

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

ESTUDO COMPARATIVO DAS CONDIÇÕES DO METAMORFISMO E
TRAJETÓRIAS *P-T* NA *NAPPE* DE LIBERDADE E *KLIPPE* DE CARVALHOS,
SEQÜÊNCIA ANDRELÂNDIA, MG

Rafaël Gonçalves da Motta

Orientador: Prof. Dr. Renato de Moraes (IGc-USP)

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2006/43)

SÃO PAULO
2006

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**Evolução comparativo das condições do metamorfismo
e trajetórias P-T na nappe de Liberdade e klippe de
Carvalhos, Seqüência Andrelândia, MG**

Rafael Gonçalves da Motta

Monografia de Trabalho de Formatura



Banca Examinadora

Prof. Dr. Renato de Moraes

Prof. Dr. Ciro Teixeira

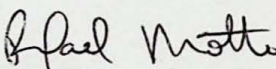
Prof. Dr. Maria da Glória Motta Garcia

São Paulo

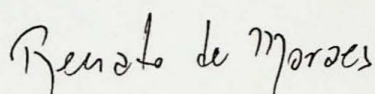
2006

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

ESTUDO COMPARATIVO DAS CONDIÇÕES DO METAMORFISMO E
TRAJETÓRIAS *P-T* NA *NAPPE* DE LIBERDADE E *KLIPPE* DE CARVALHOS,
SEQÜÊNCIA ANDRELÂNDIA, MG


Rafael Gonçalves da Motta





Orientador: Prof. Dr. Renato de Moraes (IGc-USP)

DEDALUS - Acervo - IGC



30900024385

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2006/43)

SÃO PAULO
2006

TF
M921
RG.2

INSTITUTO DE GEOLOGIA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

SEÇÃO DE MINERALOGIA E PETROLOGIA
ESTUDO COMPARATIVO DAS CONDIÇÕES DE METAMORFISMO E
TRANSFORMAÇÃO ALTA TEMPERATURA E ALTA PRESSÃO



1954
São Carlos, São Paulo

Geol. e Min.

DEPARTAMENTO DE MINERALOGIA E PETROLOGIA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

1954
São Carlos

“As coisas encobertas pertencem ao SENHOR nosso Deus, porém as reveladas nos pertencem, a nós e a nossos filhos para sempre, para que cumpramos todas as palavras desta lei.”

Agradecimentos

Gostaria de agradecer muita gente e talvez não coubesse nesta página todos os que devo agradecer. Quem me conhece sabe que eu não sou um cara de muitas palavras. Por isso, como de costume, serei muito objetivo ao fazer meus AGRADECIMENTOS.

Agradeço a Deus e a minha família, principalmente meus pais (Suely e Carlos) e meus irmãos (Renato e Manuela), pela força diária que me dão.

Ao Prof. Renato, pela dedicação, apoio e um curso extra e particular de petrologia metamórfica.

À FAPESP pelo apoio financeiro através do processo nº 04/09682-8.

Ao Prof. Mário Campos, pela contribuição fundamental neste trabalho. Seu orientado, Carrapato (Cauê), pelas *viagens* juntos nessas rochas *malucas*.

Aos meus amigos que me apoiaram, mas me atrapalharam muito mais: Gobattão (Graziani), Pavão (Maurício), Satan (Leopoldo), Capitão (Julio César), Banheirão (Felipe), Noku (Élder), Gorfo (Saulo), Pika (Leandrão), Ob (Débora), Kcilda (Maria Elisa), Penélope (Leandro), aos caixaras (Gustavo e Fábio), Japoneis (Sérgio), toda a galera do banco, os ingressantes em 2001 e a tantos outros...,

Obrigado pela inspiração!

Resumo

A porção sul da Faixa Brasília é representada pelas Seqüências Andrelândia, São João Del Rei e Carandaí, em Minas Gerais, próxima à borda sul do Cráton São Francisco. A Seqüência Andrelândia é constituída predominantemente por rochas metassedimentares de idade neoproterozóica com lentes de intrusivas anfibolíticas e graníticas e é envolvida em um sistema de *nappes* de alta pressão, estiradas e transportadas para ENE e NE. Os três segmentos da seqüência Andrelândia estudado foram, da base para o topo, as *nappes* Andrelândia e Liberdade e a *klippe* Carvalhos. Padrão de metamorfismo invertido é reconhecido na Seqüência Andrelândia, com rochas de mais alta temperatura e pressão sobrepostas às rochas de menor temperatura e pressão. O presente trabalho objetiva a caracterização e comparação das condições do metamorfismo e estabelecimento das trajetórias *P-T*. Cálculos de *P-T* foram realizados utilizando THERMOCALC e a termometria de Zr em rutilo. A *nappe* de Andrelândia é constituída por xistos pelíticos, anfibolitos e quartzitos. Amostra contendo a associação mineral quartzo + muscovita + biotita + granada + sillimanita (pseudomorfos de cianita) foi usada para termobarometria e as condições calculadas foram $5,6 \pm 0,9$ kbar e $788 \pm 35^\circ\text{C}$. A *nappe* de Liberdade apresenta anfibolitos, retroeclogitos, quartzitos, ortognaisses e, principalmente, xistos pelíticos e paragneisses. As condições do pico metamórfico são de $7,41 \pm 1,0$ kbar e $648 \pm 23^\circ\text{C}$ foram calculadas com quartzo + muscovita + biotita + granada + cianita + oligoclásio + estauroлита. A *klippe* de Carvalhos é caracterizada por granulitos félsicos de alta pressão com rutilo + granada + cianita + feldspato potássico $\pm$ sillimanita $\pm$ biotita $\pm$ oligoclásio $\pm$ quartzo, e granulitos máficos com mesossoma constituído de hornblenda + granada + quartzo + feldspato potássico + plagioclásio e leucossoma com diopisídio + granada. Rochas metaultramáficas com clinopiroxênio + ortopiroxênio + olivina + espinélio ocorrem localmente. As condições estimadas de formação estão no campo da *facies* eclogito, com temperaturas de $\sim 850^\circ\text{C}$ e pressões de ~ 15 kbar. Para as três estruturas trajetórias *P-T* horárias foram determinadas com estágio de decompressão isothermal.

Abstract

The southern portion of the Brasília Fold Belt is represented by the Andrelândia Sequence, in Minas Gerais, and together with the São João Del Rei and Carandaí sequences they border the southern margin of the San Francisco Craton. The Andrelândia Sequence is constituted by neoproterozoic metasedimentary rocks with lenses of amphibolites and granitic intrusions and it is involved in system of nappes with tectonic transport to ENE and NE. From bottom to top, the nappe system is constituted by three segments, the Andrelândia and Liberdade nappes and the Carvalhos klippe. An inverted metamorphic sequence is observed as in the lowest nappe amphibolite facies rocks are exposed, whereas in the highest klippe high P granulite facies rocks occur. The main subject of the present work is the characterization and comparison of the metamorphic conditions in samples of the three nappes and establishment of their P - T paths. P - T calculations were done with THERMOCALC and Zr in rutile thermometry. The mineral assemblage of the sample of Andrelândia nappe is made of sillimanite (kyanite pseudomorphs) + biotite + garnet + plagioclase + muscovite + quartz. P - T calculation yielded 5.6 ± 0.9 kbar and $788 \pm 35^\circ\text{C}$. The Liberdade nappe bears schist and gneiss with minor amphibolite, retroeclogite, quartzite and orthogneisses. A schist with staurolite + biotite + kyanite + garnet + muscovite + quartz + plagioclase was used for P - T calculations and displaying 7.41 ± 1.0 kbar and $648 \pm 23^\circ\text{C}$. Carvalhos klippe is characterized by high P felsic granulites, with quartz + K-feldspar + garnet + kyanite + rutile $\pm$ sillimanite $\pm$ biotite $\pm$ plagioclase, whereas mafic granulite presents garnet-diopside bearing leucosome and a mesosome composed of hornblende + garnet + K-feldspar + quartz + plagioclase. Ultramafic rock presents clinopyroxene + orthopyroxene + olivine + spinel. The metamorphic peak conditions are calculated $\sim 850^\circ\text{C}$ and ~ 15 kbar, within the eclogite facies. For all structures, a clockwise P - T path was determined.

Índice

1. Introdução	1
1.1. Objetivos.....	1
1.2. Relevância.....	2
1.3. Localização.....	2
2. Materiais e métodos.....	3
3. Contexto geológico	3
4. Petrografia.....	7
4.1. <i>Nappe de Andrelândia</i>	7
4.2. <i>Nappe de Liberdade</i>	8
4.2.1 Rochas calciossilicáticas	8
4.2.2 Anfibolito	8
4.2.3 Retroeclogito	8
4.2.4 Ortognaisses	8
4.2.5 Rochas metassedimentares	9
4.3. <i>Klippe de Carvalhos</i>	10
4.3.1 Rochas metaúltramáficas	10
4.3.2 Granulitos máficos	10
4.3.3 Granulitos félsicos.....	11
5. Química mineral	13
5.1. <i>Feldspato</i>	13
5.1.1 Plagioclásio	14
5.1.2 Feldspato alcalino	16
5.2. <i>Granada</i>	17
5.2.1 <i>Nappes de Andrelândia e Liberdade</i>	18
5.2.2 <i>Klippe de Carvalhos</i>	22
5.3. <i>Micas</i>	24
5.3.1 Muscovita	24
5.3.2 Biotita	25
5.4. <i>Estaurolita</i>	27
5.5. <i>Anfibólio</i>	28
5.6. <i>Piroxênio</i>	32
5.7. <i>Rutilo</i>	34
6. Metamorfismo	34
6.1. <i>Nappe de Andrelândia</i>	35
6.2. <i>Nappe de Liberdade</i>	35
6.3. <i>Klippe de Carvalhos</i>	36
6.4. <i>Retrometamorfismo</i>	39
7. Termobarometria	41
7.1. <i>Nappe de Andrelândia e Liberdade</i>	41
7.2. <i>Klippe de Carvalhos</i>	42
7.2.1 Granulito máfico	42
7.2.2 Granulito félsico	42
8. Conclusões	44
9. Referências bibliográficas.....	46
Anexos	49

1. Introdução

O termo granulito refere-se a rochas félsicas ou máficas em que silicatos anidros de Fe-Mg são dominantes e a presença de ortopiroxênio é diagnóstica, embora em rochas pelíticas a presença de granada + cordierita seja considerada, por alguns autores, também diagnóstica de condições da fácies granulito. As condições da fácies granulito estão restritas a $T > 750\text{ }^{\circ}\text{C}$ e P entre 4 e 15 kbar. Entretanto a presença de ortopiroxênio ou de granada + cordierita é controlada por T , P e pela composição da rocha. Nas rochas máficas, em alta P , ortopiroxênio é substituído pela associação clinopiroxênio + granada + quartzo e, nas rochas pelíticas, granada + cordierita são substituídas por cianita + feldspato potássico + granada (O'Brien, & Rötzler, 2003). Existem dois tipos de granulitos de alta pressão, um formado sob condições de temperatura alta a ultra-alta e o segundo formado por eclogitos que, durante a descompressão lenta, evoluem para granulitos (O'Brien, & Rötzler, 2003).

No sul de Minas Gerais, onde afloram rochas da Seqüência Andrelândia, são reconhecidos granulitos de alta P com cianita + feldspato potássico + granada + rutilo ou clinopiroxênio + granada + quartzo (Trouw & Castro, 1996; Campos Neto & Caby, 1999 e 2000), além de retroeclogitos, anfibolitos em que inclusões de clinopiroxênio ricos em Na ocorrem na granada são indicativas de que estes foram eclogitos (Campos Neto & Caby, 1999; Trouw et al., 2000a, b). As rochas da região de estudo apresentam trajetórias P - T horárias, com descompressão isotermal, indicativo de colisão continental, e resfriamento isobárico, implicando resfriamento em crosta isostaticamente estável (Campos Neto & Caby, 2000).

Em muitos tipos de orógenos colisionais a crosta entra em subducção experimentando condições de média temperatura e altas pressões, sendo que durante a exumação as condições P - T iniciais são sobrepostas por condições de altas temperaturas e médias pressões e que modificam as associações minerais formadas durante a subducção. A difusão química entre micas e granadas, a altas temperaturas, tende a ocultar as condições previamente registradas nos estágios iniciais da subducção continental. A preservação do gradiente termal inverso requer um rápido processo de exumação controlado por um empurrão instantâneo (Santos et al., 2004).

1.1. Objetivos

Os objetivos do presente trabalho são a caracterização e comparação das condições do metamorfismo e estabelecimento das trajetórias P - T para as rochas da *nappe* de Liberdade e da *klippe* de Carvalhos, Seqüência Andrelândia, MG. A caracterização foi baseada em petrografia para o reconhecimento das paragêneses minerais e estabelecimento trajetórias P - T com o auxílio de grades petrogenéticas disponíveis na literatura. A caracterização mais precisa das condições P - T foi obtida com dados

termobarométricos de quatro amostras, duas de cada unidade. Em virtude de problemas de amostragem uma amostra da *nappe* de Liberdade foi substituída por uma da *nappe* de Andrelândia; seus resultados serão discutidos no trabalho.

1.2. Relevância

Embora a região seja alvo de estudos desde a década de 1960, com trabalhos sendo intensificados nas décadas de 1980 até os tempos atuais, somente nos últimos 7 ou 8 anos é que trabalhos de maior detalhe sobre a caracterização do metamorfismo vêm sendo feitos (e.g. Campos Neto & Caby 1999, 2000; Moraes *et al.*, 2003). São necessários estudos locais detalhados como o presente, que possam contribuir para a melhor compreensão da evolução metamórfica local.

O desenvolvimento do trabalho na área é vantajosa pela presença de diversos tipos de rochas metamórficas, tais como pelitos, rochas máficas, ultramáficas e calciossilicáticas, que podem ser usadas na quantificação das condições *P-T* do metamorfismo.

O estudo ainda pode ser ampliado para outras regiões onde as condições metamórficas são semelhantes, contribuindo para o entendimento da geodinâmica, do tectonismo e seus estágios evolutivos iniciais, anomalias, reequilíbrio termais, fusão crustal e diferenciação da crosta continental.

1.3. Localização

A área de estudo localiza-se ao sudeste do estado de Minas Gerais, próximo a divisa com o estado do Rio de Janeiro, entre as cidades de Carvalhos e Liberdade. O principal acesso é realizado pela rodovia MG-267. A figura 1.1 apresenta a localização da área de estudo.

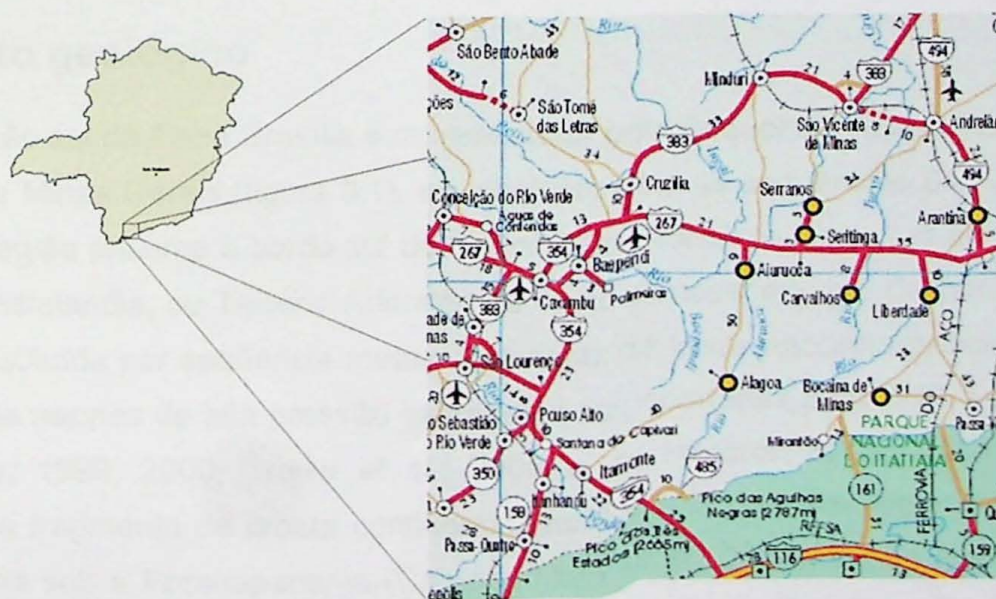


Figura 1.1 – Localização da área estudada.

2. Materiais e métodos

Os dados de campo foram levantados em etapa de 4 dias, descrição petrográfica de amostras e lâminas da coleção do Departamento de Mineralogia e Geotectônica e análise por microsonda eletrônica de quatro amostras para aplicação de métodos termobarométricos.

- Trabalhos de campo – na área já mapeada na escala 1:25.000 por alunos do curso de Geologia da USP, foram realizados perfis de reconhecimento e refinamento dos contatos entre as unidades;
- Petrografia – o Departamento de Mineralogia e Geotectônica dispõe de coleção de lâminas da região, coleção montada durante o desenvolvimento dos trabalhos de campo da disciplina Mapeamento Geológico de 2005 e do trabalho de campo aqui realizado – foram descritas 59 lâminas.
- Microsonda eletrônica – foram selecionadas quatro amostras, uma da *nappe* de Andrelândia, uma da *nappe* de Liberdade e duas da *klippe* de Carvalhos para análise dos minerais com microsonda eletrônica; foram analisados todos os silicatos e óxidos que representam a paragênese presente no auge do metamorfismo; foram feitas análises pontuais em micas, estauroлита, e piroxênio, enquanto que em granada, plagioclásio e anfibólio foram feitas travessas ao longo de grãos para determinação do perfil composicional.
- Termobarometria – para o cálculo P - T foi usado o THERMOCALC, programa que usa banco de dados termodinâmicos internamente consistentes (Holland & Powell, 1998) e termometria de Zr em rutilo (Zack *et al.*, 2004, 2006; Watson *et al.*, 2006).

3. Contexto geológico

A porção sul da Faixa Brasília é representada pela Sequência Andrelândia que aflora no sudeste de Minas Gerais (figura 3.1), em conjunto com as sequências São João Del Rei e Carandaí, região próxima à borda sul do Cráton São Francisco (Trouw *et al.*, 2000a, b). A Sequência Andrelândia, ou Terreno Andrelândia como denominado por Campos Neto *et al.*, (2004), é constituída por seqüência metassedimentar de idade neoproterozóica e envolvida em sistema de *nappes* de alta pressão estiradas e transportadas para ENE e NE (Campos Neto & Caby, 1999, 2000; Trouw *et al.*, 2000 a, b; Heilbron *et al.*, 2004). O terreno corresponde a fragmento de crosta continental, subductada pela convergência da litosfera Sanfranciscana sob a Paranapanema (Campos Neto *et al.*, 2004), sendo que a porção de enfoque está inserida na região de interferência entre as faixas Brasília e Ribeira (Campos Neto & Caby, 1999, 2000; Trouw *et al.*, 2000 a, b; Heilbron *et al.*, 2004) e pode ter sofrido influência da deformação e metamorfismo dos eventos orogenéticos associados a cada uma dessas faixas móveis.

A bacia sedimentar Andrelândia repousa sobre embasamento constituído por gnaisses migmatíticos, granulitos, faixas tipo *greenstone belt* e granitóides, tendo sido gerada e desenvolvida a partir de 1.8 Ga (idade mais nova do embasamento) até 600 Ma (orogénia Brasília), com evolução tectono-sedimentar em margem passiva (Paciullo, 1997). A Seqüência Andrelândia apresenta seis associações de litofácies, da base para o topo e em direção ao centro da bacia: A1 - paragnaisse; A2 – paragnaisse, quartzito e xisto; A3 – quartzito; A4 – filito cinza e xisto; A5 – biotita xisto e gnaiss e; A6 – xisto e paragnaisse com intercalações menores de quartzito, metacherte e rochas calcissilicásticas. As associações de litofácies representam a evolução da abertura de rift, sedimentação plataformar incluindo turbiditos, transgressão marinha e sedimentação de águas profundas. Corpos de anfibolito são comuns em meio às associações A1, A2 e A6 e são considerados como resultado do magmatismo toleítico relacionado à evolução da bacia (Trouw *et al.*, 2000a, b; Paciullo, 1997). A evolução da bacia teria ocorrido em ciclo deposicional homônimo posterior ao evento termo-tectônico Transamazônico (2100-1800 Ma), indicador de preenchimento de bacia intracratônica. Razões Sm-Nd em unidades máficas intercaladas aos metassedimentos indicam idades entre 1000 e 600 Ma para esta bacia, indicando idade de deposição durante o Neoproterozóico (Ribeiro *et al.*, 1995).

Alternativamente, a estratigrafia da Seqüência Andrelândia foi montada de acordo com o empilhamento interno das diversas *nappes* que constituem o seu sistema de calvalgamento, envolvendo as *nappes* de Andrelândia, Liberdade e Pouso Alto e *klippen* associados. Na primeira *nappe*, o empilhamento varia de norte para a sul, mas na porção mais completa são observadas as unidades: xisto-quartzito pacote-Moreiras, xisto Rio Capivari, Xisto Santo Antônio e xisto Serra do Turvo. Na *nappe* de Liberdade predominam rochas pelíticas, com intercalações de rochas calciossilicáticas, retroeclogito, rochas ultramáficas, mármore, anfibolito, quartzito, gondito, BIF e camadas expressivas do Xisto Santo Antônio. Na *nappe* Pouso Alto ocorrem rochas pelíticas e *wackes* cuja área fonte são os sedimentos das *nappes* subjacentes; a *wacke* mais importante seria representada pelo Xisto Santo Antônio (Campos Neto *et al.*, 2005). As rochas da *nappe* Andrelândia correspondem a sistema deposicional regressivo em bacia *flysch*. As rochas da *nappe* de Liberdade são correspondentes as unidades basais da *nappe* de Andrelândia e representam seqüências distais em relação à margem Sanfranciscana (Campos Neto *et al.*, 2005).

Existem duas idéias principais relacionadas ao fechamento da bacia Andrelândia. Uma delas vincula o fechamento a dois episódios orogênicos, um relacionado à estruturação da Faixa Brasília (670-600 Ma) e outro relacionado à estruturação da Faixa Ribeira (580-530 Ma). A orogênese Brasília seria o produto da convergência e colisão dos blocos continentais anteriormente separados. Inicialmente estaria controlada por subducção tipo B, para oeste, com rochas do arco magmático no Maciço Guaxupé (670-630 Ma), seguido de colisão

continental produzindo conjunto de *nappes* e empurrões com transporte tectônico para E e SE (Paciullo, 1997). A outra proposta coloca o fechamento da bacia Andrelândia relacionado apenas à evolução da Faixa Brasília (Campos Neto *et al.*, 2004).

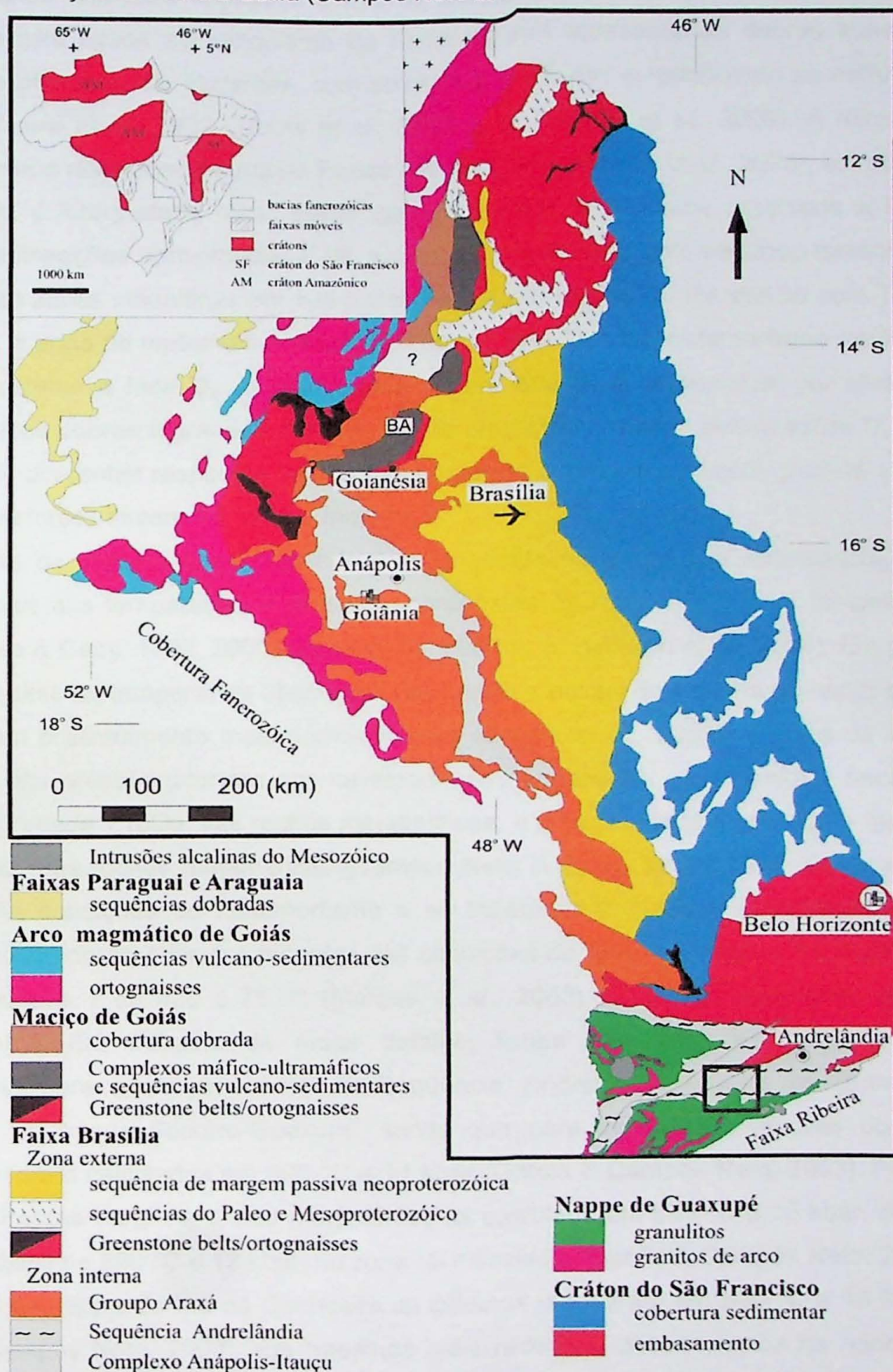


Figura 3.1 – Mapa Geológico esquemático da Faixa Brasília com a região onde esta inserida o trabalho (modificado de Fuck *et al.*, 1994).

Três fases de deformação (D_1 , D_2 e D_3) afetaram as rochas da Seqüência Andrelândia, as duas primeiras fases, associadas a Faixa Brasília, com estruturas de baixo ângulo, incluindo foliações, lineações e dobras associadas ao movimento das *nappes*. A terceira fase esta ligada ao tectonismo da Faixa Ribeira apresentando dobras suaves a abertas, com planos axiais íngremes, com eixos N-S e NE-NW e redobrando as estruturas anteriores (Trouw *et al.*, 1992; Trouw *et al.*, 2000 a, b; Paciullo *et al.*, 2000). A *Klippe* de Carvalhos (*klippe* relacionada à *nappe* Pouso Alto de Campos Neto *et al.*, 2005), estrutura a ser estudada, é interpretada como sendo gerada durante e tectônica associada a Faixa Brasília, com lineações aproximadas E-W, porém com reativação pelo segundo tectonismo, indicada pelas zonas miloníticas em sua base (Paciullo *et al.*, 2000). De acordo com Trouw *et al.* (1983), o auge do metamorfismo coincide com a fase D_2 e há metamorfismo retrógrado no final e posterior a fase D_3 . O autor ainda sugere que D_1 é responsável por clivagem regional, poucas dobras e grandes movimentos de empurrão e que as deformações D_1 e D_2 podem refletir diferentes respostas das rochas conforme o seu aquecimento gradual, sendo o campo de esforços essencialmente o mesmo.

Padrão de metamorfismo invertido é reconhecido na Seqüência Andrelândia, com rochas de mais alta temperatura e pressão sobrepostas às rochas de menor temperatura (Campos Neto & Caby, 1999, 2000; Trouw *et al.*, 2000 a, b; Heilbron *et al.*, 2004). Em geral, existe decréscimo de temperatura observado nas porções basais do sistema de *nappes*, que corrobora com o alinhamento metamórfico inverso (Garcia *et al.*, 2003). Rochas da fácies granulito de alta pressão ocorrem nos cavalgamentos superiores, com cianita + feldspato potássico + granada + rutilo, nas rochas metapelíticas, e clinopiroxênio + granada + quartzo + plagioclásio, nas rochas metamáficas (Campos Neto & Caby, 1999, 2000; Trouw *et al.*, 2000a, b). As condições do metamorfismo e as trajetórias *P-T* foram determinadas por diversos pesquisadores. Cálculos recentes das condições do pico metamórfico indicam *P* de 12.5 ± 1.9 kbar e *T* de 920 ± 75 °C (Moraes *et al.*, 2003), condições calculadas com o THERMOCALC. Em trabalho de maior detalhe, foram calculadas as condições de metamorfismo para a porção oeste da Seqüência Andrelândia e para os granulitos sobrepostos da *nappe* Socorro-Guaxupé, sendo que para esses as condições do pico metamórfico foram calculadas em 890 °C e 11 kbar (Garcia & Campos Neto, 2003). Para a *nappe* Três Pontas-Varginha o pico metamórfico foi calculado em 840 °C e 15 kbar, dentro da zona da cianita e 880 °C e 13 kbar, na zona da sillimanita (Garcia & Campos Neto, 2003). Para rochas da *nappe* Carmo da Cachoeira os cálculos resultaram em 820 °C e 18,5 kbar (Garcia & Campos Neto, 2003). Em trabalhos mais recentes, desenvolvidos na *nappe* de Airuoca-Andrelândia, foram reconhecidas as zonas da cianita, cianita-sillimanita e sillimanita e a termobarometria feita em rochas das três zonas definiram trajetórias compostas, com o pico metamórfico a 660 °C e 11 kbar, o qual foi atingido em trajetória de descompressão isothermal, registrado por coroas em granadas com intercrescimento de Sil-Pl-Qtz, passando

4.2. Nappe de Liberdade

4.2.1 Rochas calciossilicáticas

As rochas calciossilicáticas da *nappe* de Liberdade apresentam foliação marcada por biotita, hornblenda e diopisídio, além de leitos quartzo-feldspáticos. A mineralogia principal é composta por hornblenda, biotita, diopisídio, quartzo, granada e andesina; a textura é nematogranoblástica à lepidogranoblástica, com leitos granoblásticos. Simplectitos de hornblenda e opacos estão dispostos na borda do diopisídio. A titanita é abundante nos leitos nematogranoblásticos.

4.2.2 Anfibolito

O anfibolito é bandado com textura nematoblástica marcada por hornblenda nos leitos máficos e textura granoblástica nos leitos quartzo-feldspáticos. A paragénese hornblenda-andesina-titanita-granada predomina na rocha. A hornblenda apresenta-se xenoblástica e pode conter inclusões de granada. Porfiroblastos de granada formam grãos idioblásticos a subidioblásticos com coroas de plagioclásio. Epidoto cresce na borda da hornblenda. Como acessórios são observados ilmenita, apatita, zircão, monazita e rutilo, sendo os dois últimos comumente encontrados como inclusões em granada e hornblenda.

4.2.3 Retroeclogito

Alguns anfibolitos não apresentam plagioclásio primário e comparando-os com as rochas descritas na literatura (Campos Neto & Caby, 1999; Trouw *et al.*, 2000) permite a interpretação de que sejam retroeclogitos. A foliação é difusa, com texturas nematoblásticas a granoblásticas. A mineralogia é composta por hornblenda, com faces angulosas em contatos triplícies, andesina, intersticial e epidoto, incluso na andesina. Grãos de granada com bordas corroídas e substituídas por simplectitos de plagioclásio + hornblenda são comuns e inclusões de rutilo são menos frequentes, assim como clinopiroxênio que é substituído por hornblenda, plagioclásio e mais raramente biotita em coroas simplectíticas. As mesmas coroas simplectíticas são observadas na borda da hornblenda com intercrescimento de hornblenda e plagioclásio. Hornblenda também substitui epidoto. Os poucos grãos de clinopiroxênio estão intercrescidos com plagioclásio.

Na amostra AL-VII-76, não existe plagioclásio primário na rocha, apenas nas coroas em torno de epidoto e granada. As coroas em torno do epidoto são formadas por intercrescimento de plagioclásio e hornblenda. Na granada as coroas simplectíticas contêm hornblenda, plagioclásio e ilmenita. Rutilo ocorre como inclusões em granada e em hornblenda, com menos frequência; quando ocorrem em simplectitos apresentam coroa de titanita.

4.2.4 Ortognaisses

Os ortognaisses são formados por quartzo, plagioclásio, biotita, granada e hornblenda, apresentam bandamento evidenciado por leitos quartzo-feldspáticos,

interpretados como bandas anatéticas. A foliação é marcada por biotita e grãos de quartzo recristalizados e orientados. Os contatos entre quartzo e plagioclásio são, em geral, poligonalizados. Cristalização de plagioclásio intercrescido com quartzo sugere cristalização tardia a partir de líquido residual. Opacos são associados à biotita quando esta apresenta inclusão de titanita. Minerais acessórios observados são apatita, zircão, monazita, rutilo e allanita.

4.2.5 Rochas metassedimentares

Granada quartzito milonítico, (granada)-biotita-muscovita gnaiss e (muscovita-sillimanita)-cianita-granada-biotita xisto são os litotipos mais frequentes no pacote.

O granada quartzito milonítico, com cerca de 80% de quartzo, apresenta diferentes estágios de deformação com feições de sub-grão, extinção ondulante e recristalização de borda em grãos maiores. A granada é arredondada, com biotita na borda, e, às vezes, formando grãos alongados dentro do quartzo. Apesar da pouca quantidade, existem duas gerações de biotita: uma paralela à orientação preferencial dos grãos de quartzo e outra aleatória. Associados a biotita observamos rutilo e opacos. Plagioclásio e microclínio ocorrem de forma subordinada.

Os paragneisses são constituídos por biotita, muscovita, granada, além de quartzo e feldspatos (microclínio e plagioclásio). Os contatos entre quartzo e feldspato são poligonizados ou serrilhados. O feldspato potássico é pertítico e a presença de mirmequitas em suas bordas é comum. Muscovita e biotita definem leitos lepidoblásticos (prancha 1, foto A) e podem estar cristalizadas em S_n e S_{n+1} . Microclínio e muscovita ocorrem de maneira estável, indicando estarem em paragênese. Como acessórios ocorrem apatita, rutilo, epidoto, zircão, titanita e opacos.

Os xistos apresentam biotita, cianita, granada, fibrolita, muscovita, quartzo, plagioclásio, microclínio e ortoclásio. Com menos frequência apresentam estauroлита, inclusa em granada ou na matriz da rocha. Rutilo, titanita e opacos ocorrem como minerais acessórios. A textura é porfirolepidoblástica e, às vezes, porfirogranolepidoblástica. A quantidade de quartzo é variada nessas rochas e sugere variação composicional dentro da unidade. O quartzo geralmente ocorre orientado segundo a foliação, com extinção ondulante e contatos serrilhados a poligonizados, às vezes com feição de sub-grão. Biotita e muscovita definem a foliação principal, subordinadamente cianita e fibrolita que intercrescem com as micas acompanhando a foliação. Granada apresenta coroas simplectíticas com biotita, quartzo, plagioclásio e sillimanita (prancha 1, foto B), as quais, por vezes, tendem a se paralelizar com a foliação. Na amostra AL-VII-48 observa-se estauroлита inclusa em granada, preservadas com coroas de quartzo. Cianita é substituída por biotita, muscovita e sillimanita. Muscovita e biotita tardias ocorrem com cristais desorientados.

Para análise de química mineral foi selecionada a amostra RA-14. A rocha é estauroлита-cianita-granada-biotita-muscovita-quartzo xisto que apresenta foliação

lepidoblástica, com leitos granoblásticos com a presença de quartzo e plagioclásio. As granadas apresentam inclusões de quartzo, rutilo e opacos (provavelmente ilmenita), e está envolvida por micas (biotita e muscovita) e em contato com estauroлита. Foliação interna é marcada por palhetas de opacos e está levemente dobrada, indicando que o grão foi rotacionado. A textura lepidoblástica é definida por muscovita, grafita e biotita, de cor castanho-avermelhada. Os minerais mais abundantes da rocha são quartzo e muscovita. Cristais de cianita ocorrem como porfiroblastos ou na matriz concordantes com a foliação. A rocha apresenta porfiroblasto de turmalina amarelada.

4.3. Klippe de Carvalhos

4.3.1 Rochas metaultramáficas

A rocha ultramáfica predominante na área é serpentinito, em estágio adiantado de intemperismo; maciço, de cor verde azulada à cinza esverdeado, granulação muito fina. De acordo com Almeida (1998), ao microscópio, a rocha apresenta textura *mesh* com cristais relictos de ortopiroxênio e olivina. Quando não serpentinizadas apresentam ortopiroxênio, olivina e, em menores quantidades, antofilita e espinélio.

Espinélio (meta)harzburgito é constituído por olivina e ortopiroxênio, e menores quantidades de clinopiroxênio e espinélio (prancha 1, foto C). Secundariamente ocorrem serpentina e clorita e como acessórios opacos. Apresenta textura *mesh*, com serpentina substituindo olivina e piroxênio. Espinélio idioblástico a hipidioblástico ocorre em contato com olivina e ortopiroxênio. Clorita é encontrada bordejando os cristais de espinélio.

Metapiroxenito apresenta como minerais essenciais ortopiroxênio e clinopiroxênio, além de espinélio e högbomita (mineral descrito por Almeida, 1998). A textura predominante é granoblástica, com grãos de ortopiroxênio e clinopiroxênio com faces poligonizadas e contatos tríplexes. Há inclusões de plagioclásio em cristais de clinopiroxênio. Espinélio e högbomita apresentam-se intercrescidos, intersticiais em relação aos piroxênios e apresentam inclusões dos mesmos, sugerindo crescimento tardio. Minerais opacos são essencialmente associados aos cristais de espinélio e högbomita. Existe leve serpentinação nos contatos, fraturas e clivagens dos piroxênios. Minerais do grupo do epidoto e clorita ocorrem como acessórios.

4.3.2 Granulitos máficos

Há predomínio de (biotita)-clinopiroxênio-granada-hornblenda gnaisses. A textura principal é granoblástica com pequenas lentes estiradas ricas em minerais félsicos. O clinopiroxênio (diopísídio) é poiquiloblástico, sendo substituído nas bordas, fraturas e clivagens por hornblenda e com raras inclusões de titanita, apatita e monazita. Fato semelhante ocorre com a hornblenda que em sua borda e fraturas apresenta biotita, sugerindo sua substituição. A granada apresenta coroas com intercrescimento de diopísídio, hornblenda e plagioclásio. Antipertita é comum. Algumas rochas apresentam bandamento

definido por níveis com granada, biotita e pouca hornblenda e níveis com hornblenda, plagioclásio e pouca granada.

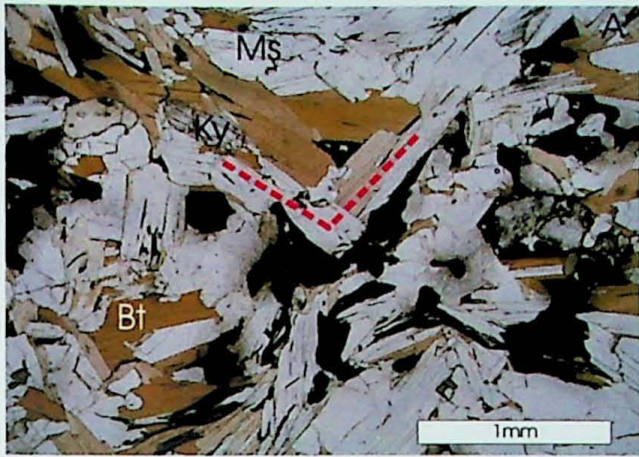
A amostra AL-VI-51b foi análise em microsonda eletrônica. Ela apresenta bandamento anatético, sendo que o leucossoma é formado por quartzo, feldspato potássico (pertítico a mesopertítico) e, secundariamente, plagioclásio. Geralmente quartzo e feldspatos apresentam contatos retos com os minerais máficos (principalmente hornblenda). Coroas de grãos xenomórficos, provavelmente de quartzo e feldspato, ocorrem nos interstícios de grãos maiores. As bandas félsicas estão interconectadas, formando espécie de rede dentro da rocha. No mesossoma de textura nematoblástica apresenta hornblenda, granada e biotita, e com menos frequência rutilo, quartzo e feldspatos. Diopisídio encontra-se na borda da hornblenda (prancha 1, foto D) ou como cristais independentes no leucossoma (prancha 1, foto E). Biotita apresenta-se inclusa na hornblenda com coloração esverdeada. Rutilo geralmente associado à biotita. Granada ocorre na matriz, inclusa no diopisídio, indicando crescimento precoce em relação a esse mineral ou em porfiroblastos com coroas (prancha 1, foto F) de hornblenda, plagioclásio e opacos.

4.3.3 Granulitos félsicos

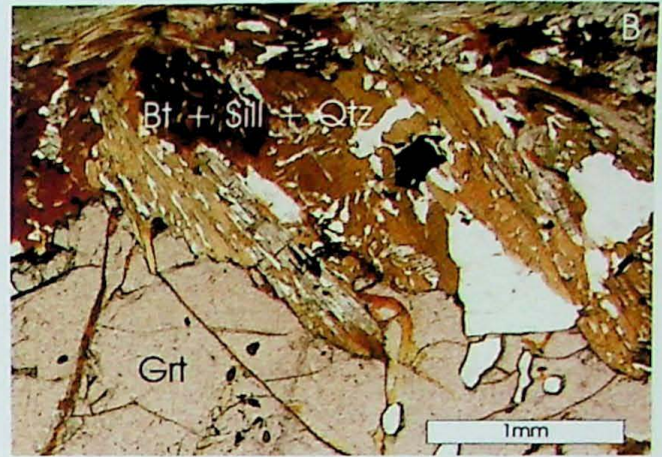
As rochas pelíticas da *klippe* de Carvalhos apresentam feições de fusão parcial, como leucossoma, que gera bandamento composicional. Os estágios de anatexia são variados, gerando desde gnaiss com segregações félsicas (início da fusão) à diatexitos onde pouquíssimo material metamórfico é preservado. A mineralogia é composta de biotita, granada, cianita, sillimanita, andesina, microclínio, ortoclásio e quartzo. Como acessórios são observados apatita, rutilo, zircão, titanita, monazita e opacos. Muscovita ocorre como mineral tardio em coroas na granada ou nos interstícios entre os feldspatos. Texturas porfiroblástica é comum e matriz lepidogranoblástica. Granada, feldspato potássico e cianita são os porfiroblastos mais comuns. Biotita, cianita e fibrolita definem a foliação principal. Os minerais félsicos apresentam contatos poligonizados e, geralmente, apresentam extinção ondulante e sub-grão. Os cristais de cianita da matriz são concordantes com a foliação e podem estar dobrados com extinção ondulante e com bordas de biotita, plagioclásio e sillimanita. Simplectitos de quartzo, plagioclásio e biotita são comuns na borda da granada. O feldspato potássico é pertítico, podendo chegar a mesopertita em alguns locais.

A amostra AL-VI-63a foi analisada em microsonda eletrônica. A rocha apresenta a paragênese principal formada por granada, rutilo, biotita, cianita, feldspato alcalino e quartzo. Os grãos de feldspato alcalino são pertíticos a mesopertíticos com lamelas de plagioclásio em filetes ou vênulas e podem apresentar mirmequitas nas bordas. É abundante a presença de porfiroblastos de granada com tamanhos de até 7 mm, que apresentam inclusões de rutilo e quartzo, geralmente formando linhas em semi-circunferência. Cianita ocorre como porfiroblasto e, em geral, apresentam inclusões de

Prancha 1



A - Leitos lepidoblásticos com biotita, muscovita, grafita (mineral opaco) e cianita em metapelito da *nappe* de Liberdade (RA-14). Em detalhe arco poligonal em muscovita.



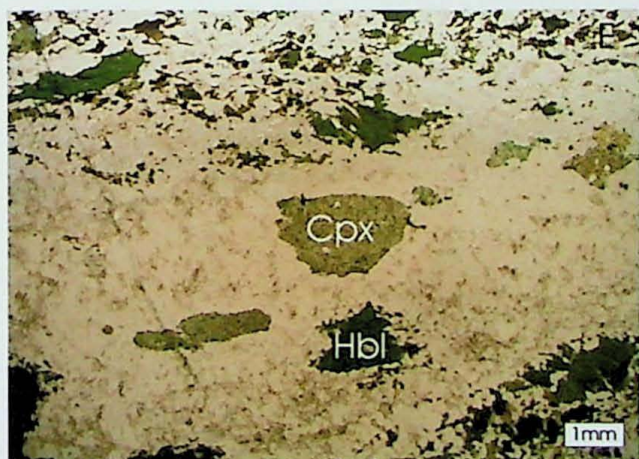
B - Granada com coroa simplectítica com intercrescimento de sillimanita, biotita, quartzo e opacos, em metapelito da *nappe* de Liberdade (AL-VI65b).



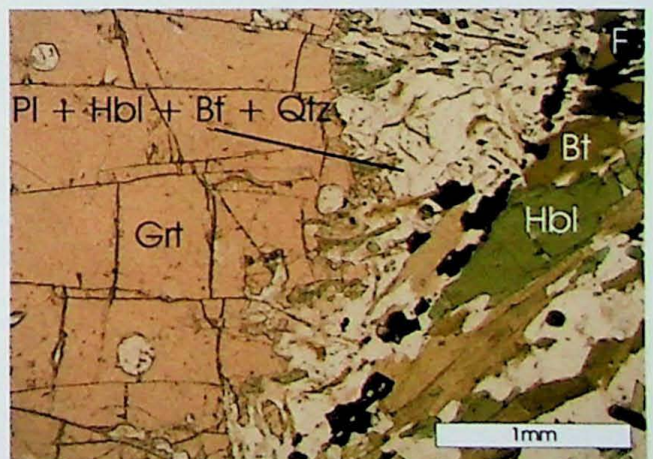
C - Metaultramáfica com ortopiroxênio, clinopiroxênio e olivina, na *klippe* de Carvalhos (AL-VII-78a).



D - Hornblenda consumida por diopísídio, em leucossoma de granulito máfico, *klippe* de Carvalhos (AL-VI-51b).



E - Diopísídio, com hornblenda na borda (verde escuro) no leucossoma de granulito máfico, na *klippe* de Carvalhos (AL-VI-51b).



F - Granada com intercrescimento na borda de biotita, hornblenda, plagioclásio e quartzo, em granulito máfico da *klippe* de Carvalhos (AL-VI-51b).

biotita e rutilo. A foliação é difusa dada pela orientação difusa de biotita com coloração avermelhada.

5. Química mineral

As associações minerais presentes nas rochas metamórficas fornecem dados das condições de pressão e temperatura do metamorfismo, através da determinação da composição química das fases em equilíbrio durante o pico do metamorfismo. Neste trabalho as seguintes fases minerais foram analisadas em microsonda eletrônica:

- Feldspato – plagioclásio em xistos das *nappes* de Andrelândia e Liberdade e granulito máfico da *klippe* de Carvalhos e feldspato potássico em rochas da *klippe* de Carvalhos;
- Granada – em rochas das três estruturas;
- Biotita – em rochas das três estruturas;
- Muscovita – em xistos das *nappes* de Andrelândia e Liberdade;
- Estaurolita – em xisto da *nappe* de Liberdade;
- Anfibólio – granulito máfico da *klippe* de Carvalhos;
- Piroxênio – granulito máfico da *klippe* de Carvalhos;
- Rutilo – em granulito félsico da *klippe* de Carvalhos.

As amostras analisadas foram sillimanita-granada-biotita-muscovita-quartzo xisto (SR-JR-1c) na *nappe* de Andrelândia e estaurolita-cianita-granada-biotita-muscovita-quartzo xisto (RA-14) na *nappe* de Liberdade e na *klippe* de Carvalhos granulito félsico (AL-VI-63a) e granulito máfico (AL-VI-51b). A descrição detalhada das rochas analisadas em microsonda eletrônica está no anexo I. As análises foram feitas no Laboratório de Microsonda do IGc-USp, utilizando a Microsonda JEOL modelo JXA-8600, com 15 kV e 20 nÅ.

5.1. Feldspato

Os feldspatos são os tectossilicatos mais abundantes em rochas crustais. São comuns em rochas metamórficas e trazem importantes subsídios relativos às condições de metamorfismo. Grandes partes dos geobarômetros utilizam reações que envolvem o plagioclásio. A presença abundante de Al, cátion que é bem adaptado à coordenação tetraédrica, na maioria dos sistemas silicáticos força substituições catiônicas do tipo $\text{Si}^{4+} \leftrightarrow \text{Al}^{3+}$, com balanço de carga realizado por elementos alcalinos terrosos, principalmente Ca, dando origem a aluminossilicatos com a unidade fundamental $(\text{Si}, \text{Al})\text{O}_4$ (Deer *et al.*, 1982). A fórmula geral dos feldspatos é MT_4O_8 , onde quando M é ocupado por K ou Na, T é ocupado por Al + 3Si, e quando M é ocupado por Ca, T é preenchido por 2Al + 2Si. O sítio T apresenta coordenação tetraédrica, sendo que cada oxigênio pertence ao vértice de dois

tetraedros. Os tetraedros aos quais são ocupados por Al, precisam ser balanceados e são supridos por elementos alcalinos ou alcalino-terrosos.

Os feldspatos são divididos em duas soluções binárias, o feldspato alcalino, com albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) e feldspato potássio (KAlSi_3O_8) como membros finais e plagioclásio com os membros finais albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) e anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$). As variações estão relacionadas à substituição KNa_{-1} , na primeira, e $\text{NaSiCa}_{-1}\text{Al}^{\text{IV}}_{-1}$, na segunda. A albita ocorre nas duas séries, pois o raio iônico do Na é intermediário aos do K e Ca, encaixando-se nas duas soluções sólidas. Soluções sólidas ternárias podem ser formadas em condições metamórficas de temperatura ultra-alta, como no caso deste estudo, e, durante o resfriamento, reajustes forçam a desmistura da solução ternária em duas binárias, originando pertita, mesopertita e antipertita.

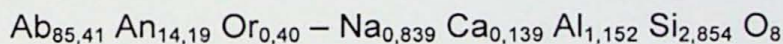
5.1.1 Plagioclásio

Foram analisados grãos de plagioclásio em dois xistos pelíticos (RA-14 e SR-JR-1c). Os resultados são apresentados no anexo II.

Em ambas as rochas os grãos de plagioclásio analisados pertencem a matriz da rocha com granulação média a fina. Ocorrem com textura granoblástica e, geralmente, com geminação polissintética.

As análises indicam composições diferentes entre os grãos de plagioclásio das duas rochas, o xisto com sillimanita possui teores de Ca maiores ($\text{An}_{27,6}$) se comparados ao xisto com estaurolita e cianita ($\text{An}_{14,1}$). Ambos ocupam campo do oligoclásio (figura 5.1). As fórmulas estruturais são:

- No estaurolita-cianita-granada-biotita-muscovita-quartzo xisto:



- No sillimanita-granada-biotita-muscovita-quartzo xisto:

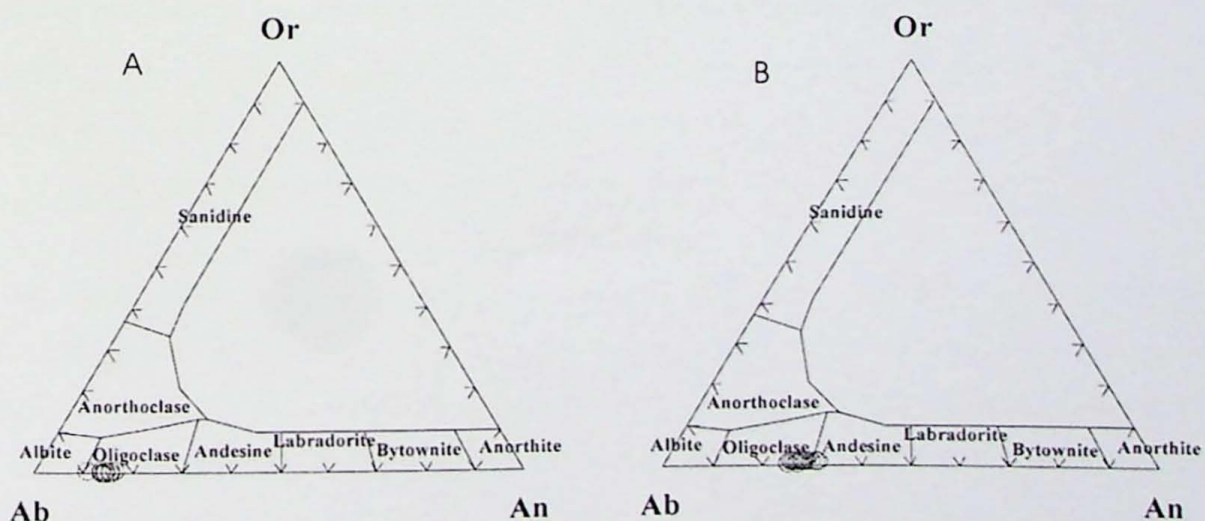
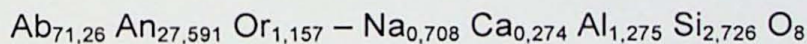


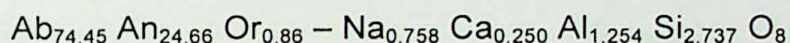
Figura 5.1 – Diagrama de fases Ab-Na-Or, onde: **A** – *Nappe* de Liberdade (RA-14); **B** – *Nappe* de Andrelândia (SR-JR-1c).

Foram realizadas análises em grãos de plagioclásio do granulito máfico de três domínios distintos: mesossoma (matriz), borda de reação com porfiroblasto de granada, após a linha de reação da granada e leucossoma. Os resultados das análises são apresentados no anexo II.

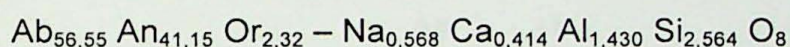
O plagioclásio presente no mesossoma ocorre com textura granoblástica em contato com grãos de quartzo, hornblenda e biotita. Na borda da granada ocorrem finos cristais com hábito ripiforme. Após a linha da borda de reação do porfiroblasto da granada, determinada por linha de minerais opacos, o plagioclásio, novamente, ocorre em textura granoblástica com os demais minerais. Todos apresentam geminação polissintética.

Os grãos analisados após a linha de reação da granada ($An_{31,2}$) possuem afinidade com os grãos analisados na matriz ($An_{24,6}$), sendo um pouco mais cálcicos, podendo, no geral, serem classificados como oligoclásio. Os grãos na borda de reação possuem o teor de anortita maior, com composição de andesina, $An_{41,1}$ (figura 5.2). As fórmulas estruturais determinadas para os plagioclásios foram:

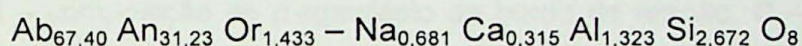
- No mesossoma:



- Na borda de reação do porfiroblasto:



- Após a borda de reação:



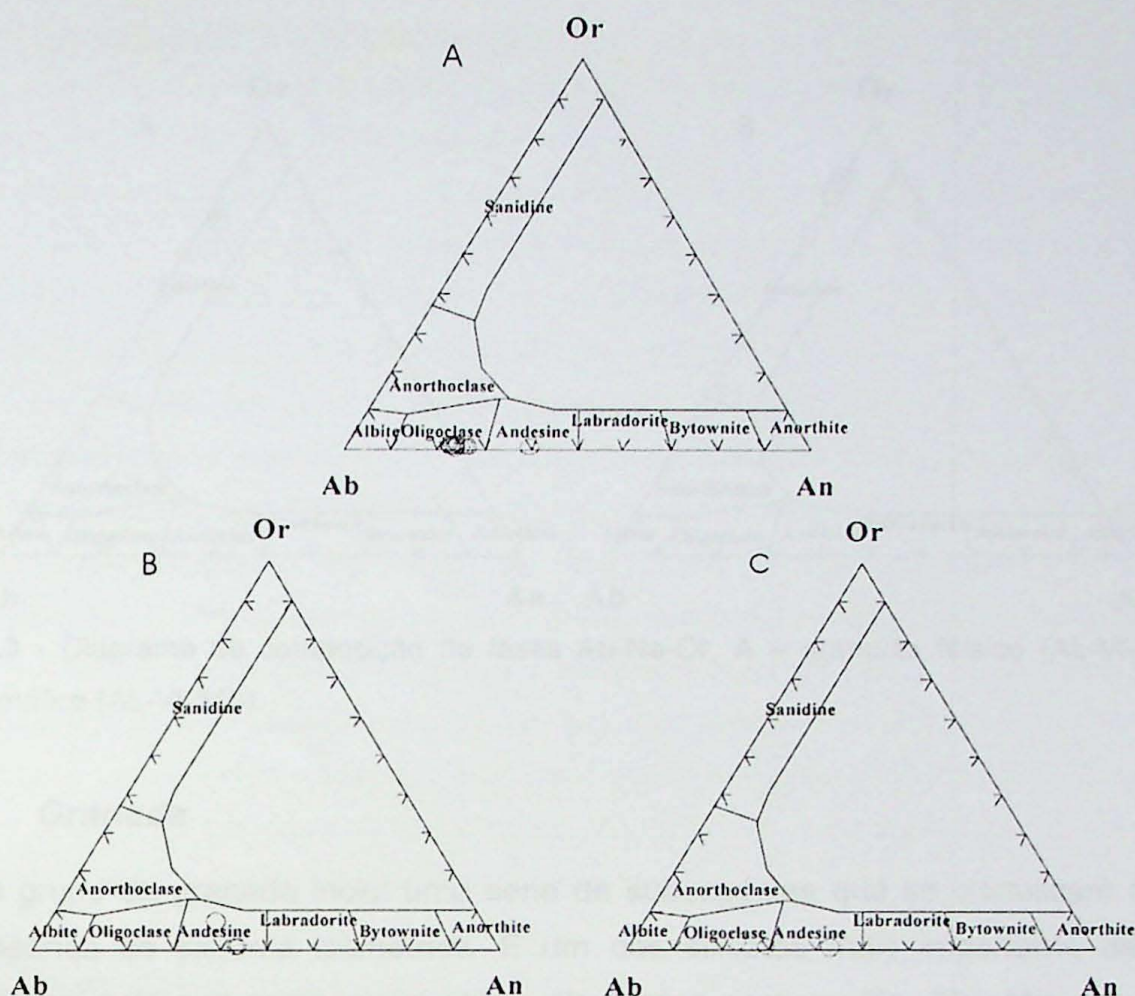
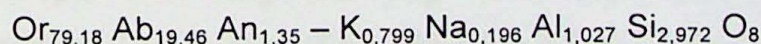


Figura 5.2 – Diagrama de composição de fases Ab-Na-Or. **A** – Composição do plagioclásio do mesossoma. **B** – composição do plagioclásio da borda de reação. **C** – composição do plagioclásio após a borda de reação.

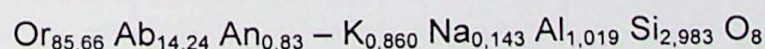
5.1.2 Feldspato alcalino

O feldspato alcalino foi analisado em amostras de granulito félsico (AL-VI-63a) e granulito máfico (AL-VI-51b). Os resultados são exibidos no anexo II.

No granulito félsico o feldspato analisado é pertítico a mesopertítico com lamelas de plagioclásio em filetes ou vênulas. Estão na paragênese principal da rocha formada por Grt + Rt + Bt + Ky + Fds. Os grãos são classificados como ortoclásio (figura 5.3a), onde predomina o ortoclásio. A fórmula estrutural determinada para o feldspato alcalino é:



No granulito máfico foram analisados feldspatos alcalinos no presente no leucossoma da rocha. Possuem granulação fina à média, onde os cristais finos apresentam geminação em grade e os cristais de granulação média possuem pequenas lamelas em barras de ex-solução. Sua composição indica que a molécula dominante é a de ortoclásio e pode ser classificado como ortoclásio (sanidina), a exemplo do anterior, conforme aponta a figura 5.3b. Sua fórmula estrutural é:



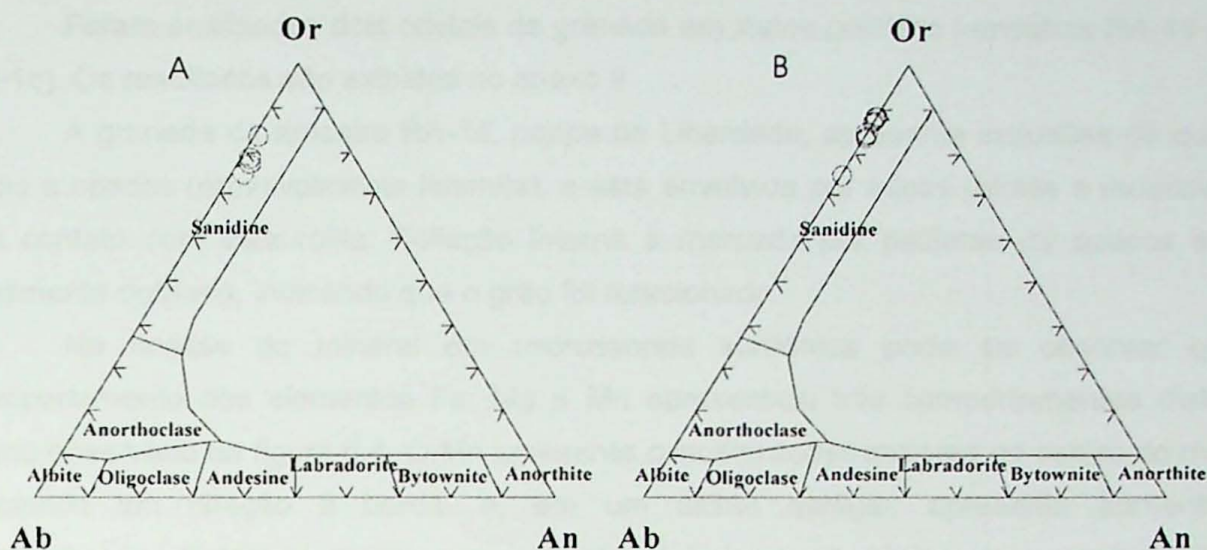


Figura 5.3 - Diagrama de composição de fases Ab-Na-Or. **A** – granulito félsico (AL-VI-63a); **B** – granulito máfico (AL-VI-51b).

5.2. Granada

O grupo da granada inclui uma serie de subespécies que se cristalizam na classe hexaoctaédrica do sistema isométrico. É um dos silicatos mais importante das rochas metamórficas, pois sua composição utiliza elementos comuns (Fe, Mg, Mn, Ca, Al, Si) e cristaliza em quase todo o intervalo de pressão e temperatura do metamorfismo. Sua fórmula geral é $A_3B_2(SiO_4)_3$, onde o sítio A é coordenado por oito átomos de oxigênio e é ocupado por cátions divalentes (Fe^{2+} , Mg, Mn, Ca). O sítio B é coordenado por seis átomos de oxigênio e ocupado por cátions trivalentes (Fe^{3+} , Al e Cr). As substituições mais importantes ocorrem nos cátions do grupo A. Os vetores mais comuns são $FeMg_{-1}$, $FeMn_{-1}$, $FeCa_{-1}$ e $MgCa_{-1}$.

Para o cálculo da fração molar de cada membro final da granada foram usadas as seguintes expressões (Deer *et al.*, 1982):

- almandina (Alm): $Fe / (Fe + Mg + Mn + Ca) * 100$
- piropo (Prp): $Mg / (Fe + Mg + Mn + Ca) * 100$
- espessartita (Sp): $Mn / (Fe + Mg + Mn + Ca) * 100$
- grossulária (Grs): $Ca / (Fe + Mg + Mn + Ca) * 100 - (andradita + uvarovita)$
- andradita: $Fe^{3+} / (Al + Fe^{3+} + Cr) * 100$
- uvarovita: $Cr / (Al + Fe^{3+} + Cr) * 100$

Cr não foi analisado em alguns dos grãos de granada das rochas estudadas, em virtude de sua concentração muito baixa. Nesses casos foi considerado valor zero para o elemento.

5.2.1 Nappes de Andrelândia e Liberdade

Foram analisados dois cristais de granada em xistos pelíticos (amostras RA-14 e SR-JR-1c). Os resultados são exibidos no anexo II.

A granada da amostra RA-14, *nappe* de Liberdade, apresenta inclusões de quartzo, rutilo e opacos (provavelmente ilmenita), e está envolvida por micas (biotita e muscovita) e em contato com estaurolita. Foliação interna é marcada por palhetas de opacos e está levemente dobrada, indicando que o grão foi rotacionado.

Na análise do mineral em microsonda eletrônica pode se observar que o comportamento dos elementos Fe, Mg e Mn apresentam três comportamentos distintos, como observado na figura 5.4. O Mn apresenta concentrações maiores no centro do mineral decaindo em direção à borda, e, em um último estágio, apresenta aumento de concentração. O Mg apresenta concentrações inferiores no núcleo com crescimento em direção à borda, e ao final apresenta queda relativamente brusca em sua concentração. Já o Fe apresenta comportamento contrário ao Mg, decrescendo as concentrações do núcleo para borda, porém nos últimos pontos do perfil ocorre elevação dos valores. O teor de Ca é muito variável, porém pode se notar queda na borda no grão analisado. A composição média de membros finais da granada analisada é:

- no núcleo: Alm_{76,61} Sp_{2,48} Pir_{15,63} Grs_{0,75}
- na porção intermediária: Alm_{76,35} Sp_{1,65} Pir_{16,31} Grs_{2,05}
- na borda: Alm_{78,89} Sp_{2,05} Pir_{15,90} Grs_{-1,61}

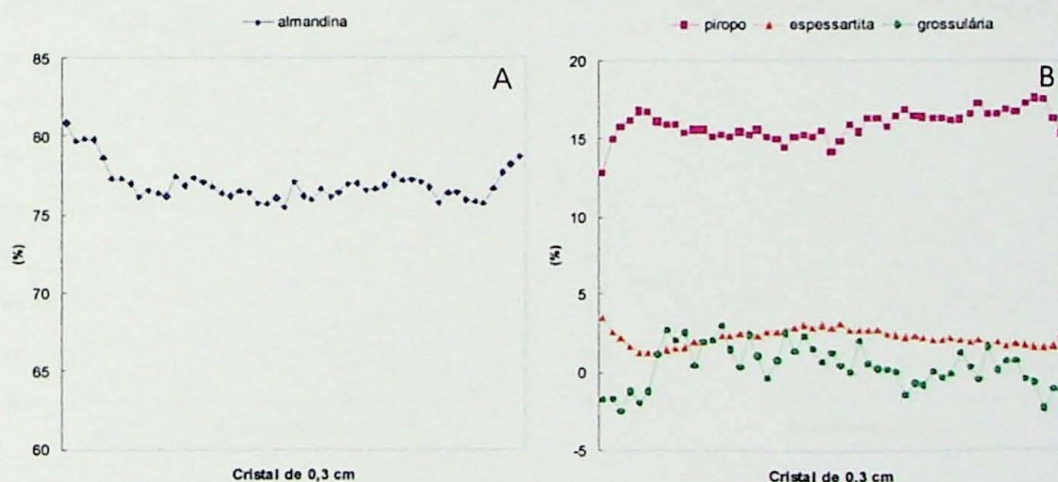


Figura 5.4 – Perfil composicional em granada (RA-14) da *nappe* de Andrelândia: **A** – Composição do membro almandina; **B** – Composição dos membros piropo, espessartita e grossulária.

Nesta granada foi realizado um mapa composicional (prancha 2). As figuras corroboram com os perfis executados, onde todos os elementos possuem distribuição concêntrica. O centro do grão está um pouco deslocado devido à rotação do mesmo durante o metamorfismo. O elemento Mg apresenta baixas de concentrações em torno do cristal e

no centro. A distribuição de Ca é irregular, onde o núcleo apresenta concentrações maiores, principalmente próximo às inclusões de quartzo, diminuindo em direção a borda com leve aumento de concentração em fino anel em torno do grão. O Mn apresenta concentrações maiores no centro do grão e em anel externo definindo sua borda. O Fe apresenta distribuição homogênea, com aumento na borda do cristal.

Os enriquecimentos e empobrecimentos em torno do grão sugerem que as condições metamórficas são mais amenas, pois há enriquecimento em Mn e Fe.

O cristal de granada analisado na amostra SR-JR-1c, *nappe* de Andrelândia, apresenta aproximadamente 2 mm de diâmetro, semelhante aos grãos da matriz da rocha. Em sua borda encontra-se quartzo, plagioclásio, opacos e micas (biotita e muscovita).

Pelas análises químicas foram observadas concentrações decrescentes de Mg do núcleo para borda. O Mn decresce do núcleo em direção à borda, com ligeiro aumento ao longo de sua borda. O contrário ocorre com o Fe, que apresenta concentrações maiores na borda do cristal. O teor de Ca acompanha, de grosso modo, o comportamento do Fe, com concentrações mais elevadas na borda. A razão Mg:Fe – X_{Mg} – apresenta queda na borda do grão, ou seja, a concentração de Fe é superior a do Mg. A figura 5.5 mostra o perfil composicional. A média composicional de membros finais é:

- no núcleo: Alm_{74,04} Sp_{10,48} Pir_{11,82} Grs_{0,34}
- na borda: Alm_{75,45} Sp_{9,12} Pir_{11,33} Grs_{0,82}

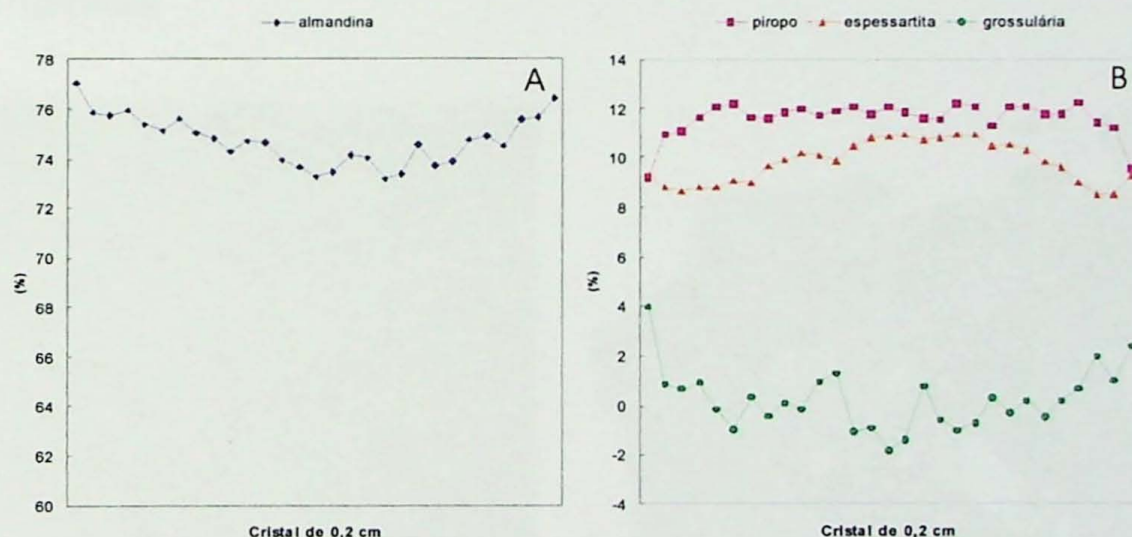
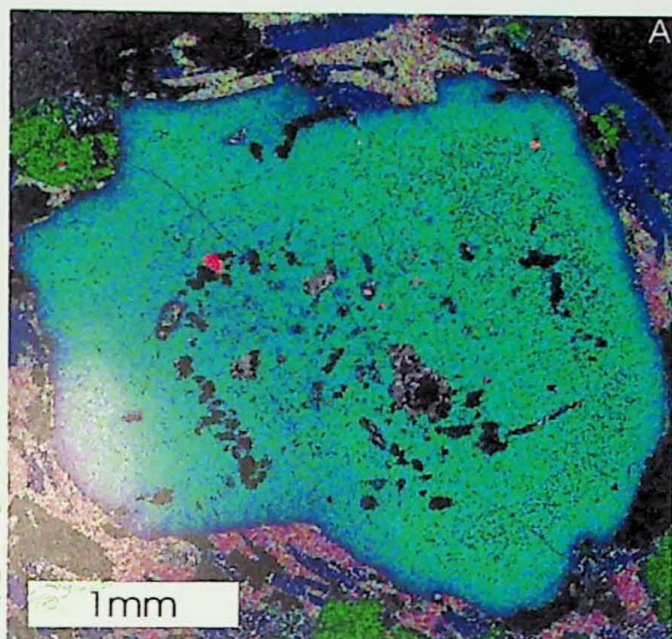


Figura 5.5 – Perfil composicional em granada (SR-JR-1c) da *nappe* de Liberdade: **A** – Composição do membro almandina; **B** – Composição dos membros piropo, espessartita e grossulária.

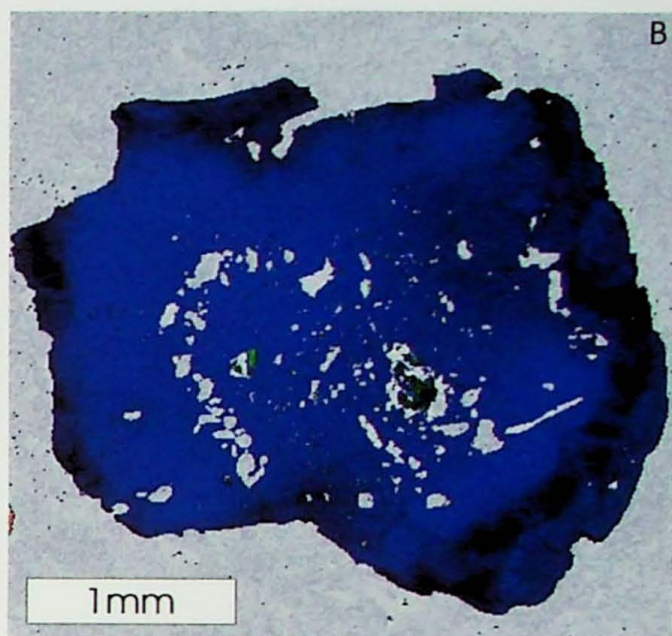
Nesta granada também foi realizado mapa composicional, apresentado na prancha 3. As distribuições de elementos apresentam padrão concêntrico. Há uma linha de inclusões de quartzo, em semi-circunferência, no grão, que delimita as concentrações de elementos no grão. O Mg é o elemento menos influenciado pela linha de inclusões, possuindo teores

Prancha 2

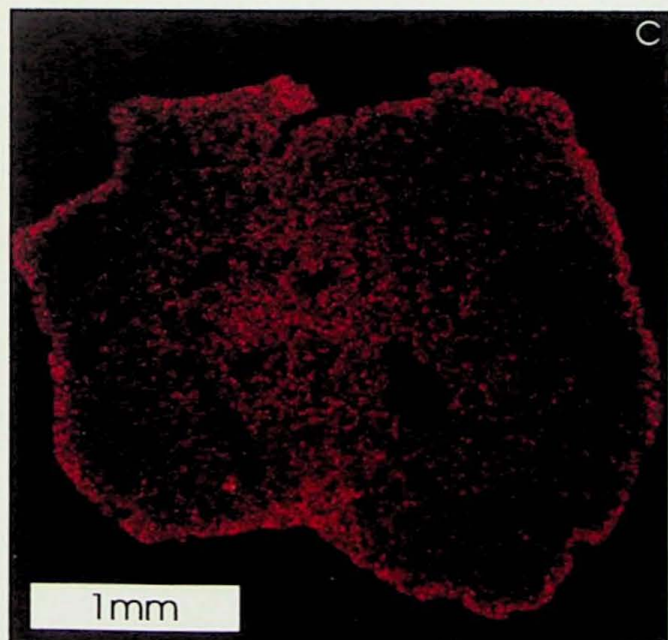
Mapas composicionais em granada de St-Ky-Grt-Bt-Ms-Qtz xisto (RA-14), da *nappe* de Liberdade.



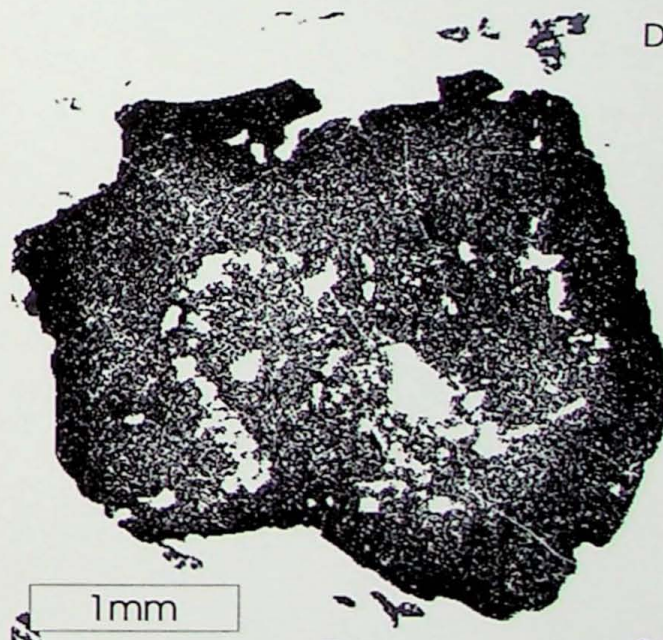
A - Mapa composicional em granada para Mg. Nota-se que o elemento possui maiores concentrações na porção intermediária do grão (esverdeado) e menores concentrações no centro e borda do grão (azulado).



B - Mapa composicional em granada para Ca. A distribuição do elemento é grosseira, com maiores concentrações próximas às linhas de inclusões e em uma fina camada na borda do grão (tons de azul claro).



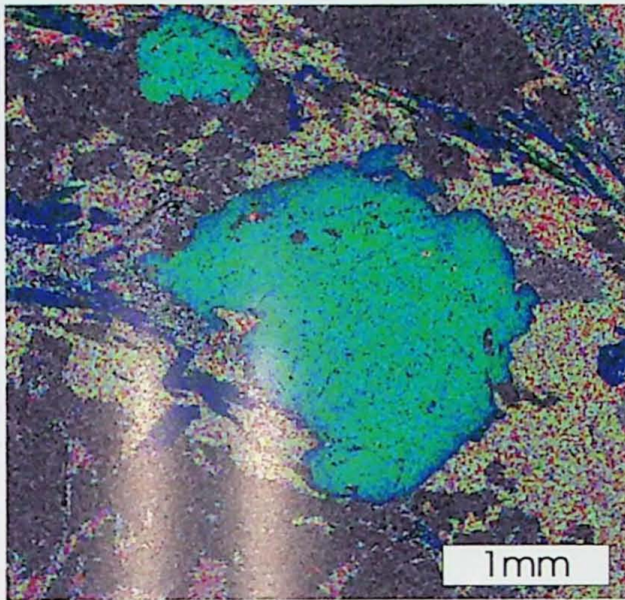
D - Mapa composicional em granada para Mn. As maiores concentrações estão no centro e na borda do cristal (vermelho) e as menores são observadas em zonas intermediárias.



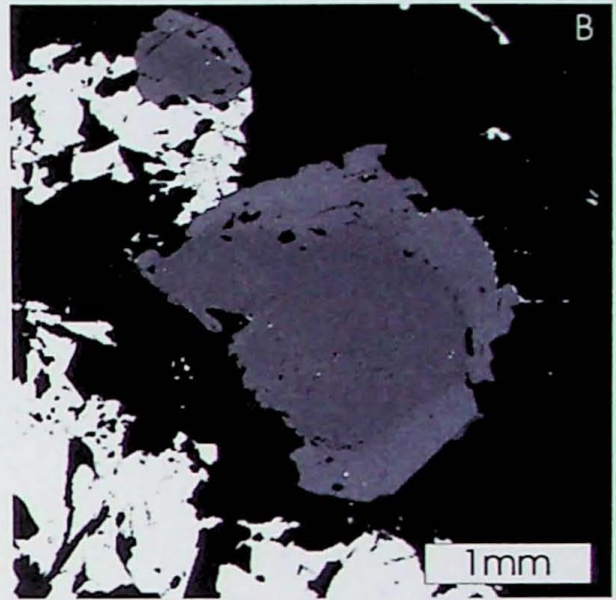
E - Mapa composicional em granada para Fe. O elemento possui distribuição homogênea no grão analisado, com pequeno enriquecimento na borda (preto).

Prancha 3

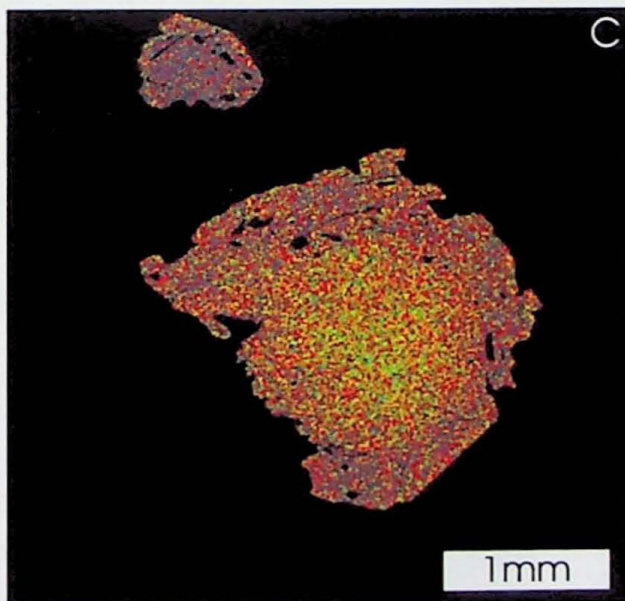
Mapa composicional de granada em sillimanita-granada-biotita-muscovita-quartzo xisto (SR-JR-1c), da *nappe* de Andrelândia.



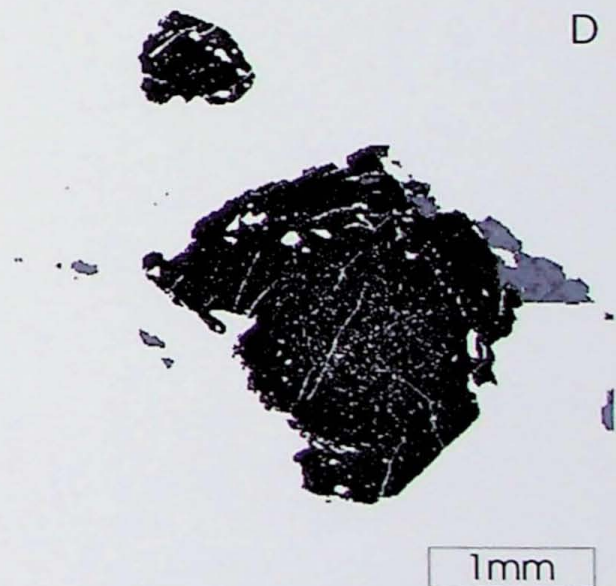
A - Mapa composicional em granada para Mg. O elemento possui distribuição homogênea no grão com caimento de concentrações na borda (tons azuis).



B - Mapa composicional em granada para Ca. Nota-se que após linha de inclusão há mudança de comportamento da distribuição do elemento no grão. Tons escuros representam menores concentrações do elemento.



C - Mapa composicional em granada para Mn. O elemento se concentra no centro do grão (cores vivas), sendo mais pobre após a linha de inclusões.



D - Mapa composicional em granada para Fe. O elemento possui distribuição homogênea com ligeiro enriquecimento na borda (preto).

bem distribuídos e homogêneos no cristal com caimento repentino numa fina camada em torno do grão. O Ca apresenta menor concentração no núcleo do cristal e é mais rico nas bordas, após a linha de inclusões. O Mn apresenta maior concentração no núcleo do cristal com decréscimo da concentração para borda, com leve aumento em fina camada em torno do grão. O Fe apresenta concentrações relativamente homogêneas com leve aumento após a linha de inclusões.

5.2.2 *Klippe* de Carvalhos

Foram analisados dois porfiroblastos de granada em amostras dessa unidade: em granulito félsico (AL-VI-63a) e granulito máfico (AL-VI-51b). Os resultados são apresentados no anexo II.

O porfiroblasto de granada analisado no granulito félsico apresenta diâmetro de 0,7 cm (prancha 4). Em sua borda ocorre a paragênese característica de alta pressão: Grt + Bt + Pl + Rt + Ky + Kfs. O cristal apresenta inclusões de rutilo e quartzo, estas formando linhas em semi-circunferência.

A principal troca é entre Fe e Mg, com Fe mais rico no núcleo e Mg mais rico na borda. Observa-se que a concentração de Mn no núcleo é maior do que na borda. A concentração de Ca apresenta leve diminuição de teores no núcleo para a borda do grão. A concentração da grossulária, por vezes, é negativa. Isso ocorre pelo excesso de Fe^{3+} calculado, indicando algum problema na calibração de algum elemento na microsonda e possivelmente subestimando os teores de SiO_2 e Al_2O_3 . O perfil composicional do porfiroblasto é exibido na figura 5.6, onde a média composicional de membros finais é:

- no núcleo: $\text{Alm}_{63,49} \text{Sp}_{2,33} \text{Pir}_{23,77} \text{Grs}_{-0,22}$
- na borda: $\text{Alm}_{61,10} \text{Sp}_{1,49} \text{Pir}_{27,91} \text{Grs}_{0,29}$

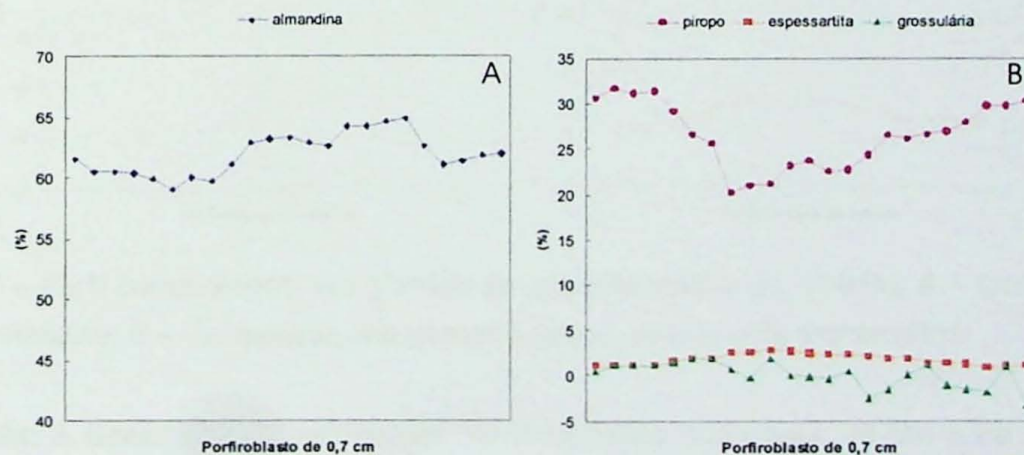


Figura 5.6 – Perfil composicional em granada do granulito félsico (AL-VI-63a): **A** – Composição do membro almandina; **B** – Composição dos membros piropo, espessartita e grossulária.

Comparada às granadas das rochas pelíticas das *nappes* sotopostas podemos observar que a granada analisada no granulito félsico é mais rica em Mg e, conseqüentemente, empobrecida em Fe.

No granulito máfico, a granada analisada, de 0,9 cm de diâmetro, forma cristal subidioblástico. Sua borda é irregular e substituída por coroa de simplectito de plagioclásio ripiforme, biotita, hornblenda e óxido de Fe granular (magnetita ou hematita). As inclusões observadas são de quartzo, com formatos arredondados/ ovalados ou retificados por fraturas.

O perfil mostra que Fe e Mg desenham platôs em quase todo o grão com comportamento errático nas bordas, embora Mg apresente leve enriquecimento em direção às bordas. Mn apresenta maiores concentrações no núcleo com concentrações que diminuem gradativamente para as bordas. Aparentemente a distribuição do Ca mostra padrão em “zig-zag”, mas existe a tendência de enriquecimento em direção às bordas. Nas bordas todos os elementos apresentam distribuição errática. Isso deve estar ligado à dissolução e substituição da borda do grão. A composição média de membros finais é:

- no núcleo: Alm_{45,78} Sp_{7,41} Pir_{18,36} Grs_{24,05}
- na borda: Alm_{46,28} Sp_{5,85} Pir_{19,76} Grs_{25,49}
- grãos fora do porfiroblasto (zona de reação): Alm_{40,52} Sp_{18,36} Pir_{12,44} Grs_{24,78}

A figura 5.7 apresenta o perfil composicional do porfiroblasto de granada.

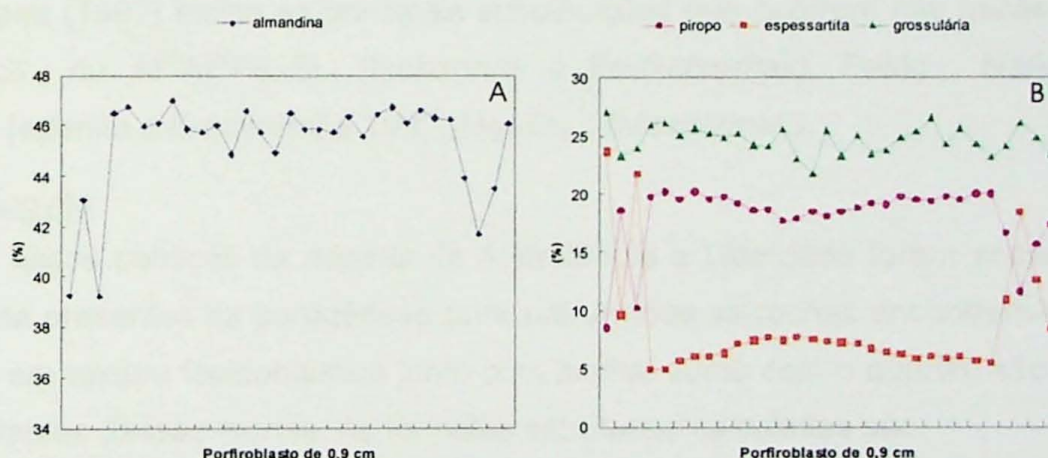


Figura 5.7 – Perfil composicional em granada do granulito máfico (AL-VI-51b): **A** – Composição do membro almandina; **B** – Composição dos membros piropo, espessartita e grossulária.

Kohn & Spear (2000) verificaram um incremento nos níveis de Mn e Fe próximo às bordas de grãos de granada, em rochas do Himalaia, que apresentam coroa de plagioclásio, biotita e hornblenda. A coroa é resultado da substituição de suas bordas por dissolução retrograda e da troca Fe-Mg com a biotita. O Mn não apresenta afinidade química com os minerais formados na coroa da granada e, portanto, retorna à granada, elevando a fração molar do membro final espessartita próximo às suas bordas.

Baseado no que foi discutido acima, as análises sugerem o aumento do teor de Mn na borda do grão está ligada à dissolução retrograda do mesmo. A queda da concentração de Fé, na borda do cristal, pode ser explicada pela alta concentração de grãos de óxido de ferro (hematita ou magnetita) em volta do porfiroblasto, “absorvendo” todo o Fe encontrado.

5.3. Micas

As micas apresentam estrutura em camadas com folhas silício-oxigênio, onde três dos quatro oxigênios em cada tetraedro (SiO_4) são compartilhados com tetraedros vizinhos. Os tetraedros formam anéis hexagonais com hidroxila ocupando seu centro. As folhas são ligadas por cátions mono ou divalentes. As micas possuem três octaedros equivalentes em sua estrutura, quando dois, desses octaedros são ocupados, as micas são classificadas como dioctaédricas ou mica branca (muscovita, paragonita e margarita). Se todos os octaedros são ocupados são denominadas trioctaédricas ou mica escura (biotita, flogopita e estonita).

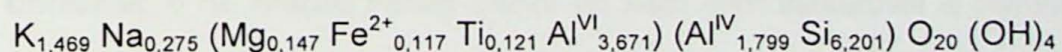
A fórmula estrutural das micas brancas é $\text{A}(\text{M1}+\text{M2})_2\text{T}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$. Já a mica escura apresenta a fórmula $\text{A}(\text{M1}+\text{M2})_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$. A posição A é geralmente ocupada por K, Na ou Ca, podendo também apresentar Ba, Rb e Cs. Os sítios M1 e M2 são preenchidos por Al, Mg e Fe com Mn, Cr, Ti e Li. A posição T possui Si e Al, às vezes, Fe^{3+} e Ti, onde a proporção Si:Al é de 6:2 ou 4:4 nas micas brancas e 6:2 nas micas escuras.

Moraes (1997) indica as principais substituições que ocorrem nas micas são: KNa_{-1} , $\text{Al}^{\text{VI}}\text{Al}^{\text{IV}}\text{Mg}_{-1}\text{Si}_{-1}$ ou $\text{Al}^{\text{VI}}\text{Al}^{\text{IV}}\text{Fe}_{-1}\text{Si}_{-1}$ (*tschermak* e *Fe-tschermak*), FeMg_{-1} , $\text{NaAl}^{\text{IV}}\text{O}_{-1}\text{Si}_{-1}$ ou $\text{KAl}^{\text{IV}}\text{O}_{-1}\text{Si}_{-1}$ (*edenita* e *K-edenita*) e $\text{TiAl}^{\text{IV}}_{-2}\text{Mg}_{-1}\text{Si}_{-2}$ (*Ti-tschermak*).

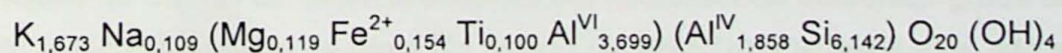
5.3.1 Muscovita

Nos xistos pelíticos da *nappes* de Andrelândia e Liberdade foram analisados grãos de muscovita presentes na paragênese principal. Ambas as rochas encontram-se na matriz das rochas em textura lepidoblástica junto com biotita. Junto com o quartzo são os minerais mais abundantes dessas rochas. As fórmulas estruturais calculadas são:

- em St-Ky-Grt-Bt-Ms-Qtz xisto (RA-14) - *nappe* de Liberdade:



- em Sill-Grt-Bt-Ms-Qtz xisto (SR-JR-1c) - *nappe* de Andrelândia:



Pouca diferença composicional é observada nos grãos de muscovita analisados. As mudanças mais significativas estão no sítio A, com aumento de K e diminuição de Na no xisto com sillimanita e na relação Mg *versus* Fe, com teores de Mg maior no xisto com estauroлита e cianita. As principais trocas envolvem o Al como podemos observar na figura 5.8.

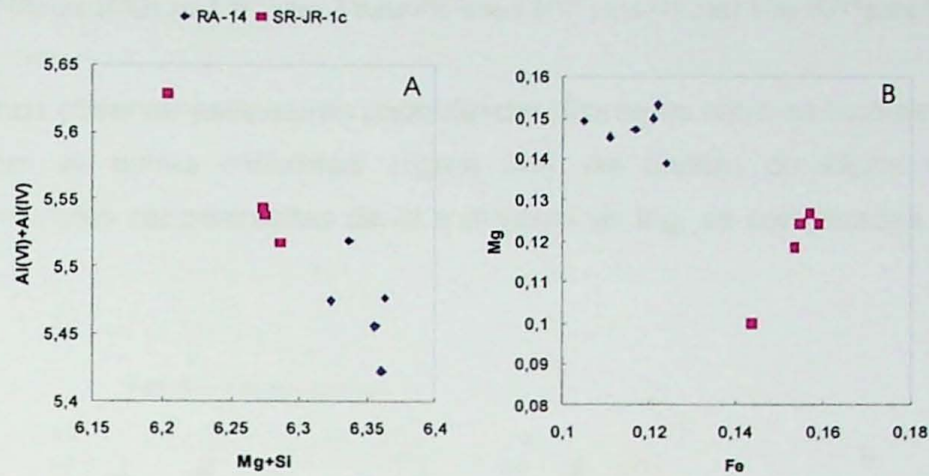
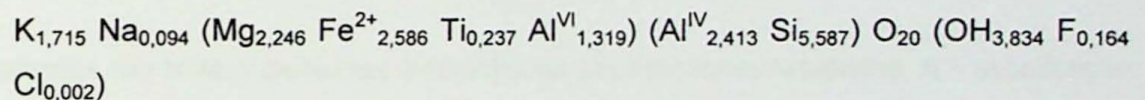


Figura 5.8 – Relações nas muscovitas analisadas. **A** – substituição tipo *tschermack*; **B** – relação MgFe.

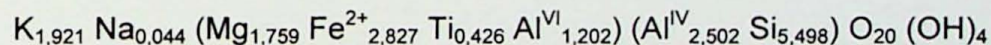
5.3.2 Biotita

Os cristais de biotita analisados nos xistos da *nappes* de Andrelândia e Liberdade pertenciam a leitos lepidoblásticos da matriz. Em ambas as rochas, biotita ocorre com cor castanho-avermelhada. Como supracitado, a diferença desses xistos está em sua composição mineralógica principal, nas duas ocorre granada, muscovita, biotita, quartzo e plagioclásio, sendo que a amostra RA-14 apresenta estauroлита e cianita e a amostra SR-JR-1c sillimanita. Os resultados estão no anexo II. As fórmulas estruturais determinadas da biotita analisadas são:

- em St-Ky-Grt-Bt-Ms-Qtz xisto (RA-14) - *nappe* de Liberdade:



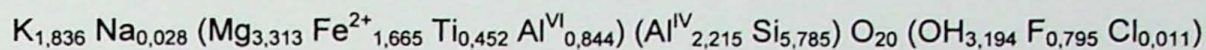
- em Sill-Grt-Bt-Ms-Qtz xisto (SR-JR-1c) - *nappe* de Andrelândia:



As diferenças entre os grãos de biotita analisados, dessas duas estruturas estão relacionadas principalmente a diferenças nas concentrações de Ti, com quase o dobro no xisto com sillimanita, e na relação Fe/Mg menor no xisto com estauroлита e cianita (figura 5.9).

Na *klippe* de Carvalhos foram analisados em microsonda eletrônica grãos de biotita em granulito félsico (AL-VI-63a) e granulito máfico (AL-VI-51b). Os resultados são exibidos no anexo II.

No granulito félsico os grãos de biotita analisados são da matriz com paragênese Grt-Rt-Fds-Bt-Ky e da borda de reação dos porfiroblastos de granada. Ocorrem com orientação difusa e com coloração avermelhada. Pouca diferença composicional foi observada, sendo sua formula estrutural geral:



Podemos observar assinaturas geoquímicas diferentes entre as biotitas das *klippe* de Carvalhos com as outras estruturas. (figura 5.9). As biotitas da *klippe* de Carvalhos apresentam menores concentrações de Al e maiores de Mg, se comparadas as dos xistos analisados.

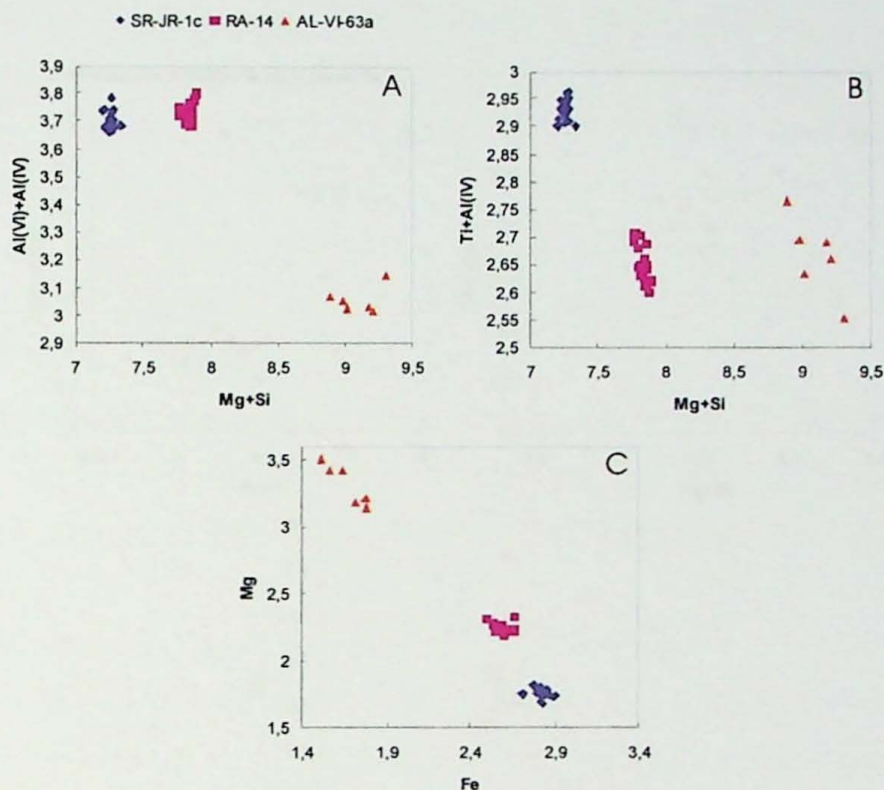
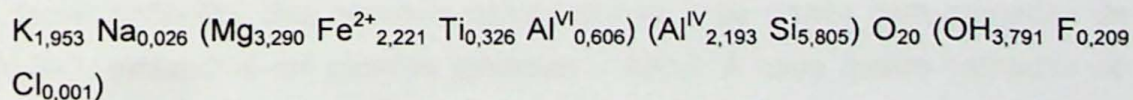


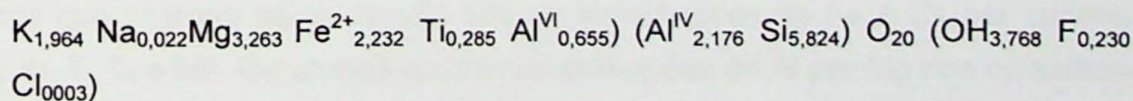
Figura 5.9 – Relações nas biotitas de rochas metapelíticas das estruturas estudadas. **A** – substituição tipo *tschermack*; **B** – substituição *Ti-tschermack*; **C** – relação FeMg.

No granulito máfico foram analisados grãos de biotita inclusos em porfiroblasto de hornblenda, no mesossoma (em contato com hornblenda, plagioclásio e quartzo) e na borda simplectítica de granada (intercrescida com hornblenda e plagioclásio). As fórmulas estruturais determinadas foram:

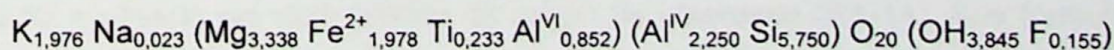
- incluído em hornblenda:



- no mesossoma:



- simplectito na borda de porfiroblasto de granada:



Os resultados mostram que a química dos grãos de biotita está relacionada à sua relação textural com as demais fases minerais. Os grãos inclusos em hornblenda e no mesossoma apresentam composições semelhantes, embora os presentes no mesossoma apresentem variação composicional maior. Os grãos no simplectito são mais aluminosos e magnesianos e empobrecidos em Fe e Ti. Essas relações podem ser observadas na figura 5.10.

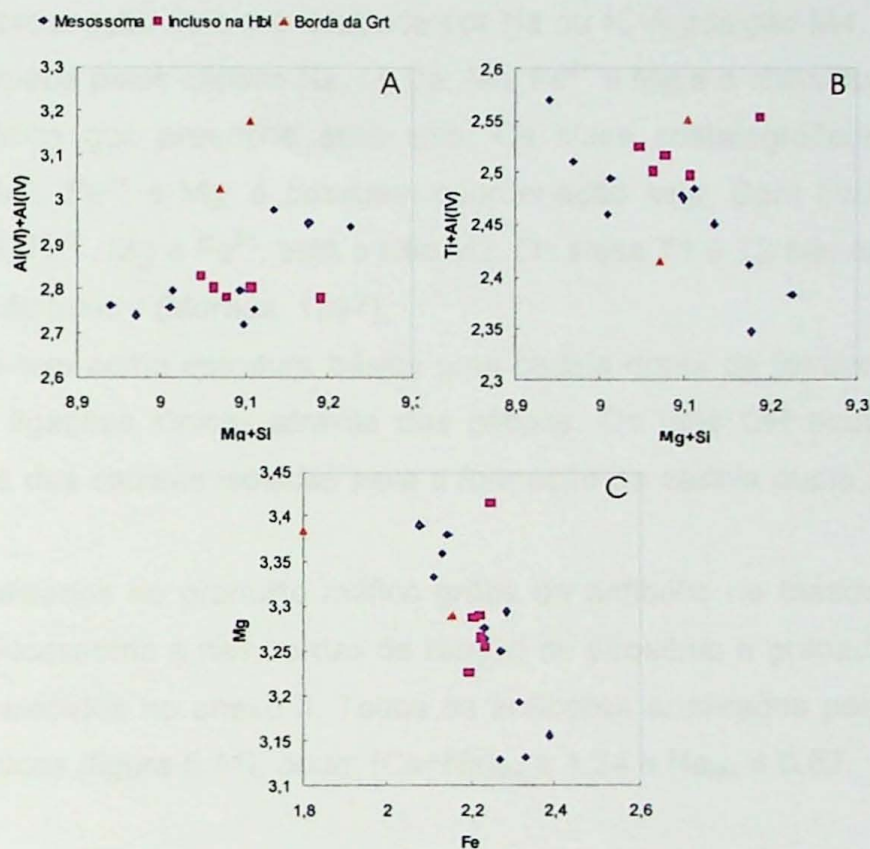
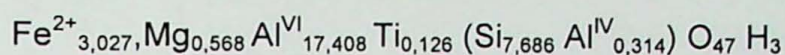


Figura 5.10 – Biotita em granulito máfico (AL-VI-51b). **A** – substituição *tschermack*; **B** – substituição *Ti-tschermack*; **C** – relação *FeMg*.

5.4. Estauroлита

Estauroлита é mineral metamórfico comum em xistos pelíticos e diagnóstico das condições da *facies* anfibolito. Sua estrutura assemelha-se à da cianita com camadas de composição Al_2SiO_5 (octaedros em cadeias paralelas – AlO_6). A cada quatro camadas de cianita alternam-se uma de composição, geral, $(Fe, Zn)_2AlO_3(OH)_2$ (Klein, 1999). As principais trocas que ocorrem na estauroлита são as substituições de Fe e Zn por cátions como Mg, Co, Al, Ti, Li e Mn. Raramente ocorrem substituições de Al por Mg nos octaedros de cianita.

O grão foi analisado em xisto pelítico da *nappe* de Liberdade (RA-14). Sua fórmula estrutural é:



A análise revela que o Fe é o principal cátion presente na estauroлита, sendo substituído por pouco Mg e Ti.

5.5. Anfibólio

O anfibólio está entre os minerais formadores de rochas mais abundantes e importantes, sendo que pode aparecer em diversas condições de metamorfismo. A fórmula estrutural geral dos anfibólios é $\text{A}_{0-1} (\text{M4})_2 (\text{M1})_2 (\text{M3}) (\text{M2})_2 (\text{T1})_4 (\text{T2})_4 \text{O}_{22} (\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})_2$. A posição A tem coordenação sete e é ocupada por Na ou K. A posição M4, de coordenação seis ou oito, é ocupada pelos cátions Na, Li, Ca, Mn, Fe^{2+} e Mg e a classificação do anfibólio é baseada no cátion que preenche esse sítio. Os sítios cristalográficos M1 e M3 são preenchidos por Mn, Fe^{3+} e Mg, e possuem coordenação seis. Com coordenação seis e ocupado por Al, Ti, Fe^{3+} , Mg e Fe^{2+} , está o sítio M2. Os sítios T1 e T2 são ocupados por Si e Al com coordenação quatro (Moraes, 1997).

O anfibólio tem como estrutura básica uma cadeia dupla de tetraedros (Si_4O_{11}) que estão unidas por ligações iônicas através dos cátions. Os íons OH ocupam os espaços vazios, resultantes das cadeias isoladas para a formação da cadeia dupla (Dana & Hurlbut, 1984).

Foram analisados no granulito máfico grãos de anfibólio no mesossoma da rocha, porfiroblasto no leucossoma e nas bordas de reação de piroxênio e granada. Os resultados das análises são exibidos no anexo II. Todos os anfibólios analisados pertencem à classe dos anfibólios cálcicos (figura 5.11), onde: $(\text{Ca}+\text{Na})_{\text{M4}} \geq 1,34$ e $\text{Na}_{\text{M4}} \leq 0,67$.

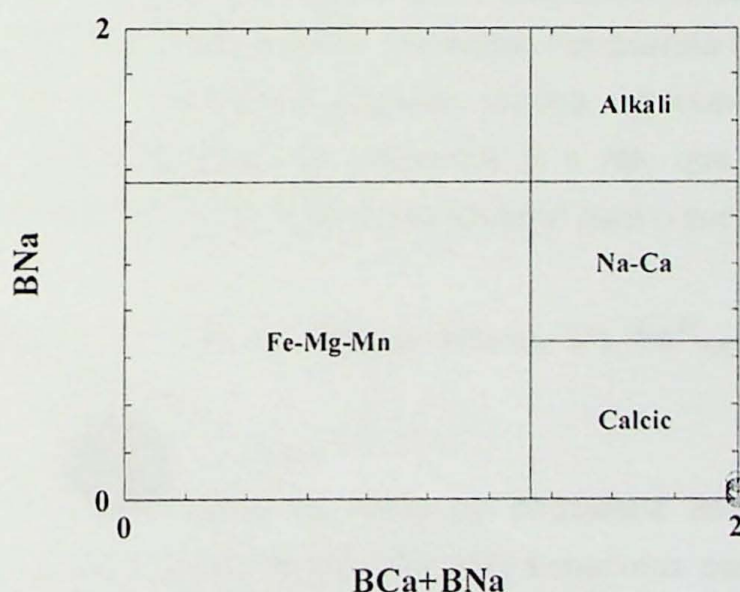


Figura 5.11 – Diagrama dos quatro grupos de anfibólios. Os anfibólios analisados pertencem ao grupo dos anfibólios cálcicos.

Os grãos de anfibólio do mesossoma ocorrem orientados de acordo com a banda leucossomática. Contém inclusões de finas lamelas de rutilo e está associado à biotita. Sua

composição concentra-se próximo às linhas divisórias dos campos de hastingsita magnesiana e da hornblenda-hastingsita magnesiana (figura 5.12). A fórmula estrutural calculada para esses anfibólios é:

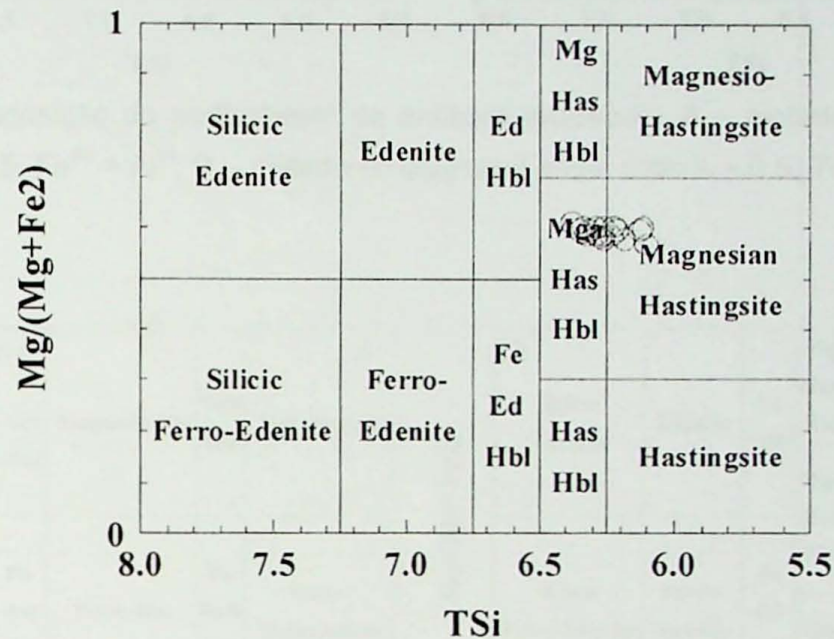
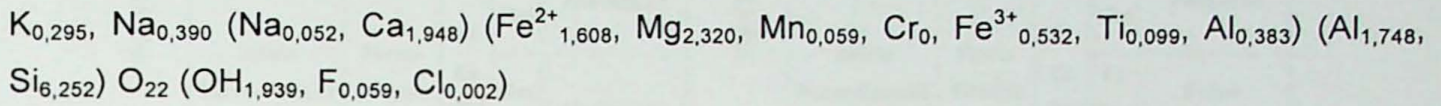
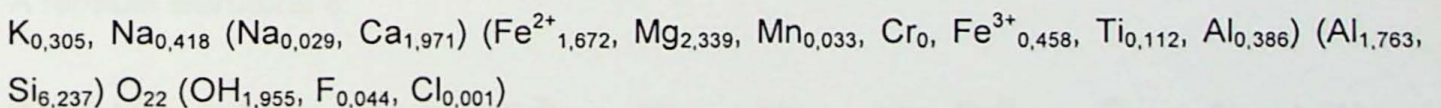
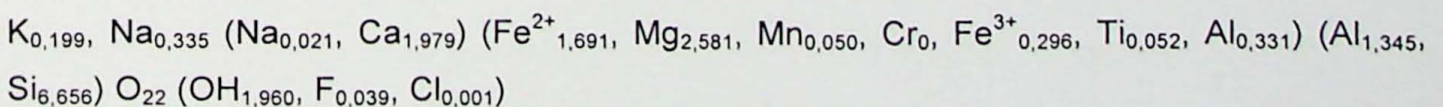


Figura 5.12 – Composição dos anfibólios analisados no mesossoma da rocha, plotados no diagrama onde: Sítio A > 0,5; Ti < 0,5; $Fe^{3+} > Al^{VI}$.

O porfiroblasto de anfibólio apresenta inclusões de opacos, biotita e quartzo. Em sua borda “cresce” piroxênio, provável produto de fusão incongruente do grão. Sua composição química aponta resultados em três campos diferentes: hornblenda-hastingsita magnesiana, hastingsita magnesiana e hornblenda-pargasita ferrosa, apresentados na figura 5.13. Ressalta-se que houve incremento nos elementos K e Na, que ocupam o sítio A, se comparados aos anfibólios da matriz. A fórmula estrutural para o porfiroblasto analisado é:



Os cristais de anfibólio analisados na borda de piroxênios no leucossoma da rocha apresentam maiores concentrações de Mg (sítio M2) e menores concentrações de Al^{IV} . As composições desses anfibólios apontam resultados nos campos da magnésio-hornblenda e hornblenda-hastingsita magnesiana (figura 5.14). A fórmula estrutural calculada é:



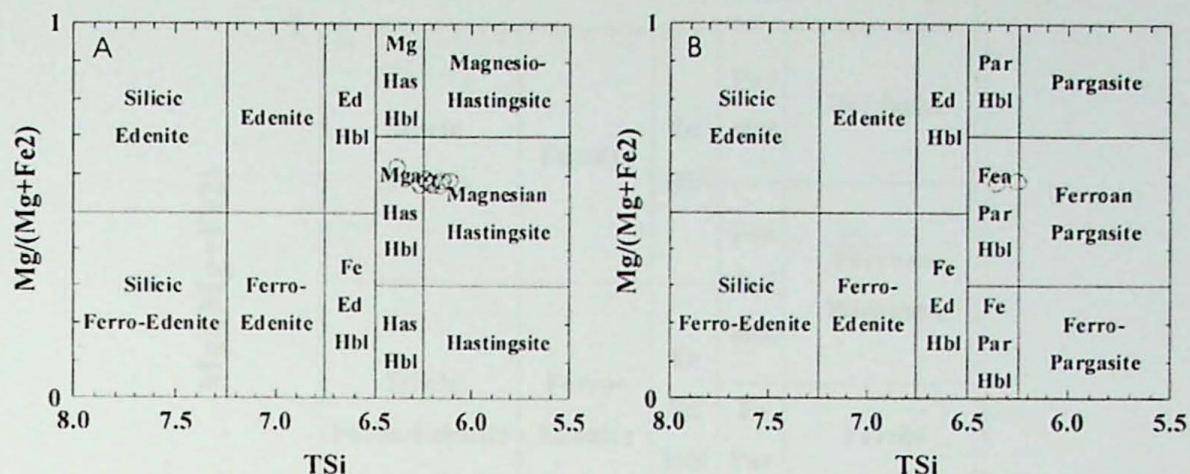


Figura 5.13 – Composição do porfiroblasto de anfibólio analisado: **A** – plotado no diagrama onde: Sítio A > 0,5; Ti < 0,5; $\text{Fe}^{3+} > \text{Al}^{\text{VI}}$; **B** – plotado no diagrama onde: Sítio A > 0,5; Ti < 0,5; $\text{Fe}^{3+} < \text{Al}^{\text{VI}}$.

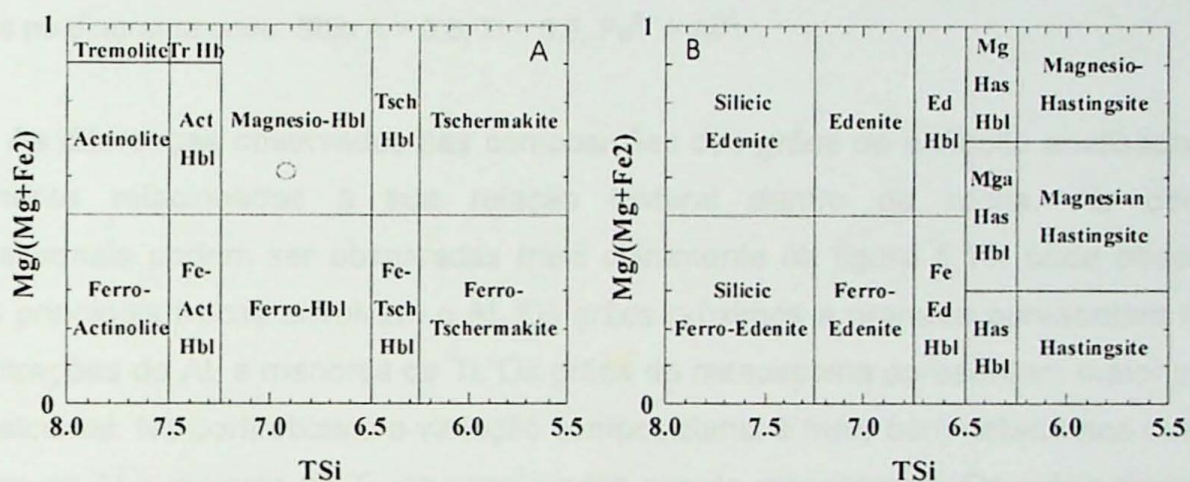
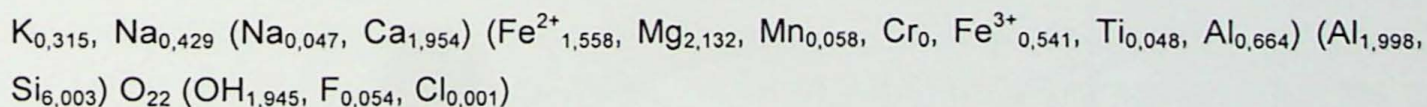


Figura 5.14 – Composição dos anfibólios que substituem piroxênio: **A** – plotados no diagrama onde: Sítio A < 0,5; Ti < 0,5; **B** – plotados no diagrama onde: Sítio A > 0,5; Ti < 0,5; $\text{Fe}^{3+} > \text{Al}^{\text{VI}}$.

O anfibólio na borda da granada está intercrescido com plagioclásio ripiforme, biotita e quartzo. Quimicamente pode ser classificado como pargasita ferrosa, conforme a figura 5.15. Nota-se significativa queda nos teores de Fe^{2+} e Mg no sítio M2, aumento de Al^{VI} e Al^{IV} e nos elementos do sítio A (K e Na), esta última semelhante ao que ocorre no porfiroblasto. A fórmula estrutural é:



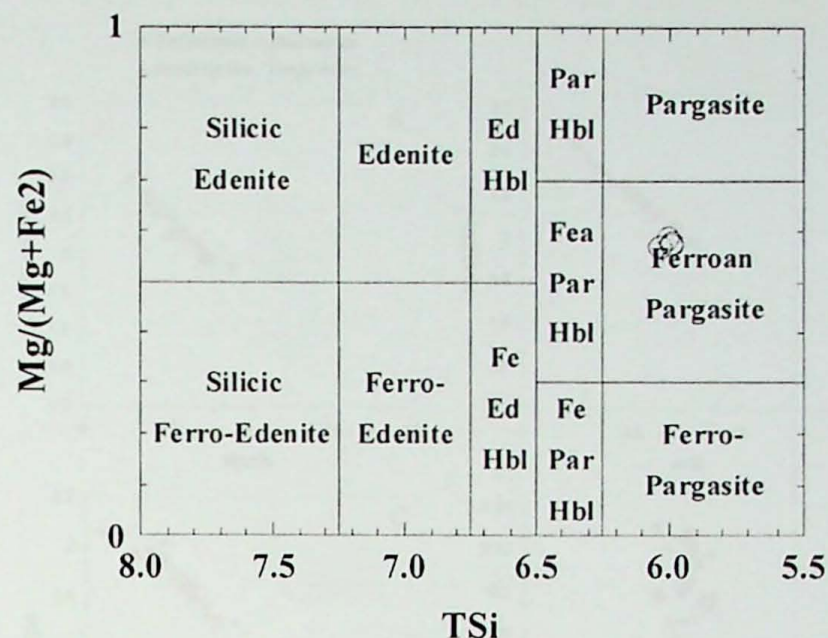


Figura 5.15 – Composição dos anfibólios analisados na borda de reação de porfiroblasto de granada, plotados no diagrama onde: Sítio A > 0,5; Ti < 0,5; $\text{Fe}^{3+} > \text{Al}^{\text{VI}}$.

As diferenças observadas nas composições dos grãos de anfibólio analisados estão diretamente relacionadas à sua relação textural dentro da rocha. As diferenças composicionais podem ser observadas mais claramente na figura 5.16, onde observamos que as principais trocas envolvem o Al. Os grãos próximos a granada apresentam maiores concentrações de Al, e menores de Ti. Os grãos do mesossoma apresentam maior variação composicional. No porfiroblasto a variação composicional é mais bem notada nos conteúdos menores de Al e maiores de Ti, se comparados aos do mesossoma. Os grãos da borda do piroxênio apresentam teores menores de Al.

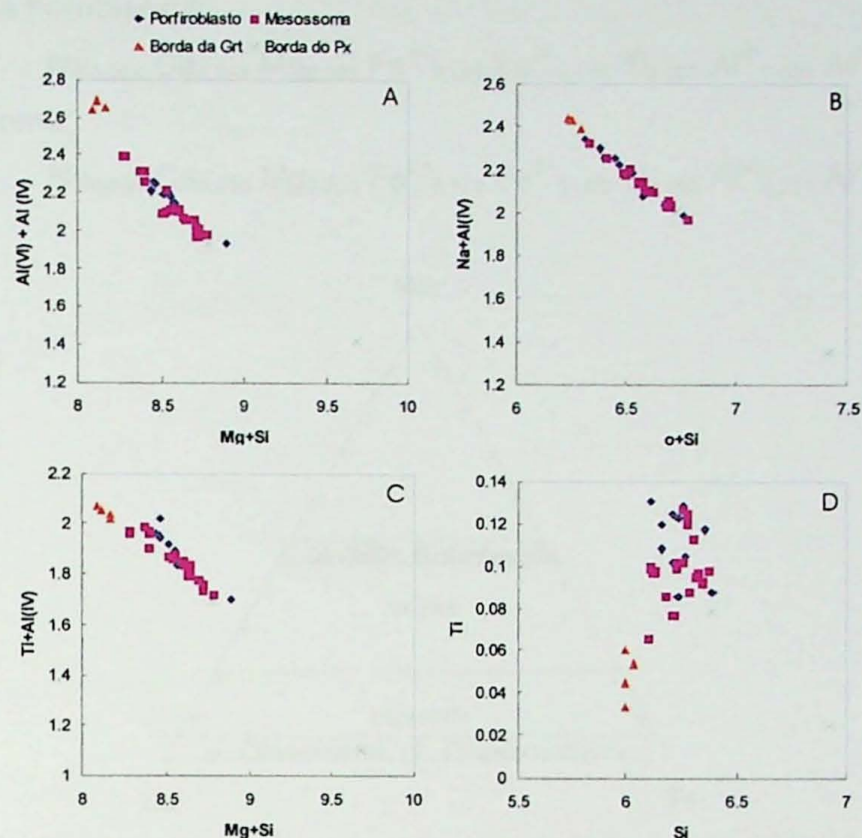


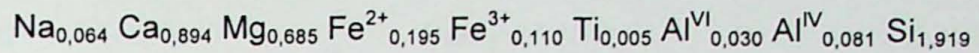
Figura 5.16 – Principais substituições no anfibólio analisado. **A** – substituição tipo *tschermack*; **B** – substituição tipo edenita, onde $o = 1 - \text{Sítio A}$; **C** – substituição tipo *Ti-tschermack*; **D** – substituição *Ti-Si*.

5.6. Piroxênio

A fórmula geral dos piroxênios é $AB(Si_2O_6)$. Os cátions de A são, geralmente, maiores e ligados a oito oxigênios vizinhos e podem ser Na, Ca, Mn, Fe e Mg. O sítio B é ocupado por cátions menores como Al, Ti, Fe^{3+} , Mg, Fe e Li (Dana & Hurlbut, 1984). Os piroxênios são classificados de acordo com o cátion que ocupa a posição B: se este for ocupado por Ca é denominado clinopiroxênio; ortopiroxênio quando o sítio é ocupado por Fe ou Mg; e, quando ocupado por Na, piroxênio sódico. As substituições mais importantes e comuns nos piroxênios são representadas pelos vetores $FeMg_{-1}$, $CaMg_{-1}$, *tschermak* ($Al^{VI}Al^{IV}Mg_{-1}Si_{-1}$) e, em altas pressões, jadeíta ($NaAl^{VI}Ca_{-1}Mg_{-1}$), de acordo com Moraes (1997).

O piroxênio analisado em microsonda eletrônica pertence ao grupo do clinopiroxênio. Apresenta-se poiquiloblástico com inclusões de quartzo e hornblenda. Pode estar na borda de hornblenda ou no leucossoma da rocha com hornblenda em sua borda. Os resultados das análises químicas são apresentados no anexo II. Pode ser classificado como diopísídio (figura 5.17) e a sua fórmula estrutural calculada é:

➤ Na borda da hornblenda:



➤ No leucossoma:

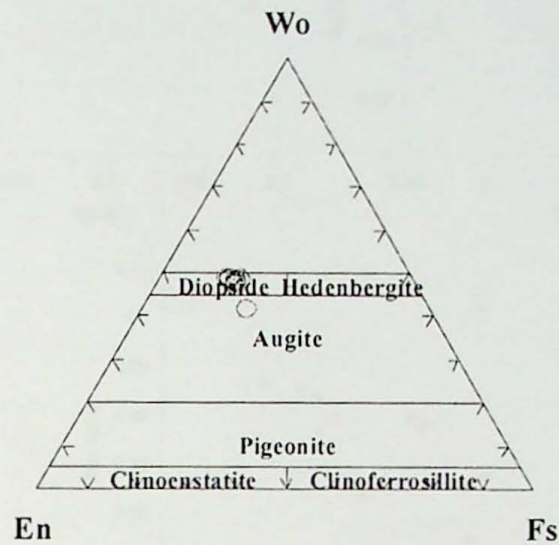
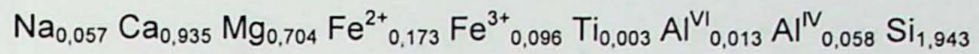


Figura 5.17 – Diagrama Ca-Mg-Fe (En-Fs-Wo). As análises de piroxênio realizadas apontam para o campo do diopside.

Podemos observar que o piroxênio na borda da hornblenda é mais pobre em Ca, Mg e Fe^{2+} se comparado aos grãos no leucossoma. Em contrapartida os teores de Al nos sítio de coordenação VI e IV são maiores no cristal analisado na borda da hornblenda. Essa diferença de composição está associada à proximidade com a hornblenda, mais rica em Ca, Fe e Mg e mais dependente de Al.

As principais trocas que ocorrem no piroxênio analisado envolvem o Al, em especial as substituições tipo *tschermack* e *jadeíta* (figura 5.18).

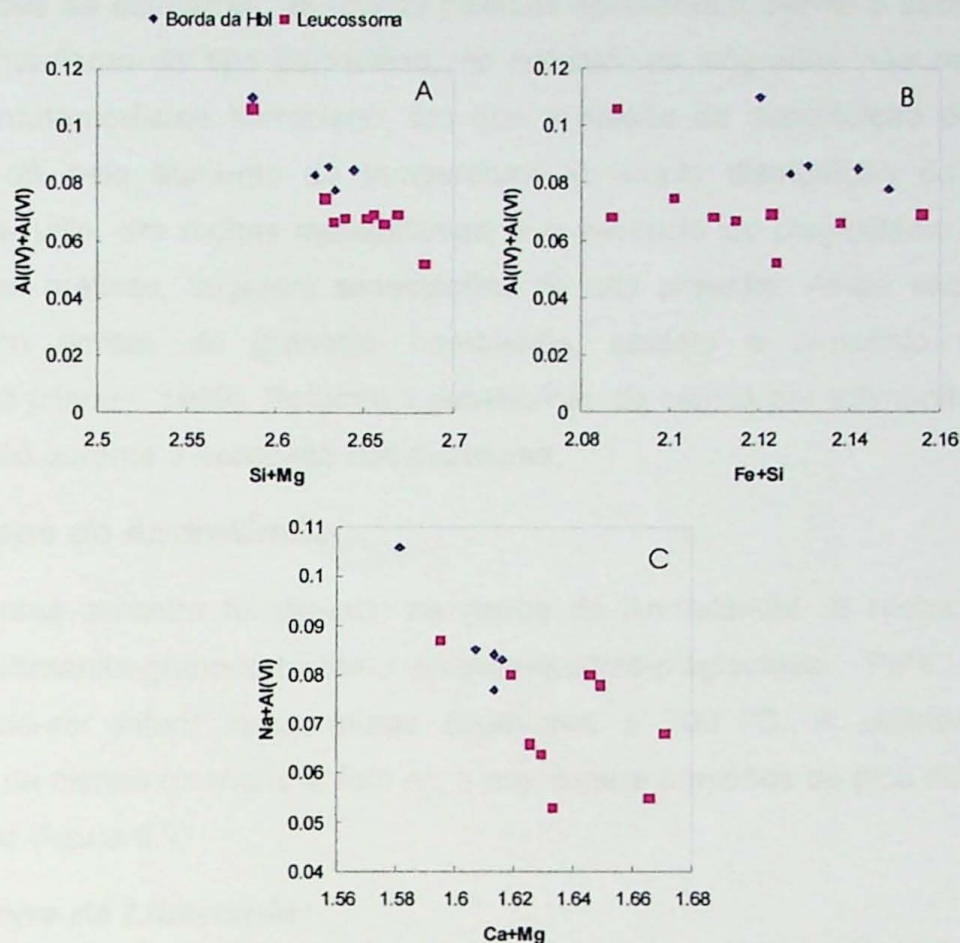


Figura 5.18 – Principais substituições em piroxênio: **A** – Substituição tipo *tschermack*; **B** – Substituição tipo *Fe-tschermack*; **C** – Substituição tipo jadeíta.

5.7. Rutilo

A fórmula estrutural do rutilo é AO_2 , onde o principal cátion da posição A é o Ti. O rutilo só admite cátions com raio atômico pequeno, tendo coordenação seis, isto é, com seis oxigênios agrupados em torno de cada cátion. Para haver neutralidade elétrica, somente estão preenchidos metade dos lugares A possíveis e existem apenas três cátions agrupados em torno de cada oxigênio (Dana & Hurlbut, 1984).

No granulito félsico da *klippe* de Carvalhos, além do Ti, cátions como V, Nb e Zr ocupam a posição A. Análises representativas são apresentadas no anexo II. A quantidade de Zr em rutilo será discutida no próximo capítulo.

6. Metamorfismo

Com base nos dados coletados, as duas estruturas apresentaram diferentes assinaturas metamórficas. Rochas geradas em condições de temperatura mais alta (*klippe* de Carvalhos) foram colocadas tectonicamente sobre rochas de temperatura mais baixa (*nappe* de Liberdade).

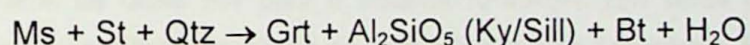
Em ambas as estruturas, as rochas pelíticas apresentam cianita e sillimanita, o que indicaria metamorfismo do tipo barroiano, no entanto, as isógradas não representam o progresso do metamorfismo barroiano, em que a reação de substituição de cianita por sillimanita se dá pelo aumento da temperatura. A ampla distribuição da paragênese granada-cianita-rutilo, em rochas metapelíticas, e a ausência de plagioclásio primário, em algumas rochas máficas, sugerem associações de alta pressão. Ainda são observados simplectitos em bordas de granada, hornblenda, epidoto e piroxênio que indicam descompressão (Harley, 1989). Portanto a substituição de cianita por sillimanita ocorre pelo alívio de pressão durante a ascensão das estruturas.

6.1. *Nappe de Andrelândia*

Apenas uma amostra foi descrita na nappe de Andrelândia. A rocha apresenta a paragênese sillimanita-granada-biotita-muscovita-quartzo-plagioclásio. Pela ausência de estauroлита pode-ser inferir temperaturas superiores a 700 °C. A sillimanita substituí pseudomorfos de cianita (prancha 4, foto A), o que sugere pressões de pico do metamórfico acima de 7 kbar (figura 6.1).

6.2. *Nappe de Liberdade*

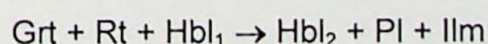
A *nappe* de Liberdade apresenta rochas pelíticas, calciossilicáticas e metamáficas, *facies* anfibolito alto. Nas rochas metapelíticas a presença de estauroлита inclusa em granada (prancha 4, foto B) indica a transposição da reação:



O intercrescimento de sillimanita e biotita em coroas ao redor de granada e pseudomorfos de cianita substituídos por sillimanita indicam desequilíbrio que pode estar associado ao aumento de temperatura ou decréscimo de pressão. Existem disseminadas pelas rochas feições de descompressão dadas por coroas simplectíticas em granada, hornblenda e piroxênio, sugerindo, portanto que a passagem da cianita para sillimanita dá-se por decréscimo de pressão, como citado anteriormente.

Assim com as informações obtidas nas rochas metapelíticas pode-se estimar temperaturas de acima de 650°C e pressões próximas a 8 kbar, conforme a figura 6.1.

A feição de desequilíbrio em que epidoto apresenta coroas simplectíticas de hornblenda e plagioclásio (prancha 4, foto C) e a reação (prancha 4, foto D):



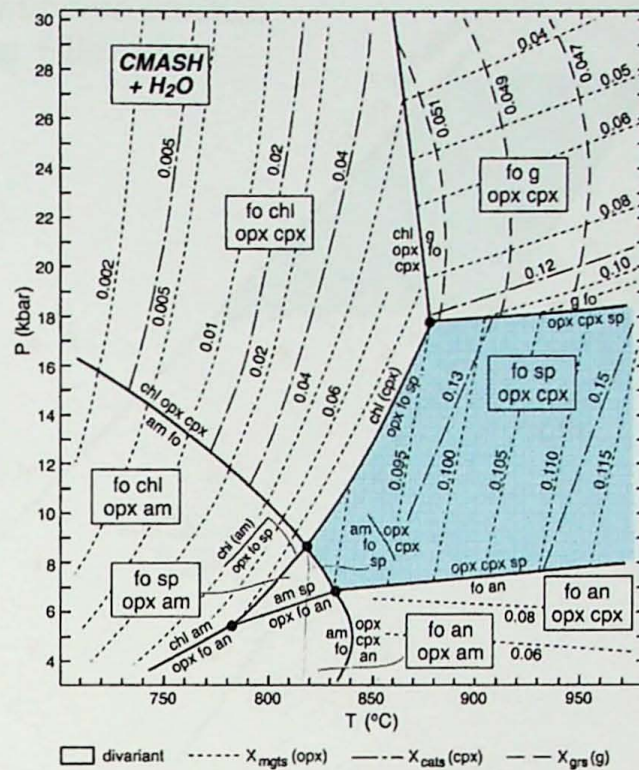


Figura 6.2 – Diagrama de fases P - T para o sistema CMASH. Área destacada em azul representa o campo de estabilidade da paragênese observada nas rochas metaultramáficas da *klippe* de Carvalhos. Modificado de Schmädicke (2000).

Em granulito máfico migmatítico, a paragênese clinopiroxênio + granada + hornblenda, além de bandas de leucossoma portadores de piroxênio e granada são observados. Por meio da grade experimental para fusão de quartzo anfibolito sintético (Patiño-Douce & Beard, 1995), é possível inferir condições de formação para essa rocha pelo campo de estabilidade da paragênese citada, com temperaturas mínimas entre 890 e 920°C e pressões acima de 10 kbar (Figura 6.3).

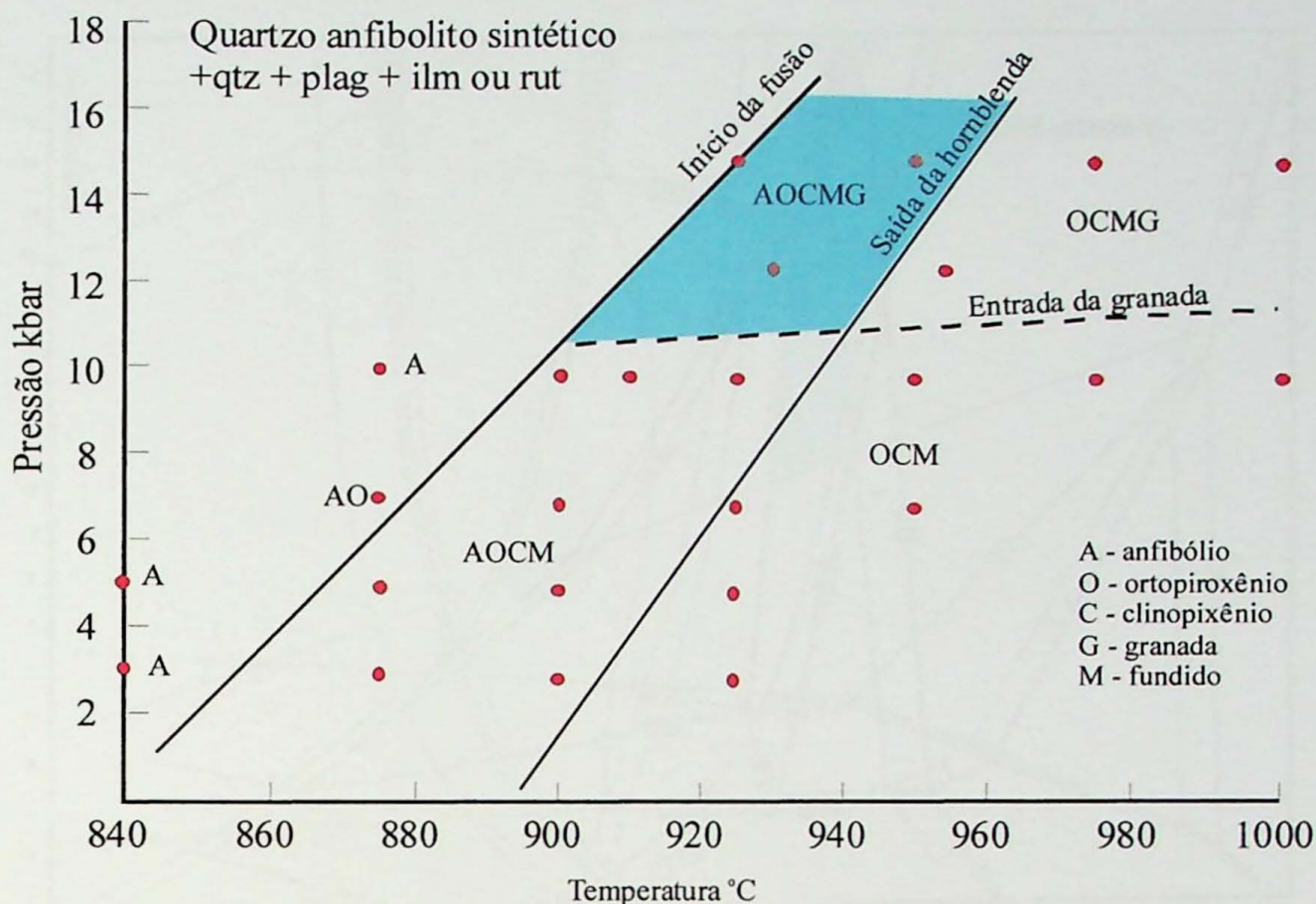
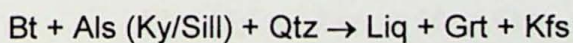


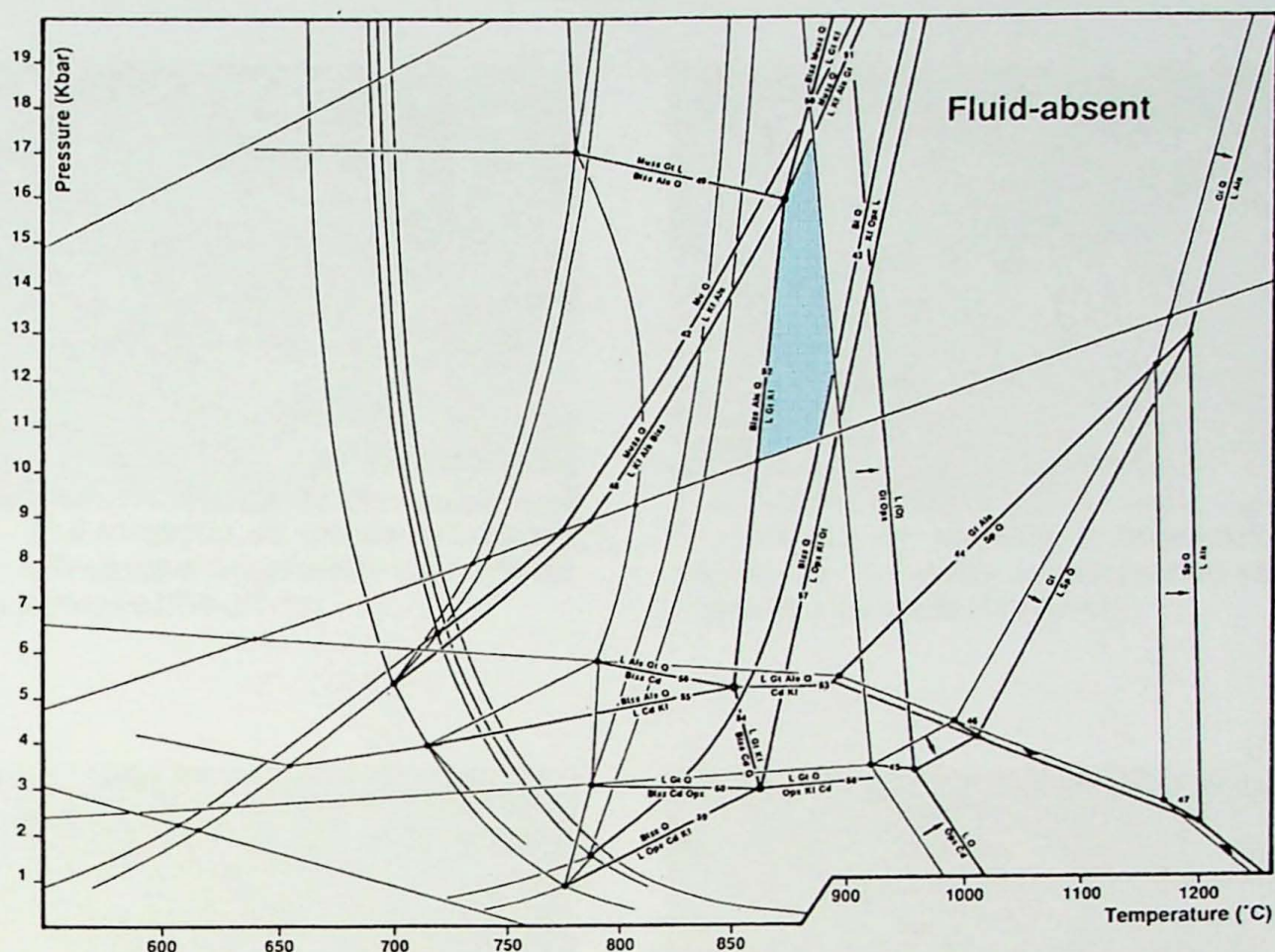
Figura 6.3 – Diagrama experimental para fusão de quartzo anfibolito sintético. Em azul campo de estabilidade da paragenese: hornblenda (A), ortopiroxênio (O), clinopiroxênio (C), material fundido (M) e granada (G). Modificado de Patiño-Douce & Beard (1995).

Os granulitos félsicos da *klippe* de Carvalhos apresentam cianita e sillimanita. Como discutido anteriormente, a cristalização da sillimanita está associada à descompressão, sendo que o pico metamórfico foi alcançado na zona da cianita. Feições de campo, tais como, geração de leucossoma granítico com granada e cianita e a presença da associação mineral granada + cianita + feldspato potássico (+ rutilo) – prancha 4, foto F – permitem inferir que a rocha cruzou a seguinte reação:



no campo da cianita.

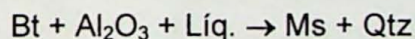
A reação é apresentada por Vielzeuf & Holloway (1988) e representam temperatura aproximada para a reação de 850°C e pressões superiores a 5 kbar. Como a substituição de cianita por sillimanita é frequentemente observada nas rochas metapelíticas da região pressões acima de 9 kbar podem ser inferidas, como mostra a figura 6.4.



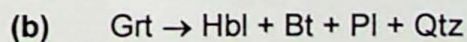
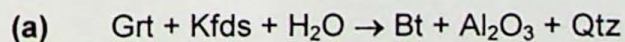
6.4. Retrometamorfismo

Nas estruturas estudadas são reconhecidas feições de desequilíbrios em suas paragéneses principais. Geralmente, são texturas de intercrescimento de minerais neoformados.

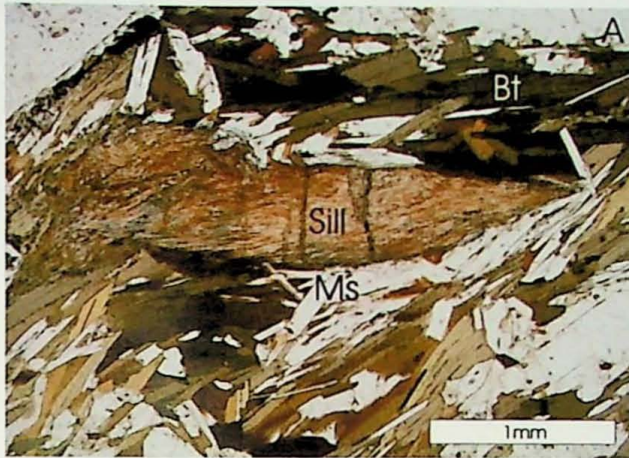
Nas rochas da *nappe* de Liberdade essas texturas são observadas nos leitos lepidoblásticos onde ocorre a seguinte reação:



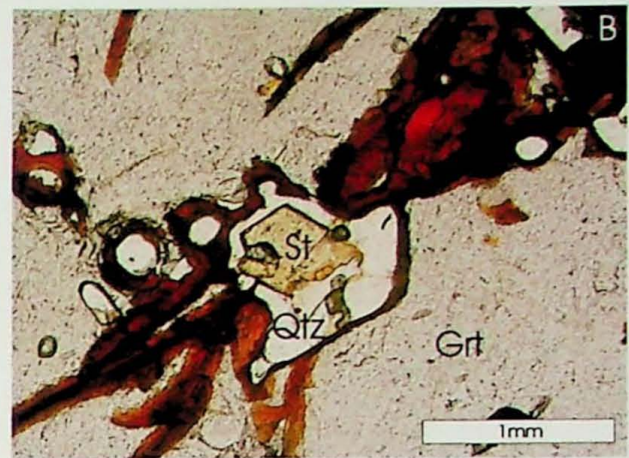
Nas rochas da *klippe* de Carvalhos também ocorrem simplectitos em bordas de granadas em granulitos félsicos (reação a) e granulitos máficos (reação b) onde ocorrem:



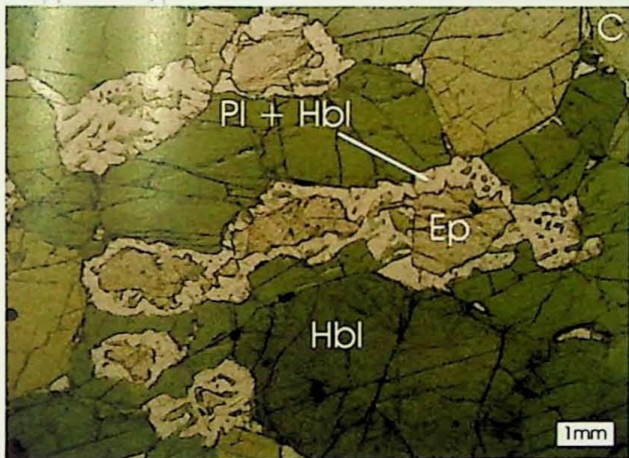
Prancha 4



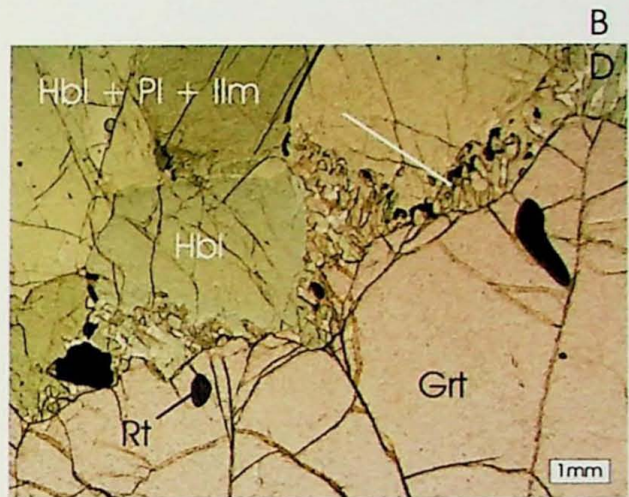
A - Pseudomorfo de cianita substituído por sillimanita em metapelito da *nappe* de Andrelândia (SR-JR-1c).



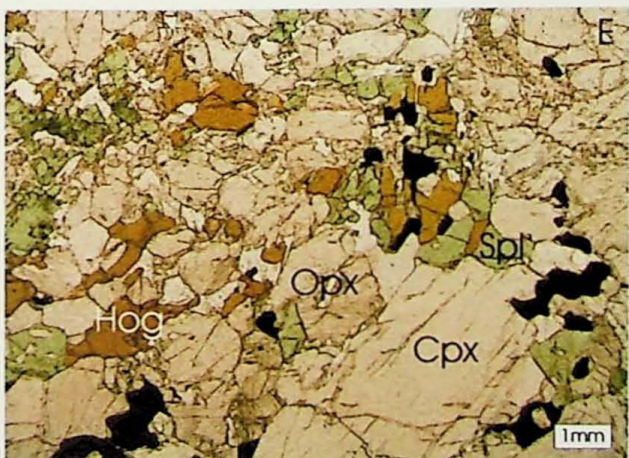
B - Inclusão em granada de estaurolita com coroa de quartzo em metapelito da *nappe* de Liberdade (AL-VII-48).



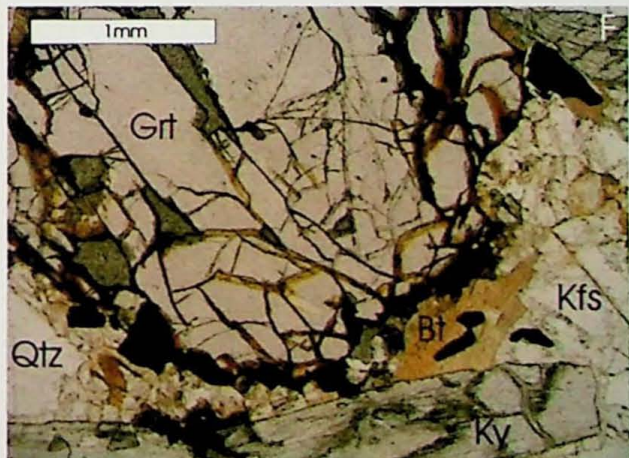
C - Epidoto com borda simplectítica com intercrescimento de hornblenda e plagioclásio em retroeclogito, *nappe* de Liberdade (AL-VII-76).



D - Granada com inclusão de rutilo e borda simplectítica com intercrescimento de hornblenda, plagioclásio e ilmenita em retroeclogito, *nappe* de Liberdade (AL-VII-76).



E - Metagabbro (AL-VIII-26b; *klippe* de Carvalhos), parágênese espinélio-clinopiroxênio-ortopiroxênio. Nota-se a associação entre högbomita, espinélio e opacos.



F - Metapelito (AL-VI-63; *klippe* de Carvalhos), com a parágênese granada-cianita-feldspato potássico-quartzo-rutilo.

7. Termobarometria

Termobarometria é o nome dado ao conjunto de técnicas que procura estimar as condições de pressão e temperatura as quais a rocha foi submetida durante o processo de metamorfismo. Os valores de pressão e temperatura podem ser determinados através da dependência que a constante de equilíbrio da reação (k), relacionada à composição dos minerais, tem com as variáveis temperatura e pressão. Para determinação da temperatura, reações denominadas geotermômetros são utilizadas. Essas reações têm como características a grande variação de entropia (ΔS) e pouca variação de volume, sendo pouco dependentes da pressão. Os minerais envolvidos trocam elementos com raios iônicos semelhantes entre sítios de mesma coordenação. Os geobarômetros são reações em que há pouca variação de entalpia e entropia e grande variação de volume molar. Os minerais envolvidos trocam elementos de raios iônicos diferentes entre sítios cristalográficos diferentes (Moraes, 1997).

Os principais tipos de calibração são: calibração experimental, realizada em laboratório com fases de composição conhecidas onde é feita a determinação da constante de equilíbrio da reação; calibração empírica, realizada em amostras naturais em que a temperatura (ou pressão) obtida por geotermômetro (ou geobarômetro) conhecido e a determinação da constante de equilíbrio é feita através da composição dos minerais presentes em determinada rocha resulta na calibração de novo geotermômetro (ou geobarômetro); e, calibração termodinâmica onde equação é montada através de tabelas de dados termodinâmicos de membros finais puros (Moraes, 1997).

Os cálculos termobarométricos apresentados nesse trabalho utilizam um banco de dados termodinâmicos internamente consistentes (THERMOCALC). O banco de dados é gerado pela combinação de dados das calibrações experimentais e termodinâmicas (Powell & Holland, 1994). A determinação da pressão e temperatura é feita pela combinação de diversos equilíbrios (são utilizados diversos geobarômetros e geotermômetros ao mesmo tempo).

7.1. *Nappe de Andrelândia e Liberdade*

Os dados de entrada no *software* (THERMOCALC) foram os membros finais, e suas respectivas atividades, dos minerais que compõem as paragêneses:

- na *nappe* de Liberdade → Bt + Ms + St + Pl + Grt + Ky + Qtz + H₂O
- na *nappe* de Andrelândia → Bt + Ms + Pl + Grt + Sill + Qtz + H₂O

Para o estauroлита-cianita-granada-biotita-muscovita-quartzo xisto, da *nappe* de Liberdade, os cálculos apontaram temperaturas de 648 ± 23 °C e pressões de $7,41 \pm 1$ kbar.

Para o sillimanita-granada-biotita-muscovita-quartzo xisto, da *nappe* de Andrelândia, os resultados obtidos foram temperaturas de 788 ± 35 °C e pressões de $5,63 \pm 0,9$ kbar.

Em ambos os casos, o cálculo foi realizado admitindo-se que as rochas estavam saturadas em H₂O. Cálculos com pressões de H₂O menores obtiveram resultados semelhantes de pressão, porém as temperaturas calculadas diminuem cerca de 100 °C.

7.2. Klippe de Carvalhos

7.2.1 Granulito máfico

As estimativas de pressão e temperatura foram calculadas utilizando o software THERMOCALC. As atividades dos membros finais da paragênese biotita + hornblenda + granada + plagioclásio + feldspato alcalino + diopísídio + quartzo + H₂O, foram utilizadas para o cálculo. Os resultados obtidos apontam temperaturas de 958 ± 75 °C e pressões $15 \pm 1,36$. A exemplo dos cálculos anteriores foi inferido que a rocha estava saturada em H₂O. Cálculos realizados com menores quantidades de água apontam resultados semelhantes em relação à pressão, todavia apontam temperaturas menores, em torno de 854 ± 71 °C. A paragênese de retrometamorfismo em simplectito na borda de granada (biotita + plagioclásio + hornblenda) não apresentaram bons resultados, gerando erros altos tanto para pressões quanto para a temperatura.

7.2.2 Granulito félsico

A temperatura atingida no pico metamórfico foi obtida através da concentração de Zr em rutilo e do THERMOCALC. Infelizmente as análises realizadas em plagioclásio nesta rocha não resultaram em dados confiáveis, portanto não foi possível usar o geobarômetro GASP para calcular a pressão atingida.

Os resultados obtidos pelo THERMOCALC através da paragênese feldspato alcalino + biotita + granada + cianita + quartzo + H₂O, apresentaram resultados semelhantes à termometria de Zr em rutilo, com temperatura calculada de 845 ± 53 °C e $19,7 \pm 5,2$ kbar. Como supracitado, as análises em feldspato com resultados duvidosos, geraram erros altos para as pressões calculadas.

O rutilo é estável até altas temperaturas durante o metamorfismo e é importante portador de elementos semelhantes ao Ti, tais como Zr, Nb, Mo, Sn, Hf, Ta e W. Zack *et al.* (2004) estudaram a relação da concentração de Zr em rutilo incluso em granada e piroxênio em rochas metamórficas que apresentavam a associação mineral rutilo-quartzo-zircão de 31 amostras no intervalo de 430 a 1.100°C. Resultados em microsonda eletrônica mostraram que as concentrações de Zr em rutilo podem variar de 30 a 8.400 ppm, neste intervalo de temperatura.

A temperatura pode ser obtida pela seguinte expressão:

$$T(^{\circ}\text{C}) = 127,8 * \ln (\text{Zr em ppm}) - 10.$$

Segundo os autores não há dependência da pressão no cálculo e o método gera uma incerteza de $\pm 50^{\circ}\text{C}$. O método é indicado para rochas nas *facies* anfibolito, granulito, eclogito e xisto azul e por isso foi utilizado neste trabalho para as rochas da *klippe* de Carvalhos. Entretanto, em trabalho recente, Zack *et al.* (2006) indicam que há influência da pressão propondo nova expressão para o geotermômetro:

$$T(^{\circ}\text{C}) = \frac{4233 + P(\text{Gpa}) * 237}{7,36 - \log (\text{Zr})} - 273$$

A calibração experimental do geotermômetro foi realizada por Watson *et al* (2006), porém utilizando amostras sintéticas. A expressão definida é:

$$T(^{\circ}\text{C}) = \frac{4470 \pm 120}{(7,36 \pm 0,1) - \log (\text{Zr em ppm})} - 273,$$

para as rochas estudadas esta expressão gera um erro de $\pm 60^{\circ}\text{C}$.

A tabela 6.1, a seguir, apresenta as concentrações de Zr em rutilo, obtidas em grãos analisados na amostra AL-VI-63a, e as temperaturas obtidas aplicando as expressões de Zack *et al* (2004, 2006) e Watson *et al.* (2006). Para o cálculo com correção de pressão utilizou-se 15 kbar, pressão obtida com o granulito máfico da mesma estrutura.

Tabela 6.1 – Concentrações de Ti, Zr e temperaturas obtidas em rutilo.

TiO2 (%)	ZrO2 (%)	Ti (ppm)	Zr (ppm)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)		
				Zack <i>et al.</i> (2004)	Zack <i>et al.</i> (2006)	Watson <i>et al.</i> (2006)
97.311	0.162	583214.0	1199.3	896.0	798.8	771.1
96.149	0.213	576249.8	1576.8	931.0	829.4	800.9
94.220	0.211	564688.7	1562.0	929.8	828.3	799.9
96.287	0.196	577076.9	1451.0	920.4	819.9	791.7
97.460	0.193	584107.0	1428.8	918.4	818.2	790.0
97.088	0.173	581877.5	1280.7	904.4	806.0	778.1
97.268	0.172	582956.3	1273.3	903.7	805.4	777.5
93.922	0.219	562902.7	1621.3	934.6	832.6	804.1
94.086	0.050	563885.6	370.2	745.8	684.6	659.9
96.407	0.056	577796.1	414.6	760.3	694.5	669.6

Integrando as informações obtidas em petrografia e com a termobarometria, trajetórias metamórficas podem ser inferidas para as duas estruturas. A figura 7.5 exhibe diagrama *P-T* com as trajetórias metamórficas das rochas da *nappe* de Andrelândia, da *nappe* de Liberdade e da *klippe* de Carvalhos. Nela pode se observar uma trajetória horária de decompressão isotermal para as rochas das duas unidades. As condições de formação

para rochas da *nappe* de Liberdade estão no campo da *facies* anfibolito, enquanto as rochas da *klippe* de Carvalhos apontam para o campo da *facies* eclogito.

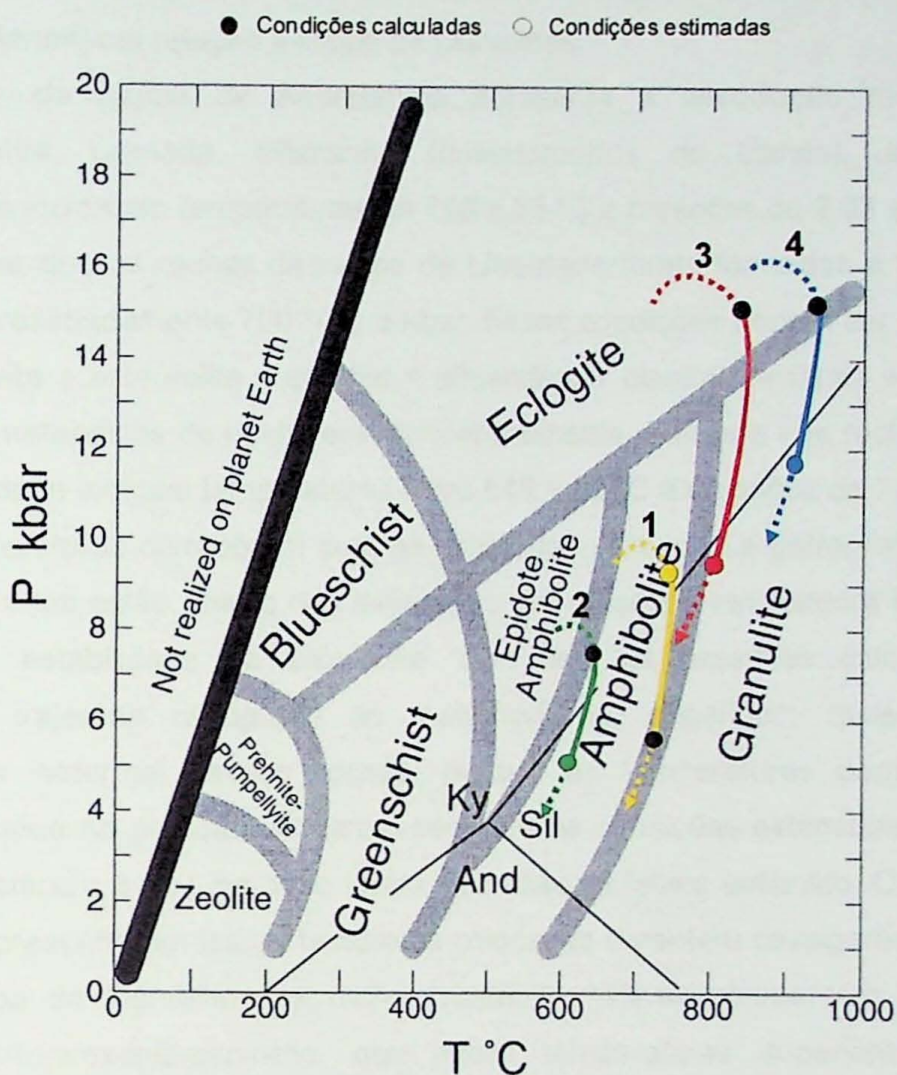


Figura 7.5 – Diagrama *P-T* indicando as principais *facies* metamórficas e as trajetórias metamórficas obtidas para as rochas estudadas. Modificado de Spear (1993).

1 – Trajetória para metapelito da *nappe* de Andrelândia; 2 – Trajetória para metapelito da *nappe* de Liberdade; 3 – Trajetória para a granulito félsico da *klippe* de Carvalhos; 4 – Trajetória para granulito máfico da *klippe* de Carvalhos.

8. Conclusões

Nas rochas estudadas observa-se cianita e sillimanita, porém não em equilíbrio. Pela ampla distribuição da paragênese granada-cianita-rutilo, em rochas metapelíticas, ausência de plagioclásio primário em algumas rochas máficas, denominadas neste trabalho como retroeclogitos, as rochas foram geradas em altas pressões, portanto a instabilidade da cianita deve-se a descompressão rápida durante a exumação das estruturas. Simplectitos em bordas de granada com intercrescimento de biotita + sillimanita + quartzo ± muscovita ou biotita + plagioclásio + quartzo + hornblenda corroboram com a interpretação (Harley, 1989).

A química mineral mostra diferenças entre as rochas de protólitos semelhantes das estruturas estudadas. Os metapelitos da nappe de Andrelândia e Liberdade apresentam biotita mais aluminosa e granada rica em Fe. Em contrapartida, esses dois minerais são menos magnesianos, em relação à klippe de Carvalhos.

A rocha da nappe de Andrelândia apresenta a associação mineral quartzo, muscovita, biotita, granada, sillimanita (pseudomorfos de cianita), e cálculos de termobarometria indicaram temperaturas de 788 ± 35 °C e pressões de $5,63 \pm 0,9$ kbar.

Estima-se que as rochas da nappe de Liberdade foram formadas a temperaturas e pressões de aproximadamente 700 °C e 8 kbar. Essas condições podem ser estimadas pela reação: muscovita + estauroлита + quartzo = almandina + cianita/sillimanita + biotita + H₂O, observada em metapelitos da unidade. A termobarometria realizada nas rochas pelíticas da nappe de Liberdade indicam temperaturas entre 648 ± 23 °C e pressões de $7,41 \pm 1$ kbar.

As temperaturas corroboram com as estimadas utilizando a petrografia. Todavia, as pressões calculadas estão abaixo das estimadas. As pressões em sistema KFMASH estão no campo de estabilidade da sillimanita. Por isso, as pressões calculadas podem representar a trajetória retrograda do metamorfismo, sugerindo, mais uma vez, a decompressão isothermal dessas rochas, já que as temperaturas permanecem altas enquanto há queda na pressão. Portanto, segundo as condições estimadas, as rochas da nappe de Andrelândia e de Liberdade foram formadas na facies anfibolito. Os retroeclogitos encontrados representariam lascas tectônicas colocadas durante o cavalgamento.

Na klippe de Carvalhos as rochas metaultramáficas apresentam a paragénese: clinopiroxênio-ortopiroxênio-espinélio, que indica temperaturas superiores a 820°C e pressões entre 6,5 e 18 kbar. Os granulitos máficos apontam temperaturas entre 890 e 920°C e pressões acima de 10 kbar, indicadas pela paragénese: hornblenda-clinopiroxênio-granada-leucossoma (material fundido). Nos metapelitos a reação: biotita + cianita/sillimanita + quartzo = granada + feldspato potássico + material fundido e a passagem pela curva da cianita para sillimanita sugerem temperaturas aproximadas de 850°C e pressões acima de 9 kbar.

O geotermômetro Zr em rutilo, em granulito félsico, indicou temperaturas de 832 ± 50 °C, de acordo com a calibração de Zack et al. (2006) e 804 ± 60 °C, de acordo com Watson et al. (2006). No granulito máfico a termobarometria aponta temperaturas de 958 ± 75 °C e pressões de $15 \pm 1,36$ kbar. As condições calculadas confirmam as estimadas com a utilização da petrografia. Apesar das rochas da klippe de Carvalhos não apresentarem características típicas de eclogitos, por causa de sua composição, as condições de formação estimadas através de petrografia e química mineral, indicam que elas se formaram no campo da facies eclogito. As três estruturas estudadas nos fornecem trajetórias metamórficas horárias com estágio de decompressão isothermal.

9. Referências bibliográficas

- Almeida, S. 1998. *Petrologia de rochas ultramáficas associadas ao Grupo Andrelândia e seu embasamento, na região de Liberdade, Arantina, Andrelândia, São Vicente de Minas e Carrancas, MG*. Tese de Doutorado, IGc-USP. 194p.
- Campos Neto, M.C. & Caby, R. 1999. Neoproterozoic high-pressure metamorphism and tectonic constraint from the nappe system south of the São Francisco Craton, southeast Brazil. *Precambrian Research*, **97**: 3-26.
- Campos Neto, M.C. & Caby, R. 2000. Terrane accretion and upward extrusion of high-pressure granulites in the Neoproterozoic nappes of southeast Brazil: Petrologic and structural constraints. *Tectonics*, **19**: 669-687.
- Campos Neto, M.C.; Basei, M.A.S.; Vlach, S.R.F.; Caby, R.; Szabó, G.A.J.; Vasconcelos, P., 2004. Migração de Orógenos e Superposição de Orogêneses: Um Esboço da Colagem Brasileira no Sul do Cráton do São Francisco, SE – Brasil. *Geol. USP Sér. Cient.*, São Paulo, **4**(1): 13-40.
- Campos Neto, M.C.; Basei, M.A.S.; Janasi, V. A.; Siga Jr., O.; Cordani, U.G. 2005. O Grupo Andrelândia no sistema de nappes Andrelândia Oriental. *In: III Simpósio Sobre o Cráton do São Francisco*. Salvador, Bahia. p.143-146
- Dana, J.D. & Hurlbut Jr., C.S. 1984. *Manual de Mineralogia*. Traduzido por Rui Ribeiro Franco. Rio de Janeiro, 642p.
- Deer, W.A.; Howie, R.A.; Zussman, J. 1982. *Orthosilicates*. Vol. 1^a. Second edition. Liongman. Londres, 919p.
- Fuck, R.A., Pimentel, M.M. & Silva, L.J.H.D. 1994. Compartimentação tectônica da porção oriental da Província Tocantins. *In: 38º Congresso Brasileiro de Geologia*, Balneário Camboriú, SBG 1, p.215-216.
- Garcia, M.G.M. & Campos Neto, M.C. 2003. Contrasting metamorphic conditions in the Neoproterozoic collision-related Nappes south of São Francisco Craton, SE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* **15**: 853–870.
- Garcia, M.G.M., Campos Neto, M.C., Fallick, A.E. 2003. Oxygen isotope composition and geothermometry of granulite to greenschist facies metamorphic rocks: a study from the Neoproterozoic collision-related nappe system, south of São Francisco, SE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* **15**: 871-883.
- Klein, C. 2002. *The 22th Edition of the Manual of Mineral Science*. Nova Iorque, 641p.
- Kohn, M.J. & Spear, F. 2000. Retrograde net transfer reaction insurance for pressure-temperature estimates. *Geology*. **28**: 1127-1130.
- Harley, S.L. 1989. The origins of granulites; a metamorphic perspective. *Geological Magazine*. **126**: 215-331.

- Holland, TJB, and Powell, R, 1998. An internally-consistent thermodynamic dataset for phases of petrological interest. *Journal of Metamorphic Geology* **16**, 309–344.
- Heilbron, M.; Pedrosa-Soares, A.C.; Campos Neto, M.C.; Silva, L.C; Trouw, R.A.J.; Janasi, V.A.; 2004. Província Mantiqueira. In: V. Mantesso-Neto, A. Bartorelli, C.D.R. Carneiro, B.B. Brito Neves (Eds.). *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo: Beca. 13, pp.:204-234
- Moraes, R. 1997. *Condições e evolução do metamorfismo no Complexo Barro Alto e litogeoquímica do vulcanismo bimodal da seqüência Juscelândia* Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 386p.
- Moraes, R., Peternel, R., Trouw, R.A.J., Brown, M., & Piccoli, P.M. 2003. *P-T* path of a kyanite- K-feldspar (HP) granulite of the Andrelândia Sequence, Brasília Fold Belt, Brazil. In: GSA Meeting, Seattle, WA, USA. November, 2003.
- Moraes, R.; Fuck, R.A.; Duarte, B.P.; Barbosa, J.S.F. e Leite, C.M.M. 2004. Granulitos do Brasil. In: V. Mantesso-Neto, A. Bartorelli, C.D.R. Carneiro, B.B. Brito Neves (Eds.). *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo: Beca. 19, pp.:321-345
- Paciullo, F.V.P. 1997. *A Seqüência Depositional Andrelândia*. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 191p.
- Paciullo, F.V.P., Ribeiro, A.; Andreis, R.; Trouw R. A. J. 2000. The Andrelândia Basin, a neoproterozoic intraplate continental margin, southern Brasília Belt, Brazil. *Rev.Bras. Geoc.*, **30**(1):200-202
- Patiño Douce, A.E. and Beard, J.S., 1995. Dehydration-melting of biotite gneiss and quartz amphibolite from 3 to 15 kbar. *Journal of Petrology*, **36**: 707-738.
- Powell, R., holland, T. 1994. Optimal geothermometry and geobarometry. *American Mineralogist*. **79**: 120-133.
- O'Brien, P.J. & Rötzler, J. 2003. High-pressure granulites: formation, recovery of peak conditions and implications for tectonics. *Journal of Metamorphic Geology*, **21**: 3-20.
- Ribeiro, A.; Trouw R. A. J.; Andreis, R.; Paciullo, F. V. P.; Valença, J.G. 1995. Evolução das Bacias Proterozóicas e o Termo-Tectonismo Brasileiro na margem sul do Cráton do São Francisco. *Rev.Bras. Geoc.*, **25**(4): 235-248
- Santos, L.P., Campos Neto, M.C. & Grohmann, C.H. 2004. Metamorphic path constrained by metapelitic rocks from the inner Aiuruoca-Andrelândia nappe, south of the São Francisco craton, SE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* **16**: 725–741.
- Schmädicke E (2000): Phase relations in peridotitic and pyroxenitic rocks in the model systems CMASH and NCMASH. *Journal of Petrology* **41**: 69-86
- Spear, F.S. & Cheney, J.T. 1989. A petrogenetic grid for pelites schists in the system SiO₂ - Al₂O₃ - FeO - MgO - K₂O - H₂O. *Contribution to Mineralogy and Petrology* **101**: 149 - 164.

- Spear, F.S. 1993. The Metamorphic Facies. *In: Spear, F.S. Metamorphic Phase Equilibria and Pressure-Temperature-Time Paths*. New York. Mineralogical Society of America. 2. pp 13-24.
- Trouw, R.A.J., Ribeiro, A., Paciullo, F.V.P. 1983. Geologia Estrutural dos Grupos São João Del Rei, Carrancas e Andrelândia, sul de Minas Gerais. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* **55**: 71-85.
- Trouw, R.A.J. 1992. Evolução tectônica do sul do cráton do São Francisco baseada em análise metamórfica. *In: Congresso Brasileiro de Geologia, São Paulo, 37, Boletim...*, p. 327.
- Trouw, R.A.J. & Castro, E.M. 1996. O significado tectônico dos granulitos brasileiros de alta pressão no Sul de Minas Gerais. *In: XXIX Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador, 6*, 14-151.
- Trouw, R.A.J., Heilbron, M., Ribeiro, A., Paciullo, F., Valeriano, C.M., Almeida, J.C.H., Tupinambá, M. & Andreis, R.R. 2000a. The Central Segment of the Ribeira Belt. *In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A. & Campos, D.A. (Eds.) Tectonic Evolution of South America*. 31st International Geological Congress. Rio de Janeiro, pp.:287-310.
- Trouw, R.A.J., Ribeiro, A., Paciullo, F. & Heilbron, M. 2000b. Interference between the Neoproterozoic Brasília and Ribeira Belts, with special emphasis on high pressure granulites. *In: 31st International Geological Congress. Field Trip Guide*. Rio de Janeiro, Brazil, p.45.
- Valeriano, C.M.; Dardenne, M.A.; Fonseca, M.A.; Simões, L.S.A. e Seer, H.J. 2004. A Evolução Tectônica da Faixa Brasília. *In: V. Mantesso-Neto, A. Bartorelli, C.D.R. Carneiro, B.B. Brito Neves (Eds.). Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo: Beca. 32, pp.: 575-592
- Vielzeuf, D. and J. R. Holloway. 1988. Experimental determination of the fluid-absent melting relations in the pelitic system: Consequences for crustal differentiation. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. **98**: 257-276.
- Watson, E.B., Wark, D.A., Thomas, J.B. 2006. Crystallization thermometers for zircon and rutile. *Contributions to Mineralogy and Petrology*.
- Zack T.; Moraes, R.; Kronz, A. 2004. Temperature dependence of Zr in rutile: Empirical calibration of a rutile thermometer. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. **148**: 471-488.
- Zack, T., Luvizotto, G., Moraes, R., Möller, A., Kronz, A. 2006. Rutile and zircon thermometry of granulites: Premetamorphic relicts, prograde growth and diffusional resetting. *In: Granulites & Granulites, Goiás, Brazil, 2006*.

Anexos

Anexo I – Descrições petrográficas (principais litotipos)

Anexo II – Dados químicos

I.1. Nappe de Andrelândia

Amostra (ID): sillimanita-granada-biotita-muscovita-quartzo xisto (SR-JR-1c).
Analizada em microsonda eletrônica.

Textura: Lepidoblástica, intercalada com bandamento gnáissico.

Mineralogia: Quartzo, muscovita, biotita, granada, sillimanita, plagioclásio, grafita e opacos.

Síntese textural: Dois domínios são observados na rocha: lepidoblástico e gnáissico. O domínio lepidoblástico possui foliação definida por muscovita, biotita castanha e sillimanita, na variedade fibrolita. Esta foliação está levemente crenulada e envolve grãos de granada e plagioclásio. A sillimanita forma nódulos fibrosos, ou substituem totalmente pseudomorfos de cianita. A granada apresenta tamanho máximo de 2 mm de diâmetro, granulação semelhante aos grãos da matriz da rocha, em sua borda encontra-se quartzo, plagioclásio, opacos e micas (biotita e muscovita). Ocorre linhas de inclusões em granada, principalmente de quartzo, em circunferência ou semi-circunferência, que sugere duas etapas de crescimento. Grafita acompanha a foliação micácea. A banda gnássica apresenta textura granoblástica, onde por vezes, biotita ocupa os interstícios desses grãos.

I.2. Nappe de Liberdade

Amostra (ID): estaurolita-cianita-granada-biotita-quartzo xisto (RA-14). *Analizada em microsonda eletrônica.*

Textura: Lepidoblástica crenulada, com leitos granoblásticos.

Mineralogia: Quartzo, plagioclásio, muscovita, biotita, granada, estaurolita, cianita, rutilo, turmalina, grafita.

Síntese textural: Alterna leitos granoblásticos e lepidoblásticos. A textura lepidoblástica é definida por muscovita, grafita e biotita, de cor castanho-avermelhada.

As micas ocorrem geralmente crenuladas, formando arcos poligonais. Os grãos de granada apresentam inclusões de quartzo, rutilo e opacos (provavelmente ilmenita), e é envolvida pelos leitos lepidoblásticos. A granada tem foliação interna marcada por palhetas de opacos e, em geral, levemente dobrada, indicando que o grão foi rotacionado. Cristais de cianita porfiroblásticos ou não, acompanham a foliação lepidoblástica. Porfiroblastos de estaurolita também são envolvidos por micas. Os leitos granoblásticos são formados por quartzo e plagioclásio, com granulações fina à grossa. Porfiroblasto de turmalina amarelada possui cerca de 1 mm.

Amostra (ID): Grt-Sill-Ky-Bt xisto com Ms (AL-VII-65)

Textura: Porfirolepidoblástica.

Mineralogia: Quartzo, plagioclásio, biotita, muscovita, sillimanita, cianita, granada, rutilo, zircão, monazita, opacos.

Síntese textural: A rocha apresenta textura lepidoblástica definida por muscovita e, principalmente, biotita. Paralelo a foliação ocorrem porfiroblastos de cianita, às vezes dobrados e com extinção ondulante, e sillimanita fibrosa. Porfiroblastos de granada apresentam inclusões de quartzo, biotita e rutilo e coroas simplectíticas com intercrescimento de biotita, plagioclásio, quartzo, sillimanita e muscovita. As coroas simplectíticas tendem a se paralelizar com a foliação. Os grãos de quartzo podem ou não estarem alongados segundo a foliação, e, no geral, apresentam extirções ondulantes e feições de sub-grão.

Amostra (ID): Retroeclogito (AL-VII-76)

Textura: Nematoblástica.

Mineralogia: Hornblenda, granada, epidoto, rutilo, ilmenita, plagioclásio.

Síntese textural: Textura nematoblástica definida por orientação de hornblenda. A rocha não possui plagioclásio primário, apenas em bordas de reação. Porfiroblasto de granada, com inclusões de rutilo, possuem bordas simplectíticas com intercrescimento

de plagioclásio, ilmenita e hornblenda. Epidoto também apresenta bordas simplectíticas com intercrescimento de plagioclásio e hornblenda.

Amostra (ID): Grt anfibolito (AL-VII-140)

Textura: Bandameto composicional com texturas nematoblástica e granoblásticas.

Mineralogia: Hornblenda, granada, plagioclásio, quartzo, biotita, clinopiroxênio, titanita, apatita, opacos, zircão, rutilo.

Síntese textural: A rocha alterna níveis granoblásticos de granulação fina média e níveis nematoblásticos de granulação média a grossa. Os níveis nematoblásticos são definidos por cristais orientados de hornblenda. Nesses níveis ocorrem granadas com bordas simplectíticas em estado avançado, quase que substituindo totalmente os porfiroblastos de granada. Nesses simplectitos intercrescem hornblenda e plagioclásio. Biotita em pequenas quantidades associadas a bordas de hornblenda. Hornblenda pode ocorrer com clinopiroxênio incluso, formando prováveis pseudomorfos de clinopiroxênio. Titanita formada a partir de grãos de rutilo, em contato com grãos de hornblenda.

I.3. *Klippe* de Carvalhos

Amostra (ID): Granulito félsico (AL-VI-63a). *Analisada em microsonda eletrônica.*

Textura: Granoblástica, com foliação difusa.

Mineralogia: Quartzo, granada, cianita, biotita, rutilo, feldspato alcalino, plagioclásio, opacos.

Síntese textural: Apresenta a paragênese principal formada por granada, rutilo, biotita, cianita, feldspato alcalino e quartzo. Textura predominantemente granoblástica (feldspatos e quartzo). Os grãos de feldspato alcalino são pertíticos a mesopertíticos com lamelas de plagioclásio em filetes ou vênulas e podem apresentar mirmequitas nas bordas. Abundante presença de porfiroblastos de granada com tamanhos de até 7 mm, que apresentam inclusões de rutilo e quartzo, geralmente formando linhas em

semi-circunferência. Cianita ocorre como porfiroblasto dobrados com extinção ondulante e, em geral, apresentam inclusões de biotita e rutilo. A foliação é difusa dada pela orientação difusa de biotita com coloração avermelhada. Rutilo ocorre na matriz, incluso em granada, biotita e cianita e principalmente na borda de granada.

Amostra (ID): Granulito máfico (AL-VII-51b). *Analizada em microsonda eletrônica.*

Textura: Mesossoma nematoblástica, com leucossoma granoblástica.

Mineralogia: Quartzo, granada, hornblenda, biotita, plagioclásio, feldspato alcalino, diopisídio, opacos (óxidos de ferro).

Síntese textural: Apresenta dois domínios diferentes. Leitos nematoblásticos fazem parte do mesossoma da rocha. A foliação é definida pela hornblenda, que possui inclusões de biotita, rutilo e opacos. A biotita acompanha a foliação e possui cores acastanhadas. Quartzo e plagioclásio ocorrem em contato retos com os grãos de hornblenda e biotita. Coroas de grãos xenomórficos, provavelmente de quartzo e feldspato, ocorrem nos interstícios de grãos maiores. Com menos frequência ocorre granada na banda mesossômica. Os leitos de leucossoma apresentam-se interconectados, formando rede dentro da rocha. A textura é granoblástica. Porfiroblasto de hornblenda e granada possuem aproximadamente 1 cm. O porfiroblasto de hornblenda possui inclusões de biotita e quartzo, geralmente em planos de clivagens e fraturas do grão. A borda deste porfiroblasto é consumida por diopisídio. O porfiroblastos de granada possui inclusões de quartzo em formatos arredondados e ovalos ou retificados por fraturas do cristal. Apresenta borda de reação com geração de plagioclásio ripiforme, biotita castanha-esverdeada, hornblenda e quartzo. Tanto na matriz quanto no porfiroblastos os grãos de granada são circundados por linhas de minerais opacos (óxidos de ferro). Diopisídio também ocorre como grãos independentes na matriz, com textura poiquiloblástica (rica em inclusões de quartzo) e geralmente possuem hornblenda na borda. O plagioclásios do leucossoma possuem geminação polissintética. O feldspato alcalino ocorre com lamelas de ex-soluções em forma de barras, ou, quando mais fino, com geminação em grade (microclínio).

Amostra (ID): Metapiroxenito (AL-VIII-26b)

Textura: Granoblástica.

Mineralogia: Clinopiroxênio, ortopiroxênio, espinélio, hogbomita, plagioclásio, serpentina, opaco, epidoto, clorita.

Síntese textural: A textura predominante é granoblástica média a fina, com grãos de ortopiroxênio e clinopiroxênio com faces poligonizadas e contatos tríplexes. Há inclusões de plagioclásio em cristais de clinopiroxênio. Espinélio e hogbomita apresentam-se intercrescidos, intersticiais em relação aos piroxênios e apresentam inclusões dos mesmos, sugerindo crescimento tardio. Minerais opacos são essencialmente associados aos cristais de espinélio e hogbomita. Existe leve serpentinização nos contatos, fraturas e clivagens dos piroxênios. Minerais do grupo do epidoto e clorita ocorrem como acessórios.

Amostra (ID): Meta-harzburgito (AL-VII-78a)

Textura: Mesh.

Mineralogia: Olivina, ortopiroxênio, clinopiroxênio, espinélio, serpentina, opacos, clorita.

Síntese textural: Os principais minerais formadores da rocha são olivina e ortopiroxênio. Possui textura *mesh*, com serpentina substituindo olivina e piroxênio. Espinélio idioblástico a hipidioblástico ocorre em contato com olivina e ortopiroxênio. Clorita é encontrada bordejando os cristais de espinélio. Porções menos serpentinizadas expõem textura granoblástica com ortopiroxênio e clinopiroxênio em contatos.

Nappe de Liberdade - RA 14
GRANADA

Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
SiO2	36.58	36.57	36.50	36.78	36.65	36.71	36.92	36.91	36.56	36.80	36.68	36.75	36.79	37.04
TiO2	0.02	-	-	0.01	-	-	0.03	-	-	-	-	-	0.01	0.01
Al2O3	21.06	20.91	20.83	21.01	20.83	21.14	21.03	20.92	20.99	20.98	20.94	21.02	21.00	21.00
Cr2O3	-	-	0.02	0.02	-	0.03	0.02	0.03	0.02	-	0.01	0.01	0.03	-
Fe2O3	1.59	1.55	1.62	1.23	1.82	2.08	1.49	1.01	1.53	1.38	2.07	1.52	1.13	0.90
FeO	35.39	34.85	34.86	35.08	34.46	33.93	34.13	33.98	33.28	33.66	33.46	33.47	34.07	34.06
MnO	1.50	1.12	0.92	0.72	0.56	0.54	0.53	0.61	0.64	0.67	0.80	0.84	0.87	0.99
MgO	3.15	3.65	3.86	4.00	4.12	4.12	3.98	3.93	3.91	3.80	3.83	3.84	3.73	3.78
CaO	0.96	0.97	0.76	0.82	1.14	1.63	1.88	1.97	2.21	2.25	2.15	2.18	1.88	1.95
Na2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Totals	100.11	99.47	99.19	99.56	99.41	99.96	99.87	99.26	98.97	99.40	99.73	99.48	99.39	99.65
Oxygens	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Si	2.949	2.956	2.956	2.963	2.955	2.939	2.959	2.975	2.954	2.963	2.946	2.957	2.966	2.977
Ti	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001
Al	2.002	1.993	1.989	1.996	1.980	1.995	1.987	1.988	1.999	1.991	1.983	1.993	1.996	1.990
Cr	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.002	0.001	0.002	0.001	0.000	0.000	0.001	0.002	0.000
Fe3	0.096	0.094	0.098	0.075	0.110	0.125	0.090	0.061	0.093	0.083	0.125	0.092	0.069	0.054
Fe2	2.386	2.356	2.361	2.364	2.323	2.272	2.288	2.291	2.248	2.267	2.248	2.252	2.298	2.290
Mn	0.103	0.077	0.063	0.049	0.038	0.037	0.036	0.042	0.044	0.046	0.054	0.057	0.059	0.068
Mg	0.379	0.440	0.466	0.480	0.495	0.491	0.476	0.472	0.470	0.456	0.459	0.460	0.448	0.453
Ca	0.083	0.084	0.066	0.071	0.098	0.140	0.162	0.170	0.191	0.194	0.185	0.188	0.162	0.168
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
almandina	80.85	79.68	79.87	79.76	78.64	77.28	77.25	77.01	76.13	76.51	76.31	76.16	77.45	76.87
piropo	12.84	14.88	15.76	16.19	16.76	16.70	16.07	15.87	15.92	15.39	15.58	15.56	15.10	15.21
essessartita	3.49	2.60	2.13	1.65	1.29	1.26	1.22	1.41	1.49	1.55	1.83	1.93	1.99	2.28
grossulária	-1.76	-1.66	-2.51	-1.27	-1.95	-1.22	1.09	2.64	1.98	2.55	0.35	1.90	2.03	3.00
uvarovita	0.00	0.00	0.05	0.05	0.00	0.09	0.05	0.10	0.05	0.00	0.00	0.05	0.10	0.00
andradita	4.58	4.50	4.69	3.62	5.26	5.89	4.33	2.97	4.44	4.00	5.93	4.41	3.34	2.64

Nappe de Liberdade - RA 14

GRANADA

Sample	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
SiO2	36.79	36.82	36.93	36.70	36.59	36.70	36.76	36.75	36.74	36.75	36.67	36.81	36.55	36.73
TiO2	-	-	0.04	-	-	0.01	-	-	-	-	-	0.01	0.02	0.01
Al2O3	21.04	21.14	20.87	21.02	21.04	21.22	20.78	20.92	21.03	20.92	20.82	20.84	20.78	20.87
Cr2O3	-	-	0.02	0.02	0.01	0.02	-	0.04	-	0.02	-	0.02	0.05	0.01
Fe2O3	1.27	1.65	1.06	1.60	2.29	1.81	1.32	1.70	1.30	1.54	1.84	1.61	1.80	1.92
FeO	34.04	33.93	33.92	33.47	33.35	33.56	33.59	33.28	33.25	33.39	33.08	33.90	33.31	33.35
MnO	1.01	1.06	1.09	1.01	1.11	1.12	1.20	1.22	1.31	1.25	1.32	1.22	1.34	1.14
MgO	3.73	3.81	3.76	3.84	3.71	3.68	3.55	3.71	3.74	3.74	3.80	3.50	3.65	3.91
CaO	1.78	1.74	1.91	1.98	2.09	2.06	2.20	2.19	2.09	2.05	2.06	2.06	1.99	1.91
Na2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Totals	99.54	99.99	99.50	99.49	99.97	100.00	99.27	99.66	99.34	99.50	99.42	99.81	99.30	99.66
Oxygens	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Si	2.963	2.952	2.974	2.954	2.935	2.941	2.970	2.956	2.961	2.959	2.955	2.962	2.953	2.952
Ti	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
Al	1.997	1.998	1.982	1.995	1.990	2.006	1.980	1.983	1.998	1.987	1.978	1.977	1.980	1.978
Cr	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.002	0.000	0.003	0.000	0.001	0.000	0.001	0.003	0.000
Fe3	0.077	0.099	0.064	0.097	0.138	0.109	0.080	0.102	0.079	0.093	0.111	0.097	0.109	0.116
Fe2	2.293	2.275	2.285	2.253	2.237	2.250	2.270	2.239	2.242	2.249	2.229	2.282	2.251	2.242
Mn	0.069	0.072	0.075	0.069	0.076	0.076	0.082	0.083	0.090	0.085	0.090	0.083	0.092	0.078
Mg	0.448	0.455	0.452	0.461	0.443	0.439	0.428	0.445	0.450	0.448	0.457	0.420	0.439	0.468
Ca	0.153	0.149	0.165	0.170	0.180	0.177	0.190	0.189	0.181	0.177	0.178	0.177	0.172	0.164
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
almandina	77.39	77.09	76.76	76.30	76.19	76.48	76.43	75.74	75.67	76.01	75.46	77.04	76.20	75.95
piropo	15.12	15.42	15.18	15.61	15.09	14.92	14.41	15.05	15.19	15.14	15.47	14.18	14.86	15.85
espessartita	2.33	2.44	2.52	2.34	2.59	2.58	2.76	2.81	3.04	2.87	3.05	2.80	3.11	2.64
grossularia	1.45	0.33	2.37	1.07	-0.40	0.77	2.51	1.37	2.31	1.46	0.71	1.25	0.47	0.02
uvarovita	0.00	0.00	0.05	0.05	0.05	0.09	0.00	0.14	0.00	0.05	0.00	0.05	0.14	0.00
andradita	3.71	4.72	3.13	4.63	6.48	5.15	3.88	4.89	3.80	4.47	5.31	4.67	5.21	5.54

Nappe de Liberdade - RA 14
GRANADA

Sample	29	30	31	32	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
SiO2	36.71	36.95	36.83	36.91	36.70	36.68	36.74	36.73	36.70	36.51	36.83	36.85	36.93	36.94
TiO2	0.01	-	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al2O3	20.89	21.17	20.86	21.05	20.83	21.01	20.88	20.76	20.93	21.08	21.02	21.17	21.12	21.15
Cr2O3	0.02	0.03	0.01	-	-	-	0.03	0.01	-	0.01	0.01	0.03	0.04	0.01
Fe2O3	1.07	1.52	1.48	1.63	1.44	2.05	1.81	1.86	1.45	1.67	1.60	1.17	1.52	1.89
FeO	33.64	33.63	33.66	33.94	33.79	33.57	33.67	33.75	34.00	33.67	33.98	33.96	33.85	33.46
MnO	1.18	1.16	1.15	1.07	1.02	0.95	0.98	0.94	0.87	0.90	0.94	0.89	0.86	0.88
MgO	3.80	4.03	4.03	3.91	4.06	4.15	4.06	4.04	4.01	3.99	3.99	4.01	4.10	4.28
CaO	1.79	1.71	1.59	1.68	1.43	1.51	1.58	1.57	1.45	1.53	1.55	1.61	1.65	1.70
Na2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Totals	99.00	100.05	99.46	100.04	99.11	99.73	99.56	99.48	99.27	99.19	99.77	99.57	99.93	100.12
Oxygens	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Si	2.970	2.955	2.965	2.957	2.965	2.944	2.955	2.958	2.961	2.946	2.957	2.961	2.956	2.948
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Al	1.993	1.996	1.980	1.988	1.983	1.988	1.980	1.971	1.991	2.006	1.990	2.005	1.993	1.990
Cr	0.001	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000	0.001	0.001	0.002	0.002	0.000
Fe3	0.065	0.091	0.090	0.098	0.087	0.124	0.109	0.113	0.088	0.101	0.096	0.070	0.092	0.114
Fe2	2.276	2.249	2.266	2.274	2.283	2.253	2.265	2.273	2.294	2.272	2.282	2.282	2.267	2.234
Mn	0.081	0.078	0.079	0.072	0.070	0.065	0.067	0.064	0.059	0.062	0.064	0.060	0.058	0.060
Mg	0.459	0.481	0.483	0.467	0.488	0.496	0.487	0.485	0.482	0.480	0.477	0.481	0.490	0.510
Ca	0.155	0.147	0.137	0.144	0.124	0.130	0.136	0.136	0.125	0.132	0.134	0.138	0.142	0.145
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
almandina	76.61	76.11	76.42	76.90	77.00	76.53	76.65	76.84	77.50	77.12	77.17	77.07	76.67	75.75
piropo	15.45	16.28	16.29	15.79	16.46	16.85	16.48	16.40	16.28	16.29	16.13	16.24	16.57	17.29
espesartita	2.73	2.64	2.66	2.43	2.36	2.21	2.27	2.16	1.99	2.10	2.16	2.03	1.96	2.03
grossularia	2.01	0.52	0.23	0.17	-0.02	-1.46	-0.71	-0.87	-0.01	-0.36	-0.12	1.19	0.30	-0.50
uvarovita	0.05	0.10	0.05	0.00	0.00	0.00	0.10	0.05	0.00	0.05	0.05	0.10	0.10	0.00
andradita	3.16	4.36	4.35	4.70	4.20	5.87	5.21	5.42	4.23	4.79	4.60	3.37	4.41	5.42

Nappe de Liberdade - RA 14

GRANADA

Sample	48	49	50	51	52	53	54	55	56
SiO2	36.71	36.66	36.92	36.74	36.58	36.78	36.83	36.83	36.52
TiO2	-	-	-	-	0.02	0.02	-	-	-
Al2O3	20.70	21.11	21.11	21.13	21.11	21.08	21.20	21.08	21.13
Cr2O3	0.04	0.05	-	-	0.04	0.02	0.03	0.01	0.03
Fe2O3	1.24	1.77	1.74	1.75	2.05	1.70	1.93	1.67	1.63
FeO	33.51	33.47	33.50	33.30	33.11	33.69	34.22	34.44	34.37
MnO	0.77	0.80	0.72	0.77	0.74	0.68	0.69	0.75	1.05
MgO	4.07	4.06	4.16	4.11	4.22	4.34	4.32	4.03	3.75
CaO	1.83	1.81	1.95	1.97	1.86	1.45	1.12	1.29	1.22
Na2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Totals	98.75	99.55	99.94	99.61	99.53	99.60	100.15	99.94	99.52
Oxygens	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Si	2.973	2.945	2.953	2.948	2.937	2.950	2.943	2.953	2.945
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
Al	1.976	1.999	1.991	1.999	1.998	1.994	1.997	1.993	2.009
Cr	0.002	0.003	0.000	0.000	0.002	0.001	0.002	0.001	0.002
Fe3	0.075	0.107	0.104	0.106	0.124	0.103	0.116	0.101	0.099
Fe2	2.270	2.249	2.241	2.235	2.223	2.260	2.286	2.309	2.318
Mn	0.053	0.054	0.048	0.052	0.050	0.046	0.047	0.051	0.072
Mg	0.491	0.486	0.496	0.491	0.505	0.519	0.514	0.482	0.450
Ca	0.159	0.156	0.167	0.169	0.160	0.125	0.096	0.111	0.105
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
almandina	76.35	76.37	75.91	75.84	75.66	76.61	77.68	78.19	78.71
piropo	16.52	16.50	16.80	16.66	17.19	17.59	17.47	16.32	15.28
espesartita	1.78	1.83	1.63	1.76	1.70	1.56	1.60	1.73	2.44
grossulária	1.60	0.08	0.69	0.70	-0.49	-0.72	-2.32	-1.11	-1.22
uvarovita	0.10	0.14	0.00	0.00	0.09	0.05	0.09	0.05	0.09
andradita	3.65	5.07	4.96	5.04	5.84	4.91	5.48	4.82	4.69

Nappe de Liberdade
RA-14
BIOTITA

Sample	bi 1	bi 1	bi 1	bi 1	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2	bi 2
--------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Nappe de Liberdade
RA-14
MUSCOVITA

Sample	mu 1	mu 1	mu 1	mu 1	mu 1	mu 2	mu 2	mu 2	mu 2	mu 2	mu 2	mu 2	mu 2
SiO2	48.13	48.33	48.20	47.29	47.97	47.28	45.87	48.06	47.31	47.19	47.78	47.60	48.64
TiO2	0.52	0.62	0.48	1.26	1.24	1.38	1.22	1.36	1.50	1.33	1.41	1.43	0.86
Al2O3	37.70	37.29	37.48	35.49	35.72	35.63	34.45	35.60	35.67	35.51	35.44	35.73	35.84
Cr2O3	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.04	0.00	0.01	0.00	0.03	0.03	0.01	0.02
Fe2O3	0.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.33	0.98	1.03	1.07	1.08	1.12	1.05	1.16	1.12	1.23	1.12	1.10	1.16
MnO	0.03	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.04	0.02	0.00
MgO	0.60	0.59	0.57	0.83	0.81	0.79	0.75	0.82	0.80	0.81	0.77	0.71	0.86
CaO	0.02	0.01	0.03	0.01	0.00	0.01	0.04	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00	0.02
Na2O	1.06	1.13	1.28	1.16	1.13	1.15	1.03	1.14	1.08	1.08	1.18	1.21	1.04
K2O	8.36	8.87	8.84	8.71	9.04	8.91	8.88	9.02	8.62	8.42	8.84	9.04	9.18
Totals	97.63	97.85	97.93	95.84	97.03	96.31	93.30	97.19	96.15	95.62	96.63	96.87	97.62
Oxygens	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Si	3.073	3.090	3.082	3.095	3.104	3.085	3.092	3.106	3.085	3.092	3.105	3.089	3.127
Ti	0.025	0.030	0.023	0.062	0.060	0.068	0.062	0.066	0.074	0.066	0.069	0.070	0.042
Al	2.838	2.811	2.825	2.738	2.725	2.741	2.738	2.712	2.742	2.743	2.714	2.733	2.717
Cr	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000	0.001
Fe3	0.041	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe2	0.017	0.052	0.055	0.058	0.059	0.061	0.059	0.062	0.061	0.068	0.061	0.060	0.062
Mn	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.002	0.001	0.000
Mg	0.057	0.056	0.055	0.081	0.079	0.076	0.075	0.079	0.078	0.079	0.075	0.069	0.082
Ca	0.002	0.001	0.002	0.001	0.000	0.001	0.003	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.001
Na	0.132	0.141	0.159	0.147	0.142	0.145	0.134	0.143	0.136	0.137	0.149	0.152	0.129
K	0.681	0.723	0.721	0.727	0.746	0.741	0.764	0.743	0.717	0.704	0.733	0.749	0.753
Sum	6.869	6.906	6.922	6.911	6.917	6.920	6.927	6.915	6.897	6.891	6.910	6.925	6.914

Nappe de Liberdade
RA-14
MUSCOVITA

Sample	mu 3	mu 3	mu 3	mu 4	mu 4	mu 4	mu 4	mu 4	mu 4	mu 4	mu 5	mu 5	mu 5	mu 5
SiO2	50.30	47.75	48.13	48.58	47.69	47.63	47.61	47.68	48.23	48.31	46.98	47.62	48.06	47.45
TiO2	0.90	0.49	0.99	1.31	1.31	1.04	1.13	1.31	1.31	1.25	1.04	1.21	1.18	1.09
Al2O3	37.88	37.51	36.39	35.36	35.51	35.59	35.40	35.53	35.98	35.57	36.15	35.49	35.18	35.51
Cr2O3	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.00	0.05	0.02	0.04	0.06	0.00	0.04	0.05	0.05
Fe2O3	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.35	0.98	1.15	1.13	1.11	1.22	1.09	1.19	1.03	1.17	1.13	1.22	1.15	0.96
MnO	0.03	0.00	0.02	0.02	0.00	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00
MgO	0.91	0.50	0.72	0.81	0.81	0.83	0.86	0.86	0.76	0.84	0.69	0.84	0.92	0.76
CaO	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01
Na2O	0.57	1.19	1.06	1.03	1.10	1.19	1.18	1.06	1.01	0.95	1.14	1.06	1.07	1.06
K2O	5.00	8.83	8.77	8.96	8.96	8.92	8.91	8.70	9.02	9.04	8.74	8.87	8.86	8.82
Totals	96.87	97.29	97.28	97.23	96.54	96.46	96.26	96.36	97.41	97.21	95.88	96.38	96.48	95.72
Oxygens	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Si	3.155	3.072	3.099	3.133	3.102	3.102	3.106	3.103	3.105	3.119	3.074	3.102	3.125	3.107
Ti	0.043	0.024	0.048	0.063	0.064	0.051	0.055	0.064	0.063	0.061	0.051	0.059	0.058	0.054
Al	2.800	2.845	2.762	2.688	2.723	2.733	2.722	2.726	2.731	2.707	2.788	2.726	2.697	2.741
Cr	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.000	0.002	0.001	0.002	0.003	0.000	0.002	0.002	0.002
Fe3	0.042	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe2	0.018	0.053	0.062	0.061	0.061	0.067	0.060	0.065	0.056	0.063	0.062	0.067	0.062	0.053
Mn	0.002	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000
Mg	0.085	0.047	0.070	0.078	0.079	0.080	0.083	0.084	0.073	0.081	0.067	0.082	0.089	0.074
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000
Na	0.069	0.148	0.132	0.129	0.139	0.150	0.150	0.134	0.127	0.119	0.145	0.134	0.135	0.134
K	0.400	0.725	0.721	0.737	0.744	0.741	0.741	0.722	0.741	0.745	0.729	0.737	0.735	0.737
Sum	6.616	6.917	6.898	6.892	6.913	6.927	6.922	6.899	6.899	6.898	6.918	6.911	6.903	6.903

Nappe de Liberdade
RA-14
PLAGIOCLÁSIO

Sample	fsp 1.1	fsp 1.2	fsp 1.3	fsp 1.4	fsp 2.1	fsp 2.2	fsp 2.3	fsp -1	fsp -1	fsp -1	fsp 2	fsp 2	fsp 2	fsp 2	fsp 2
SiO2	64.37	64.64	64.26	63.82	63.85	63.76	64.20	65.12	64.36	65.44	64.75	65.20	64.77	65.00	65.86
TiO2	0.07	0.10	0.00	0.09	0.02	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al2O3	22.12	22.02	22.27	22.13	21.87	21.92	21.97	22.35	22.13	22.11	22.37	22.42	22.33	22.32	21.66
Cr2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.07	0.05	0.00	0.00	0.00	0.01
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	0.00	0.05	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	2.86	2.89	2.98	3.23	3.12	2.94	2.87	3.09	3.02	2.87	3.19	3.06	3.00	2.88	2.13
Na2O	10.40	10.27	10.26	10.00	10.04	10.41	9.98	9.48	9.23	9.54	9.20	9.41	9.29	9.39	9.97
K2O	0.10	0.07	0.08	0.05	0.07	0.07	0.07	0.05	0.04	0.03	0.08	0.05	0.08	0.10	0.09
Totals	99.93	100.03	99.87	99.36	98.98	99.10	99.15	100.10	98.84	100.06	99.63	100.15	99.47	99.70	99.74
Oxygens	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Si	2.842	2.848	2.836	2.833	2.845	2.841	2.851	2.858	2.858	2.870	2.854	2.858	2.858	2.861	2.894
Ti	0.002	0.003	0.000	0.003	0.001	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Al	1.151	1.144	1.159	1.158	1.149	1.151	1.150	1.156	1.158	1.143	1.162	1.159	1.161	1.158	1.122
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe3	0.000	0.001	0.005	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.000	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca	0.135	0.137	0.141	0.154	0.149	0.140	0.136	0.145	0.143	0.135	0.151	0.144	0.142	0.136	0.101
Na	0.890	0.877	0.878	0.861	0.868	0.899	0.859	0.806	0.795	0.811	0.787	0.800	0.795	0.802	0.850
K	0.006	0.004	0.004	0.003	0.004	0.004	0.004	0.003	0.002	0.002	0.004	0.003	0.004	0.006	0.005
Sum	5.028	5.016	5.023	5.015	5.016	5.035	5.003	4.969	4.960	4.964	4.960	4.964	4.961	4.963	4.972
anortita	13.09	13.46	13.78	15.13	14.59	13.42	13.61	15.20	15.21	14.24	16.03	15.21	15.09	14.41	10.56
albita	86.32	86.15	85.83	84.58	85.01	86.19	85.99	84.49	84.57	85.55	83.55	84.48	84.48	84.96	88.91
ortoclásio	0.58	0.39	0.39	0.29	0.39	0.38	0.40	0.31	0.21	0.21	0.42	0.32	0.43	0.64	0.52

Nappe de Liberdade
RA-14
ESTAUROLITA

Sample	st 13	st 14	st 15	st 16	st 17	st 18	st 19	st 20
SiO2	28.05	28.04	27.78	27.40	27.58	27.17	27.34	27.34
TiO2	0.60	0.61	0.64	0.64	0.48	0.57	0.65	0.64
Al2O3	53.87	53.57	53.72	53.73	54.26	54.23	54.08	54.18
Cr2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	13.57	13.68	13.62	13.83	13.72	13.85	13.83	14.01
MnO	0.10	0.07	0.06	0.06	0.10	0.08	0.07	0.09
MgO	1.33	1.34	1.39	1.39	1.33	1.38	1.40	1.39
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Totals	97.51	97.31	97.20	97.05	97.48	97.28	97.37	97.64
Oxygens	46	46	46	46	46	46	46	46
Si	7.788	7.807	7.743	7.663	7.672	7.584	7.622	7.609
Ti	0.125	0.128	0.134	0.134	0.100	0.120	0.136	0.133
Al	17.634	17.583	17.653	17.718	17.793	17.846	17.774	17.774
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe2	3.152	3.184	3.175	3.235	3.192	3.233	3.224	3.261
Mn	0.022	0.016	0.015	0.014	0.024	0.019	0.017	0.021
Mg	0.549	0.556	0.577	0.581	0.550	0.572	0.583	0.574
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum	29.270	29.274	29.297	29.344	29.332	29.374	29.355	29.372

Nappe de AndreiÂndia -- SR-JR-1c

GRANADA

Sample	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
SiO2	36.72	36.82	36.67	36.73	36.71	36.59	36.65	36.56	36.76	36.79	36.87	36.83	36.77	36.81
TiO2	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.02
Al2O3	20.98	21.07	21.07	21.20	21.07	20.99	21.16	20.85	21.06	21.14	21.09	21.08	21.13	21.00
Cr2O3	0.01	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.04	0.05	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02
Fe2O3	0.14	1.21	1.31	0.89	1.34	1.62	1.14	1.36	1.16	1.29	0.88	0.74	1.61	1.61
FeO	33.82	33.39	33.23	33.37	33.09	32.87	33.14	32.79	32.87	32.68	32.92	32.88	32.49	32.43
MnO	4.05	3.84	3.74	3.81	3.83	3.90	3.91	4.16	4.30	4.42	4.39	4.29	4.57	4.70
MgO	2.27	2.70	2.73	2.88	2.96	2.99	2.87	2.85	2.92	2.96	2.89	2.94	2.96	2.90
CaO	1.52	1.51	1.54	1.23	1.28	1.26	1.27	1.27	1.19	1.23	1.21	1.23	1.22	1.30
Na2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Totals	99.48	100.42	100.16	100.05	100.15	100.03	100.09	99.77	100.14	100.40	100.17	99.95	100.58	100.63
Oxygens	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Si	2.989	2.964	2.958	2.963	2.958	2.953	2.957	2.961	2.964	2.958	2.971	2.973	2.952	2.956
Ti	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001
Al	2.013	1.999	2.004	2.016	2.002	1.997	2.012	1.991	2.002	2.003	2.004	2.006	2.000	1.988
Cr	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.002	0.003	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.001
Fe3	0.009	0.073	0.079	0.054	0.081	0.098	0.069	0.083	0.070	0.078	0.053	0.045	0.097	0.097
Fe2	2.303	2.248	2.242	2.252	2.230	2.218	2.236	2.221	2.217	2.198	2.219	2.220	2.182	2.178
Mn	0.279	0.262	0.256	0.261	0.261	0.267	0.267	0.286	0.294	0.301	0.300	0.293	0.310	0.320
Mg	0.275	0.324	0.328	0.346	0.356	0.359	0.345	0.344	0.351	0.355	0.347	0.354	0.355	0.347
Ca	0.132	0.130	0.133	0.106	0.111	0.109	0.110	0.110	0.103	0.106	0.105	0.106	0.105	0.112
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
almandina	77.05	75.84	75.77	75.95	75.39	75.11	75.59	75.01	74.77	74.26	74.69	74.67	73.92	73.66
piropo	9.20	10.93	11.08	11.67	12.04	12.16	11.66	11.62	11.84	11.99	11.68	11.91	12.03	11.73
essessartita	9.33	8.84	8.65	8.80	8.82	9.04	9.03	9.66	9.92	10.17	10.10	9.86	10.50	10.82
grossulária	3.97	0.86	0.66	0.92	-0.14	-0.99	0.31	-0.43	0.10	-0.17	0.96	1.28	-1.07	-0.91
uvarovita	0.00	0.00	0.05	0.05	0.00	0.00	0.10	0.14	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.05
andradita	0.45	3.52	3.79	2.61	3.89	4.68	3.31	4.00	3.38	3.75	2.58	2.19	4.63	4.65

Nappe de Andreiaândia -- SR-JR-1c

GRANADA

Sample	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
SiO2	36.54	36.71	36.90	36.89	36.54	36.59	36.67	36.70	36.81	36.39	36.86	36.79	36.86	36.78	36.49
TiO2	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
Al2O3	20.93	20.98	20.86	20.79	20.89	20.94	21.04	21.14	21.11	21.05	20.95	20.99	21.12	21.13	21.09
Cr2O3	0.01	0.01	0.08	0.02	0.01	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00
Fe2O3	1.94	1.78	0.86	1.41	1.67	1.51	1.14	1.36	1.22	1.45	1.20	1.21	0.86	1.24	0.80
FeO	32.00	32.25	32.70	32.65	31.95	32.09	32.68	32.33	32.53	32.51	33.02	32.76	33.29	33.27	33.34
MnO	4.70	4.73	4.68	4.71	4.71	4.72	4.55	4.58	4.47	4.23	4.20	3.91	3.71	3.71	4.01
MgO	2.96	2.91	2.87	2.86	2.98	2.96	2.78	2.96	2.99	2.87	2.90	3.01	2.82	2.77	2.34
CaO	1.30	1.30	1.22	1.23	1.29	1.24	1.25	1.28	1.29	1.26	1.30	1.47	1.55	1.58	1.61
Na2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Totals	100.20	100.51	100.09	100.43	99.89	99.93	100.00	100.26	100.31	99.61	100.37	100.05	100.16	100.36	99.61
Oxygens	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Si	2.946	2.951	2.979	2.970	2.954	2.956	2.963	2.954	2.961	2.950	2.967	2.965	2.970	2.960	2.965
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.002	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
Al	1.989	1.989	1.985	1.973	1.991	1.995	2.004	2.007	2.002	2.011	1.988	1.995	2.006	2.005	2.021
Cr	0.001	0.001	0.005	0.001	0.000	0.000	0.001	0.003	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000
Fe3	0.118	0.108	0.052	0.085	0.101	0.092	0.069	0.082	0.074	0.088	0.073	0.074	0.052	0.075	0.049
Fe2	2.158	2.168	2.208	2.199	2.160	2.169	2.208	2.177	2.188	2.204	2.223	2.209	2.244	2.239	2.266
Mn	0.321	0.322	0.320	0.321	0.322	0.323	0.311	0.312	0.305	0.290	0.286	0.267	0.253	0.253	0.276
Mg	0.355	0.349	0.345	0.343	0.359	0.357	0.335	0.355	0.358	0.346	0.348	0.362	0.339	0.332	0.283
Ca	0.112	0.112	0.106	0.107	0.112	0.108	0.108	0.111	0.111	0.109	0.112	0.127	0.134	0.136	0.141
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
almandina	73.25	73.47	74.12	74.04	73.15	73.35	74.54	73.67	73.87	74.74	74.87	74.50	75.56	75.64	76.40
piropo	12.05	11.83	11.58	11.55	12.16	12.07	11.31	12.01	12.09	11.73	11.72	12.21	11.41	11.22	9.54
esparatita	10.90	10.91	10.74	10.81	10.90	10.92	10.50	10.56	10.30	9.83	9.63	9.01	8.52	8.55	9.31
grossulária	-1.84	-1.40	0.77	-0.57	-1.04	-0.76	0.27	-0.31	0.18	-0.50	0.18	0.66	1.94	0.99	2.39
uvarovita	0.05	0.05	0.24	0.05	0.00	0.00	0.05	0.14	0.00	0.00	0.05	0.05	0.05	0.00	0.00
andradita	5.60	5.15	2.55	4.13	4.83	4.41	3.33	3.92	3.56	4.19	3.54	3.57	2.53	3.61	2.37

Nappe de Andreiândia -- SR-JR-1c
BIOTITA

Sample	bi next	bi next	bi next	bi 2b1	bi 2n1	bi 2n1	bi 2n1	bi 2n1	bi 2n1	bi 2n1	bi 3	bi 3	bi 3	bi 4	bi 4	bi 4	bi 4	bi 6	bi 7
SiO2	35.33	35.22	34.85	34.88	35.11	34.18	35.11	35.24	35.17	35.28	35.00	35.08	34.98	34.88	35.15	34.95	34.90	34.88	35.15
TiO2	3.61	3.63	3.46	3.50	3.72	3.56	3.66	3.53	3.62	3.57	3.60	3.67	3.58	3.62	3.64	3.66	3.80	3.54	3.55
Al2O3	20.57	20.31	19.79	19.80	20.16	19.48	20.13	20.04	20.06	20.24	19.88	19.76	20.31	19.81	19.95	20.07	19.86	20.18	20.19
Cr2O3	0.03	0.01	0.08	0.00	0.02	0.06	0.02	0.04	0.09	0.08	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05	0.09	0.09	0.06	0.03
Fe2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	20.81	21.54	20.99	21.66	21.66	21.73	21.60	21.83	21.62	21.77	21.80	21.86	21.30	21.96	21.46	21.27	21.34	21.32	21.54
MnO	0.11	0.06	0.08	0.06	0.10	0.12	0.10	0.09	0.07	0.14	0.09	0.05	0.07	0.13	0.08	0.09	0.10	0.13	0.13
MgO	7.50	7.27	7.72	7.53	7.79	7.27	7.54	7.51	7.49	7.62	7.64	7.41	7.77	7.33	7.44	7.52	7.57	7.66	7.17
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na2O	0.17	0.13	0.15	0.16	0.13	0.12	0.17	0.11	0.11	0.14	0.14	0.09	0.17	0.19	0.18	0.13	0.13	0.16	0.13
K2O	9.40	9.56	9.65	9.57	9.65	9.33	9.37	9.74	9.73	9.67	9.55	9.63	9.72	9.43	9.50	9.74	9.65	9.71	9.58
Totals	97.54	97.74	96.78	97.16	98.34	95.88	97.72	98.15	97.97	98.53	97.76	97.63	97.96	97.41	97.47	97.54	97.45	97.65	97.49
Oxygens	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Si	2.638	2.636	2.636	2.633	2.617	2.622	2.629	2.635	2.632	2.625	2.627	2.637	2.615	2.630	2.640	2.626	2.625	2.618	2.640
Ti	0.203	0.204	0.197	0.199	0.208	0.205	0.206	0.198	0.204	0.200	0.203	0.207	0.201	0.205	0.206	0.207	0.215	0.200	0.201
Al	1.811	1.793	1.765	1.762	1.772	1.762	1.777	1.766	1.770	1.776	1.759	1.752	1.790	1.761	1.767	1.778	1.761	1.786	1.788
Cr	0.002	0.001	0.004	0.000	0.001	0.004	0.001	0.003	0.006	0.005	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.006	0.005	0.003	0.002
Fe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe2	1.299	1.348	1.328	1.368	1.350	1.394	1.353	1.365	1.353	1.355	1.368	1.374	1.332	1.385	1.348	1.336	1.343	1.338	1.353
Mn	0.007	0.004	0.005	0.004	0.006	0.008	0.007	0.006	0.004	0.009	0.006	0.003	0.004	0.008	0.005	0.006	0.006	0.008	0.008
Mg	0.834	0.811	0.870	0.847	0.865	0.830	0.842	0.837	0.835	0.845	0.854	0.831	0.865	0.824	0.833	0.842	0.849	0.857	0.803
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.025	0.019	0.022	0.023	0.019	0.018	0.025	0.016	0.016	0.020	0.020	0.013	0.025	0.028	0.027	0.019	0.020	0.023	0.019
K	0.896	0.913	0.932	0.922	0.918	0.913	0.896	0.929	0.929	0.918	0.914	0.924	0.927	0.907	0.911	0.933	0.926	0.930	0.919
Sum	7.714	7.729	7.760	7.759	7.757	7.756	7.736	7.756	7.750	7.754	7.756	7.746	7.763	7.750	7.739	7.752	7.750	7.765	7.733

Sample	mu 1	mu 1	mu 2	mu 2	mu 2	mu 2	mu 3	mu 3	mu 3	mu 3	mu 4	mu 4	mu 4	mu 4
SiO2	1.42	1.27	47.11	47.37	47.35	47.52	47.73	47.63	47.40	47.14	47.28	47.67	47.43	47.51
TiO2	47.04	47.09	1.00	0.96	1.00	1.03	1.06	1.03	1.02	1.03	0.97	1.00	0.98	1.05
Al2O3	125.00	126.00	36.88	36.30	36.12	36.35	36.29	36.05	36.08	35.97	36.19	36.28	36.42	36.33
Cr2O3	36.40	36.48	0.06	0.06	0.01	0.03	0.08	0.06	0.03	0.07	0.06	0.06	0.08	0.01
Fe2O3	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
FeO	0.17	0.57	1.33	1.53	1.54	1.55	1.43	1.41	1.53	1.58	1.47	1.45	1.41	1.45
MnO	0.99	0.96	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02
MgO	10.02	9.79	0.52	0.65	0.64	0.67	0.64	0.69	0.69	0.69	0.64	0.65	0.59	0.66
CaO	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.00	0.03	0.01
Na2O	0.01	0.06	0.40	0.43	0.47	0.40	0.47	0.41	0.44	0.47	0.44	0.44	0.44	0.42
K2O	0.42	0.38	10.12	10.23	10.40	10.24	10.14	10.02	10.06	10.01	10.02	10.03	10.19	10.18
Totals	221.93	223.06	97.89	97.98	98.00	98.25	98.31	97.77	97.72	97.43	97.54	98.05	98.04	98.09
Oxygens	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Si	0.044	0.039	3.043	3.063	3.065	3.064	3.072	3.079	3.070	3.064	3.066	3.074	3.062	3.066
Ti	1.098	1.094	0.049	0.047	0.049	0.050	0.051	0.050	0.050	0.050	0.047	0.049	0.047	0.051
Al	4.573	4.588	2.809	2.766	2.756	2.762	2.754	2.748	2.755	2.756	2.767	2.758	2.772	2.764
Cr	0.893	0.891	0.003	0.003	0.001	0.001	0.004	0.003	0.001	0.004	0.003	0.003	0.004	0.001
Fe3	0.010	0.010	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022
Fe2	0.004	0.015	0.072	0.083	0.084	0.084	0.077	0.076	0.083	0.086	0.079	0.078	0.076	0.078
Mn	0.026	0.025	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001
Mg	0.464	0.451	0.050	0.063	0.062	0.065	0.062	0.066	0.067	0.067	0.062	0.063	0.057	0.063
Ca	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.000	0.002	0.001
Na	0.001	0.004	0.050	0.054	0.058	0.050	0.059	0.051	0.055	0.059	0.055	0.054	0.055	0.053
K	0.017	0.015	0.834	0.844	0.859	0.842	0.832	0.827	0.831	0.830	0.829	0.825	0.840	0.838
Sum	7.129	7.132	6.934	6.944	6.956	6.940	6.933	6.924	6.935	6.940	6.933	6.927	6.939	6.936

Nappe de Andreiândia -- SR-JR-1c
PLAGIOCLASIO

Sample	fsp 1.1n	fsp 1.2n	fsp 1.3b	fsp 1.4b	fsp 2.1n	fsp 2.2n	fsp 2.3b	fsp 2.4b	fsp 3.1n	fsp 3.2n	fsp 3.3b	fsp 3.4b	fsp 3.5b	fsp 4.1n	fsp 4.2n	fsp 4.3b	fsp 4.4b
SiO2	59.94	59.54	60.18	59.95	61.53	61.11	60.23	60.64	60.65	61.23	60.36	61.76	61.35	61.69	60.89	61.41	62.17
TiO2	0.05	0.08	0.00	0.04	0.02	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00	0.08	0.04
Al2O3	24.13	23.84	24.23	23.78	23.80	23.98	24.18	23.89	24.19	24.09	23.64	24.37	24.04	24.09	23.84	23.55	23.74
Cr2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.03	0.00	0.04	0.03
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
CaO	5.54	5.62	5.77	5.59	5.62	5.71	5.92	5.79	6.03	5.67	5.43	5.97	5.75	5.63	5.47	5.28	5.24
Na2O	8.22	8.37	8.25	8.34	8.23	8.41	8.32	8.12	8.21	8.23	8.55	8.30	8.32	8.34	8.23	8.70	8.62
K2O	0.26	0.23	0.28	0.22	0.19	0.22	0.21	0.23	0.18	0.25	0.21	0.26	0.19	0.17	0.17	0.11	0.14
Totals	98.14	97.70	98.70	97.92	99.38	99.42	98.87	98.70	99.28	99.49	98.22	100.66	99.65	99.97	98.60	99.17	99.98
Oxygens	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Si	2.714	2.712	2.711	2.721	2.745	2.731	2.710	2.728	2.715	2.732	2.729	2.726	2.732	2.737	2.738	2.748	2.754
Ti	0.002	0.003	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.003	0.001
Al	1.288	1.280	1.287	1.273	1.252	1.263	1.283	1.267	1.276	1.267	1.260	1.268	1.262	1.260	1.264	1.242	1.240
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.001	0.001	0.003	0.001	0.004	0.001	0.002	0.002	0.000	0.000	0.004
Fe2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.002	0.001
Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
Ca	0.269	0.274	0.279	0.272	0.269	0.274	0.286	0.279	0.289	0.271	0.263	0.282	0.274	0.268	0.263	0.253	0.249
Na	0.722	0.739	0.721	0.734	0.712	0.728	0.726	0.708	0.712	0.712	0.749	0.710	0.719	0.718	0.718	0.755	0.741
K	0.015	0.014	0.016	0.013	0.011	0.013	0.012	0.013	0.010	0.014	0.012	0.015	0.011	0.010	0.010	0.006	0.008
Sum	5.009	5.022	5.013	5.014	4.989	5.008	5.017	4.998	5.006	4.997	5.019	5.002	5	4.995	4.993	5.009	4.997
anortita	26.74	26.68	27.46	26.69	27.12	27.00	27.93	27.90	28.59	27.18	25.68	28.00	27.29	26.91	26.54	24.95	24.95
albita	71.77	71.96	70.96	72.03	71.77	71.72	70.90	70.80	70.43	71.41	73.14	70.51	71.61	72.09	72.45	74.46	74.25
ortoclásio	1.49	1.36	1.57	1.28	1.11	1.28	1.17	1.30	0.99	1.40	1.17	1.49	1.10	1.00	1.01	0.59	0.80

Nappe de André -- SR-JR-1c

Sample	fsp 5.1n	fsp 5.2n	fsp 5.3b	fsp 5.4b	fsp 5.5n	fsp 1	fsp 1	fsp 1	fsp 1	fsp 1	fsp 2	fsp 2	fsp 2	fsp 2	fsp 2	fsp 3	fsp 3	fsp 3
SiO2	61.20	60.94	61.46	61.21	61.90	61.46	61.33	61.49	61.78	61.04	60.85	60.79	60.44	61.70	61.67	61.63	61.41	61.95
TiO2	0.00	0.01	0.02	0.07	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al2O3	23.70	24.18	24.06	24.30	24.14	24.60	24.62	24.83	24.48	24.83	24.77	25.00	24.95	24.41	24.64	24.63	24.68	24.35
Cr2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.01	0.06	0.03	0.00	0.11	0.00	0.02	0.26	0.01	0.06	0.00	0.00
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	5.31	5.91	5.62	5.99	5.69	5.63	5.92	5.90	5.61	6.17	6.04	6.25	6.05	5.48	5.72	5.86	5.85	5.45
Na2O	8.55	8.15	8.46	8.26	8.32	8.09	8.00	7.99	7.96	7.63	7.82	7.66	7.53	8.17	8.01	7.73	7.96	8.33
K2O	0.20	0.19	0.15	0.23	0.21	0.19	0.24	0.19	0.21	0.20	0.21	0.22	0.24	0.11	0.17	0.21	0.17	0.17
Totals	98.97	99.39	99.78	100.05	100.3	100.03	100.13	100.47	100.07	99.86	99.81	99.93	99.22	100.13	100.21	100.12	100.06	100.26
Oxygens	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Si	2.744	2.723	2.734	2.719	2.738	2.724	2.719	2.716	2.734	2.711	2.707	2.701	2.702	2.731	2.727	2.727	2.721	2.738
Ti	0.000	0.000	0.001	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Al	1.253	1.274	1.262	1.272	1.259	1.286	1.287	1.293	1.277	1.300	1.299	1.310	1.315	1.274	1.285	1.285	1.289	1.269
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe3	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.002	0.000	0.002	0.001	0.000	0.004	0.000	0.001	0.009	0.000	0.002	0.000	0.000
Fe2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca	0.255	0.283	0.268	0.285	0.270	0.267	0.281	0.279	0.266	0.293	0.288	0.298	0.290	0.260	0.271	0.278	0.278	0.258
Na	0.743	0.707	0.730	0.711	0.714	0.695	0.688	0.685	0.684	0.657	0.675	0.660	0.653	0.701	0.686	0.663	0.684	0.714
K	0.011	0.011	0.009	0.013	0.012	0.011	0.014	0.011	0.012	0.011	0.012	0.013	0.014	0.006	0.009	0.012	0.010	0.009
Sum	5.007	4.998	5.003	5.004	4.994	4.985	4.989	4.985	4.974	4.973	4.985	4.981	4.974	4.981	4.979	4.967	4.981	4.989
anortita	25.27	28.27	26.61	28.25	27.11	27.44	28.59	28.62	27.65	30.49	29.54	30.69	30.30	26.89	28.05	29.17	28.60	26.30
albita	73.64	70.63	72.49	70.47	71.69	71.43	69.99	70.26	71.10	68.37	69.23	67.97	68.23	72.49	71.01	69.57	70.37	72.78
ortoclásio	1.09	1.10	0.89	1.29	1.20	1.13	1.42	1.13	1.25	1.14	1.23	1.34	1.46	0.62	0.93	1.26	1.03	0.92

Klippe de Carvalhos
AL-VI-63a
GRANADA

Sample	g 1	g 2	g 3	g 4	g 5	g 6	g 7	g 8	g 9	g 10	g 11	g 12	g 13
SiO2	38.27	38.39	38.36	37.74	38.28	37.93	38.10	38.04	38.01	38.06	37.68	38.00	38.22
TiO2	0.05	0.00	0.08	0.06	0.07	0.02	0.00	0.07	0.04	0.00	0.09	0.11	0.00
Al2O3	22.69	22.43	22.69	22.36	22.22	22.48	22.30	22.25	22.29	22.25	22.41	22.37	22.24
Cr2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe2O3	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.67	1.01	0.31	0.96	0.91	0.96
FeO	28.19	27.22	26.87	27.00	26.79	26.37	27.15	27.19	27.79	28.62	28.50	28.82	28.72
MnO	0.53	0.51	0.51	0.52	0.70	0.84	0.82	1.18	1.15	1.26	1.20	1.10	1.05
MgO	7.87	7.98	7.76	7.88	7.32	6.68	6.51	5.17	5.37	5.39	5.87	6.06	5.78
CaO	2.38	2.39	2.51	2.45	3.24	4.29	4.41	6.19	5.43	4.69	3.87	3.75	4.39
Na2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Totals	100.26	98.91	98.78	98.02	98.63	98.62	99.30	100.70	100.97	100.55	100.49	101.03	101.25
Oxygens	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Si	2.956	2.990	2.987	2.970	2.996	2.975	2.979	2.957	2.949	2.968	2.937	2.945	2.958
Ti	0.003	0.000	0.004	0.003	0.004	0.001	0.000	0.004	0.002	0.000	0.006	0.007	0.000
Al	2.066	2.059	2.083	2.074	2.050	2.079	2.056	2.039	2.039	2.046	2.059	2.044	2.029
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe3	0.017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.039	0.058	0.018	0.056	0.053	0.055
Fe2	1.821	1.773	1.750	1.777	1.754	1.730	1.775	1.768	1.804	1.867	1.858	1.868	1.859
Mn	0.035	0.033	0.033	0.035	0.046	0.056	0.055	0.078	0.075	0.083	0.079	0.072	0.069
Mg	0.906	0.926	0.901	0.924	0.854	0.781	0.759	0.599	0.621	0.626	0.682	0.700	0.666
Ca	0.197	0.199	0.209	0.207	0.272	0.361	0.369	0.516	0.452	0.392	0.323	0.311	0.364
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum	8.000	7.981	7.967	7.990	7.975	7.984	7.993	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
almandina	61.54	60.49	60.49	60.38	59.95	59.08	60.01	59.71	61.11	62.90	63.15	63.30	62.85
piropo	30.62	31.59	31.14	31.40	29.19	26.67	25.66	20.23	21.04	21.09	23.18	23.72	22.52
espassarita	1.18	1.13	1.14	1.19	1.57	1.91	1.86	2.63	2.54	2.80	2.69	2.44	2.33
grossulária	0.37	1.13	1.14	1.19	1.57	1.91	1.86	0.76	-0.23	1.92	0.04	-0.09	-0.31
andradita	0.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.88	2.77	0.87	2.65	2.53	2.64

Klippe de Carvalhos
AL-VI-63a
GRANADA

Sample	g 14	g 15	g 16	g 17	g 18	g 19	g 20	g 21	g 22	g 23
SiO2	37.03	37.76	37.82	37.87	38.63	38.30	38.16	38.37	38.61	37.82
TiO2	0.10	0.00	0.09	0.07	0.04	0.03	0.07	0.03	0.00	0.07
Al2O3	22.21	22.43	22.23	22.40	22.49	22.48	22.45	22.54	22.49	22.11
Cr2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe2O3	0.64	1.67	1.29	0.64	0.10	0.90	1.01	1.01	0.00	1.57
FeO	27.79	29.00	29.08	29.30	30.00	28.69	27.88	28.18	28.54	28.05
MnO	1.01	0.96	0.89	0.87	0.68	0.64	0.56	0.43	0.46	0.50
MgO	5.63	6.16	6.75	6.64	6.90	6.92	7.15	7.67	7.69	7.68
CaO	4.30	3.27	2.57	2.59	2.52	3.23	3.51	2.83	2.70	2.37
Na2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Totals	98.66	101.09	100.60	100.32	101.36	101.10	100.70	100.94	100.50	100.00
Oxygens	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Si	2.937	2.927	2.939	2.949	2.974	2.951	2.945	2.949	2.978	2.938
Ti	0.006	0.000	0.005	0.004	0.002	0.002	0.004	0.002	0.000	0.004
Al	2.076	2.050	2.037	2.056	2.042	2.043	2.043	2.042	2.045	2.025
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe3	0.038	0.097	0.075	0.038	0.006	0.052	0.058	0.058	0.000	0.092
Fe2	1.844	1.880	1.890	1.909	1.932	1.849	1.800	1.811	1.841	1.823
Mn	0.068	0.063	0.058	0.057	0.044	0.042	0.037	0.028	0.030	0.033
Mg	0.666	0.712	0.782	0.771	0.792	0.795	0.822	0.878	0.884	0.889
Ca	0.366	0.272	0.214	0.216	0.208	0.266	0.290	0.233	0.223	0.197
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
almandina	62.64	64.23	64.20	64.65	64.92	62.64	61.04	61.39	61.82	61.96
piropo	22.62	24.33	26.56	26.11	26.61	26.93	27.87	29.76	29.68	30.22
espassarita	2.31	2.15	1.97	1.93	1.48	1.42	1.25	0.95	1.01	1.12
grossulária	0.51	-2.37	-1.58	0.12	1.19	-1.06	-1.51	-1.81	1.01	-3.22
andradita	1.80	4.52	3.55	1.81	0.29	2.48	2.76	2.76	0.00	4.35

Klippe de Carvalhos
AL-VI-63a
BIOTITA

Sample	bi 1n	bi 1b	bi 1b2	bi 2n1	bi 3n1	bi 3n2
SiO2	36.49	36.70	36.58	37.00	37.92	37.02
TiO2	4.31	3.71	4.17	2.96	4.04	3.86
Al2O3	16.57	16.25	16.34	17.05	16.75	16.56
Cr2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	13.56	13.41	12.98	11.53	12.21	12.59
MnO	0.03	0.00	0.07	0.01	0.00	0.04
MgO	13.41	13.62	13.46	15.04	14.96	14.72
CaO	0.07	0.06	0.10	0.01	0.04	0.07
Na2O	0.09	0.08	0.09	0.09	0.10	0.10
K2O	9.04	9.31	8.54	9.42	9.49	9.36
Totals	93.56	93.14	92.34	93.12	95.52	94.34
Oxygens	11	11	11	11	11	11
Si	2.748	2.778	2.776	2.773	2.777	2.756
Ti	0.244	0.211	0.238	0.167	0.222	0.216
Al	1.472	1.451	1.462	1.507	1.446	1.453
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe2	0.854	0.849	0.824	0.723	0.748	0.783
Mn	0.002	0.000	0.005	0.000	0.000	0.003
Mg	1.505	1.536	1.522	1.680	1.632	1.633
Ca	0.005	0.005	0.008	0.001	0.003	0.005
Na	0.012	0.012	0.013	0.013	0.014	0.015
K	0.869	0.899	0.827	0.901	0.887	0.889
Sum	7.713	7.741	7.676	7.764	7.729	7.754

Klippe de Carvalhos
AL-VI-63a
FELDSPATO ALCALINO

Sample	fsp 1.1	fsp 1.2	fsp 2.1	fsp 2.2	fsp 2.3	fsp 3.1	fsp 3.2	fsp 4.1	fsp 4.2
SiO2	64.18	63.79	64.22	64.07	63.94	63.56	63.44	63.84	63.02
TiO2	0.01	0.00	0.05	0.07	0.00	0.01	0.02	0.00	0.05
Al2O3	18.80	18.76	18.80	18.87	18.77	18.56	18.72	18.56	18.34
Cr2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	0.00	0.04	0.00	0.03	0.00	0.00	0.03	0.02	0.02
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
CaO	0.30	0.40	0.35	0.28	0.44	0.19	0.34	0.04	0.12
Na2O	2.13	2.62	2.34	2.39	2.36	1.97	2.27	1.76	1.74
K2O	13.23	12.73	13.03	13.41	13.16	13.85	13.50	14.24	13.73
Totals	98.67	98.34	98.82	99.13	98.68	98.16	98.33	98.48	97.04
Oxygens	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Si	2.977	2.968	2.974	2.965	2.970	2.974	2.964	2.979	2.980
Ti	0.000	0.000	0.002	0.002	0.000	0.000	0.001	0.000	0.002
Al	1.028	1.029	1.026	1.029	1.028	1.024	1.031	1.021	1.023
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe3	0.000	0.002	0.001	0.001	0.000	0.002	0.000	0.002	0.000
Fe2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001
Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
Ca	0.015	0.020	0.018	0.014	0.022	0.009	0.017	0.002	0.006
Na	0.192	0.236	0.210	0.214	0.212	0.179	0.206	0.159	0.160
K	0.783	0.756	0.770	0.792	0.780	0.827	0.805	0.848	0.829
Sum	4.996	5.013	5.001	5.020	5.013	5.016	5.025	5.013	5.001
Or	79.09	74.70	77.15	77.65	76.92	81.48	78.31	84.04	83.32
Ab	19.39	23.32	21.04	20.98	20.91	17.64	20.04	15.76	16.08
A n	1.52	1.98	1.80	1.37	2.17	0.89	1.65	0.20	0.60

Klippe de Carvalhos
Amostra AL-VI-51b
GRANADA

Sample	g 29	g 30	g 31	g 1	g 2	g 3	g 4	g 5	g 6	g 7	g 8	g 9	g 10	g 11	g 12
SiO ₂	37.82	36.95	36.64	38.85	38.66	38.62	38.37	38.08	38.56	37.48	37.68	37.96	36.96	37.39	37.30
TiO ₂	0.07	0.12	0.17	0.02	0.12	0.07	0.12	0.20	0.14	0.19	0.08	0.14	0.10	0.01	0.08
Al ₂ O ₃	21.60	21.13	21.04	22.27	22.13	21.91	21.90	21.55	21.83	21.55	21.49	21.80	21.34	23.39	21.50
Fe ₂ O ₃	0.50	1.92	1.70	0.98	0.65	0.99	1.29	0.73	0.75	1.13	1.00	1.35	1.67	2.17	2.65
FeO	17.78	19.05	17.23	21.59	21.65	21.53	21.13	21.07	21.72	20.62	20.63	20.94	19.85	20.45	20.05
MnO	10.60	4.20	9.46	2.26	2.29	3.35	2.58	2.70	2.77	2.78	3.15	3.30	3.35	3.39	3.33
MgO	2.17	4.61	2.52	5.17	5.26	4.60	5.06	5.17	5.08	4.99	4.85	4.76	4.66	4.50	4.64
CaO	10.06	9.95	9.88	10.43	10.14	10.22	10.30	9.90	9.87	9.87	9.87	9.94	9.94	10.00	10.12
Totals	100.56	97.74	98.47	101.48	100.85	101.20	100.63	99.34	100.65	98.50	98.64	100.06	97.69	101.08	99.41
Oxygens	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Si	2.979	2.944	2.943	2.968	2.972	2.973	2.960	2.975	2.977	2.955	2.968	2.953	2.943	2.876	2.924
Ti	0.004	0.007	0.010	0.001	0.007	0.004	0.007	0.012	0.008	0.011	0.005	0.008	0.006	0.001	0.004
Al	2.006	1.984	1.992	2.006	2.005	1.989	1.992	1.985	1.987	2.002	1.996	1.999	2.004	2.122	1.987
Fe ₃	0.028	0.114	0.102	0.056	0.037	0.057	0.074	0.042	0.043	0.066	0.058	0.078	0.099	0.125	0.156
Fe ₂	1.172	1.270	1.158	1.381	1.393	1.387	1.364	1.377	1.403	1.360	1.360	1.363	1.322	1.316	1.315
Mn	0.707	0.283	0.643	0.146	0.149	0.219	0.169	0.178	0.181	0.186	0.210	0.218	0.226	0.221	0.221
Mg	0.255	0.548	0.301	0.589	0.602	0.528	0.582	0.602	0.585	0.586	0.570	0.552	0.552	0.515	0.543
Ca	0.849	0.849	0.850	0.854	0.835	0.844	0.852	0.829	0.816	0.833	0.833	0.828	0.848	0.824	0.850
Sum	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
almandina	39.29	43.05	39.23	46.50	46.76	45.97	46.12	47.00	45.87	45.75	46.03	44.84	46.57	45.76	44.90
piropo	8.55	18.58	10.20	19.83	20.21	19.62	20.16	19.60	19.76	19.17	18.64	18.72	17.73	17.91	18.54
espesartita	23.70	9.59	21.78	4.92	5.00	5.70	5.96	6.06	6.27	7.06	7.36	7.67	7.35	7.68	7.55
grossulária	27.08	23.35	23.92	26.04	26.22	25.13	25.69	25.22	24.90	25.20	24.21	24.06	25.56	23.09	21.74
andradita	1.38	5.43	4.87	2.72	1.81	3.58	2.07	2.12	3.19	2.82	3.76	4.71	2.79	5.56	7.28

Klippe de Carvalhos
Amostra AL-VI-51b
GRANADA

Sample	g 13	g 14	g 15	g 16	g 17	g 18	g 19	g 20	g 21	g 22	g 23	g 24	g 25	g 26	g 27	g 28
SiO2	38.56	38.16	37.86	37.83	38.17	37.53	38.38	38.66	38.45	38.13	38.08	38.05	37.83	37.79	37.34	38.03
TiO2	0.11	0.11	0.10	0.09	0.20	0.06	0.07	0.10	0.01	0.00	0.11	0.18	0.24	0.13	0.12	0.15
Al2O3	21.75	21.80	21.47	21.78	21.68	21.51	21.74	21.82	21.58	21.75	21.80	21.67	21.36	21.35	21.06	21.47
Fe2O3	0.91	1.90	1.17	1.73	1.53	1.28	0.97	0.41	1.37	0.77	1.31	1.79	1.56	0.73	1.14	1.68
FeO	21.47	20.95	20.77	20.71	21.23	20.45	21.31	21.63	21.18	21.25	21.10	21.10	19.93	18.86	19.46	21.00
MnO	3.35	3.25	3.19	3.00	2.92	2.77	2.70	2.79	2.70	2.72	2.59	2.51	4.88	8.26	5.58	3.77
MgO	4.69	4.73	4.77	4.88	4.91	5.00	5.02	5.04	5.11	4.98	5.13	5.12	4.26	2.94	3.95	4.46
CaO	10.12	10.19	10.02	10.02	10.05	9.96	10.11	10.05	10.11	9.92	9.95	10.05	10.12	10.02	9.84	10.00
Totals	100.87	100.92	99.24	99.88	100.56	98.44	100.20	100.47	100.38	99.45	99.94	100.30	100.03	100.02	98.39	100.42
Oxygens	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Si	2.978	2.946	2.968	2.945	2.955	2.959	2.975	2.989	2.976	2.977	2.958	2.948	2.957	2.979	2.971	2.958
Ti	0.006	0.007	0.006	0.005	0.012	0.003	0.004	0.006	0.001	0.000	0.006	0.011	0.014	0.008	0.007	0.009
Al	1.980	1.984	1.984	1.999	1.979	1.999	1.986	1.988	1.969	2.002	1.996	1.979	1.968	1.984	1.976	1.969
Fe3	0.052	0.110	0.068	0.101	0.089	0.075	0.056	0.023	0.079	0.044	0.076	0.104	0.091	0.042	0.067	0.098
Fe2	1.387	1.353	1.363	1.350	1.375	1.349	1.382	1.399	1.372	1.388	1.371	1.368	1.304	1.244	1.295	1.367
Mn	0.219	0.212	0.212	0.198	0.191	0.185	0.177	0.183	0.177	0.180	0.170	0.164	0.323	0.552	0.376	0.249
Mg	0.540	0.545	0.558	0.567	0.567	0.588	0.580	0.580	0.589	0.580	0.594	0.592	0.496	0.345	0.468	0.517
Ca	0.837	0.843	0.841	0.836	0.833	0.841	0.839	0.832	0.839	0.830	0.828	0.834	0.848	0.846	0.839	0.834
Sum	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
almandina	46.50	45.82	45.83	45.75	46.36	45.53	46.41	46.73	46.09	46.61	46.27	46.25	43.89	41.65	43.49	46.07
piropo	18.10	18.46	18.76	19.21	19.12	19.84	19.48	19.37	19.79	19.48	20.05	20.01	16.69	11.55	15.72	17.43
espesartita	7.34	7.18	7.13	6.71	6.44	6.24	5.94	6.11	5.95	6.04	5.74	5.54	10.87	18.48	12.63	8.39
grossulária	25.50	23.29	24.96	23.52	23.78	24.77	25.43	26.65	24.33	25.72	24.28	23.20	24.12	26.25	24.89	23.37
andradita	2.56	5.25	3.31	4.81	4.30	3.62	2.74	1.14	3.86	2.15	3.67	4.99	4.42	2.07	3.28	4.74

Klippe de Carvalhos
Amostra AL-VI-51b
BIOTITA

Sample	bi 1	bi 2	bi 3	bi 4	bi 5	bi 6n1	bi 6b1	bi 6b2	bi 6n2	bi 7n1	bi 7b1	bi 7b2	bi 8n1	bi 8n2	bi 8b1	bi 8b2	bi 9	bi 10
SiO2	37.04	36.52	36.56	36.70	37.10	36.76	36.31	36.91	36.55	37.13	36.97	37.15	36.52	36.39	36.45	36.89	36.30	36.80
TiO2	2.69	2.76	2.66	2.77	2.87	2.65	2.33	2.69	2.99	2.96	2.74	2.85	1.91	1.73	1.58	1.82	2.28	1.65
Al2O3	15.14	14.93	15.17	14.92	15.11	14.98	14.86	14.79	14.82	14.80	14.59	14.79	15.98	15.70	15.62	15.78	17.13	16.36
Cr2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe2O3	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71
FeO	16.14	16.99	16.87	16.80	16.68	17.48	17.12	16.87	18.04	17.71	17.18	17.13	16.13	16.09	15.74	15.69	13.67	16.41
MnO	0.14	0.15	0.20	0.15	0.13	0.27	0.20	0.25	0.24	0.29	0.22	0.22	0.27	0.33	0.31	0.26	0.41	0.30
MgO	14.04	14.50	13.78	13.83	13.75	13.52	13.83	13.89	13.38	13.35	13.77	13.26	14.24	14.24	13.95	14.38	14.42	14.05
CaO	0.00	0.07	0.02	0.06	0.01	0.06	0.00	0.01	0.00	0.01	0.06	0.00	0.00	0.00	0.05	0.02	0.02	0.03
Na2O	0.11	0.11	0.07	0.07	0.06	0.06	0.11	0.08	0.07	0.09	0.09	0.04	0.09	0.05	0.05	0.07	0.08	0.07
K2O	9.85	9.07	9.86	9.90	9.80	9.53	9.89	9.79	9.71	9.80	9.75	9.64	9.67	9.79	9.70	9.50	9.73	9.96
Totals	95.79	95.82	95.91	95.91	96.22	96.02	95.36	96.01	96.51	96.86	96.09	95.80	95.52	95.04	94.15	95.12	94.77	96.34
Oxygens	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Si	2.779	2.746	2.756	2.766	2.778	2.769	2.760	2.777	2.752	2.779	2.783	2.799	2.748	2.757	2.780	2.777	2.722	2.751
Ti	0.152	0.156	0.151	0.157	0.162	0.150	0.133	0.152	0.169	0.166	0.155	0.162	0.108	0.098	0.091	0.103	0.129	0.093
Al	1.339	1.323	1.348	1.325	1.334	1.331	1.332	1.312	1.316	1.306	1.295	1.314	1.418	1.403	1.405	1.400	1.514	1.441
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe3	0.041	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.041	0.040	0.040	0.040
Fe2	1.012	1.069	1.064	1.059	1.044	1.101	1.088	1.062	1.136	1.108	1.082	1.079	1.015	1.019	1.005	0.988	0.857	1.025
Mn	0.009	0.010	0.013	0.009	0.008	0.017	0.013	0.016	0.016	0.018	0.014	0.014	0.017	0.021	0.020	0.017	0.026	0.019
Mg	1.569	1.624	1.548	1.553	1.534	1.519	1.566	1.558	1.501	1.489	1.545	1.489	1.598	1.607	1.586	1.613	1.611	1.565
Ca	0.000	0.005	0.001	0.005	0.000	0.005	0.000	0.001	0.000	0.001	0.005	0.000	0.000	0.000	0.004	0.001	0.001	0.002
Na	0.015	0.016	0.011	0.011	0.009	0.009	0.015	0.012	0.010	0.013	0.013	0.006	0.013	0.007	0.008	0.009	0.012	0.010
K	0.943	0.870	0.948	0.952	0.937	0.916	0.959	0.940	0.932	0.936	0.936	0.926	0.928	0.947	0.944	0.912	0.931	0.950
Sum	7.860	7.860	7.879	7.877	7.847	7.858	7.909	7.871	7.873	7.857	7.869	7.829	7.886	7.901	7.883	7.861	7.844	7.897

Klippe de Carvalhos
Amostra AL-VI-51b
PLAGIOCLASIO

Sample	fsp 1.1	fsp 1.2	fsp 1.3	fsp 2.1	fsp 2.2	fsp 2.3	fsp 3.1	fsp 3.3	fsp 4.1	fsp 4.2	fsp 4.3	fsp 5.1	fsp 6g	fsp 7g	fsp 8g	fsp 9g	fsp 10op	fsp 12op	fsp 13op
SiO2	62.21	61.92	62.88	61.42	61.55	61.04	62.09	62.10	62.43	61.79	62.29	58.31	57.46	57.64	56.83	56.51	56.51	60.53	62.52
TiO2	0.05	0.00	0.01	0.00	0.00	0.08	0.06	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.10	0.02	0.02	0.00	0.06
Al2O3	24.00	24.29	23.91	23.61	23.20	24.40	23.68	23.73	23.20	23.74	23.68	26.60	27.22	27.60	26.24	26.97	26.97	24.85	23.52
Cr2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	0.00	0.02	0.02	0.03	0.00	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.01
MgO	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.14	0.01	0.01	0.00	0.02
CaO	5.30	5.40	5.00	5.09	4.80	5.56	4.93	4.87	4.64	5.07	4.84	8.12	9.15	9.04	7.33	8.89	8.89	6.12	4.68
Na2O	8.81	8.73	8.95	9.03	9.13	8.56	8.91	9.23	9.22	8.98	9.01	6.82	6.51	6.56	6.53	6.48	6.48	8.18	8.94
K2O	0.14	0.14	0.08	0.22	0.17	0.13	0.15	0.15	0.26	0.20	0.20	0.09	0.13	0.12	1.23	0.13	0.13	0.18	0.44
Totals	100.52	100.51	100.84	99.41	98.86	99.77	99.84	100.08	99.8	99.77	100.02	99.97	100.52	101	98.47	99.01	99.01	99.86	100.2
Oxygens	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Si	2.744	2.730	2.757	2.743	2.759	2.716	2.754	2.752	2.773	2.746	2.758	2.601	2.561	2.556	2.584	2.556	2.556	2.694	2.766
Ti	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.003	0.001	0.001	0.000	0.002
Al	1.248	1.262	1.236	1.243	1.226	1.280	1.239	1.239	1.215	1.243	1.236	1.399	1.430	1.443	1.407	1.438	1.438	1.304	1.227
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe3	0.004	0.009	0.008	0.005	0.007	0.002	0.005	0.004	0.003	0.006	0.006	0.008	0.006	0.005	0.015	0.006	0.006	0.003	0.004
Fe2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.010	0.001	0.001	0.000	0.001
Ca	0.251	0.255	0.235	0.243	0.230	0.265	0.234	0.231	0.221	0.241	0.230	0.388	0.437	0.429	0.357	0.431	0.431	0.292	0.222
Na	0.754	0.746	0.761	0.782	0.794	0.739	0.766	0.793	0.794	0.773	0.774	0.590	0.563	0.564	0.576	0.569	0.569	0.706	0.767
K	0.008	0.008	0.004	0.013	0.010	0.007	0.008	0.009	0.015	0.011	0.011	0.005	0.007	0.007	0.071	0.008	0.008	0.010	0.025
Sum	5.009	5.011	5.002	5.030	5.026	5.013	5.009	5.027	5.022	5.021	5.014	4.992	5.005	5.005	5.025	5.009	5.009	5.010	5.013
Anortita	24.78	25.27	23.50	23.41	22.24	26.21	23.21	22.36	21.46	23.51	22.66	39.47	43.40	42.90	35.56	42.76	42.76	28.97	21.89
Albíta	74.43	73.93	76.10	75.34	76.79	73.10	75.99	76.77	77.09	75.41	76.26	60.02	55.91	56.40	57.37	56.45	56.45	70.04	75.64
Ortoclásio	0.79	0.79	0.40	1.25	0.97	0.69	0.79	0.87	1.46	1.07	1.08	0.51	0.70	0.70	7.07	0.79	0.79	0.99	2.47

Klippe de Carvalhos
Amostra AL-VI-51b
CLINOPIROXENIO

[illegible]

Klippe de Carvalhos
Amostra AL-VI-51b
FELDSPATO ALCALINO

Sample	fsp 1.1	fsp 1.2	fsp 1.3	fsp 2.1	fsp 2.2	fsp 3.1m	fsp 3.2m	fsp 3.3m	fsp 4.1	fsp 4.2	fsp 4.3	fsp 11(5)a
SiO2	64.21	63.63	64.38	63.56	63.57	63.58	64.07	64.36	64.47	63.89	63.56	63.88
TiO2	0.03	0.00	0.00	0.00	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05
Al2O3	18.48	18.63	18.61	18.55	18.39	18.64	18.49	18.51	18.56	18.40	18.42	18.54
Cr2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.02	0.01	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00
CaO	0.10	0.03	0.04	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Na2O	1.83	1.79	2.75	1.31	1.37	1.73	1.46	1.47	1.32	1.39	1.25	1.28
K2O	14.18	14.26	12.37	14.67	14.57	14.59	14.96	14.82	14.74	14.61	14.77	14.76
Totals	98.87	98.35	98.16	98.11	97.97	98.59	99.01	99.21	99.11	98.31	98.03	98.53
Oxygens	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Si	2.984	2.975	2.990	2.980	2.984	2.972	2.982	2.987	2.990	2.989	2.983	2.983
Ti	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
Al	1.012	1.027	1.019	1.025	1.018	1.027	1.015	1.013	1.015	1.015	1.019	1.021
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe3	0.002	0.001	0.000	0.002	0.002	0.000	0.002	0.000	0.002	0.001	0.004	0.000
Fe2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000
Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
Ca	0.005	0.002	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.165	0.162	0.248	0.119	0.125	0.157	0.131	0.132	0.119	0.126	0.114	0.116
K	0.841	0.850	0.733	0.877	0.873	0.870	0.889	0.877	0.872	0.872	0.884	0.879
Sum	5.011	5.018	4.992	5.005	5.004	5.028	5.020	5.012	4.998	5.003	5.005	5.003

Klippe de Carvalhos
Amostra AL-VI-51b
HORNBLENDA (matriz e bordas de reação)

Sample	amph 12-1b	amph 12-2n	amph 12-3n	amph 12-4b	amph 12-5b	amph 13-1b	amph 13-2n	amph 13-3b	amph 14-1n	amph 14-2n	amph 14-1b	amph 14-2b	amph 15
SiO2	40.53	40.61	41.02	41.79	41.44	41.88	41.46	42.29	41.57	42.26	41.73	42.39	39.82
TiO2	0.58	0.87	0.86	0.69	0.75	0.77	0.89	0.81	0.88	0.83	0.90	1.00	0.53
Al2O3	13.51	13.08	12.85	12.65	13.21	11.68	11.85	11.41	12.01	11.67	11.91	11.79	14.95
Cr2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
Fe2O3	4.41	4.40	4.70	4.39	3.82	4.23	5.89	3.68	4.66	3.41	4.06	3.64	4.37
FeO	13.48	12.98	13.17	12.98	13.68	13.20	11.51	13.38	13.02	13.66	13.26	13.62	13.15
MnO	0.51	0.52	0.47	0.53	0.50	0.51	0.44	0.54	0.53	0.43	0.49	0.59	0.44
MgO	9.73	10.08	10.21	10.46	9.96	10.50	10.46	10.58	10.45	10.67	10.50	10.48	9.36
CaO	12.26	11.89	12.09	12.38	12.16	12.08	12.52	12.19	12.13	12.35	12.02	12.04	12.05
Na2O	1.55	1.55	1.54	1.55	1.47	1.52	1.49	1.45	1.48	1.55	1.50	1.48	1.63
K2O	1.76	1.74	1.76	1.46	1.68	1.45	1.53	1.40	1.56	1.50	1.60	1.48	1.63
Totals	97.85	97.28	98.22	98.44	98.27	97.40	97.45	97.36	97.83	97.98	97.56	98.14	97.5
Oxygens	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
Si	6.103	6.133	6.143	6.220	6.193	6.303	6.221	6.361	6.237	6.326	6.274	6.330	5.999
Ti	0.066	0.099	0.097	0.077	0.085	0.087	0.100	0.092	0.099	0.094	0.102	0.113	0.060
Al	2.398	2.329	2.269	2.220	2.327	2.072	2.096	2.023	2.124	2.060	2.112	2.076	2.656
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe3	0.500	0.500	0.531	0.492	0.430	0.480	0.666	0.417	0.527	0.384	0.460	0.410	0.496
Fe2	1.697	1.639	1.650	1.616	1.710	1.662	1.444	1.683	1.633	1.710	1.667	1.700	1.656
Mn	0.064	0.067	0.060	0.067	0.063	0.065	0.056	0.069	0.068	0.054	0.063	0.075	0.056
Mg	2.183	2.269	2.279	2.321	2.218	2.354	2.338	2.372	2.336	2.380	2.352	2.331	2.102
Ca	1.978	1.924	1.940	1.974	1.947	1.948	2.012	1.964	1.950	1.982	1.937	1.926	1.945
Na	0.452	0.454	0.448	0.446	0.425	0.445	0.434	0.424	0.432	0.449	0.437	0.427	0.476
K	0.337	0.335	0.337	0.277	0.320	0.277	0.294	0.268	0.299	0.286	0.308	0.281	0.313
Sum	15.951	15.921	15.937	15.879	15.865	15.860	15.892	15.816	15.886	15.858	15.870	15.810	15.932

Klippe de Carvalhos
 Amostra AL-VI-51b
 HORNBLENDA (matriz e bordas de reação)

Sample	amph 16	amph 17	amph 18	amph 19	amph 19-2	amph 20-1	amph 20-2	amph 20-3	amph 20-4	amph 21-1	amph 21-2
SiO2	39.88	40.05	39.82	42.67	47.47	41.94	42.27	41.82	42.62	42.74	41.15
TiO2	0.40	0.47	0.30	0.70	0.22	1.07	0.91	1.13	0.85	0.87	1.08
Al2O3	15.22	14.96	14.93	10.99	8.23	11.64	12.08	11.92	11.24	11.23	11.70
Cr2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe2O3	4.07	3.60	4.53	4.03	16.57	3.63	4.61	3.61	4.54	3.79	3.16
FeO	12.99	13.18	12.47	13.58	0.00	13.73	13.97	14.27	13.32	13.41	13.76
MnO	0.45	0.45	0.50	0.37	0.43	0.38	0.40	0.40	0.39	0.33	0.38
MgO	9.50	9.50	9.65	10.74	12.72	10.57	10.38	10.18	10.79	10.80	10.27
CaO	12.13	12.15	12.14	12.21	13.45	12.33	12.26	11.82	12.24	11.99	11.96
Na2O	1.66	1.60	1.63	1.51	0.97	1.54	1.55	1.58	1.54	1.49	1.55
K2O	1.67	1.64	1.62	1.35	0.75	1.48	1.62	1.63	1.29	1.30	1.54
Totals	97.55	97.24	97.14	97.74	99.14	97.94	99.58	97.99	98.36	97.58	96.24
Oxygens	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
Si	5.998	6.040	6.007	6.396	6.670	6.289	6.247	6.280	6.345	6.398	6.283
Ti	0.045	0.054	0.034	0.079	0.024	0.120	0.101	0.128	0.096	0.098	0.125
Al	2.699	2.659	2.655	1.941	1.364	2.058	2.104	2.110	1.973	1.982	2.107
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe3	0.461	0.409	0.515	0.455	1.752	0.410	0.514	0.409	0.509	0.427	0.363
Fe2	1.633	1.662	1.573	1.702	0.000	1.721	1.726	1.791	1.658	1.679	1.757
Mn	0.057	0.057	0.064	0.047	0.051	0.048	0.050	0.050	0.049	0.042	0.049
Mg	2.129	2.136	2.170	2.398	2.664	2.362	2.285	2.278	2.393	2.410	2.337
Ca	1.955	1.963	1.963	1.960	2.025	1.981	1.941	1.901	1.952	1.923	1.956
Na	0.484	0.468	0.475	0.438	0.264	0.449	0.443	0.460	0.443	0.432	0.460
K	0.320	0.315	0.312	0.259	0.134	0.284	0.305	0.311	0.246	0.248	0.301
Sum	15.939	15.905	15.946	15.832	15.539	15.864	15.895	15.860	15.838	15.786	15.863

Klippe de Carvalhos
Amostra AL-VI-51b
HORNBLENDA (porfiroblasto)

Sample	amph 1	amph 2	amph 3	amph 4	amph 5	amph 6	amph 7	amph 8	amph 9	amph 10	amph 11
SiO2	42.47	41.45	41.43	41.75	42.15	40.43	41.13	41.90	41.31	41.27	43.25
TiO2	1.04	1.09	1.06	0.77	0.94	1.15	0.96	1.15	1.10	0.89	0.79
Al2O3	11.46	11.92	12.61	12.20	12.27	12.70	12.72	12.52	12.41	12.30	11.08
Cr2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe2O3	2.92	2.92	2.92	2.92	2.92	2.92	2.92	2.92	2.92	2.92	2.92
FeO	14.16	17.23	17.62	17.24	17.32	16.72	17.14	16.70	16.99	16.93	16.63
MnO	0.25	0.30	0.34	0.23	0.21	0.23	0.26	0.27	0.21	0.25	0.27
MgO	10.61	10.37	10.29	10.53	10.34	10.42	10.31	10.31	10.31	10.47	11.37
CaO	12.29	12.23	12.27	12.29	12.30	12.38	12.35	12.05	12.27	12.34	12.49
Na2O	1.49	1.57	1.58	1.59	1.53	1.58	1.64	1.37	1.57	1.64	1.40
K2O	1.45	1.45	1.58	1.59	1.52	1.73	1.71	1.86	1.60	1.75	1.31
Totals	97.84	100.52	101.71	101.10	101.51	100.27	101.16	101.06	100.70	100.75	101.51
Oxygens	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
Si	6.365	6.168	6.104	6.174	6.198	6.040	6.089	6.179	6.131	6.131	6.326
Ti	0.117	0.122	0.118	0.085	0.104	0.130	0.107	0.128	0.123	0.099	0.086
Al	2.024	2.090	2.191	2.126	2.127	2.237	2.221	2.177	2.171	2.154	1.911
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe3	0.330	0.327	0.324	0.325	0.323	0.328	0.325	0.324	0.326	0.327	0.322
Fe2	1.775	2.144	2.171	2.132	2.130	2.089	2.123	2.060	2.109	2.103	2.034
Mn	0.031	0.038	0.043	0.029	0.026	0.030	0.033	0.033	0.027	0.031	0.033
Mg	2.370	2.299	2.260	2.320	2.266	2.319	2.276	2.266	2.281	2.317	2.480
Ca	1.973	1.950	1.937	1.947	1.938	1.982	1.960	1.905	1.951	1.964	1.957
Na	0.432	0.452	0.451	0.456	0.436	0.458	0.471	0.393	0.453	0.472	0.398
K	0.277	0.275	0.297	0.300	0.286	0.329	0.324	0.350	0.303	0.332	0.245
Sum	15.809	15.865	15.895	15.894	15.834	15.942	15.929	15.814	15.876	15.932	15.793

DOAÇÃO
<i>IGC-USP</i>
Data: <i>07/05/08</i>

