

Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Graduação em Geologia

ANÁLISE DA RELAÇÃO DEFORMAÇÃO - METAMORFISMO EM ROCHAS PELÍTICAS
DA NAPPE DE LUMINÁRIAS, SUL DE MINAS GERAIS

Edson Ricardo Maia Ferraz

Prof. Dr. George Luiz Luvizotto (orientador)

Rio Claro (SP)

2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Câmpus de Rio Claro

EDSON RICARDO MAIA FERRAZ

**ANÁLISE DA RELAÇÃO DEFORMAÇÃO - METAMORFISMO EM ROCHAS
PELÍTICAS DA NAPPE DE LUMINÁRIAS, SUL DE MINAS GERAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Geólogo.

Rio Claro - SP

2015

552 Ferraz, Edson Ricardo Maia
F381a Análise da relação deformação-metamorfismo em rochas
pelíticas da Nappe de Luminárias, Sul de Minas Gerais /
Edson Ricardo Maia Ferraz. - Rio Claro, 2015
112 f. : il., figs., tabs., mapas

Trabalho de conclusão de curso (Geologia) - Universidade
Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas
de Rio Claro

Orientador: George Luiz Luvizotto

1. Petrologia. 2. Petrologia metamórfica. 3. Metamorfismo
de alta pressão. 4. Microtectônica. I. Título.

EDSON RICARDO MAIA FERRAZ

ANÁLISE DA RELAÇÃO DEFORMAÇÃO - METAMORFISMO
EM ROCHAS PELÍTICAS DA NAPPE DE LUMINÁRIAS, SUL DE
MINAS GERAIS

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de
Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio
Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de
Mesquita Filho, para obtenção do grau de Geólogo.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. George Luiz Luvizotto (orientador)

Prof. Dr. Antenor Zanardo

Prof. Luiz Sérgio Amarante Simões

Rio Claro, 22 de janeiro de 2016.



Assinatura do (a) aluno(a)

assinatura do (a) orientador(a)

Dedico este trabalho aos meus pais, Cida e Edinho.

Agradecimentos

Sobre a conclusão do curso, agradeço aos meus pais, Cida e Edinho, por todo apoio e amor. Aos meus professores de Geologia da Unesp, em especial ao atento professor, orientador, amigo e eterno jovem George, ao professor Antenor, fonte de instigações e conhecimento, amigo e sempre um apoio desde os meus primeiros dias de Rio Claro, ao professor Luiz Simões, grande influência sobre minha visão geológica e inspiração para os trabalhos de campo e ao professor Norberto, figura de raciocínio geológico sensato e preciso que muito me influenciou. Também ao professor Karl Karlstrom da University of New Mexico, cuja clareza das palavras tornou ainda mais forte minha paixão pela Geologia.

Sobre este trabalho, mais uma vez agradeço ao professor George pela paciência e orientação. A Regiane, constantemente dedicada e fundamental para realização deste trabalho e ao professor Renato Moraes pelas breves e valiosas discussões.

E por fim agradeço aos amigos que fiz durante a graduação. Sem eles eu seria certamente uma pessoa pior.

Resumo

As condições de P e T e as estruturas deformacionais em uma zona de metamorfismo de alta pressão, na Faixa Brasília, foram examinadas com foco em petrologia, termodinâmica e microtectônica dos metapelitos de alto alumínio e rochas metassedimentares associadas a Nappe de Luminárias, sul de Minas Gerais. As assembleias minerais presentes nos metapelitos são $\text{Cld}+\text{Ky}+\text{St}+\text{Ms}$, $\text{St}+\text{Cld}+\text{Ms}+\text{Grt}$ e $\text{Grt}+\text{St}+\text{Ky}+\text{Bt}+\text{Ms}$. As condições de P e T foram estimadas por pseudosseções dos sistemas químicos KFMASH e KFMASHTO e a temperatura de pico metamórfico foi calculada por termometria de Zr nos rutilos. Os resultados mostram que as rochas da porção norte da área de estudos sofreram um metamorfismo da fácies anfibolito médio ($T=590^{\circ}\text{C}\pm 60^{\circ}\text{C}$ e $P=8,3\pm 1,8$ kbar; $T=570^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$ e $P=10\pm 4,8$ kbar) e que as rochas da região sul foram submetidas a um metamorfismo no limite entre as fácies anfibolito e eclogito ($T=608^{\circ}\text{C}\pm 47^{\circ}\text{C}$ e $P=11,8\pm 2,8$ kbar). Os valores de temperatura obtidos baseados no conteúdo de Zr foram 575°C e 636°C , norte e sul da área, respectivamente. Existem quatro fases de deformação dúctil registradas na área (D_1 , D_2 , D_3 e D_4). O pico metamórfico está associado com a fase D_2 , interpretada como responsável pelo transporte da nappe. Estes dados permitem dizer que estas rochas estiveram soterradas em profundidades aproximadamente entre 34 km a 43 km no interior do Orógeno Brasília. Não foram reconhecidas sillimanitas possivelmente associadas a atuação da Faixa Ribeira sobre a área.

Palavras-chave: Nappe de Luminárias, metamorfismo de alta pressão, microtectônica

Abstract

The metamorphic *P-T* conditions and their deformational structures of a high-pressure metamorphism zone were examined focusing on the petrology, thermodynamics and microtectonics of high-Al metapelitic rocks and metasedimentary rocks associated to the Luminárias Nappe, Southern Minas Gerais. The mineral assemblages found in the metapelites were Cld+Ky+St+Ms, St+Cld+Ms+Grt and Grt+St+Ky+Bt+Ms. The *P-T* conditions were calculated by pseudosections for the systems KFMASH and KFMASHTO and peak metamorphic temperatures were calculated by thermometry of the Zr in rutile. The results show that rocks on the northern portion of the study area underwent a medium amphibolite facies metamorphism ($T=590^{\circ}\text{C}\pm 60^{\circ}\text{C}$ e $P=8.3\pm 1.8$ kbar; $T=570^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$ e $P=10\pm 4.8$) and the southern rocks were metamorphosed at the boundary of amphibolite and eclogite facies ($T=608^{\circ}\text{C}\pm 47^{\circ}\text{C}$ e $P=11.8\pm 2.8$ kbar). The temperature values obtained based on the Zr-content were 575°C e 636°C , northern and southern areas, respectively. There are four ductile deformational phases in the area (D_1 , D_2 , D_3 e D_4). The metamorphic peak event is related to the D_2 phase, interpreted as responsible for the nappe emplacement. These data allow us to say that these rocks were overburden at a depth approximately of 34 km up to 43 km within the Brasília Orogen. Sillimanites possibly related to the late interaction of the Ribeira Belt over the area were not recognized.

Palavras-chave: Luminárias Nappe, high-pressure metamorphism, microtectonics

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1.** Na parte superior, mapa com a localização de Luminárias – MG e suas principais vias de acesso; na parte inferior, imagem aérea da área de estudo (limite aproximado da área estudada marcado por linha tracejada; fonte da imagem de satélite Landsat: Google Earth). 4
- Figura 3.1.** Configuração da porção sul da borda meridional do Cráton do São Francisco, na porção limítrofe entre as faixas, Brasília (FB) e Ribeira (FR) (Trouw et al., 2000; Heilbron et al., 2004, 2008). 11
- Figura 3.2.** Mapa estrutural simplificado da extremidade sul do Orógeno Brasília, com a discriminação das nappes. 13
- Figura 4.1.** Coluna estratigráfica da Megassequência Andrelândia (Retirada de Silva, 2010; modificada anteriormente de Paciullo *et al.*, 2003). 14
- Figura 4.2.** A – Afloramento de quartzito rico em feldspato com biotita (metapsamito) (Ponto LR-13). B – Afloramento de estaurolita-granada xisto intemperizado em pavimento de estrada (Ponto LR-11). C – No centro, um porfiroblasto de granada subédrica em estaurolita-granada xisto (lâmina LR-11). D – Metapsamito com Bt e Ep. (Lâmina LR-13). C-D Fotomicrografias obtidas com microscópio óptico com luz transmitida e polarizadores cruzados. 15
- Figura 4.3.** A - Extração de quartzitos da unidade Na3 em lavra a céu aberto para a produção de rochas ornamentais (Ponto LR-27). B – Afloramento de quartzitos à beira da estrada, próximo ao contato com a unidade Na4 (Ponto LR-20). C – Morro com encosta íngreme composto por quartzitos da unidade Na3 (visão a partir do ponto LR-32). 16
- Figura 4.4.** A – Fotomicrografia de quartzito localizado no norte da área de estudos (Lâmina LR-15). B – Granulação maior dos quartzos em quartzitos no extremo sul da área (Lâmina LR-48). Imagens obtidas com microscópio óptico com luz transmitida e polarizadores cruzados. 17
- Figura 4.5.** A – Afloramento de xistos bastante alterados com níveis quartzíticos subordinados em corte de estrada (Ponto LR - 01). B – Afloramento de xistos da unidade Na4 em cachoeira (Ponto LR-10). 17
- Figura 4.6.** A – Amostra de estaurolita-cloritoide xisto (LR-05). B – Amostra de cloritoide-estaurolita xisto com porfiroblastos de granada (LR-10C). 18
- Figura 4.7.** A – Fotomicrografia do metapelito da unidade Na4 mostrando os porfiroblastos subédricos de estaurolita (St) e granada (Grt) em rocha localizada no norte da área de estudos (Lâmina LR-10E). B – Fotomicrografia do metapelito da unidade Na4 com textura

nematoblástica constituída por prismas alongados de St, porfiroblastos de Grt, cristais anedrais de turmalina (Tur) e com matriz também composta de quartzo e muscovita situada no sul da área (Lâmina LR-44C). C – Fotomicrografia mostrando os cristais de St crescidos sobre cloritoide (Cld), há também clorita (Chl) associada (Lâmina LR-10E). D – Fotomicrografia de porfiroblastos de cianita (Ky) e St em nível rico em muscovita (Ms) da amostra LR-44C.

Imagens obtidas com microscópio óptico usando luz transmitida e polarizadores paralelos. 19

Figura 4.8. A – Afloramento de xistos da unidade Na5 em pequena queda d’água (Ponto LR-09). B – Amostra de granada-biotita xisto porfiroblástico (LR-08). C – Xisto crenulado com textura lepidoblástica formada por biotita (cristais placoides marrons), quartzo e pouca muscovita (Ms) do granada-biotita xisto porfiroblástico (Lâmina LR-08). D – Destaque para as cores de interferência maiores dos cristais de muscovita. C e D são fotomicrografias obtidas com microscópio óptico com luz transmitida e polarizadores descruzados (C) e cruzados (D). 20

Figura 5.1. Microdobras D_2 no interior de micrólitos em xistos com clivagem de crenulação. 22

Figura 5.2. Quartzito micáceo com foliação S_1 (linha tracejada vermelha) dobrada isoclinalmente por D_2 com plano axial marcado pela linha tracejada azul. Linhas contínuas pretas marcam S_0/S_1 . Cópia digital da seção delgada LR-15 obtida com scanner. O contraste da imagem foi aumentado para salientar as linhas da imagem. 23

Figura 5.3. A – Quartzito com clorita e muscovita de S_1 dobradas por D_2 (LR-13). Imagem obtida com microscópio óptico com luz transmitida e polarizadores paralelos. B - Xisto com clivagem de crenulação (S_1 dobrada por D_2) observada em amostra de mão. A seta azul aponta para S_1 dobrada por D_2 . Ponto LR-19. 24

Figura 5.4. Diferentes morfologias de foliação desenvolvidas em D_2 . A – Clivagem de crenulação em muscovita-granada xisto (LR-44A). B – Foliação disjuntiva em muscovita-quartzo xisto (LR-09). Imagens obtidas com microscópio óptico com luz transmitida e nicóis cruzados. 25

Figura 5.5. Estereograma dos pólos dos planos da foliação S_2 com direção preferencial N-S e mergulho de 20° para oeste. 26

Figura 5.6. Interpretação para o dobramento D_2 baseada no padrão de deformação e nos contatos do mapa elaborado por Trouw *et al.* 2013. Esta interpretação envolve inversão de flancos e esta geometria está cartografada no referido mapa, porém uma maior consistência de dados é necessária para validar esta ideia. Visão N-S a partir do ponto LR-30. B - Pequenas dobras D_2

em M marcadas por micas em quartzito (Ponto LR-15). C - Dobra recumbente e isoclinal D₂ em quartzo-xisto (Ponto LR – 02). 27

Figura 5.7. Estereograma das lineações de estiramento e minerais. A direção preferencial é E-W e as duas lineações ocorrem paralelamente. 28

Figura 5.8. Modelo de desenvolvimento das dobras isoclinais com provável formação de dobras em bainha da fase D₂. Linhas amarelas são o contorno estrutural da dobra. Linhas tracejadas roxas indicam a direção das lineações de estiramento e mineral, enquanto que as setas indicam o sentido do transporte (W-E). Linha tracejada verde indica o dobramento do eixo. 28

Figura 5.9. À esquerda, porfiroblasto de granada com feição de contorno de foliação assimétrica com transporte de topo dextral para E (Lâmina LR-17). À direita, boudin de quartzito (linha tracejada azul) em xisto intercalado com níveis de quartzito e no inferior direito, posicionamento dos eixos X e Z do elipsoide de deformação mostrando estiramento E-W (Ponto LR-02). 29

Figura 5.10. A – Crenulação D₃ desenvolvida sobre S₂. B – Linhas amarelas tracejadas marcam S₁ dobrada por D₂ e redobradas por D₃ (linha tracejada verde). Imagens obtidas a partir da lâmina LR-08 usando microscópio óptico com luz transmitida e polarizadores cruzados. 30

Figura 5.11. Padrão de interferência do tipo caixa de ovos. Linha tracejada amarela marca a lineação de estiramento D₂. Linhas contínuas laranja e verde marcam intersecções dos planos axiais D₃ e D₄ com a superfície S₂. 30

Figura 5.12. Estereograma dos eixos das dobras pós-D₂. Os eixos das dobras são perpendiculares entre si e com baixo caimento predominantemente para sul e oeste. 31

Figura 6.1. Pseudosseção do sistema químico KFMASH calculada por Fumes *et. al.*, (2015) a partir da amostra de xisto metapelítico LR-10B. 33

Figura 6.2. A – Cristal anedral de estauroлита com textura de substituição retrometamórfica (mineral amarelado no interior da elipse. Os cristais placoides subédricos verdes são cloritas e os azuis são cloritoides. B – Cristal anedral de cianita (Ky) com hábito granular. Fotomicrografias da Lâmina LR-05 a partir de microscópio óptico com luz transmitida e polarizadores paralelos. 34

Figura 6.3. Cristais de St crescidos sobre porfiroclasto de Cld. Os cristais de Cld, assim como a St, exibem cloritização nas bordas. No canto inferior esquerdo, ocorre um grande cristal anedral de apatita (Ap). Fotomicrografias da lâmina LR-10E obtidas através de microscópio óptico com luz transmitida e polarizadores paralelos (A) e cruzados (B). 35

Figura 6.4. A – Porfiroblasto euédrico de Grt com bordas com poucas inclusões associados com porfiroblastos de St subédricos. A matriz é composta por cristais de quartzo, muscovita (cristais placoides incolores) e biotita (minerais placoides de cor marrom). B – Porfiroblasto de granada também com poucas inclusões nas bordas. No centro da imagem, um porfiroclasto de Cld. As setas roxas indicam cristais de biotita. A e B são fotomicrografis obtidas através de microscópio óptico com luz transmitida e polarizadores paralelos. 36

Figura 6.5. A – Textura nematoblástica marcada por cristais de St (prismas alongados e amarelos). B – Detalhe das inclusões em porfiroblasto de granada, as inclusões com formato alongado e de coloração cinza escuro são estauroilitas (Imagem com MEV da lâmina LR-44C). C – Pequeno cristal de Ky em matriz rica em St, outros minerais da matriz são muscovita, quartzo e biotita. D – No centro da imagem, Ky com textura de dissolução. A, C e D são fotomicrografias obtidas através de microscópio óptico com luz transmitida e polarizadores paralelos da lâmina LR-44C. 37

Figura 6.6. Pseudosseção do sistema químico KFMASHTO calculada por Fumes *et al.*, (2015), observar que a adição dos componentes TiO_2 e O_2 elevam as pressões dos campos de estabilidade. Os algarismos romanos em amarelo representam as mesmas associações minerais citadas ao longo do texto com a adição de rutilo (Rt). 38

Figura 7.1. Perfis para X_{Mg} (atoms per formula unit, a.p.f.u) em porfiroblastos de estauroilita da amostra LR-10E. 41

Figura 7.2. Perfis para X_{Mg} (a.p.f.u) para os porfiroblastos E1 e E3 de estauroilita na amostra LR-44C. A St E1 exhibe um aumento de Mg em direção ao centro, já a St E3 registra uma diminuição de Mg na mesma direção. 42

Figura 7.3. Diagramas binários Mg e Fe^{2+} versus $Fe^{2+} + Mg$ (a.p.f.u). 43

Figura 7.4. Perfis composicionais das granadas G1 (A) e G2 (B) na amostra LR-10E. Alm, almandina; Prp, piropo; Sps, esperssatita; Grs, grossulária. 45

Figura 7.5. Perfis composicionais da granada G1 da amostra LR-44C. A-B é o perfil longitudinal (à esquerda) e C-D é o perfil latitudinal (à direita). Alm, almandina; Prp, piropo; Sps, esperssatita; Grs, grossulária. 46

Figura 7.6. Perfil composicional da granada G2 da amostra LR-44C. As inclusões prismáticas de cor cinza escuro são estauroilitas. 47

Figura 7.7. Figura X: A, perfil composicional da granada G3 da amostra LR-44C. B, Mapa composicional de Mn da granada G3 (tons de azul mais claros indicam maior quantidade de Mn), extraído de Fumes *et al.*, 2015. 48

Figura 7.8. Digrama binário da relação entre o $X_{Fe^{2+}}$, o X_{Mg} e X_{Na} (eixo Y) e Si (eixo X) das amostras LR-10E e LR-44C. 49

Figura 7.9. Em A e B foram plotados os valores máximos e mínimos das temperaturas obtidas para os valores máximos e mínimos de Zr no Rt para cada amostra sobre a pseudosseção de LR-10B calculada por Fumes *et al.*, 2015. Em C, estão as temperaturas calculadas usando-se os valores médios dos teores de Zr no Rt. 53

Figura 7.10. Pseudosseção da amostra LR-10B (Fumes *et al.*, 2015) com valores médios de pico metamórfico calculados pelo THERMOCALC das amostras LR-10E e LR-44C. As áreas delimitadas pelos perímetros amarelo, azul e vermelho representam o desvio padrão dos cálculos de P e T . 55

Figura 8.1. A – O diagrama apresenta os estágios da evolução da clivagem de crenulação. A foliação S_1 da nappe de Luminárias é encontrada no interior de micrólitos do estágio 3 (Modificado de Passchier & Trouw, 2005). B - Modelo de deformação diacrônica em zona de esforços compressivos. Ao mesmo tempo que S_1 é formada, a foliação S_2 em outro ponto está em um estágio mais avançado e começa a sobrepor S_1 (Modificado de Passchier & Trouw, 2005). 58

Figura 8.2. No topo, o mapa geológico da região norte da área de estudos elaborado por Trouw *et al.*, 2013. Na base da imagem, um modelo esquemático dos dobramentos de Na_3 e Na_4 durante a deformação D2 desenvolvida sobre condições elevadas de pressão e temperatura (A visão é uma seção paralela ao eixo X e perpendicular o plano XY do elipsoide de deformação). 59

Figura 8.3. A – Desenho das foliações interna (S_i) e externas (S_e) na lâmina LR-44C. Destaque para crescimento e rotação de profiroblastos de granada do tipo *snowball* com sombras de deformação. B – Desenho das foliações S_i e S_e na lâmina LR-10E. Seta indicia porfiroblasto de estauroлита com aspecto sina tardi tectônico. As estruturas foram traçadas sobre cópias digitais das seções delgadas. 60

Figura 8.4. A – Cristal de estauroлита com foliação pretérita preservada e com bordas livres de inclusão, possivelmente pós tectônico (Lâmina LR-11, luz transmitida e polarizadores paralelos). B – Arco poligonal de muscovita (LR-10A, luz transmitida e polarizadores cruzados). C – As

inclusões marcam uma rotação da foliação interna, ao passo que as bordas com poucas inclusões sugerem um crescimento tardi a pós-tectônico e ausência de sombras de deformação sugere uma cristalização estática tardia (LR-10E, luz transmitida e polarizadores paralelos). D – Porfiroblasto sintectônico de granada com foliação interna rotacionada (LR-10A, luz transmitida e polarizadores paralelos). E – Porfiroblasto sin a tardi tectônico de granada (LR-10C, luz transmitida e polarizadores paralelos), a recristalização das muscovitas da matriz e a pequena quantidade de inclusões dificultam a interpretação. F – Porfiroblasto subédrico tardi tectônico. Ocorre uma leve deflexão da foliação interna em relação à externa, possível cristalização estática nas bordas (LR-10E, fotomicrografia de MEV). 62

Figura 8.5. Mapas de zonação química baseados em dados de EPMA de uma granada da amostra LR-44C. 63

Figura 8.6. Relação das condições de P e T calculadas para a Nappe de Luminárias e as fácies metamórficas. A – Fácies metamórficas segundo Yardley (1989). B – Pseudosseção modelada por Fumes *et al.*, (2015) com as amplitudes das condições de P e T de LR-44C e LR-10E. 65

Figura 8.7. No topo da imagem, fotomicrografia com o traçado das foliações interna e externa da lâmina LR-44C. O porfiroblasto de granada no centro tem sua metade esquerda ausente, mas os cristais de estaurolita desenham o antigo contorno circular da granada. Esta simetria é verificada nos perfis composicionais do mesmo porfiroblasto (base da imagem). O perfil C-D preserva a zonação com o enriquecimento em Fe e Mg e diminuição de Mn para as bordas, enquanto que o perfil A-B também preserva a simetria da zonação, mas tem uma porção ausente, justamente a região esquerda que agora é composta por estaurolitas. 66

Figura 8.8. Os cristais de rutilo em A formam um padrão circular com aspecto de rotação em torno de um aglomerado composto por clorita (cristais verdes) e cloritoide (cristais azuis). Este aglomerado assemelha-se a um antigo porfiroblasto e o cloritoide tem hábito similar ao de algumas estaurolitas com texturas de dissolução, como visto em B. A e B são fotomicrografias obtidas com microscópio óptico e polarizadores paralelos. 67

LISTA DE TABELAS

Tabela 7.1. Identificação das amostras e minerais analisados	40
Tabela 7.2. Membros finais de granadas e sua respectiva fórmula química	44
Tabela 7.3. Concentração de elementos traço e valores de temperatura obtidos para as amostras analisadas por microsonda eletrônica.	52
Tabela 7.4. Valores de pressão e temperatura médios calculados com o THERMOCALC.	54

Sumário

1. Introdução.....	1
1.1. Objetivos	3
1.2. Localização.....	3
2. Métodos e etapas de trabalho.....	5
3. Geologia Regional	7
3.1. Contexto geotectônico.....	7
3.2. Geologia da região de Luminárias	8
4. Geologia Local	14
4.1 Descrição das unidades litoestratigáficas.....	15
4.1.1. Unidade Na1+2	15
4.1.2 . Unidade Na3	16
4.1.3. Unidade Na4	17
4.1.4. Unidade Na5	20
5. Geologia Estrutural.....	21
5.1. As fases deformacionais e suas estruturas.....	22
5.1.1. Fase deformacional D ₁	22
5.1.2. Fase deformacional D ₂	25
5.1.3. Fases deformacionais Pós-D ₂ (D ₃ e D ₄)	29
6. Metamorfismo	32

7. Química Mineral.....	39
7.1. Estauroлита.....	40
7.2. Cloritoide.....	43
7.3. Granada	44
7.3.1 Granadas do norte da área (amostra LR-10E).....	45
7.3.2 Granadas do sul da área (amostra LR-44C).....	46
7.4. Muscovita.....	49
7.5. Rutilo.....	50
7.6. Cálculos termobarométricos.....	54
8. Discussões	56
9. Conclusões.....	69
10. Referências Bibliográficas.....	70

APÊNDICE A - APÊNDICE A – TABELAS DE ANÁLISES QUÍMICAS EM GRANADA, MUSCOVITA, CLORITOIDE E ESTAUROLITA

APÊNDICE B – TABELA DE DADOS DO CAMPO

APÊNDICE C - MAPA GEOLÓGICO E DE PONTOS

1. Introdução

A região sudeste de Minas Gerais, que inclui a cidade de Luminárias, é caracterizada por um complexo empilhamento de nappes, pertencentes ao Orógeno Brasília Meridional (Campos Neto *et al.*, 2004). Nappes são grandes estruturas geológicas, cuja origem do nome é francesa e significa toalha de mesa, portanto uma analogia à uma estrutura geológica tridimensional que cobre uma extensa área enquanto que apresenta uma espessura relativamente pequena. Nessa região estão presentes excelentes exposições de rochas, incluindo-se quartzitos, xistos e gnaisses. As rochas que são o objeto de estudo do presente trabalho estão inseridas no contexto da Nappe de Luminárias, e pertencem ao Grupo Carrancas (Trouw *et al.*, 1980).

Os metapelitos aflorantes na área de estudo apresentam as paragêneses metamórficas: Cld+Chl+Grt, Chl+St+Cld, Bt+Chl+Grt, St+Grt+Bt+Ky (abreviações segundo Kretz, 1983) todas com muscovita e quartzo em excesso, além de estarem presentes rutilo, ilmenita, apatita, zircão e turmalina como minerais acessórios. Dentre essas paragêneses, Cld+Chl+Grt e Chl+St+Cld encontram-se na porção NE e Bt+Chl+Grt, St+Grt+Ky na porção SW da Nappe de Luminárias. Essas paragêneses foram geradas pelas seguintes reações metamórficas: $Ky + Cld = St + Chl + Cld = Grt + Chl + St$, $Grt + Chl = St + Bt$. Porfiroblastos de Cld, St e Grt são abundantes nas rochas estudadas e apresentam complexas trilhas de inclusão interna. Portanto, o estudo da relação entre a deformação e metamorfismo traz informações sobre a relação temporal entre o crescimento dos minerais e as fases de deformação que atuaram na região.

Mesmo que esta região do sul de Minas Gerais tenha sido alvo de diversos estudos geológicos, um estudo com enfoque em microtectônica alinhado com métodos modernos da Petrologia Metamórfica contribui para o entendimento do metamorfismo regional e do quadro tectônico desta área incluída na zona de interferência tectônica entre as Faixas Brasília e Ribeira (Trouw *et al.*, 2013). Motivado pela complexidade do assunto, este trabalho apresenta dados novos sobre o caminho P-T-t, baseado em métodos modernos, e faz uma amarração das assembleias minerais metamórficas com as fases de deformação.

Os resultados mostram que as rochas da Nappe de Luminárias apresentam um gradiente metamórfico progressivo em direção ao sul. Na porção norte da área de estudos, as assembleias minerais indicam equilíbrio nas condições da fácies anfíbolito médio. Já na região sul, o

metamorfismo atingiu as condições entre as fácies anfíbolito e eclogito. O desenvolvimento das paragêneses de mais alto grau está associado com os mecanismos de deformação responsáveis pelo transporte da nappe, sendo sin a tardi tectônica a cristalização dos porfiroblastos que compõem as fases de pico metamórfico.

O gradiente metamórfico com aumento em direção a sul gerado durante a colisão Brasileira (600 Ma) responsável pelo fechamento do Paleoceno Goianides e pelo desenvolvimento de um grande orógeno em torno do Cráton do São Francisco (Campos Neto, 2000, Mantovani *et al.*, 2005, Mantovani & Brito Neves, 2005) foi confirmado. Isto se deu com base em pseudosseções dos sistemas químicos KFMASH e KFMASHTO calculadas por Fumes *et al.* (2015), termometria de cristais de rutilo, relações texturais metamórficas e estruturas deformacionais.

Quanto aos efeitos da Faixa Ribeira sobre a Faixa Brasília marcados pela recristalização sob alta temperatura e baixa pressão (Trouw *et al.*, 2013), não foram encontradas ocorrências de sillimanita nas rochas da área de estudo, sendo que o aluminossilicato observado nas paragêneses foi a cianita. As fases minerais, as texturas e estruturas encontradas indicam um metamorfismo de alta pressão em profundidades da ordem de 40 km em regime dúctil sem a influência tardia de um regime de alta temperatura e baixa pressão na área de estudos.

1.1. Objetivos

O presente trabalho teve como objetivo a determinação da relação temporal das estruturas presentes nas rochas com base em critérios de superposição de deformação, em escala meso e microscópica. E visou também estabelecer, com base em critérios petrográficos e de química mineral, as condições de pressão e temperatura sob as quais as estruturas foram formadas.

1.2. Localização

A área de estudo está localizada nas proximidades do município de Luminárias na porção sul do estado de Minas Gerais, no sudeste brasileiro (**Figura 1.1**). A principal via de acesso para a área é a rodovia BR 381 (Rodovia Fernão Dias), que por sua vez dá acesso a BR- 265 sentido leste, até Lavras-MG, em Lavras pega-se a rodovia Lavras-Luminárias, sentido sul, cerca de 40 km, até chegar em Luminárias.

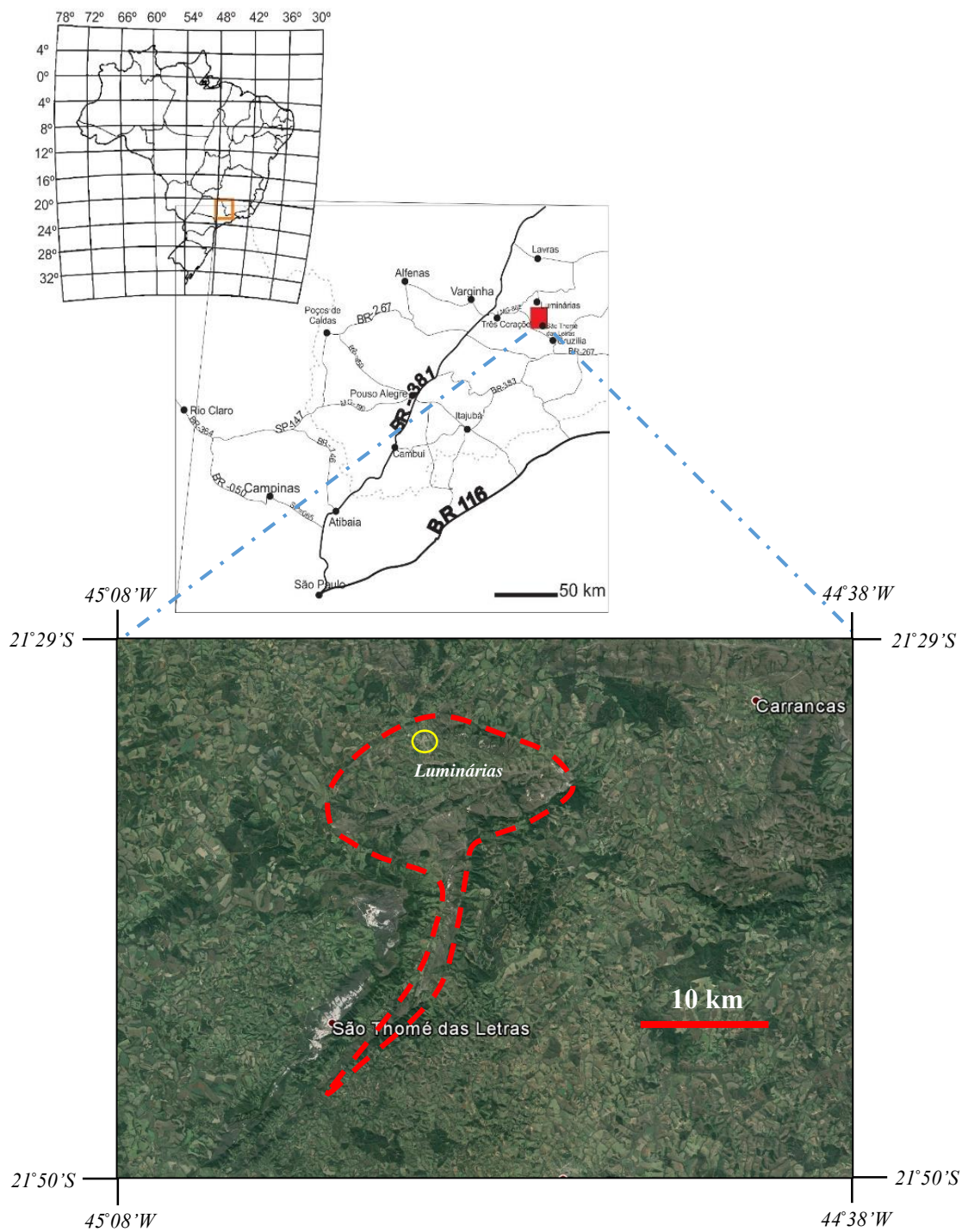


Figura 1.1. Na parte superior, mapa com a localização de Luminárias – MG e suas principais vias de acesso; na parte inferior, imagem aérea da área de estudo (limite aproximado da área estudada marcado por linha tracejada; fonte da imagem de satélite Landsat: Google Earth).

2. Métodos e etapas de trabalho

As seguintes etapas permitiram a conclusão do trabalho: (1) revisão bibliográfica, (2) trabalho de campo, (3) petrografia, (4) Análise da química mineral e geotermobarometria, (5) análise dos resultados da EPMA e (6) preparação do volume final do trabalho de conclusão do curso.

1. **Revisão bibliográfica:** consistiu na consulta de trabalhos relativos ao assunto estudado na literatura geológica. Para o entendimento do contexto geológico, os principais trabalhos consultados foram: Almeida, 1977; Almeida *et al.*, 1981, Brito Neves *et al.*, 1999; Campos Neto, 2000, Campos Neto *et al.*, (2004), Paciullo *et al.*, (2003), Peternel *et al.*, (2005), Ribeiro & Heilbron (1982), Trouw *et al.*, (1980, 1983, 2013). Quanto à Petrologia Metamórfica e ao estudo sobre geotermômetros e geobarômetro, pseudoseções e conteúdo de zircônio em rutilos, fez-se uma revisão em Holland & Powell (1985), Zack *et al.*, (2004) e Tomkins *et al.*, (2007). Sobre o estudo microtectônico, a obra fundamental foi Passchier & Trouw (2005).

2. **Trabalho de campo:** as atividades de campo foram realizadas em duas fases. A primeira fase, realizada entre 12 a 13 de março de 2015, não envolveu a participação do aluno. Já a segunda fase ocorreu entre 31 de agosto e 4 de setembro de 2015 com a participação do aluno. Durante esta etapa foram coletadas amostras de rochas das unidades estudadas e levantados dados sobre os litotipos, relação de campo (geometria e proporção de litotipos) e dados estruturais. Como base para os trabalhos, foi utilizado o mapa geológico da folha Caxambu 1: 100.000 elaborado por Trouw *et al.* (2013). A localização dos dados está contida no Apêndice C e os dados obtidos estão no Apêndice B.

3. **Petrografia:** 23 amostras foram selecionadas para os estudos petrográficos e laminadas no Laboratório de Laminação do Departamento de Petrologia e Metalogenia (DPM). O corte escolhido para a confecção foi uma seção perpendicular à foliação. Cortes paralelos às lineações de estiramento e mineral ou perpendiculares ao eixo de dobras foram selecionados, conforme a estrutura que se desejava visualizar nas lâminas (sentido de transporte e crenulações, respectivamente). Para os estudos microtectônicos das assembleias minerais metamórficas e suas relações texturais foram utilizados o microscópio óptico do Laboratório de Microscopia do DPM – IGCE e o microscópio eletrônico de varredura (MEV) da marca JEOL, modelo JSM6010LA, também pertencente ao DPM. Para o uso do MEV, as seções delgadas foram anteriormente

metalizadas e este microscópio foi utilizado principalmente para determinar os minerais acessórios por meio de análise química (EDS - Espectrometria por Dispersão de Energia) e investigar, por meio de imagens eletrônicas (BEC - Imagens de Elétrons Retroespalhados, modo Composicional), texturas de equilíbrio. Utilizou-se aceleração de 15 kV e a corrente sobre a amostra foi ajustada conforme a necessidade, visando otimizar as condições de brilho e contraste. Para otimizar as condições de análises de EDS, a distância de trabalho foi mantida em 10 mm. Imagens digitais das seções delgadas foram obtidas por meio de scanner ótico para fornecer uma visão geral da lâmina e auxiliar na identificação das áreas investigadas.

4. Análise da química mineral por microsonda eletrônica e geotermobarometria: análises de microsonda eletrônica foram utilizadas para quantificar a composição química de minerais formadores de rocha (Grt, St, Ctd, Ms e Bt) em duas amostras (LR-10E e LR-44C). Foram também realizadas análises de elementos traço em rutilo (Si, Al, Fe, Cr, Ta, Nb e Zr). Detalhes sobre as condições de análises são fornecidos na seção "Química Mineral". Análises foram realizadas no Laboratório de Microsonda Eletrônica do DPM, utilizado equipamento da marca JEOL, modelo JXA8230, equipado com 5 detectores WDS, detector EDS do tipo SSD, detectores de elétrons secundários (SEI) e elétrons retroespalhados (BSE). De maneira resumida, as análises foram realizadas com 15 kV e 20 nA para os silicatos e 20 kV e 80 nA para o rutilo. Para calibração foram utilizados padrões certificados (minerais, vidros e metais puros) presentes no laboratório. Os dados de química mineral serviram como base para a discussão da variação química dos minerais ao longo do gradiente metamórfico e para cálculo de condições de pressão (P) e temperatura (T) com o software THERMOCALC e o geotermômetro Zr no Rutilo (calibração de Tomkins *et al.* 2007).

5. Integração e análise dos resultados: os dados obtidos em campo foram dispostos em mapa através do software ArcGIS. Com a devida localização das amostras, as paragêneses foram plotadas e a distribuição das condições de metamorfismo foram analisadas. Os dados de química foram tratados com o software Microsoft Excel e com o programa AX (Holland, 2015) para o cálculo dos membros finais e fórmula química dos minerais. O programa AX também foi utilizado para gerar o arquivo de entrada para o cálculo de PT no software THERMOCALC feitos no modo average P/T (Holland & Powell, 1994).

6. Preparação do volume final do trabalho de conclusão do curso: todos os dados coletados foram compilados, analisados, discutidos e foram distribuídos ao longo deste trabalho por meio de textos, imagens, tabelas, diagramas e mapas.

3. Geologia Regional

3.1. Contexto geotectônico

A porção sudeste da Plataforma Sul-Americana é composta pelas províncias estruturais do São Francisco, Tocantins e Mantiqueira (Almeida, 1977; Almeida *et al.*, 1981), onde ocorrem rochas associadas ao Cráton do São Francisco e as faixas Brasília e Ribeira, respectivamente. Estas faixas bordejam o sul do Cráton do São Francisco e nelas estão registrados importantes processos metamórficos, magmáticos e sedimentares do Neoproterozoico (Brito Neves *et al.*, 1999; Campos Neto, 2000). Seu desenvolvimento está relacionado à Colagem Brasileira, designação dada às múltiplas orogêneses que resultaram na aglutinação do Gondwana ocidental. É neste contexto orogênico neoproterozoico que se insere a área de estudo deste trabalho.

O Orógeno Brasília Meridional (ou Faixa Brasília Meridional) registra episódios de subducção e colisão neoproterozoicos referentes ao fechamento do paleo-oceano Goiano (antes referido como Goianides), oriundo da fragmentação toniana (ca. 900-800 Ma) do supercontinente Rodínia (Brito Neves *et al.*, 1999). O Sistema Orogênico Mantiqueira, no qual se inclui a Faixa Ribeira, reúne diacronicamente, microplacas e terrenos, relacionados ao fechamento do paleo-oceano Adamastor, amalgamados contra a borda oriental do protocontinente aglutinado à Faixa Brasília Meridional (Brito Neves *et al.*, 1999; Campos Neto, 2000). A evolução das Faixas Brasília e Ribeira pode ser entendida como dois episódios sem conexão (Campos Neto, 2000; Campos Neto *et al.*, 2004) ou envolvendo a superposição da deformação e do metamorfismo da Faixa Ribeira, mais nova, sobre a Brasília, gerando uma zona de interferência (Trouw *et al.*, 2000, 2013; Peternel *et al.*, 2005).

3.2. Geologia da região de Luminárias

A geometria das rochas da região de Luminárias desenha um enorme arco com convexidade voltada para leste e com afinamento das camadas em direção ao sul. Muito dessa feição geomorfológica se deve às resistentes camadas de quartzitos que sustentam serras com encostas íngremes para leste e mais suaves para oeste. Esta característica já revela a vergência das principais falhas de empurrão que atuaram na área. A história da evolução geológica desta região guarda importantes eventos compressivos ocorridos durante o Neoproterozoico e suas rochas estão inseridas no Grupo Carrancas.

O Grupo Carrancas foi definido por Trouw *et al.* (1980). Segundo os autores, trabalhos de mapeamento realizados no sul do Estado de Minas Gerais mostraram que os metassedimentos que ocorrem na região entre Lavras e Minduri apresentam características intermediárias entre o Grupo São João del Rei e o Grupo Andrelândia, ambos definidos por (Ebert, 1956).

Trouw *et al.* (1980, 1983) dividiram os metassedimentos do Grupo Carrancas em duas unidades: Formação São Tomé das Letras, na base, composta predominantemente por quartzito micáceo de coloração esverdeada (muscovita esverdeada) e Formação Campestre, no topo, composta por filitos, xistos e quartzitos. Trouw *et al.* (1983) ressaltam que o filito pode conter cloritóide e o xisto pode conter granada, estauroлита e cianita, dependendo da localidade e do grau metamórfico. Os autores destacam que o Grupo Carrancas praticamente não contém biotita e que na região de Luminárias os litotipos das duas formações ocorrem interestratificados.

Coutinho (2012) propôs a inclusão da Formação Chapada das Perdizes no Grupo Carrancas, equivalente à Formação São Tomé das Letras, porém no topo da sequência. Ribeiro & Heilbron (1982) e Trouw *et al.* (1983) consideram que os grupos São João del Rei, Carrancas e Andrelândia foram depositados em um mesmo ciclo sedimentar, mas guardam diferentes fácies. Ribeiro & Heilbron (1982) discutem ainda que os grupos apresentam gradações verticais e laterais entre si, interpretando como variações faciológicas de um único ciclo sedimentar, reforçando a hipótese de Ebert (1956).

Ribeiro & Heilbron (1982) dividiram o Grupo Carrancas em três fácies sedimentares alóctones e uma autóctone. As fácies alóctones são: (I) Itumirim-Carrancas-Minduri, composta por quartzito com muscovita esverdeada e turmalina das formações São Tomé das Letras e Campestre, (II) Fácies Três Pontas-Luminárias, constituída por quartzitos com níveis de filitos

grafitosos e (III) Fácies São Tomé das Letras-Conceição de Rio Verde formada por quartzito com muscovita verde sotoposto por filito também de mica verdes. A fácies sedimentar autóctone é formada por biotita xisto, quartzitos e filitos.

Paciullo *et al.* (2003) reuniu os grupos Andrelândia e Carrancas na “Megassequência Andrelândia”, uma sequência metassedimentar de idade neoproterozoica composta por associações de litofácies distintas e rochas metaígneas associadas. Estes autores dividiram a sequência em seis unidades, denominadas da base para o topo: Na1 - paragnaisses com anfibolito associado; Na2 paragnaisse com quartzito, xisto e anfibolito intercalados; Na3 - quartzito com mica verde e xisto subordinado; Na4 - filito/xisto cinza e quartzito subordinado; Na5 – biotita xisto; e Na6 - biotita xisto/gnaisse com rochas calcissilicáticas e anfibolito intercalados. A presença de uma descontinuidade estratigráfica permite individualizar duas sequências: 1. Sequência Carrancas que inclui as unidades Na1, Na2, Na3 e Na4, caracterizando o domínio alóctone (Nappe de Luminárias e São Tomé das Letras e pela Klippe de Carrancas); e 2. Sequência Turvo, que representa o domínio autóctone, composta por biotita xistos e demais rochas associadas às unidades Na5 e Na6.

Os trabalhos pioneiros de Trouw *et al.* (1980); Ribeiro & Heilbron (1982); Trouw *et al.* (1983) descrevem as condições de metamorfismo registradas nas rochas dos grupos Carrancas e Andrelândia. Segundo os autores, o metamorfismo aumenta de norte para sul, variando da fácies xisto verde para anfibolito alto. Destacam ainda que as condições de pressão são intermediárias, do tipo barroviano e que o pico metamórfico é posterior à colocação das nappes, tendo ocorrido no final da fase D₁ de deformação, ou concomitantemente com a fase D₂ e Trouw *et al.* (1983) apresentam mapas de distribuição de isógradas metamórficas, discutindo que em alguns casos específicos (por exemplo, na Serra dos Pombeiros) as isógradas cortam a estruturação (contatos entre as unidades).

Estudos mais recentes, como de Silva (2010), envolveram o modelamento metamórfico por meio de pseudosseções e análise microtectônica, e ao estudar as rochas da Klippe de Carrancas (ao norte de Luminárias), obteve dados de geotermobarometria otimizados que forneceram condições de pico metamórfico de 10 ± 1.7 kbar e 577 ± 8 °C para a Serra da Estância e $12,9 \pm 1$ kbar e 608 ± 20 °C para a Serra das Bicas e, portanto, revelaram caráter de pressão mais elevada do que o metamorfismo barroviano típico. Os resultados também mostraram que toda porção norte

da klippe (e.g. região da Serra dos Pombeiros) foi metamorfizada em fácies anfibolito inferior, condição onde a estauroлита é estável, contestando o modelo que sugeria ângulo entre as isógradas e os contatos geológicos. Silva (2010) também sugeriu que a ocorrência de sillimanita atribuída ao Grupo Carrancas é produto de quebra da estauroлита durante a descompressão, não estando necessariamente relacionada com o desenvolvimento da Faixa Ribeira, como proposto por Peternel *et al.* (2005). O autor discute ainda que os eventos deformacionais responsáveis pelas foliações S_1 e S_2 são concomitantes ao metamorfismo da Klippe de Carrancas. Trouw *et al.* (2013) interpretam que a presença de cianita em rochas do Sistema de Nappes Andrelândia e nappes inferiores (i.e., rochas de alta pressão), associa-se à Faixa Brasília. E a ocorrência de sillimanita é interpretada pelos autores como consequência da interferência da Faixa Ribeira, onde o mineral é abundante. Na proposta de Trouw *et al.* (2013), a sobreposição do metamorfismo da Faixa Ribeira também seria responsável pelo posicionamento oblíquo das isógradas em relação às estruturas referentes à Faixa Brasília.

A borda meridional do Cráton do São Francisco marca o limite entre as faixas Brasília e Ribeira. Na literatura, são apresentadas diferentes interpretações acerca desse limite. Inicialmente, Hasui *et al.* (1984) descreveram o limite entre essas faixas como um faixa orogênica distinta, nomeada Faixa Alto do Rio Grande. Utilizando dados estruturais e geocronológicos, Trouw *et al.* (1994) reinterpretaram a Faixa do Alto do Rio Grande como a zona de interferência entre a Faixa Brasília e a Faixa Ribeira (**Figura 3.1**).

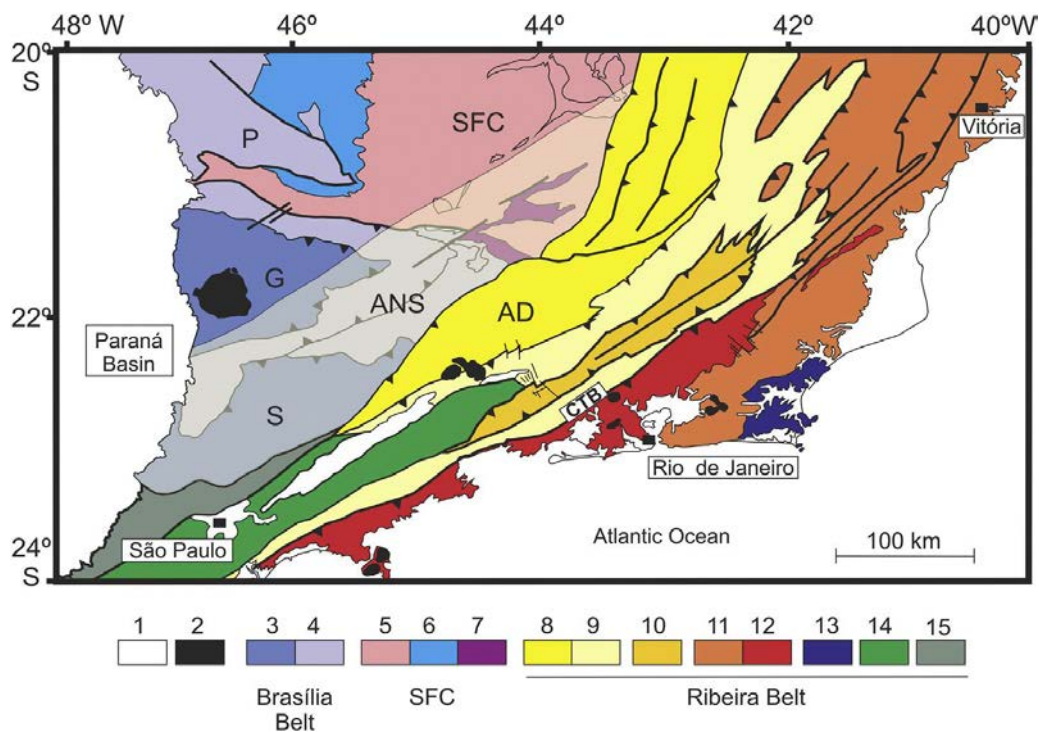


Figura 3.1. Configuração da porção sul da borda meridional do Cráton do São Francisco, na porção limítrofe entre as faixas, Brasília (FB) e Ribeira (FR) (Trouw et al., 2000; Heilbron et al., 2004, 2008). 1. Bacia do Paraná e Bacias Cenozoicas; 2. Plútons Alcalinos Cretáceos / Cenozoicos; Faixa Brasília Meridional (3 –4), 3. Nappe de Socorro(S) -Guaxupé(G); Sistema de Nappes de Andrelândia (ANS) e Passos (P); Cráton do São Francisco (SFC), 5. Embasamento; 6. Grupo Bambuí; 7. Rochas metassedimentares autóctones / parautóctones; Faixa Ribeira (8-15), 8. Domínio Andrelândia (AD); 9. Domínio Juiz de Fora; 10. Terreno Paraíba do Sul; 11. Terreno Oriental; 12. Arco do Rio Negro; 13. Terreno Cabo Frio; 14. Terreno Embu; 15. Terreno Apiáí. CTB – Contato Tectônico Central. Notar a área sombreada sobre as rochas da FB e CSF (3, 4, 5 e 7), que representa a zona de interferência entre as duas faixas. Trouw *et al.* (1994); Peternel *et al.* (2005); Zuquim *et al.* (2011); Trouw *et al.* (2013) interpretam o Domínio Andrelândia (AD) como parte da zona de interferência.\

Essa zona de interferência inclui unidades do embasamento e as sequências supracrustais proterozoicas São João del Rei, Carandaí e Bacia Andrelândia (Grupos Carrancas e Andrelândia) (Trouw *et al.*, 2000). Campos Neto (2000), Campos Neto & Caby (2000), Campos Neto *et al.* (2004) e Campos Neto *et al.* (2011) interpretaram que o contato entre as duas faixas é abrupto, sendo marcado por zonas de cisalhamento com direção WSW-ENE (zona de milonitos Rio Jaguari) que truncam a porção sul da Faixa Brasília na zona de transição com a Faixa Ribeira. Segundo a proposta de Campos Neto *et al.* (2004), a Faixa Brasília Meridional, que especialmente abrange a zona de interferência entre as faixas, é composta por uma pilha colisional de nappes

formada em três ambientes tectônicos distintos: (I) domínio de arco magmático desenvolvido na margem continental ativa da Placa Paranapanema (Nappe Socorro-Guaxupé), (II) domínio continental subductado (Terreno ou Domínio Andrelândia) e (III) domínios com afinidades de margem passiva e/ ou relacionados à Placa Sanfranciscana (Sistema de Nappes Carrancas e Nappe Lima Duarte).

Há diferentes interpretações a respeito do Domínio Andrelândia. Alguns autores (e.g. Trouw *et al.*, 2000; Heilbron *et al.*, 2004, 2008) incluíram este domínio como parte da Faixa Ribeira. Por outro lado, Trouw *et al.* (1994), Peternel *et al.* (2005), Zuquim *et al.* (2011) e Trouw *et al.* (2013), interpretaram o Domínio Andrelândia como pertencente à zona de interferência entre as duas faixas, devido ao fato desse domínio apresentar estruturas que indicam tanto movimento de topo para NE (relacionados a Faixa Brasília) quanto para NW (relacionados à Faixa Ribeira).

A área de estudo está inserida neste contexto de empilhamento de nappes e pertence ao Sistema de Nappes Carrancas. Segundo Campos Neto *et al.* (2004), o sistema de Nappes Carrancas é subdividido em quatro escamas de cavalgamento que constituem o terreno frontal da Faixa Brasília Meridional: Nappe Luminárias (objeto de estudo do presente projeto), Klippe Carrancas, Alóctone Serra da Bandeira e Alóctone Madre de Deus (**Figura 3.2**).

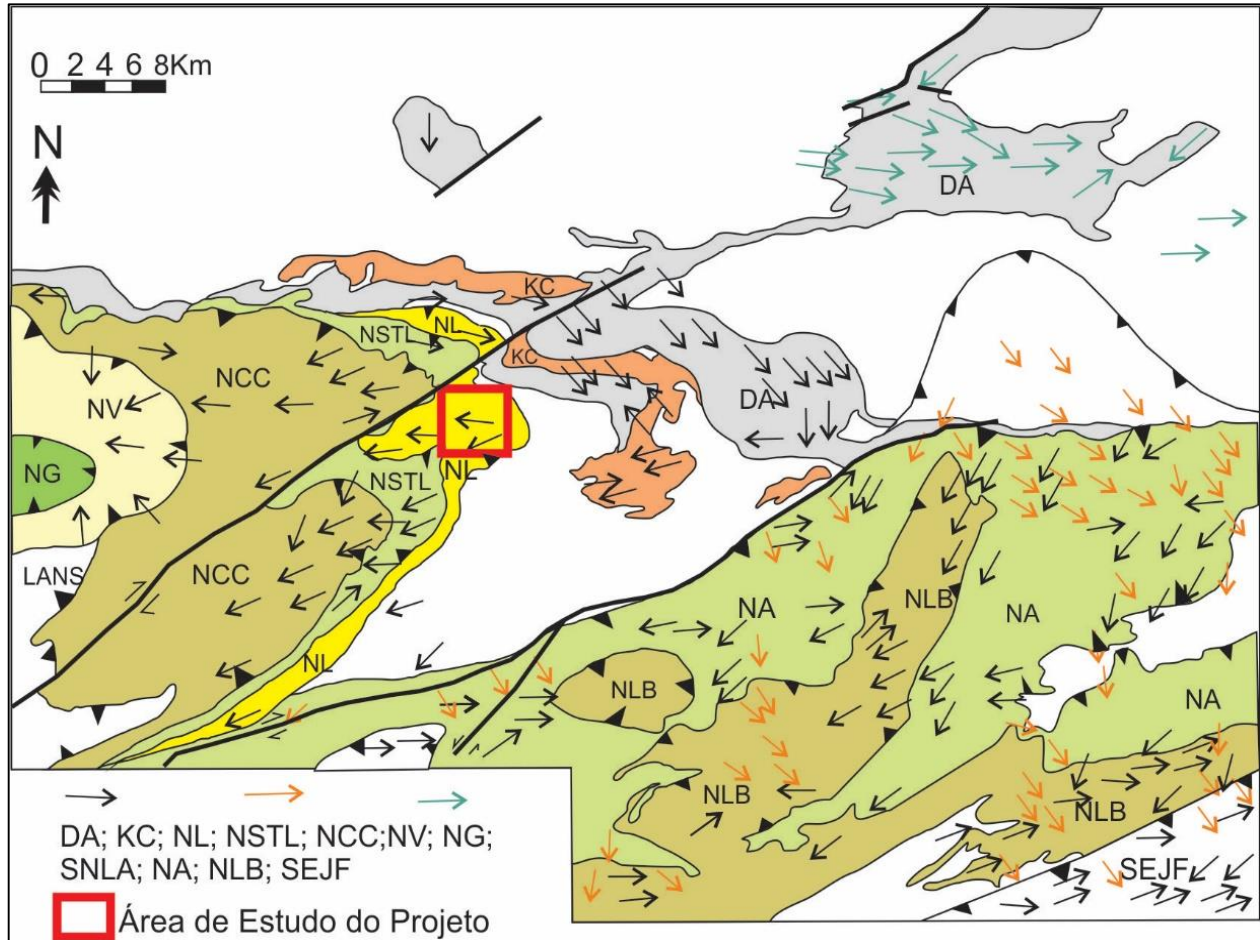


Figura 3.2. Mapa estrutural simplificado da extremidade sul do Orógeno Brasília, com a discriminação das nappes. Legenda: Nappes Superiores de alta T: NG- Guaxupé; Nappes Inferiores de alta a média P: NV- Varginha, NLB- Liberdade; NCC- Carmo da Cachoeira NA- Andrelândia; NSTL-São Tomé das Letras; NL- Luminárias; KC - klippe Carrancas; DA - domínio autóctone. SEJF - sistema de empurrões Juiz de Fora do Orógeno Ribeira. Setas pretas: Eixos de dobras e lineação de estiramento da Colisão I (ca. 630 Ma); setas vermelhas: Eixos de dobras e lineação de estiramento da Colisão II (ca. 580 Ma); setas verdes: Eixos de dobras e lineação de estiramento no Domínio Autóctone. (Extraído de Heilbron *et al.*, 2000) (Fonte: Paciullo, 1997; Trouw *et al.*, 2000).

4. Geologia Local

As rochas da Nappe de Luminárias fazem parte da Megassequência metassedimentar Andrelândia de idade neoproterozoica. Paciullo *et al.* (2003) dividiu a área em seis unidades de mapeamento (**Figura 4.1**): Na1 – paragneisses com anfibolito associado, Na2, - paragneisse com quartzito, xisto e anfibolito intercalados, Na3 - mica verde quartzito e xisto subordinado, Na4 - filito/xisto cinza e quartzito subordinado, Na5 - biotita xisto e Na6 - biotita xisto/gnaiss com rochas calciossilicáticas e anfibolito intercalado. As quatro primeiras unidades compreendem a Sequência Carrancas e as unidades restantes constituem a Sequência Serra do Turvo. Porém, na área de estudo só foram observadas as cinco primeiras unidades, tendo o mapa geológico da folha Caxambu 1:100.000 (Trouw *et al.*, 2013) como referência para a disposição das rochas. A distribuição dos pontos descritos é apresentada no mapa do Apêndice C.

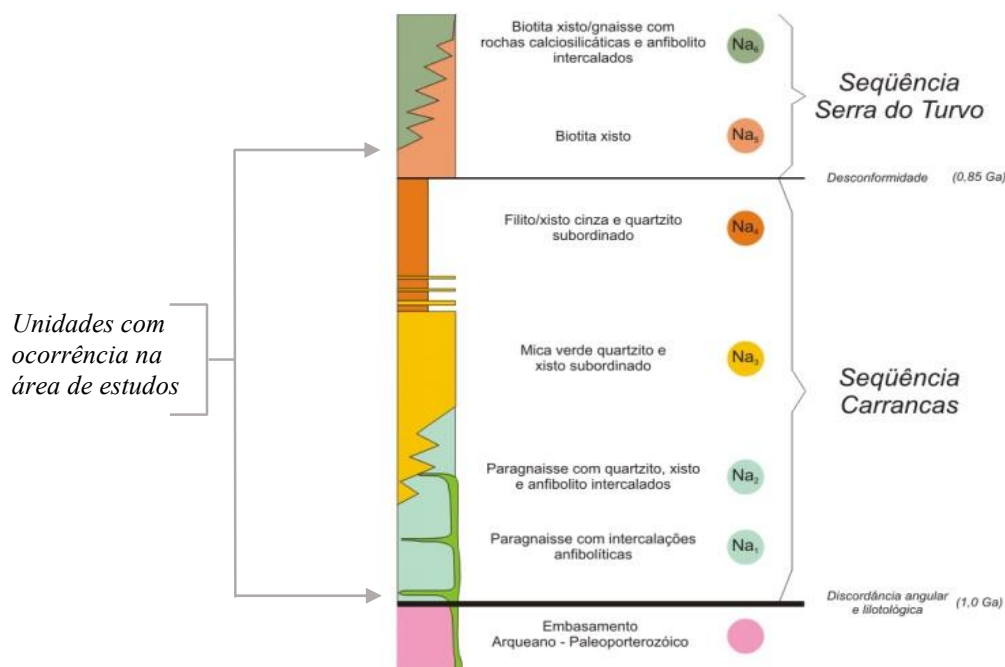


Figura 4.1. Coluna estratigráfica da Megassequência Andrelândia (Retirada de Silva, 2010; modificada anteriormente de Paciullo *et al.*, 2003).

4.1 Descrição das unidades litoestratigáficas

4.1.1. Unidade Na1+2

Esta é a unidade basal da área de estudo. O relevo onde aflora é marcado por morros pequenos e arredondados e planícies aluviais. Seus afloramentos são escassos e as rochas aflorantes observadas em campo foram paragnaisse finos com muscovita-granada xistos e quartzitos/metapsamitos intercalados (**Figura 4.2**). Os paragnaisse têm granulação fina e coloração cinza-azulada. Os xistos aluminosos têm porfiroblastos de granada e estaurolita associados. Esta unidade foi pouco descrita durante este estudo, cujo enfoque foram os metapelitos de alto alumínio escassos nesta unidade.

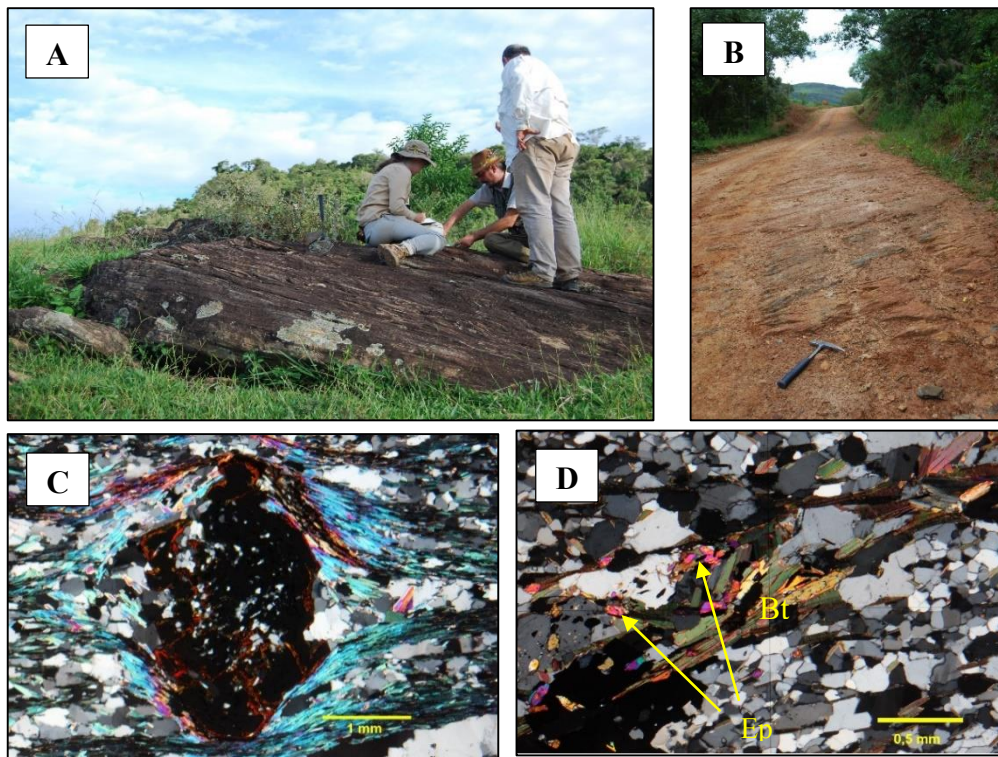


Figura 4.2. A – Afloramento de quartzito rico em feldspato com biotita (metapsamito) (Ponto LR-13). B – Afloramento de estaurolita-granada xisto intemperizado em pavimento de estrada (Ponto LR-11). C – No centro, um porfiroblasto de granada subédrica em estaurolita-granada xisto (lâmina LR-11). D – Metapsamito com Bt e Ep. (Lâmina LR-13). C-D Fotomicrografias obtidas com microscópio óptico com luz transmitida e polarizadores cruzados.

4.1.2. Unidade Na3

Esta unidade é composta por quartzitos e quartzitos micáceos. Suas rochas sustentam as serras da região e são usadas na extração de rochas ornamentais, sendo a área de exposição desta unidade bastante ampla (**Figura 4.3**). Os quartzitos micáceos tem granulação fina a média de coloração branca com porções esverdeadas (muscovitas esverdeadas). Caracteriza-se por pacotes métricos a decamétricos com intercalações de metapelitos. O contato com as unidades superior e inferior é gradacional. Em escala microscópica, a textura dominante é granoblástica (**Figura 4.4**), mas também exhibe certos domínios lepidoblásticos ricos em muscovita verde.

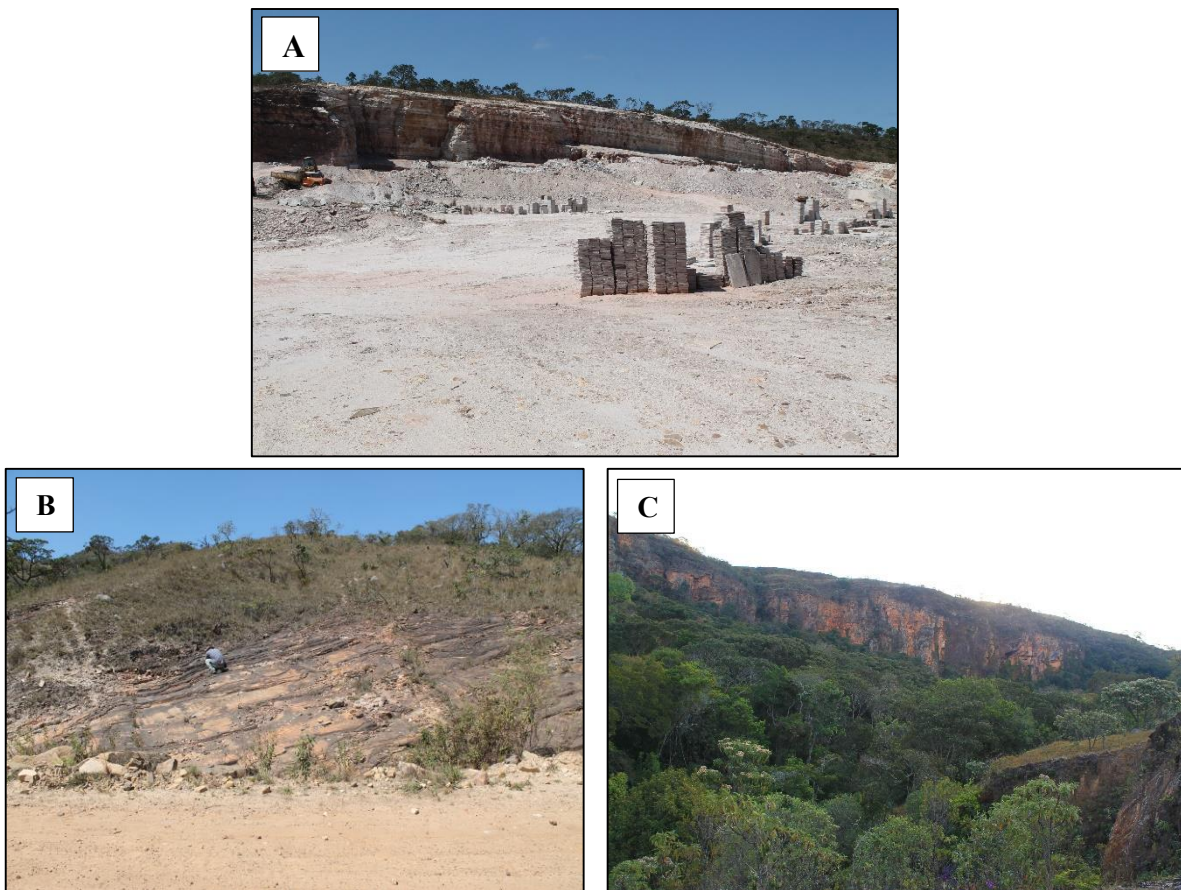


Figura 4.3. A - Extração de quartzitos da unidade Na3 em lavra a céu aberto para a produção de rochas ornamentais (Ponto LR-27). B – Afloramento de quartzitos à beira da estrada, próximo ao contato com a unidade Na4 (Ponto LR-20). C – Morro com encosta íngreme composto por quartzitos da unidade Na3 (visão a partir do ponto LR-32).

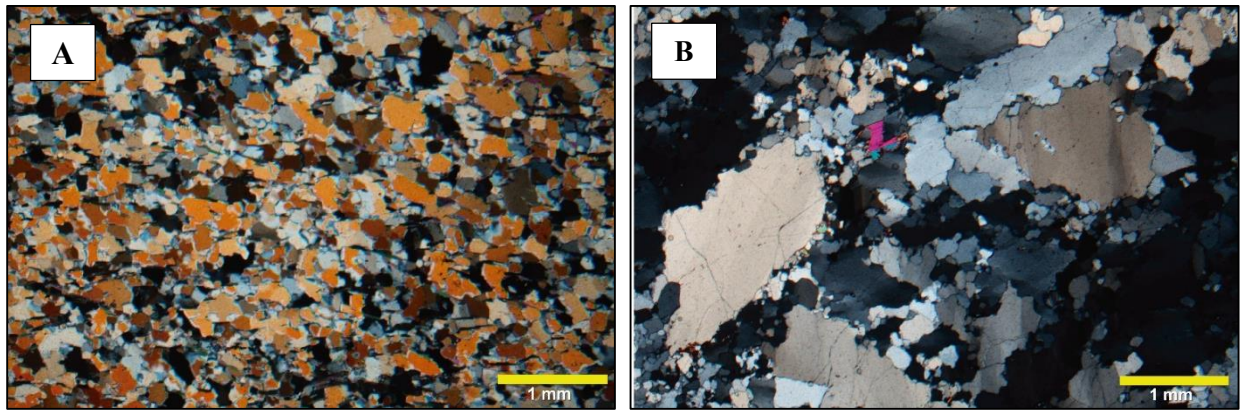


Figura 4.4. A – Fotomicrografia de quartzito localizado no norte da área de estudos (Lâmina LR-15). B – Granulação maior dos quartzos em quartzitos no extremo sul da área (Lâmina LR-48). Imagens obtidas com microscópio óptico com luz transmitida e polarizadores cruzados.

4.1.3. Unidade Na4

Esta é a unidade mais importante para este estudo devido à composição de suas rochas. Sua área de afloramento é ora no sopé das serras de quartzitos da unidade Na3 e ora nas partes altas das serras em contato dobrado com os espessos pacotes quartzíticos da unidade inferior (Na3). Embora a frequência de afloramentos seja pequena, e em sua maioria a unidade encontre-se bastante intemperizada, alguns bons afloramentos foram encontrados (

Figura 4.5). Esta unidade também é conhecida na literatura geológica como Formação Campestre (Coutinho, 2012, Silva, 2010, Trouw *et al.*, 1980).

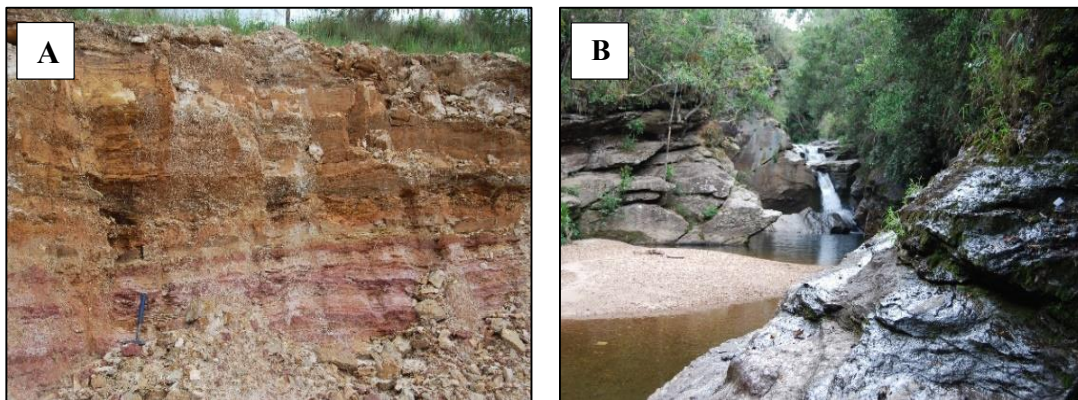


Figura 4.5. A – Afloramento de xistos bastante alterados com níveis quartzíticos subordinados em corte de estrada (Ponto LR - 01). B – Afloramento de xistos da unidade Na4 em cachoeira (Ponto LR-10).

As rochas da unidade Na4 são metapelitos de alto alumínio. São por vezes chamados de filitos devido à granulação fina. Têm coloração acinzentada e ocorrem com leitos métricos de quartzitos subordinados. Os xistos encontrados classificam-se como granada-cloritoide xistos, granada-estaurolita-biotita xistos com cianita, e granada xistos (Figura 4.6). Em geral apresentam-se bandados, com bandas ricas em quartzo e bandas ricas em micas. Esta característica reflete o bandamento composicional.

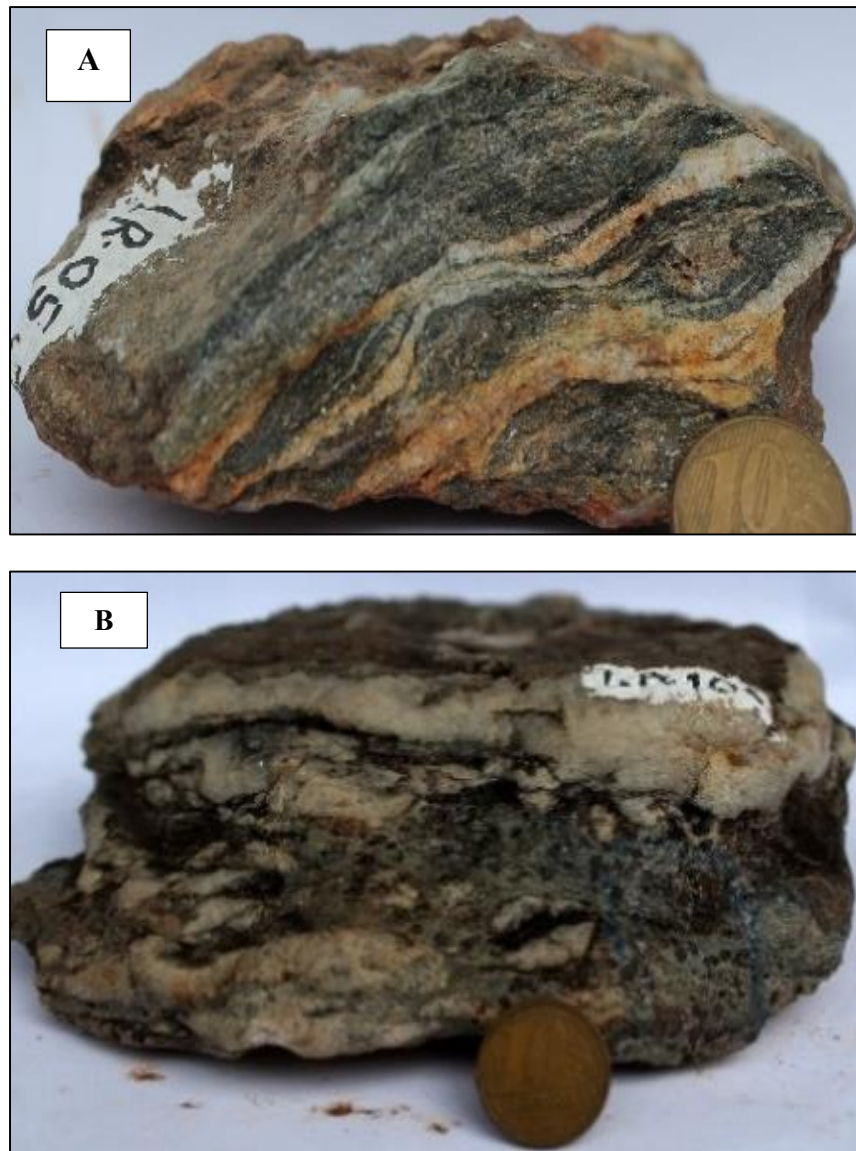


Figura 4.6. A – Amostra de estaurolita-cloritoide xisto (LR-05). B – Amostra de cloritoide-estaurolita xisto com porfiroblastos de granada (LR-10C).

Os litotipos apresentam forte textura lepidobástica com algumas bandas granoblásticas. Os cristais são inequigranulares com dimensões médias da matriz de 0,7 mm e com porfiroblastos de granada chegando a 5 mm. A matriz é composta por muscovita, biotita, clorita e quartzo e os porfiroblastos são de granada, estaurolita e cloritoide, raramente são encontradas também cianitas. Ocorrem com menos frequência, rochas com textura nematoblástica, como a amostra LR-44C, composta basicamente por estaurolita, quartzo, algumas micas associadas e porfiroblastos de granada (**Figura 4.7**).

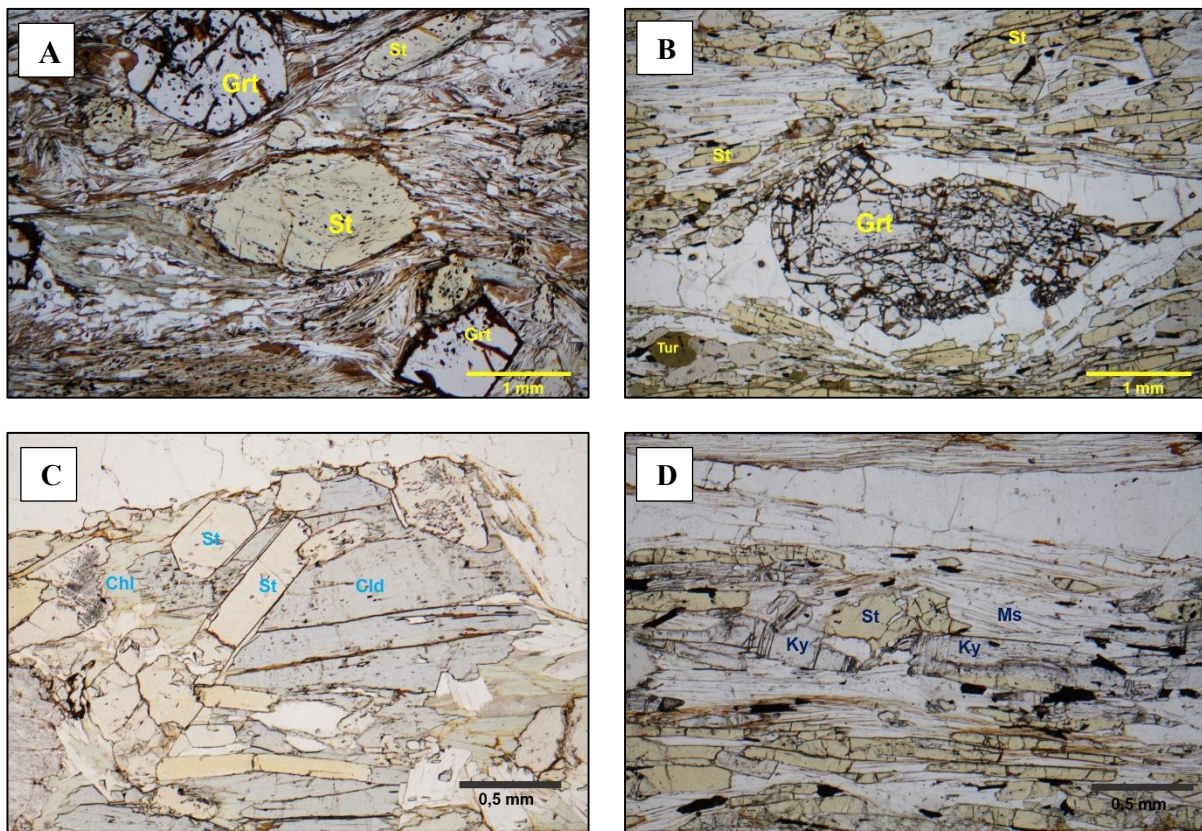


Figura 4.7. A – Fotomicrografia do metapelito da unidade Na4 mostrando os porfiroblastos subédricos de estaurolita (St) e granada (Grt) em rocha localizada no norte da área de estudos (Lâmina LR-10E). B – Fotomicrografia do metapelito da unidade Na4 com textura nematoblástica constituída por prismas alongados de St, porfiroblastos de Grt, cristais anedrais de turmalina (Tur) e com matriz também composta de quartzo e muscovita situada no sul da área (Lâmina LR-44C). C – Fotomicrografia mostrando os cristais de St crescidos sobre cloritoide (Cld), há também clorita (Chl) associada (Lâmina LR-10E). D – Fotomicrografia de porfiroblastos de cianita (Ky) e St em nível rico em muscovita (Ms) da amostra LR-44C. Imagens obtidas com microscópio óptico usando luz transmitida e polarizadores paralelos.

4.1.4. Unidade Na5

Esta unidade foi pouco observada e também pouco documentada durante os trabalhos de campo. Sua região de afloramento é no topo de serras ao longo da porção mais noroeste da área, principalmente em drenagens. É composta por biotita xistos de granulação fina e coloração cinza esverdeada. A textura dominante é lepidoblástica com porfiroblastos de granada. A matriz é composta principalmente por biotita e quartzo com muscovita associada (**Figura 4.8**).

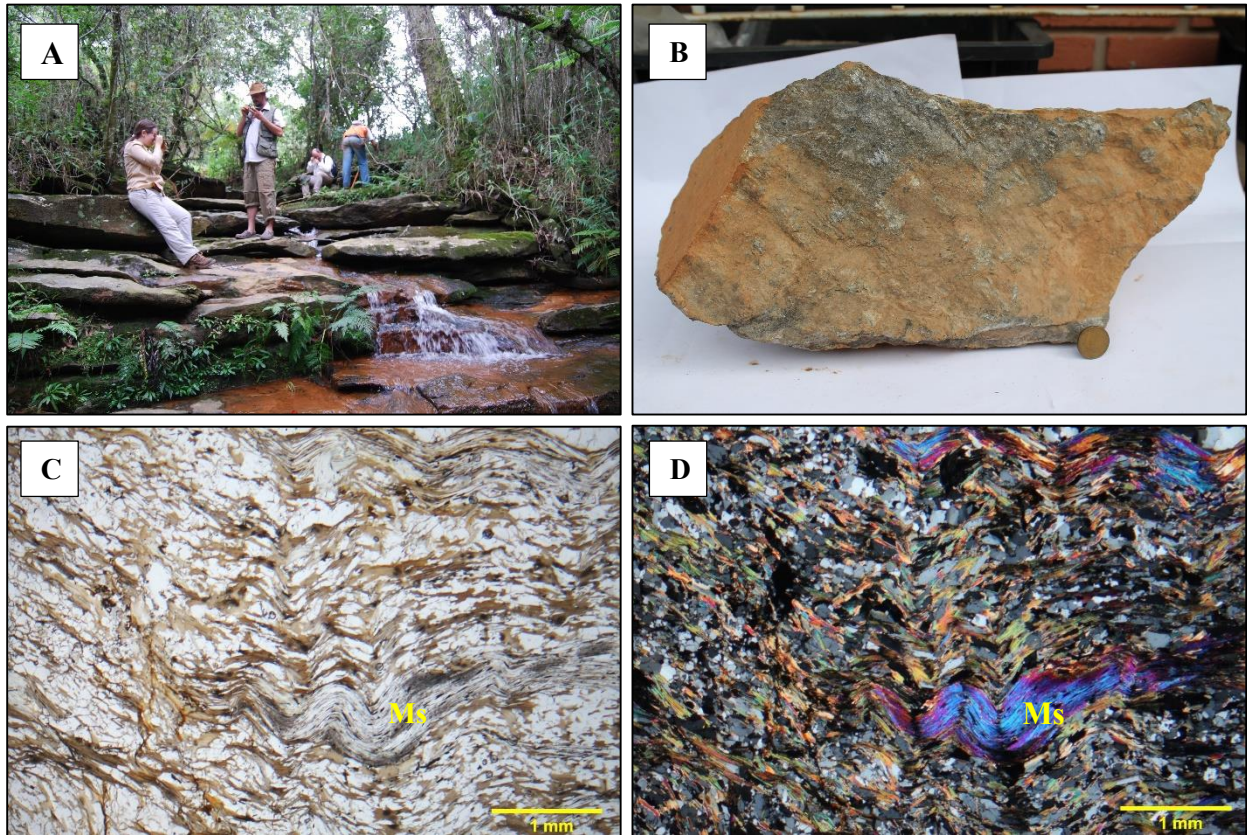


Figura 4.8. A – Afloramento de xistos da unidade Na5 em pequena queda d'água (Ponto LR-09). B – Amostra de granada-biotita xisto porfiroblástico (LR-08). C – Xisto crenulado com textura lepidoblástica formada por biotita (cristais placoides marrons), quartzo e pouca muscovita (Ms) do granada-biotita xisto porfiroblástico (Lâmina LR-08). D – Destaque para as cores de interferência maiores dos cristais de muscovita. C e D são fotomicrografias obtidas com microscópio óptico com luz transmitida e polarizadores descruzados (C) e cruzados (D).

5. Geologia Estrutural

Uma zona orogênica é, quase que por definição, uma região de nappes e empurrões (Merle, 1998). Dessa forma, a Nappe de Luminárias exhibe hoje estruturas formadas em regimes crustais dúcteis, ou seja, em grandes profundidades e desenvolvidas durante deslocamentos horizontais de dezenas a centenas de quilômetros e verticais também quilométricos. Como outras estruturas regionais, por exemplo a Klippe Carrancas, a nappe exhibe ao menos três fases de deformação (Trouw *et al.*, 1980, 1982, Paciullo, 1980, Ribeiro, 1980 e Heilbron, 1984).

As estruturas observadas na Nappe de Luminárias podem ser divididas em dois domínios. O primeiro constitui as principais estruturas (D_1+D_2) e o segundo é marcado por estruturas pouco penetrativas (Pós- D_2). Como estruturas principais temos a foliação metamórfica regional (S_2), as dobras isoclinais (D_2) e as lineações de estiramento (L_{E2}). Sobrepostas a estas estruturas, temos dobras suaves (Pós- D_2) distribuídas regionalmente, caracterizando um padrão de interferência do tipo caixa de ovos, quando observado sobre o plano do acamamento que é, em geral, paralelo à foliação S_2 .

Sobre a relação entre as fases D_1 e D_2 é entendido que se trata da evolução da deformação ao longo da orogenia. A foliação S_1 , possivelmente paralela ao acamamento sedimentar dos protólitos durante sua deformação, é encontrada dobrada no interior dos micrólitos da clivagem de crenulação S_2 . Portanto, existe uma sobreposição de deformações com aspecto contínuo e interpretada como decorrente do transporte da nappe. Posteriores às estruturas principais, as dobras suaves (Pós- D_2) têm origem associada a esforços tardios em relação à formação do orógeno, ainda em regimes dúcteis da crosta.

5.1. As fases deformacionais e suas estruturas

5.1.1. Fase deformacional D_1

A fase deformacional D_1 é expressa na forma de duas estruturas principais. Ou como uma foliação dobrada no interior dos micrólitos em xistos com clivagem de crenulação (**Figura 5.1**) ou como uma foliação dobrada em quartzitos ricos em micas (**Figura 5.2**). Em ambas as situações é possível observar a presença de minerais metamórficos paralelos ao bandamento composicional, marcando a foliação S_1 .

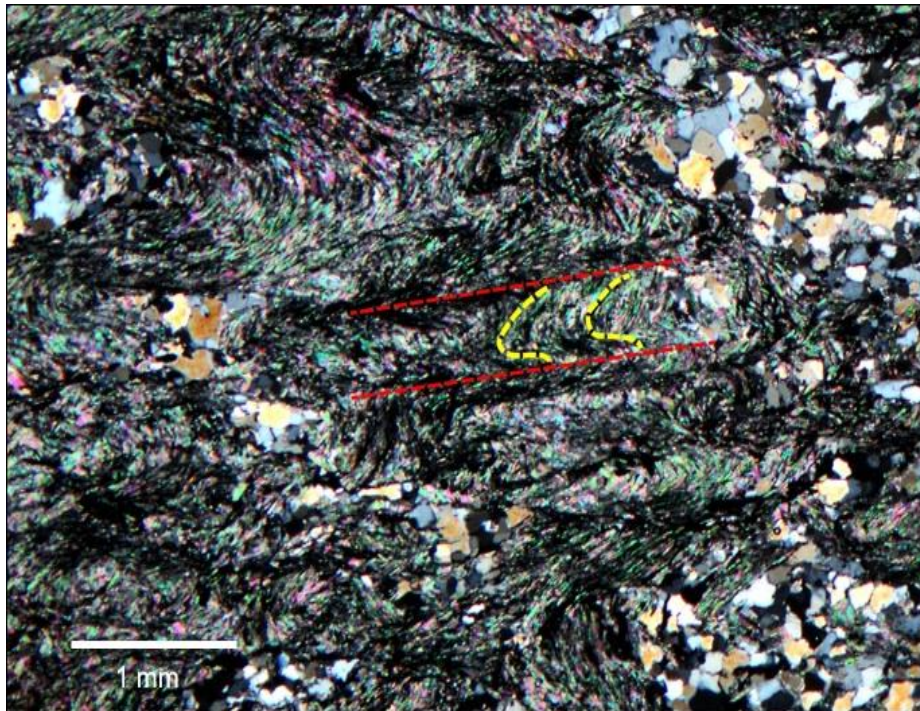


Figura 5.1. Microdobras D_2 no interior de micrólitos em xistos com clivagem de crenulação. Linhas tracejadas amarelas marcam as dobras D_2 e linhas tracejadas vermelhas marcam a foliação metamórfica regional S_2 . Imagem obtida com microscópio óptico com luz transmitida e polarizadores cruzados (lâmina da amostra LR-23).

As feições observadas indicam que a foliação S_1 guarda paralelismo com o acamamento primário dos protólitos. Contudo, além do bandamento composicional, nenhuma outra estrutura primária foi observada (**Figura 5.3**).

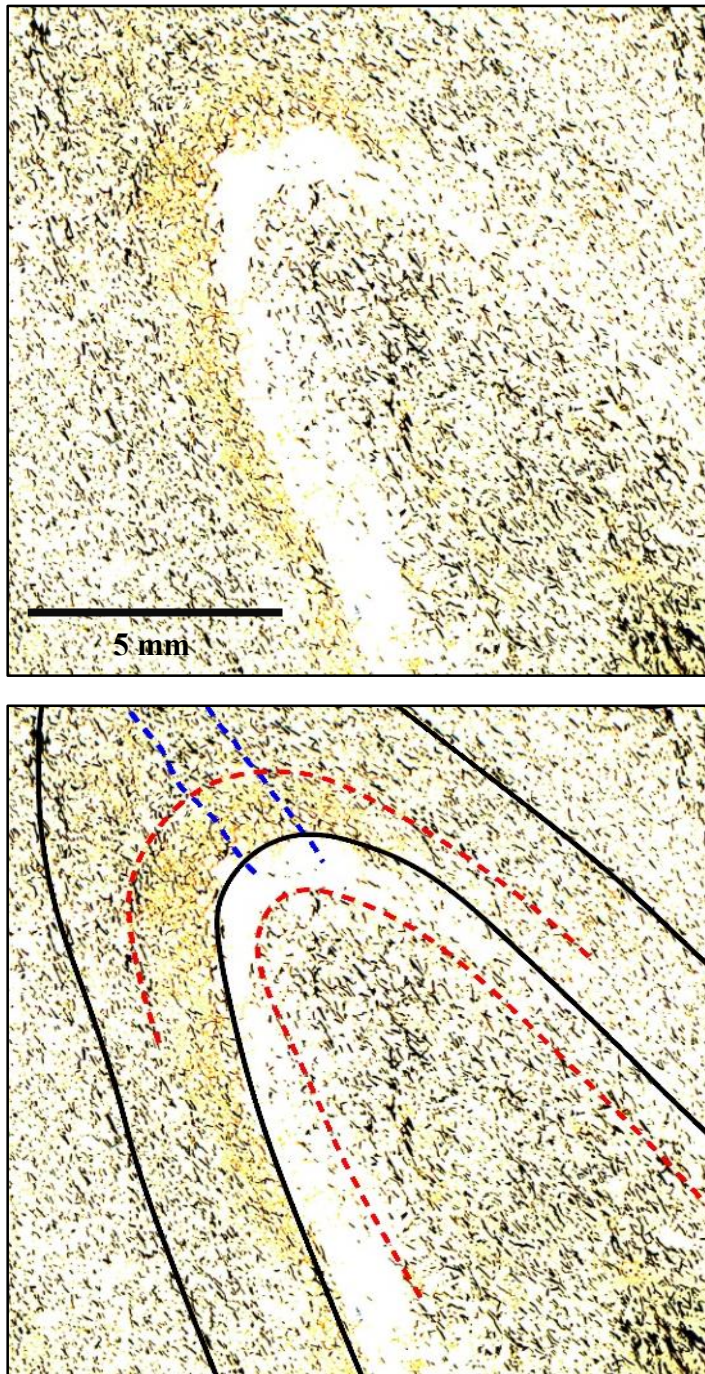


Figura 5.2. Quartzito micáceo com foliação S_1 (linha tracejada vermelha) dobrada isoclinalmente por D_2 com plano axial marcado pela linha tracejada azul. Linhas contínuas pretas marcam S_0/S_1 . Cópia digital da seção delgada LR-15 obtida com scanner. O contraste da imagem foi aumentado para salientar as linhas da imagem.



Figura 5.3. A – Quartzito com clorita e muscovita de S_1 dobradas por D_2 (LR-13). Imagem obtida com microscópio óptico com luz transmitida e polarizadores paralelos. B - Xisto com clivagem de crenulação (S_1 dobrada por D_2) observada em amostra de mão. A seta azul aponta para S_1 dobrada por D_2 . Ponto LR-19.

5.1.2. Fase deformacional D₂

O evento D₂ é a principal fase deformacional dúctil da área. Interpreta-se que suas estruturas se desenvolveram durante o transporte da nappe e se deu contemporaneamente às maiores condições de temperatura registradas nas rochas estudadas. Esta fase é responsável pelo desenvolvimento da foliação metamórfica regional S₂, dobras isoclinais e lineações de estiramento/mineral (Le₂, Lm₂) geradas por cisalhamento não-coaxial em baixo ângulo durante um regime compressivo de esforços.

A foliação S₂ é de baixo ângulo e plano axial das dobras D₂. Sua direção é aproximadamente N-S com caimento de 20° para oeste. Ao longo da área, a foliação S₂ ocorre como clivagem de crenulação (**Figura 5.2**) ou xistosidade (**Figura 5.4**), sendo controlada pelo tipo de rocha e intensidade da deformação.

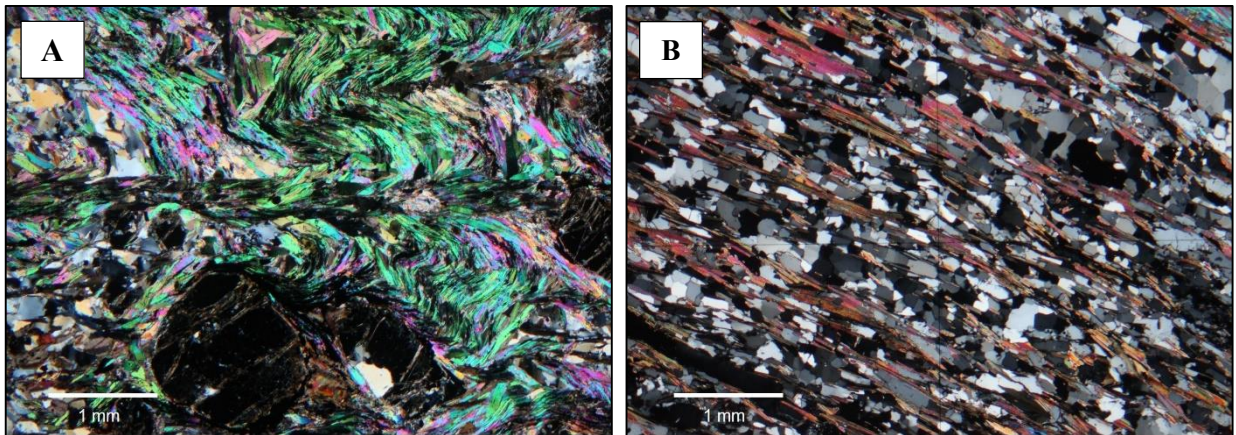


Figura 5.4. Diferentes morfologias de foliação desenvolvidas em D₂. A – Clivagem de crenulação em muscovita-granada xisto (LR-44A). B – Foliação disjuntiva em muscovita-quartzo xisto (LR-09). Imagens obtidas com microscópio óptico com luz transmitida e nicóis cruzados.

O estereograma da **Figura 5.5** representa a distribuição da foliação S₂ ao longo da área. O valor máximo de concentração é 260/16. As variações observadas são atribuídas às fases pós D₂ e serão discutidas a seguir.

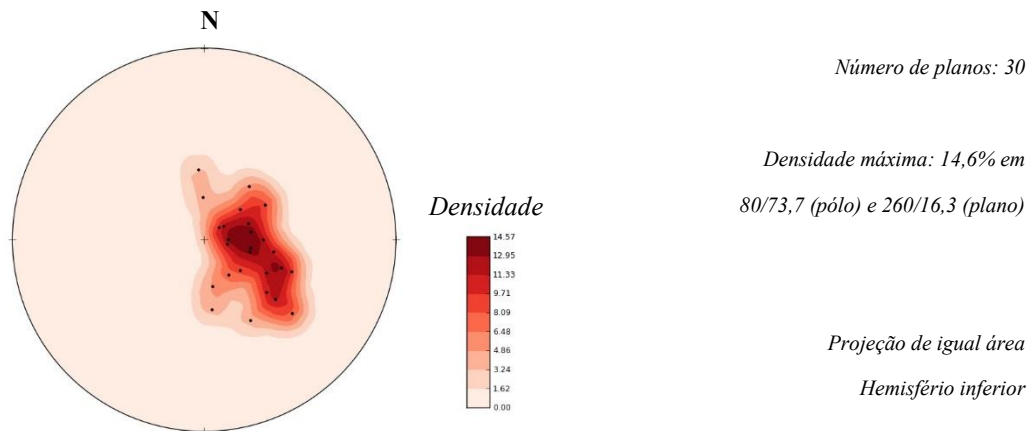


Figura 5.5. Estereograma dos pólos dos planos da foliação S_2 com direção preferencial N-S e mergulho de 20° para oeste.

As dobras D_2 são isoclinais e de baixo ângulo de caimento. O comprimento de onda e a amplitude destas dobras é variável, desde microscópico até quilométrico (**Figura 5.6**). Seus eixos (E_2) apresentam atitudes paralelas às lineações de intersecção ($S_0//S_1$ e $S_2 - Li_2$) estiramento (Le_2) e mineral (Lm_2) (**Figura 5.7**). Localmente, o ângulo entre o eixo das dobras D_2 e à direção de transporte, marcada por Le_2 e/ou Lm_2 , varia, podendo chegar à 90° . Esta relação entre os eixos D_2 e a lineação de estiramento pode ser explicada por um dobramento em bainha (**Figura 5.8**). Apesar de que estas dobras em bainhas não tenham sido observadas em campo, sua ocorrência na Nappe de Luminárias em escala de afloramento já foi descrita, por exemplo, em Coutinho (2012) e Trouw *et al.* (1982).

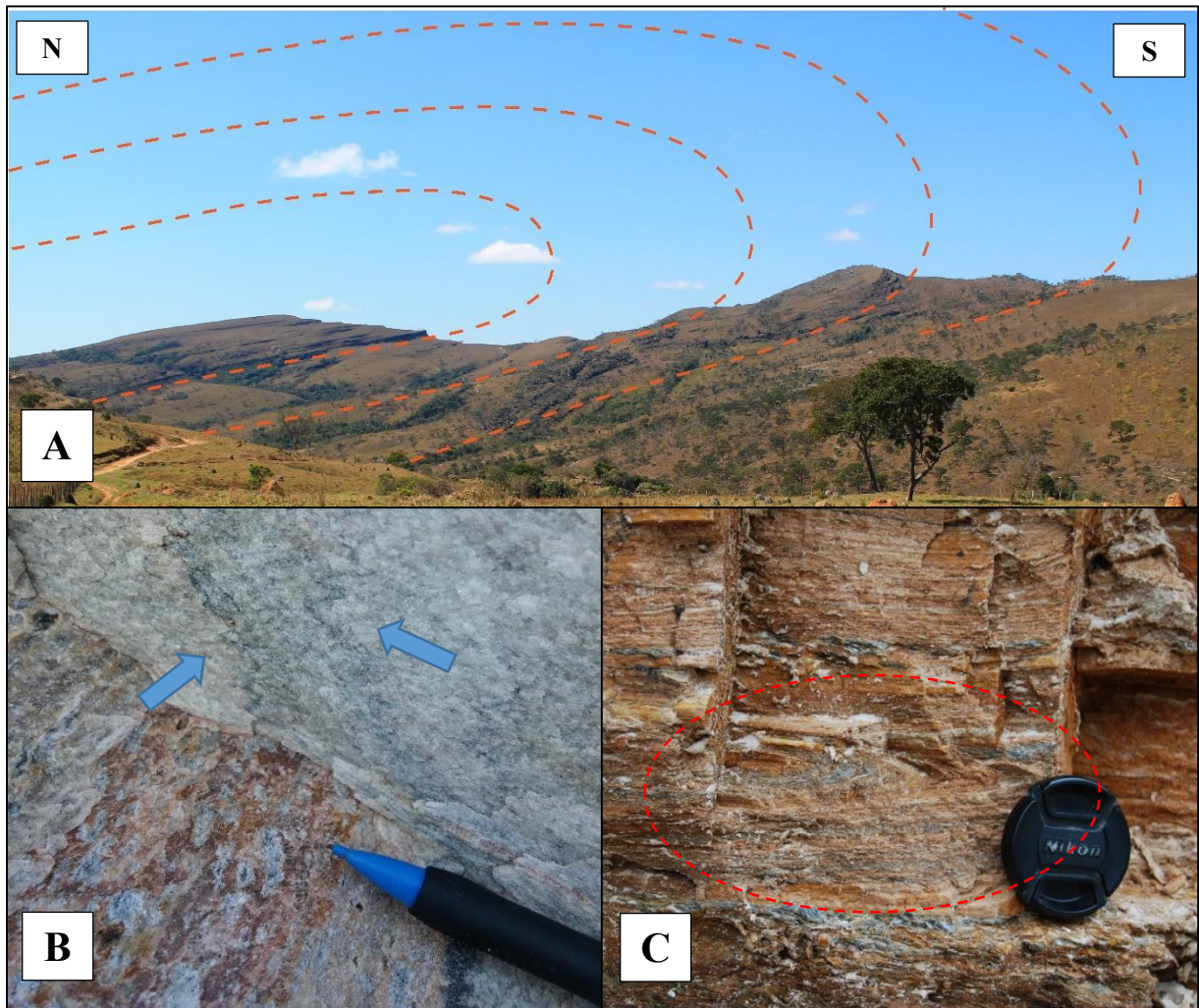
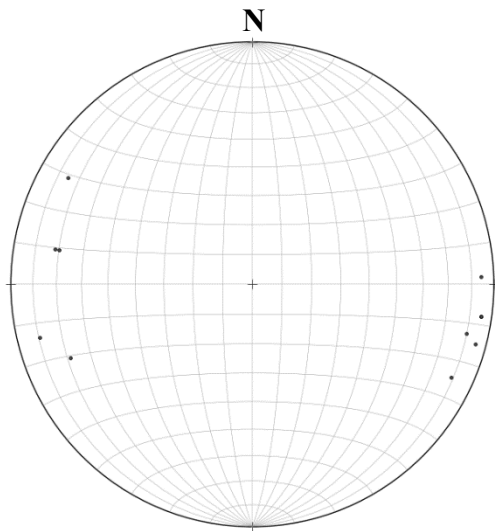


Figura 5.6. Interpretação para o dobramento D_2 baseada no padrão de deformação e nos contatos do mapa elaborado por Trouw *et al.* 2013. Esta interpretação envolve inversão de flancos e esta geometria está cartografada no referido mapa, porém uma maior consistência de dados é necessária para validar esta ideia. Visão N-S a partir do ponto LR-30. B - Pequenas dobras D_2 em M marcadas por micas em quartzito (Ponto LR-15). C - Dobra recumbente e isoclinal D_2 em quartzito-xisto (Ponto LR - 02).



Número de linhas: 11

Densidade máxima: 29% em 98.6/7.4

Projeção de igual área

Hemisfério inferior

Figura 5.7. Estereograma das lineações de estiramento e minerais. A direção preferencial é E-W e as duas lineações ocorrem paralelamente.

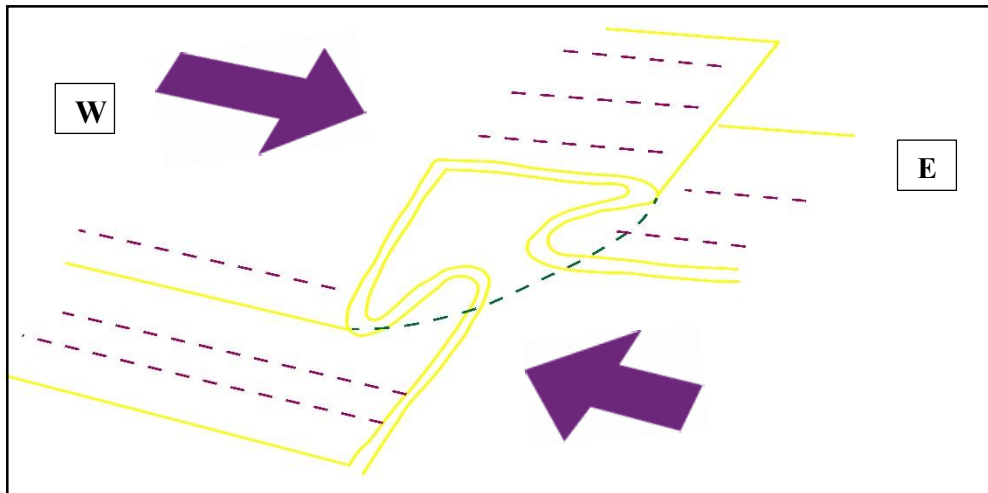


Figura 5.8. Modelo de desenvolvimento das dobras isoclinais com provável formação de dobras em bainha da fase D₂. Linhas amarelas são o contorno estrutural da dobra. Linhas tracejadas roxas indicam a direção das lineações de estiramento e mineral, enquanto que as setas indicam o sentido do transporte (W-E). Linha tracejada verde indica o dobramento do eixo.

Indicadores cinemáticos observados em corte paralelo às lineações minerais e de estiramento Lm_2 e Le_2 e perpendicular à foliação S_2 , indicam transporte tectônico para leste. Dentre os principais indicadores cinemáticos observados, destacam-se *mica-fish* e sombra de deformação assimétrica em porfiroblastos de granada, estauroлита e cloritóide. Também foram encontrados boudins de foliação (estruturas de estricção) em xistos quartzosos indicando estiramento E-W (Figura 5.9).

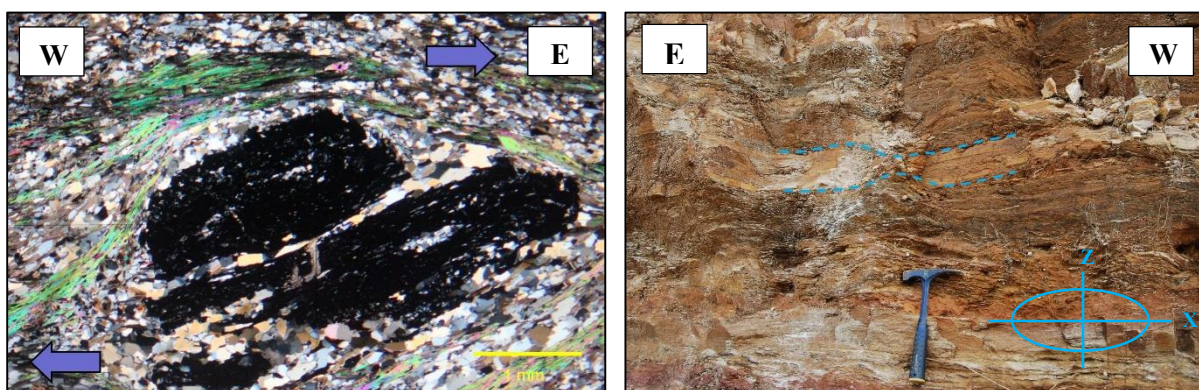


Figura 5.9. À esquerda, porfiroblasto de granada com feição de contorno de foliação assimétrica com transporte de topo dextral para E (Lâmina LR-17). À direita, boudin de quartzito (linha tracejada azul) em xisto intercalado com níveis de quartzito e no inferior direito, posicionamento dos eixos X e Z do elipsoide de deformação mostrando estiramento E-W (Ponto LR-02).

5.1.3. Fases deformacionais Pós- D_2 (D_3 e D_4)

As principais estruturas pós- D_2 observadas foram dobras abertas sem foliação plano axial associada, desenvolvidas sobre $S_2//S_0$. Em escala microscópica, foi observada crenulação sobre as foliações anteriores (Figura 5.10). Já em escala de afloramento, foram observadas dobras suaves com um padrão de interferência do tipo caixa de ovos com eixos e planos axiais de cada uma das dobras aproximadamente perpendiculares entre si (Figura 5.11 e Figura 5.12).

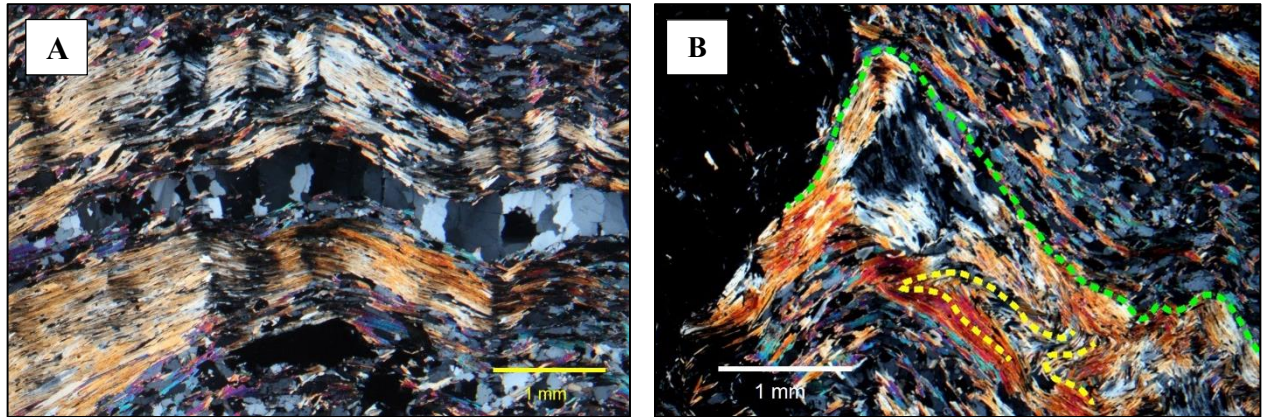


Figura 5.10. A – Crenulação D_3 desenvolvida sobre S_2 . B – Linhas amarelas tracejadas marcam S_1 dobrada por D_2 e redobradas por D_3 (linha tracejada verde). Imagens obtidas a partir da lâmina LR-08 usando microscópio óptico com luz transmitida e polarizadores cruzados.

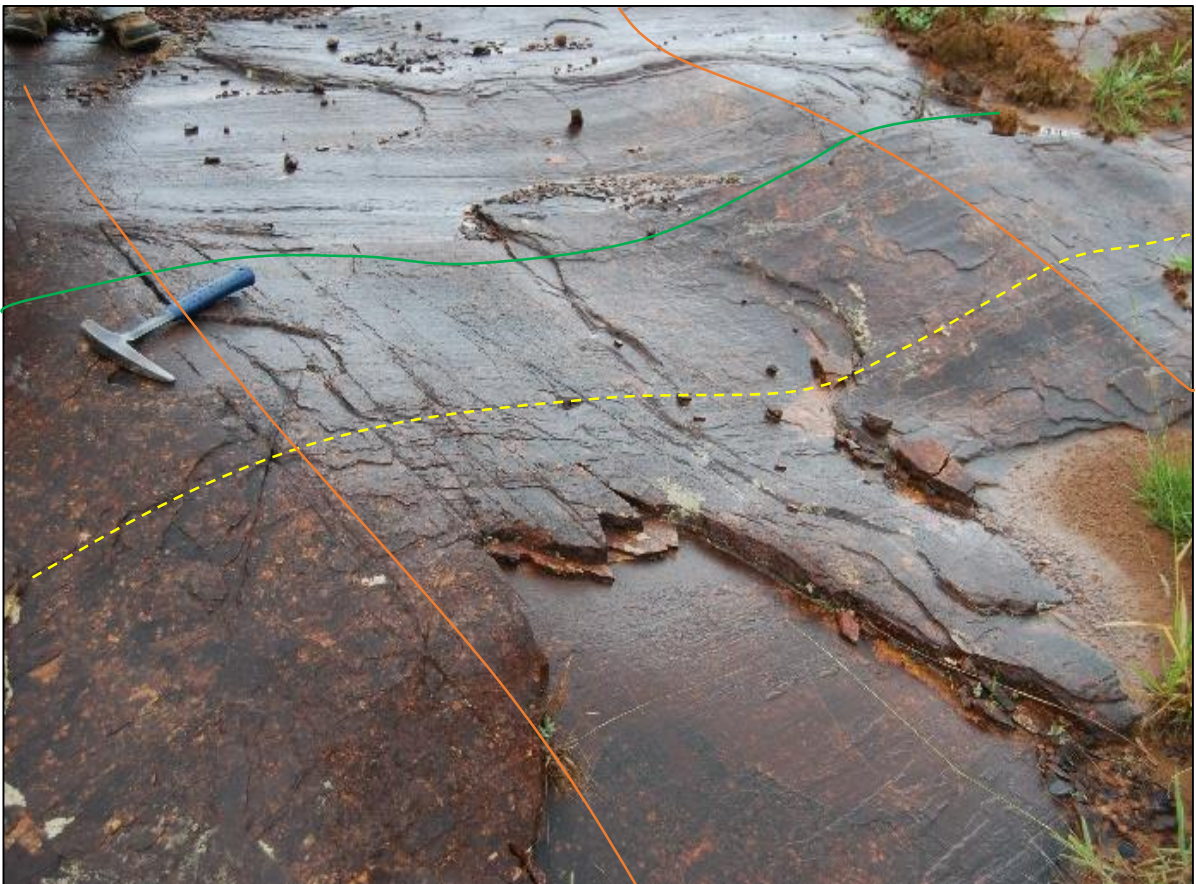


Figura 5.11. Padrão de interferência do tipo caixa de ovos. Linha tracejada amarela marca a lineação de estiramento D_2 . Linhas contínuas laranja e verde marcam intersecções dos planos axiais D_3 e D_4 com a superfície S_2 .

Como trata-se de uma relação geométrica sem o desenvolvimento de minerais durante estas fases e critérios claros de superposição de deformação não foram observados, optou-se por utilizar o termo fases pós-D₂, pois não foi possível estabelecer cronologia relativa entre as duas deformações. Embora o número de medidas de eixo pós-D₂ seja pequeno, são diferenciáveis duas atitudes preferencias: uma com direção aproximada E-W e outra NE-SW. Estas estruturas são atribuídas a eventos deformacionais regionais tardios, podendo estar associadas ao desenvolvimento da Faixa Ribeira ao sul da área de estudos e à zona de cisalhamento dúctil que trunca a Nappe de Luminárias ao norte, fora da área de estudos. O eixo de atitude NE-SW é amplamente descrito na literatura e relacionado aos processos citados (Faixa Ribeira e zonas de cisalhamento). Contudo, a atitude E-W não é descrita com frequência na literatura, mas sua ocorrência é comum na área de estudos.

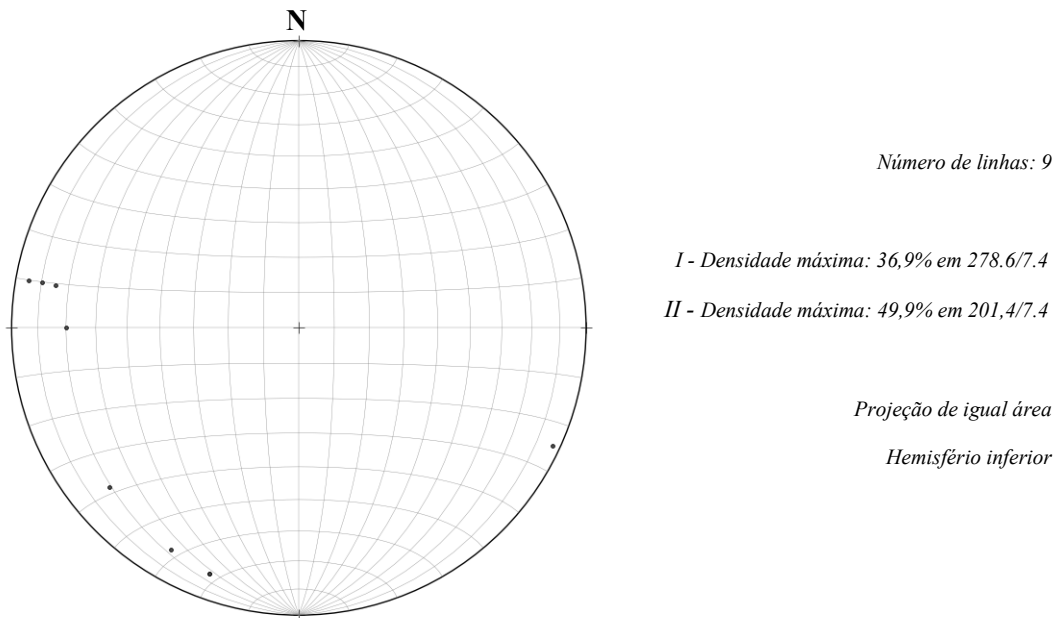


Figura 5.12. Estereograma dos eixos das dobras pós-D₂. Os eixos das dobras são perpendiculares entre si e com baixo caimento predominantemente para sul e oeste.

6. Metamorfismo

O estudo das paragêneses minerais metamórficas mostrou que existe um gradiente de P e T progressivo em direção ao sul da Nappe de Luminárias (Trouw *et al.*, 1980, 1983, Ribeiro & Heilbron, 1982). Rochas situadas mais ao norte da área de estudos exibem minerais que indicam equilíbrio sob as condições da fácies anfibolito médio do metamorfismo regional. Enquanto que as assembleias minerais localizadas na porção sul indicam recristalização no limite entre as condições das fácies anfibolito e eclogito, o que corrobora os trabalhos de Silva (2010) em rochas da *Klippe* Carrancas localizadas a leste da área.

No presente trabalho, as principais rochas analisadas para a avaliação do metamorfismo foram os metapelitos de alto alumínio da unidade Na4 (Formação Campestre). Estas rochas reúnem minerais indicativos do metamorfismo e as paragêneses metamórficas observadas são constituídas de cloritoide, estauroлита, granadas, cianita, clorita, muscovita e pouca biotita. Este último aspecto é resultado do excesso de alumínio, que favorece a formação de cloritoide e estauroлита em detrimento de biotita, mineral comum em metapelitos. Ressalta-se que nas rochas estudadas a biotita ocorre em condições de temperatura mais elevadas do que em pelitos de baixo alumínio.

Para o estudo metamórfico da Nappe de Luminárias, Fumes *et al.* (2015) calcularam pseudosseções nos sistemas KFMASH e KFMASHTO. Nestes diagramas, os campos de estabilidade das paragêneses metamórficas das rochas estudadas ocorrem no intervalo de 4 kbar a 18 kbar e 450 °C e 700 °C dos sistemas químicos KFMASH e KFMASHTO. O sistema KFMASH ($K_2O+FeO_2+MgO+Al_2O_3+SiO_2+H_2O$) foi escolhido por representar a composição dos pelitos da forma mais simples (**Figura 6.1**). Optou-se por exemplo por um sistema sem Na e Ca devido à escassez de feldspatos nos metapelitos da unidade Na4, por exemplo. À outra modelagem (KFMASHTO) foram adicionados os componentes TiO_2 (T) e O_2 (O) para avaliar a influência do rutilo e do ferro trivalente nas condições de P e T dos campos de estabilidade dos minerais.

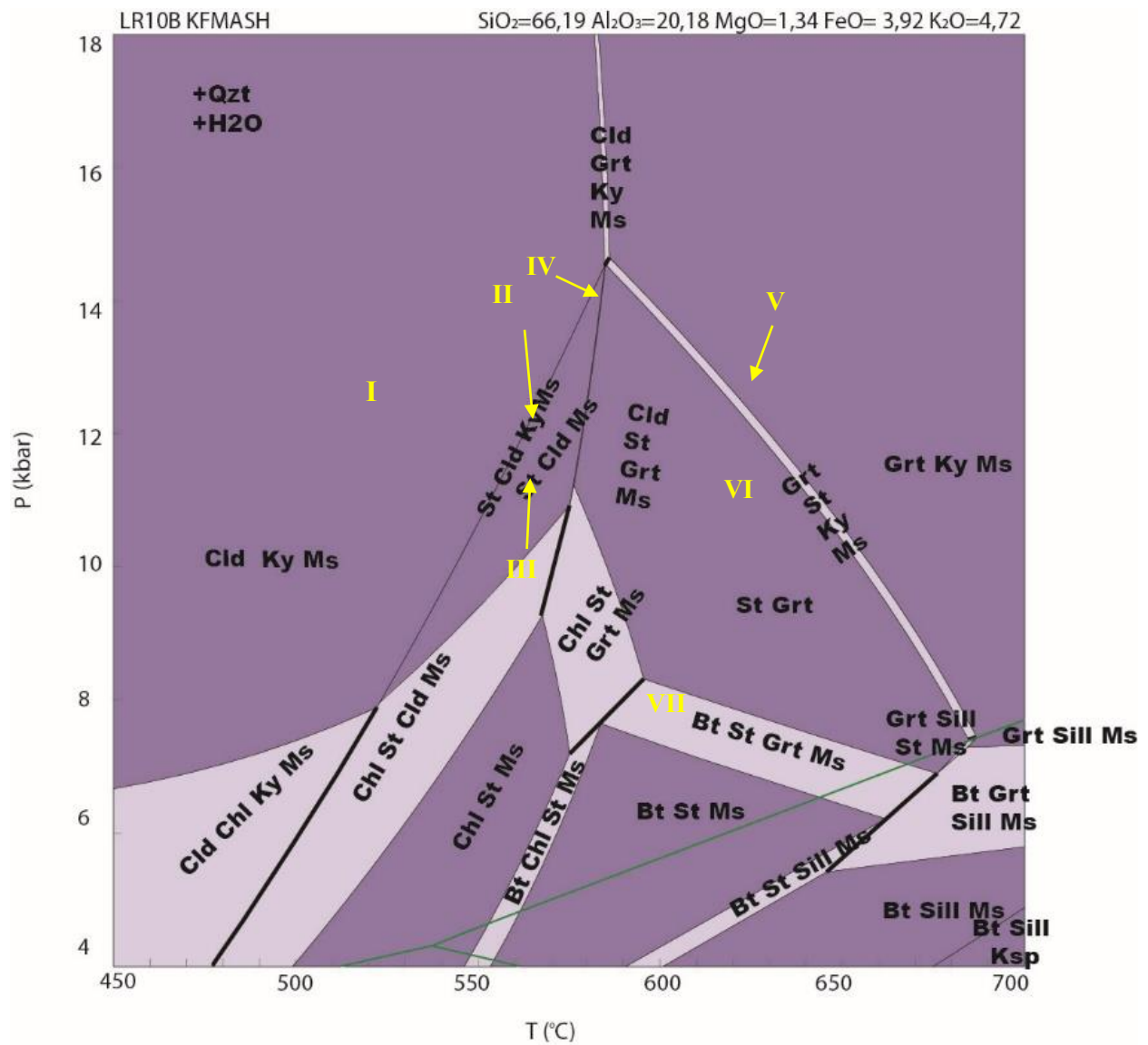


Figura 6.1. Pseudosseção do sistema químico KFMASH calculada por Fumes *et. al.*, (2015) a partir da amostra de xisto metapelítico LR-10B.

A amostra LR-05, coletada no norte da área, apresenta a seguinte paragênese:



Esta paragênese indica que a rocha foi formada em condições de P e T próximas à transição da fácies xisto verde para a fácies anfibolito (campos I e II da **Figura 6.1**) do metamorfismo regional de alta pressão. A rocha em questão (LR-05) exibe uma paragênese atípica e com fortes texturas retrometamórficas (**Figura 6.2**). Cloritoide (Cld) e clorita (Chl) são as principais fases minerais presentes, mas os minerais que indicam a progressão (estauroлита, St) exibem forte textura retrometamórfica.

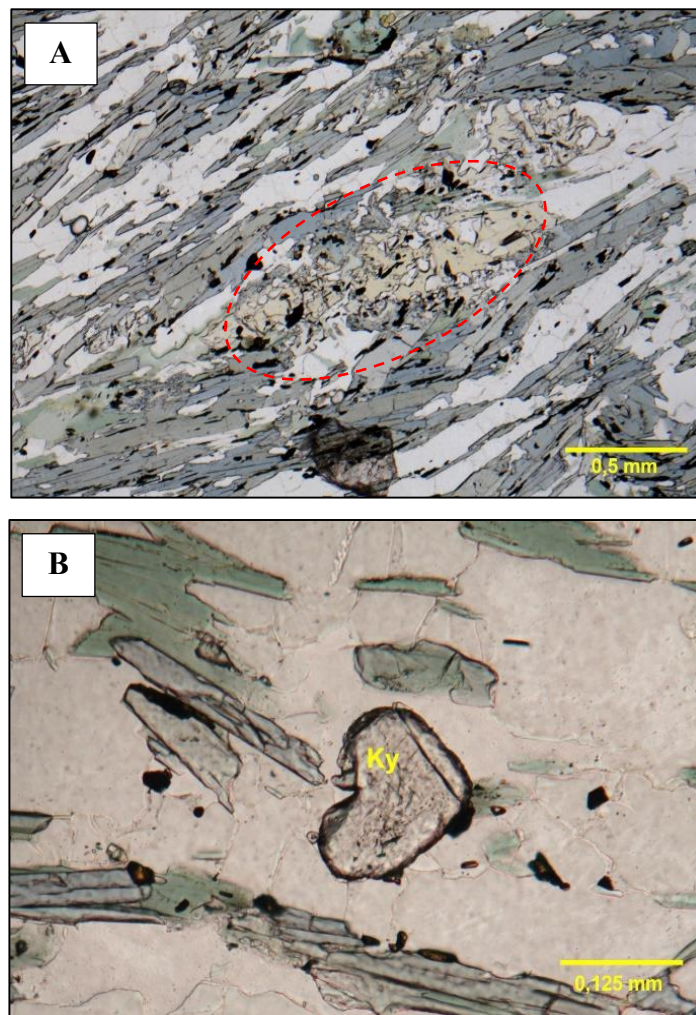
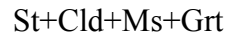


Figura 6.2. A – Cristal anedral de estauroлита com textura de substituição retrometamórfica (mineral amarelado no interior da elipse). Os cristais placoides subédricos verdes são cloritas e os azuis são cloritoides. B – Cristal anedral de cianita (Ky) com hábito granular. Fotomicrografias da Lâmina LR-05 a partir de microscópio óptico com luz transmitida e polarizadores paralelos.

Localizada em torno de 5 km mais ao sul do que LR-05, a amostra LR-10E apresenta paragênese mineral de grau mais elevado:



O aumento do grau metamórfico é marcado pela cristalização de granada nos metapelitos e ocorre em condições da fácies anfibolito (campos III e IV da Figura XX). A estaurolita forma cristais euédricos sobre os cristais de cloritoide. Estes apresentam textura de desequilíbrio e também forte cloritização (**Figura 6.3**). Quanto às granadas, apresentam forma euédricas a subédricas e bordas com menos inclusões (**Figura 6.4**). Estes aspectos serão discutidos em uma seção posterior (ver Capítulo 8).

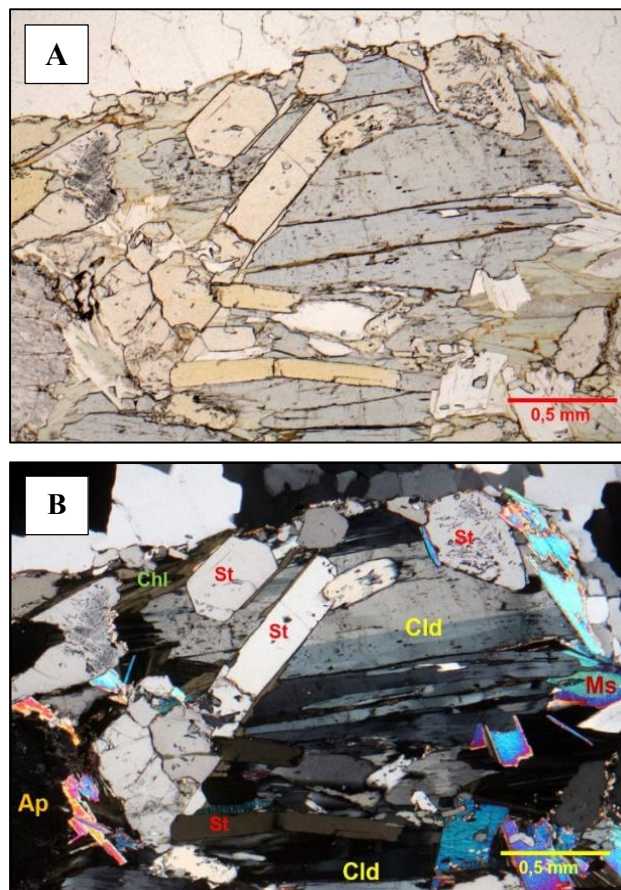


Figura 6.3. Cristais de St crescidos sobre porfiroclasto de Cld. Os cristais de Cld, assim como a St, exibem cloritização nas bordas. No canto inferior esquerdo, ocorre um grande cristal anedral de apatita (Ap). Fotomicrografias da lâmina LR-10E obtidas através de microscópio óptico com luz transmitida e polarizadores paralelos (A) e cruzados (B).

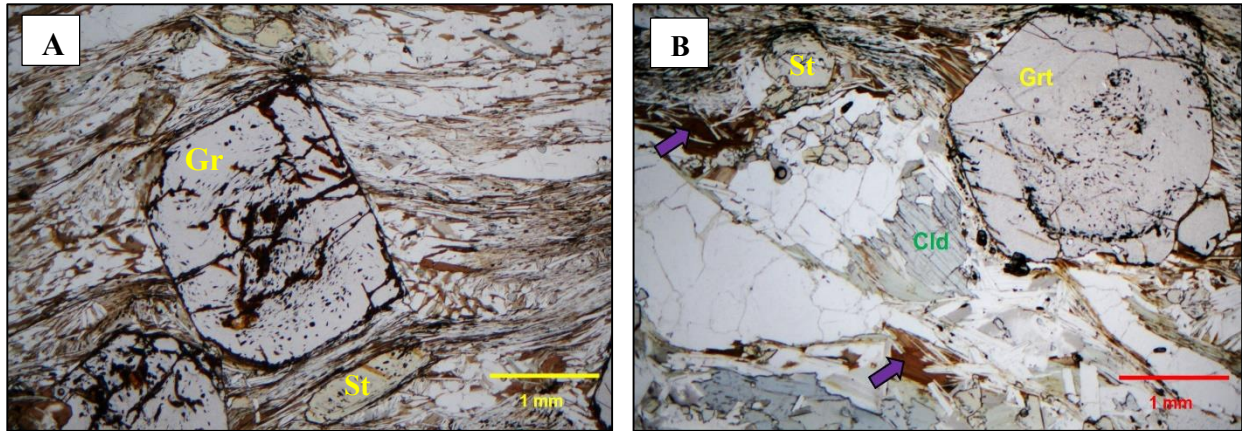


Figura 6.4. A – Porfiroblasto euédrico de Grt com bordas com poucas inclusões associados com porfiroblastos de St subédricos. A matriz é composta por cristais de quartzo, muscovita (cristais placoides incolores) e biotita (minerais placoides de cor marrom). B – Porfiroblasto de granada também com poucas inclusões nas bordas. No centro da imagem, um porfiroclasto de Cld. As setas roxas indicam cristais de biotita. A e B são fotomicrografis obtidas através de microscópio óptico com luz transmitida e polarizadores paralelos.

Cerca de 20 km ao sul da amostra LR-10E, a amostra LR-44C exhibe a associação mineral de mais alto grau metamórfico na área de estudos. A rocha apresenta a seguinte paragênese:



A rocha exhibe uma textura nematoblástica marcada pelos prismas alongados de estaurolita e também uma textura porfiroblástica caracterizada por grandes cristais de granada, inclusive com ocorrência de estaurolitas como inclusão. Já a cianita aparece na matriz da rocha na forma de cristais com texturas de desequilíbrio e sua ocorrência é restrita (**Figura 6.5**). Os cristais de estaurolita e cianita marcam a foliação S2. A paragênese Grt+St+Ky+Ms caracteriza o pico metamórfico registrado na área de estudos (campo V da **Figura 6.1**). Os cristais de biotita associados são possivelmente retrometamórficos e marcam a transição para o campo Bt+St+Grt+Ms (campo VII da **Figura 6.1**).

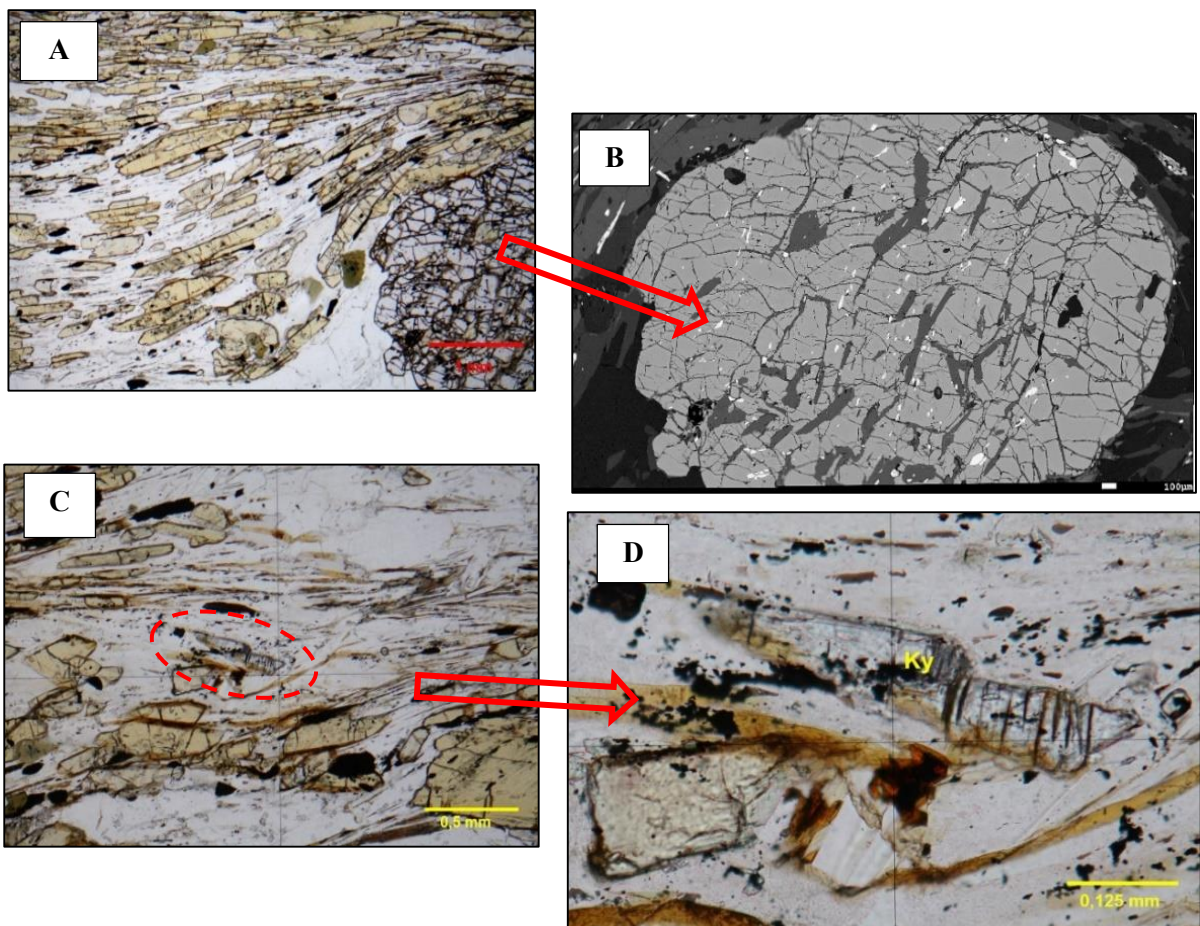


Figura 6.5. A – Textura nematoblástica marcada por cristais de St (prismas alongados e amarelos). B – Detalhe das inclusões em porfiroblasto de granada, as inclusões com formato alongado e de coloração cinza escuro são estaurólitas (Imagem com MEV da lâmina LR-44C). C – Pequeno cristal de Ky em matriz rica em St, outros minerais da matriz são muscovita, quartzo e biotita. D – No centro da imagem, Ky com textura de dissolução. A, C e D são fotomicrografias obtidas através de microscópio óptico com luz transmitida e polarizadores paralelos da lâmina LR-44C.

Embora pseudosseções tenham sido modeladas apenas para uma amostra (LR-10B), resultados preliminares obtidos por Fumes (2015, em preparação) indicam que os metapelitos têm composição química total semelhantes ao longo da unidade Na4. Por este motivo, estas pseudosseções foram usadas para comparar a distribuição das paragêneses de diferentes amostras ao longo da área de estudo e suas variações de P e T . Com a inclusão dos componentes TiO_2 e O_2 , verificou-se a elevação das pressões dos campos de estabilidade (**Figura 6.6**). E o cálculo desta pseudosseção também foi motivado pela comparação destes resultados de P e T do sistema químico KFMASHTO com a termometria do rutilo também realizada neste trabalho.

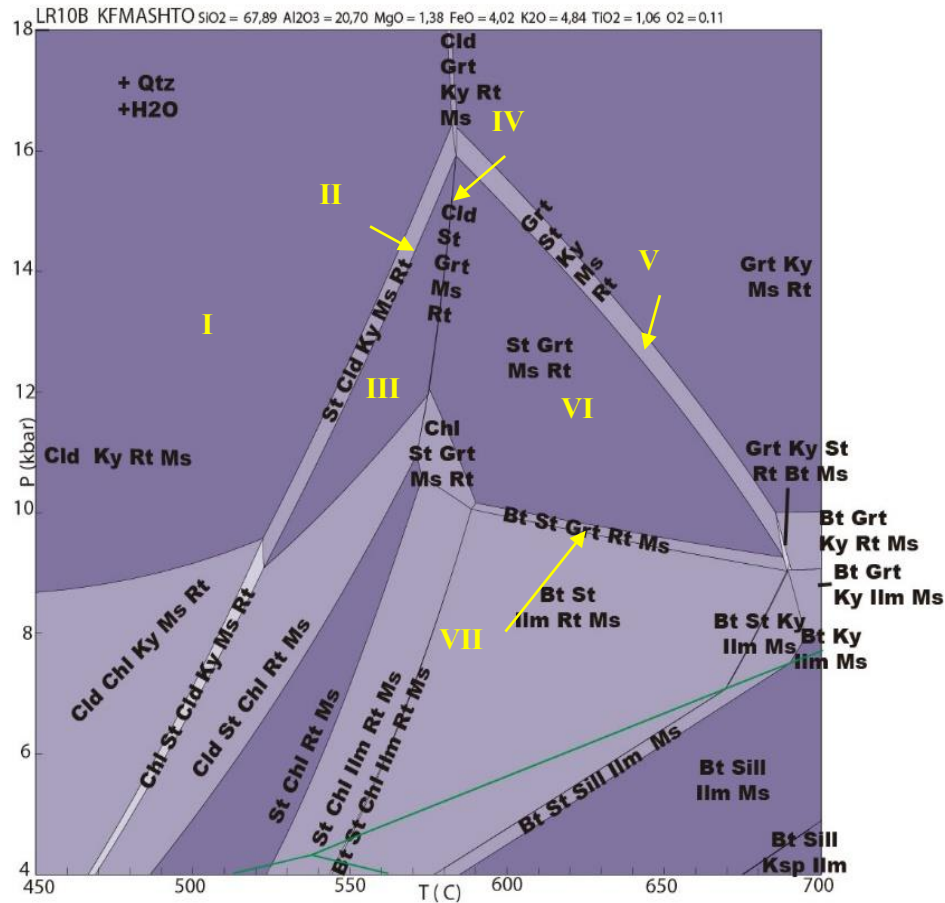


Figura 6.6. Pseudosseção do sistema químico KFMASHTO calculada por Fumes *et al.*, (2015), observar que a adição dos componentes TiO_2 e O_2 elevam as pressões dos campos de estabilidade. Os algarismos romanos em amarelo representam as mesmas associações minerais citadas ao longo do texto com a adição de rutilo (Rt).

Mais detalhes sobre a evolução metamórfica da área de estudos são dados no capítulo X através de uma discussão dos dados de petrografia, química mineral e da história deformacional da Nappe de Luminárias.

7. Química Mineral

As análises químicas pontuais foram feitas no Laboratório de Microsonda Eletrônica do Departamento de Petrologia e Metalogenia do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Unesp – Campus de Rio Claro. O equipamento utilizado foi uma Microsonda Eletrônica modelo JEOL-8230 Superprobe equipada com 5 detectores WDS. Para padronização foram utilizados materiais de referência internacionalmente reconhecidos. As análises de silicatos foram realizadas com voltagem de aceleração de 15kV, corrente de feixe de elétrons de 20nA, diâmetro de feixe de 5µm (10µm para micas) e tempo de médio de análise de 10 segundos no pico e 5 em cada background (inferior e superior). Para correção de matriz utilizou-se ZAF. As análises de elementos traço em rutilo (Si, Al, Fe, Nb, Ta e Zr) seguiram as condições de Luvizotto *et al.* (2009). As análises foram realizadas com aceleração de 20 kV, corrente de 80 nA e diâmetro do feixe de 5 µm. Utilizou-se como material de referência o rutilo R10 (Luvizotto *et al.*, 2009) para testar a acurácia e reprodutibilidade das análises.

Nos minerais formadores de rocha, foram realizadas análises pontuais na borda e no núcleo dos cristais. Perfis de borda a borda foram realizados granada, estaurolita e cloritoide. Duas amostras (**Tabela 7.1**). Estas amostras foram selecionadas pois representam diferentes condições de P e T e são boas representantes da variação metamórfica na área de estudos, sendo que a LR-10E representa condições mais baixas (porção norte) e a LR-44C o grau metamórfico mais alto (porção sul) da área. Os caminhos metamórficos percorridos pelas amostras podem ser traçados através das mudanças contínuas nas composições de minerais ao longo do metamorfismo (Spear, 1993). Os minerais analisados foram selecionados com base em análise textural realizada por meio de petrografia e imageamento eletrônico (BEC). Em minerais zonados, como a granada, foram selecionadas análises referentes aos diferentes setores do grão para cálculos de P e T, tendo como objetivo reproduzir as condições de equilíbrio no momento de cristalização dos minerais.

Tabela 7.1. Identificação das amostras e minerais analisados

<i>Amostra</i>	<i>Minerais analisados</i>
LR-10E	Granada, estaurolita, cloritoide, muscovita
LR-44C	Granada, estaurolita, muscovita

As fórmulas dos minerais foram calculadas usando o programa AX desenvolvido por Tim Holland (<http://www.esc.cam.ac.uk/research/research-groups/research-projects/tim-hollands-software-pages/ax>). A seguir são apresentados os resultados obtidos para os minerais analisados.

7.1. Estaurolita

A estaurolita é um nesossilicato característico da fácies anfibolito em rochas metapelíticas com alto teor de alumínio. Sua estrutura cristalina é bastante complexa e pode receber diversos cátions (e.g. Fe, Mg, Li, Mn, Zn) (Holdaway, 2004). De acordo com Hawthorne *et al.* 1993a, sua fórmula é:



Porém, a fórmula foi calculada para 46 oxigênios porque não foi possível quantificar a quantidade de certos cátions como H ou Li.

A variação química da estaurolita foi medida através de pontos traçados paralelamente à maior alongação dos cristais. Para a amostra LR-10E, duas estaurolitas foram selecionadas e foram analisados 30 pontos em cada uma delas (**Figura 7.1**). Já para a amostra LR-44C, três estaurolitas foram selecionadas e cinco pontos foram feitas em cada uma delas (**Figura 7.2**).

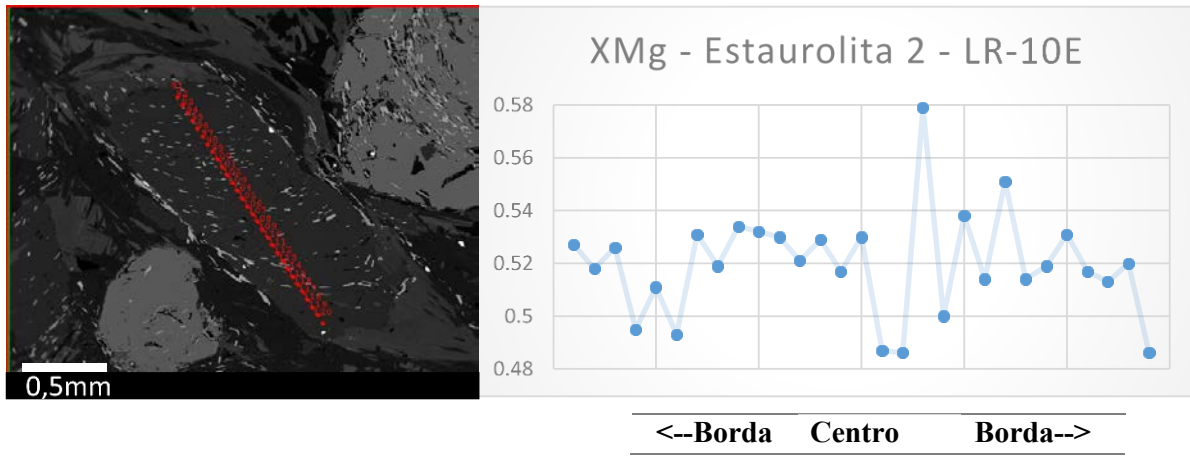
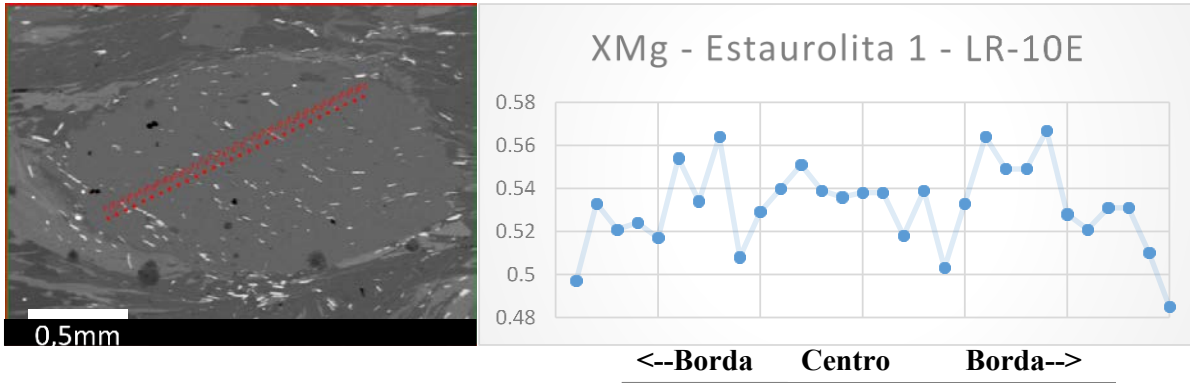


Figura 7.1. Perfis para XMg (atoms per formula unit, a.p.f.u) em porfiroblastos de estaurolita da amostra LR-10E.

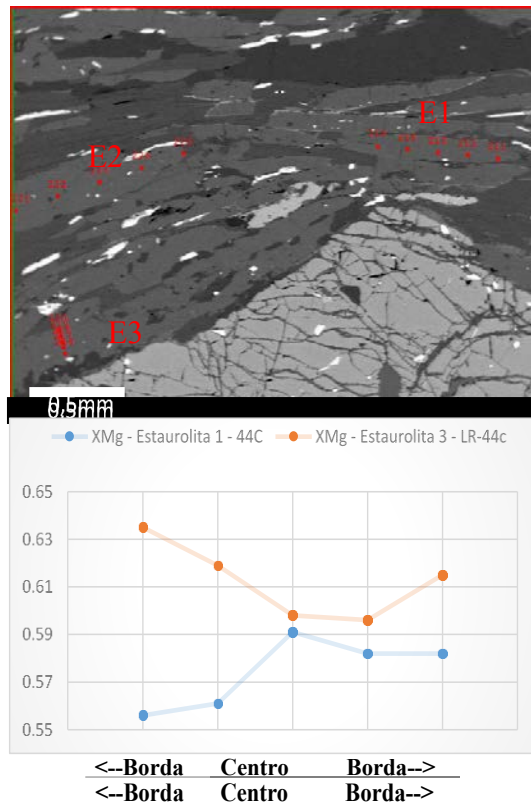


Figura 7.2. Perfis para X_{Mg} (a.p.f.u) para os porfiroblastos E1 e E3 de estaurolita na amostra LR-44C. A St E1 exibe um aumento de Mg em direção ao centro, já a St E3 registra uma diminuição de Mg na mesma direção.

A textura das estaurolitas nas duas amostras é diferente. A estaurolita ocorre como porfiroblastos prismáticos (até 2,5 mm de tamanho) com contornos irregulares na amostra LR-10E, enquanto que na amostra LR-44C, a estaurolita compõe a matriz da rocha e dá a esta uma textura nematoblástica (cristais inferiores à 1,0 mm). Quanto à composição química, a amostra LR-44C é ligeiramente mais rica em Mg com uma pequena zonação, enquanto que na amostra LR-10E nenhum padrão de zonação foi observada em ambas as amostras.

7.2. Cloritoide

Os minerais do grupo do cloritoide são constituintes comuns de rochas metamórficas ricas em ferro e alumínio (Deer *et al.*, 1997). Estes minerais estão presentes nas fácies xisto verde a anfibolito. Em rochas de alta pressão (HP), é comum a variedade rica em Mg, na qual o cátion substitui o Fe²⁺.

O cloritoide ocorre nas rochas da nappe de Luminárias como cristais tabulares porfiroblásticos (por exemplo, LR-10E) ou como prismas compondo a matriz da rocha em associação com clorita e estauroлита (por exemplo, LR-05).

Os cloritoides analisados na amostra LR-10E exibem concentração de Mg e Fe similares com concentrações altas de Mg refletidas como uma queda em Fe²⁺ (Figura 7.3).

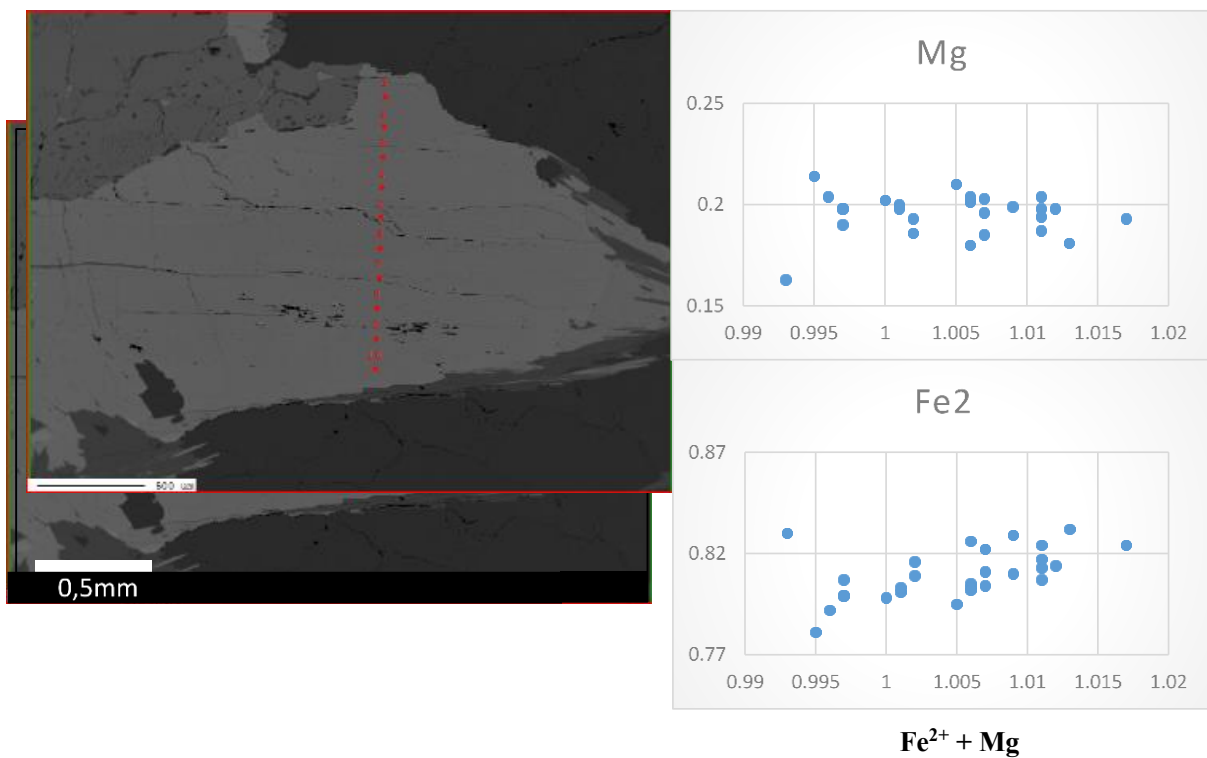
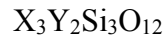


Figura 7.3. Diagramas binários Mg e Fe²⁺ versus Fe²⁺ + Mg (a.p.f.u).

Fe²⁺ + Mg

7.3. Granada

A granada é um nesossilicato encontrado em diversos tipos de rochas metamórficas e ígneas. Sua ocorrência é bastante comum em metapelitos e sua composição está intimamente ligada às condições de pressão e temperatura. Outro aspecto importante é que sua distribuição é bastante ampla no metamorfismo (Deer *et al.*, 1997). Portanto, mesmo uma única granada pode registrar variações composicionais que refletem intervalos de pressão e temperatura distintos ao longo da história metamórfica. Sua estrutura cristalina fundamental é:



O sítio X é preenchido por Fe, Mg, Mn e Ca. Já o sítio Y é preenchido por Fe, Al, Ti e Cr. O preenchimento dos sítios X e Y leva à formação de sete membros finais apresentados na **Tabela**

7.2. Membros finais de granadas e sua respectiva fórmula química:

Tabela 7.2. Membros finais de granadas e sua respectiva fórmula química

Almandina	Fe₃Al₂Si₃O₁₂
Piropo	Mg ₃ Al ₂ Si ₃ O ₁₂
Esperssatita	Mn ₃ Al ₂ Si ₃ O ₁₂
Grossulária	Ca ₃ Al ₂ Si ₃ O ₁₂
Andradita	Ca ₃ Fe,Ti ₂ Si ₃ O ₁₂
Uvarovita	Ca ₃ Cr ₂ Si ₃ O ₁₂
Hidrogrossulária	Ca ₃ Al ₂ Si ₃ O ₈ SiO ₄ ^{1-m} OH _{4m}

Nas rochas da Nappe de Luminárias, as granadas ocorrem como porfiroblastos euédricos ou subédricos com trilhas de inclusão de marcando uma foliação interna. São comuns as granadas do tipo *snowball* (rotacionadas em relação à foliação externa) e com bordas livres de inclusões, ou seja, inclusões somente presente no centro dos porfiroblastos.

7.3.1 Granadas do norte da área (amostra LR-10E)

As granadas do norte da área de estudos (grau metamórfico anfibolito médio) apresentam enriquecimento em Fe e Mg em direção às bordas (**Figura 7.4**. Perfis composicionais das granadas G1 (A) e G2 (B) na amostra LR-10E. Alm, almandina; Prp, piropo; Sps, esperessatita; Grs, grossulária.). O membro dominante é a almandina. Os núcleos da granada apresentam maiores concentrações de Mn e Ca (esperessatita e grossulária, respectivamente), sendo mais rico em Ca do que em Mn em ambas as granadas. Embora a ausência de inclusões na borda seja uma textura bastante característica, grandes mudanças composicionais não são percebidas ao cruzarmos este limite e observarmos as zonas sem inclusões. O padrão de zonamento observado é típico de granadas cristalizadas com aumento de temperatura (Yardley, 1989).

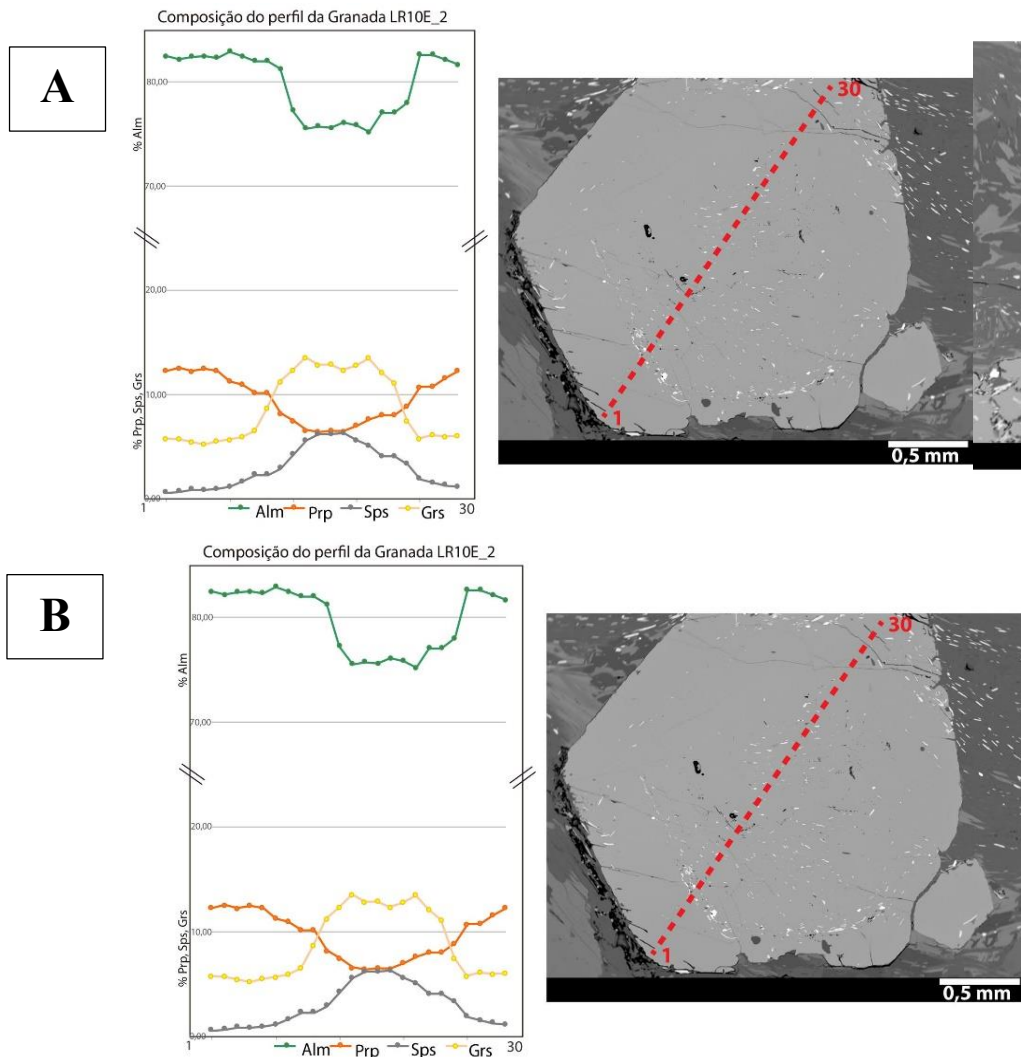


Figura 7.4. Perfis composicionais das granadas G1 (A) e G2 (B) na amostra LR-10E. Alm, almandina; Prp, piropo; Sps, esperessatita; Grs, grossulária.

7.3.2. Granadas do sul da área (amostra LR-44C)

As granadas de rochas mais ao sul também exibem enriquecimento de Fe e Mg em direção às bordas. Porém, a distribuição de Mn e Ca é bastante diferente em relação a LR-10E. Aqui a concentração de Ca é muito baixa, em torno de 1% (aproximadamente 5% a 12% em LR-10E) e a concentração de Mn é alta, variando de aproximadamente 10% a 20% (aproximadamente 5% em LR-10E).

Para a granada G1-44C (**Figura 7.5**) foram traçados dois perfis (A-B e C-D) para verificar sua distribuição composicional ao longo de todo o cristal, já que este exibe uma forma subédrica. Verificou-se que o perfil A-B preservou uma simetria composicional com o enriquecimento em Fe e Mg e empobrecimento em Mn em direção às bordas.

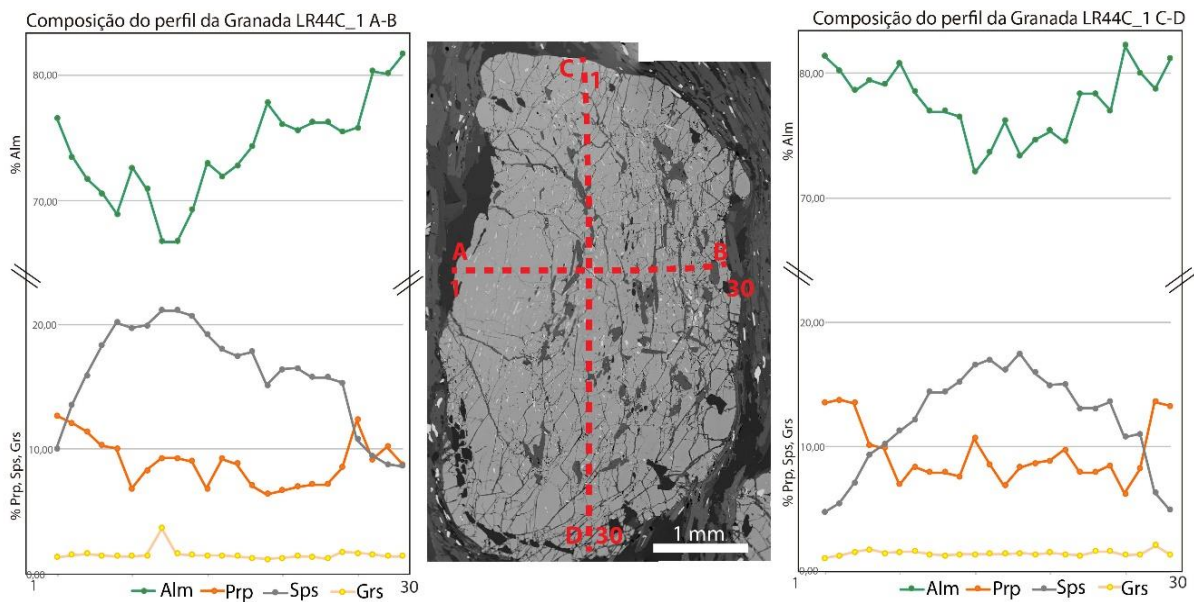


Figura 7.5. Perfis composicionais da granada G1 da amostra LR-44C. A-B é o perfil longitudinal (à esquerda) e C-D é o perfil latitudinal (à direita). Alm, almandina; Prp, piropo; Sps, esperssatita; Grs, grossulária.

A granada G2-44C é rica em inclusões de estauroлита e seu perfil apresenta uma certa linearidade em relação à distribuição de Fe e Mg em direção às bordas. Também é pobre em Ca, mas assim como as demais granadas tem o núcleo rico em Mn (**Figura 7.6**).

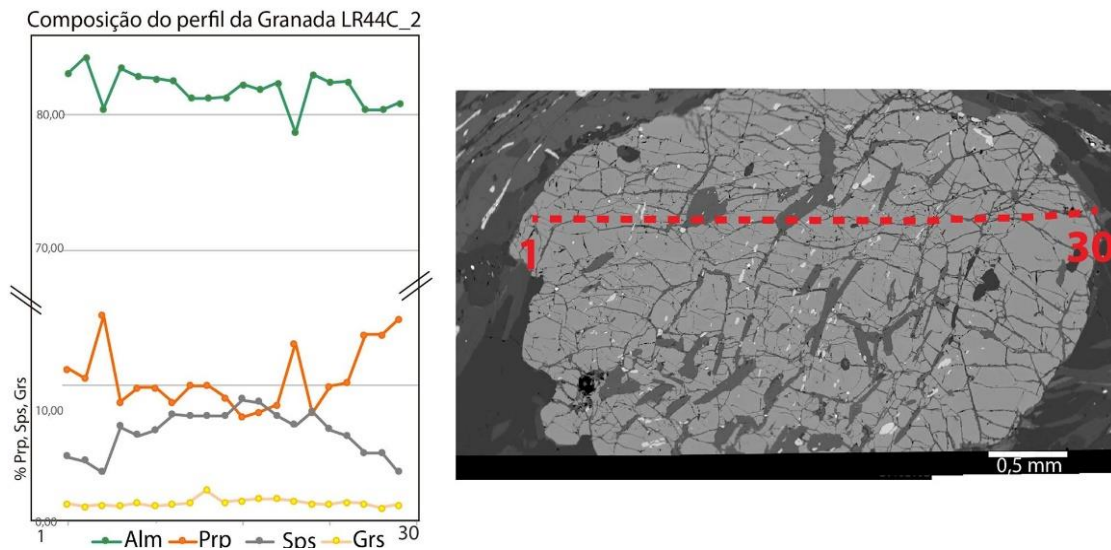


Figura 7.6. Perfil composicional da granada G2 da amostra LR-44C. As inclusões prismáticas de cor cinza escuro são estaurolitas.

A granada G3-44C (**Figura 7.7 A**) é do tipo *snowball* e também dominada pelo membro almandina com enriquecimento de Fe e Mg em direção às bordas. Seu zoneamento composicional acompanha a estrutura rotacionada do cristal e ficou evidenciado na distribuição do Mn no centro da granada (**Figura 7.7 B**). Seu padrão de distribuição dos membros de Fe, Mg, Ca e Mn apresenta perfil semelhante à granada G1-44C.

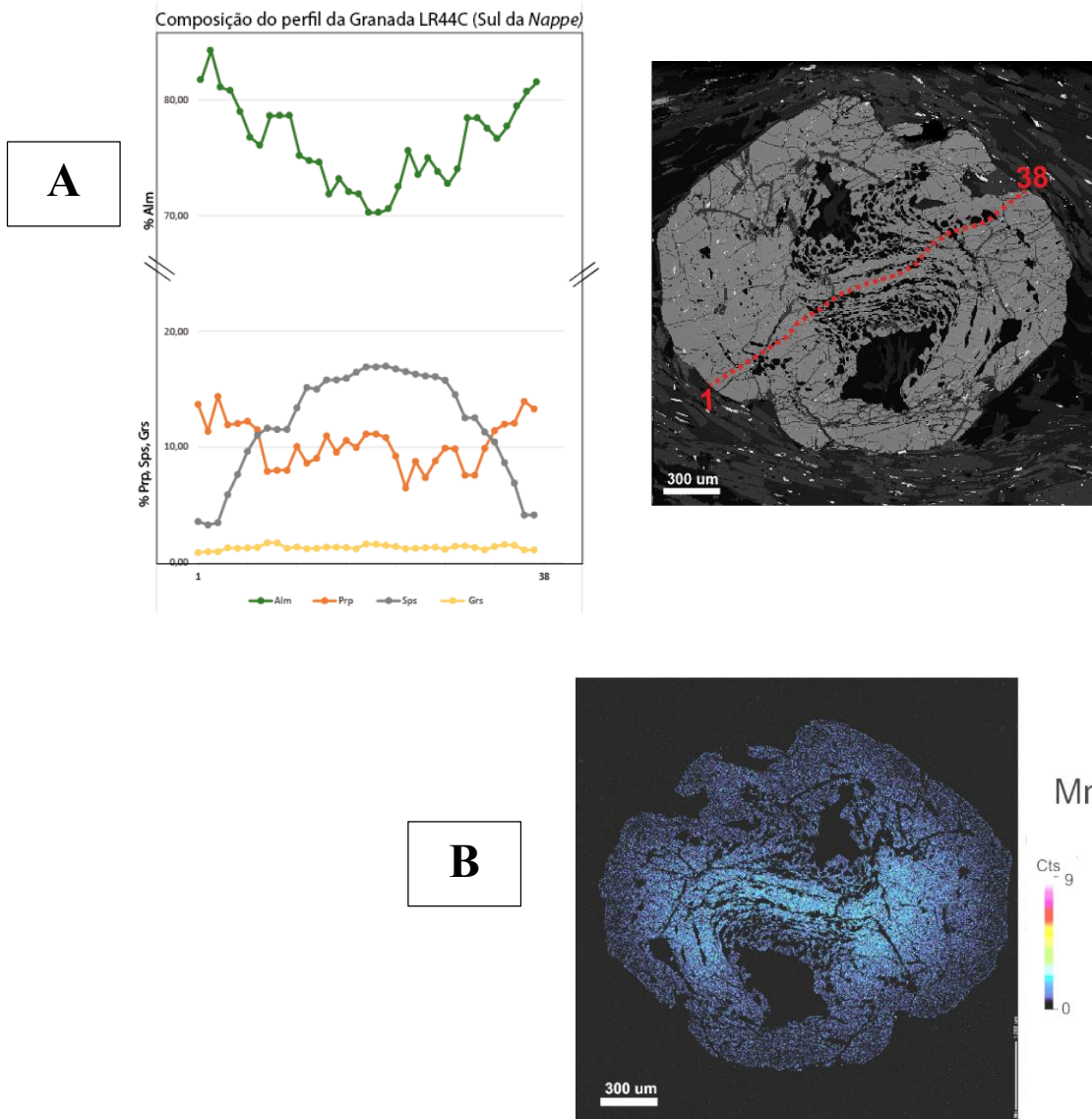
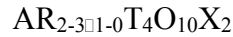


Figura 7.7. Figura X: A, perfil composicional da granada G3 da amostra LR-44C. B, Mapa composicional de Mn da granada G3 (tons de azul mais claros indicam maior quantidade de Mn), extraído de Fumes *et al.*, 2015.

7.4. Muscovita

A muscovita é o filossilicato mais abundante dos metapelitos na área de estudo. De acordo com Fleet (2003), sua estrutura é:



Onde o sítio A é o cátion entre-camadas e é preenchido por K, Na, Ca, Ba, Cs e NH₄; R (sítio com coordenação octaedral) é ocupado por Al, Mg, Fe²⁺, Fe³⁺, Li, Ti, Mn²⁺, Mn³⁺, Zn, Cr V e Na; \Box é a “vacância” da camada octaedral; T são os cátions tetraedrais ocupados por Si, Al, Fe³⁺, Be e B; O é o oxigênio e X é o ânion não ligado aos tetraedros (OH, F, Cl, O e S). A presença da vacância entre os sítios octaedrais classifica a muscovita como mica di-octaédrica (Fleet, 2003).

A distribuição de Fe²⁺, Mg e Na foi avaliada conforme sua variação com o teor de Si (Figura 7.8).

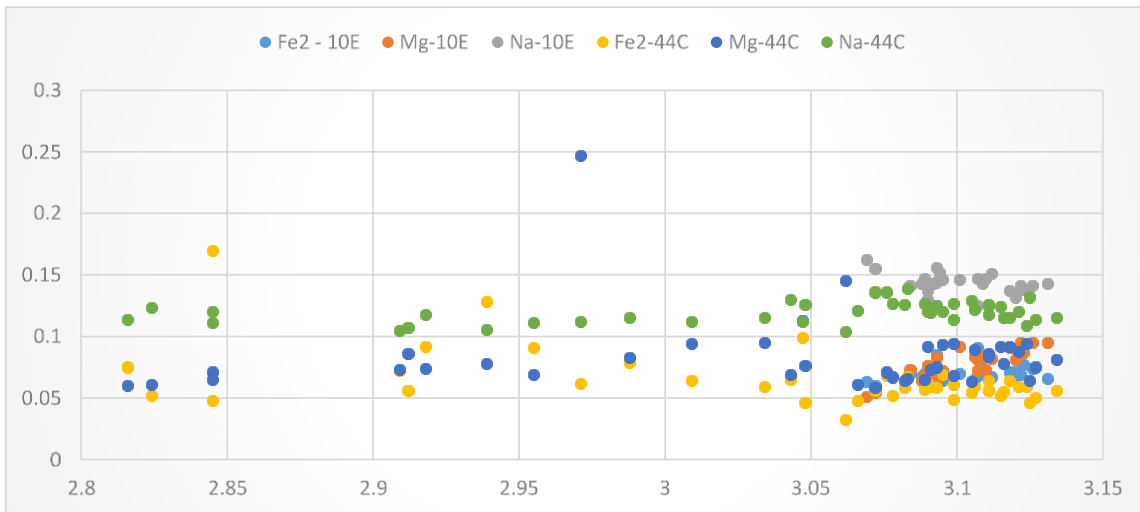


Figura 7.8. Digrama binário da relação entre o $X_{Fe^{2+}}$, o X_{Mg} e X_{Na} (eixo Y) e Si (eixo X) das amostras LR-10E e LR-44C.

As amostras LR-10E e LR-44C apresentam composições semelhantes, excetuando-se os valores de Na, um pouco mais elevados na amostra mais ao norte da área (LR-10E).

7.5. Rutilo

O rutilo é o polimorfo de dióxido de titânio mais comum e sua ocorrência está amplamente distribuída como mineral acessório em rochas metamórficas do grau xisto verde a eclogitos e granulitos. É o principal mineral hospedeiro de Nb, Ta e outros elementos incompatíveis. Muita atenção é dada à geoquímica do rutilo, não só pela sua composição, mas pela sua temperatura de cristalização, expressa em seu conteúdo de Zr (Meinhold, 2010, Zack *et al.* 2004, Tomkins *et al.* 2007).

Com base em trabalhos experimentais, Tomkins *et al.* (2007) formulou três equações – termômetro para diferentes campos de pressão baseadas no conteúdo de Zr em rutilos:

Para o campo do quartzo α :

$$T (^{\circ}\text{C}) = \frac{83,9 + 0,410P - 273}{0,1428 - R \ln \phi}$$

Campo do quartzo β :

$$T (^{\circ}\text{C}) = \frac{85,7 + 0,473P - 273}{0,1453 - R \ln \phi}$$

E campo da coesita:

$$T (^{\circ}\text{C}) = \frac{88,1 + 0,206P - 273}{0,1412 - R \ln \phi}$$

Nos quais, ϕ é o conteúdo de Zr em ppm, P está em kbar e R é a constante dos gases 0.0083144 kJ K⁻¹. Foram analisados rutilos das amostras LR-10E e LR-44C. Os resultados obtidos estão apresentados na **Tabela 7.3**. Os resultados mostram grande variação na concentração de elementos traço. Os elementos Si e Al foram incluídos na rotina de análise e serviram de parâmetro de qualidade, já que valores altos destes elementos podem indicar contaminação por silicato, seja por meio de uma inclusão não detectada nas imagens ou por meio de fluorescência secundária de inclusões sob a superfície das amostras, induzida pela ação do feixe de elétrons.

Análises com valores elevados destes elementos também podem indicar presença de inclusões sub-micrométricas de zircão, fornecendo valores incorretos de temperatura. Destacam-se nos resultados análises com elevado conteúdo de Nb. A amostra LR-10E tem pouca biotita, mineral que é ausente na amostra LR-44C. Em ambas amostras, os minerais que incorporam Nb são ilmenita e rutilo. A distribuição do Nb nestes minerais é dependente do coeficiente de partição do elemento e dos minerais, bem como dos subdomínios nos quais os minerais foram cristalizados. Por exemplo, elevados valores de Nb em rutilos de rochas de fácies granulito foram atribuídos, por Luvizotto & Zack (2009), à cristalização de rutilo a partir da quebra da biotita.

As temperaturas obtidas (Tomkins *et al.*, 2007) com base nos valores de Zr das análises selecionadas (conforme os critérios apresentados anteriormente) são apresentadas na **Tabela 7.3**. As temperaturas também são apresentadas graficamente na **Figura 7.9**. Como base, são utilizadas pseudosseções apresentadas por Fumes *et al.* (2015) para a amostra LR-10B (Grt-St-Cld xisto).

Tabela 7.3. Concentração de elementos traço e valores de temperatura obtidos para as amostras analisadas por microsonda eletrônica.

Amostra	Ponto	Si	Al	Fe	Cr	Ta	Zr	Nb	P (estim.)	T oC
LR10C	Rt1	781	752	1803	48	16	740	1063	12	
LR10C	Rt2	425	550	762	0	16	52	1713	12	535
LR10C	Rt3	210	217	2293	62	66	141	1510	12	601
LR10C	Rt4	266	307	2371	21	131	104	881	12	579
LR10C	Rt5	491	683	948	21	33	bd	1125	12	
LR10C	Rt6	365	376	1065	157	66	118	1181	12	588
LR10C	Rt7	486	471	1034	34	74	296	1559	12	
LR10C	Rt8	1080	333	1516	130	139	185	1084	12	
LR10C	Rt9-1	566	603	365	7	82	104	1391	12	579
LR10C	Rt9-2	224	302	653	0	123	229	601	12	637
LR10C	Rt10	131	228	2130	7	106	74	993	12	557
LR10C	Rt11	1332	958	4081	89	139	229	1174	12	
LR-44C	Rt67-2	346	651	1547	bd	bd	81	1091	15	575
LR-44C	Rt68-1	159	206	1119	62	bd	bd	1342	15	
LR-44C	Rt68-2	257	487	1422	89	bd	bd	1797	15	
LR-44C	Rt65-1	bd	450	7758	554	1679	192	12960	15	636
LR-44C	Rt65-2	bd	413	7128	506	1032	163	11583	15	623
LR-44C	4Rt1-1	bd	196	1158	62	bd	bd	762	15	
LR-44C	4Rt1-2	bd	127	1998	bd	bd	bd	426	15	
LR-44C	4Rt1-3	bd	79	941	bd	bd	bd	510	15	
LR-44C	5-Rt1-1	bd	318	1283	62	bd	bd	643	15	
LR-44C	5-Rt1-2	bd	106	1026	bd	bd	bd	1070	15	
LR-44C	6-Rt1-1	bd	69	715	bd	57	bd	419	15	
LR-44C	6-Rt1-2	bd	58	490	bd	bd	bd	482	15	
LR-44C	6-Rt1-3	bd	64	575	55	bd	bd	615	15	
LR-44C	7-Rt1-1	bd	111	5099	335	bd	185	3230	15	633
LR-44C	7-Rt1-2	804	984	5426	287	bd	148	2321	15	616
LR-44C	7-Rt2-1	bd	228	8955	643	786	192	9863	15	636
LR-44C	7b-Rt1-1	bd	238	6654	561	647	192	7494	15	636
LR-44C	7b-Rt1-2	bd	222	6452	547	197	170	7361	15	627
LR-44C	8-Rt1-1	bd	233	6459	554	213	178	7361	15	630
LR-44C	3-Rt1-1	bd	48	466	bd	57	bd	1685	15	
LR-44C	3-rt1-2	bd	32	513	bd	82	bd	1251	15	

**bd - Abaixo do limite de detecção. P (estim.) - Estimativa de pressão utilizada nos cálculos de temperatura. Temperaturas calculadas de acordo com a calibração de Tomkins et al., (2007)*

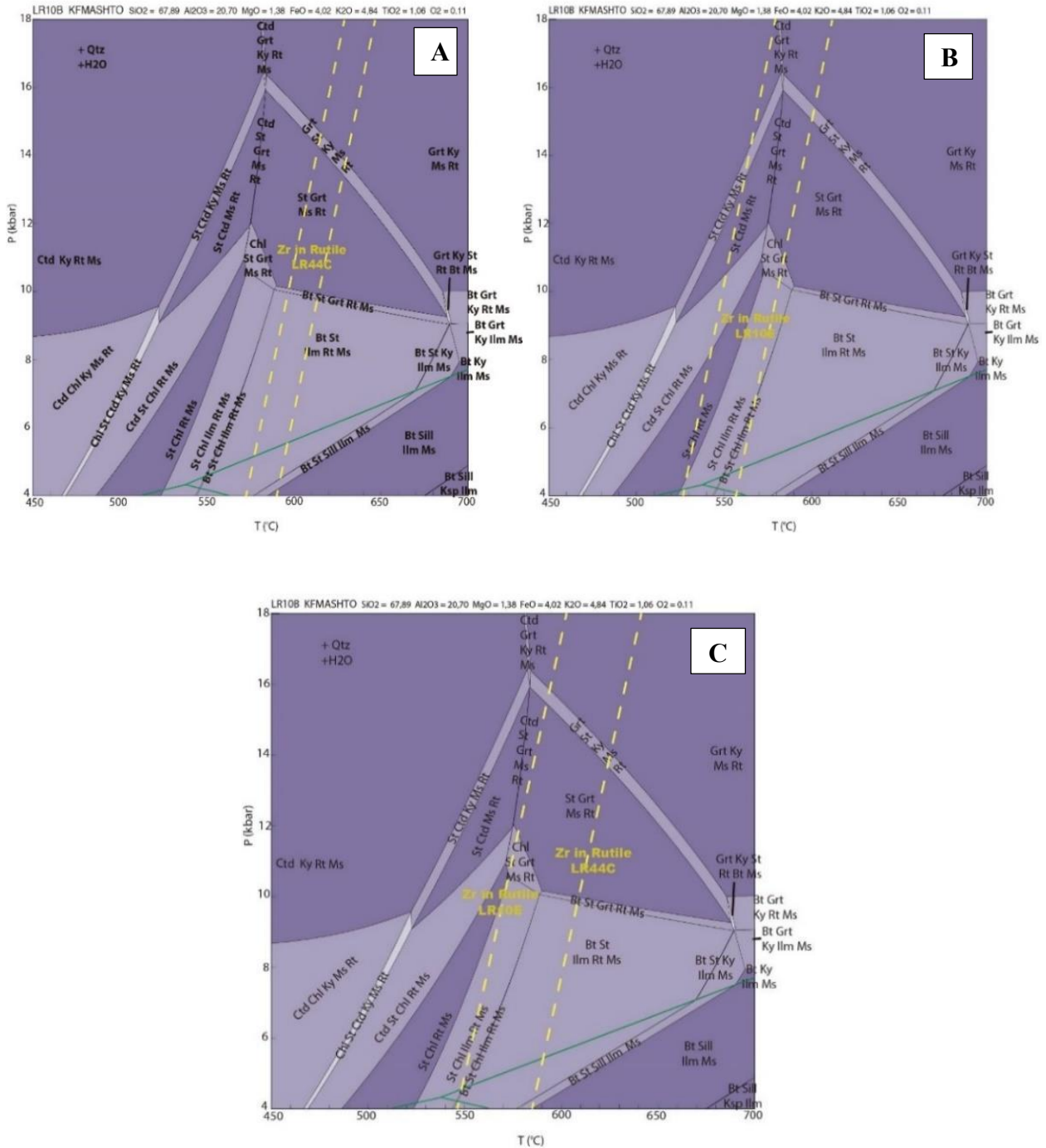


Figura 7.9. Em A e B foram plotados os valores máximos e mínimos das temperaturas obtidas para os valores máximos e mínimos de Zr no Rt para cada amostra sobre a pseudosseção de LR-10B calculada por Fumes *et al.*, 2015. Em C, estão as temperaturas calculadas usando-se os valores médios dos teores de Zr no Rt.

7.6. Cálculos termobarométricos

Utilizou-se também o programa THERMOCALC para o cálculo de P e T . Para tal, a função *average P/T* foi o método escolhido. Os resultados estão apresentados na **Tabela 7.4** e na **Figura 7.10**. Com base nas análises químicas minerais e na pseudosseção apresentada por Fumes *et al.*, (2015) foram selecionadas as associações minerais em equilíbrio para o cálculo do pico metamórfico das amostras. As condições de P e T mais elevadas ($11,8 \pm 2.8$ kbar e $608^\circ\text{C} \pm 47^\circ\text{C}$) foram obtidas para a amostra LR-44C.

Tabela 7.4. Valores de pressão e temperatura médios calculados com o THERMOCALC.

LR10E peak = Bt+St+Ms+Grt**			
avP*	sd*	avT*	sd
8.3	1.8	591	59

LR10E peak2= Cld+Ms+Grt+St+Rt			
avP	sd	avT	sd
10.1	4.8	571	20

LR44C peak = Grt+St+Ky+Ms+Rt			
avP	sd	avT	sd
11.8	2.8	608	47

**avP*=pressão média em kbar; *avT*=temperatura média em $^\circ\text{C}$; *sd*=desvio padrão.

***Bt*=biotita, *St*=estaurolita, *Ms*=muscovita, *Grt*=granada, *Cld*=cloritoide, *Ky*=cianita, *Rt*=rutilo

Para a amostra LR-10E, os valores de P e T médios foram calculados com base em duas associações minerais diferentes. Isto justifica-se porque a associação Bt+St+Ms+Grt é interpretada como retrometamórfica devido a aspectos texturais, logo a associação Cld+Ms+Grt+St+Rt foi interpretada como progressiva conforme os mesmos critérios texturais (ver capítulo Metamorfismo).

As fases minerais previstas pela pseudosseção de Fumes *et al.*, (2015) são coerentes com as associações minerais presentes nas amostras LR-10E e LR-44C e caracterizam um gradiente metamórfico, com condições de P e T aumentando de norte (LR-10E) para sul (LR-44C) (**Figura 7.10**).

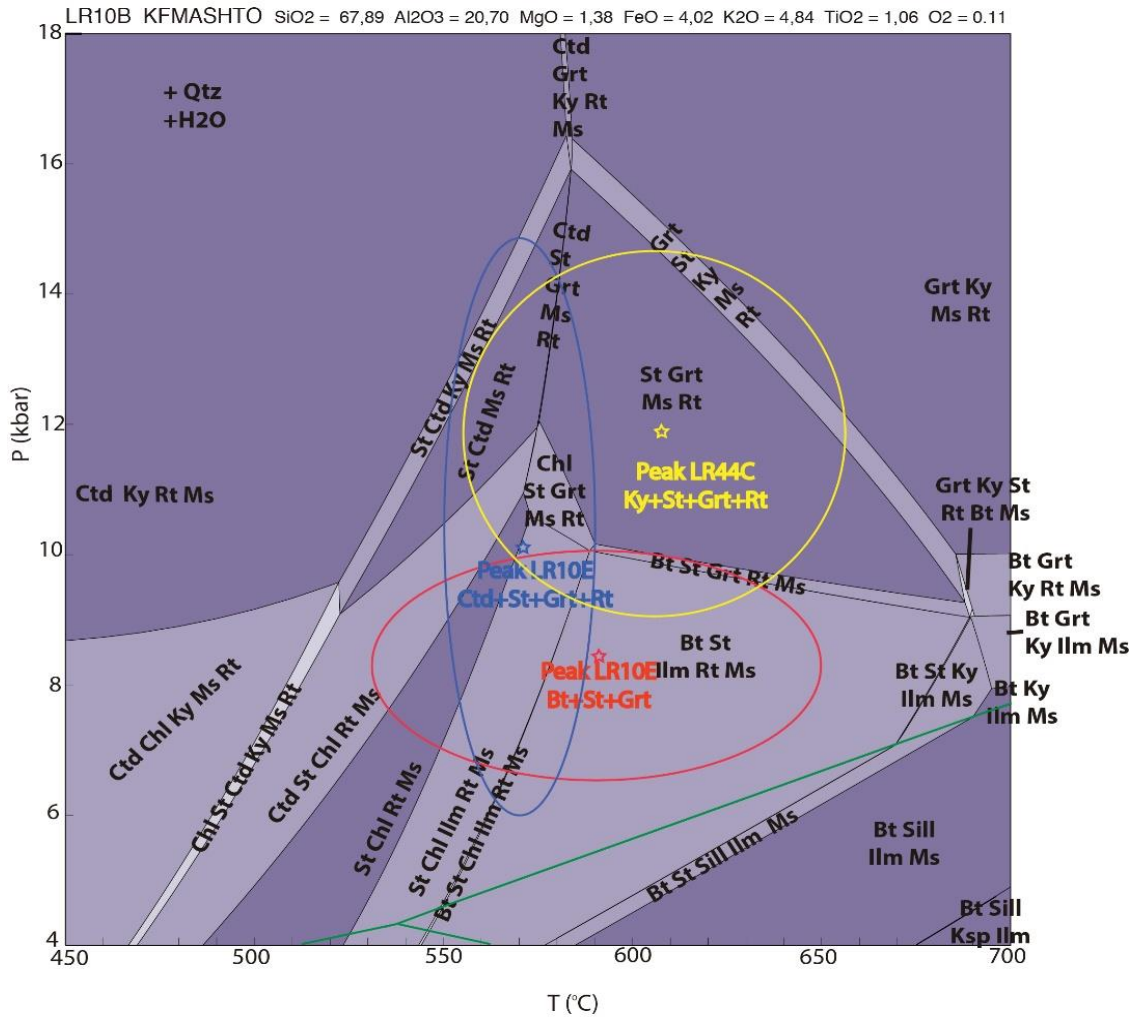


Figura 7.10. Pseudosseção da amostra LR-10B (Fumes *et al.*, 2015) com valores médios de pico metamórfico calculados pelo THERMOCALC das amostras LR-10E e LR-44C. As áreas delimitadas pelos perímetros amarelo, azul e vermelho representam o desvio padrão dos cálculos de P e T .

8. Discussões

As transformações minerais no metamorfismo estão intimamente ligadas à deformação das rochas. Isso se deve ao fato de que a força aplicada sobre os minerais durante a deformação pode reduzir as barreiras energéticas necessárias para que as reações ocorram em busca da associação mais equilibrada às condições de pressão e temperatura (Passchier & Trouw, 2005). Sendo assim, buscou-se no presente trabalho analisar a relação entre as fases minerais em equilíbrio e os processos deformacionais atuantes durante a evolução geológica da Nappe de Luminárias.

O que se chama hoje de Nappe de Luminárias é um grande fragmento da crosta individualizado e transportado por processos tectônicos compressivos por centenas de quilômetros horizontalmente e algumas dezenas de quilômetros verticalmente. Este pacote é composto por rochas metassedimentares, cujos protólitos correspondem às rochas sedimentares formadas pela deposição siliciclástica na margem passiva do Cráton do São Francisco durante o Neoproterozoico (Trouw *et al.*, 1983; Campos Neto *et al.*, 2004). Ainda durante o Neoproterozoico, ocorreu o fechamento desta bacia a partir da colisão diacrônica de vários blocos crustais em um evento que deu origem ao supercontinente Gondwana. A respeito da formação da porção ocidental deste supercontinente, o nome dado ao evento orogênico formador é Brasileiro e à faixa orogênica na qual está incluída a nappe estudada, é dado o nome de Faixa Brasília, resultante da colisão entre os paleocontinentes Paranapanema e São Francisco (Trouw *et al.*, 2013)

Como ambiente geológico atual, análogo à Faixa Brasília, pode-se utilizar os Himalaias, levando-se em consideração os processos associados e o estágio evolutivo, ou seja, o estágio de colisão continental. Portanto, o que aflora atualmente na área de estudo são rochas que possivelmente compuseram as raízes de grandes cadeias de montanhas.

Os mecanismos responsáveis pela colocação das nappes e sua exumação, após terem sido submetidas a pressões e temperaturas elevadas em níveis profundos da crosta, é complexo, incerto e carece ainda de muitas explicações.

Na área, são reconhecidas ao menos quatro fases de deformação dúctil (D_1 , D_2 e duas fases Pós- D_2) e o metamorfismo é tido como do tipo regional, com temperaturas médias e condições de pressão mais elevadas que no metamorfismo barroviano. Os processos de deformação e metamorfismo são associados a regimes colisionais com subducção de placa litosférica (Campos

Neto & Caby, 1999, 2000; Trouw *et al.*, 2000; Campos Neto *et al.*, 2004, 2007, 2010, 2011; Valeriano *et al.*, 2004, 2008).

As fases D_1 e D_2 são interpretadas como produtos de uma deformação progressiva em colisão de continentes, assim como estruturas similares na Klippe Carrancas (Trouw *et al.*, 2008). A deformação D_1 é dificilmente reconhecida, sendo suas estruturas encontradas como microdobras no interior de micrólitos em clivagens de crenulação D_2 e também pelas dobras de S_1 desenvolvidas em D_2 e observadas em quartzitos (**Figura 5.2**). Enquanto que a visualização de D_1 é rara, as estruturas D_2 dominam a região de estudo e são caracterizadas por uma foliação de baixo ângulo com dobras isoclinais, sendo S_2 uma foliação plano axial.

Levando-se em consideração o diacronismo inerente às placas convergentes, onde diferentes processos geológicos podem ocorrer simultaneamente dependendo do ambiente em que se encontram, torna-se difícil determinar a relação cronológica entre as foliações S_1 e S_2 . Ainda que em uma amostra a relação de superposição de deformação indique que S_1 é mais antiga que S_2 , não se pode afirmar que esta relação se mantenha em escala mais ampla. É possível que S_1 e S_2 sejam simultâneas e até que S_1 seja mais nova que S_2 em escala regional (**Figura 8.1**). Portanto, esta sequência $S_1 \rightarrow S_2$ deve ser guardada à escala de afloramento ou mesmo de amostra, até que análises estruturais e geocronológicas mais complexas sejam feitas.

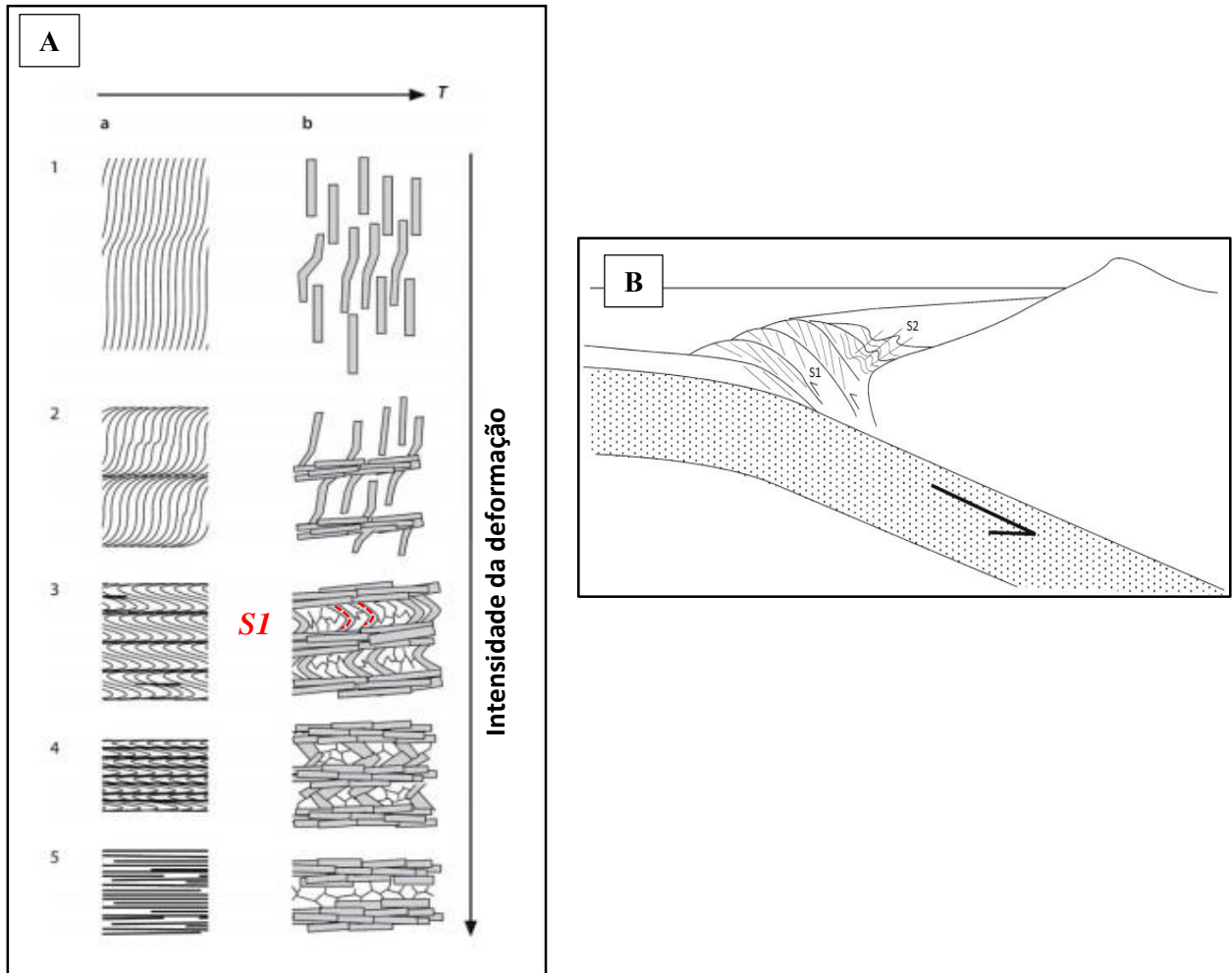


Figura 8.1. A – O diagrama apresenta os estágios da evolução da clivagem de crenulação. A foliação S_1 da nappe de Luminárias é encontrada no interior de micrólitos do estágio 3 (Modificado de Passchier & Trouw, 2005). B - Modelo de deformação diacrônica em zona de esforços compressivos. Ao mesmo tempo que S_1 é formada, a foliação S_2 em outro ponto está em um estágio mais avançado e começa a sobrepor S_1 (Modificado de Passchier & Trouw, 2005).

As estruturas pós- D_2 ou estruturas formadas após a principal deformação dúctil, são dobras suaves com padrão de interferência do tipo caixa de ovos (Pós- D_2). Trate-se de uma deformação pouco penetrativa nas rochas da Nappe de Luminárias e a origem dos seus esforços ainda é discutível. Em um contexto geotectônico mais amplo, estruturas mais jovens podem ser correlacionadas com a orogenia da Faixa Ribeira, mais nova e cujo transporte se deu em direção a noroeste. Porém, trate-se de uma relação geométrica não ligada ao desenvolvimento de fases minerais específicas capazes de assegurar esta correlação por meio da análise das condições de P e T durante sua implantação ou mesmo pela datação destes minerais na área de estudos.

A área também exibe um padrão de dobramentos complexo com geometrias geradas por redobramentos. Por exemplo, as unidades Na3 e Na4 exibem formas de relevo com várias repetições do mesmo contato litológico, o que foi possível devido ao dobramento progressivo das camadas segundo uma mesma direção de esforços. Pois, ainda que redobradas as atitudes das dobras continuam as mesmas e foram desenvolvidas durante D₂ (**Figura 8.2**).

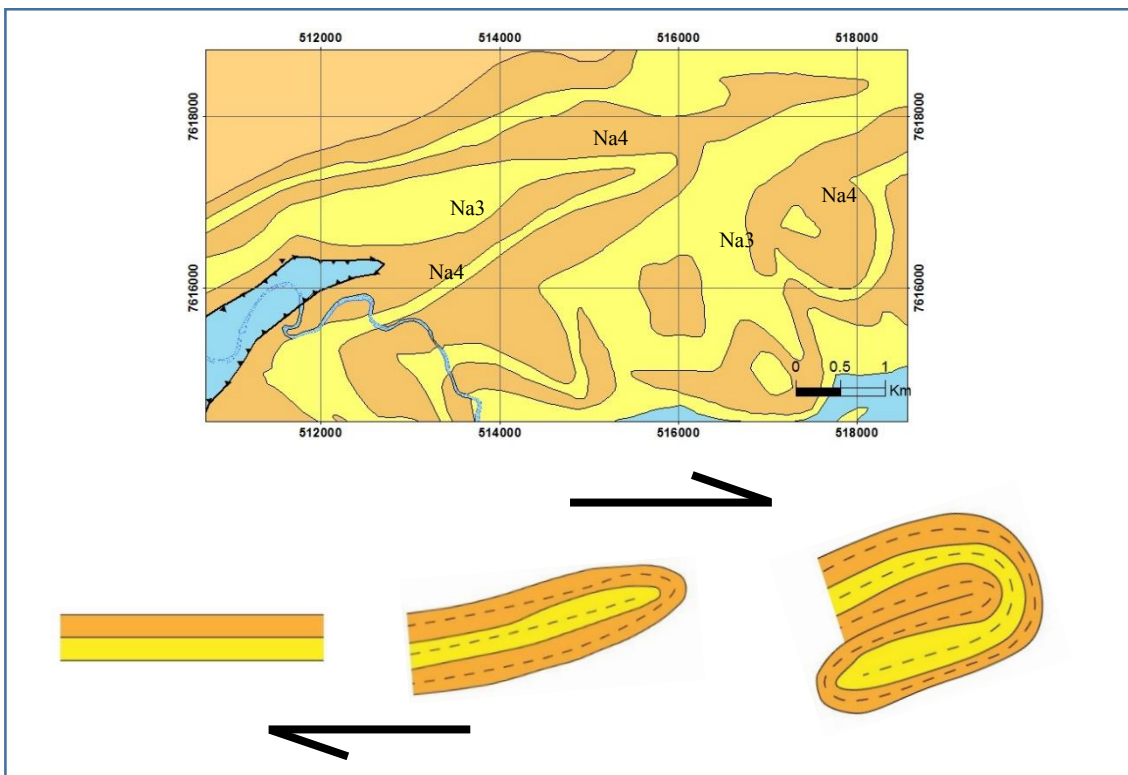


Figura 8.2. No topo, o mapa geológico da região norte da área de estudos elaborado por Trouw *et al.*, 2013. Na base da imagem, um modelo esquemático dos dobramentos de Na3 e Na4 durante a deformação D₂ desenvolvida sobre condições elevadas de pressão e temperatura (A visão é uma seção paralela ao eixo X e perpendicular o plano XY do elipsoide de deformação).

Durante o evento deformacional regional principal, as fases minerais do pico metamórfico foram formadas. Isto é evidenciado pelos porfiroblastos inter a sintectônicos presentes nos xistos. Os porfiroblastos exibem uma foliação interna frequentemente rotacionada nos cristais de granada e paralela à maior alongação dos cristais de estauroлита. Mas mesmo os prismas alongados de estauroлита apresentam alguma rotação em certos domínios e também existem porfiroblastos com aspecto pós-tectônico (**Figura 8.3**).

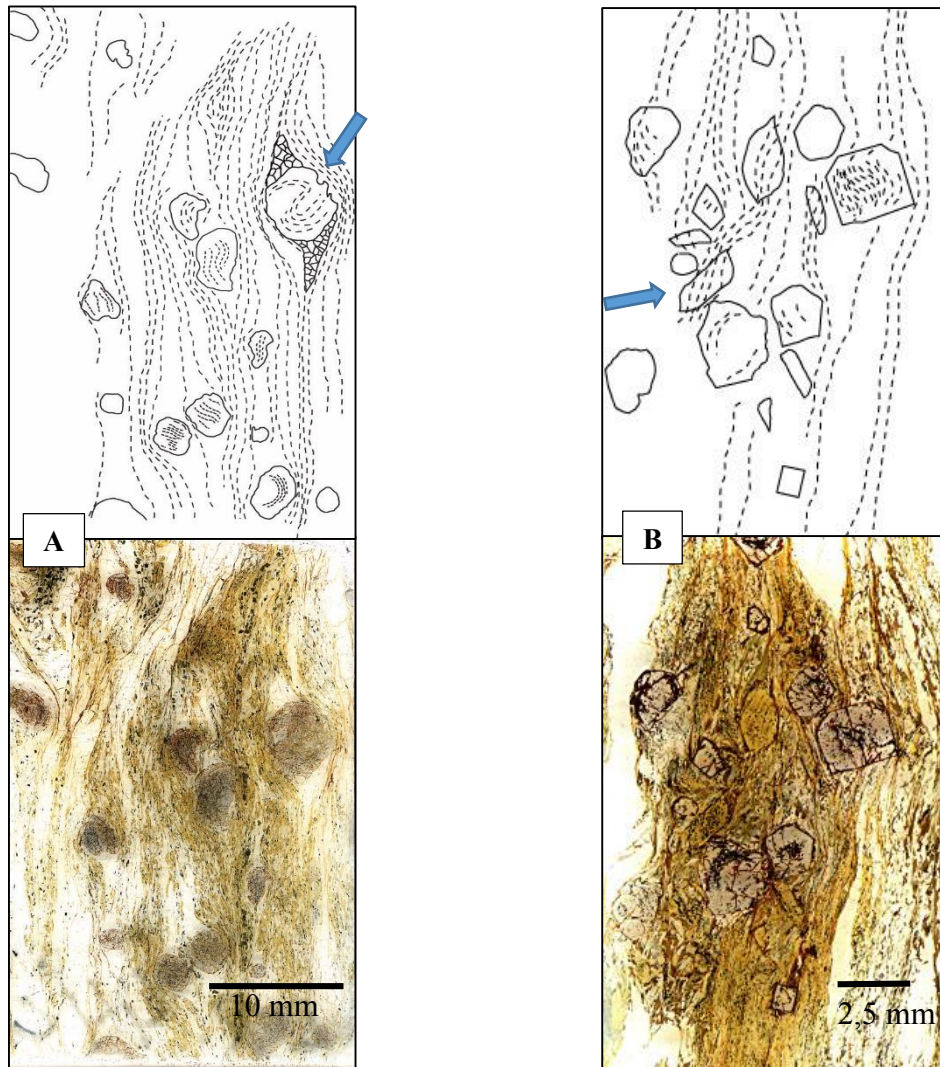


Figura 8.3. A – Desenho das foliações interna (Si) e externas (Se) na lâmina LR-44C. Destaque para crescimento e rotação de porfiroblastos de granada do tipo *snowball* com sombras de deformação. B – Desenho das foliações Si e Se na lâmina LR-10E. Seta indicia porfiroblasto de estauroлита com aspecto sina tardi tectônico. As estruturas foram traçadas sobre cópias digitais das seções delgadas.

A rotação da foliação foi produzida por cisalhamento não-coaxial dextral. O evento tectônico gerador destas estruturas é possivelmente o transporte da nappe durante a colisão. Embora esta hipótese seja bastante razoável, existem certas contradições inseridas nessa relação “pico metamórfico contemporâneo ao transporte da nappe”. Ao admitirmos que as pressões e temperaturas registradas são bastante elevadas e, portanto, implicam em grandes profundidades crustais, então as paragêneses de mais alto grau foram formadas ao mesmo tempo em que as rochas atingiram as maiores profundidades. Portanto, ocorre aqui um antagonismo, pois ao transporte da

nappe é entendido como os processos que retiraram este imenso pacote de rochas de um local próximo de onde os litotipos foram formados e os transportaram por algumas dezenas ou mesmo centenas de quilômetros lateralmente. Esta hipótese aceita um cisalhamento não-coaxial com extenso alcance lateral em grandes profundidades baseado nas condições de P e T obtidas neste estudo. Outra hipótese, é que estas estruturas sejam formadas durante a descida dos protólitos até os níveis crustais mais profundos onde são gerados os minerais de mais alto grau, o que é corroborado por porfiroblastos sin a tardi-tectônicos. Dessa maneira, o momento onde foram formadas as principais estruturas é ligeiramente anterior ao pico metamórfico e durante a exumação provocada por isostasia é associada somente a reidratação/retrometamorfismo.

Como suporte para esta última hipótese temos o aspecto sin a tardi tectônico comum dos porfiroblastos e também as poucas inclusões em suas bordas e a formação de arcos poligonais de muscovita nas clivagens de crenulação, textura gerada após a recristalização da muscovita sobre as microdobras no interior dos micrólitos (**Figura 8.4**). E nos porfiroblastos de granada, o padrão de zonamento observado é típico de granadas cristalizadas com aumento de temperatura (Yardley, 1989, **Figura 8.5**).

Deste modo, é necessário um modelo que concilie as estruturas com transporte para leste e as paragêneses de pico metamórfico em regime de alta pressão. Analogamente às recentes interpretações de Maruyama *et al.* (2010) para o modo de ocorrência de rochas de ultra-alta pressão (UHP) e rochas de alta-pressão (HP) em ambientes colisionais, o modelo aqui proposto assume que ao alcançar as condições mais elevadas de P e T , o cinturão metamórfico inverteu sua direção de transporte devido às condições reológicas e iniciou o processo de deslocamento até níveis crustais mais rasos, possivelmente rico em fluidos. Assim este processo envolveu a reidratação de paragêneses de grau mais elevado e a instalação do cinturão metamórfico em condições relativamente mais baixas de P e T , onde se formaram, sob um regime crustal dúctil, as estruturas e as paragêneses de mais alto grau encontradas na área de estudo. Sendo que alguns dos minerais destas paragêneses (porfiroblastos sin a tardi tectônicos) cristalizaram-se após a deformação, o que implica em um posicionamento estático do cinturão em grande profundidade por um período de tempo.

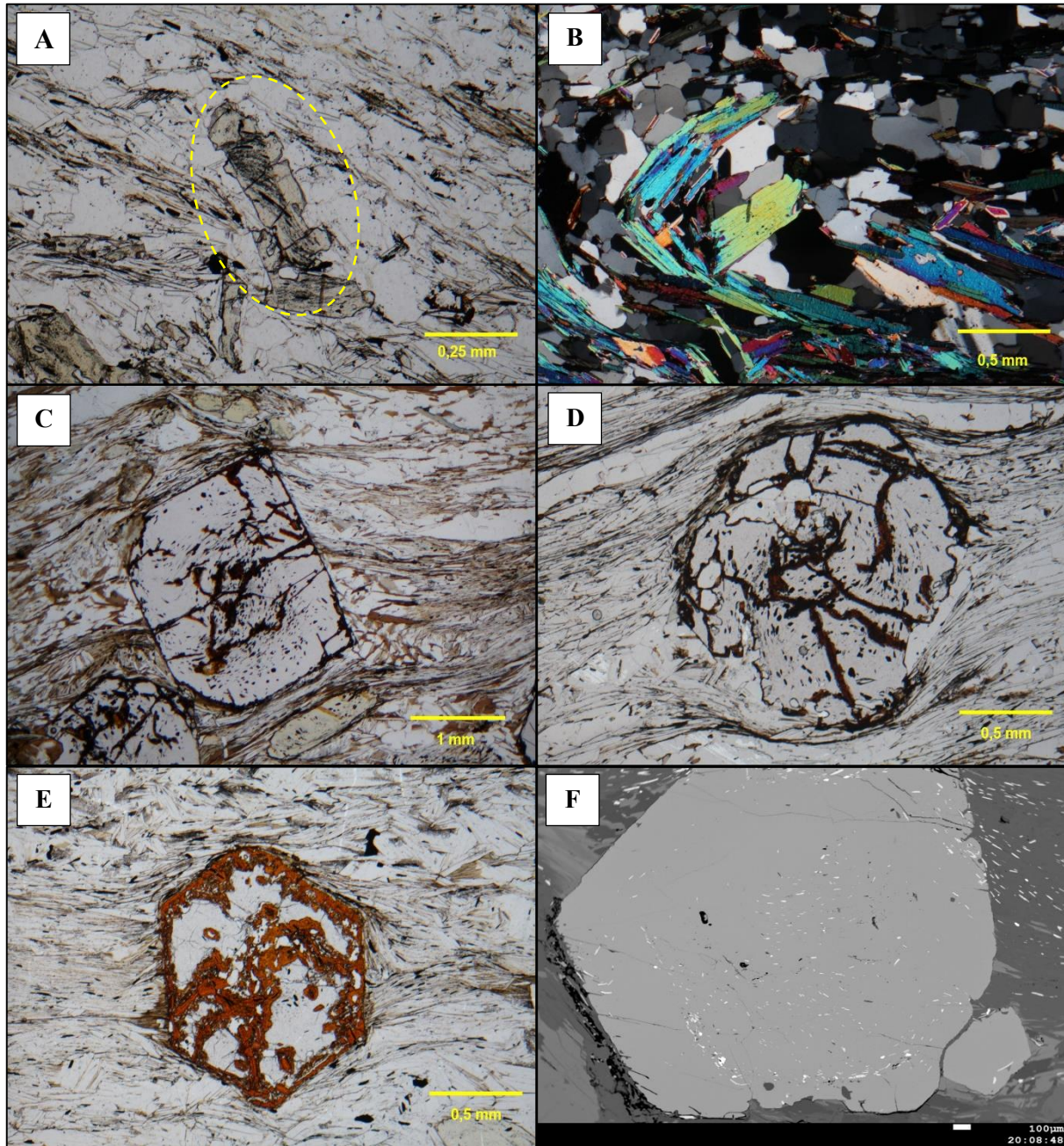


Figura 8.4. A – Cristal de estaurolita com foliação pretérita preservada e com bordas livres de inclusão, possivelmente pós tectônico (Lâmina LR-11, luz transmitida e polarizadores paralelos). B – Arco poligonal de muscovita (LR-10A, luz transmitida e polarizadores cruzados). C – As inclusões marcam uma rotação da foliação interna, ao passo que as bordas com poucas inclusões sugerem um crescimento tardi a pós-tectônico e ausência de sombras de deformação sugere uma cristalização estática tardia (LR-10E, luz transmitida e polarizadores paralelos). D – Porfiroblasto sintectônico de granada com foliação interna rotacionada (LR-10A, luz transmitida e polarizadores paralelos). E – Porfiroblasto sin a tardi tectônico de granada (LR-10C, luz transmitida e polarizadores paralelos), a recristalização das muscovitas da matriz e a pequena quantidade de inclusões dificultam a interpretação. F – Porfiroblasto subédrico tardi tectônico. Ocorre uma leve deflexão da foliação interna em relação à externa, possível cristalização estática nas bordas (LR-10E, fotomicrografia de MEV).

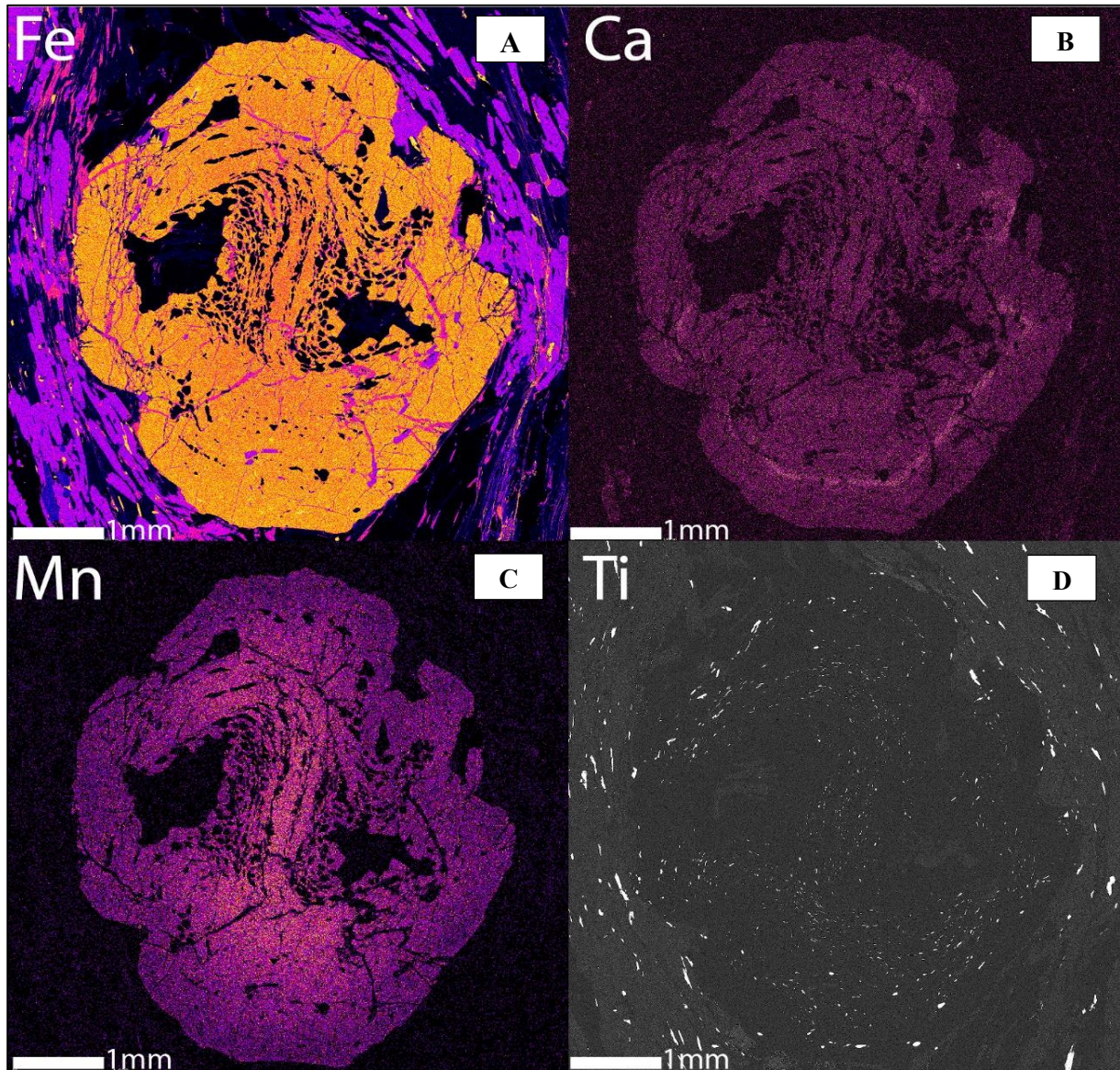


Figura 8.5. Mapas de zonação química baseados em dados de EPMA de uma granada da amostra LR-44C. A – Mapa composicional da granada para Fe, os tons mais fortes de amarelo indicam enriquecimento em Fe (membro almandina do grupo das granadas). B – Mapa para variação do Ca, os tons mais claros indicam aumento na quantidade de Ca e definem uma zona estreita marcada pelo membro grossulária. C – Mapa para o Mn, o núcleo da granada é rico em Mn (membro esperstatita) que faz com que o intervalo de *P* e *T* de ocorrência do mineral aumente. A concentração de Mn exibe forma rotacionada, este aspecto é gerado graças ao bandamento composicional sobre o qual a Grt foi cristalizada. D – Mapa para Ti destacando as inclusões de rutilo e ilmenita na granada. As inclusões marcam muito bem a foliação interna e tornam mais nítido o aspecto sintectônico deste porfiroblasto.

Os dados de P e T apresentados neste trabalho propõem um metamorfismo de média a alta pressão para a Nappe de Luminárias. Na região norte da área de estudos (amostra LR-10), os cálculos das condições de P e T feitos com o THERMOCALC indicam metamorfismo na fácies anfibolito médio ($591^{\circ}\text{C}\pm 59^{\circ}\text{C}$ e $8,3\pm 1,8$ kbar; $571^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$ e $10,1\pm 4,8$ kbar) e a temperatura de pico metamórfico estimado pelo conteúdo de Zr nos rutilos varia de 535°C a 637°C . Embora um valor médio de cerca de 10 kbar tenha sido obtido, o desvio padrão é alto. Todavia, a análise destes resultados em conjunto com as pseudosseções apresentadas por Fumes et al. (2015, **Figura 6.1** e **Figura 6.6**) indicam que as condições de pressão atingidas pelas rochas da área de estudos é mais elevada que as do metamorfismo barroviano clássico. Tal observação é também suportada pelo trabalho de Silva (2010) para a região de Carrancas. Já para o sul da área (amostra LR-44C), as condições de P e T calculadas pelo THERMOCALC foram $608^{\circ}\text{C}\pm 47^{\circ}\text{C}$ e $11,8\pm 2,8$ kbar e o conteúdo de Zr nos rutilos forneceu temperaturas entre 575°C e 636°C . Portanto, a porção sul da área de estudos atingiu condições no limite entre as fácies anfibolito e eclogito. Estes resultados indicam que as rochas da Nappe de Luminárias estiveram soterradas em profundidades aproximadamente entre 34 km a 43 km no interior do Orógeno Brasília (**Figura 8.6**).

Estas condições elevadas de pressão lançam novas perspectivas para o contexto geotectônico da região, cujo o metamorfismo foi definido como do tipo barroviano de pressão intermediária a alta por Trouw *et al.*, (1982,1983), Ribeiro *et al.*, (1995). Isso implica que estas rochas metassedimentares estudadas percorreram caminhos muito mais profundos na crosta e que os registros das condições máximas de P e T encontradas podem até mesmo não refletir as reais condições extremas sob as quais estas rochas foram submetidas.

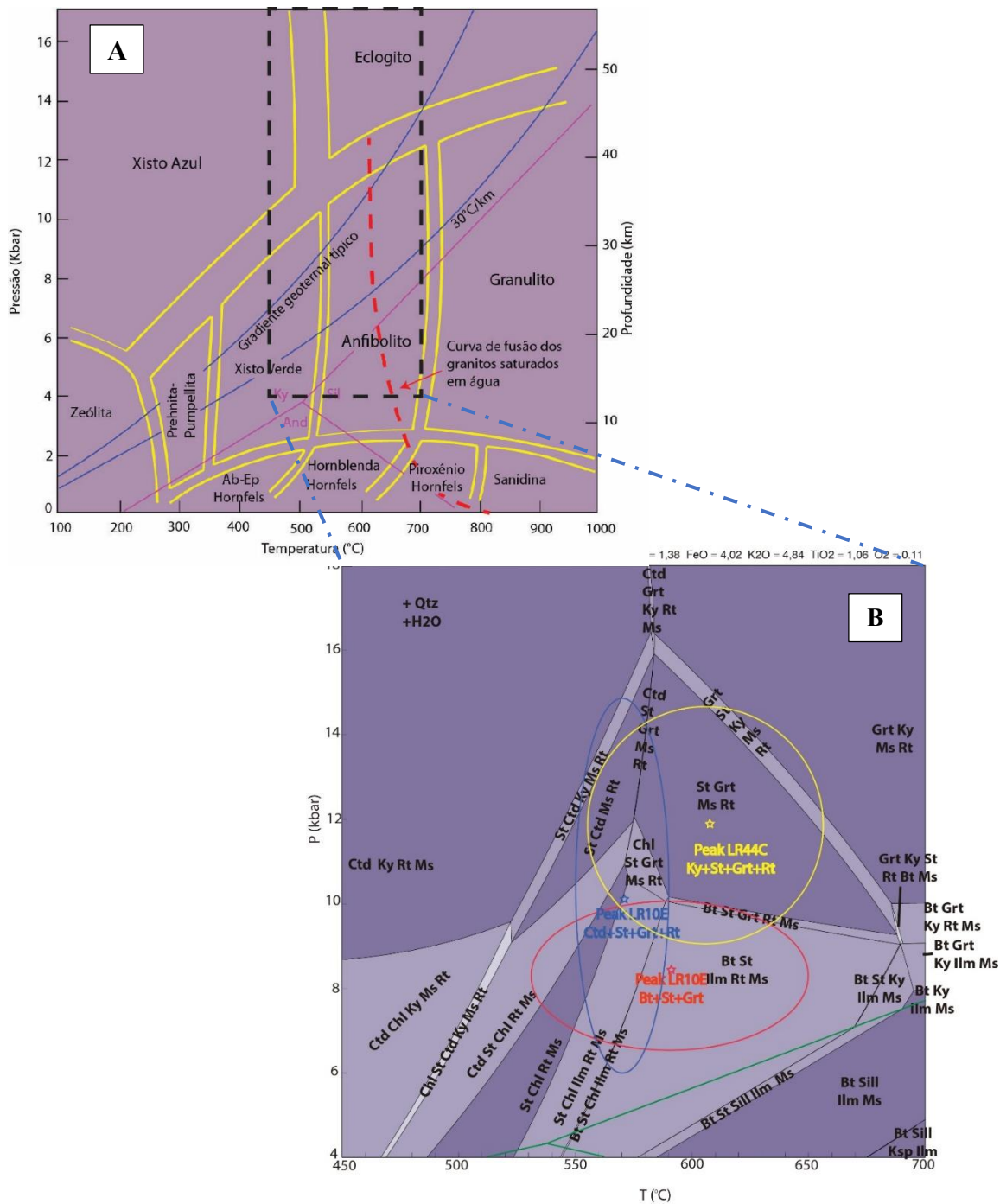


Figura 8.6. Relação das condições de P e T calculadas para a Nappe de Luminárias e as fácies metamórficas. A – Fácies metamórficas segundo Yardley (1989). B – Pseudosseção modelada por Fumes *et al.*, (2015) com as amplitudes das condições de P e T de LR-44C e LR-10E.

Ainda que faltem evidências contundentes sobre esse possível grande processo de reidratação/retrometamorfismo, algumas texturas de minerais, considerados aqui neste trabalho como fases do auge metamórfico para o cálculo de P e T , parecem guardar pistas deste processo retrometamórfico. Como certos cristais de estaurólita da amostra LR-44C, considerados como minerais da paragênese do pico metamórfico, mas que exibem texturas aparentemente retrometamórficas. Como os cristais de estaurólita crescidos sobre porfiroblastos de granada por substituição mineral e que preservaram o antigo hábito da granada (**Figura 8.7**).

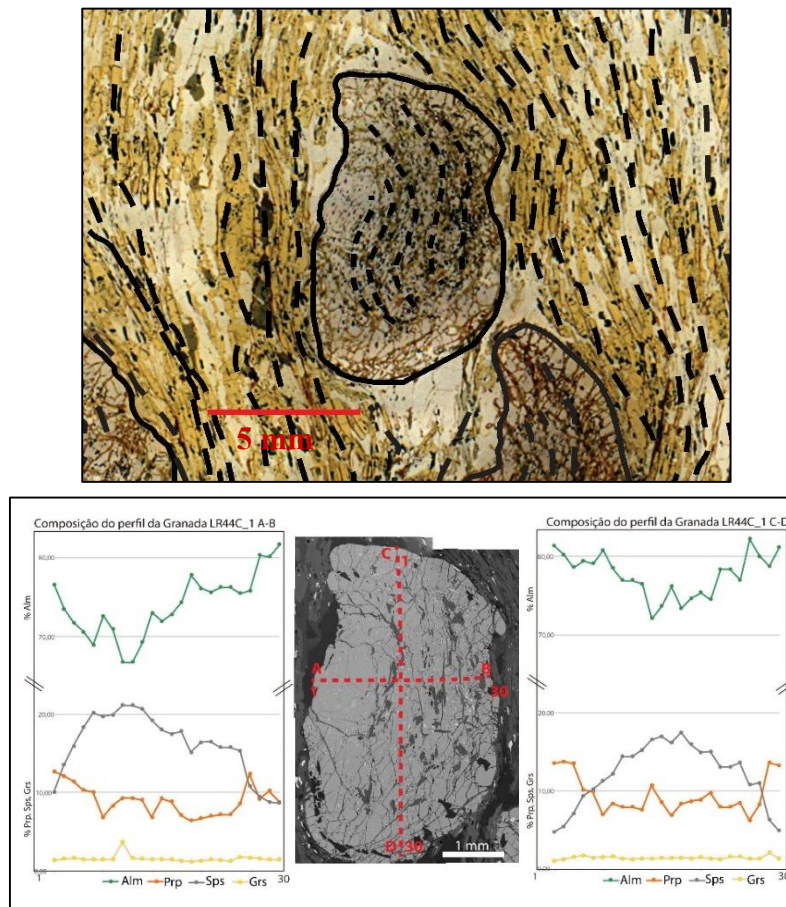


Figura 8.7. No topo da imagem, fotomicrografia com o traçado das foliações interna e externa da lâmina LR-44C. O porfiroblasto de granada no centro tem sua metade esquerda ausente, mas os cristais de estaurólita desenham o antigo contorno circular da granada. Esta simetria é verificada nos perfis composicionais do mesmo porfiroblasto (base da imagem). O perfil C-D preserva a zonação com o enriquecimento em Fe e Mg e diminuição de Mn para as bordas, enquanto que o perfil A-B também preserva a simetria da zonação, mas tem uma porção ausente, justamente a região esquerda que agora é composta por estaurólitas.

Outra textura com interpretação ambígua está na amostra LR-05. Há uma dúvida se as paragênese encontradas registram o aumento do metamorfismo marcado pelo aparecimento da estauroлита ($\text{Cld}+\text{Ky}+\text{Ms}$ e $\text{St}+\text{Cld}+\text{Ky}+\text{Ms}$, campos I e II, respectivamente, da pseudosseção no Capítulo X - Metamorfismo) ou se constituem texturas retrometamórficas. Para a última opção, as evidências são a textura de substituição das estauroлитas, a forma semelhante à estauroлита de alguns cristais de cloritoide e o processo retrometamórfico de substituição por clorita, este último tem uma atuação mais ampla e talvez não deva ser tão relevante para esta hipótese. Mas é possível que todos os cristais de cloritoide, fase principal da matriz, tenham sido estauroлитas e, portanto, o grau metamórfico foi maior e talvez a paragênese progressiva primeiramente apontada para esta rocha não seja a descrita há pouco e, na verdade, tenha sido quase que inteiramente obliterada (**Figura 8.8**).

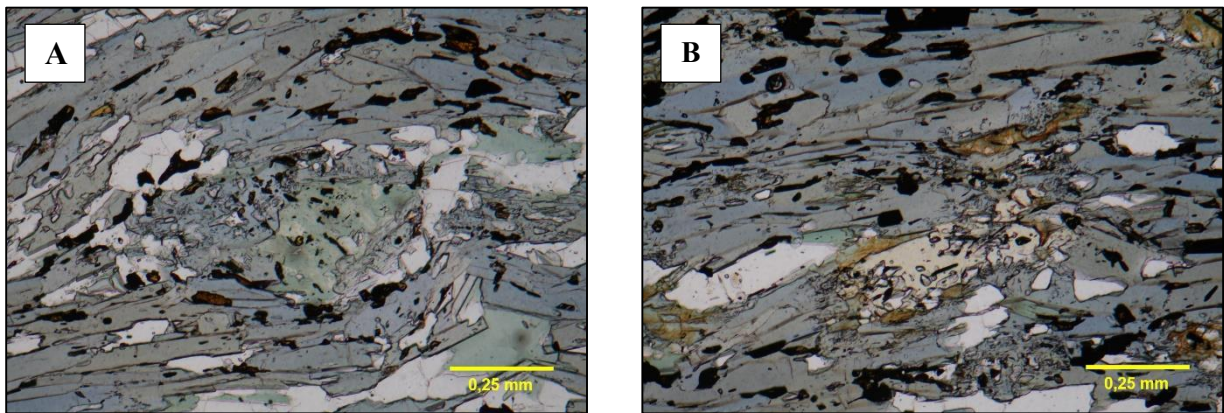


Figura 8.8. Os cristais de rutilo em A formam um padrão circular com aspecto de rotação em torno de um aglomerado composto por clorita (cristais verdes) e cloritoide (cristais azuis). Este aglomerado assemelha-se a um antigo porfiroblasto e o cloritoide tem hábito similar ao de algumas estauroлитas com texturas de dissolução, como visto em B. A e B são fotomicrografias obtidas com microscópio óptico e polarizadores paralelos.

Algumas dezenas de quilômetros a sudeste da Nappe de Luminárias, são descritas ocorrências de retroeclogitos (Nappe de Liberdade). Estas rochas são consideradas como blocos tectônicos capturados por grandes zonas de falhas durante a evolução da Faixa Brasília e reequilibrados para pressões mais baixas durante a Orogênese Ribeira (Heilbron *et al.*, 2003; Paciullo *et al.*, 2003). Às rochas metassedimentares do Sistema de Nappes Andrelândia tem sido atribuídas o metamorfismo em fácies do metamorfismo regional com pressão maiores que a do

barroviano clássico (Ribeiro et al., 1995). Com o registro de rochas metapelíticas com paragêneses entre o limite das fácies eclogito e anfibolito na Nappe de Luminárias apresentado neste estudo e por Fumes *et al.*, (2015) e também por Silva (2010) na Klippe Carrancas, ambos baseados em métodos modernos de aquisição de dados de P e T , o tradicional conceito de que toda a região foi submetida ao metamorfismo regional de média a alta pressão é gradualmente revisado e melhorado. Estes novos dados indicam que houve um regime de HP regional e que condições mais elevadas de pressão podem ter atuado anteriormente às séries metamórficas intermediárias a altas.

Sobre o retrometamorfismo citado acima, Trouw *et al.*, (2013), Ribeiro *et al.* (1995), Trouw *et al.* (2000), Peternel *et al.* (2005) e Zuquim *et al.* (2011) propõem que as paragêneses com sillimanita na zona de interferência representam os processos do metamorfismo mais jovem e de baixa pressão da Faixa Ribeira sobre a Faixa Brasília. Contudo, não foram observadas ocorrências de sillimanita na área de estudos durante este trabalho. Embora não tenham sido encontradas, sua presença pode ser explicada de forma independente dos processos orogênicos formadores da Faixa Ribeira. Como exemplo, Terabayashi *et al.*, (2002), Katayama *et al.*, (2001) identificaram sillimanitas (600°C e 2 kbar) relacionadas a auréolas de contatos basais de unidades UHP-HP em cinturões metamórficos do Cazaquistão. As sillimanitas deste caso têm a mesma idade da reidratação das unidades de UHP-HP (501±10, SHRIMP U-Pb) e sua origem é atribuída ao calor do cinturão metamórfico durante sua colocação em níveis crustais mais rasos.

9. Conclusões

A Nappe de Luminárias, localizada na borda sul do Cráton do São Francisco, apresenta um gradiente de P e T progressivo em direção ao sul (Trouw *et al.*, 1980, 1983, Ribeiro & Heilbron, 1982). As rochas da porção norte da área de estudos atingiram o equilíbrio sob condições da fácies anfibolito médio do metamorfismo regional de alta pressão. Enquanto que as assembleias minerais da porção sul indicam uma recristalização nas condições entre os limites das fácies anfibolito e eclogito. Os cálculos das condições de P e T indicam um metamorfismo na fácies anfibolito médio ($591^{\circ}\text{C}\pm 59^{\circ}\text{C}$ e $8,3\pm 1,8$ kbar; $571^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$ e $10,1\pm 4,8$ kbar) e a temperatura de pico metamórfico estimado pelo conteúdo de Zr nos rutilos varia de 535°C a 637°C na região norte da área de estudos. No sul da área, as condições de P e T calculadas foram $608^{\circ}\text{C}\pm 47^{\circ}\text{C}$ e $11,8\pm 2,8$ kbar e o conteúdo de Zr nos rutilos forneceu temperaturas entre 575°C e 636° . Estes resultados permitem dizer que as rochas da Nappe de Luminárias estiveram soterradas em profundidades aproximadamente entre 34 km a 43 km no interior do Orógeno Brasília.

Estas condições de pico metamórfico estão associadas às principais fases de deformação da área. A cristalização dos minerais de mais alta temperatura é sin a tardi tectônica em relação à fase D_2 de deformação. Esta fase se deu em condições dúcteis da crosta e é interpretada como responsável pelo transporte da nappe e apresenta estruturas que indicam transporte de topo para E. Sobre o retrometamorfismo imposto pela colocação da Faixa Ribeira (Trouw *et al.*, 2013; Ribeiro *et al.*, 1995, Trouw *et al.*, 2000, Peternel *et al.*, 2005 e Zuquim *et al.*, 2011), não foram encontradas sillimanitas nas rochas da área de estudo. O gradiente metamórfico com aumento para sul é concordante com a polaridade metamórfica do orógeno gerado durante a colisão do Cráton do São Francisco e o Bloco Paranapanema (Campos Neto, 2000, Mantovani *et al.*, 2005 e Mantovani & Brito Neves, 2005).

10. Referências Bibliográficas

ALMEIDA F (1977) O cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências* 7: 349–364.

ALMEIDA F, HASUI Y, de BRITO NEVES B, FUCK R (1981) Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth-Science Reviews* 17: 1–29.

AX: software livre. Desenvolvido por Tim Holland. Disponível em:

<www.esc.cam.ac.uk/research/research-groups/research-projects/tim-hollands-software-pages/ax>. Acesso em: 10 jan. 2016.

BRITO NEVES BBd, CAMPOS NETO MdC, Fuck RA (1999) From Rodinia to Western Gondwana: an approach to the Brasiliano-Pan African Cycle and orogenic collage. *Episodes- Newsmagazine of the International Union of Geological Sciences* 22: 155–166

CAMPOS NETO MdC (2000) Orogenic Systems from Southwestern Gondwana: an approach to Brasiliano-Pan African cycle and orogenic collage in southeastern Brazil. *Tectonic Evolution of South America* 31: 335–365

CAMPOS NETO MdC, CABY R (2000) Terrane accretion and upward extrusion of high-pressure granulites in the Neoproterozoic nappes of Southeast Brazil: petrological and structural constraints. *Tectonics* 19.

CAMPOS NETO MdC, BASEI MAS, Vlach SRF, CABY R, SZABÓ GAJ, VASCONCELOS P (2004) Migração de orógenos e superposição de orogêneses: Um esboço da colagem Brasileira no sul do Cráton do São Francisco, SE-Brasil. *Geologia USP Série Científica* 4: 13–40.

CAMPOS NETO MdC, JANASI VA, BASEI MAS, SIGA JR O (2007) Sistema de nappes Andrelândia, setor oriental: litoestratigrafia e posição estratigráfica. *Brazilian Journal of Geology* 37: 47–60

CAMPOS NETO, M. C.; CIOFFI, C. R.; MORAES, R.; MOTTA, R. G.; JUNIOR, O. S.; BASEI, M. A. S. 2010. Structural and metamorphic control on the exhumation of high-P granulites: The Carvalhos Klippe example, from the oriental Andrelândia Nappe System, southern portion of the Brasília Orogen, Brazil. *Precambrian Research*, 180 (3-4): 125 – 142.

CAMPOS NETO MdC, BASEI MAS, JANASI VdA, MORAES R (2011) Orogen migration and tectonic setting of the Andrelândia Nappe system: An Ediacaran western Gondwana collage, south of São Francisco craton. *Journal Of South American Earth Sciences*

COUTINHO, L. Estrutura, litoestratigrafia e metamorfismo do Grupo Carrancas na frente orogênica da Faixa Brasília Meridional. *Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo*. p. 146. 2012.

DEER, W., R. HOWIE, J. ZUSSMAN. 1997. Rock Forming Minerals. Orthosilicates. London, Alden Press, 913 p.

- EBERT H (1956). Pesquisas geológicas na parte sudoeste de Minas Gerais. *Relatório Anual do Diretor de Geologia e Minas* 97–107.
- FLEET, M. E., 2003. *Rock-forming minerals vol 3a: Micas*. The Geological Society, London.
- FUMES R.A., LUVIZOTTO G.L., MORAES R, 2015. Dados de petrografia, química mineral de granada e pseudoseções de rochas pelíticas da Nappe de Luminárias-MG. *Simpósio de Geologia do Sudeste*.
- HASUI, Y. & OLIVEIRA, M. A. F., 1984. A Província Mantiqueira - Setor Central. In: *O Pré-cambriano no Brasil* (EDS ALMEIDA, F. F. M. & HASUI, Y.), EDGARD BLUCHER, São Paulo.
- HAWTHORNE, F. C., UNGARETTI, L., OBERTI, R., CAUCIA, F. & CALLEGARI, A., 1993A. The crystal chemistry of staurolite; i, crystal structure and site populations. *Can Mineral*, 31(3), 551-532.
- HEILBRON, M. 1984. Evolução metamórfico-estrutural da área entre Itutinga e Madre de Deus de Minas, MG. *Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado*, 151 p.
- HEILBRON, M.; MOHRIAK, W.; VALERIANO, C. M.; MILANI, E.; ALMEIDA, J. C. H.; TUPINAMBÁ, M. 2000. From Collision to Extension: The Roots of the Southeastern Continental Margin of Brazil. In: W.U. Mohriak & M. Talwani (eds) *Atlantic rifts and continental margins*. Am. Geoph. Union, *Geophysical Monographss, Washington*, 115: 1-32.
- HEILBRON M., DUARTE B.P., VALLADARES C.S., NOGUEIRA J.R., TUPINAMBÁ M., SILVA L.G.E. 2003. Síntese geológica regional do bloco oriental (Zona da Mata). In: Pedrosa Soares A.C., Noce C.M., Trouw R.A., Heilbron M. (eds). *Projeto Sul de Minas*. Belo Horizonte, UFMG, 8, 50p.
- HEILBRON M, PEDROSA-SOARES AC, CAMPOS NETO MdC, SILVA Ld, TROUW RAJ, JANASI VdA, MANTESSO NETO V, BARTORELLI A, CARNEIRO C, BRITO-NEVES Bd (2004) Província Mantiqueira. *Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida* 203–235
- HEILBRON M, VALERIANO C, TASSINARI C, ALMEIDA J, TUPINAMBÁ M, SIGA O, TROUW R (2008) Correlation of Neoproterozoic terranes between the Ribeira Belt, SE Brazil and its African counterpart: comparative tectonic evolution and open questions. *Geological Society, London, Special Publications* 294: 211–237
- HOLDAWAY, M. J., 2004. Optimization of some key geothermobarometers for pelitic metamorphic rocks. *Mineral Mag*, 68(1), 1-14.
- HOLLAND, T. & POWELL, R., 1985. An internally consistent thermodynamic dataset with uncertainties and correlations: 2. data and results. *Journal of Metamorphic Geology*, 3(4), 343-370.
- KRETZ R (1983) Symbols for rock forming minerals. *American Mineralogist* 68: 277–279.
- KATAYAMA, I., MARUYAMA, S., PARKINSON, C.D., TERADA, K., SANO, Y., 2001. Ion micro-probe U–Pb zircon geochronology of peak and retrograde stages of ultrahigh-pressure

metamorphic rocks from the Kokchetav massif, northern Kazakhstan. *Earth and Planetary Science Letters* 188, 185–198.

LUVIZOTTO G, ZACK T (2009) Nb and Zr behavior in rutile during high-grade metamorphism and retrogression: an example from the Ivrea–Verbano Zone. *Chemical Geology* 261: 303–317

LUVIZOTTO G, ZACK T, MEYER H, LUDWIG T, TRIEBOLD S, KRONZ A, MÜNKER C, STOCKLI D, PROWATKE S, KLEMME S, (2009a) Rutile crystals as potential trace element and isotope mineral standards for microanalysis. *Chemical Geology* 261: 346–369

MANTOVANI, M. S. M. & BRITO NEVES, B. B., 2005. The Paranapanema lithohercynitic block: its importance for proterozoic (Rodinia, Gondwana) supercontinent theories. *Gondwana Research*, 8(3), 303 - 315.

MANTOVANI, M.S.M., QUINTAS, M.C.L., SHUKOWSKY, W., BRITO NEVES, B.B., 2005. Delimitation of the Paranapanema Proterozoic block: a geophysical contribution. *Episodes* 28, 18e22.

MARUYAMA S., MASAGO H., KATAYAMA I, IWASE Y., TORIUMI M., OMORI S., AOKI K, 2010. A new perspective on metamorphism and metamorphic belts. *Gondwana Research*. Volume: 18, Issue: 1, Pages: 106-137.

MEINHOLD, G, 2010. Rutile and its applications in earth sciences. *Earth-Science Reviews*. Volume: 102, Issue: 1-2, Publisher: Elsevier B.V., Pages: 1-28.

MERLE, O. (1998). *Emplacement mechanisms of nappes and thrust sheets*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

PACIULLO, F. V. P. 1980. Mapeamento geológico-estrutural da área de Minduri, MG. *Dissertação de Mestrado*, IGEO-UFRJ, Rio de Janeiro, 80p.

PACIULLO FV, RIBEIRO A, TROUW RA, PEDROSA SOARES A, NOCE C, TROUW R, HEILBRON M (2003) Geologia da Folha Andrelândia 1: 100.000. *Geologia e recursos minerais do sudeste mineiro Projeto Sul de Minas-Etapa I* 84–119.

PETERNEL R, TROUW RAJ, SCHMITT RDS (2005). Interferência entre duas faixas móveis neoproterozóicas: o caso das faixas Brasília e Ribeira no Sudeste do Brasil. *Brazilian Journal of Geology* 35: 297–310.

PASSCHIER, C. W. & TROUW, R. A. J. 2005. *Microtectonics, 2nd edition*. Springer Berlin Heidelberg New York, 366p.

POWELL, R. & HOLLAND, T. (1994). Optimal geothermometry and geobarometry. *American Mineralogist*, 79, 120-133.

RIBEIRO A, HEILBRON M (1982) Estratigrafia e metamorfismo dos Grupos Carrancas e Andrelândia, sul de Minas Gerais. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, vol. 32, 177–186.

RIBEIRO, A.; TROUW, R. A. J.; ANDREIS, R. R.; PACIULLO, F. V. P.; VALENÇA, J. 1995. Evolução das bacias Proterozóicas e o termo tectonismo-brasiliano na margem sul do cráton São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 25, p. 235- 248.

- SILVA, M.P. (2010). Modelamento metamórfico de rochas das fácies xisto-verde e anfibólito com o uso de pseudosseções: exemplo das rochas da Klippe Carrancas, Sul de Minas Gerais. *Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo*. p. 138.
- SPEAR, F., 1993. *Metamorphic phase equilibria and pressure-temperature-time paths*. Mineralogical Society of America, Washington, D.C.
- TERABAYASHI, M., Ota, T., YAMAMOTO, H., KANEKO, Y., 2002. Contact metamorphism of the Dault Suite by solid-state emplacement of the Kokchetav UHP–HP metamorphic slab. *International Geology Review* 44, 819–830.
- TOMKINS, H. S., POWELL, R. & ELLIS, D. J., 2007. The pressure dependence of the zirconium-in-rutile thermometer. *Journal of Metamorphic Geology*, **25**(6), 703–713.
- TROUW R, RIBEIRO A, PACIULLO F (1980) Evolução estrutural e metamórfica de uma área a SE de Lavras, MG. *Congresso Brasileiro de Geologia* 31: 2773.
- TROUW RAJ, RIBEIRO A, PACIULLO FVP (1983) Geologia Estrutural dos Grupos São João del Rei, Carrancas e Adrelândia, Sul de Minas Gerais. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 1: 71–85.
- TROUW R, PACIULLO F, RIBEIRO A (1994) A Faixa Alto Rio Grande reinterpretada como zona de interferência entre a Faixa Brasília e a Faixa Ribeira. *SBG, Cong Bras Geol* 38: 234–235
- TROUW R, HEILBRON M, RIBEIRO A, PACIULLO F, VALERIANO C, ALMEIDA J, TUPINAMBÁ M, ANDREIS R, CORDANI U, MILANI E, (2000) The central segment of the Ribeira Belt. *Tectonic Evolution of South America, 31 International Geological Congress, Rio de Janeiro, Brazil* 287–310
- TROUW, R. A. J., TAVARES, F. M. & ROBYR, M., 2008. Rotated garnets: a mechanism to explain the high frequency of inclusion trail curvature angles around 90° and 180°. *Journal of Structural Geology*, 30 (8), 1024–1033.
- TROUW RA, PETERNEL R, RIBEIRO A, HEILBRON M, VINAGRE R, DUFFLES P, TROUW CC, FONTAINHA M, KUSSAMA HH (2013) A new interpretation for the interference zone between the southern Brasília Belt and the central Ribeira Belt, SE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 48: 43–57.
- TROUW, R. A. J. PACIULLO F.V. P., RIBEIRO A, BITTAR, S, ALMEIDA J. C. H, (2013). Mapa Geológico – Folha Caxambu. Projeto Sul de Minas – Etapa I. *CODEMIG*.
- VALERIANO CM, MACHADO N, SIMONETTI A, VALLADARES CS, SEER H, SIMÕES LSA (2004) U-Pb geochronology of the southern Brasília belt (SE-Brazil): sedimentary provenance, Neoproterozoic orogeny and assembly of West Gondwana. *Precambrian Research* 130: 27–55.
- VALERIANO, C.M., PIMENTEL, M., HEILBRON, M., TROUW, R.A.J., ALMEIDA, J.C., 2008. Tectonic evolution of the Brasília Belt, Central Brazil, and early assembly of Gondwana. In: Pankhurst, R.J., Trouw, R.A.J., Brito Neves, B.B., de Wit, M.J. (Eds.), *West Gondwana: Pre-cenozoic Correlations across the South Atlantic Region*, Geological Society of London, Special Publications, vol. 294, pp. 197–210.

YARDLEY, B. W. D (Ed.). 1989. An introduction to Metamorphic Petrology. Longman Scientific & Technical, Essex, 248 pp.

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.

ZUQUIM, M., TROUW, R., TROUW, C., TOHVER, E., (2011). Structural evolution and U–Pb SHRIMP zircon ages of the Neoproterozoic Maria da Fé shear zone, central Ribeira Belt–SE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 31: 199–213

**Apêndice A – Tabelas de análises químicas em granada,
muscovita, cloritoide e estaurolita**

Tabela A.1: Análises químicas da granada G1 da amostra LR-10E

Amostra	10E_G1_1	10E_G1_2	10E_G1_3	10E_G1_4	10E_G1_5	10E_G1_6	10E_G1_7	10E_G1_8	10E_G1_9	10E_G1_10
SiO2	36.68	36.85	36.73	37.27	37.19	36.95	33.99	36.95	37.29	37.36
TiO2	0.02	0.02	0.00	0.06	0.02	0.04	4.40	0.05	0.06	0.05
Al2O3	20.55	20.89	20.60	20.70	20.78	20.78	19.34	20.48	20.67	20.91
Cr2O3	0.01	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01
Fe2O3	1.24	1.01	1.04	0.50	0.37	0.44	0.50	0.90	0.00	0.09
FeO	36.36	36.34	36.10	36.50	36.48	36.34	37.31	36.41	35.82	34.90
MnO	0.29	0.33	0.38	0.38	0.43	0.51	0.60	0.85	1.08	1.35
MgO	2.76	2.90	2.90	2.85	2.78	2.68	2.41	2.37	2.12	1.90
CaO	1.80	1.75	1.77	2.07	2.04	2.02	1.86	2.13	3.07	3.95
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
Total	99.70	100.10	99.51	100.34	100.11	99.75	100.41	100.16	100.12	100.52
Oxigênios	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
Si	2,977	2,974	2,982	2,999	2,999	2,992	2,781	2,992	3,012	3,003
Ti	0.001	0.001	0.000	0.004	0.001	0.002	0.271	0.003	0.004	0.003
Al	1,967	1,988	1,972	1,964	1,976	1,984	1,866	1,955	1,968	1,982
Cr	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001
Fe3	0.075	0.061	0.063	0.030	0.023	0.027	0.031	0.055	0.000	0.005
Fe2	2,468	2,452	2,451	2,457	2,461	2,461	2,553	2,466	2,420	2,346
Mn	0.020	0.023	0.026	0.026	0.029	0.035	0.042	0.058	0.074	0.092
Mg	0.334	0.349	0.351	0.342	0.334	0.323	0.294	0.286	0.255	0.228
Ca	0.157	0.151	0.154	0.178	0.176	0.175	0.163	0.185	0.266	0.340
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
Total Cátions	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	7,999	8,000

Tabela A.2: Análises químicas da granada G1 da amostra LR-10E (continuação)

Amostra	10E_G1_11	10E_G1_12	10E_G1_13	10E_G1_14	10E_G1_15	10E_G1_21	10E_G1_22	10E_G1_23	10E_G1_25	10E_G1_26
SiO2	37.21	35.61	36.73	36.83	37.21	37.05	36.82	36.87	36.93	37.11
TiO2	0.07	0.04	0.07	0.05	0.03	0.05	0.02	0.07	0.05	0.04
Al2O3	20.69	20.12	20.51	20.72	20.81	20.56	20.75	20.74	20.81	20.75
Cr2O3	0.02	0.02	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
Fe2O3	0.37	1.58	0.23	0.18	0.00	0.66	1.23	1.01	1.03	0.64
FeO	34.68	32.51	33.77	33.59	33.91	35.10	35.86	36.41	36.12	36.24
MnO	1.77	2.11	2.22	2.49	2.59	1.48	1.17	0.87	0.54	0.51
MgO	1.73	1.48	1.52	1.47	1.48	1.84	2.07	2.30	2.69	2.76
CaO	3.90	4.16	4.10	4.18	3.94	3.49	2.58	2.15	2.14	2.13
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
Total	100.45	97.63	99.15	99.52	99.98	100.24	100.51	100.44	100.32	100.19
Oxigênios	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
Si	3,000	2,961	3,001	2,997	3,012	2,996	2,973	2,977	2,977	2,992
Ti	0.004	0.003	0.004	0.003	0.002	0.003	0.001	0.004	0.003	0.002
Al	1,967	1,973	1,975	1,988	1,986	1,960	1,975	1,974	1,977	1,972
Cr	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Fe3	0.023	0.099	0.014	0.011	0.000	0.040	0.075	0.061	0.063	0.039
Fe2	2,339	2,261	2,307	2,286	2,295	2,374	2,422	2,459	2,435	2,444
Mn	0.121	0.149	0.154	0.172	0.178	0.101	0.080	0.060	0.037	0.035
Mg	0.208	0.183	0.185	0.178	0.179	0.222	0.249	0.277	0.323	0.332
Ca	0.337	0.371	0.359	0.364	0.342	0.302	0.223	0.186	0.185	0.184
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
Total Cátions	8,000	8,000	8,000	8,000	7,993	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000

Tabela A.3: Análises químicas da granada G1 da amostra LR-10E (continuação)

Amostra	10E_G1_27	10E_G1_28	10E_G1_29	10E_G1_30
SiO2	36.88	37.01	37.42	37.51
TiO2	0.03	0.02	0.01	0.02
Al2O3	20.83	20.77	21.05	20.89
Cr2O3	0.01	0.00	0.01	0.00
Fe2O3	1.25	0.60	0.62	0.76
FeO	35.93	36.29	36.70	37.00
MnO	0.46	0.41	0.40	0.31
MgO	2.87	2.85	2.94	2.96
CaO	2.04	1.94	1.88	1.78
Na2O	0.00	0.00	0.00	0.00
K2O	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.31	99.89	101.03	101.23
Oxigênios	12.0	12.0	12.0	12.0
Si	2,971	2,991	2,989	2,993
Ti	0.002	0.001	0.001	0.001
Al	1,978	1,979	1,982	1,965
Cr	0.001	0.000	0.001	0.000
Fe3	0.076	0.036	0.037	0.045
Fe2	2,421	2,453	2,452	2,469
Mn	0.031	0.028	0.027	0.021
Mg	0.345	0.343	0.350	0.352
Ca	0.176	0.168	0.161	0.152
Na	0.000	0.000	0.000	0.000
K	0.000	0.000	0.000	0.000
Total Cátions	8,000	8,000	8,000	8,000

Tabela A.4: Análises químicas da granada G2 da amostra LR-10E

Amostra	10E_G2_1	10E_G2_2	10E_G2_3	10E_G2_4	10E_G2_5	10E_G2_6	10E_G2_7	10E_G2_8	10E_G2_9	10E_G2_10
SiO2	37.15	36.82	37.21	37.06	36.89	37.15	36.08	36.75	36.86	37.09
TiO2	0.03	0.00	0.02	0.00	0.04	0.08	0.02	0.02	0.00	0.02
Al2O3	20.90	20.79	20.84	20.93	20.76	20.83	19.96	20.69	20.63	20.63
Cr2O3	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.03	0.02	0.00	0.01	0.00
Fe2O3	0.69	0.85	0.55	0.88	0.98	0.29	0.71	1.10	0.48	0.81
FeO	36.59	36.10	36.62	36.47	36.25	36.81	35.53	35.97	35.75	34.57
MnO	0.25	0.29	0.38	0.36	0.41	0.50	0.69	0.99	1.27	1.49
MgO	2.86	2.90	2.87	2.93	2.86	2.64	2.48	2.33	1.83	1.88
CaO	1.96	1.92	1.87	1.76	1.86	1.93	1.96	2.21	2.95	3.85
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
Total	100.43	99.69	100.36	100.41	100.05	100.26	97.45	100.06	99.78	100.34
Oxigênios	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
Si	2,987	2,981	2,994	2,981	2,980	2,995	2,998	2,977	2,996	2,993
Ti	0.002	0.000	0.001	0.000	0.002	0.005	0.001	0.001	0.000	0.001
Al	1,981	1,985	1,977	1,985	1,977	1,980	1,955	1,976	1,977	1,963
Cr	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.002	0.001	0.000	0.001	0.000
Fe3	0.042	0.052	0.033	0.053	0.059	0.018	0.044	0.067	0.029	0.049
Fe2	2,460	2,445	2,464	2,453	2,449	2,482	2,469	2,437	2,430	2,333
Mn	0.017	0.020	0.026	0.025	0.028	0.034	0.049	0.068	0.087	0.102
Mg	0.343	0.350	0.344	0.351	0.344	0.317	0.307	0.281	0.222	0.226
Ca	0.169	0.167	0.161	0.152	0.161	0.167	0.175	0.192	0.257	0.333
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
Total Cátions	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000

Tabela A.4: Análises químicas da granada G2 da amostra LR-10E (continuação)

Amostra	10E_G2_1 1	10E_G2_1 3	10E_G2_1 4	10E_G2_15	10E_G2_1 6	10E_G2_1 8	10E_G2_1 9	10E_G2_2 0	10E_G2_2 1	10E_G2_22
SiO2	35.91	37.13	36.67	36.99	36.38	36.67	36.78	36.86	36.77	37.22
TiO2	0.08	0.06	0.05	0.06	0.78	0.07	0.09	0.06	0.05	0.04
Al2O3	20.08	20.52	20.68	20.55	20.14	20.70	20.74	20.51	20.73	20.95
Cr2O3	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Fe2O3	1.87	0.25	0.34	0.40	0.24	0.70	1.04	0.79	0.99	0.40
FeO	33.16	33.51	33.18	33.39	33.55	33.24	33.07	33.94	34.26	36.12
MnO	1.79	2.44	2.67	2.70	2.73	2.41	2.20	1.77	1.43	1.15
MgO	1.57	1.40	1.36	1.40	1.39	1.49	1.61	1.73	1.94	2.23
CaO	4.09	4.66	4.36	4.42	4.22	4.35	4.60	4.15	3.78	2.56
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
Total	98.56	99.98	99.31	99.92	99.44	99.63	100.13	99.81	99.95	100.67
Oxigênios	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
Si	2,961	3,009	2,992	3,001	2,974	2,982	2,974	2,991	2,977	2,993
Ti	0.005	0.004	0.003	0.004	0.048	0.004	0.005	0.004	0.003	0.002
Al	1,952	1,960	1,989	1,966	1,941	1,985	1,977	1,962	1,979	1,986
Cr	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
Fe3	0.116	0.015	0.021	0.024	0.015	0.043	0.063	0.049	0.060	0.024
Fe2	2,287	2,271	2,264	2,266	2,294	2,261	2,236	2,303	2,320	2,429
Mn	0.125	0.167	0.185	0.186	0.189	0.166	0.151	0.122	0.098	0.078
Mg	0.193	0.169	0.165	0.169	0.169	0.181	0.194	0.209	0.234	0.267
Ca	0.361	0.405	0.381	0.384	0.370	0.379	0.399	0.361	0.328	0.221
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
Total Cátions	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000

Tabela A.5: Análises químicas da granada G2 da amostra LR-10E (continuação)

Amostra	10E_G2_23	10E_G2_24	10E_G2_25	10E_G2_26	10E_G2_27	10E_G2_28	10E_G2_29	10E_G2_30
SiO2	37.01	37.05	36.86	37.04	36.16	36.86	36.77	36.55
TiO2	0.06	0.02	0.04	0.04	0.00	0.03	0.03	0.00
Al2O3	20.69	20.74	20.82	20.83	20.49	20.62	20.88	20.56
Cr2O3	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.02	0.03	0.01
Fe2O3	0.52	0.50	0.64	0.95	1.28	0.78	1.33	1.28
FeO	36.53	36.53	36.17	36.13	35.28	36.51	36.22	36.95
MnO	0.82	0.66	0.56	0.50	0.45	0.36	0.32	0.30
MgO	2.49	2.50	2.68	2.85	2.73	2.89	2.83	2.67
CaO	1.96	2.08	2.03	2.04	2.06	1.62	1.88	1.32
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
Total	100.08	100.08	99.80	100.38	98.47	99.69	100.28	99.64
Oxigênios	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
Si	2,994	2,995	2,984	2,981	2,968	2,988	2,965	2,974
Ti	0.004	0.001	0.002	0.002	0.000	0.002	0.002	0.000
Al	1,973	1,977	1,987	1,976	1,983	1,971	1,985	1,972
Cr	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001	0.002	0.001
Fe3	0.032	0.030	0.039	0.057	0.079	0.047	0.080	0.078
Fe2	2,471	2,470	2,449	2,431	2,422	2,476	2,442	2,515
Mn	0.056	0.045	0.038	0.034	0.031	0.025	0.022	0.021
Mg	0.300	0.301	0.323	0.342	0.334	0.349	0.340	0.324
Ca	0.170	0.180	0.176	0.176	0.181	0.141	0.162	0.115
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
Total Cátions	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000

Tabela A.6: Análises químicas da granada G1 da amostra LR-44C

Amostra	44CG1_1_1	44CG1_1_2	44CG1_1_3	44CG1_1_4	44CG1_1_5	44CG1_1_6	44CG1_1_7	44CG1_1_8	44CG1_1_9	44CG1_1_10
SiO2	36.75	36.41	36.57	36.56	36.30	37.00	36.13	36.30	36.32	36.62
TiO2	0.00	0.05	0.04	0.02	0.05	0.07	0.02	0.03	0.07	0.05
Al2O3	20.81	20.55	20.44	20.60	20.62	20.11	20.08	20.14	20.43	20.67
Cr2O3	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.00
Fe2O3	1.01	1.47	1.25	1.02	1.22	0.00	1.27	2.02	1.30	1.11
FeO	33.59	31.97	31.31	30.80	29.88	31.97	30.58	28.91	30.06	30.56
MnO	4.29	5.77	6.83	7.86	8.61	8.55	8.45	9.02	8.85	8.56
MgO	3.07	2.89	2.74	2.46	2.40	1.64	1.96	2.16	2.14	2.24
CaO	0.42	0.48	0.51	0.46	0.45	0.45	0.46	1.20	0.51	0.48
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
Total	99.96	99.60	99.70	99.80	99.53	99.80	98.97	99.80	99.70	100.28
Oxigênios	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
Si	2,975	2,965	2,978	2,978	2,966	3,029	2,982	2,965	2,970	2,974
Ti	0.000	0.003	0.002	0.001	0.003	0.004	0.001	0.002	0.004	0.003
Al	1,986	1,973	1,962	1,978	1,986	1,941	1,954	1,940	1,970	1,979
Cr	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000
Fe3	0.062	0.090	0.076	0.063	0.075	0.000	0.079	0.124	0.080	0.068
Fe2	2,274	2,178	2,132	2,098	2,042	2,189	2,111	1,975	2,056	2,075
Mn	0.294	0.398	0.471	0.542	0.596	0.593	0.591	0.624	0.613	0.589
Mg	0.370	0.351	0.332	0.299	0.292	0.200	0.241	0.263	0.261	0.271
Ca	0.036	0.042	0.044	0.040	0.039	0.039	0.041	0.105	0.045	0.042
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
Total Cátions	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	7,996	8,000	8,000	8,000	8,000

Tabela A.7: Análises químicas da granada G1 da amostra LR-44C (continuação)

Amostra	44CG1_1_1	44CG1_1_1	44CG1_1_1	44CG1_1_15	44CG1_1_1	44CG1_1_1	44CG1_1_1	44CG1_1_19	44CG1_1_2	44CG1_1_23
	1	2	3		6	7	8		0	
SiO2	35.98	36.19	36.33	35.56	31.58	36.10	36.58	35.51	36.63	36.42
TiO2	0.07	0.06	0.05	0.04	7.42	0.37	0.06	0.05	0.03	0.06
Al2O3	20.37	20.33	20.55	19.98	17.99	20.35	20.38	20.45	20.68	20.30
Cr2O3	0.03	0.00	0.02	0.01	0.00	0.01	0.02	0.00	0.03	0.02
Fe2O3	1.89	1.44	1.11	1.78	0.32	0.44	0.45	2.03	0.94	1.24
FeO	31.40	31.11	31.61	31.60	34.51	33.05	33.07	32.36	33.02	34.55
MnO	8.14	7.66	7.46	7.45	6.60	7.01	7.09	6.56	6.58	4.92
MgO	1.60	2.18	2.11	1.64	1.55	1.59	1.67	1.66	2.05	1.88
CaO	0.46	0.45	0.44	0.38	0.37	0.40	0.44	0.42	0.38	0.56
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
Total	99.94	99.41	99.67	98.44	100.34	99.32	99.77	99.04	100.34	99.95
Oxigênios	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
Si	2,951	2,969	2,971	2,961	2,638	2,975	2,997	2,937	2,977	2,979
Ti	0.004	0.004	0.003	0.003	0.466	0.023	0.004	0.003	0.002	0.004
Al	1,970	1,966	1,982	1,961	1,772	1,977	1,969	1,994	1,982	1,957
Cr	0.002	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	0.002	0.001
Fe3	0.117	0.089	0.068	0.111	0.020	0.027	0.028	0.126	0.058	0.077
Fe2	2,154	2,134	2,162	2,200	2,411	2,278	2,266	2,239	2,245	2,363
Mn	0.566	0.532	0.517	0.525	0.467	0.489	0.492	0.460	0.453	0.341
Mg	0.196	0.267	0.257	0.204	0.193	0.195	0.204	0.205	0.248	0.229
Ca	0.040	0.040	0.039	0.034	0.033	0.035	0.039	0.037	0.033	0.049
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
Total Cations	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000

Tabela A.8: Análises químicas da granada G1 da amostra LR-44C (continuação)

Amostra	44CG1_1_2 4	44CG1_1_2 5	44CG1_1_2 6	44CG1_1_27	44CG1_1_2 8	44CG1_1_3 0	44CG1_2_ 1	44CG1_2_2	44CG1_2_ 3	44CG1_2_4
SiO2	36.72	36.49	36.36	36.40	26.53	36.69	36.53	37.00	36.86	36.88
TiO2	0.03	0.14	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.02	0.03	0.02
Al2O3	20.62	20.50	20.67	20.54	16.67	20.61	20.67	20.93	20.70	20.58
Cr2O3	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00	0.05	0.02
Fe2O3	0.55	0.73	1.45	0.81	11.48	0.76	0.99	0.80	1.13	0.72
FeO	33.25	35.12	34.82	35.52	26.48	35.89	35.45	35.39	34.57	34.94
MnO	4.64	4.04	3.72	3.67	2.57	2.48	1.99	2.35	3.02	4.04
MgO	2.97	2.20	2.43	2.09	1.24	2.77	3.25	3.36	3.27	2.45
CaO	0.54	0.49	0.45	0.45	0.34	0.42	0.33	0.39	0.50	0.56
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
Total	99.32	99.72	99.93	99.51	85.34	99.64	99.22	100.24	100.13	100.21
Oxigênios	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
Si	2,991	2,981	2,961	2,982	2,608	2,987	2,977	2,981	2,977	2,992
Ti	0.002	0.009	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.002	0.001
Al	1,980	1,975	1,985	1,984	1,932	1,978	1,986	1,988	1,971	1,968
Cr	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.000	0.001	0.000	0.003	0.001
Fe3	0.033	0.045	0.089	0.050	0.849	0.047	0.061	0.048	0.069	0.044
Fe2	2,265	2,399	2,372	2,434	2,177	2,444	2,416	2,384	2,335	2,371
Mn	0.320	0.280	0.257	0.255	0.214	0.171	0.137	0.160	0.207	0.278
Mg	0.361	0.268	0.295	0.255	0.182	0.336	0.395	0.403	0.394	0.296
Ca	0.047	0.043	0.039	0.039	0.036	0.037	0.029	0.034	0.043	0.049
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
Total Cátions	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000

Tabela A.9: Análises químicas da granada G1 da amostra LR-44C (continuação)

Amostra	44CG1_2_5	44CG1_2_6	44CG1_2_7	44CG1_2_8	44CG1_2_9	44CG1_2_10	44CG1_2_11	44CG1_2_12	44CG1_2_13	44CG1_2_14
SiO2	36.66	33.81	36.37	36.16	36.06	36.16	36.55	36.42	36.64	36.30
TiO2	0.03	0.04	0.16	0.05	0.10	0.07	0.03	0.03	0.05	0.04
Al2O3	20.40	18.19	20.38	20.53	20.22	20.15	20.53	20.51	20.40	20.42
Cr2O3	0.02	0.00	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00
Fe2O3	0.49	5.07	1.15	1.56	1.28	1.03	1.36	0.94	0.73	1.00
FeO	34.59	32.61	34.16	33.19	32.96	33.09	31.40	32.00	33.29	31.77
MnO	4.37	4.47	5.19	6.12	6.46	6.52	7.10	7.26	6.96	7.45
MgO	2.38	1.54	2.00	1.88	1.80	1.72	2.57	2.05	1.65	1.99
CaO	0.47	0.45	0.51	0.42	0.39	0.42	0.44	0.44	0.45	0.45
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
Total	99.41	96.19	99.92	99.94	99.29	99.17	100.00	99.65	100.18	99.42
Oxigênios	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
Si	2,999	2,910	2,973	2,958	2,971	2,983	2,972	2,980	2,992	2,979
Ti	0.002	0.003	0.010	0.003	0.006	0.004	0.002	0.002	0.003	0.002
Al	1,967	1,846	1,964	1,980	1,964	1,960	1,968	1,978	1,964	1,976
Cr	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000
Fe3	0.030	0.329	0.071	0.096	0.079	0.064	0.083	0.058	0.045	0.062
Fe2	2,367	2,348	2,335	2,271	2,271	2,283	2,135	2,190	2,274	2,181
Mn	0.303	0.326	0.359	0.424	0.451	0.456	0.489	0.503	0.481	0.518
Mg	0.290	0.198	0.244	0.229	0.221	0.211	0.311	0.250	0.201	0.243
Ca	0.041	0.042	0.045	0.037	0.034	0.037	0.038	0.039	0.039	0.040
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
Total Cátions	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000

Tabela A.10: Análises químicas da granada G1 da amostra LR-44C (continuação)

Amostra	44CG1_2_1 6	44CG1_2_2 0	44CG1_2_2 1	44CG1_2_22	44CG1_2_2 3	44CG1_2_2 4	44CG1_2_2 6	44CG1_2_27	44CG1_2_2 9	44CG1_2_30
SiO2	36.43	36.47	36.41	36.49	36.56	35.50	32.97	36.45	36.63	36.69
TiO2	0.11	0.25	0.02	0.05	0.04	0.05	0.09	0.03	0.00	0.00
Al2O3	20.40	20.62	20.58	20.55	20.51	20.15	19.78	20.64	20.53	20.80
Cr2O3	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00
Fe2O3	1.04	0.87	1.21	1.08	1.14	0.90	3.28	0.71	1.29	1.19
FeO	32.48	32.93	32.36	34.13	33.58	33.73	32.40	34.79	34.39	35.54
MnO	6.83	6.41	6.42	5.59	5.84	5.13	4.17	4.71	2.69	2.08
MgO	2.08	2.13	2.33	1.90	2.03	1.64	1.35	1.97	3.26	3.20
CaO	0.43	0.48	0.42	0.39	0.50	0.50	0.37	0.42	0.68	0.41
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
Total	99.82	100.16	99.75	100.18	100.20	97.62	94.42	99.73	99.48	99.91
Oxigênios	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
Si	2,978	2,969	2,972	2,976	2,978	2,973	2,871	2,981	2,977	2,971
Ti	0.007	0.015	0.001	0.003	0.002	0.003	0.006	0.002	0.000	0.000
Al	1,966	1,979	1,980	1,976	1,969	1,990	2,031	1,990	1,967	1,986
Cr	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000
Fe3	0.064	0.053	0.074	0.066	0.070	0.056	0.215	0.044	0.079	0.073
Fe2	2,221	2,242	2,209	2,328	2,287	2,363	2,360	2,380	2,338	2,406
Mn	0.473	0.442	0.444	0.386	0.403	0.364	0.308	0.326	0.185	0.143
Mg	0.253	0.258	0.283	0.231	0.246	0.205	0.175	0.240	0.395	0.386
Ca	0.038	0.042	0.037	0.034	0.044	0.045	0.035	0.037	0.059	0.036
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
Total Cátions	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000

Tabela A.11: Análises químicas da granada G2 da amostra LR-44C

Amostra	44CG2_1	44CG2_2	44CG2_3	44CG2_6	44CG2_7	44CG2_8	44CG2_12	44CG2_13	44CG2_15	44CG2_17
SiO2	36.76	36.57	36.55	36.13	36.78	36.48	36.57	36.57	36.40	36.70
TiO2	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00	0.00	0.02	0.02	0.11	0.00
Al2O3	20.71	20.78	20.77	20.56	20.77	20.55	20.49	20.71	20.48	20.53
Cr2O3	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
Fe2O3	0.93	1.37	1.26	1.28	0.96	1.06	0.79	1.04	1.36	1.01
FeO	36.50	36.84	35.13	36.18	36.40	36.04	36.07	35.50	35.43	36.09
MnO	2.07	1.92	1.54	2.97	2.76	2.88	3.38	3.36	3.33	3.59
MgO	2.71	2.53	3.66	2.09	2.37	2.36	2.10	2.40	2.16	2.01
CaO	0.41	0.34	0.38	0.36	0.44	0.36	0.40	0.44	0.76	0.45
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
Total	100.09	100.35	99.31	99.77	100.50	99.74	99.83	100.06	100.05	100.40
Oxigênios	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
Si	2,981	2,965	2,967	2,957	2,979	2,978	2,987	2,974	2,967	2,984
Ti	0.000	0.000	0.000	0.012	0.000	0.000	0.001	0.001	0.007	0.000
Al	1,980	1,986	1,988	1,984	1,983	1,978	1,973	1,985	1,968	1,968
Cr	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Fe3	0.057	0.084	0.077	0.079	0.059	0.065	0.049	0.064	0.083	0.062
Fe2	2,476	2,498	2,385	2,476	2,465	2,460	2,464	2,414	2,415	2,454
Mn	0.142	0.132	0.106	0.206	0.189	0.199	0.234	0.231	0.230	0.247
Mg	0.328	0.306	0.443	0.255	0.286	0.287	0.256	0.291	0.262	0.244
Ca	0.036	0.030	0.033	0.032	0.038	0.031	0.035	0.038	0.066	0.039
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
Total Cátions	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000

Tabela A.12: Análises químicas da granada G2 da amostra LR-44C (continuação)

Amostra	44CG2_18	44CG2_20	44CG2_22	44CG2_23	44CG2_24	44CG2_25	44CG2_26	44CG2_27	44CG2_29	44CG2_30
SiO2	36.11	36.19	35.79	36.49	35.87	36.34	36.91	36.77	36.97	36.62
TiO2	0.04	0.01	1.35	0.00	0.05	0.03	0.03	0.02	0.00	0.00
Al2O3	20.35	20.73	20.39	20.89	20.20	20.75	20.58	20.48	21.05	20.97
Cr2O3	0.01	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02
Fe2O3	1.26	1.52	0.00	1.78	1.31	0.90	0.85	1.01	1.37	1.61
FeO	35.51	35.41	35.97	34.31	35.60	35.81	36.39	35.34	35.73	35.45
MnO	3.81	3.75	3.35	3.05	3.42	2.90	2.74	2.16	1.56	1.72
MgO	1.81	1.90	2.04	3.15	1.88	2.37	2.47	3.33	3.64	3.43
CaO	0.48	0.54	0.55	0.48	0.41	0.40	0.46	0.41	0.32	0.38
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
Total	99.39	100.06	99.44	100.18	98.73	99.50	100.45	99.52	100.65	100.19
Oxigênios	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
Si	2,971	2,955	2,937	2,950	2,970	2,971	2,989	2,987	2,964	2,954
Ti	0.002	0.001	0.083	0.000	0.003	0.002	0.002	0.001	0.000	0.000
Al	1,974	1,995	1,973	1,991	1,972	2,000	1,965	1,961	1,989	1,994
Cr	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001
Fe3	0.078	0.093	0.000	0.109	0.081	0.056	0.052	0.062	0.083	0.097
Fe2	2,444	2,417	2,469	2,320	2,465	2,448	2,465	2,401	2,395	2,391
Mn	0.266	0.259	0.233	0.209	0.240	0.201	0.188	0.149	0.106	0.118
Mg	0.222	0.231	0.250	0.379	0.232	0.289	0.298	0.403	0.435	0.412
Ca	0.042	0.047	0.048	0.042	0.036	0.035	0.040	0.036	0.027	0.033
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
Total Cátions	8,000	8,000	7,993	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000

Tabela A.13: Análises químicas da muscovita da amostra LR-10E

Amostra	10E	10E	10E	10E	10E	10E	10E	10E	10E	10E
SiO2	46.76	45.12	46.27	46.13	46.33	46.16	46.54	45.32	46.53	46.46
TiO2	0.31	0.30	0.15	0.24	0.29	0.26	0.30	0.31	0.32	0.31
Al2O3	34.64	34.19	35.63	35.22	35.44	36.04	35.64	34.74	34.82	34.91
Cr2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe2O3	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	1.38	1.49	1.15	1.17	1.21	1.07	1.09	1.23	1.47	1.63
MnO	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.01	0.01	0.03	0.00	0.00
MgO	0.88	0.81	0.66	0.70	0.76	0.54	0.64	0.67	0.84	0.73
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na2O	1.06	0.94	1.06	1.17	1.01	1.20	1.11	1.11	1.10	0.97
K2O	9.34	8.97	9.35	9.36	9.41	9.39	9.42	9.00	9.36	9.42
Total	94.38	91.99	94.25	94.00	94.47	94.68	94.75	92.41	94.44	94.43
Oxigênios	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0
Si	3,123	3,093	3,090	3,094	3,090	3,072	3,093	3,089	3,109	3,107
Ti	0.016	0.015	0.007	0.012	0.015	0.013	0.015	0.016	0.016	0.015
Al	2,728	2,764	2,805	2,784	2,787	2,827	2,793	2,791	2,743	2,752
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe3	0.000	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe2	0.077	0.085	0.064	0.065	0.067	0.060	0.061	0.070	0.082	0.091
Mn	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.000	0.000
Mg	0.087	0.083	0.066	0.069	0.076	0.054	0.063	0.068	0.084	0.072
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.138	0.125	0.137	0.152	0.130	0.155	0.144	0.147	0.143	0.125
K	0.796	0.785	0.797	0.801	0.801	0.798	0.799	0.782	0.797	0.803
Total Cátions	6,965	6,960	6,967	6,979	6,968	6,979	6,968	6,965	6,974	6,967

Tabela A.14: Análises químicas da muscovita da amostra LR-10E (continuação)

Amostra	10E	10E	10E	10E	10E	10E	10E	10E	10E	10E
SiO2	46.30	46.41	46.48	45.84	46.71	46.55	46.98	46.92	46.89	46.66
TiO2	0.31	0.37	0.26	0.20	0.26	0.39	0.26	0.24	0.26	0.25
Al2O3	35.31	35.48	35.04	34.63	34.83	34.86	34.68	34.81	34.63	34.77
Cr2O3	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
FeO	1.15	1.12	1.26	1.19	1.26	1.19	1.19	1.23	1.34	1.27
MnO	0.01	0.00	0.03	0.00	0.02	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00
MgO	0.72	0.67	0.92	0.80	0.92	0.82	0.96	0.96	0.95	0.91
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na2O	1.13	1.21	1.13	1.12	1.06	1.16	1.11	1.09	1.09	1.02
K2O	9.28	9.16	9.42	9.09	9.31	9.18	9.27	9.43	9.42	9.24
Total	94.22	94.41	94.54	92.88	94.37	94.17	94.43	94.69	94.58	94.12
Oxigênios	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0
Si	3,095	3,093	3,101	3,107	3,118	3,112	3,131	3,122	3,126	3,120
Ti	0.016	0.018	0.013	0.010	0.013	0.020	0.013	0.012	0.013	0.013
Al	2,782	2,788	2,756	2,767	2,740	2,747	2,724	2,731	2,721	2,741
Cr	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	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe2	0.064	0.062	0.070	0.068	0.071	0.067	0.066	0.069	0.074	0.071
Mn	0.001	0.000	0.002	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000
Mg	0.072	0.066	0.092	0.081	0.091	0.082	0.095	0.095	0.095	0.090
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.146	0.156	0.146	0.147	0.137	0.151	0.143	0.141	0.141	0.132
K	0.791	0.779	0.801	0.786	0.793	0.783	0.788	0.800	0.801	0.789
Total Cátions	6,968	6,963	6,982	6,967	6,965	6,962	6,960	6,971	6,973	6,957

Tabela A.15: Análises químicas da muscovita da amostra LR-10E (continuação)

Amostra	10E	10E	10E	10E	10E	10E	10E	10E
SiO2	46.25	46.89	46.37	45.86	46.18	46.14	46.17	45.69
TiO2	0.24	0.26	0.26	0.28	0.36	0.31	0.30	0.31
Al2O3	36.19	35.37	35.60	35.14	34.38	35.45	34.77	34.97
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	1.14	1.22	1.09	1.26	1.20	1.25	1.15	1.19
MnO	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.01
MgO	0.52	0.74	0.67	0.65	0.81	0.73	0.84	0.63
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na2O	1.26	1.15	1.11	1.10	1.03	1.09	0.96	1.09
K2O	9.35	9.22	9.30	9.22	9.27	9.38	9.51	9.46
Total	94.95	94.85	94.39	93.52	93.23	94.33	93.72	93.37
Oxigênios	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0
Si	3,069	3,110	3,092	3,090	3,120	3,084	3,106	3,088
Ti	0.012	0.013	0.013	0.014	0.018	0.015	0.015	0.016
Al	2,831	2,766	2,798	2,792	2,738	2,793	2,758	2,787
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	0.063	0.068	0.061	0.071	0.068	0.070	0.065	0.067
Mn	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001
Mg	0.051	0.073	0.066	0.065	0.081	0.073	0.084	0.064
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.162	0.147	0.143	0.143	0.135	0.141	0.125	0.143
K	0.791	0.780	0.791	0.793	0.799	0.800	0.817	0.816
Total Cátions	6,981	6,958	6,964	6,969	6,960	6,975	6,971	6,983

Tabela A.16: Análises químicas da muscovita da amostra LR-44C

Amostra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO2	46.64	46.41	46.84	43.73	46.06	46.46	45.17	46.45	46.88	45.72
TiO2	0.51	0.49	0.50	0.51	0.56	0.51	0.50	0.53	0.53	0.46
Al2O3	34.88	35.30	34.90	33.90	33.91	34.71	34.22	35.46	34.71	35.19
Cr2O3	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	2.83	0.00	0.00	1.47	0.00	0.00	0.00
FeO	0.99	0.88	0.90	1.09	0.98	1.14	0.57	1.05	1.05	1.00
MnO	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02
MgO	0.78	0.68	0.75	2.44	0.80	0.85	1.44	0.74	0.95	0.64
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na2O	0.89	0.98	0.88	0.85	0.87	0.97	0.80	0.92	0.85	0.97
K2O	9.52	9.51	9.28	8.11	9.27	9.47	8.81	9.46	9.46	8.94
Total	94.22	94.25	94.03	93.47	92.45	94.11	92.98	94.62	94.42	92.93
Oxigênios	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0
Si	3,116	3,099	3,127	2,971	3,134	3,111	3,062	3,091	3,124	3,089
Ti	0.026	0.024	0.025	0.026	0.028	0.026	0.026	0.027	0.027	0.023
Al	2,747	2,779	2,747	2,715	2,720	2,740	2,735	2,782	2,727	2,803
Cr	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	0.145	0.000	0.000	0.075	0.000	0.000	0.000
Fe2	0.055	0.049	0.050	0.062	0.056	0.064	0.032	0.059	0.059	0.057
Mn	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
Mg	0.078	0.068	0.075	0.247	0.081	0.085	0.145	0.073	0.094	0.065
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.115	0.127	0.114	0.112	0.115	0.126	0.104	0.119	0.109	0.127
K	0.811	0.810	0.790	0.703	0.805	0.809	0.762	0.803	0.804	0.770
Total Cátions	6,949	6,957	6,928	6,982	6,938	6,961	6,941	6,954	6,944	6,935

Tabela A.17: Análises químicas da muscovita da amostra LR-44C (continuação)

Amostra	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SiO₂	46.48	46.19	46.50	46.55	46.70	46.30	46.89	46.30	45.82	46.16
TiO₂	0.51	0.49	0.53	0.51	0.50	0.53	0.51	0.53	0.41	0.42
Al₂O₃	34.51	35.09	34.87	34.69	35.10	34.63	34.97	34.63	35.93	35.45
Cr₂O₃	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
FeO	1.05	0.96	1.06	1.13	0.83	0.99	0.93	0.99	0.86	1.20
MnO	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.01
MgO	0.88	0.63	0.90	0.92	0.64	0.86	0.93	0.83	0.61	0.67
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na₂O	0.92	0.99	0.95	0.89	1.02	0.91	0.97	0.96	0.94	1.07
K₂O	9.42	9.06	9.51	9.11	8.67	9.49	9.52	9.45	9.50	9.42
Total	93.76	93.41	94.31	93.81	93.45	93.71	94.71	93.75	94.06	94.40
Oxigênios	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0
Si	3,121	3,105	3,106	3,118	3,125	3,111	3,115	3,111	3,066	3,083
Ti	0.026	0.025	0.027	0.026	0.025	0.027	0.025	0.027	0.021	0.021
Al	2,732	2,781	2,746	2,739	2,769	2,744	2,740	2,743	2,834	2,791
Cr	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	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe₂	0.059	0.054	0.059	0.064	0.046	0.056	0.052	0.056	0.048	0.067
Mn	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000
Mg	0.088	0.063	0.089	0.092	0.064	0.086	0.092	0.084	0.061	0.066
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.120	0.129	0.122	0.115	0.132	0.118	0.124	0.125	0.121	0.139
K	0.807	0.777	0.811	0.778	0.740	0.814	0.807	0.810	0.811	0.803
Total Cátions	6,952	6,933	6,961	6,934	6,902	6,957	6,955	6,959	6,963	6,972

Tabela A.18: Análises químicas da muscovita da amostra LR-44C (continuação)

Amostra	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
SiO₂	46.09	45.48	46.08	46.19	45.59	45.18	45.14	46.40	46.76	46.87
TiO₂	0.44	0.47	0.41	0.54	0.48	0.54	0.55	0.59	0.57	0.55
Al₂O₃	35.52	35.05	35.67	35.20	35.45	35.00	34.50	35.20	34.73	34.18
Cr₂O₃	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	1.32	2.10	0.00	0.00	0.00
FeO	1.03	1.20	0.93	1.03	0.99	1.15	0.81	1.11	1.25	1.11
MnO	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.02
MgO	0.65	0.70	0.67	0.75	0.58	0.69	0.76	0.92	0.95	0.95
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	2.00
Na₂O	0.97	1.03	0.98	0.97	1.04	0.99	0.96	0.93	0.94	0.89
K₂O	9.50	9.29	9.50	9.25	9.37	9.12	8.92	9.43	9.32	9.36
Total	94.20	93.24	94.24	93.93	93.50	93.99	93.75	94.60	95.52	95.92
Oxigênios	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0
Si	3,082	3,076	3,078	3,093	3,072	3,043	3,048	3,090	3,095	3,099
Ti	0.022	0.024	0.020	0.027	0.024	0.027	0.028	0.030	0.028	0.028
Al	2,800	2,795	2,810	2,779	2,816	2,779	2,746	2,764	2,710	2,665
Cr	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	0.000	0.067	0.107	0.000	0.000	0.000
Fe₂	0.058	0.068	0.052	0.058	0.056	0.065	0.046	0.062	0.069	0.061
Mn	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001
Mg	0.064	0.071	0.067	0.075	0.058	0.069	0.076	0.092	0.093	0.094
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.071	0.142
Na	0.126	0.136	0.127	0.125	0.136	0.130	0.126	0.120	0.120	0.114
K	0.811	0.802	0.810	0.790	0.805	0.784	0.768	0.801	0.787	0.789
Total Cátions	6,965	6,972	6,965	6,948	6,967	6,964	6,945	6,960	6,976	6,993

Tabela A.19: Análises químicas da muscovita da amostra LR-44C (continuação)

Amostra	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
SiO₂	45.66	46.69	46.43	46.07	46.01	45.66	45.70	45.84	46.30	44.94
TiO₂	0.53	0.53	0.51	0.52	0.50	0.46	0.51	0.49	0.51	0.46
Al₂O₃	33.79	34.79	34.82	34.47	34.94	34.14	34.64	34.54	34.28	33.99
Cr₂O₃	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
FeO	1.78	1.09	1.18	1.47	1.69	2.37	1.72	1.35	1.06	3.22
MnO	0.02	0.00	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.00	0.02	0.00
MgO	1.14	0.98	0.98	0.86	0.72	0.81	0.78	0.78	0.92	0.75
CaO	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00
Na₂O	0.87	0.91	0.89	0.92	0.89	0.85	0.95	0.85	0.88	0.91
K₂O	8.99	9.50	9.21	9.27	9.18	9.25	8.89	9.37	9.43	8.68
Total	95.77	98.49	99.03	99.57	100.95	101.57	102.21	103.22	104.41	104.94
Oxigênios	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0
Si	3,047	3,034	3,009	2,988	2,955	2,939	2,918	2,909	2,912	2,845
Ti	0.026	0.026	0.025	0.025	0.024	0.022	0.025	0.023	0.024	0.022
Al	2,658	2,665	2,660	2,636	2,645	2,591	2,608	2,585	2,541	2,537
Cr	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	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe₂	0.099	0.059	0.064	0.079	0.091	0.128	0.092	0.072	0.056	0.170
Mn	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000
Mg	0.113	0.095	0.094	0.083	0.069	0.078	0.074	0.073	0.086	0.071
Ca	0.214	0.278	0.347	0.417	0.482	0.552	0.616	0.680	0.741	0.814
Na	0.112	0.115	0.112	0.115	0.111	0.106	0.118	0.105	0.107	0.111
K	0.765	0.788	0.761	0.767	0.752	0.760	0.725	0.759	0.756	0.701
Total Cátions	7,037	7,060	7,073	7,111	7,130	7,177	7,175	7,207	7,226	7,272

Tabela A.20: Análises químicas da muscovita da amostra LR-44C (continuação)

Amostra	41	42	43
SiO2	46.04	45.85	45.85
TiO2	0.52	0.50	0.43
Al2O3	35.29	35.41	34.98
Cr2O3	0.00	0.00	0.00
Fe2O3	0.00	0.00	0.00
FeO	0.93	1.02	1.47
MnO	0.01	0.00	0.00
MgO	0.71	0.66	0.66
CaO	13.00	14.00	15.00
Na2O	1.01	1.03	0.96
K2O	9.36	8.90	8.92
Total	106.85	107.38	108.26
Oxigênios	11.0	11.0	11.0
Si	2,845	2,824	2,816
Ti	0.024	0.023	0.020
Al	2,571	2,571	2,533
Cr	0.000	0.000	0.000
Fe3	0.000	0.000	0.000
Fe2	0.048	0.052	0.075
Mn	0.000	0.000	0.000
Mg	0.065	0.061	0.060
Ca	0.861	0.924	0.987
Na	0.120	0.123	0.114
K	0.738	0.700	0.699
Total Cátions	7,275	7,279	7,305

Tabela A.21: Análises químicas da cloritoide 1 da amostra LR-10E

Amostra	10ECTD1_1	10ECTD1_2	10ECTD1_3	10ECTD1_4	10ECTD1_5	10ECTD1_6	10ECTD1_7	10ECTD1_8	10ECTD1_9	10ECTD1_10
SiO2	24.43	24.40	24.48	24.50	24.25	24.42	24.13	24.27	24.42	24.25
TiO2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al2O3	40.48	40.23	40.30	40.38	40.57	40.15	40.29	40.21	40.37	40.22
Cr2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe2O3	0.29	0.50	0.34	0.24	0.67	0.00	0.27	0.42	0.00	0.49
FeO	23.29	23.12	23.45	23.53	23.11	23.40	23.18	23.12	23.34	23.08
MnO	0.02	0.03	0.03	0.03	0.01	0.04	0.05	0.06	0.03	0.04
MgO	3.27	3.24	3.19	3.22	3.29	3.20	3.11	3.28	3.22	3.30
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na2O	0.01	0.05	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
K2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	91.80	91.58	91.81	91.90	91.91	91.21	91.05	91.35	91.39	91.37
Oxigênios	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
Si	1,010	1,011	1,013	1,012	1,002	1,016	1,006	1,009	1,014	1,007
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Al	1,973	1,966	1,966	1,968	1,976	1,969	1,981	1,970	1,975	1,970
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe3	0.009	0.016	0.010	0.007	0.021	0.000	0.008	0.013	0.000	0.015
Fe2	0.805	0.801	0.811	0.813	0.798	0.814	0.809	0.803	0.810	0.802
Mn	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001
Mg	0.201	0.200	0.196	0.198	0.202	0.198	0.193	0.203	0.199	0.204
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.001	0.004	0.002	0.000	0.000	0.000	0.001	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
Total Cátions	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	3,999	4,000	4,000	3,999	4,000

Tabela A.22: Análises químicas do cloritoide 2 da amostra LR-10E

Amostra	10ECTD2_1	10ECTD2_2	10ECTD2_3	10ECTD2_4	10ECTD2_5	10ECTD2_6	10ECTD2_7	10ECTD2_8
SiO2	24.33	24.42	24.61	24.58	24.20	24.07	24.58	24.06
TiO2	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al2O3	40.12	40.46	40.21	40.14	40.28	40.03	40.54	40.28
Cr2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe2O3	0.08	0.31	0.00	0.01	0.17	0.76	0.15	0.59
FeO	23.87	23.77	23.79	23.77	23.07	22.90	23.70	22.91
MnO	0.02	0.03	0.02	0.04	0.00	0.05	0.04	0.02
MgO	2.91	3.00	3.02	3.12	3.27	3.17	3.15	3.19
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na2O	0.00	0.01	0.04	0.01	0.01	0.03	0.01	0.03
K2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
Total	91.33	91.99	91.70	91.67	90.99	91.02	92.17	91.08
Oxigênios	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
Si	1,014	1,010	1,020	1,019	1,008	1,005	1,013	1,003
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Al	1,970	1,972	1,964	1,962	1,979	1,970	1,970	1,979
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe3	0.002	0.009	0.000	0.000	0.005	0.024	0.005	0.018
Fe2	0.832	0.822	0.824	0.824	0.804	0.799	0.817	0.799
Mn	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.002	0.001	0.001
Mg	0.181	0.185	0.187	0.193	0.203	0.198	0.194	0.198
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.000	0.001	0.003	0.001	0.000	0.002	0.001	0.003
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
Total Cátions	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000

Tabela A.23: Análises químicas do cloritoide 3 da amostra LR-10E

Amostra	10ECTD 3_1	10ECTD 3_2	10ECTD 3_3	10ECTD3 _4	10ECTD 3_5	10ECTD 3_6	10ECTD 3_7	10ECTD3_ 8	10ECTD3 _9	10ECTD3 _10
SiO2	24.15	24.26	23.99	24.34	24.21	24.14	24.34	24.41	24.02	24.27
TiO2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al2O3	40.12	40.17	40.00	40.34	40.30	40.28	40.29	40.18	40.13	40.11
Cr2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe2O3	0.71	0.24	0.50	0.38	0.52	1.04	0.41	0.13	0.66	0.23
FeO	22.74	23.71	23.68	23.52	23.13	22.52	22.91	23.24	23.10	23.79
MnO	0.08	0.03	0.05	0.04	0.03	0.04	0.06	0.05	0.03	0.02
MgO	3.28	2.91	2.61	3.01	3.20	3.47	3.40	3.30	3.06	2.90
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na2O	0.04	0.02	0.05	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01	0.03	0.01
K2O	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
Total	91.13	91.33	90.90	91.67	91.41	91.50	91.42	91.32	91.03	91.34
Oxigênios	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
Si	1,006	1,010	1,006	1,009	1,006	1,001	1,009	1,014	1,003	1,012
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Al	1,970	1,973	1,977	1,973	1,974	1,969	1,970	1,968	1,976	1,970
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe3	0.022	0.008	0.016	0.012	0.016	0.032	0.013	0.004	0.021	0.007
Fe2	0.792	0.826	0.830	0.816	0.803	0.781	0.795	0.807	0.807	0.829
Mn	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001
Mg	0.204	0.180	0.163	0.186	0.198	0.214	0.210	0.204	0.190	0.180
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.003	0.002	0.004	0.003	0.002	0.001	0.001	0.000	0.002	0.001
K	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
Total Cátions	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000

Tabela A.24: Análises químicas da estauroлита 1 da amostra LR-10E

Amostra	10EST1_1	10EST1_2	10EST1_3	10EST1_4	10EST1_5	10EST1_6	10EST1_7	10EST1_8	10EST1_9	10EST1_10
SiO2	27.82	27.79	27.79	28.00	28.01	27.93	27.74	27.86	28.09	27.96
TiO2	0.54	0.53	0.56	0.58	0.52	0.54	0.50	0.52	0.49	0.52
Al2O3	53.49	53.20	53.13	53.29	53.09	51.58	52.44	52.99	53.23	53.04
Cr2O3	0.05	0.04	0.03	0.04	0.03	0.01	0.02	0.02	0.00	0.01
Fe2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	13.54	13.43	13.68	13.67	13.43	13.39	13.39	13.67	13.68	13.51
MnO	0.01	0.00	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.04
MgO	1.19	1.27	1.24	1.26	1.24	1.30	1.26	1.35	1.22	1.26
CaO	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.17	0.30	0.01	0.00	0.01
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
Total	96.64	96.27	96.47	96.86	96.35	94.97	95.68	96.45	96.72	96.35
Oxigênios	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0
Si	7,794	7,813	7,808	7,829	7,866	7,967	7,857	7,829	7,864	7,857
Ti	0.113	0.111	0.119	0.122	0.110	0.116	0.107	0.110	0.103	0.110
Al	17,666	17,631	17,595	17,570	17,573	17,347	17,510	17,552	17,567	17,567
Cr	0.011	0.010	0.007	0.010	0.007	0.003	0.005	0.005	0.001	0.002
Fe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe2	3,171	3,157	3,214	3,196	3,154	3,194	3,171	3,213	3,202	3,174
Mn	0.001	0.000	0.006	0.004	0.006	0.008	0.006	0.006	0.006	0.009
Mg	0.497	0.533	0.521	0.524	0.517	0.554	0.534	0.564	0.508	0.529
Ca	0.000	0.000	0.002	0.004	0.000	0.052	0.090	0.003	0.000	0.002
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
Total Cátions	29,254	29,256	29,272	29,259	29,234	29,242	29,278	29,282	29,250	29,249

Tabela A.25: Análises químicas da estauroлита 1 da amostra LR-10E (continuação)

Amostra	10EST1_1 1	10EST1_1 2	10EST1_1 3	10EST1_14	10EST1_1 5	10EST1_1 6	10EST1_1 7	10EST1_18	10EST1_19	10EST1_20
SiO2	27.91	28.06	27.90	27.72	28.08	27.93	27.83	27.87	27.70	26.16
TiO2	0.53	0.54	0.54	0.53	0.54	0.57	0.53	0.53	0.54	3.14
Al2O3	52.95	53.14	52.99	53.18	52.91	53.42	53.11	53.12	53.07	51.59
Cr2O3	0.01	0.02	0.03	0.01	0.04	0.01	0.04	0.02	0.02	0.02
Fe2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	13.51	13.47	13.60	13.57	13.47	13.40	13.49	13.33	13.73	15.05
MnO	0.03	0.02	0.00	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01
MgO	1.29	1.32	1.29	1.28	1.29	1.29	1.24	1.29	1.20	1.27
CaO	0.01	0.02	0.01	0.02	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01
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
Total	96.22	96.59	96.35	96.33	96.35	96.64	96.26	96.18	96.27	97.25
Oxigênios	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0
Si	7,851	7,860	7,842	7,795	7,886	7,817	7,826	7,837	7,799	7,392
Ti	0.112	0.113	0.114	0.112	0.114	0.120	0.113	0.111	0.114	0.667
Al	17,562	17,552	17,559	17,631	17,519	17,628	17,608	17,611	17,617	17,186
Cr	0.002	0.005	0.007	0.003	0.009	0.002	0.008	0.004	0.005	0.004
Fe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe2	3,179	3,157	3,197	3,190	3,165	3,138	3,172	3,135	3,234	3,557
Mn	0.007	0.005	0.000	0.003	0.004	0.005	0.005	0.005	0.004	0.003
Mg	0.540	0.551	0.539	0.536	0.538	0.538	0.518	0.539	0.503	0.533
Ca	0.002	0.005	0.002	0.007	0.001	0.002	0.002	0.003	0.001	0.003
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
Total Cátions	29,255	29,248	29,261	29,276	29,236	29,248	29,253	29,244	29,276	29,346

Tabela A.26: Análises químicas da estauroлита 1 da amostra LR-10E (continuação)

Amostra	10EST1_2 1	10EST1_2 2	10EST1_2 3	10EST1_24	10EST1_2 5	10EST1_2 6	10EST1_2 7	10EST1_28	10EST1_29	10EST1_30
SiO2	27.75	27.94	28.10	27.83	27.74	27.99	27.75	27.76	27.87	28.14
TiO2	0.53	0.52	0.52	0.53	0.52	0.55	0.54	0.54	0.50	0.51
Al2O3	52.95	52.48	52.22	52.90	52.57	53.00	53.05	52.84	53.13	52.72
Cr2O3	0.03	0.03	0.02	0.01	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.05
Fe2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	13.49	13.51	13.44	13.51	13.33	13.64	13.58	13.51	13.47	13.45
MnO	0.01	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.01	0.03	0.02
MgO	1.34	1.30	1.30	1.35	1.25	1.24	1.27	1.26	1.22	1.16
CaO	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
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
Total	96.10	95.83	95.63	96.13	95.47	96.48	96.24	95.95	96.24	96.04
Oxigênios	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0
Si	7,819	7,895	7,952	7,837	7,862	7,859	7,810	7,835	7,837	7,925
Ti	0.112	0.110	0.110	0.112	0.111	0.115	0.113	0.114	0.106	0.109
Al	17,589	17,485	17,422	17,564	17,566	17,542	17,604	17,580	17,613	17,506
Cr	0.007	0.006	0.004	0.001	0.006	0.005	0.006	0.006	0.003	0.011
Fe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe2	3,178	3,193	3,180	3,181	3,159	3,203	3,198	3,188	3,167	3,167
Mn	0.001	0.008	0.006	0.005	0.006	0.007	0.006	0.003	0.007	0.005
Mg	0.564	0.549	0.549	0.567	0.528	0.521	0.531	0.531	0.510	0.485
Ca	0.001	0.006	0.001	0.000	0.001	0.000	0.002	0.001	0.003	0.000
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
Total Cátions	29,271	29,250	29,225	29,268	29,241	29,252	29,271	29,258	29,248	29,208

Tabela A.27: Análises químicas da estauroлита 2 da amostra LR-10E

Amostra	10Est2_1	10Est2_2	10Est2_3	10Est2_4	10Est2_5	10Est2_6	10Est2_7	10Est2_8	10Est2_9	10Est2_10
SiO2	28.22	27.98	27.94	27.98	27.59	27.64	27.75	27.73	11.41	27.77
TiO2	0.54	0.53	0.54	0.57	0.54	0.51	0.52	0.54	22.60	0.53
Al2O3	53.70	53.21	53.37	53.66	53.26	53.60	53.44	53.17	31.67	53.39
Cr2O3	0.04	0.05	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.02	0.03	0.04
Fe2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	13.26	13.33	13.48	13.51	13.40	13.35	13.42	13.41	27.03	13.38
MnO	0.01	0.03	0.00	0.03	0.03	0.00	0.04	0.02	0.04	0.01
MgO	1.27	1.24	1.26	1.19	1.22	1.18	1.27	1.24	0.72	1.28
CaO	0.03	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.03	0.01
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
Total	97.07	96.35	96.64	96.97	96.07	96.33	96.48	96.13	93.53	96.41
Oxigênios	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0
Si	7,854	7,851	7,823	7,808	7,773	7,763	7,785	7,807	3,843	7,793
Ti	0.114	0.111	0.114	0.119	0.114	0.107	0.109	0.114	5,725	0.113
Al	17,618	17,604	17,618	17,653	17,691	17,744	17,672	17,648	12,572	17,663
Cr	0.010	0.010	0.009	0.008	0.006	0.009	0.009	0.004	0.009	0.009
Fe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe2	3,087	3,128	3,158	3,153	3,157	3,135	3,149	3,158	7,613	3,141
Mn	0.002	0.007	0.001	0.006	0.008	0.001	0.010	0.004	0.012	0.003
Mg	0.527	0.518	0.526	0.495	0.511	0.493	0.531	0.519	0.359	0.534
Ca	0.008	0.002	0.000	0.000	0.002	0.002	0.000	0.000	0.010	0.002
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
Total Cátions	29,219	29,230	29,250	29,242	29,264	29,254	29,266	29,254	30,142	29,258

Tabela A.28: Análises químicas da estauroлита 2 da amostra LR-10E (continuação)

Amostra	10Est2_11	10Est2_12	10Est2_13	10Est2_14	10Est2_15	10Est2_16	10Est2_17	10Est2_18	10Est2_19	10Est2_20
SiO2	27.72	27.84	27.89	28.03	27.78	27.87	27.72	27.88	24.91	28.24
TiO2	0.55	0.62	0.57	0.59	0.60	0.60	0.61	0.60	0.55	0.62
Al2O3	53.46	53.16	53.24	53.72	53.26	53.42	53.90	54.18	49.45	53.82
Cr2O3	0.04	0.03	0.05	0.05	0.04	0.03	0.05	0.05	0.05	0.04
Fe2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	13.35	13.26	13.44	13.48	13.41	13.41	13.18	13.17	14.81	13.49
MnO	0.04	0.00	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.00	0.01	0.02
MgO	1.27	1.27	1.25	1.27	1.23	1.27	1.17	1.17	1.29	1.21
CaO	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.00
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
Total	96.44	96.18	96.46	97.16	96.33	96.63	96.64	97.08	91.10	97.44
Oxigênios	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0
Si	7,778	7,827	7,824	7,805	7,803	7,803	7,750	7,756	7,513	7,839
Ti	0.115	0.130	0.120	0.123	0.127	0.126	0.129	0.126	0.125	0.129
Al	17,684	17,619	17,610	17,636	17,638	17,635	17,768	17,774	17,585	17,609
Cr	0.009	0.006	0.011	0.011	0.008	0.008	0.011	0.011	0.012	0.010
Fe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe2	3,132	3,118	3,153	3,139	3,149	3,140	3,083	3,065	3,736	3,132
Mn	0.009	0.000	0.008	0.007	0.004	0.008	0.004	0.001	0.004	0.004
Mg	0.532	0.530	0.521	0.529	0.517	0.530	0.487	0.486	0.579	0.500
Ca	0.002	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.006	0.010	0.000
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
Total Cátions	29,261	29,230	29,246	29,249	29,247	29,250	29,232	29,225	29,563	29,222

Tabela A.29: Análises químicas da estauroлита 2 da amostra LR-10E (continuação)

Amostra	10Est2_2 1	10Est2_22	10Est2_23	10Est2_24	10Est2_25	10Est2_26	10Est2_27	10Est2_28	10Est2_29	10Est2_30
SiO2	27.85	27.71	28.11	27.52	27.68	27.90	27.94	27.47	27.69	27.52
TiO2	0.61	0.62	0.76	0.63	0.62	0.62	0.64	0.63	0.63	0.65
Al2O3	53.53	53.71	53.34	53.30	53.12	53.34	53.66	53.36	53.76	53.35
Cr2O3	0.05	0.07	0.08	0.09	0.08	0.06	0.04	0.03	0.03	0.03
Fe2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	13.61	13.43	13.60	13.48	13.46	13.44	13.52	13.37	13.54	13.43
MnO	0.00	0.01	0.01	0.03	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01
MgO	1.29	1.23	1.33	1.23	1.24	1.27	1.24	1.22	1.25	1.16
CaO	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	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	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
Total	96.94	96.79	97.25	96.28	96.23	96.63	97.05	96.10	96.93	96.16
Oxigênios	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0
Si	7,781	7,748	7,829	7,744	7,789	7,813	7,792	7,739	7,736	7,750
Ti	0.127	0.131	0.159	0.132	0.130	0.130	0.133	0.133	0.132	0.138
Al	17,632	17,707	17,514	17,682	17,625	17,610	17,642	17,720	17,708	17,708
Cr	0.012	0.016	0.018	0.021	0.018	0.012	0.008	0.008	0.008	0.008
Fe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe2	3,180	3,140	3,168	3,173	3,167	3,148	3,153	3,150	3,163	3,162
Mn	0.000	0.002	0.002	0.006	0.008	0.003	0.006	0.003	0.006	0.003
Mg	0.538	0.514	0.551	0.514	0.519	0.531	0.517	0.513	0.520	0.486
Ca	0.000	0.001	0.004	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
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
Total Cátions	29,270	29,259	29,246	29,273	29,260	29,246	29,250	29,265	29,274	29,255

Tabela A.30: Análises químicas da estauroлита 1 da amostra LR-44C

Amostra	44CSt1_1	44CSt1_2	44CSt1_3	44CSt1_4	44CSt1_5
SiO2	27.66	27.68	27.66	27.54	27.59
TiO2	0.62	0.64	0.65	0.66	0.61
Al2O3	52.62	52.95	53.17	53.47	53.72
Cr2O3	0.03	0.04	0.04	0.05	0.02
Fe2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	13.74	13.67	13.67	13.49	13.36
MnO	0.11	0.12	0.12	0.13	0.09
MgO	1.32	1.34	1.41	1.39	1.40
CaO	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00
Na2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	96.12	96.43	96.72	96.72	96.79
Oxigênios	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0
Si	7,811	7,786	7,757	7,718	7,717
Ti	0.132	0.134	0.136	0.138	0.129
Al	17,516	17,560	17,581	17,665	17,716
Cr	0.008	0.009	0.008	0.010	0.005
Fe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe2	3,244	3,216	3,208	3,161	3,125
Mn	0.027	0.029	0.028	0.030	0.020
Mg	0.556	0.561	0.591	0.582	0.582
Ca	0.002	0.000	0.003	0.000	0.001
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total Cátions	29,295	29,296	29,312	29,306	29,294

Tabela A.31: Análises químicas da estauroлита 3 da amostra LR-44C

Amostra	44CST3_1	44CST3_2	44CST3_3	44CST3_4	44CST3_5
SiO2	27.63	27.76	27.85	27.66	27.95
TiO2	0.64	0.66	0.63	0.61	0.61
Al2O3	53.32	53.40	53.44	53.05	53.00
Cr2O3	0.03	0.03	0.05	0.04	0.04
Fe2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	13.70	13.65	13.44	13.46	13.39
MnO	0.08	0.11	0.10	0.13	0.12
MgO	1.52	1.49	1.44	1.42	1.47
CaO	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00
Na2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	96.93	97.11	96.96	96.38	96.57
Oxigênios	46.0	46.0	46.0	46.0	46.0
Si	7,734	7,753	7,779	7,779	7,835
Ti	0.136	0.138	0.133	0.128	0.129
Al	17,592	17,581	17,597	17,585	17,518
Cr	0.007	0.008	0.010	0.009	0.008
Fe3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe2	3,206	3,188	3,139	3,166	3,140
Mn	0.020	0.026	0.023	0.032	0.027
Mg	0.635	0.619	0.598	0.596	0.615
Ca	0.000	0.003	0.005	0.000	0.000
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total Cátions	29,331	29,315	29,284	29,296	29,273

Apêndice B – Tabela de dados do campo

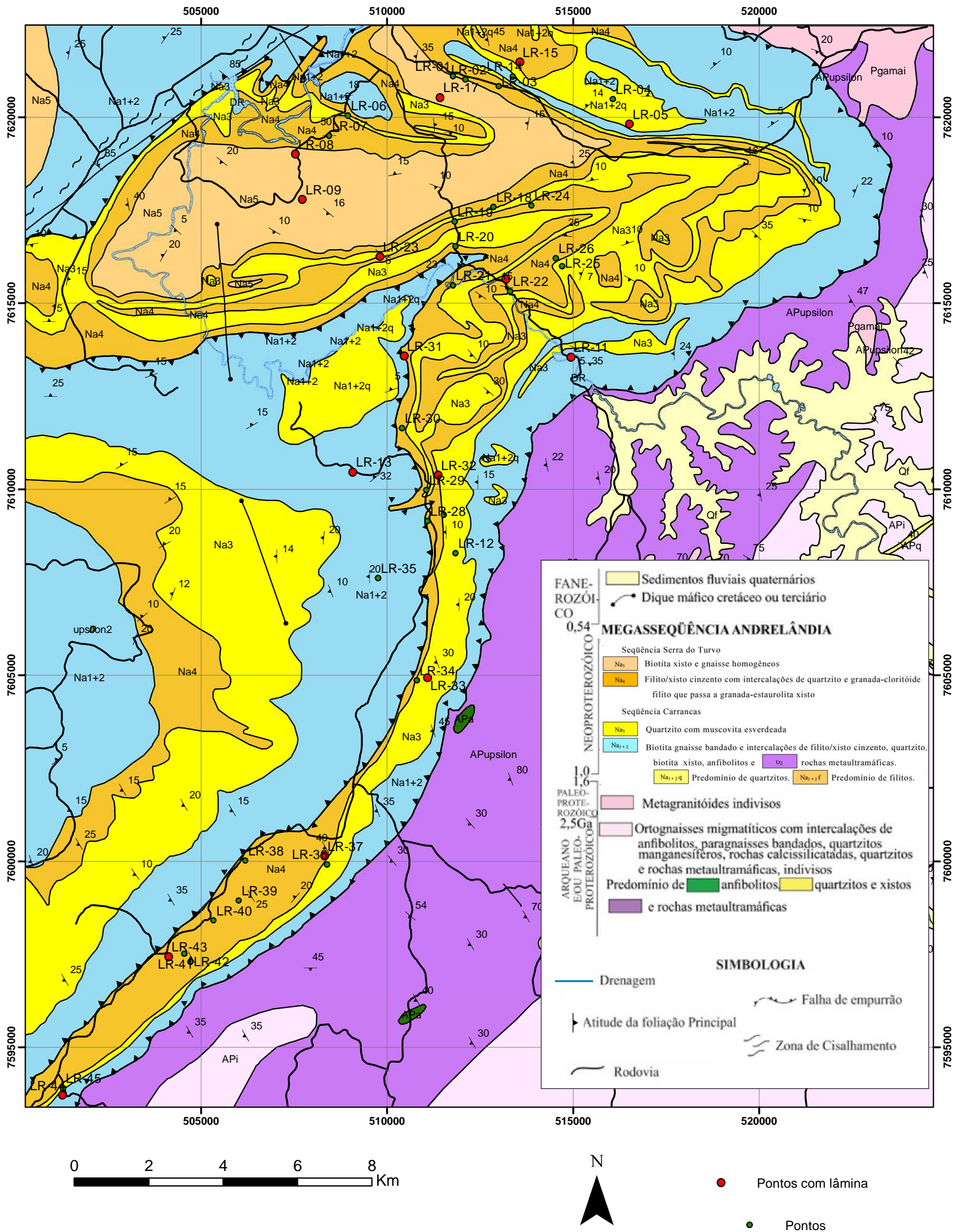
<i>PONTO</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Paragênese Metamórfica</i>	<i>S₂ Dip Direction</i>	<i>S₂ Dip</i>	<i>Lm- Trend</i>	<i>Lm Plunge</i>	<i>Eixo D₂ Trend</i>	<i>Eixo D₂ Plunge</i>	<i>Eixos pós-D₂ Trend</i>	<i>Eixos pós- D₂ Plunge</i>	<i>Amostra</i>
LR-01	511775	7621138	Msc+ -chl	178	18	103	10			200 280	10 10	não
LR-02	512109	7621047	Msc-chl			115	10	115	10			não
LR-03	513005	7620861										não
LR-04	516069	7620512										simx
LR-05	516522	7619845	chl?	235	10	98	5	98	5			simx
LR-06	508950	7620079	ms-chl-grt	354	30							não
LR-07	508446	7619529		280	10							simx
LR-08	507538	7619042		sub-horizontal								simx
LR-09	507731	7617820		260	20	280	18					simx
LR-10	513194	7615681		325	18	300	13					simx
LR-11	514945	7613577										simx
LR-12	511845	7608310										não
LR-13	509086	7610490		250	20	248	20					simx
LR-14	513380	7621127	chl-grt	240	30					270	20	simx
LR-15	513569	7621512		200 210	20 25	256	10			230	15	simx

<i>PONTO</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Paragênese Metamórfica</i>	<i>S2 Dip Direction</i>	<i>S2 Dip</i>	<i>Lm Trend</i>	<i>Lm Plunge</i>	<i>Eixo D₂ Trend</i>	<i>Eixo D₂ Dip</i>	<i>Eixos pós-Dn Trend</i>	<i>Eixos pós- D₂ Dip</i>	<i>Amostra</i>
LR-16	513988	7221744										não
LR-17	511432	7620562	bt-grt	230	20					210	12	simx
LR-18	512860	7617620	chl	310	20							não
LR-19	511818	7617228	chl-grt	220	30							simx
LR-20	511842	7616561		320 345	20 25					115 280	03 05	não
LR-21	511773	7615507	grt-st	350	20							não
LR-22	513310	7615351										simq
LR-23	509814	7616281	chl-grt	240	30	280	20					simx
LR-24	513883	7617650	grt									não
LR-25	514708	7616027										simq
LR-26	514532	7616241	grt									não
LR-27	511532	7609342		270	25							simqx
LR-28	511085	7609178	grt-st?	280	20							não
LR-29	511053	7610007	grt-st?	270	10							simx
LR-30	510406	7611675	grt-st?	280	30							simq

<i>PONTO</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Paragênese Metamórfica</i>	<i>S₂ Dip Direction</i>	<i>S₂ Dip</i>	<i>Lm Trend</i>	<i>Lm Plunge</i>	<i>Eixo D₂ Trend</i>	<i>Eixo D₂ Dip</i>	<i>Eixos pós-D₂ Trend</i>	<i>Eixos pós-D₂ Dip</i>	<i>Amostra</i>
LR-31	510465	7613613		230	8							simx
LR-32	511373	7610413	ky?-ctd? Grt-st?	285	20					280 200	15 10	simx
LR-33	511089	7604960	grt-st	290	35							simqx
LR-34	510804	7604888	grt	298	30							simx
LR-35	509761	7607639	grt-st?	310	50			210	10			simqx
LR-36	508391	7599945	grt	290	40							não
LR-37	508330	7600168	chl-grt									simx
LR-38	506191	7600049		310	35							não
LR-39	506012	7598967	chl-grt									simq
LR-40	505340	7598436	chl-ctd?									simx
LR-41	504549	7597535	st	310	40							simx
LR-42	504724	7597329	grt-st-als?	310	40							simqx
LR-43	504132	7597465	ctd?									simx
LR-44	501284	7593736	grt-ky-st	290	35							simx
LR-45	501289	7593927										simq
LR-46	498605	7590930	grt	330	40							simq
LR-47	494722	7587334	ky-grt	310	50							não
LR-48	482021	7579108	ky?-grt	175	30							simq

Apêndice C – Mapa geológico e de pontos

Mapa geológico e de pontos



Mapa geológico da Folha Caxambu (2013) 1:100.000
 Projeto Sul de Minas - Etapa I - CODEMIG

Autoria do mapa:
 Rudolph A. J. Trouw
 Fabio V. P. Paciullo
 André Ribeiro
 Sheila Bittar
 Julio C. H. Almeida

