.03		0.01	0.04	
CaO	0.04	0.003	0.01	5.25	16.75	2.61	
Na ₂ O	0.42	0.36	0.42	0.48	0.91	0.51	
K ₂ O	9.23	9.45	9.73	7.33	2.61	8.73	
BaO	3.00	2.49	1.89	1.77	0.60	2.01	
Cl		0.003	0.002				
F	0.81	0.87	0.98	0.87	0.26	0.87	
Total	96.95	96.87	96.54	96.56	98.43	96.86	
Fórmula estrutural na base de 11 oxigênios							
Sítio tetraédrico	Si	5.746	5.703	5.833	6.050	6.806	5.965
	Al	1.815	1.912	1.868	1.559	0.552	1.701
	Fe3+	0.439	0.386	0.299	0.391	0.643	0.335
	Σ cátions	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
Sítio octaédrico	Al	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Ti	0.776	0.727	0.662	0.527	0.289	0.528
	Fe2+	0.537	0.432	0.441	0.276	0.045	0.306
	Mn	0.007	0.007	0.009	0.007	0.013	0.008
	Mg	4.325	4.565	4.603	4.361	3.544	4.608
Σ cátions	5.645	5.731	5.716	5.170	3.891	5.450	
Plano intercamadas	Ca	0.007	0.001	0.002	0.821	2.499	0.408
	Ba	0.175	0.144	0.109	0.101	0.032	0.115
	Na	0.120	0.104	0.120	0.136	0.245	0.144
	K	1.750	1.777	1.826	1.365	0.464	1.625
	Σ cátions	2.052	2.026	2.057	2.423	3.241	2.292
Voláteis	F	0.382	0.404	0.455	0.400	0.115	0.400
	Cl	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
	OH	3.618	3.595	3.544	3.600	3.885	3.600
	Σ ânions	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Componentes moleculares (%)							
Flogopita	0.77	0.80	0.81	0.84	0.91	0.85	
Annita	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	
Tetraferri-flogopita	0.05	0.05	0.04	0.05	0.08	0.04	
kinoshitalita	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
Siderofilita	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
total	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.0	

Apêndice A - Tabela 7 Composições (% em massa) e formula estrutural das micas da intrusão Indaia II (continuação)

Amostra	A2-3	A2-3	A2-3	A2-3	A2-3	A2-3	
Grão ¹	1_mc	2_mc	3_mc	4_mc	mtz	mtz	
Localização ²						b	
SiO ₂	39.53	40.27	39.39	39.39	39.22	42.23	
TiO ₂	5.24	5.90	5.93	5.93	5.80	4.89	
Al ₂ O ₃	11.12	9.81	10.91	10.91	10.84	6.28	
FeO	5.42	6.69	6.07	6.07	6.25	8.23	
MnO	0.04	0.10	0.06	0.06	0.04	0.09	
MgO	21.75	20.94	21.69	21.69	21.51	20.89	
ZnO	0.01					0.03	
CaO	0.02	0.15	0.03	0.03	0.02	0.09	
Na ₂ O	0.39	0.63	0.40	0.40	0.43	1.35	
K ₂ O	9.54	9.65	9.61	9.61	9.34	9.94	
BaO	2.37	1.84	2.21	2.21	2.48	1.10	
Cl			0.01	0.01		0.02	
F	0.99	0.93	0.94	0.94	0.97	1.11	
Total	96.42	96.91	97.25	97.25	96.90	96.25	
Fórmula estrutural na base de 11 oxigênios							
Sítio tetraédrico	Si	5.819	5.913	5.763	5.763	5.772	6.302
	Al	1.930	1.698	1.882	1.882	1.881	1.105
	Fe3+	0.251	0.389	0.356	0.356	0.347	0.594
	Σ cátions	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
Sítio octaédrico	Al	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Ti	0.580	0.652	0.653	0.653	0.642	0.549
	Fe2+	0.416	0.432	0.387	0.387	0.422	0.434
	Mn	0.005	0.013	0.008	0.008	0.006	0.012
	Mg	4.773	4.584	4.731	4.731	4.719	4.647
Σ cátions	5.774	5.680	5.778	5.778	5.789	5.641	
Plano intercamadas	Ca	0.004	0.023	0.004	0.004	0.003	0.015
	Ba	0.137	0.106	0.127	0.127	0.143	0.064
	Na	0.112	0.179	0.114	0.114	0.122	0.390
	K	1.792	1.808	1.794	1.794	1.754	1.892
	Σ cátions	2.044	2.115	2.038	2.038	2.021	2.361
Voláteis	F	0.462	0.432	0.436	0.436	0.453	0.524
	Cl	0.000	0.000	0.002	0.002	0.000	0.004
	OH	3.538	3.568	3.563	3.563	3.547	3.472
	Σ ânions	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Componentes moleculares (%)							
Flogopita	0.83	0.81	0.82	0.82	0.82	0.82	
Annita	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
Tetraferri-flogopita	0.03	0.05	0.04	0.04	0.04	0.07	
kinoshitalita	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	
Siderofilita	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
total	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	

Apêndice A - Tabela 7 Composições (% em massa) e formula estrutural das micas da intrusão Indaia II (continuação)

Amostra	A2-3	A2-3	
Grão ¹	mtz	mtz	
Localização ²	b	b	
SiO ₂	38.93	40.04	
TiO ₂	5.94	5.21	
Al ₂ O ₃	10.86	10.84	
FeO	6.27	5.69	
MnO	0.07	0.05	
MgO	20.87	21.97	
ZnO			
CaO	0.001	0.03	
Na ₂ O	0.41	0.48	
K ₂ O	9.27	9.57	
BaO	2.74	2.29	
Cl		0.01	
F	0.93	1.06	
Total	96.29	97.24	
<i>Fórmula estrutural na base de 11 oxigênios</i>			
Sítio tetraédrico	Si	5.774	5.855
	Al	1.899	1.869
	Fe ³⁺	0.327	0.276
	Σ cátions	8.000	8.000
Sítio octaédrico	Al	0.000	0.000
	Ti	0.663	0.573
	Fe ²⁺	0.451	0.419
	Mn	0.009	0.006
	Mg	4.615	4.789
	Σ cátions	5.737	5.788
Plano intercarnadas	Ca	0.000	0.005
	Ba	0.159	0.131
	Na	0.117	0.136
	K	1.754	1.785
	Σ cátions	2.030	2.057
Voláteis	F	0.436	0.490
	Cl	0.000	0.004
	OH	3.564	3.506
	Σ ânions	4.000	4.000
<i>Componentes moleculares (%)</i>			
Flogopita	0.80	0.83	
Annita	0.1	0.1	
Tetraferroflogopita	0.04	0.03	
kinoshitalita	0.1	0.1	
Siderofilita	0.000	0.000	
total	1.0	1.0	

Apêndice A - Tabela 8 Composições (% em massa) e formula estrutural dos espinélios da intrusão Indaia II (continua)

Amostra	C1-1	C1-1	B1-3	B1-3	B1-3	B1-3
Grão	OP_1	OP_2	OP_1	OP_1	OP_2	OP_2
Localização ¹			n	b	n	b
SiO ₂	3.14	0.12	0.07	0.08	0.04	0.09
TiO ₂	11.64	11.64	4.49	11.86	4.33	10.95
Al ₂ O ₃	0.74	0.28	5.87	0.29	5.43	0.30
Fe ₂ O ₃	38.33	44.57	8.71	42.62	9.46	42.12
FeO	35.24	33.80	24.95	33.65	24.99	33.03
Cr ₂ O ₃	0.25	3.10	46.76	4.42	46.86	7.07
MnO	1.08	1.01	1.02	0.95	1.02	0.96
MgO	4.49	4.27	6.93	4.50	6.73	4.58
CaO	0.27	0.35	0.04	0.11	0.06	0.18
K ₂ O	0.43	0.01	0.00	0.06	0.00	
Total	95.61	99.17	98.83	98.53	98.92	99.28
Formula estrutural segundo Ferracuti et al. (2015)						
Si	0.118	0.005	0.002	0.003	0.001	0.003
Ti	0.329	0.324	0.118	0.331	0.114	0.303
Al	0.033	0.012	0.241	0.013	0.224	0.013
Fe3	1.086	1.241	0.229	1.192	0.249	1.168
Fe2	1.109	1.046	0.728	1.045	0.731	1.018
Cr	0.007	0.091	1.290	0.130	1.297	0.206
Mn	0.034	0.032	0.030	0.030	0.030	0.030
Mg	0.252	0.236	0.360	0.249	0.351	0.252
Ca	0.011	0.014	0.001	0.004	0.002	0.007
K	0.021	0.001		0.003		
Membros finais (%)						
Espinélio	0.41	0.14	4.15	0.14	3.76	0.15
Hercynita	1.80	0.59	8.38	0.60	7.82	0.61
Galaxita	0.05	0.01	0.35	0.01	0.32	0.01
Magnésioferrita	13.55	13.41	3.93	13.53	4.19	13.43
Magnetita	59.63	59.54	7.94	56.74	8.71	54.34
Jacobsita	1.85	1.81	0.33	1.61	0.36	1.60
Magnesiocromita	0.09	0.97	22.18	1.48	21.76	2.38
Cromita	0.40	4.35	44.79	6.19	45.30	9.59
Mânganocromita	0.01	0.14	1.85	0.18	1.87	0.29
Ulvöespinélio	18.09	15.54	4.09	15.78	3.99	14.13
Qandilita	4.11	3.50	2.03	3.76	1.91	3.49

¹ Localização das análises no grão: n = núcleo, i = intermédio e b = borda.

Apêndice A - Tabela 8 Composições (% em massa) e fórmula estrutural dos espinélios da intrusão Indaia II (continuação)

Amostra	C1-1	C1-1	B1-3	B1-3	B1-3	B1-3
Grão	OP_1	OP_2	OP_1	OP_1	OP_2	OP_2
Localização ¹			n	b	n	b
SiO ₂	3.14	0.12	0.07	0.08	0.04	0.09
TiO ₂	11.64	11.64	4.49	11.86	4.33	10.95
Al ₂ O ₃	0.74	0.28	5.87	0.29	5.43	0.30
Fe ₂ O ₃	38.33	44.57	8.71	42.62	9.46	42.12
FeO	35.24	33.80	24.95	33.65	24.99	33.03
Cr ₂ O ₃	0.25	3.10	46.76	4.42	46.86	7.07
MnO	1.08	1.01	1.02	0.95	1.02	0.96
MgO	4.49	4.27	6.93	4.50	6.73	4.58
CaO	0.27	0.35	0.04	0.11	0.06	0.18
K ₂ O	0.43	0.01	0.00	0.06	0.00	
Total	95.61	99.17	98.83	98.53	98.92	99.28
Formula estrutural segundo Ferracuti et al. (2015)						
Si	0.118	0.005	0.002	0.003	0.001	0.003
Ti	0.329	0.324	0.118	0.331	0.114	0.303
Al	0.033	0.012	0.241	0.013	0.224	0.013
Fe3	1.086	1.241	0.229	1.192	0.249	1.168
Fe2	1.109	1.046	0.728	1.045	0.731	1.018
Cr	0.007	0.091	1.290	0.130	1.297	0.206
Mn	0.034	0.032	0.030	0.030	0.030	0.030
Mg	0.252	0.236	0.360	0.249	0.351	0.252
Ca	0.011	0.014	0.001	0.004	0.002	0.007
K	0.021	0.001		0.003		
Membros finais (%)						
Espinélio	0.41	0.14	4.15	0.14	3.76	0.15
Hercynita	1.80	0.59	8.38	0.60	7.82	0.61
Galaxita	0.05	0.01	0.35	0.01	0.32	0.01
Magnésioferrita	13.55	13.41	3.93	13.53	4.19	13.43
Magnetita	59.63	59.54	7.94	56.74	8.71	54.34
Jacobsita	1.85	1.81	0.33	1.61	0.36	1.60
Magnesiocromita	0.09	0.97	22.18	1.48	21.76	2.38
Cromita	0.40	4.35	44.79	6.19	45.30	9.59
Mânganocromita	0.01	0.14	1.85	0.18	1.87	0.29
Ulvöespinélio	18.09	15.54	4.09	15.78	3.99	14.13
Qandilita	4.11	3.50	2.03	3.76	1.91	3.49

¹ Localização das análises no grão: n = núcleo, i = intermédio e b = borda.

Apêndice A - Tabela 8 Composições (% em massa) e formula estrutural dos espinélios da intrusão Indaia II (continuação)

Amostra	B1-3	B1-3	A3-4	A3-4	A3-4	A2-3	A2-3	A2-3
Grão	OP_3	OP_3	OP_3	OP_3	OP_3	OP_1	OP_1	OP_2
Localização ¹	n	n	n	i	b	n	b	n
SiO ₂	0.08	0.07		0.02	0.08	0.07	0.19	0.08
TiO ₂	13.11	13.21	4.88	4.87	13.80	4.37	14.24	4.42
Al ₂ O ₃	0.23	0.27	2.36	5.41	0.23	5.44	0.25	5.60
Fe ₂ O ₃	42.73	44.43	11.49	9.26	39.43	9.01	38.35	8.49
FeO	34.81	35.11	25.56	26.04	36.00	25.44	36.07	25.61
Cr ₂ O ₃	1.40	0.09	47.34	46.73	4.61	47.06	3.59	47.01
MnO	0.97	0.95	1.03	0.99	1.10	1.05	1.15	1.03
MgO	4.30	4.27	6.31	6.62	4.32	6.46	4.25	6.43
CaO	0.18	0.21	0.04	0.02	0.07	0.08	0.16	
K ₂ O	0.03	0.05	0.02		0.05	0.01	0.05	0.01
Total	97.84	98.66	99.03	99.94	99.69	99.00	98.30	98.67
Formula estrutural segundo Ferracuti et al. (2015)								
Si	0.003	0.003		0.001	0.003	0.003	0.007	0.003
Ti	0.370	0.370	0.131	0.127	0.381	0.115	0.399	0.117
Al	0.010	0.012	0.099	0.221	0.010	0.225	0.011	0.232
Fe3	1.205	1.244	0.308	0.242	1.090	0.237	1.074	0.224
Fe2	1.091	1.092	0.761	0.756	1.106	0.745	1.123	0.752
Cr	0.042	0.003	1.333	1.282	0.134	1.303	0.106	1.305
Mn	0.031	0.030	0.031	0.029	0.034	0.031	0.036	0.031
Mg	0.240	0.237	0.335	0.342	0.237	0.337	0.236	0.337
Ca	0.007	0.008	0.001	0.001	0.003	0.003	0.007	
K	0.002	0.002	0.001		0.002	0.001	0.002	
Membros finais (%)								
Espinélio	0.11	0.13	1.58	3.60	0.10	3.63	0.11	3.71
Hercynita	0.50	0.58	3.59	7.94	0.50	8.00	0.55	8.30
Galaxita	0.01	0.01	0.15	0.30	0.01	0.34	0.01	0.34
Magnésioferrita	13.14	13.39	4.90	3.93	11.66	3.84	11.50	3.60
Magnetita	59.67	61.73	11.14	8.68	54.53	8.46	54.77	8.04
Jacobsita	1.69	1.69	0.45	0.34	1.70	0.35	1.78	0.33
Magnesiocromita	0.45	0.03	21.21	20.84	1.44	21.03	1.14	20.94
Cromita	2.06	0.14	48.21	46.00	6.70	46.46	5.39	46.78
Mânganocromita	0.06		1.98	1.76	0.21	1.94	0.18	1.91
Ulvöespinélio	18.29	18.34	4.73	4.56	19.07	4.10	20.32	4.19
Qandilita	4.02	3.98	2.08	2.06	4.07	1.86	4.26	1.88

¹ Localização das análises ¹ Localização das análises no grão: n = núcleo, i = intermédio e b = borda.

Apêndice A - Tabela 8 Composições (% em massa) e formula estrutural dos espinéios da intrusão Indaia II (continuação)

Amostra	A2-3	A3-2						
Grão	OP_2	OP_3	OP_3	OP_4	OP_4	OP_5	OP_5	OP_1
Localização ¹	b	n	b	n	b	n	b	n
SiO ₂	0.02	0.05	0.06	0.02	0.04	0.08	0.05	0.02
TiO ₂	13.62	4.62	13.17	4.22	9.96	4.55	12.63	4.37
Al ₂ O ₃	0.20	4.99	0.24	5.66	0.34	4.31	0.25	5.89
Fe ₂ O ₃	38.72	14.29	37.75	9.24	34.76	14.43	38.60	9.33
FeO	35.59	26.17	35.12	25.42	32.63	25.97	34.30	25.39
Cr ₂ O ₃	4.99	41.64	6.65	47.19	16.25	42.01	6.60	46.84
MnO	1.12	1.05	1.11	1.08	1.02	1.02	1.06	1.04
MgO	4.25	6.00	4.24	6.38	4.33	5.96	4.40	6.56
CaO	0.14	0.09	0.13	0.05	0.09	0.10	0.17	0.09
K ₂ O		0.01	0.04	0.04	0.02		0.02	0.04
Total	98.65	98.90	98.52	99.29	99.44	98.42	98.07	99.57
<i>Formula estrutural segundo Ferracuti et al. (2015)</i>								
Si	0.001	0.002	0.002	0.001	0.002	0.003	0.002	0.001
Ti	0.380	0.123	0.368	0.111	0.275	0.122	0.354	0.114
Al	0.009	0.208	0.011	0.233	0.015	0.181	0.011	0.241
Fe3	1.082	0.380	1.056	0.243	0.961	0.387	1.083	0.244
Fe2	1.105	0.773	1.091	0.742	1.002	0.773	1.070	0.738
Cr	0.147	1.163	0.195	1.303	0.472	1.183	0.195	1.287
Mn	0.035	0.031	0.035	0.032	0.032	0.031	0.033	0.031
Mg	0.235	0.316	0.235	0.332	0.237	0.316	0.245	0.340
Ca	0.005	0.003	0.005	0.002	0.003	0.004	0.007	0.003
K			0.002	0.002	0.001		0.001	0.002
<i>Membros finais (%)</i>								
Espinélio	0.10	3.14	0.11	3.71	0.16	2.74	0.12	3.92
Hercynita	0.44	7.66	0.53	8.29	0.67	6.67	0.54	8.52
Galaxita	0.01	0.31	0.01	0.36	0.02	0.26	0.01	0.35
Magnésioferrita	11.51	5.73	11.24	3.86	10.45	5.85	12.02	3.97
Magnetita	54.05	14.01	52.26	8.64	44.16	14.29	52.61	8.62
Jacobsita	1.72	0.58	1.66	0.37	1.40	0.56	1.65	0.36
Magnesiocromita	1.56	17.54	2.08	20.73	5.12	17.87	2.16	20.95
Cromita	7.32	42.91	9.66	46.34	21.68	43.68	9.45	45.49
Mânganocromita	0.24	1.75	0.31	2.00	0.69	1.74	0.30	1.90
Ulvöespinélio	19.00	4.53	18.21	3.94	12.65	4.50	17.20	4.04
Qandilita	4.05	1.85	3.93	1.76	2.99	1.84	3.94	1.86

¹ Localização das análises ¹ Localização das análises no grão: n = núcleo, i = intermédio e b = borda.

Apêndice A - Tabela 8 Composições (% em massa) e formula estrutural dos espinélios da intrusão Indaia II (continuação)

Amostra	A3-2	A3-2	A3-2
Grão	OP_1	OP_2	OP_2
Localização ¹	b	n	b
SiO ₂	0.08	0.08	0.07
TiO ₂	13.70	4.30	12.31
Al ₂ O ₃	0.24	5.70	0.27
Fe ₂ O ₃	40.52	10.08	37.48
FeO	36.28	25.91	34.64
Cr ₂ O ₃	3.70	46.21	9.94
MnO	1.14	1.09	1.12
MgO	4.11	6.29	4.56
CaO	0.12	0.07	0.06
K ₂ O	0.02	0.00	0.02
Total	99.90	99.73	100.46
Formula estrutural segundo Ferracuti et al. (2015)			
Si	0.003	0.003	0.003
Ti	0.378	0.113	0.337
Al	0.010	0.234	0.011
Fe3	1.120	0.264	1.025
Fe2	1.115	0.754	1.053
Cr	0.107	1.272	0.286
Mn	0.036	0.032	0.035
Mg	0.225	0.326	0.247
Ca	0.005	0.002	0.002
K	0.001		0.001
Membros finais (%)			
Espinélio	0.11	3.65	0.13
Hercynita	0.53	8.44	0.55
Galaxita	0.01	0.36	0.01
Magnésioferrita	11.41	4.12	11.50
Magnetita	56.50	9.52	49.02
Jacobsita	1.80	0.41	1.61
Magnesiocromita	1.10	19.85	3.20
Cromita	5.43	45.86	13.66
Mânganocromita	0.18	1.96	0.45
Ulvöespinélio	19.09	4.06	16.09
Qandilita	3.85	1.76	3.78

¹ Localização das análises no grão: n = núcleo, i = intermédio e b = borda.

Apêndice A - Tabela 9 Composições (% em massa) e formula estrutural das perovskitas da intrusão Indaia II (continua)

Amostra	C1-2	C1-2	C1-2	C1-2	C1-2	
Grão	prv_1	prv_1	prv_1	prv_2	prv_2	
Localização ¹	n	i	b	n	i	
Na ₂ O	0.3983	0.3038	0.3125	0.4031	0.3809	
Al ₂ O ₃	0.2165	0.2734	0.3001	0.2901	0.2875	
SiO ₂	0.2165	0.2734	0.3001	0.2901	0.2875	
K ₂ O	0.0766	0.0619	0.0645	0.0324	0.0623	
CaO	35.2	35.84	36.38	35.41	35.93	
TiO ₂	51.68	52.62	52.57	51.63	52.46	
Cr ₂ O ₃						
MnO	0.0153	0.0149	0.0163	0.0069	0.0029	
Fe ₂ O ₃	1.93	1.97	2.07	1.97	2.18	
SrO						
ZrO ₂						
Nb ₂ O ₅	0.237	0.4305	0.2352	0.3893	0.3643	
La ₂ O ₃	1.15	0.9639	1.0553	1.23	1.0246	
Ce ₂ O ₃	3.07	2.38	2.38	3.22	2.73	
Pr ₂ O ₃						
Nd ₂ O ₃						
Sm ₂ O ₃						
ThO ₂		0.248	0.2203	0.441	0.2482	
Total	94.1902	95.3798	95.9043	95.3129	95.9582	
<i>Fórmula estrutural na base de 3 oxigênios</i>						
Sítio cristalino A	Ca	0.9323	0.9337	0.9437	0.9316	0.9333
	∑ETR	0.0383	0.0298	0.0305	0.04	0.0334
	Na	0.0191	0.0143	0.0147	0.0192	0.0179
	K	0.0024	0.0019	0.002	0.001	0.0019
	Th		0.0014	0.0012	0.0025	0.0014
	Sr					
	∑ cátions	0.9921	0.9811	0.9921	0.9943	0.9879
	Ti	0.961	0.9626	0.9575	0.9537	0.9568
	Fe	0.0359	0.036	0.0376	0.0363	0.0397
	Cr					
Sítio cristalino B	Al	0.0063	0.0078	0.0085	0.0084	0.0082
	Si	0.0054	0.0066	0.0073	0.0071	0.007
	Nb(III)	0.0026	0.0047	0.0026	0.0043	0.004
	Mn(II)	0.0003	0.0003	0.0003	0.0001	
	Zr					
	Ce	0.0278	0.0212	0.0211	0.0289	0.024
	La	0.0105	0.0086	0.0094	0.0111	0.0092
	Pr					
	Nd					
	Sm					
∑ cátions	1.0498	1.0478	1.0443	1.0499	1.0489	
Total cátions	2.0419	2.0289	2.0364	2.0442	2.0368	

¹ Localização das análises no grão: n = núcleo, i= intermédio, b = borda e zc = zona clara.

Apêndice A - Tabela 9 Composições (% em massa) e formula estrutural das perovskitas da intrusão Indaia II (continuação)

Amostra	C1-2	C1-2	C1-2	C1-2	C1-2	
Grão	prv_2	prv_4	prv_5	prv_5	prv_5	
Localização ¹	b	n	n	i	b	
Na ₂ O	0.2508	0.362	0.3829	0.3969	0.3508	
Al ₂ O ₃	0.2504	0.2821	0.2773	0.2677	0.251	
SiO ₂	0.2504	0.2821	0.2773	0.2677	0.251	
K ₂ O	0.0811	0.0788	0.0571	0.08	0.0413	
CaO	36.95	35.63	36.3	36.3	36.57	
TiO ₂	52.61	51.56	53.09	52.79	54.07	
Cr ₂ O ₃				0.0234		
MnO	0.0163	0.0349		0.0247	0.0229	
Fe ₂ O ₃	1.94	2.06	2.07	2.14	2.08	
SrO						
ZrO ₂						
Nb ₂ O ₅	0.5313	0.2595	0.2732	0.2007	0.4043	
La ₂ O ₃	0.8965	1.1369	1.18	1.1136	1.0819	
Ce ₂ O ₃	1.94	2.97	2.96	3.08	2.71	
Pr ₂ O ₃						
Nd ₂ O ₃						
Sm ₂ O ₃						
ThO ₂	0.1931	0.3218	0.138	0.1564	0.3583	
Total	95.9099	94.9781	97.0058	96.8411	98.1915	
<i>Fórmula estrutural na base de 3 oxigênios</i>						
Sítio cristalino A	Ca	0.9559	0.9385	0.9336	0.9362	0.9274
	∑ETR	0.0251	0.037	0.0364	0.037	0.0329
	Na	0.0117	0.0173	0.0178	0.0185	0.0161
	K	0.0025	0.0025	0.0017	0.0025	0.0012
	Th	0.0011	0.0018	0.0008	0.0009	0.0019
	Sr					
	∑ cátions	0.9963	0.9971	0.9903	0.9951	0.9795
	Ti	0.9556	0.9536	0.9587	0.956	0.9628
	Fe	0.0352	0.038	0.0373	0.0387	0.037
	Cr				0.0004	
Sítio cristalino B	Al	0.0071	0.0082	0.0078	0.0076	0.007
	Si	0.006		0.0067	0.0064	0.0059
	Nb(III)	0.0058	0.0029	0.003	0.0022	0.0043
	Mn(II)	0.0003	0.0007		0.0005	0.0005
	Zr					
	Ce	0.0171	0.0267	0.026	0.0271	0.0235
	La	0.008	0.0103	0.0104	0.0099	0.0094
	Pr					
	Nd					
	Sm					
∑ cátions	1.0351	1.0404	1.0499	1.0488	1.0504	
Total cátions	2.0314	2.0375	2.0402	2.0439	2.0299	

¹ Localização das análises no grão: n = núcleo, i= intermédio, b = borda e zc = zona clara.

Apêndice A - Tabela 9 Composições (% em massa) e fórmula estrutural das perovskitas da intrusão Indaia II (continuação)

Amostra	C1-2	C1-2	C1-2	C1-1	C1-1	
Grão	prv_6	prv_6	prv_6	prv_1	prv_1	
Localização ¹	n	i	b	n	i	
Na ₂ O	0.3708	0.3523	0.3115	0.314	0.3607	
Al ₂ O ₃	0.2508	0.2612	0.2526	0.2631	0.266	
SiO ₂	0.2508	0.2612	0.2526	0.2631	0.266	
K ₂ O	0.058	0.0503	0.0624	0.0783	0.1111	
CaO	35.43	36.34	36.75	36.54	36.38	
TiO ₂	52.59	53.04	52.81	52.72	52.87	
Cr ₂ O ₃					0.011	
MnO	0.0142	0.0088	0.0116	0.0353	0.0164	
Fe ₂ O ₃	1.9	2.04	1.95	2.21	2.31	
SrO						
ZrO ₂						
Nb ₂ O ₅	0.4273	0.4048	0.3283	0.404	0.3942	
La ₂ O ₃	1.0971	1.1121	0.9148	1.0082	1.0184	
Ce ₂ O ₃	3.07	2.64	2.3	2.64	2.78	
Pr ₂ O ₃						
Nd ₂ O ₃						
Sm ₂ O ₃						
ThO ₂		0.2571		0.248	0.2203	
Total	95.459	96.7678	95.9438	96.724	97.0041	
<i>Fórmula estrutural na base de 3 oxigênios</i>						
Sítio cristalino A	Ca	0.9243	0.9355	0.9495	0.9408	0.9346
	∑ETR	0.0373	0.0331	0.0284	0.0321	0.0334
	Na	0.0175	0.0164	0.0146	0.0146	0.0168
	K	0.0018	0.0015	0.0019	0.0024	0.0034
	Th		0.0014	0.0004	0.0027	0.0022
	Sr					
	∑ cátions	0.9809	0.9879	0.9948	0.9926	0.9904
	Ti	0.9633	0.9587	0.958	0.953	0.9536
	Fe	0.0348	0.0368	0.0354	0.0399	0.0416
	Cr					0.0002
Sítio cristalino B	Al	0.0072	0.0074	0.0072	0.0074	0.0075
	Si	0.0061	0.0063	0.0061	0.0063	0.0064
	Nb(III)	0.0047	0.0044	0.0036	0.0044	0.0043
	Mn(II)		0.0002	0.0002	0.0007	0.0003
	Zr					
	Ce	0.0274	0.0232	0.0203	0.0232	0.0244
	La	0.0099	0.0099	0.0081	0.0089	0.009
	Pr					
	Nd					
	Sm					
∑ cátions	1.0534	1.0469	1.0389	1.0438	1.0473	
Total cátions	2.0343	2.0348	2.0337	2.0364	2.0377	

¹ Localização das análises no grão: n = núcleo, i = intermédio, b = borda e zc = zona clara.

Apêndice A - Tabela 9 Composições (% em massa) e formula estrutural das perovskitas da intrusão Indaia II (continuação)

Amostra	C1-1	C1-1	C1-1	C1-1	C1-1	
Grão	prv_2	prv_2	prv_2	prv_3	prv_3	
Localização ¹	i	b	zc	n	b	
Na ₂ O	0.3954	0.3162	0.3341	0.426	0.3105	
Al ₂ O ₃	0.2564	0.2856	0.251	0.2748	0.2757	
SiO ₂	0.2564	0.2856	0.251	0.2748	0.2757	
K ₂ O	0.0545	0.0651	0.0565	0.0789	0.0631	
CaO	35.89	36.33	36.61	35.73	36.98	
TiO ₂	52.48	54.25	53.59	52.83	54.01	
Cr ₂ O ₃						
MnO	0.0364		0.0036	0.0237	0.0095	
Fe ₂ O ₃	2.17	2.21	2.2	2.19	2.01	
SrO						
ZrO ₂						
Nb ₂ O ₅	0.3194	0.2752	0.3081	0.2909	0.3873	
La ₂ O ₃	1.2	1.0371	0.98	1.21	1.018	
Ce ₂ O ₃	3.03	2.74	2.84	3.55	2.53	
Pr ₂ O ₃						
Nd ₂ O ₃						
Sm ₂ O ₃						
ThO ₂	0.441	0.2482	0.1931	0.3218	0.138	
Total	96.5295	98.043	97.6174	97.2009	98.0078	
<i>Fórmula estrutural na base de 3 oxigênios</i>						
Sítio cristalino A	Ca	0.931	0.9213	0.9343	0.9211	0.9378
	∑ETR	0.0376	0.0328	0.0334	0.042	0.0308
	Na	0.0186	0.0145	0.0154	0.0199	0.0142
	K	0.0017	0.002	0.0017	0.0024	0.0019
	Th	0.0015	0.0015	0.0001	0.0017	0.0002
	Sr					
	∑ cátions	0.9904	0.9721	0.9849	0.9871	0.9849
	Ti	0.9558	0.9659	0.9603	0.9563	0.9617
	Fe	0.0395	0.0393	0.0394	0.0396	0.0357
	Cr					
Sítio cristalino B	Al	0.0073	0.008	0.007	0.0078	0.0077
	Si	0.0062	0.0068	0.006	0.0066	0.0065
	Nb(III)	0.0035	0.0029	0.0033	0.0032	0.0041
	Mn(II)	0.0007			0.0005	0.0002
	Zr					
	Ce	0.0269	0.0237	0.0248	0.0313	0.0219
	La	0.0107	0.0091	0.0086	0.0107	0.0089
	Pr					
	Nd					
	Sm					
∑ cátions	1.0506	1.0557	1.0494	1.056	1.0467	
Total cátions	2.041	2.0278	2.0343	2.0431	2.0316	

¹ Localização das análises no grão: n = núcleo, i= intermédio, b = borda e zc = zona clara.

Apêndice A - Tabela 9 Composições (% em massa) e formula estrutural das perovskitas da intrusão Indaia II (continuação)

Amostra	B1-3	B1-3	A3-4	A3-2	A3-2	
Grão	prv_1	prv_2	prv_2	prv_2	prv_2	
Localização ¹				n	b	
Na ₂ O	0.3033	0.2438	0.3078	0.2385	0.2779	
Al ₂ O ₃	0.2436	0.2889	0.2735	0.2671	0.2781	
SiO ₂	0.2436	0.2889	0.2735	0.2671	0.2781	
K ₂ O	0.0855	0.105	0.062	0.0717	0.1059	
CaO	36.53	37.54	36.66	37.25	36.88	
TiO ₂	52.2	53.18	53.87	53.15	52.79	
Cr ₂ O ₃						
MnO	0.0175	0.0295	0.0259	0.0189		
Fe ₂ O ₃	2.16	2.38	2.27	2.18	2.24	
SrO						
ZrO ₂						
Nb ₂ O ₅	0.3116	0.2184	0.26	0.1819	0.182	
La ₂ O ₃	1.0371	0.7125	1.0024	0.9122	1.0614	
Ce ₂ O ₃	2.35	1.41	2.57	2.32	2.48	
Pr ₂ O ₃						
Nd ₂ O ₃						
Sm ₂ O ₃						
ThO ₂	0.1564	0.3583		0.2571	0.0736	
Total	95.6386	96.7553	97.5751	97.1145	96.647	
Fórmula estrutural na base de 3 oxigênios						
Sítio cristalino A	Ca	0.9502	0.9611	0.9326	0.9546	0.9498
	∑ETR	0.0302	0.0186	0.0311	0.0283	0.0312
	Na	0.0143	0.0113	0.0142	0.0111	0.013
	K	0.0026	0.0032	0.0019	0.0022	0.0032
	Th	0.0015			0	
	Sr					
	∑ cátions	0.9988	0.9942	0.9798	0.9962	0.9972
	Ti	0.9533	0.956	0.9608	0.9564	0.9546
	Fe	0.0394	0.0427	0.0405	0.0391	0.0404
	Cr					
Sítio cristalino B	Al	0.007	0.0081	0.0076	0.0075	0.0079
	Si	0.0059	0.0069	0.0065	0.0064	0.0067
	Nb(III)	0.0034	0.0024	0.0028	0.002	0.002
	Mn(II)	0.0004	0.0006	0.0005	0.0004	
	Zr					
	Ce	0.0209	0.0123	0.0223	0.0203	0.0218
	La	0.0093	0.0063	0.0088	0.008	0.0094
	Pr					
	Nd					
	Sm					
∑ cátions	1.0396	1.0353	1.0498	1.0401	1.0428	
Total cátions	2.0384	2.0295	2.0296	2.0363	2.04	

¹ Localização das análises no grão: n = núcleo, i = intermédio, b = borda e zc = zona clara.

Apêndice A - Tabela 9 Composições (% em massa) e formula estrutural das perovskitas da intrusão Indaia II (continuação)

Amostra	C1-2	C1-2	C1-2	C1-2	C1-2	
Grão	prv_1	prv_2	prv_2	prv_2	prv_2	
Localização ¹	n	b	n	n	b	
Na ₂ O	0.4353	0.3607	0.4151	0.44	0.3046	
Al ₂ O ₃						
SiO ₂						
K ₂ O						
CaO	36.36	37.35	37.12	36.65	38.14	
TiO ₂	52.86	53.36	53.16	53.16	53.97	
Cr ₂ O ₃						
MnO						
Fe ₂ O ₃	2.35	2.32	2.33	2.25	2.38	
SrO	0.4229	0.4667	0.4289	0.4724	0.5006	
ZrO ₂	0.1129	0.0893	0.0964	0.0979	0.1452	
Nb ₂ O ₅	0.4489	0.3467	0.3119	0.4103	0.4789	
La ₂ O ₃	1.21	1.0476	1.0113	1.1486	0.8519	
Ce ₂ O ₃	3.24	2.74	2.85	3.06	1.81	
Pr ₂ O ₃	0.3831	0.2975	0.3247	0.3354	0.1908	
Nd ₂ O ₃	1.4	1.1444	1.2	1.31	0.6993	
Sm ₂ O ₃	0.1592	0.1274	0.1408	0.1462	0.1033	
ThO ₂	0.4965	0.4042	0.2757	0.2756	0.0276	
Total	99.8788	100.0545	99.6648	99.7564	99.6022	
<i>Fórmula estrutural na base de 3 oxigênios</i>						
Sítio cristalino A	Ca	0.9282	0.9445	0.9425	0.9317	0.9564
	∑ETR	0.0554	0.046	0.0476	0.0519	0.0311
	Na	0.0201	0.0165	0.0191	0.0202	0.0138
	K					
	Th		0.0018	0.0012	0.0014	0.0018
	Sr	0.0058	0.0064	0.0059	0.0065	0.0068
	∑ cátions	1.0095	1.007	1.0163	1.0117	1.0099
	Ti	0.9474	0.9475	0.9477	0.9489	0.9503
	Fe	0.0421	0.0412	0.0415	0.0402	0.042
	Cr					
Sítio cristalino B	Al					
	Si					
	Nb(III)	0.0048	0.0037	0.0033	0.0044	0.0051
	Mn(II)					
	Zr	0.0013	0.001	0.0011	0.0011	0.0017
	Ce	0.0283	0.0237	0.0247	0.0266	0.0155
	La	0.0106	0.0091	0.0088	0.0101	0.0074
	Pr	0.0033	0.0026	0.0028	0.0029	0.0016
	Nd	0.0119	0.0096	0.0102	0.0111	0.0058
	Sm	0.0013	0.001	0.0011	0.0012	0.0008
∑ cátions	1.051	1.0394	1.0412	1.0465	1.0302	
Total cátions	2.0605	2.0464	2.0575	2.0582	2.0401	
² fO ₂	2.425	2.3375	2.4625	2	2.3625	

¹ Localização das análises no grão: n = núcleo, i= intermédio, b = borda e zc = zona clara.

² Fugacidade de O₂ calculada baseada em Canil e Bellis (2007)

Apêndice A - Tabela 9 Composições (% em massa) e formula estrutural das perovskitas da intrusão Indaia II (continuação)

Amostra	C1-2	C1-2	C1-2	C1-1	C1-1	
Grão	prv_3	prv_3	prv_2	prv_2	prv_9	
Localização ¹	n	b	b	n	b	
Na ₂ O	0.3542	0.3498	0.4157	0.3021	0.342	
Al ₂ O ₃						
SiO ₂						
K ₂ O						
CaO	37.26	37.36	36.69	37.39	37.28	
TiO ₂	53.05	53.63	52.82	53.54	52.72	
Cr ₂ O ₃						
MnO						
Fe ₂ O ₃	2.34	2.34	2.35	2.37	2.61	
SrO	0.4422	0.4501	0.4343	0.4915	0.4465	
ZrO ₂	0.1012	0.0973	0.1011	0.0965	0.1269	
Nb ₂ O ₅	0.3443	0.3619	0.3898	0.3526	0.3635	
La ₂ O ₃	0.9909	1.0108	1.1484	1.016	0.9965	
Ce ₂ O ₃	2.66	2.71	3.01	2.53	2.66	
Pr ₂ O ₃	0.3133	0.309	0.3666	0.2848	0.2975	
Nd ₂ O ₃	1.1279	1.1442	1.25	1.0435	1.1179	
Sm ₂ O ₃	0.1207	0.1352	0.1243	0.1071	0.1142	
ThO ₂	0.3032	0.0368	0.2663			
Total	99.4079	99.9351	99.3665	99.5241	99.075	
Fórmula estrutural na base de 3 oxigênios						
Sítio cristalino A	Ca	0.9479	0.9422	0.9364	0.9447	0.9491
	∑ETR	0.0451	0.0456	0.0511	0.0427	0.0448
	Na	0.0163	0.016	0.0192	0.0138	0.0158
	K					
	Th	0.0003	0.001	0.0011	0.0015	0.001
	Sr	0.0061	0.0061	0.006	0.0067	0.0062
	∑ cátions	1.0157	1.0109	1.0138	1.0094	1.0169
	Ti	0.9476	0.9497	0.9465	0.9498	0.9424
	Fe	0.0418	0.0415	0.0421	0.0421	0.0467
	Cr					
Sítio cristalino B	Al					
	Si					
	Nb(III)	0.0037	0.0039	0.0042	0.0038	0.0039
	Mn(II)					
	Zr	0.0012	0.0011	0.0012	0.0011	0.0015
	Ce	0.0231	0.0234	0.0262	0.0218	0.0231
	La	0.0087	0.0088	0.0101	0.0088	0.0087
	Pr	0.0027	0.0027	0.0032	0.0024	0.0026
	Nd	0.0096	0.0096	0.0106	0.0088	0.0095
	Sm	0.001	0.0011	0.001	0.0009	0.0009
∑ cátions	1.0394	1.0418	1.0451	1.0395	1.0393	
Total cátions	2.0551	2.0527	2.0589	2.0489	2.0562	
² fO ₂	2.4875	2.3875	2.5	2.55	3.6875	

¹ Localização das análises no grão: n = núcleo, i= intermédio, b = borda e zc = zona clara.

² Fugacidade de O₂ calculada baseada em Canil e Bellis (2007)

Apêndice A - Tabela 9 Composições (% em massa) e formula estrutural das perovskitas da intrusão Indaia II (continuação)

Amostra	C1-1	C1-1	C1-1	
Grão	prv_9	prv_1	prv_1	
Localização ¹	n	b	n	
Na ₂ O	0.287	0.3773	0.3309	
Al ₂ O ₃				
SiO ₂	0.004	0.0114	0.071	
K ₂ O				
CaO	37.95	37.17	37.59	
TiO ₂	53.33	52.98	53.56	
Cr ₂ O ₃				
MnO				
Fe ₂ O ₃	2.55	2.49	2.37	
SrO	0.5103	0.4525	0.5225	
ZrO ₂	0.114	0.1129	0.1167	
Nb ₂ O ₅	0.3741	0.3312	0.4115	
La ₂ O ₃	0.9357	1.0286	0.9092	
Ce ₂ O ₃	2.17	2.75	2.17	
Pr ₂ O ₃	0.2455	0.3195	0.2287	
Nd ₂ O ₃	0.8743	1.19	0.877	
Sm ₂ O ₃	0.1193	0.1274	0.0986	
ThO ₂		0.0092	0.2284	
Total	99.4642	99.35	99.4845	
<i>Fórmula estrutural na base de 3 oxigêni</i>				
Sítio cristalino A	Ca	0.9577	0.9444	0.9489
	ΣETR	0.0373	0.0468	0.0368
	Na	0.0131	0.0173	0.0151
	K			
	Th	0.0012	0.0007	0.0012
	Sr	0.007	0.0062	0.0071
	Σ cátions	1.0163	1.0154	1.0091
	Ti	0.945	0.9452	0.9494
	Fe	0.0452	0.0445	0.042
	Cr			
Sítio cristalino B	Al			
	Si	0.0001	0.0003	0.0017
	Nb(III)	0.004	0.0036	0.0044
	Mn(II)			
	Zr	0.0013	0.0013	0.0013
	Ce	0.0187	0.0239	0.0187
	La	0.0081	0.009	0.0079
	Pr	0.0021	0.0028	0.002
	Nd	0.0074	0.0101	0.0074
	Sm	0.001	0.001	0.0008
Σ cátions	1.0329	1.0417	1.0356	
Total cátions	2.0492	2.0571	2.0447	
² fO ₂	3.3	3.175	2.45	

¹ Localização das análises no grão: n = núcleo, i= intermediário, b = borda e zc = zona clara. ² Fugacidade de O₂ calculada baseada em Canil e Bellis (2007)

APÊNDICE B: DADOS LITOGEOQUÍMICOS E ISÓTOPOS EM ROCHA TOTAL

Apêndice B - Tabela 10 Dados de análises de elementos maiores e traços em rocha total por FRX e ICP-MS (continua)

Amostra	Indaiá I		Indaiá II					
	Indl-1	Indl-2	C1-3	D1-3	D1-4	A3-7	A2-3	A2-4
FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X								
<i>Oxídeos principais (% em massa)</i>								
SiO ₂	28.55	28.22	40.57	39.77	39.83	40.94	40.62	40.77
TiO ₂	2.63	2.51	3.22	3.27	3.30	3.23	3.27	3.26
Al ₂ O ₃	2.15	2.06	6.86	6.61	6.63	6.84	6.81	6.70
Fe ₂ O ₃	11.26	11.17	10.47	10.66	10.46	10.40	10.49	10.49
MnO	0.21	0.21	0.19	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18
MgO	28.31	28.26	15.26	15.57	14.79	14.83	14.76	15.12
CaO	12.80	12.88	13.21	13.35	13.97	12.86	13.34	13.10
Na ₂ O	0.00	0.07	1.40	1.41	1.24	1.93	1.52	1.68
K ₂ O	0.97	0.98	3.49	3.48	3.75	3.88	3.58	3.36
P ₂ O ₅	2.91	2.89	1.54	1.69	1.63	1.33	1.38	1.40
L.O.I. ¹	9.25	9.54	3.64	3.17	3.50	3.29	3.34	3.28
Total	99.04	98.78	99.85	99.17	99.29	99.71	99.30	99.34
C.I. ²	1.01	1.00	2.20	2.12	2.14	2.20	2.23	2.25
<i>Elementos traço FRX (ppm)</i>								
F	1432	1341	1925	1466	1565	2390	2552	2023
S			1777	2059	1901	1750	1810	1601
Cl								
Sc	34	33	30	31	34	30	29	29
V	172	167	146	121	117	148	156	156
Cr	1293	1298	882	933	924	897	899	924
Co	84	83	52	51	54	48	50	48
Cu	48	48	70	66	72	76	68	65
Ni	1095	1058	363	366	373	336	344	344
Zn	85	87	95	93	89	88	90	85
Ga	10	9	15	16	14	14	14	15
Rb	46	51	113	119	123	112	102	98
Sr	2603	2681	2410	2403	2437	2335	2411	2356
Y	36	36	34	35	35	34	35	33
Zr	658	695	652	627	631	614	625	624
Nb	224	219	189	194	194	184	188	186
Ba	2892	2890	3062	2936	2842	3044	2838	2522
La	327	309	282	295	282	250	264	257
Ce	582	553	434	432	437	401	395	400
Nd	249	250	175	183	176	179	169	168
Pb	19	19	22	19	19	21	17	22
Th	42	42	40	40	42	38	41	42
U	28	29	28	26	28	26	29	29

¹ Loss on Ignition.

² Contamination Index (Clement,1982)= [(SiO₂+Al₂O₃+Na₂O)/(2K₂O+MgO)]

Apêndice B - Tabela 10 Dados de análises de elementos maiores e traços em rocha total por FRX e ICP-MS (continuação)

Amostra	Encaixante	
	Enc-1	Enc-2
FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X		
<i>Oxidos principais (% em massa)</i>		
SiO ₂	71.38	71.60
TiO ₂	0.28	0.26
Al ₂ O ₃	14.29	14.37
Fe ₂ O ₃	2.19	2.11
MnO	0.03	0.03
MgO	0.56	0.54
CaO	2.61	2.59
Na ₂ O	3.82	3.90
K ₂ O	2.42	2.50
P ₂ O ₅	0.07	0.07
L.O.I. ¹	1.24	1.16
Total	98.89	99.13
C.I. ²	n.d	n.d
F	341	368
S		
Cl		
Sc		
V	23	17
Cr		
Co		
Cu	5	
Ni		
Zn	60	50
Ga	19	19
Rb	118	117
Sr	267	265
Y	6	5
Zr	165	154
Nb		
Ba	831	865
La	31	32
Ce	46	50
Nd	16	
Pb	9	13
Th		
U		

¹Loss on Ign n.d. = não determinado

Apêndice B - Tabela 11 Dados de análises de elementos maiores e traços em rocha total por FRX e ICP-MS (continuação)

Amostra	Indaiá I		Indaiá II					
	IndI-1	IndI-2	C1-3	D1-3	D1-4	A3-7	A2-3	A2-4
ICP-MS								
<i>Elementos traço (ppm)</i>								
Rb	52.51	57.43	115.51	121.37	122.50	116.32	102.13	101.59
Sr	2693.59	2737.16	2449.04	2481.93	2470.50	2468.33	2435.11	2437.25
Y	37.23	37.39	35.74	36.25	35.50	35.22	34.64	34.93
Zr	676.03	684.99	670.10	649.72	639.36	649.84	633.10	644.64
Nb	244.40		186.23	172.71	47.98	125.01	82.79	186.83
Cs	0.980	0.891	2.78	3.38	2.87	1.97	2.24	2.44
Ba	2694.51	2682.74	2942.83	2910.78	2759.08	3060.21	2744.62	2541.85
La	321.45	327.76	279.97	294.47	290.16	275.23	279.72	284.81
Ce	641.34	661.51	551.88	581.37	570.28	542.31	551.15	558.66
Pr	73.86	75.43	62.59	65.50	64.05	61.03	61.98	63.12
Nd	219.92	226.17	185.22	196.57	192.84	184.14	186.30	190.43
Sm	36.00	36.70	30.10	31.98	31.48	30.29	30.28	30.95
Eu	8.75	8.98	7.54	7.89	7.79	7.59	7.53	7.66
Gd	24.02	24.31	20.25	21.05	20.98	20.65	19.92	21.06
Tb	2.29	2.34	2.05	2.08	2.10	2.02	1.98	2.05
Dy	11.22	11.36	10.06	10.60	10.38	9.95	9.84	10.01
Ho	1.48	1.52	1.43	1.48	1.45	1.40	1.39	1.41
Er	3.28	3.37	3.20	3.33	3.25	3.15	3.13	3.17
Tm	0.351	0.361	0.364	0.376	0.361	0.363	0.355	0.359
Yb	1.88	1.90	1.99	2.01	1.97	1.96	1.92	1.93
Lu	0.234	0.235	0.258	0.262	0.257	0.253	0.250	0.253
Hf	13.54	13.84	14.74	14.63	14.02	14.13	13.65	14.40
Pb	11.39	12.28	16.98	17.90	15.35	16.97	14.92	14.58
Th	22.07	23.17	23.22	24.13	23.75	22.42	23.09	23.43
U	5.42	5.61	6.10	6.09	5.98	5.79	5.98	5.76

Apêndice B - Tabela 11 Dados de análises de elementos maiores e traços em rocha total por FRX e ICP-MS (continuação)

Amostra	Encaixante	
	Enc-1	Enc-2
ICP-MS		
<i>Elementos traço (ppm)</i>		
Rb	113.79	114.72
Sr	272.03	278.18
Y	5.65	5.48
Zr	155.11	148.60
Nb	9.65	8.79
Cs	3.17	3.10
Ba	841.85	900.59
La	34.95	28.66
Ce	57.23	47.18
Pr	5.64	4.60
Nd	16.89	14.06
Sm	2.59	2.23
Eu	0.704	0.716
Gd	1.60	1.46
Tb	0.214	0.198
Dy	1.01	0.921
Ho	0.167	0.158
Er	0.454	0.426
Tm	0.055	0.054
Yb	0.347	0.340
Lu	0.053	0.052
Hf	4.74	4.58
Pb	16.24	20.36
Th	15.93	14.02
U	3.10	3.77

Tabela 12 Dados de análises isotópicas em rocha total dos sistemas Rb-Sr e Sm-Nd. Dados obtidos ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$) e corrigidos para 80Ma ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{80\text{Ma}}$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{80\text{Ma}}$) também incluídos idades modelo e valores de épsilon Sr e Nd.

Resultados de Isótopos de Sr									
AMOSTRA	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	erro (2s)	Rb	Sr	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i$ (80Ma)	$\epsilon_{(0)}$	$\epsilon_{(t)}$	T_{DM} (Ma)
IndI-1	0.705329	0.000027	52.5	2694	0.1206	0.705192	11.769198	-11.843355	2933.7192
A2-3	0.705824	0.000026	102	2437	0.1365	0.705669	18.794748	-12.79133	2793.7158
C1-3	0.705853	0.000020	116	2449	0.1415	0.705692	19.202413	-13.658966	2665.2739
D1-3	0.705815	0.000021	121	2482	0.1415	0.705654	18.662172	-13.84791	2637.2646
ENC-1	0.719715	0.000039	114	272	1.2122	0.718337	nd	nd	nd
Resultados de isótopos de Nd									
AMOSTRA	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	erro (2s)	Sm	Nd	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_i$ (80Ma)	$\epsilon_{(0)}$	$\epsilon_{(t)}$	T_{DM} (Ga)
IndI-1	0.512312	0.000005	36.0	219.9	0.098983277	0.512259973	-6.3636624	-5.3665246	976.25876
A2-3	0.512279	0.000004	30.3	186.3	0.0982730	0.512227834	-6.9978467	-5.9934607	1012.4873
C1-3	0.512275	0.000005	30.1	185.2	0.098269663	0.512223306	-7.0862151	-6.0817953	1018.3296
D1-3	0.512279	0.000005	32.0	196.6	0.098378799	0.512227429	-7.0046743	-6.0013682	1013.8504
ENC-1	0.512090	0.000005	2.6	16.9	0.092846586	0.51204126	nd	nd	nd

APÊNDICE C: FUNDIDOS CALCULADOS E COEFICIENTES DE PARTICIÇÃO

Apêndice C - Tabela 13 coeficientes de partição para magmas de composição riolítica compilados a partir da literatura (Rollinson, 1993; Nielsen, 2006)

	Plagioclásio	Quartzo	Magnetita	Biotita	Ilmenita	Feldspato alcalino
Rb	0.3	0.3	0.043	3.2	0	1.75
Sr	4.4	0	0.093	0.447	0.74	3.87
Pb	2.2	0	0.8	0.767	0.56	2.473
Zr	0.1	0	8.45	1.197	0.49	0.03
Y	0.1	0	2	1.233	0.27	0.015
Nb	0.06	0	2.5	0.703	50.9	0.039
La	0.393	0	32	5.713	7.1	0.08
Ce	0.27	0	1.03	4.357	7.8	0.037
Nd	0.19	0	1.36	2.56	7.6	0.035
Sm	0.008	0	1.46	2.117	6.9	0.025
U	0.093	0.025	0.97	0.773	0.517	0.048
Th	0.048	0.009	0.4	0.997	0.463	0.023
Eu	5.417	0.025	1.1	2.02	2.5	1.13
Tb	0	0.017	0.99	1.957	3.267	0.025

Apêndice C - Tabela 14 Composições de elementos maiores e traços dos fundidos gerados a partir do *RhyoliteMelts*, e porcentagem em massa dos fundidos e resíduos sólidos.

Óxidos (% em massa)	Fundidos gerados			Encaixante
	1kbar	3kbar	5kbar	ENC-1
SiO ₂	73.65	71.01	69.47	71.38
TiO ₂	0.29	0.29	0.28	0.275
Al ₂ O ₃	12.74	14.32	14.81	14.29
Fe ₂ O ₃	0.15	0.13	0.13	2.19
FeO	0.14	0.15	0.16	
MnO	0.10	0.15	0.17	0.034
MgO	0.30	0.21	0.17	0.56
CaO	1.07	1.15	1.20	2.61
Na ₂ O	1.07	0.76	0.74	3.82
K ₂ O	6.40	6.99	7.13	2.42
P ₂ O ₅	0.25	0.43	0.47	0.073
H ₂ O	3.84	4.31	5.08	1.30
% em massa das fases				
Fundido	28.64	25.88	22.52	
Plagioclásio	43.68	44.52	45.46	
Quartzo	22.68	24.56	26.45	
Magnetita	1.84	1.79	1.76	
Biotita	1.41	1.57	1.69	
Ilmenita	0.49	0.55	0.59	
Feldspato alcalino	-	-	0.40	
Elementos-traço (ppm)				
Rb	222.13	228.17	234.78	118.00
Sr	120.28	119.71	118.43	267.00
Ba	1005.12	985.88	938.43	831.00
Pb	12.70	12.78	12.80	16.20
Zr	326.66	346.40	372.51	165.00
Y	14.65	15.69	17.20	5.65
Nb	15.58	15.53	15.81	9.65
La	30.00	30.71	31.52	34.90
Ce	109.38	112.39	117.70	57.20
Nd	36.12	37.57	39.86	16.90
Sm	6.81	7.20	7.82	2.59
U	8.53	9.16	10.09	3.10
Th	47.84	51.77	57.70	15.93
Gd	4.63	5.01	5.57	1.60
Eu	0.26	0.26	0.25	0.70

Apêndice C - Tabela 14 Composições recalculadas dos fundidos e Indaiá I e II e composição média dos núcleos de olivina extraídas por balanço de massa (continua). Também incluída a temperatura de saturação de clinopiroxênio (Putirka, 2008)

Indaiá II (removidos 2,3% de xenocristais)						
Amostras recalculadas (% em massa)	C1-3	D1-3	D1-4	A3-7	A2-3	A2-4
SiO ₂	40.56	39.75	39.81	40.94	40.62	40.77
Al ₂ O ₃	7.02	6.76	6.78	7.00	6.97	6.86
Fe ₂ O ₃	10.54	10.73	10.53	10.47	10.56	10.56
MgO	14.43	14.75	13.95	13.99	13.92	14.29
CaO	13.52	13.66	14.30	13.16	13.65	13.41
Na ₂ O	1.43	1.44	1.27	1.98	1.56	1.72
K ₂ O	3.57	3.56	3.84	3.97	3.66	3.44
TiO ₂	3.29	3.35	3.37	3.31	3.35	3.33
P ₂ O ₅	1.58	1.73	1.67	1.36	1.42	1.43
MnO	0.19	0.19	0.19	0.18	0.19	0.19
(ppm)						
Sc	30.65	31.67	34.74	30.65	29.62	29.62
V	149.37	123.79	119.69	151.42	159.61	159.61
Cr	899.60	951.79	942.58	914.95	917.00	942.58
Co	49.96	48.93	52.00	45.86	47.91	45.86
Ni	298.80	301.87	309.03	271.16	279.35	279.35
Cu	71.58	67.49	73.63	77.72	69.53	66.46
Zn	95.54	93.49	89.40	88.38	90.42	85.31
Rb	118.22	124.21	125.36	119.04	104.52	103.97
Sr	2466.42	2459.26	2494.06	2389.67	2467.45	2411.16
Y	36.58	37.10	36.33	36.05	35.45	35.75
Zr	685.78	664.92	654.32	665.04	647.91	659.72
Nb	190.56	176.72	49.07	127.90	84.70	191.18
Ba	3011.72	2978.92	2823.67	3131.85	2808.87	2601.35
La	286.53	301.36	296.95	281.68	286.27	291.47
Ce	564.80	594.98	583.63	555.00	564.05	571.73
Pr	64.06	67.04	65.55	62.46	63.43	64.60
Nd	189.55	201.17	197.35	188.44	190.65	194.88
Sm	30.81	32.73	32.22	31.00	30.98	31.68
Eu	7.72	8.07	7.98	7.76	7.71	7.84
Gd	20.71	21.53	21.46	21.12	20.37	21.54
Tb	2.09	2.13	2.15	2.06	2.02	2.10
Dy	10.29	10.84	10.62	10.18	10.07	10.24
Ho	1.46	1.52	1.48	1.43	1.42	1.45
Er	3.27	3.41	3.32	3.22	3.20	3.24
Tm	0.37	0.38	0.37	0.37	0.36	0.37
Yb	2.03	2.06	2.02	2.00	1.97	1.97
Lu	0.26	0.27	0.26	0.26	0.25	0.26
Hf	15.08	14.96	14.34	14.46	13.96	14.73
Pb	17.37	18.32	15.70	17.37	15.26	14.92
Th	23.76	24.69	24.31	22.94	23.63	23.97
U	6.24	6.23	6.12	5.92	6.12	5.89
Σ Maiores	96.14	95.93	95.71	96.36	95.89	95.99
LOI recalculado	3.64	3.17	3.50	3.29	3.34	3.28
T sat px (°C)	1170	1179	1173	1171	1174	1173

Apêndice C - Tabela 15 Composições recalculadas dos fundidos de Indaiá I e II e composição média dos núcleos de olivina extraídas por balanço de massa (continuação)

Indaiá I (removidos 19% de xenocristais)				
Amostras recalculadas (% em massa)	INDI-1	INDI-2	Olivina composição média núcleos	
SiO ₂	25.67	25.27	SiO ₂	40.82
Al ₂ O ₃	2.65	2.54	Al ₂ O ₃	0.03
Fe ₂ O ₃	12.15	12.04	Fe ₂ O ₃	7.46
MgO	23.10	23.03	MgO	50.54
CaO	15.80	15.90	CaO	0.02
Na ₂ O	0.00	0.09	Na ₂ O	0.00
K ₂ O	1.20	1.21	K ₂ O	0.01
TiO ₂	3.25	3.09	TiO ₂	0.02
P ₂ O ₅	3.60	3.57	P ₂ O ₅	0.00
MnO	0.23	0.23	MnO	0.09
(ppm)				
Sc	41.42	86.96	Sc	2.39
V	211.89	205.72	V	1.94
Cr	1565.71	1571.88	Cr	130.40
Co	71.04	69.80	Co	139.27
Ni	623.55	577.87	Ni	3104.87
Cu	58.66	58.66	Cu	2.57
Zn	88.08	90.54	Zn	71.89
Rb	64.80	70.87	Rb	0.11
Sr	3213.49	3309.79	Sr	0.39
Y	45.96	46.16	Y	0.04
Zr	834.48	845.55	Zr	0.52
Nb	301.41	298.74	Nb	1.40
Ba	3326.36	3311.83	Ba	0.83
La	396.84	404.63	La	0.07
Ce	791.73	816.63	Ce	0.22
Pr	91.17	93.11	Pr	0.05
Nd	271.41	279.12	Nd	0.41
Sm	44.44	45.31	Sm	0.00
Eu	10.78	11.07	Eu	0.07
Gd	29.55	29.90	Gd	0.48
Tb	2.83	2.89	Tb	0.00
Dy	13.80	13.98	Dy	0.20
Ho	1.83	1.88	Ho	0.00
Er	3.99	4.10	Er	0.25
Tm	0.43	0.45	Tm	0.00
Yb	2.32	2.34	Yb	0.00
Lu	0.28	0.28	Lu	0.05
Hf	16.63	17.00	Hf	0.35
Pb	14.01	15.11	Pb	0.24
Th	27.24	28.60	Th	0.03
U	6.69	6.93	U	0.01
Σ Maiores	87.64	86.96		
LOI recalculado	10.45	10.84		