

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

RAFAEL FRANCISCO HARTUNG

ESTUDO DE MEGAPORFIROBLASTOS DE GRANADA DA
NAPPE DE PASSOS

Orientador: Prof. Dr. Luiz Sérgio Amarante Simões

Rio Claro - SP
2018

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

RAFAEL FRANCISCO HARTUNG

ESTUDO DE MEGAPORFIROBLASTOS DE GRANADA DA
NAPPE DE PASSOS

Dissertação de Mestrado apresentada junto ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Sérgio Amarante Simões

Rio Claro - SP

2018

H336e Hartung, Rafael Francisco
Estudo de megaporfiroblastos de granada da Nappe de
Passos / Rafael Francisco Hartung. -- Rio Claro, 2018
104 f. : il., tabs., fotos, mapas + 1 CD-ROM

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista
(Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio
Claro
Orientador: Luiz Sérgio Amarante Simões

1. Faixa Brasília. 2. Nappe de Passos. 3.
Megaporfiroblastos de granada. 4. Microtectônica. 5.
Granada Zonada. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do
Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo
autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

RAFAEL FRANCISCO HARTUNG

ESTUDO DE MEGAPORFIROBLASTOS DE GRANADA DA
NAPPE DE PASSOS

Dissertação de Mestrado apresentada junto ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Luiz Sérgio Amarante Simões

Prof. Dr. George Luiz Luvizotto

Prof. Dr. Renato de Moraes

Conceito: Aprovado

Rio Claro, SP, 30 de outubro de 2018

*Dedico este trabalho aos meus pais pela força
e incentivo ao longo desta jornada.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, aos meus pais Abiud Hartung Junior e Osmarina Gimenez Hartung e às pessoas que me ajudaram na concretização da presente Dissertação de Mestrado, sobretudo ao meu orientador, Prof. Dr. Luiz Sergio Amarante Simões, por acreditar em meu potencial e por ter me auxiliado ao longo de todas as etapas da presente Dissertação.

Ao Prof. Dr. George Luiz Luvizotto e ao Prof. Dr. Guillermo Rafael Beltran Navarro pelas boas críticas construtivas e sugestões feitas durante o Exame Geral de Qualificação, que também contribuíram na confecção deste relatório final.

Ao Prof. Dr. Renato de Moraes e Prof. Dr. George Luiz Luvizotto por terem aceito o convite e participado de minha Banca, além das pertinentes sugestões e críticas por eles apresentadas.

Aos meus colegas e amigos da universidade, em especial, o Dr. Alex Joaquim Choupina Andrade Silva, Bel. Andres Isquierdo Perez, Bel. Cleberson Ernandes de Andrade, Me. Rodrigo Irineu Cerri, Bel. Julio Silva, Me. Felipe Pereira de Sisto, Bel. Leonardo Alberto Sala e Bel. Mateus Felipe Stanfoca Casagrande pelas conversas e bons momentos vividos ao longo desses anos.

Ao servidor técnico-administrativo Dr. Daniel Françoso de Godoy pela atenção disponibilizada durante as análises químicas realizadas na microsonda do DPM/UNESP.

Ao CNPq (Processo nº 131604/2016-3) e à FAPESP (Processo 2017/03663-1) pelo financiamento.

*“Se vi mais longe foi por estar de pé sobre
ombros de gigantes”*
(Trecho de carta escrita a 5 de fevereiro de
1676 por Isaac Newton a Robert Hook).

RESUMO

Na *Nappe* de Passos, unidade tectônica pertencente à Faixa Brasília Meridional, em seu segmento intermediário (Unidades E e G), ocorrem megaporfiroblastos de granada (diâmetro $\geq$ 3 cm, alcançando até 8 cm), hospedados em cianita-mica xistos, que contrastam com os de tamanho usual (0,2 a 1,5 cm) comumente encontrados nos xistos granadíferos desta *nappe*. Este trabalho, como uma primeira iniciativa de estudo dessa peculiar feição metamórfica, investiga a ocorrência desses megaporfiroblastos através de levantamento de campo, análise microtectônica e determinação de perfis químicos. Parte do trabalho foi voltada para buscar ocorrências de megaporfiroblastos na porção NW da *Nappe* de Passos, a norte da cidade de Cássia (MG). Com o levantamento de campo, que incluiu trinta perfis seccionando as Unidades E, F G, H e I, não foi encontrada nenhuma ocorrência de camadas ricas em megaporfiroblastos neste setor da *nappe*. Ao longo desse levantamento, foi possível realizar uma melhor caracterização geométrica do fechamento NW da Braquissinformal de Passos e demonstrar o caráter braquiantiformal da Antiforma de Itaú de Minas. Para o estudo dos megaporfiroblastos, selecionou-se uma ocorrência no segmento SE da *Nappe* de Passos, no topo da Unidade E. Eles se encontram hospedados em camadas decimétricas de biotita-cianita-granada-quartzo-muscovita xistos, que se alternam com camadas de composições semelhantes, porém contendo porfiroblastos de tamanho usual. Os megaporfiroblastos têm forma elipsoidal, com eixo maior paralelo à lineação mineral associada à foliação principal (S_2). A análise de microestruturas em quarenta e seis megaporfiroblastos mostra trilhas de inclusões definindo foliação interna (S_i) retilínea a suavemente ondulada no centro, passando a crenulada nas bordas. A S_i ($=S_1/S_0$) não apresenta continuidade com foliação principal ($S_e=S_2$), que se amolda ao redor dos megaporfiroblastos, evidenciando crescimento sincinemático, cedo- D_2 . A ausência de continuidade entre S_i e S_e e a posição variada dos planos axiais das crenulações inclusas, indicam prosseguimento da deformação após cessar o crescimento dos porfiroblastos, cujas sombras de deformação assimétricas revelam regime de deformação não-coaxial associado a D_2 , coerente com o sentido de transporte da *nappe* (topo para SE). Os megaporfiroblastos são ricos em almandina (73 a 82%) e pobres em espessartita (0,1 a 2,5%) e guardam zonação de crescimento com incremento de almandina e piropo para a borda, acompanhado da redução de espessartita e grossulária, interpretada como blastese sob aumento de temperatura. Os porfiroblastos de tamanho comum de mica xistos, também da unidade E mostram essencialmente o mesmo padrão de inclusões e de zonação química, indicando que

compartilham a mesma evolução tectonometamórfica. Os dados levantados indicam que a formação dos megaporfiroblastos deve estar relacionada à composição altamente aluminosa do protólito, associada a escassez de pontos de nucleação.

Palavras-chave: Faixa Brasília. *Nappe* de Passos. Megaporfiroblastos de granada. Microtectônica. Granada zonada.

ABSTRACT

The Passos Nappe is an important tectonic unit of the Southern Brasília Belt. In the intermediate segment of the Passos Nappe, represented by E and G Units, occurs megaporphyroblasts of garnet (diameter 3 to 8 cm). The megaporphyroblasts are hosted in kyanite-mica schists and contrast with the usual size (from 0.2 to 1.5 cm) commonly found in the granadiferous schists of this nappe. This work provides the first study of this peculiar metamorphic feature and aims to investigate the occurrence of these megaporphyroblasts based on field work, microtectonic analysis and determination of chemical profiles. Part of the work focused on identifying the occurrence of megaporphyroblasts to the north of the Cássia city (Minas Gerais State), within the NW sector of the Passos Nappe. Thirty transects were produced along the E, F G, H and I Units, however, no occurrence of megaporphyroblasts rich layers was found in this sector of the nappe. The improvement on the geometric characterization of the northwest closure of the Passos Brachisyncline and the demonstration of the brachianticline aspect of Itaú de Minas Antiform were possible with the transect work. For the study of megaporphyroblasts, it was selected an occurrence located in the SE sector of the Passos Nappe, situated at the top of the E Unit. The study carried out in this sector shows that megaporphyroblasts are hosted in decimetric layers of biotite-kyanite-garnet-quartz-muscovite schists, which alternate with layers of similar compositions, but containing porphyroblasts of usual size. The megaporphyroblasts have ellipsoidal shape, with the major axis parallel to the mineral lineation, associated with the main foliation (S_2). The analysis of microstructures in forty-six megaporphyroblasts shows inclusion trails that define an internal foliation (S_i) that is straight to gently undulating in the center of the garnet, passing to crenulated at the rims. The S_i ($=S_1/S_0$) does not exhibit continuity with the main foliation ($S_e=S_2$), which curves around the megaporphyroblasts, suggesting synkinematic growth early D_2 . The absence of continuity between S_i and S_e and the varied position of the axial planes of the included crenulations, indicate continuation of the deformation after the growth of the porphyroblast, whose asymmetric deformation shadows reveal a non-coaxial D_2 deformation regime that is consistent with the nappe transport (top for SE). The megaporphyroblasts are almandine-rich (73 to 82%) and spessartite-poor (0.1 to 2.5%) and they show growth zonation with increase of almandine and pyropo to the rims, accompanied by reduction of spessartite and grossular. This is interpreted as an increasing temperature blastesis. The common size garnet porphyroblasts of the mica schists, also of the E Unit, show essentially the same inclusions pattern and chemical

zonation like the megaporphyroblasts, indicating that they share the same tectonometamorphic evolution. The collected data indicate that the formation of megaporphyroblasts must be related to the high-Al protolith composition, associated with scarce nucleation points.

Keywords: Brasília Belt. Passos Nappe. Garnet megaporphyroblasts. Microtectonics. Garnet zoned.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivos	2
1.2 Métodos	2
1.3 Localização da Área de Pesquisa e Vias de Acesso	4
1.4 Aspectos Fisiográficos.....	5
CAPÍTULO 2 - GEOLOGIA REGIONAL.....	8
2.1 Faixa Brasília.....	9
2.2. <i>Nappe</i> de Passos	12
CAPÍTULO 3 – BUSCA POR OCORRÊNCIAS DE MEGAPORFIROBLASTOS NO SEGMENTO NOROESTE DA NAPPE DE PASSOS	22
3.1 Investigação no Segmento Noroeste da <i>Nappe</i> de Passos.....	22
3.2 Caracterização das Grandes dobras D ₃	27
CAPÍTULO 4 - MEGAPORFIROBLASTOS NA NAPPE DE PASSOS.....	36
4.1 Métodos para o Estudo dos Megaporfiroblastos	37
4.1.1 Trabalhos de Campo	37
4.1.2 Avaliação Textural dos Porfiroblastos	39
4.1.3 Química dos Porfiroblastos	39
4.2 Resultados	40
4.2.1 Padrões de Inclusões dos Megaporfiroblastos	46
4.2.2 Zonação Química.....	54
4.2.3 Comparação com Porfiroblastos Comuns	57
4.2.4 Relação Espacial dos Porfiroblastos	61
4.2.5 Padrões de Inclusões x Zonação Química	68
4.3 Discussão	70
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
APÊNDICE A: TABELAS DE ANÁLISES QUÍMICAS:	86
Apêndice A.1: Análises Químicas Realizadas em Megaporfiroblastos	87
Apêndice A.2: Análises Químicas Realizadas em Porfiroblastos Comuns	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Localização da área de pesquisa.....	5
Figura 2.1: Províncias tectônicas do Brasil.....	8
Figura 2.2: Contexto geológico relativo ao segmento meridional da Faixa Brasília	12
Figura 2.3: Mapas geológicos referentes à <i>Nappe</i> de Passos e unidades adjacentes com destaque para a sua porção oriental.	13
Figura 2.4: Mapa contendo a distribuição das isógradas propostas por Simões (1995) para o segmento noroeste da <i>Nappe</i> de Passos.....	18
Figura 2.5: Ilustração esquemática referente ao padrão estrutural da <i>Nappe</i> de Passos	20
Figura 3.1: Mapa geológico da área de pesquisa	23
Figura 3.2: Fotografia de megaporfiroblasto de granada	25
Figura 3.3: Cascalheira contendo porfiroblastos de granada	26
Figura 3.4: Mapa geológico da porção noroeste da <i>Nappe</i> de Passos contendo a distribuição espacial das unidades litoestratigráficas da <i>Nappe</i> de Passos e das duas mega-dobras de fase D ₃ verificadas ..	28
Figura 3.5: Distribuição espacial dos três domínios tectônicos em que o polígono de pesquisa foi compartimentado na realização da análise estrutural: BSP, BAI-NW e BAI-SE.	29
Figura 3.6: Estereogramas mostrando a distribuição dos polos de S ₂ no Domínio BSP	31
Figura 3.7: Estereogramas apresentando a distribuição dos polos de S ₂ no domínio da BAI-NW.....	33
Figura 3.9: Estereogramas mostrando o padrão de distribuição de elementos de dobras pós-D ₂	34
Figura 4.1: Mapa geológicos relativos à <i>Nappe</i> de Passos, com destaque para a localização das amostras estudadas e ocorrências de megaporfiroblastos conhecidas.....	38
Figura 4.2: Mapa simplificado de segmento da porção sudeste da <i>Nappe</i> de Passos indicando as camadas contendo megaporfiroblastos nos arredores do ponto MR-1.....	40
Figura 4.3: Crista de blocos e afloramentos de cianita-granada-muscovita xisto com rutilo e ilmenita e, por vezes, biotita e estauroilita, com megaporfiroblastos de granada (ponto MR-1).....	41
Figura 4.4: Parede lateral em afloramento de corte artificial destinado para silo, mostrando as onze camadas identificadas, além das coberturas coluvionares (ponto MR-6)	44
Figura 4.5: Coluna esquemática e fotografia das 11 camadas distinguíveis em corte artificial destinado para silo (ponto MRH-6), juntamente com três fotografias de detalhamento de camadas	45
Figura 4.6: Megaporfiroblastos de granada com destaque para a sua geometria elipsoidal típica	46
Figura 4.7: Fotos de lâminas do tipo mamute ilustrando os padrões de inclusões observados em megaporfiroblastos da <i>Nappe</i> de Passos - amostras MR-1-G ₃ e MR-1-G ₄ (ambas em corte YZ)	47
Figura 4.8: Fotomicrografia de muscovita-quartzo xisto com rutilo e ilmenita destacando a presença de dobra de fase D ₂ exibindo arco poligonal de muscovita.....	48
Figura 4.9: Padrão de inclusões na amostra MR1-G ₂ (corte XZ)	49
Figura 4.10: Megaporfiroblasto de granada da amostra MR-1-N (corte YZ).....	51
Figura 4.11: Porfiroblasto de granada da amostra MR-1-P (corte XZ)	52
Figura 4.12: Porfiroblasto de granada da amostra MR-2-N (corte YZ).....	54
Figura 4.14: Perfis borda-a-borda mostrando a variação composicional dos megaporfiroblastos de granada relativos à Unidade E.....	57
Figura 4.16: Porfiroblasto de granada de tamanho comum relativo ao ponto CA-8-3A (corte YZ) mostrando o aumento de suas inclusões, sobretudo de rutilo.....	58
Figura 4.17: Gráficos mostrando a variação composicional de porfiroblastos comuns de granada referentes à Unidade E.	60

Figura 4.18: Amostras polidas de cianita-granada-muscovita xisto pertencentes ao ponto MR-1 (seções XZ e YZ)	63
Figura 4.19: Gráficos de histograma referentes sentido de giro dos megaporfiroblastos e dos porfiroblastos comuns da foliação interna (Si) em relação à foliação externa (Se), assim como somatório de ambos para os sentidos horário e anti-horário.	64
Figura 4.20: Gráficos de histograma relativos sentido de giro das duas tipologias de cristais de granada estudadas do diâmetro maior (D _M) em relação à foliação externa (Se), juntamente com somatório de ambas para os dois sentidos de análise.	65
Figura 4.22: Estereograma para os megaporfiroblastos mostrando as possíveis orientações de planos de Si, obtidas a partir dos traços de Si (pontos) nos cortes YZ e XZ, combinados dois a dois. Para os traços de Si no plano XZ está representada apenas a classe de alto ângulo (60°-90°).....	67
Figura 4.22: Estereograma para os megaporifoblastos mostrando as possíveis orientações de planos de Si, obtidas a partir dos traços de Si (pontos) nos cortes YZ e XZ, combinados dois a dois. Para os traços de Si no plano XZ estão representadas as classes de médio (30-59°) e baixo ângulo (0-29°)....	67
Figura 4.23: Comparação entre os padrões de inclusões e os perfis composicionais dos porfiroblastos e megaporfiroblastos de granada.....	70

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1: Diâmetros mínimo, médio e máximo dos porfiroblastos de granada observados.....	26
Tabela 4.1: Percentual de minerais da matriz e inclusos nos megaporfiroblastos de granada.....	42
Tabela 4.2: Estudos quantitativos das inclusões nos megaporfiroblastos MR-1-N e MR-1-P.....	50
Tabela 4.3: Estudos quantitativos realizados nas lâminas MR-2-N e MR-2-P.....	52
Tabela 4.4: Relações angulares entre os traços das foliações externa ($S_e=S_2$) e interna (S_i) em megaporfiroblastos e porfiroblastos (seções YZ e XZ).....	61
Tabela 4.5: Estudos estatísticos sobre as relações angulares observadas entre a foliação externa ($S_e=S_2$) e o diâmetro maior (D_M) em megaporfiroblastos e porfiroblastos (seções YZ e XZ).....	62
Tabela 4.6: Sentido de giro de S_i em relação à foliação externa (S_e) de megaporfiroblastos e porfiroblastos comuns (seções YZ e XZ).....	64
Tabela 4.7: Sentido de giro do diâmetro maior (D_M) em relação à foliação externa (S_e) nos megaporfiroblastos e porfiroblastos comuns (seções YZ e XZ).....	65

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

No segmento meridional da Faixa Brasília, região de Passos (MG), registra-se a ocorrência de três importantes compartimentos tectônicos, sendo o inferior de caráter autóctone e o intermediário e superior de natureza alóctone. Apresentam-se imbricados por falhas de empurrão de abrangência regional, desenvolvidas no Ediacarano, durante o Ciclo Orogênico Brasileiro-Pan-Africano, há cerca de 600 Ma (SIMÕES & VALERIANO, 1990; ZANARDO, 1992; VALERIANO *et al.*, 2004a; ROSSI *et al.* 2006; VALERIANO *et al.* 2006; SANTOS & SIMÕES, 2009; SIMÕES *et al.*, 2016).

Segundo Simões *et al.* (2016), o compartimento tectônico superior, denominado de *Nappe* de Passos, apresenta aloctonia mínima de 200 Km para ESE, correspondendo ao domínio interno da Faixa Brasília, nessa região. É constituída por rochas metassedimentares, de natureza psamo-pelítica, além de contribuição minoritária de rochas metabásicas toleíticas. O autor divide as rochas presentes na *Nappe* de Passos, em nove unidades litoestratigráficas informais, denominadas da base para o topo de Unidade A até Unidade I.

A *Nappe* de Passos é caracterizada por uma foliação principal de baixo ângulo à qual se associa uma lineação mineral interpretada como indicadora da direção de transporte tectônico. Essa lineação apresenta orientação que varia de E-W a N30W, com caimentos suaves, ora para NW, ora para o quadrante oposto. Indicadores cinemáticos, de modo sistemático, revelam transporte de topo para ESE.

Com base em seu conteúdo litológico e correlações com seus protólitos, é possível reconhecer, para *Nappe* de Passos, a presença de dois ciclos deposicionais: inferior e superior. O ciclo deposicional inferior (Unidades A, B e C) apresenta sedimentação madura, representada predominantemente por quartzitos e mica xistos. Já o ciclo deposicional superior reflete sedimentação imatura, caracterizada pela presença de paragneisses, mica xistos, além de quartzitos em caráter minoritário (SIMÕES, 1995).

Essa *nappe* apresenta três feições peculiares:

- (1) presença de um gradiente metamórfico invertido de caráter contínuo da base em direção ao topo (SIMÕES *et al.*, 1988; SIMÕES, 1995; VALERIANO & SIMÕES, 1997; LUVIZOTTO, 2003);
- (2) existência, em sua porção intermediária, de retroeclogitos (HOPPE *et al.*, 1985; LUVIZOTTO, 2003; LUVIZOTTO *et al.*, 2012);
- (3) ocorrência, na porção intermediária, de porfiroblastos de granada apresentando diâmetros igual ou superior a 3 cm (CORREIA, 1986; ZANARDO, 1992; LUVIZOTTO, 2003;

LUVIZOTTO *et al.*, 2015), atingindo, em determinados casos, a ordem dos 8 cm, mas que ainda não haviam sido estudados com maior detalhamento. Esses cristais foram designados, no presente trabalho, como megaporfiroblastos.

O tema principal dessa dissertação é a análise dos padrões de inclusões e zoneamento químico de megaporfiroblastos de granada. São reconhecidos em locais bem específicos da *Nappe* de Passos, nas Unidades E e G, próximo aos contatos com a Unidade F. Ocorrem hospedados em granada-mica xisto e os diâmetros desses porfiroblastos destoam daqueles frequentemente encontrados ao longo da *Nappe* de Passos, geralmente entre 0,1 a 0,7 cm, atingindo, por vezes, 1 a 2 cm de diâmetro.

1.1 Objetivos

A presente pesquisa tem por objetivo principal o estudo de megaporfiroblastos de granada que ocorrem na *Nappe* de Passos, buscando a caracterização cinemático-textural e químicas desses cristais. Mais especificamente visa:

- 1) avaliar se esses megaporfiroblastos ocorrem na porção noroeste da unidade alóctone em questão e realizar uma melhor caracterização geométrica acerca do fechamento noroeste da Braquissinformal de Passos e da Antiforma de Itaú de Minas, sendo ambas da fase D₃;
- 2) determinar o padrão de inclusões desses megacristais, de modo a caracterizar sua relação cinemática com os eventos deformacionais;
- 3) determinar se existe zonação química nos megaporfiroblastos e, caso ocorram, comparar com o padrão de inclusões, para analisar a correlação entre a variação composicional e a evolução estrutural registrada no interior dos porfiroblastos;
- 4) comparar os padrões de inclusão e químico dos megaporfiroblastos com os de porfiroblastos de tamanho comum para verificar se registram a mesma história tectonotermal.

1.2 Métodos

Os métodos de estudo podem ser resumidos em 7 atividades, descritas a seguir.

Atividade 1: Revisão de literatura referente ao contexto geológico local e regional, bem como levantamento de referências bibliográficas relacionadas às temáticas de microtectônica e metamorfismo.

Atividade 2: Interpretação de imagens aerogeofísicas gamaespectrométricas e magnetométricas de CODEMIG (2006), da área de estudo e adjacências, para auxiliar na integração e verificação de mapas geológicos, tanto os da região NW da *Nappe* de Passos (SIMÕES *et al.*, 1990, 1991; SIMÕES, 1995) quanto aos utilizados para a visão mais regional, abrangendo a ocorrência de megaporfiroblastos estudados na *Nappe* de Passos (LUVIZOTTO, 2003; SIMÕES *et al.* 2006; VALERIANO *et al.*, 2007; ZANARDO *et al.*, 2008; LUVIZOTTO *et al.*, 2015).

Atividade 3: Integração de dados descritivos e estruturais de pontos contendo amostras (com ou sem lâminas) referentes aos trabalhos de Simões *et al.* (1990, 1991) e Simões (1995) para o estudo da porção noroeste da *Nappe* de Passos. Em relação ao último trabalho, foram incluídos 124 pontos, identificados pela sigla *LSD*, sendo que 33 encontram-se fora do polígono de mapeamento da porção NW da *Nappe* de Passos. Ao todo, há 24 pontos com amostras laminadas. Os demais se referem a mapeamento curricular do curso de Geologia da UNESP. Foram compilados 70 pontos elencados pelas nomenclaturas “CA” e “CA91”, totalizando 78 amostras, sendo 61 laminadas. Para a porção sudeste, foram integrados dois pontos relativos ao trabalho de Luvizotto *et al.* (2015), que é o F-8-A e F-8-B (“F” de “Fumal”).

Atividade 4: Fotointerpretação e montagem de fotomosaicos georreferenciados de modo a construir uma base planialtimétrica em *ArcGis* para os trabalhos de campo e representação de mapas geológicos. Todas as coordenadas UTM (*Universal Transversa de Mercator*) citadas referem-se à zona geodésica 23S, no *datum* WGS84.

Atividade 5: Trabalho de Campo realizado para duas finalidades, sendo a primeira com ênfase na identificação de ocorrências de megaporfiroblastos de granada na porção NW da *Nappe* de Passos, abordada de maneira aprofundada no capítulo 3, e a segunda voltada para o estudo de uma ocorrência de megaporfiroblastos de granada situada em sua porção SE, cujos detalhes estão descritos no capítulo 4. O trabalho de campo na porção NW desta unidade alóctone foi acompanhado de coleta de amostras orientadas para estudos petrográficos e microestruturais. Utilizou-se como base geológica o mapa de Simões (1995), ajustando-se os contatos com os novos dados obtidos, nos casos de divergência. Envolveu 19 dias de campo, com descrição de 111 pontos (sigla *MRH*), registro de aproximadamente 700 fotos e coleta de 35 amostras de rochas, das quais foram produzidas 21 lâminas delgadas. Os dados levantados no âmbito do mestrado e os integrados somam 340 pontos, 167 amostras, incluindo rochas e megaporfiroblastos de granada, e 115 lâminas.

Atividade 6: Estudos petrográficos principalmente para análises microtectônicas com enfoque nos porfiroblastos de granada e, adicionalmente, para caracterização mineral e textural dos

principais litotipos encontrados. São 46 lâminas descritas para megaporfiroblastos e 69 para porfiroblastos comuns.

Atividade 7: Seleção de onze amostras representativas de porfiroblastos e megaporfiroblastos de granada para realização de perfis químicos em microsonda. As análises foram realizadas em microsonda *JEOL*, modelo *JXA-8230*, do Laboratório de Microsonda do DPM-UNESP e/ou MEV. Demais detalhes sobre essa atividade estão descritos no capítulo 4.

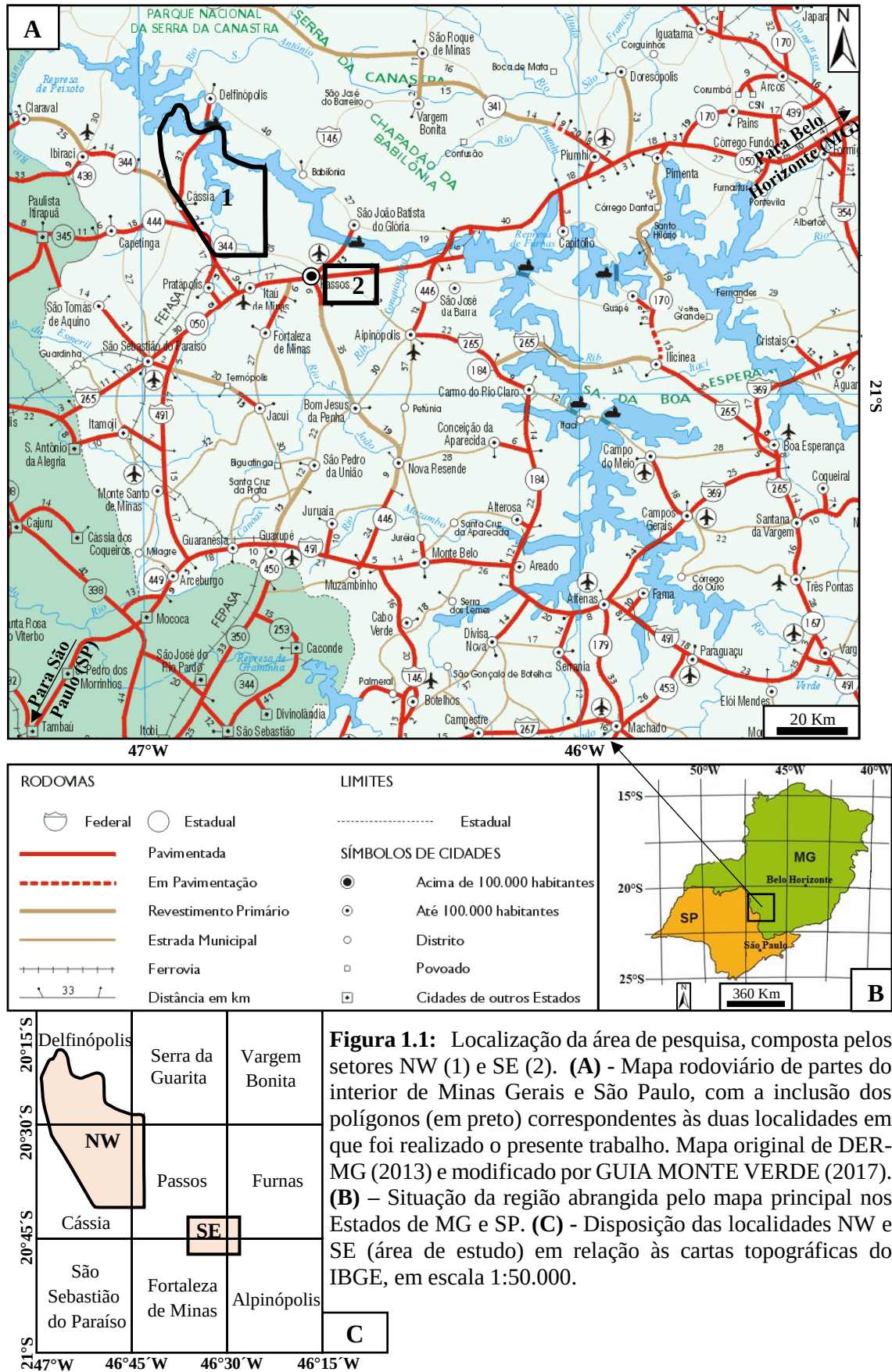
Atividade 8: Elaboração da Dissertação.

1.3 Localização da Área de Pesquisa e Vias de Acesso

A área de estudo (Fig. 1.1) envolve duas localidades descontínuas em termos espaciais. A primeira está situada no segmento noroeste da *Nappe* de Passos, onde foi realizado levantamento geológico visando verificar a possibilidade de ocorrência de megaporfiroblastos. A outra se encontra na porção sudeste desta *nappe*, dentro da qual é registrado um importante afloramento com ocorrência de megaporfiroblastos de granada.

A primeira possui área total de 585 km², sendo que a principal via de acesso à esta localidade é através da rodovia MG-344. Já a última, que contém ocorrência já conhecida, possui área de 100 Km² e apresenta forma retangular, sendo a MG-050 a sua principal via de acesso.

Para se ter acesso à área de estudo, o melhor caminho a ser percorrido partindo de São Paulo (SP) consiste em seguir por 268 Km até Mococa (SP) pelas rodovias SP-348 e SP-340. Já no Estado de Minas Gerais, são mais 73 Km até São Sebastião do Paraíso pelas rodovias MG-449 e MG-491 com a finalidade de acessar a rodovia MG-050, trafegando por mais 33 Km até o trevo de confluência com a MG-344, próximo à entrada de Itaú de Minas. A partir deste ponto, os caminhos a serem percorridos são distintos a depender do segmento a ser visitado. Para o setor NW, são mais 17 Km transitando pela MG-344 no sentido Itaú-Cássia a partir do referido trevo, ingressando, com isso, no extremo sudoeste da mesma. Em relação ao setor SE, para acessá-lo, é preciso se deslocar por mais 20 Km a partir do trevo de Itaú de Minas pela própria MG-050, no sentido Itaú-Passos adentrando, com isso, no extremo oeste dela.



1.4 Aspectos Fisiográficos

A área de estudo abrange parte dos municípios de Cássia, Itaú de Minas e Passos, sendo que a localidade NW encontra-se situada integralmente na área rural do último mencionado. Os três pertencem à microrregião de Passos e mesorregião do Sul e Sudoeste do Estado de Minas Gerais (IBGE, 1990). Conforme nova classificação proposta por IBGE (2017), englobando municípios de todo o país segundo critérios socioeconômicos, os três municípios em questão pertencem à região geográfica imediata de Passos (MG), que, por vez, encontra-se inserida dentro da região geográfica intermediária de Varginha (MG). Essas duas novas classes de agrupamento são, em linhas gerais, correlatas às terminologias de microrregiões e mesorregiões, respectivamente, adotadas anteriormente por IBGE (1990).

O bioma que ocorre na área de pesquisa é o cerrado (IBGE, 2004). Quanto aos aspectos climáticos, têm-se a presença dos climas tropical semiúmido (porção norte e centro-norte da localidade NW) e o de altitude (porções sul e centro-sul da localidade NW e localidade SE em sua totalidade), conforme classificação climática de *Köppen-Geiger* (ROSS, 2011).

Em termos hidrográficos, ela está totalmente situada na Bacia Hidrográfica do Rio Grande. Em relação ao polígono correspondente ao seu setor noroeste da *nappe*, mais especificamente em seus limites noroeste, norte e nordeste, o rio principal que dá nome a esta bacia encontra-se represado, formando a importante Represa de Peixoto. Também merece nota o fato de que no interior desta área, também ocorre um importante afluente da margem esquerda do Rio Grande. Trata-se do Rio São João. Para o polígono situado na porção sudeste da unidade alóctone supramencionada, as principais drenagens observadas foram o Ribeirão da Bocaina e o Córrego da Peroba, sendo que este último é afluente da margem direita do primeiro, que, por sua vez, é afluente da margem esquerda do Rio Grande, desaguardo na referida drenagem rio principal em área localizada fora deste polígono.

Em relação à compartimentação geomorfológica, a área de trabalho encontra-se inserida no “*Domínio das faixas de dobramentos e coberturas metassedimentares associadas*” e em caráter mais específico no “*Subdomínio das faixas de dobramentos do Brasil Central*” (NUNES & NÓBREGA JÚNIOR, 2009). Trata-se de um contexto de terrenos pré-cambrianos de base de orógeno erodido, apresentando uma significativa quantidade de estruturas dobradas associadas ao ciclo brasileiro (CORTES, 2014). Regionalmente, há o registro de importantes feições geomorfológicas que imprimem à paisagem desníveis topográficos da ordem de 100 a

400 metros, dentre as quais incluem-se as Serras da Canastra, Preta, Itambé, do Vargedo, São João ou do Formoso, do Grotão, além do Chapadão da Babilônia.

CAPÍTULO 2 - GEOLOGIA REGIONAL

A área de pesquisa encontra-se localizada na Faixa Brasília, um importante cinturão móvel de idade brasileira pertencente à Província Tocantins. Essa província corresponde a um extenso compartimento litotectônico situado na porção central da plataforma sul-americana, tida como resultado de intensas interações colisionais criogenianas a, no máximo, cambrianas ocorridas entre os Crátons Amazônico, São Francisco e do Paranapanema (Fig. 2.1) (ALMEIDA *et al.*, 1977, 1981). A formação da Faixa Brasília está diretamente relacionada ao Ciclo Brasiliano/Pan-africano, evento geodinâmico registrado no Gondwana Ocidental, cujo ápice se deu no Ediacarano (FUCK *et al.*, 1994; SCHOBENHAUS *et al.*, 2001, VALERIANO *et al.*, 2004a; UHLEIN *et al.*, 2012; PIMENTEL, 2016).

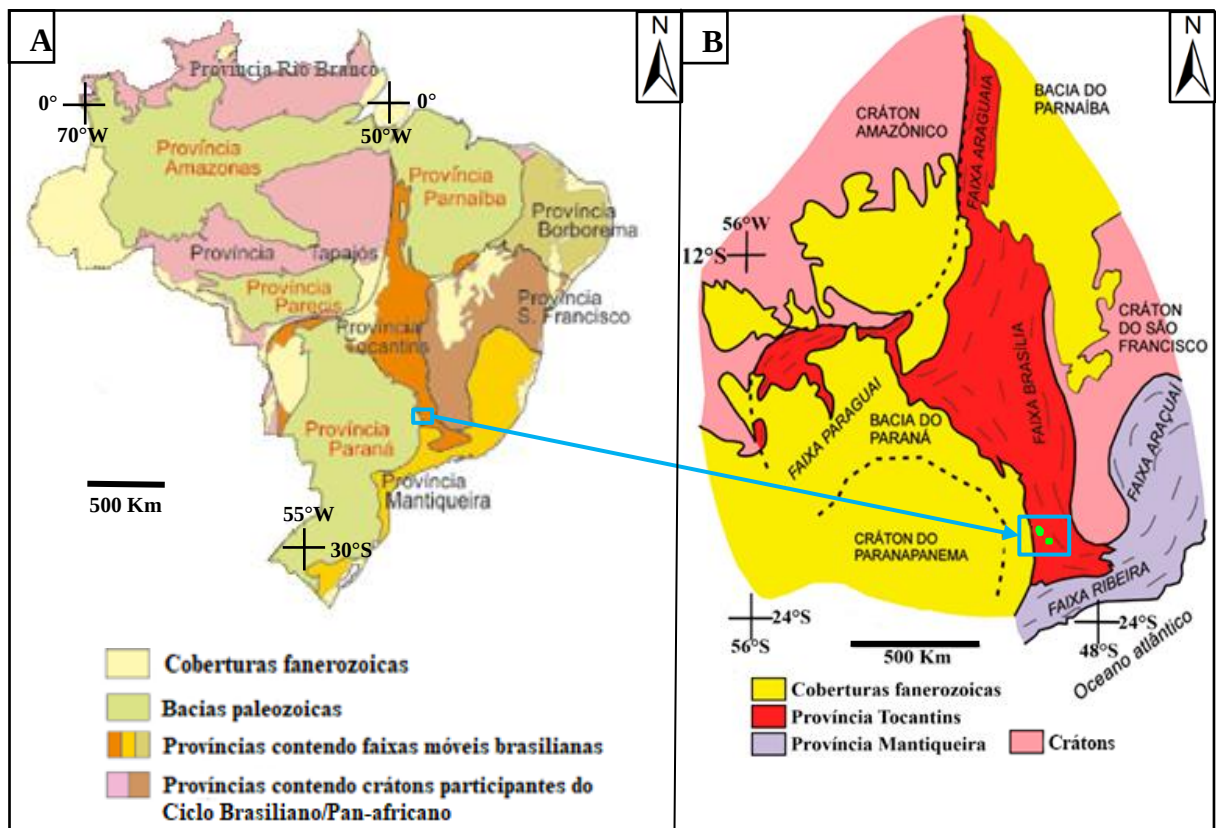


Figura 2.1: Províncias tectônicas do Brasil. (A) - é destacada a localização da Província Tocantins no território brasileiro. Extraído e modificado de Hasui *et al.* (2012). No mapa expresso em (B), é registrada a compartimentação da Província Tocantins nas Faixas Brasília, Paraguai e Araguaia. No segmento meridional da primeira faixa móvel, é mostrada, em verde-claro, a localização da área de estudo, com um retângulo em azul-claro destacando-a. Extraído e modificado de Valeriano *et al.* (2004a).

2.1 Faixa Brasília

Segundo Brito Neves & Cordani (1991), a Faixa Brasília representa um importante orógeno colisional brasileiro localizado na porção sudeste da Província Tocantins. Em termos de dimensão espacial, Uhlein *et al.* (2012) esclarecem que essa faixa móvel apresenta, em superfície, aproximadamente 1.200 quilômetros de comprimento por cerca de 300 quilômetros de largura, bordejando a porção ocidental do *Cráton* São Francisco com *trend* aproximado em NW-SE.

O contexto deformacional da Faixa Brasília reflete transporte em direção ao *Cráton* São Francisco, localizado a leste, sendo seu metamorfismo decrescente no mesmo rumo, indicando, com isso, polaridade metamórfica (VALERIANO *et al.*, 2004a).

O entendimento acerca do contexto evolutivo dessa faixa móvel tem sido objeto de intensos debates na literatura desde trabalhos pioneiros, dentre os quais incluem-se Almeida (1968), Costa & Angeiras (1971), Dardenne (1978) e Marini *et al.* (1981).

Costa & Angeiras (1971) e Dardenne (1978) entendem que a estruturação da Faixa Brasília é tida como resultado de uma evolução monocíclica, associada às interações colisionais neoproterozoicas ocorridas durante Ciclo Brasileiro-Pan-africano. Fuck (1990, 1994) também segue essa diretriz e propõem a divisão da referida faixa móvel em cinco compartimentos: (1) Zona cratônica: unidade autóctone constituída por setores do embasamento arqueano/paleoproterozoico, além da cobertura metassedimentar neoproterozoica afetadas pelas deformações sin-brasilianas. O limite do cráton, em linhas gerais, é caracterizado por destacadas falhas de empurrão de âmbito regional, eventualmente truncadas por falhas transcorrentes; (2) Zona externa: unidade alóctone constituída por rochas metapsamopelíticas polideformadas dos Grupos Canastra, Paranoá, Vazante e Ibiá afetadas por extensos falhamentos e empurrões; (3) Zona interna: unidade alóctone correspondente às rochas metapsamopelíticas e metavulcânicas polideformadas do Grupo Araxá, também afetadas por significativos falhamentos e empurrões; (4) Maciço de Goiás: constituído por terrenos granito-*greenstone* arqueanos, além de terrenos ortognáissicos paleoproterozoicos; (5) Arco magmático de Goiás: formado por terrenos ortognáissicos, além de sequências metavulcanossedimentares neoproterozoicas expostas entre os municípios de Sanclerlândia e Bom Jardim de Goiás, se estendendo por cerca de 400 Km a nordeste, até os municípios de Mara Rosa e Porangatu.

A Faixa Brasília apresenta uma importante inflexão em sua porção central, denominada de Inflexão dos Pirineus, responsável pela sua subdivisão em segmentos setentrional, com orientação preferencial das estruturas NNE e meridional, com orientação NNW. Trata-se de um conhecido alinhamento marcado pela inflexão das estruturas da Faixa Brasília para a direção WNW (ARAÚJO FILHO, 1981, 2000; STRIEDER, 1993).

O segmento meridional desta faixa móvel é caracterizado pela presença de unidades litoestratigráficas de naturezas predominantemente metassedimentares, estando associadas majoritariamente a um contexto deposicional de margem passiva, reflexo do processo de abertura do Oceano Goianides, cuja sedimentação se processou durante o episódio geotectônico conhecido como “*tafrogênese toniana*” (BRITO NEVES & CORDANI, 1991). Minoritariamente, também são verificadas rochas oriundas de sedimentação processada em bacia do tipo sin-orogênica (possivelmente do tipo *fore arc*), estando já vinculada, portanto, a evento de ativação tectônica cujo produto final foi o fechamento do Oceano Goianides. De modo sintético, denota-se que durante o Ediacarano, as rochas pertencentes à referida faixa foram submetidas a importantes eventos colisionais vinculados ao Ciclo Brasileiro-Pan-africano, reflexo da interação entre três *crátons*: São Francisco, Paranapanema e Amazônico (PIMENTEL, 2016; VALERIANO, 2017).

Na porção sul da Faixa Brasília, o grau metamórfico e o processo deformacional apresentam maior intensidade em relação ao segmento meridional, causando a obliteração das relações estratigráficas entre as suas unidades. Com isso, desenvolveu-se complexos sistemas de *nappes* e empurrões nesse setor da faixa móvel em análise (Fig. 2.2), apresentando vergência em direção ao *Cráton* São Francisco (VALERIANO *et al.*, 1994; VALERIANO *et al.*, 2000, 2004a; SILVA, 2003). A fase orogênica referente ao segmento meridional da referida faixa móvel foi iniciada a partir de evento de subducção progressiva de unidades de margem passiva, de distal para proximal, culminando com colisão continental entre aproximadamente 650 a 630 Ma. Com base em geocronologia U-Pb em monazita, a exumação pós-pico metamórfico ocorreu em aproximadamente 610 a 605 Ma e o resfriamento final entre cerca de 600 a 580 Ma, tomando-se como base idades K-Ar obtidas a partir de micas brancas (VALERIANO *et al.*, 2004b; VALERIANO, 2017).

Simões & Valeriano (1990), Valeriano *et al.* (1993) e Valeriano *et al.* (2000, 2004b) propõem a divisão da Faixa Brasília meridional, na região de Passos (MG), em três Domínios tectônicos distintos, denominados como Interno, Externo e Cratônico. Esses domínios, ao longo

de toda a Faixa Brasília, não se apresentam homogêneos em termos longitudinais. O Domínio Cratônico abrange rochas arqueanas ortognáissicas (Complexo Campo Belo) e ortognáissicas a metassedimentares (Complexo Campo Belo), assim como rochas pelítico-carbonáticas neoproterozoicas (Grupo Bambuí). Apresenta caráter alóctone a para-autóctone. No Domínio Externo ocorrem rochas metassedimentares neoproterozoicas predominantemente psamo-pelíticas, formadas em contexto de margem passiva (Grupos Canastra e Ibiá), além de rochas metavulcanossedimentares que constituem o *Greestone Belt* de Piumhi. Este domínio possui natureza alóctone. O Domínio Interno, que cavalga os outros dois domínios, é formado por rochas, majoritariamente, metapelíticas imaturas referentes ao Grupo Araxá e partes do Grupo Andrelândia, estando empilhadas em complexos sistemas de *nappes*. Tanto o Domínio Externo quanto Interno são classificadas como unidades tectônicas alóctones (VALERIANO *et al.*, 2004b).

Na Faixa Brasília meridional destacam-se, em termos de expressão em mapa, quatro grandes *nappes* (Araxá, Passos, Guaxupé e Luminárias), todas imbricados em baixo ângulo, durante o Ediacarano, em direção ao *Cráton* São Francisco (PIMENTEL, 2016). Nos seus estágios finais, o estilo deformacional é predominantemente marcado por dobras abertas a suaves, associadas a falhas transcorrentes sinistrais com *trend* representativo NW-SE, tendo como produto a segmentação transversal desta faixa móvel. Para isso, basta verificar a variação apresentada em latitude e, sobretudo, em longitude, pelos sistemas *de nappes* em função desse cisalhamento tardio (VALERIANO *et al.*, 2004a). Ver Fig. 2.2.

Segundo Pimentel (2016), as *Nappes* de Passos e Luminárias são formadas predominantemente por rochas metassedimentares psamo-pelíticas pertencentes aos Grupos Araxá, estando vinculadas a depósitos de margem passiva, formados em até 650 Ma, com base na idade U-Pb referente ao zircão mais novo. Para a *Nappe* de Araxá, o autor considera que seus metassedimentos foram depositados em uma bacia sin-orogênica, possivelmente do tipo *fore arc*, mas para o Grupo Araxá na *Nappe* de Passos, admite que representa sedimentação de margem passiva, conforme proposto por Valeriano *et al.* (2004b), que considera que o Grupo Araxá observado na referida unidade alóctone, composto por rochas metassedimentares predominantemente pelíticas, com intercalações de rochas metabásicas predominantemente continentais, pode ser resultado de crosta associada à abertura oceânica, sendo reflexo da ruptura do paleocontinente Rodínia.

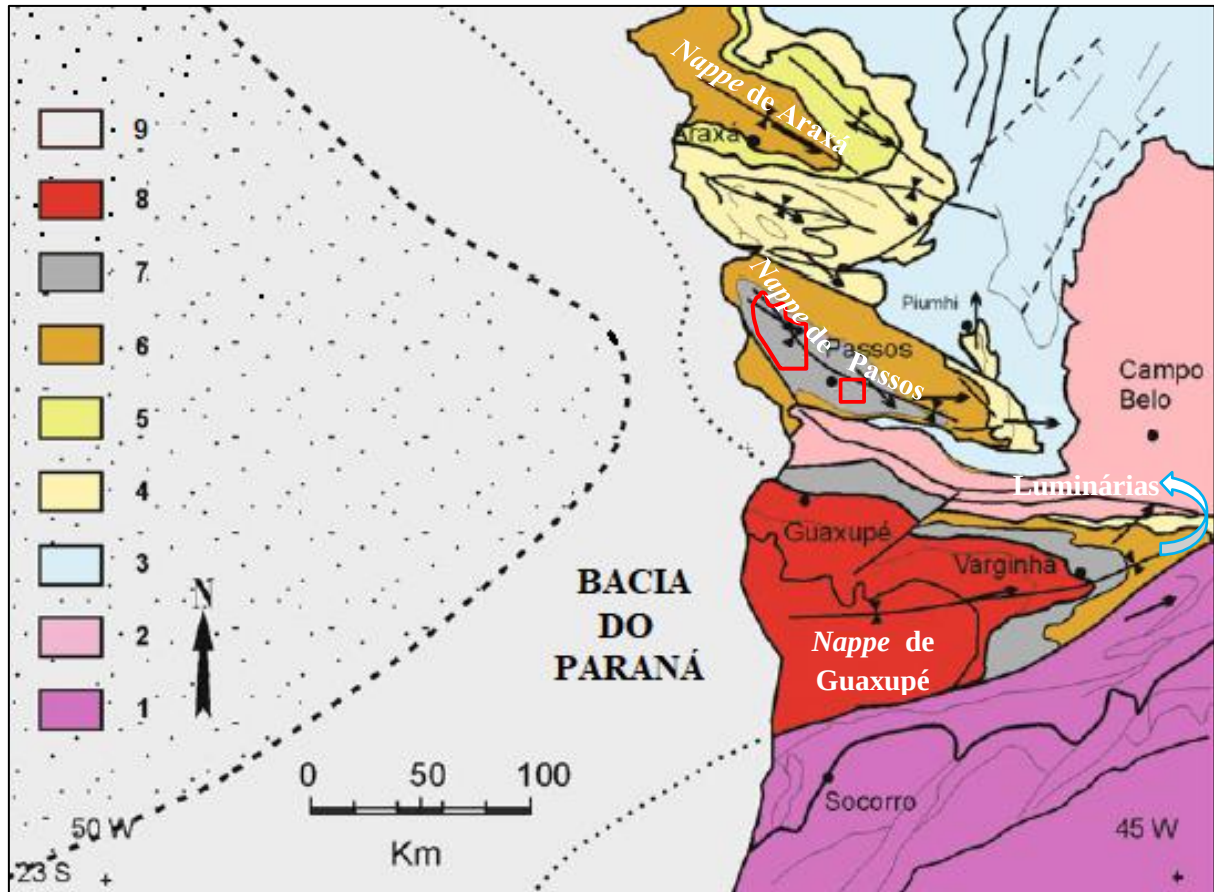


Figura 2.2: Contexto geológico relativo ao segmento meridional da Faixa Brasília e unidades tectônicas adjacentes. (1) - Faixa Ribeira; (2) e (3) – Domínio Cratônico, sendo (2) o Embasamento do Cráton São Francisco (Complexos Campos Gerais e Campo Belo) e (3) a Cobertura neoproterozoica a cambriana do Cráton São Francisco (Grupo Bambuí); (4) e (5) – Domínio Externo, sendo (4) o Grupo Canastra e (5) o Grupo Ibiá; (6) a (8) - Domínio Interno, sendo (6) o Grupo Araxá, (7) o Grupo Araxá metamorfolizado sob condições de *fácies* granulito e (8) o Complexo de arco magmático (*nappe* granulítica de Guaxupé); (9) – Cobertura fanerozoica (Bacia do Paraná). Extraído e modificado de Valeriano (2016).

2.2. Nappe de Passos

A *Nappe* de Passos apresenta, em mapa, forma alongada na direção ESE (Fig. 2.3) e, nessa região, corresponde ao Domínio Interno da Faixa Brasília que se justapõe aos outros dois domínios (Externo e Cratônico) através de extensa superfície de cavalgamento.

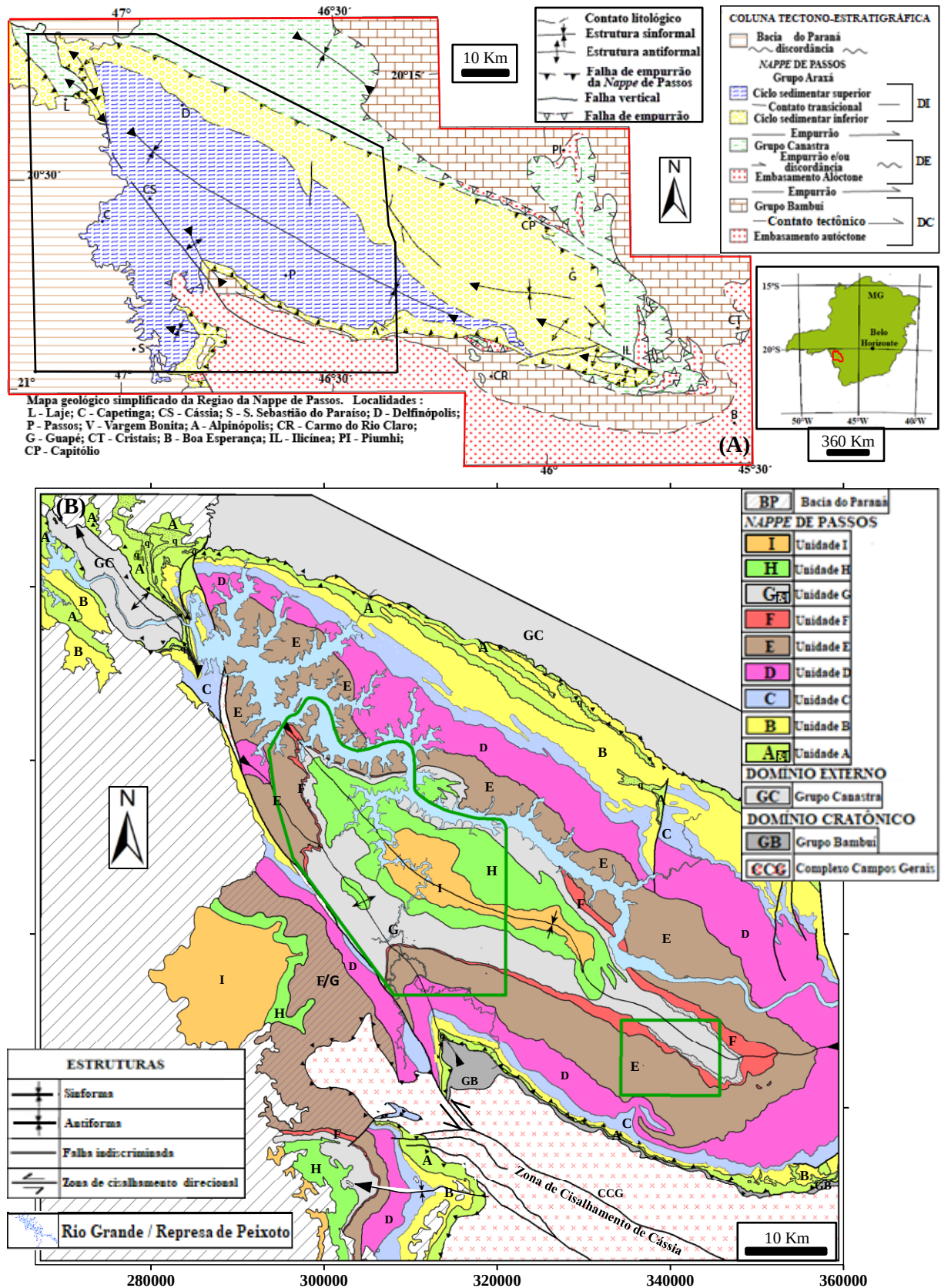


Figura 2.3: Mapas geológicos referentes à *Nappe* de Passos e unidades adjacentes. **(A)** - Mapa geológico simplificado contendo os Domínios Interno, Externo e Cratônico, simplificados na coluna tectonometamórfica como DI, DE e DC, respectivamente. **(B)** - Mapa da porção ocidental da *nappe* com suas nove unidades litoestratigráficas a partir de informações integradas de Simões (1995), Luvizotto (2003), Simões *et al.* (2006), Valeriano *et al.* (2007), Zanardo *et al.* (2008) e Luvizotto *et al.* (2015).

O domínio cratônico na região de Passos inclui uma parcela do Grupo Bambuí e, juntamente com seu embasamento, representados por terrenos ortognáissicos migmatizados referentes aos Complexos Campos Gerais e Campo Belo. A primeira representa uma unidade litoestratigráfica mesoarqueana dividida em dois litotipos distintos: o Ortognaisse Campos Gerais com idade-modelo (T_{DM}) de 3,2 Ga e o Ortognaisse Mandembo (reflexo de anatexia de crosta composta por associação TTG arqueana), datado entre 3,4 a 3,2 Ga (TURBAY *et al.*, 2012).

O Complexo Metamórfico Campo Belo é constituído por rochas gnáissicas, metassedimentares pelíticas e psamíticas, assim como metabásicas, metaultrabásicas e migmatíticas, correspondente a uma crosta sílica de idade arqueana (FERNANDES & CARNEIRO, 2000; OLIVEIRA & CARNEIRO, 2000). Dados isotópicos Pb-Pb de Teixeira *et al.* (1998) obtido a partir grãos de zircão interpretados como componentes reliquiais em migmatito exibirem idade de $3,205 \pm 17$ Ga.

O Grupo Bambuí, pertencente ao Supergrupo São Francisco, é constituído majoritariamente por rochas metacarbonáticas, além de metapelitos e metapsamitos, todas de baixo grau metamórfico. Sua idade deposicional máxima foi objeto de intensos debates na literatura, sobretudo a partir da década de 1980 (PIMENTEL, 2016).

Dados geocronológicos, sobretudo com base em relações isotópicas Sm-Nd e U-Pb levantados a partir de grãos detríticos de zircão e monazita, demonstram grande variação temporal em relação às suas áreas-fonte.

O trabalho de Rodrigues (2008), com base em datações feitas em zircão e monazita detríticos, coloca a idade máxima de deposição para o Grupo Bambuí em cerca de 610 Ma. Pimentel *et al.* (2011) registram, para a porção basal do Grupo Bambuí, significativas quantidades de zircões datados do intervalo estimado entre 600 a 550 Ma. A atualização do limite máximo de sedimentação para idades mais recentes em relação às anteriores foi possível a partir da descoberta de fósseis geneticamente vinculados à fauna de Ediacara presentes em rochas metacarbonáticas da Formação Sete Lagoas (WARREN *et al.*, 2014). Esse fato encontra-se em consonância com Pimentel (2016), tendo em vista que novos dados U-Pb obtidos a partir de zircões detríticos atribuem a idade deposicional máxima para o Grupo Bambuí entre 550 a 540 Ma. Este autor interpretou que os metassedimentos da referida unidade foram depositados, ao menos em parte, uma bacia do tipo *foreland*.

Na região de Passos (MG), o Domínio Externo é constituído por uma complexa imbricação de metarenitos e metapelitos da Sequência Serra da Boa Esperança, correlacionável ao Grupo Canastra. Falhas de empurrão de âmbito regional o separam do Domínio Cratônico, constituído pelas associações ortognáissicas arqueanas e pelítico-carbonáticas neoproterozóicas já elencadas nos dois parágrafos anteriores. A idade máxima calculada para sua sedimentação é de 942 ± 17 Ma, com base em idades U-Pb obtidas em zircão detrítico (VALERIANO *et al.* 2004b). Simões (1995) relata, em meio aos quartzitos dessa unidade, a preservação parcial dos grãos de quartzo referentes à rocha protólito, bem como de estratificações cruzadas e marcas de onda.

A Sequência Serra da Boa Esperança (Grupo Canastra), é constituída por quartzito, sericita filito e metaconglomerado quartzíticos (VALERIANO *et al.*, 2007). Esse termo foi originalmente proposto por Valeriano (1992) em substituição à designação anterior, denominada como Sequência Metassedimentar Carmo do Rio Claro, tendo em vista que esse termo abrangia unidades de distintas origens.

Nas adjacências da cidade de Piumhi (MG), observa-se que o Domínio Externo encontra-se associado a lentes tectônicas de gnaiss. Também são constatadas rochas metavulcanossedimentares, com destaque para as metavulcânicas básicas komatiíticas, sendo que localmente há a preservação de estruturas primárias, dentre as quais incluem-se *pillow* lavas e *spiniflex*, correspondente a uma associação do tipo *greenstone belt* (SCHRANK, 1982; VALERIANO *et al.*, 2004a).

O Domínio Interno na região estudada corresponde à *Nappe* de Passos, cuja importância é destacada desde os trabalhos pioneiros de Teixeira & Danni (1978) e Schmidt & Fleischer (1978). Essa *nappe* cavalga tanto as rochas do Domínio Externo, quanto àqueles pertencentes ao Domínio Cratônico. Mapeamentos posteriores propiciaram uma melhor delineação de seus contornos, demonstrando que a superfície de cavalgamento dessa *nappe* desenha um contato sinuoso, definindo estrutura de direção alongada NW-SE (MORALES *et al.*, 1983; VALERIANO *et al.*, 1989), conforme verificado na Figura 2.3.

Simões (1995), considerando o conteúdo litológico e as condições de metamorfismo, correlaciona as rochas da *Nappe* de Passos ao Grupo Araxá. Divide a *nappe* em nove unidades litoestratigráficas informais, sendo da base para o topo: (1) Unidade A - caracterizada por xisto muscovítico fino com intercalações decimétricas a métricas de quartzito e de biotita-clorita-muscovita xisto, aos quais associam-se lentes de mármore; (2) Unidade B - composta por

alternância de camadas métricas de quartzito puros e micáceo, com intercalações métricas ocasionais de muscovita xisto; (3) Unidade C - caracterizada por muscovita xisto, clorita-muscovita xisto e biotita-clorita-muscovita xisto; (4) Unidade D - constituída essencialmente por biotita-muscovita gnaiss bandado, em geral, finos, com intercalações ocasionais de muscovita xisto, quartzito feldspático, quartzito e mais raramente anfibolito; (5) Unidade E - constituída por muscovita xisto e biotita-muscovita xisto, os quais apresentam camadas com granada, cianita e ocasionalmente estauroлита. Normalmente, eles exibem intercalações decimétricas a métricas de quartzito, quartzito xisto (com ou sem granada), anfibolito, granada anfibolito, gondito e biotita gnaiss, sendo estes dois últimos litotipos menos frequentes. Também são identificadas algumas raras ocorrências de magnetita quartzito, grunerita quartzito e rocha calcissilicática; (6) Unidade F - é representada por um pacote pouco espesso de gnaiss, constituído por biotita, muscovita, plagioclásio e, menos freqüentemente, microclínio. Geralmente, apresenta textura porfiroblástica e/ou porfiroclástica, marcada por cristais de feldspato de 3 a 20 mm de comprimento; (7) Unidade G: recorrência da associação litológica que constitui a unidade E, todavia com grau metamórfico mais intenso, já dentro da anfibolito superior; (8) Unidade H: é caracterizada por gnaiss com intercalações locais de biotita-muscovita xisto, quartzito, e, anfibolito; (9) Unidade I: formada por biotita-muscovita xisto, por vezes feldspáticos, com intercalações decimétricas a métricas de quartzito, quartzito xisto, e menos freqüentemente de biotita gnaiss e anfibolito. O conjunto como um todo se assemelha às unidades E e G, entretanto a ocorrência freqüente de quartzitos de granulação exageradamente grossa e de cianita-quartzito xisto feldspático (semelhante a um gnaiss, porém muito quartzoso), constitui uma feição característica dessa unidade.

O metamorfismo atribuído à *Nappe* de Passos é o da zona da biotita da *fácies* xisto verde em sua porção basal, chegando até a *fácies* granulito em seu topo, com a ocorrência de anatexia em determinados segmentos (LUVIZOTTO, 2003; SOUZA, 2013). Apresenta, portanto, um gradiente metamórfico invertido (TEIXEIRA & DANNI, 1978; SIMÕES *et al.*, 1988; VALERIANO, 1992; ZANARDO, 1992; ZANARDO *et al.* 1992, SIMÕES, 1995).

A causa para a origem desse gradiente invertido foi discutida por Simões (1995) que, após analisar os diversos modelos conhecido para explicar inversão metamórfica em cinturões orogênicos e, considerando os dados termobarométricos e estruturais da *Nappe* de Passos, concluiu que o gradiente invertido deve ter sido gerado como reflexo da inversão das isothermas em sistema de subducção aliada ao intenso cisalhamento dúctil que afetou essas rochas durante o processo de exumação.

Ao realizar a caracterização tectonometamórfica da *Nappe* de Passos, Simões (1995), com base nas ocorrências das assembleias minerais e com auxílio de microscopia óptica e microsonda, apresenta o traçado aproximado de três isógradas em sua área de trabalho. A primeira delas, denominada de *Albita out*, não se encontra inserida no polígono de pesquisa da presente qualificação. O traçado aproximado dessa isógrada é na porção inferior da Unidade D, geralmente situado, em superfície, a distâncias que variam de 60 a 700 metros em relação ao contato de topo da Unidade C. Essa linha representa o limite superior de ocorrência de albita em meio às rochas metabásicas da *Nappe* de Passos, representadas em campo por anfíbolitos.

A segunda e a terceira isógradas encontram-se inseridas na área de trabalho da presente pesquisa (Fig. 2.4).

A segunda é a *granada in*, que equivale ao limite inferior em que são encontradas granadas em metapelitos da referida *nappe*. Essa isógrada situa-se no interior da Unidade D, em termos de superfície, localizado em torno de 150 a 800 metros do contato com a Unidade E. A partir dessa isógrada, também merece destaque o aparecimento de cianita em xisto, indicando, para o metamorfismo principal, um regime bórico, ao menos, intermediário.

A terceira isógrada é referente ao *clinopiroxênio in*, que corresponde à ocorrência de clinopiroxênio em metabásicas. No geral, conforme observado na Fig. 2.5, essa isógrada está na Unidade E, bem próximo ao contato com a Unidade F.

As estruturas da *Nappe* de Passos em geral são atribuídas à superposição de quatro eventos deformacionais. A foliação principal (S_2), de baixo ângulo, como a superfície de cavalgamento que a separa dos domínios externo e cratônico, estão relacionadas ao segundo evento deformacional que atuou na área, denominado de D_2 . S_2 é mesoscopicamente identificada como uma xistosidade, mas ao observá-la em detalhe, principalmente com a utilização da microscopia óptica, verifica-se que se trata de uma clivagem de crenulação apertada. As dobras D_2 possuem eixos com orientação preferencial na direção WNW a NW, com caimentos suaves para NW e SE. Esse evento apresenta caráter predominantemente dúctil e foi o responsável pelo transporte tectônico da *Nappe* de Passos (SIMÕES & VALERIANO, 1990; SIMÕES, 1995; LUVIZOTTO, 2003; SILVESTRE, 2013). A aloctonia mínima verificada é de cerca de 200 Km no sentido SSE (SIMÕES *et al.*, 2016).

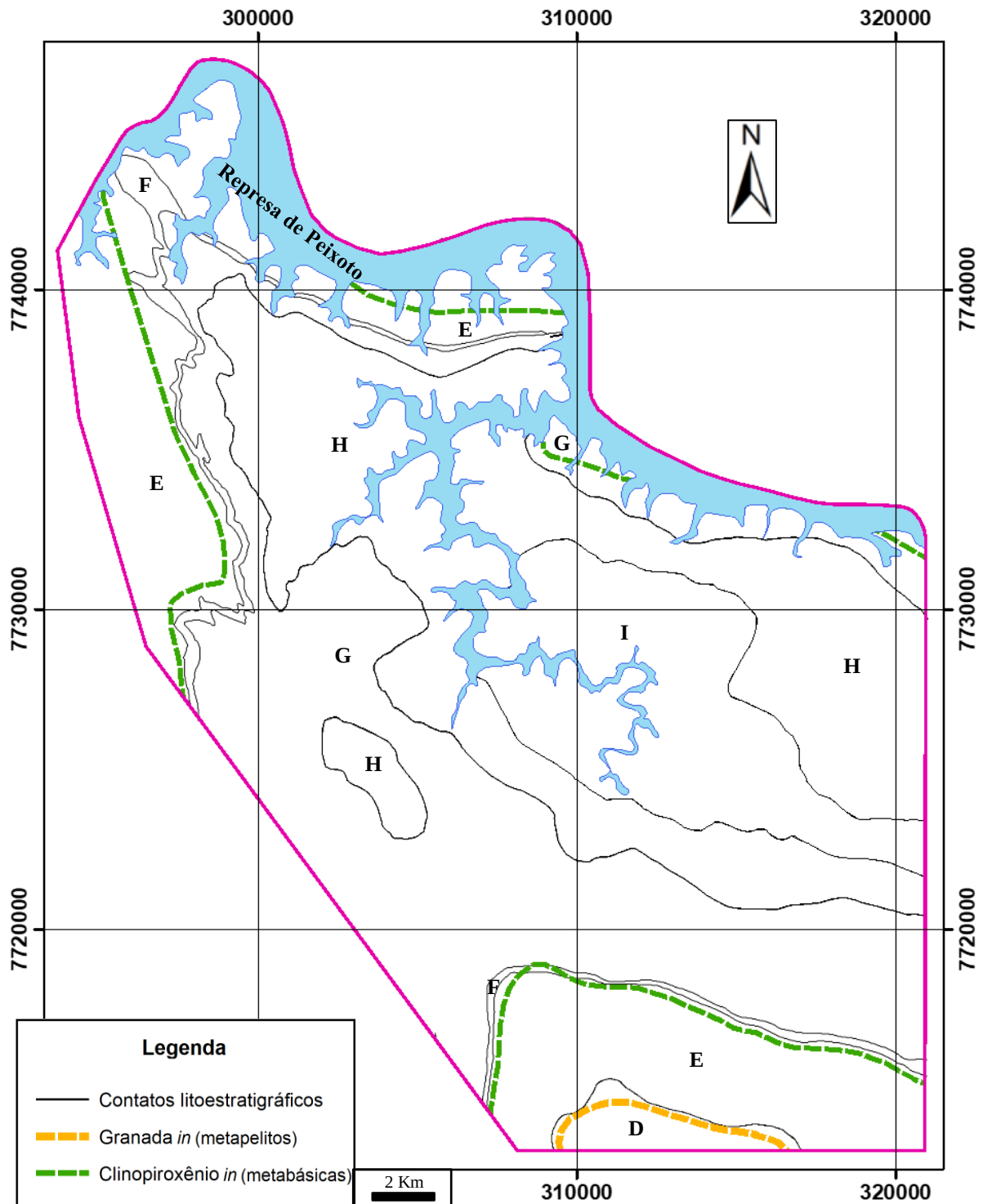


Figura 2.4: Mapa contendo a distribuição das isógrads propostas por Simões (1995) para o segmento NW da *Nappe* de Passos, área de pesquisa de ocorrência de megaporfiroblastos no presente trabalho.

O evento deformacional D_1 foi o responsável por gerar uma foliação S_1 , encontrada frequentemente paralela ao bandamento composicional (S_0). O seu reconhecimento mais seguro ocorre nas regiões de charneira das dobras relacionadas ao evento D_2 , uma vez que nesses setores, S_1 faz alto ângulo com a foliação S_2 . S_1 é uma xistosidade caracterizada pela orientação de minerais placoides (micas, feldspatos e anfibólio) e pela forma alongada dos cristais de

quartzo. Assim como o segundo evento, esse também apresenta caráter essencialmente dúctil (SIMÕES, 1995).

O evento deformacional D₃, gerou dobras abertas a suaves, que afetam a foliação S₂, apresentando planos axiais com orientações vertical a subvertical e eixos com caimentos suaves, frequentemente para NW, e minoritariamente para SE. Foi responsável por gerar estruturas importantes no âmbito regional, tais como a Braquissinformal de Passos, a Antiformal de Itaú de Minas e a Zona de Cisalhamento de Cássia, cujo sentido é sinistral. Essas grandes estruturas afetam claramente a foliação S₂, sendo frequente a ocorrência de dobras mesoscópicas D₃ parasíticas às grandes dobras e também adjacentes à Zona de Cisalhamento de Cássia e à Sinforma do Chapadão (SIMÕES, 1995; MORALES *et al.* 1996). Em determinados afloramentos, registra-se a ocorrência de pequenas falhas, apresentando rejeitos milimétricos a decimétricos, em posição paralela aos planos axiais das dobras vinculadas a esse evento evidenciando que apresenta caráter dúctil-rúptil (SIMÕES, 1995).

O evento D₄ foi responsável pela geração de dobras abertas a suaves, com plano axial vertical a subvertical e linhas de charneira apresentado direção predominantemente entre N e NNE e caimentos, em geral, suaves para S a SSW ou N a NNE. Comumente, ocorrem falhas de pequeno rejeito paralelas ao plano axial das dobras. Em âmbito local, para essa fase, também ocorrem dobras maiores, geralmente sob a forma de pares de sinforma e antiforma, algumas delas adjacentes à extensas falhas, como, por exemplo, a falha da Serra de Santa Maria. Assim como o evento anterior, este possui caráter dúctil-rúptil (SIMÕES, 1995).

De modo a propiciar um melhor entendimento da disposição espacial das estruturas planares e lineares existentes no interior do polígono de mapeamento, é apresentado o esquema didático da *Fig. 4.5*, extraído e adaptado a partir da obra de Simões (1995).

A estratificação primária (S₀) é frequentemente paralela à subparalela à foliação principal (S₂). Normalmente, S₂ apresenta-se ao longo da área com baixos ângulos de mergulho. Em relação às lineações mineral e de estiramento associadas ao evento principal, elas foram denominadas por Simões (1995), de modo simplificado, como L_m e L_e, respectivamente. O autor utiliza L₂ paralelo à L_m. Há ainda um terceiro tipo de lineação, que é aquela gerada a partir da intersecção entre os planos das foliações S₁ (paralela à estratificação primária) e S₂, sendo coincidente ao eixo D₂. Este eixo normalmente é encontrado em posição paralela a subparalela às lineações mineral e/ou de estiramento, conforme ressaltado por Simões (1995), com caimentos suaves tanto para NW quanto para SE. Em Valeriano (1992) e Zanardo (1992), a

depender do setor do Domínio Interno, essas estruturas podem se apresentar ora paralelas, ora oblíquas entre si. Valeriano (1992) explica esse fato como reflexo de rotação progressiva dos eixos, segundo a direção X.

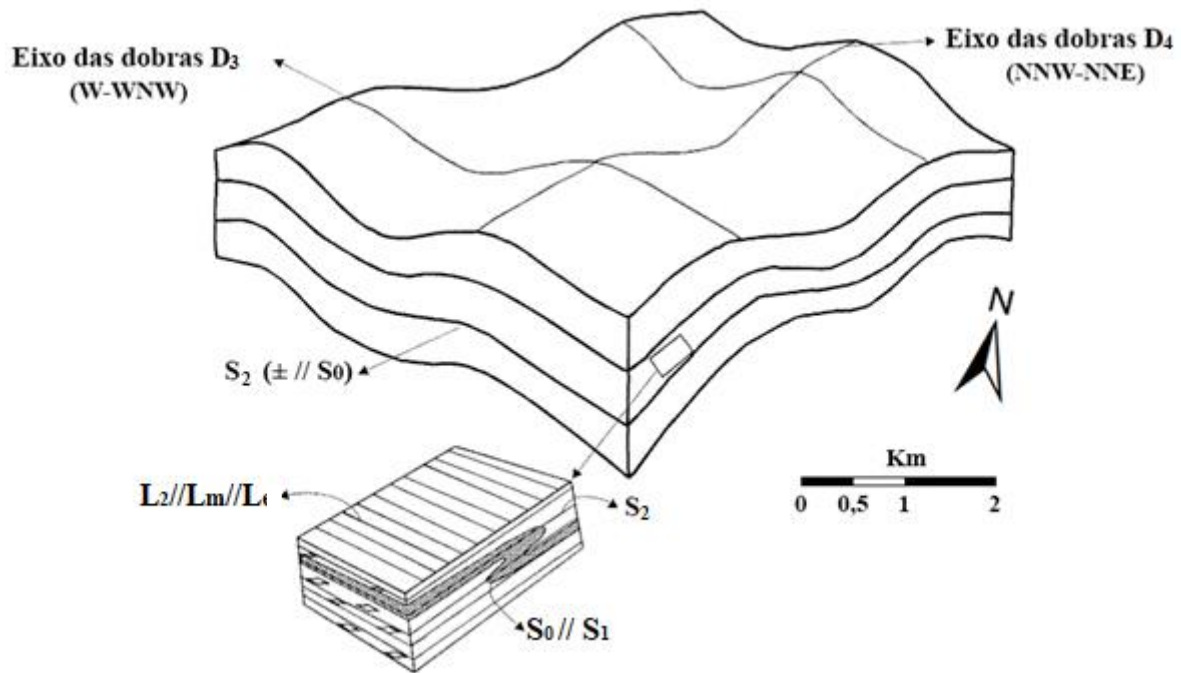


Figura 2.5: Ilustração esquemática referente ao padrão estrutural visto com maior frequência para as rochas da *Nappe* de Passos. A estratificação primária (S_0) normalmente encontra-se em posição paralela à subparalela à foliação principal (S_2), que apresenta baixo ângulo de mergulho. Lineações minerais e de estiramento, paralelas entre si, encontram-se contidas no plano de S_2 . Indicadores cinemáticos, tais como mica *fish*, foliation *fish* e porfiroclasto de feldspato, visualizados em posição paralela à L_2 , evidenciam que o transporte da *Nappe* de Passos foi de NW para SE. Dobras apertadas a isoclinais são comumente encontradas afetando S_0 , com eixos geralmente paralelos à L_2 e com S_2 em posição plano axial a essas dobras. Analisando a charneira dessas dobras, verifica-se a presença de uma outra foliação tectônica que também está sendo dobrada, denominada de S_1 . Existem ainda dois conjuntos de dobras abertas a suaves que afetam a foliação principal. Ambas possuem caráter dúctil/rúptil, planos axiais íngremes e apresentam eixos de caimento suaves, com sentidos W a WNW para as dobras relacionadas ao evento D_3 e NNW a NNE para àquelas vinculadas ao evento D_4 . Extraído de Simões (1995).

A presença de indicadores cinemáticos, tais como os porfiroclastos de feldspato, vistos com maior frequência nas variedades gnáissicas ao longo das Unidades D, F e H, assim como mica *fish* e foliation *fish*, observados de maneira mais evidente nos xistos das Unidades A, C, E, G e I, verificados em cortes paralelos à lineação mineral relacionada à fase principal (L_2) possibilitam esclarecer que o deslocamento apresentado pela *Nappe* de Passos foi de NW para SE, conforme destacado por Simões (1995). Ainda segundo o autor, dobras apertadas a isoclinais são encontradas afetando a estratificação primária, com eixos geralmente em posição paralela à lineação mineral relacionada ao evento D_2 e com S_2 em posição plano axial a essas

dobras. Também são descritos dois tipos de dobras abertas a suaves crenulando a foliação principal, exibindo planos axiais com mergulhos em alto ângulo e eixos com caimento suaves, relacionadas aos eventos D₃ e D₄, cujas atitudes preferenciais já se encontram indicadas na Fig. 2.5.

Ao realizar uma análise sintética a respeito do quadro evolutivo da *Nappe* de Passos, constata-se que as rochas desta unidade alóctone são consideradas como oriundas de metassedimentos de margem passiva, variando de plataforma a depósitos de talude continental (SIMÕES 1995; VALERIANO, 1992, 2017), relativa ao processo de fragmentação do supercontinente Rodínia (VALERIANO *et al.*, 2004a), representando, portanto, a borda oeste da paleoplaca São Francisco (ALKMIN, 2004) e que foram profundamente afetados pelos processos orogenéticos neoproterozoicos, culminando na formação do Gondwana. A idade máxima de sedimentação verificada com base em zircões detríticos é aproximadamente 907 Ma (VALERIANO *et al.*, 2004b; VALERIANO, 2017). O pico do metamorfismo ocorreu em cerca de 631 Ma, indicado por análise ID-TIMS em monazita euhedral (VALERIANO *et al.*, 2004b) e o alojamento final em torno de 550 a 540 Ma, como mostram idades de zircões detríticos (PIMENTEL, 2016) e de fósseis da fauna ediacarana (WARREN *et al.*, 2014) no Grupo Bambuí, que é cavalgado pela *nappe*.

CAPÍTULO 3 – BUSCA POR OCORRÊNCIAS DE MEGAPORFIROBLASTOS NO SEGMENTO NOROESTE DA NAPPE DE PASSOS

Com a finalidade de verificar possíveis ocorrências de megaporfiroblastos de granada ao longo de toda a *Nappe* de Passos, selecionou-se uma área pertencente à porção noroeste da referida unidade alóctone, para a qual não se tinha registro desses cristais. O trabalho realizado nessa área também serviu para maior familiarização com as unidades da *nappe* e estruturas presentes em suas rochas. Como descrito a seguir (item 3.1), o levantamento feito nesse setor não identificou ocorrências de camadas ricas em megaporfiroblastos. Contudo, ele permitiu o aprimoramento do traçado dos contatos e melhor caracterização geométrica das grandes dobras existentes na área, sendo que os resultados desse trabalho serão apresentados neste capítulo (item 3.2).

3.1 Investigação no Segmento Noroeste da *Nappe* de Passos

O estudo foi realizado em uma área de 585 km², situada na porção noroeste da *Nappe* de Passos, em que ocorrem as unidades D, E, F, G, H e I, conforme denominação proposta por Simões (1995). Na Fig. 3.1 é mostrado o mapa geológico simplificado da área, em escala 1:105.000, com a indicação das principais estruturas, pontos realizados, assim como os trajetos percorridos na busca por ocorrências de megaporfiroblastos. A descrição das unidades litoestratigráficas está apresentada no item 2.2 (*Nappe* de Passos). Maiores detalhes acerca da constituição litológica dessas unidades e também das Unidades A, B e C podem ser encontrados no trabalho de Simões (1995). O mapa apresentado na Fig. 3.1 corresponde essencialmente ao de Simões (1995) para o segmento específico analisado, com a realização de pequenos ajustes em alguns contatos, sobretudo nos dois existentes entre as Unidades E, F e G tomando como base a interpretação de dados aerogamaespectrométricos acompanhados de confirmação em campo, juntamente com inclusão de novas medidas estruturais obtidas durante os levantamentos executados no presente trabalho.

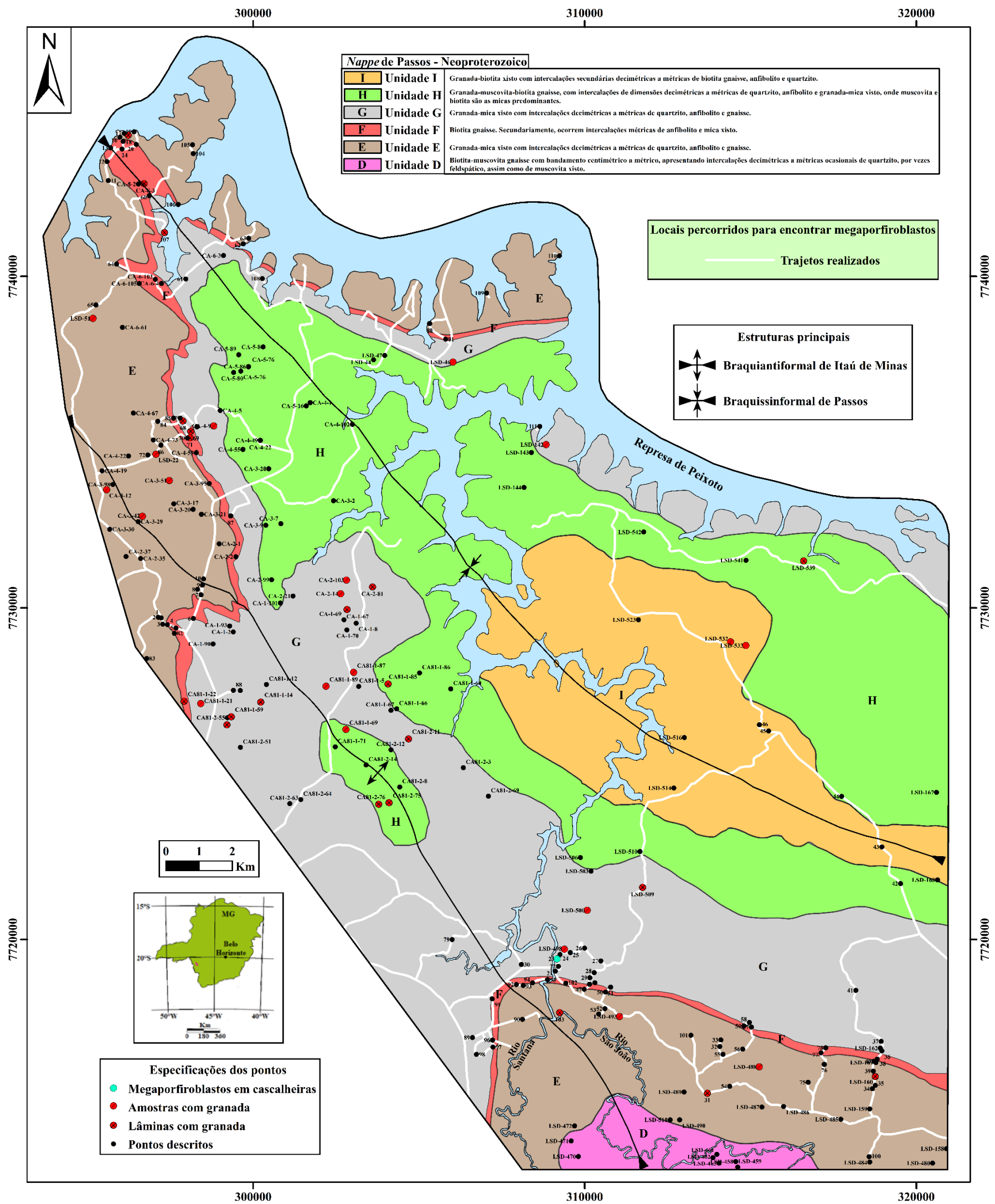


Figura 3.1: Mapa geológico da área de pesquisa. Destaca os trajetos realizados visando a busca por megaporfiroblastos de granada. Para simplificar a visualização dos pontos levantados com base nas incursões de campo, a optou-se por omitir a sigla “MRH”, deixando registrado somente o número correspondente.

Com base nas ocorrências de megaporfiroblastos de granada conhecidas em outras localidades da *Nappe* de Passos, arbitrou-se como ocorrências desses megacristais aqueles cujo diâmetro possui medida igual ou superior a 3 cm e que fossem abundantes nas rochas em que se encontram hospedados.

Na busca dos megaporfiroblastos, foram realizados diversos caminhamentos cortando os contatos das unidades litoestratigráficas, com maior detalhamento nas unidades E, F e G, pois as ocorrências já conhecidas desses minerais são registradas no topo da unidade E e base da Unidade G. Ao todo, somam vinte e três perfis cortando as unidades E, F e G e sete perfis abrangendo também as unidades H e I (ver Fig. 3.1).

Nas ocorrências de megaporfiroblastos conhecidas fora da área em questão, percebeu-se que esses minerais são facilmente identificados como cristais desagregados das rochas, ao longo dos leitos de estradas que cortam essas ocorrências. Por isso, os perfis foram realizados preferencialmente ao longo das estradas e trilhas. Adicionalmente foram investigadas áreas de cultivo ou pasto e drenagens. Também foram observadas cuidadosamente as cascalheiras de depósitos coluvionares que são frequentemente constatados em cortes de estrada.

Na área investigada, não foi observada nenhuma ocorrência de camadas ricas em megaporfiroblastos. Apenas cristais isolados constatados nos pontos MRH-17 (X: 296116; Y: 7744313) e MRH-106 (X: 297740; Y: 7742168). No primeiro ponto, foi observado apenas um cristal isolado com diâmetro de 3,2 cm (Fig. 3.2). Já no segundo, foram vistos dois cristais com diâmetros de 3,4 e 4,9 cm.



Figura 3.2: Fotografia de megaporfiroblasto de granada, destacado pela seta branca, com diâmetro de 3,2 cm hospedado em granada-muscovita xisto da Unidade E. Visada para SW. Ponto MRH-18 (X: 296234; Y: 7744262), situado no extremo noroeste da área de trabalho.

Além dessas ocorrências *in situ*, foram encontrados colúvios com megaporfiroblastos em duas localidades, uma no ponto MRH-24 (X: 309255; Y: 7719547), estando situada no setor SW da área (Fig. 3.3), próxima ao Rio São João, posicionada sobre rochas da Unidade G, e a outra, está localizada em sua porção NW, no ponto MRH-61 (X: 297963; Y: 7739923), aproximadamente 160 metros a SE da margem da Represa de Peixoto, cobrindo rochas da mesma unidade litoestratigráfica.



Figura 3.3: Cascalheira contendo porfiroblastos de granada. Os dois cristais destacados (setas) atingem 3 cm de diâmetro, todavia são minoritários em relação ao conjunto global, frequentemente entre 0,7 a 2,5 cm. Ponto MRH-24 (X: 309255; Y: 7719547). Nele, é possível constatar que a maioria dos cristais são de dimensões predominantemente subcentimétricas.

As observações de campo mostram que os porfiroblastos de granada verificados em cascalheiras e rochas pertencentes às Unidades D a I mostram diâmetros predominantemente entre 0,3 e 0,6 cm, entretanto, não são incomuns porfiroblastos em mica xistos com diâmetros alcançando valores entre 1 e 1,5 cm.

Tabela 3.1: Diâmetros mínimo, médio e máximo dos porfiroblastos de granada observados em campo, incluindo cascalheiras e afloramentos (em cm)

Unidade litoestratigráfica		Diâmetro mínimo	Diâmetro médio	Diâmetro máximo
I		0,2	0,6	0,9
H		0,1	0,3	0,8
G		0,2	0,6	4,2
F		0,1	0,4	0,6
E	Superior	0,1	0,5	4,9
	Inferior	0,1	0,3	2,8

O fato de não ter sido identificada, com base nos trabalhos de campo realizados, nenhuma ocorrência de megaporfiroblastos de granada (considerando-se os critérios de abundância e diâmetro maior ou igual a 3 cm), sugere que os referidos cristais não se formaram nessa região ou que ocorrem de forma muito localizada.

3.2 Caracterização das Grandes Dobras D₃

Como objetivo complementar, aproveitando os dados de campo juntamente com aqueles integrados a partir de trabalhos prévios, fez-se a caracterização geométrica das duas grandes dobras D₃ existentes na área visando contribuir com o aprimoramento da configuração estrutural da *Nappe* de Passos. As estruturas observadas nos afloramentos visitados são coerentes com o padrão estrutural descrito em diversos trabalhos, que consideram quatro fases de deformação (HEILBRON *et al.*, 1987; VALERIANO, 1992; SIMÕES, 1995; LUVIZOTTO, 2003), conforme apresentado no item 2.2.

A distribuição espacial das seis unidades litoestratigráficas, de D até I, mostra uma configuração complexa, principalmente, em função de duas grandes estruturas, a Braquissinformal de Passos (BSP) e a Braquiantiformal de Itaú de Minas (BAI), sendo apresentadas na Fig. 3.4. Ambas são identificadas pelo desenho dos contatos litoestratigráficos e pelas medidas do bandamento composicional, interpretado como estratificação primária (S₀), assim como da foliação principal (S₂).

A Unidade D, que é a mais basal do segmento estratigráfico abordado, ocorre apenas no extremo sul da área, no núcleo da BAI, onde o eixo da dobra apresenta caimento para NW. As Unidades E, F, G e H se sobrepõem a ela, desenhando a antiforma localizada nesse segmento específico. Na porção NW da BAI, a Unidade E ocorre no núcleo da estrutura, devido à inversão do caimento do eixo, que nesse local se dá para SE. A ocorrência da unidade G, entre as duas zonas periclinais da BAI descritas acima, é interpretada como uma pequena feição de sela dessa estrutura. Em sua extensão para o norte da área, a Unidade E desenha o fechamento NW da BSP. As Unidades F, G, H e I ocorrem em sequência, reproduzindo o desenho dessa dobra, que mostra caimento para sudeste. O caráter braquissinformal dessa estrutura é percebido em seu fechamento SE, fora desse setor da área de estudo, onde o eixo possui caimento para NW.

Além do desenho dos contatos litoestratigráficos, as medidas de S₂ também evidenciam essas dobras. Essa foliação é plano axial de dobras, apertadas a isoclinais, frequentemente observadas em todas as unidades da *nappe*, exibindo eixos de direção NW com caimentos suaves. As observações de afloramentos e seções delgadas mostram que nas zonas de charneira dessas dobras D₂, se observa, de modo paralelo ao bandamento composicional dobrado, uma foliação definida por minerais metamórficos, interpretada como sendo da fase de deformação mais antiga (D₁). Por isso, essa superfície, no presente trabalho, é denominada de S₁//S₀, que se apresenta, na maioria dos afloramentos, paralela ou subparalela à foliação principal (S₂).

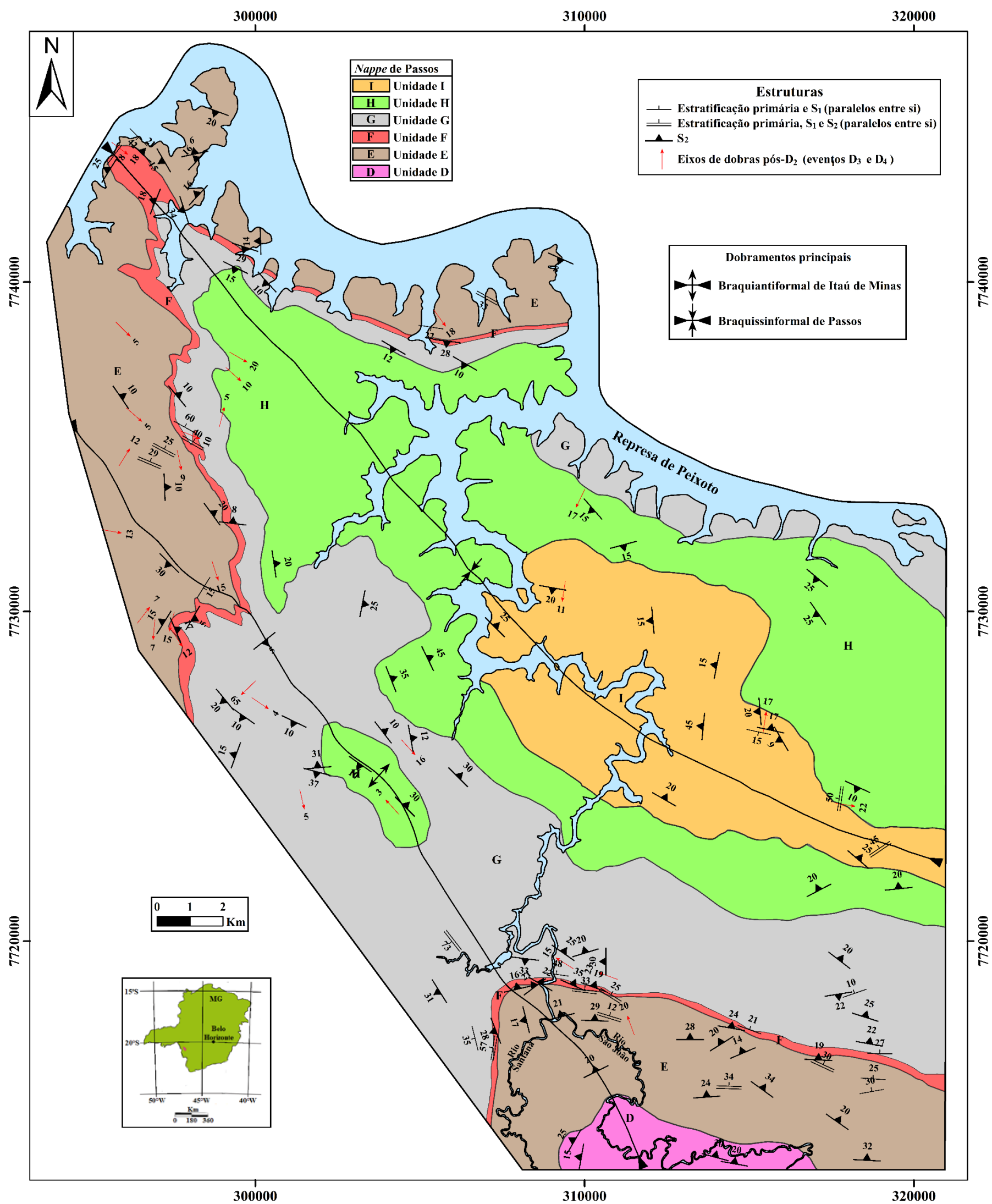


Figura 3.4: Mapa geológico do polígono de trabalho contendo a distribuição espacial das seis unidades litoestratigráficas da *Nappe* de Passos e as duas megadobras de fase D_3 verificadas em área. Também estão plotadas as estruturas medidas, assim como as integradas ao presente trabalho.

Como dobram a foliação principal (S_2) e com base nas orientações de eixos e planos axiais, as duas megadobras aqui descritas são consideradas como referentes à fase D_3 , que é registrada em dobras de âmbito local e/ou regional (HEILBRON *et al.* 1987; VALERIANO, 1992; SIMÕES, 1995; LUVIZOTTO, 2003; VALERIANO *et al.* 2003, 2007). Para a análise dessas estruturas, foram estabelecidos três domínios (Fig. 3.5), tomando-se como referencial as duas grandes dobras verificadas no polígono de pesquisa: a Braquissinormal de Passos e a Braquiantiformal de Itaú de Minas.

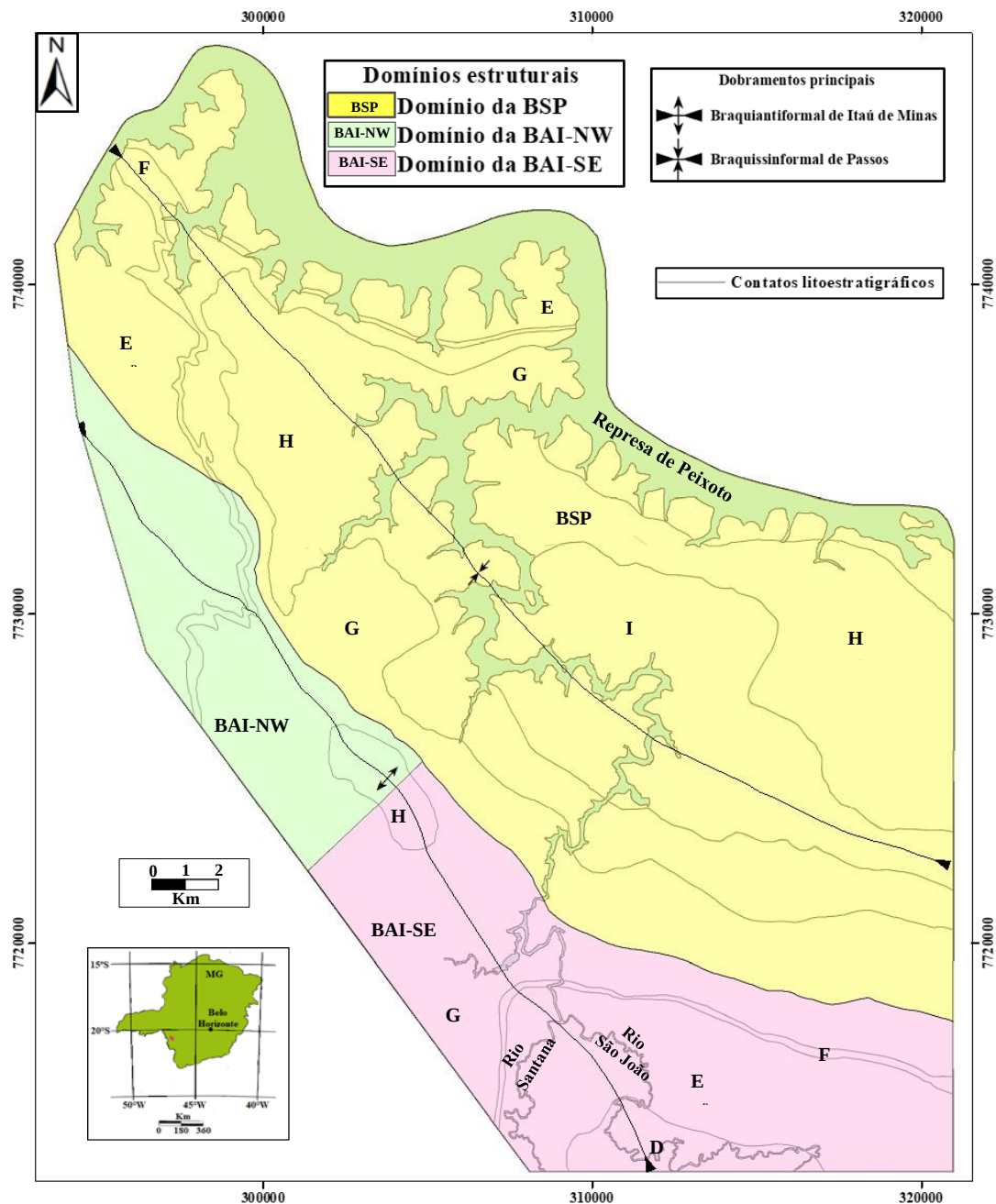


Figura 3.5: Distribuição espacial dos três domínios tectônicos em que o polígono de pesquisa foi compartimentado na realização da análise estrutural. Tratam-se dos domínios da BSP, BAI-NW e BAI-SE.

O primeiro domínio (BSP) corresponde à Braquissinformal de Passos. Ao analisar o contexto geológico regional (Fig. 2.1), percebe-se que se trata da porção ocidental da referida estrutura. Com relação à Braquiantiformal de Itaú de Minas, foram considerados dois domínios em função do caimento do eixo da estrutura a noroeste e sudeste da referida dobra, sendo designados pelas siglas BAI-NW e BAI-SE, respectivamente. Quando houver referência textual à Braquiantiformal de Itaú de Minas como um todo, ela será designada por BAI. A geometria da foliação S_2 pode ser bem evidenciada quando analisadas as medidas nos mapas da Fig. 3.4, juntamente com as projeções estereográficas apresentadas nas Figs. 3.6 a 3.8.

Na porção nordeste da área, dentro do Domínio BSP, S_2 apresenta mergulhos predominantemente de baixo ângulo para sudoeste (7° a 25°). Na porção central da área, ainda no Domínio BSP, S_2 passa a mergulhar para nordeste, definindo a estrutura sinformal, retornado a mergulhos para sudoeste, caracterizando a estrutura antiformal. A distribuição dos polos de S_2 para esse domínio (Fig. 3.6), em estereograma, define um padrão em guirlanda de círculo máximo (Fig. 3.6A), a partir da qual pode-se determinar que o eixo apresenta atitude 139/02. As atitudes preferenciais dos flancos são 233/19, para o flanco nordeste (Fig. 3.6B), e 57/22 para o sudoeste (Fig. 3.6C). As atitudes mais representativas de S_2 para cada flanco permite caracterizar a referida dobra como suave, com ângulo interflancos de 138° .

No Domínio BAI-NW, na porção noroeste da referida estrutura antiformal, os eixos de dobras parasíticas apresentam caimento de baixo ângulo para sudeste, predominantemente entre 5° a 22° , enquanto que no Domínio BAI-SE, o eixo apresenta caimento para o quadrante oposto, com ângulos situados no intervalo entre 19° a 33° . Para os dois domínios, também foram registrados mergulhos de S_2 destoantes das faixas de valores apresentadas acima dos 33° , sobretudo em relação ao limite superior (Figs. 3.7 e 3.8), todavia, possuem caráter pontual. No Domínio BAI-NW também é verificado que os polos de S_2 definem guirlanda de círculo máximo (Fig. 3.7), indicando que a dobra tem eixo com atitude 146/02 (Fig. 3.7A), flancos 59/11 (Fig. 3.7B) e 237/16 (Fig. 3.7C). O ângulo interflancos medido para as porções mais distantes da charneira foi de 132° , caracterizando uma dobra do tipo suave.

No domínio BAI-SE repete-se o padrão em guirlanda de círculo máximo (Fig. 3.8), com atitude representativa do eixo de 329/19 (Fig. 3.8A) e flancos de 54/18 (Fig. 3.8B) e 224/26 (Fig. 3.8C). O ângulo mais distante da região sob influência da zona de charneira é de 121° . Percebe-se que os ângulos interflancos determinados para os dois domínios referentes à BAI são menores em relação àquele observado para o domínio BSP.

Como correspondem a dobras de fase D_3 , que também é responsável pelo desenvolvimento da Falha de Cássia, cuja ocorrência encontra-se situada de modo adjacente ao limite SW da área estudada (fora da área – ver Fig. 2.3B), é esperado que as dobras mais próximas à zona de falha sejam mais apertadas.

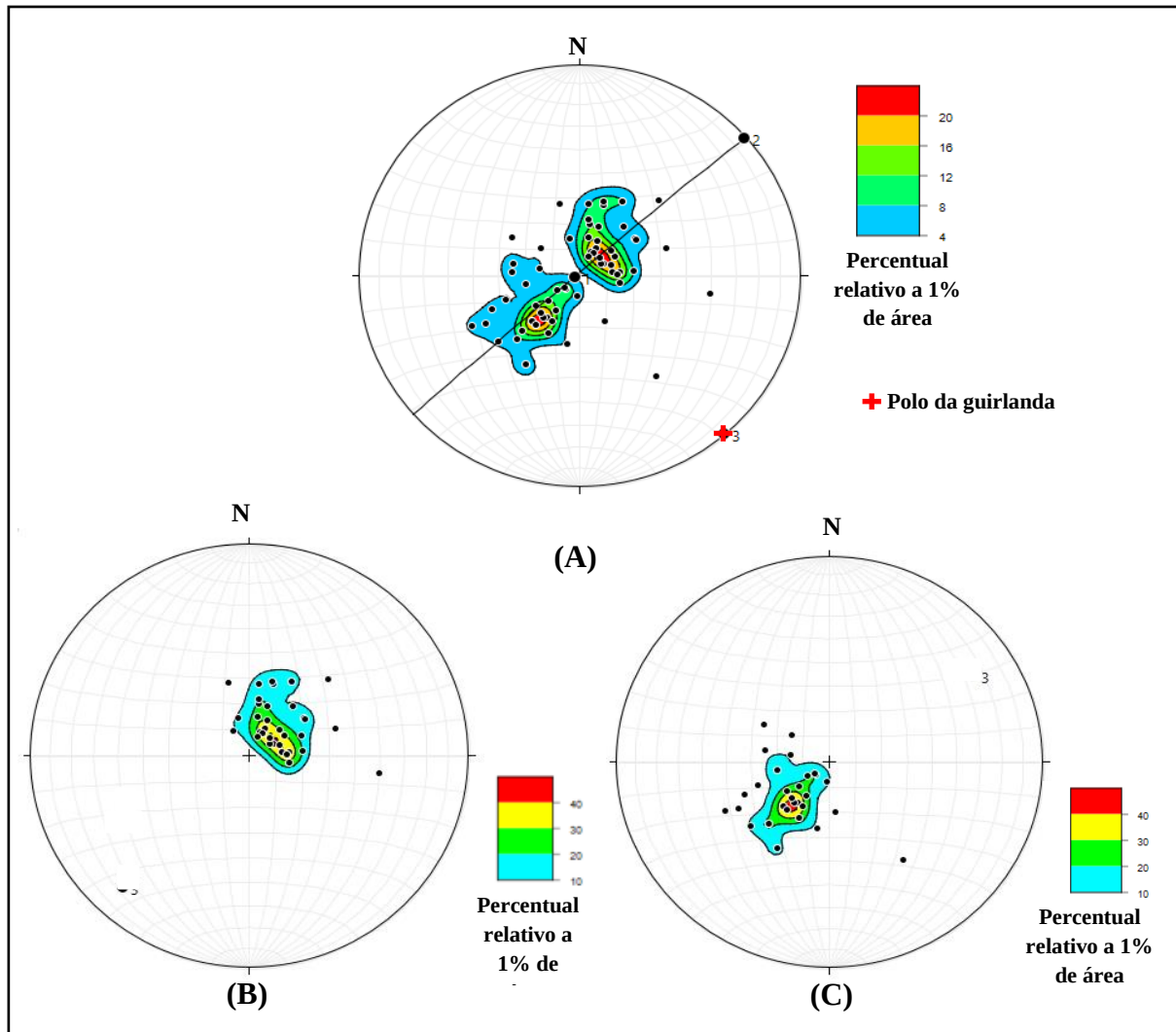


Figura 3.6: Estereogramas mostrando a distribuição dos polos de S_2 no Domínio BSP. (A) - Todas as medidas para esse domínio. O polo da guirlanda vista apresenta valor de 139/2. (B) - Flanco nordeste, com atitude representativa de S_2 de 233/19. (C) - Flanco sudoeste, cujo valor é de 57/22. (Projeção de Schmidt-Lambert, hemisfério inferior, número de medições = 73, 35 e 33, respectivamente).

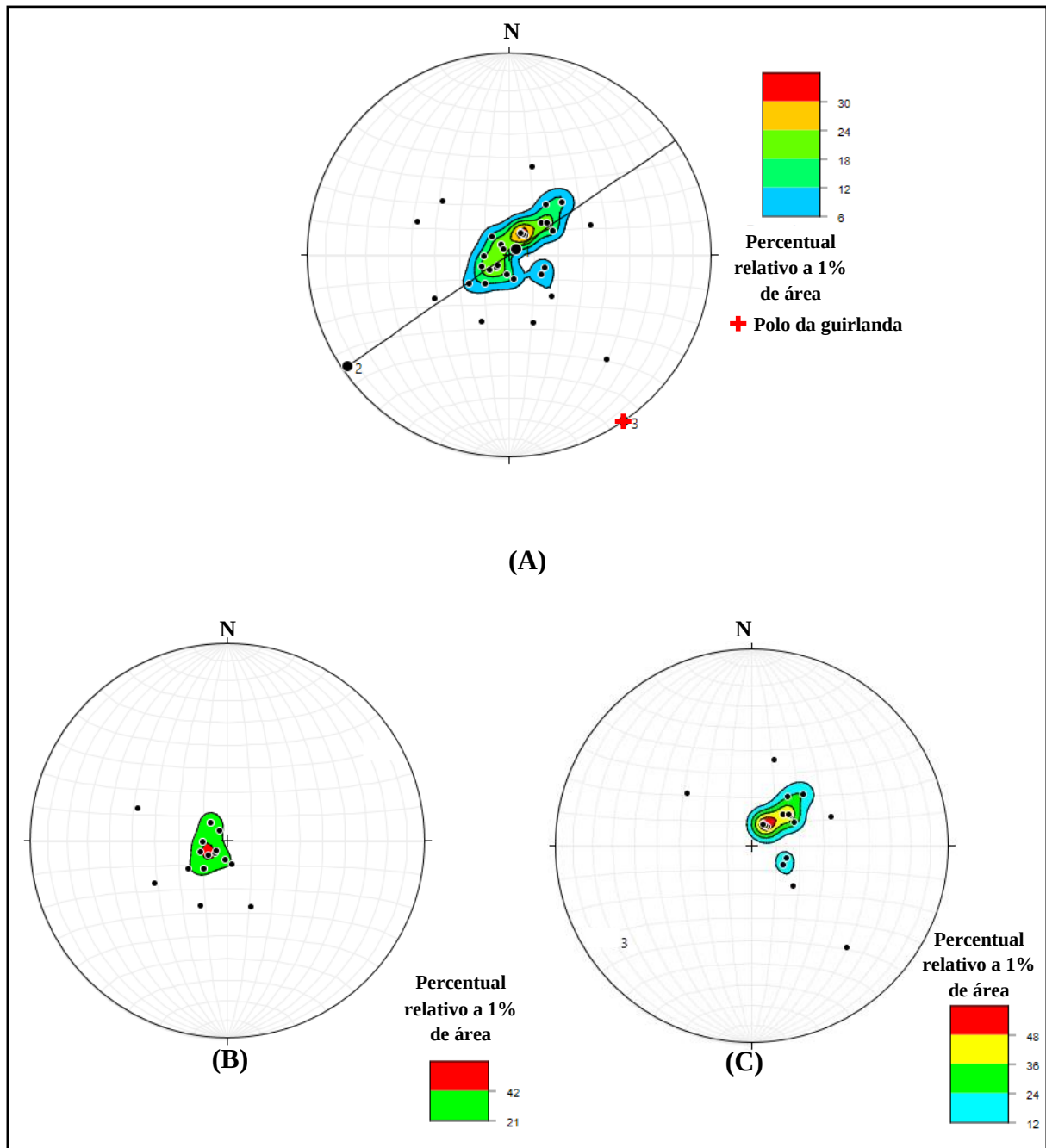


Figura 3.7: Estereogramas apresentando a distribuição dos polos de S_2 no domínio da BAI-NW. Em **(A)** - Todas as medidas deste domínio. O eixo da dobra pós- D_2 possui atitude de $146/2$, sendo evidenciado pelo polo da guirlanda formada. **(B)** e **(C)** - Têm-se, respectivamente, os flancos nordeste e sudoeste, cujo valores representativos de atitude são de $59/11$ e $237/16$. (Projeção de Schmidt-Lambert, hemisfério inferior, número de medições = 33, 15 e 16, respectivamente).

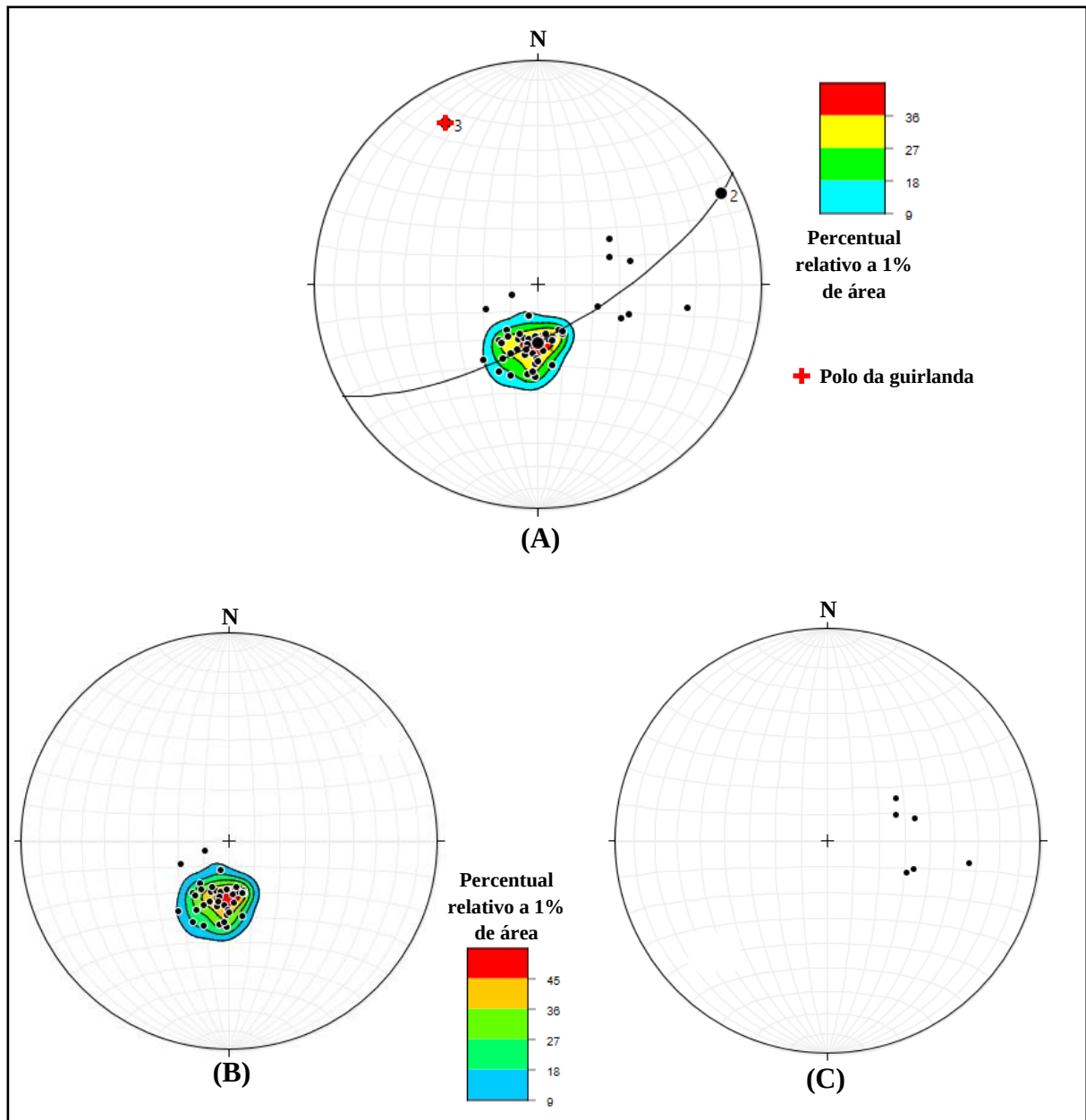


Figura 3.8: Estereogramas exibindo a distribuição dos polos de S_2 no Domínio BAI-SE. **(A)** – Todos os polos da foliação principal nesse domínio. O polo da guirlanda formada, cuja atitude é de 325/17, representa o eixo da dobra pós- D_2 . **(B)** e **(C)** – Respectivamente, os flancos nordeste e sudoeste da estrutura dobrada pós- D_2 presente neste domínio. Com base nesses dois estereogramas, denota-se que a atitude representativa de S_2 é de 54/18 no flanco nordeste e 224/26 no flanco sudoeste. (Projeção de Schmidt-Lambert, hemisfério inferior, número de medições = 41, 32 e 6, respectivamente).

Além das grandes dobras descritas acima, foram observadas, em alguns afloramentos, dobras e crenulações que afetam a foliação principal (S_2) das rochas da *Nappe* de Passos sendo, por isso, designadas no presente trabalho como pós- D_2 . Não foi verificada a presença de foliação plano axial, mas somente de dobras abertas a suaves, com plano axial subvertical.

O conjunto de dados sugere a existência de duas fases pós-D₂. Ambas apresentam deformação heterogênea, com significativa variação de frequência dessas estruturas de um setor para outro.

Na Fig. 3.9 são apresentados os eixos de dobras pós-D₂ evidenciados na área de trabalho (Fig. 3.9A), assim como seus respectivos planos axiais (Fig. 3.9B). A representação dos eixos de dobras pós-D₂ permite constatar a ocorrência de duas direções preferenciais com predomínio de caimento em baixo ângulo, sendo uma para NW e a outra para NNE. A família NW tem caimento predominante para SE, com atitude de 143/14 e minoritariamente para NW, com atitude de 307/4 (Fig. 3.9A).

A segunda família mostra valores máximos registrados em 17/2 e 188/8. As duas medidas com caimento em alto ângulo (60°) para o quadrante SW, outras duas em baixo ângulo para SEE (não ultrapassando os 13°) e uma localizada no quadrante NW provavelmente são da mesma geração, pois se ajustam à direção NNE.

Ocorrem outras medidas com baixo caimento para SSE e NNW que por apresentarem posição intermediária em relação às duas famílias, suas relações genéticas ficam duvidosas.

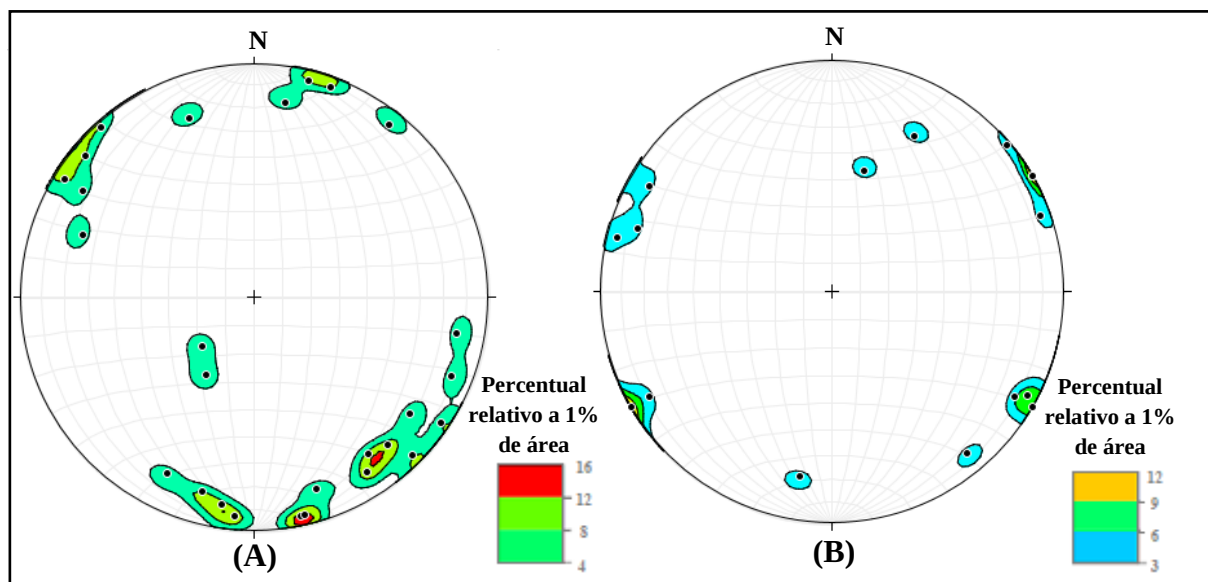


Figura 3.9: Estereogramas mostrando o padrão de distribuição de elementos de dobras pós-D₂ verificados ao longo da área. **A** - Eixo de dobras. Sugerem duas famílias com atitudes preferenciais 311/09 e 23/06, correspondendo às fases D₃ e D₄, respectivamente. (Projeção de Schmidt-Lambert, hemisfério inferior, n = 27); **(B)** - Polos dos planos axiais de dobras pós-D₂. (Projeção de Schmidt-Lambert, hemisfério inferior, número de medições = 27 e 15, respectivamente).

Embora não tenha sido observada relação de superposição das duas famílias de dobras, elas são interpretadas como D₃ (eixo NW) e D₄ (eixo NE) com base na correlação geométrica com as fases de deformação descritas por outros autores (HEILBRON *et al.*, 1987, VALERIANO, 1992; SIMÕES, 1995), sendo que a fase D₃ correspondente às dobras parasíticas das estruturas maiores observadas na área (BSP e BAI).

CAPÍTULO 4 - MEGAPORFIROBLASTOS NA NAPPE DE PASSOS

O estudo de porfiroblastos é de grande valia para o entendimento da evolução tectonometamórfica de cinturões orogênicos, tendo em vista que possibilitam o registro, sob a forma de inclusões passivas, de informações referentes às condições físico-químicas e estruturais da matriz da rocha durante o seu crescimento. Após cessar o crescimento do porfiroblasto, a matriz pode sofrer modificações decorrentes de eventos deformacionais que tendem a obliterar total ou parcialmente as estruturas preexistentes (ZWART, 1962; JOHNSON, 1999; PASSCHIER & TROUW, 2005). Por isso, o estudo dos padrões de inclusões e químicos de porfiroblastos revela-se como uma importante ferramenta para o entendimento da evolução tectonometamórfica de cinturões orogênicos (TROUW *et al.*, 2008; ROBYR *et al.*, 2009; CADDICK *et al.*, 2010; SCHMIDT *et al.*, 2015; DEMPSTER *et al.*, 2017).

Nas rochas metapelíticas da *Nappe* de Passos, porfiroblastos de granada são observados com grande frequência, sendo que, em ampla maioria, são de dimensões milimétricas (1 a 7 mm), identificados desde o topo da Unidade D até a Unidade I (SIMÕES & GIRARDI, 1995; LUVIZOTTO, 2003). Todavia, esporadicamente, ocorrem camadas de cianita-granadamuscovita xisto com porfiroblastos de diâmetros iguais ou superiores a 3 cm, denominados neste trabalho de “*megaporfiroblastos*”. Nesse segmento da Faixa Brasília, porfiroblastos exageradamente grandes em relação à matriz são descritos por Luvizotto (2003) e Luvizotto *et al.* (2015) para o topo da Unidade E e base da Unidade G, respectivamente. Para a primeira unidade, Luvizotto *et al.* (2015) constata a existência de cristais com diâmetros alcançando cerca de 7,5 cm. Já para a segunda, o valor relatado por Luvizotto (2003) é de aproximadamente 6 cm. Sob a forma de cascalheiras, com base nos trabalhos de campo realizados no presente trabalho, há o registro de granada com diâmetro de até aproximadamente 8 cm.

Neste capítulo, é apresentada a caracterização cinemático-textural e química de megaporfiroblastos da *Nappe* de Passos, fazendo-se a comparação, segundo esses parâmetros de análise, com os porfiroblastos de tamanho comum, de modo a avaliar seus significados no contexto de evolução tectonometamórfica da *nappe*.

4.1 Métodos para o Estudo dos Megaporfiroblastos

O trabalho envolveu levantamento de campo, para reconhecimento das ocorrências de megaporfiroblastos e seleção de afloramentos para estudo detalhado, petrografia para identificação das microestruturas dos porfiroblastos de granada e análise de microsonda visando determinar possíveis zonações químicas nesses porfiroblastos.

4.1.1 Trabalhos de Campo

Das seis ocorrências conhecidas de megaporfiroblastos na *Nappe* de Passos (Fig. 4.1), selecionou-se para o presente estudo aquela referente ao ponto MR-1 (X: 337799; Y: 7705693), situado no Km 3,3 da Estrada das Areias, área rural do município de Passos (MG), pois apresenta boas exposições e é menos afetada por alteração intempérica. Trata-se de uma crista formada por blocos e afloramentos alinhados de biotita-cianita-granada-quartzo-muscovita xisto da Unidade E que se estende por cerca de 270 metros, na direção NW. Foram realizadas medidas das estruturas e coletadas quatro amostras orientadas, com dimensões máximas de 60 x 30 x 20 cm. Além dessas amostras, foram coletados trinta e cinco megaporfiroblastos de granada, isolados, sendo dezesseis orientados. Esse material foi utilizado para estudos petrográficos, sendo realizados vários cortes, preferencialmente nas posições XZ e YZ, com base na trama de tectonito SL que a rocha apresenta. A partir desse afloramento, fez-se um mapa local que permitiu identificar a continuidade da ocorrência para SE e localizar uma segunda ocorrência, posicionada estratigraficamente acima, mais próxima ao contato com a base da Unidade F. Também foram selecionadas amostras de granada-muscovita xistos desta e de outras localidades (Fig. 4.1) com porfiroblastos de granada apresentando dimensões comumente encontradas ao longo da *Nappe* de Passos (em geral, menor que 1 cm), que também foram analisadas em cortes XZ e YZ.

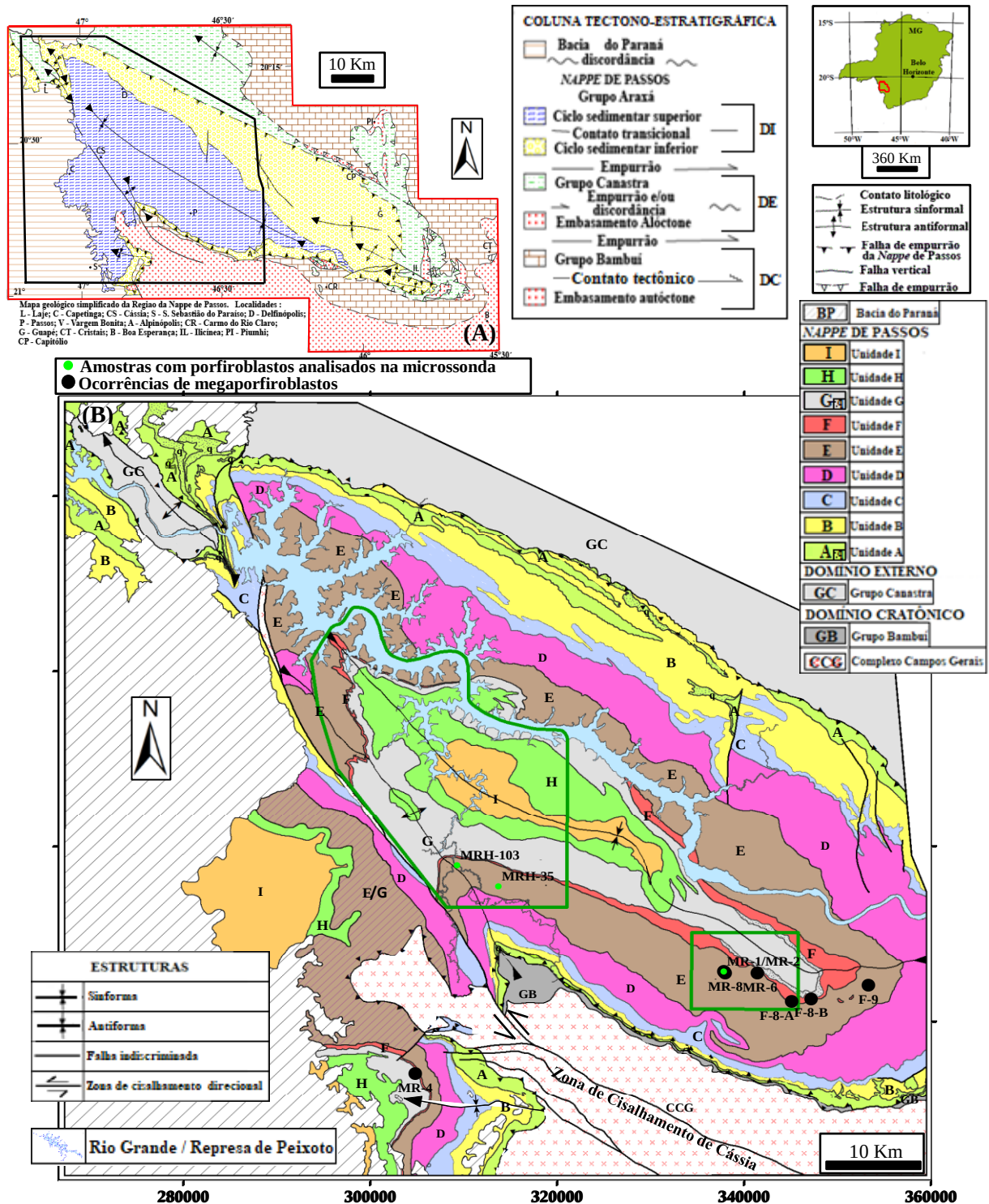


Figura 4.1: Mapa geológicos relativos à *Nappe de Passos*. **(A)** - Mapa mostrando os principais compartimentos tectônicos da região segundo Simões (1995), onde o polígono preto indica a área representada no mapa inferior. Em sua coluna tectono-estratigráfica, os Domínios Interno, Externo e Cratônico foram simplificados como DI, DE e DC, respectivamente. **(B)** - Mapa geológico da porção oriental da *Nappe de Passos*, mostrando a localização das amostras estudadas e das ocorrências de megaporfiroblastos conhecidas. O retângulo na porção SE indica a área mostrada na Fig. 4.2, que inclui a ocorrência de megaporfiroblastos estudada (MR-1). Informações integradas de Simões (1995), Luvizotto (2003), Simões *et al.* (2006), Valeriano *et al.* (2007), Zanardo *et al.* (2008) e Luvizotto *et al.* (2015).

4.1.2 Avaliação Textural dos Porfiroblastos

Foram confeccionadas dezessete lâminas de megaporfiroblastos das amostras coletadas no ponto MR-1 (Fig. 4.2). Com base na foliação principal e lineação mineral associada, quatro delas foram produzidas em cortes XZ e as outras treze na seção YZ. Também foram analisadas duas amostras polidas do ponto supramencionado, sendo uma seccionada segundo o plano XZ (corte de aproximadamente 15 x 30 cm) e a outra em YZ (corte de cerca de 15 x 20 cm). Para o estudo dos porfiroblastos de tamanho comum foram analisadas dezesseis seções delgadas referentes às Unidades E, F, G e H, também cortadas em XZ (quatro lâminas) e YZ (doze). Para cada lâmina, foram identificados os padrões de inclusões em, ao menos, um cristal para cada uma, sendo registrados em fotografias e desenhos.

Foram realizados estudos quantitativos de inclusões em quatro megaporfiroblastos de granada (lâminas MR-1-N, MR-1-P, MR-2-N e MR-2-P) considerando tamanho, frequência e fase mineral. Para medir os diâmetros das inclusões, foi utilizado o programa *ImageJ*, desenvolvido pela *NIH (National Institutes of Health)*. A área dos megaporfiroblastos vista em lâminas foi dividida em três segmentos (núcleo, intermediário e borda) expressos como contornos concêntricos, seguindo aproximadamente a forma dos cristais, permitindo a quantificação do tamanho das inclusões separadamente para cada um dos segmentos (ver Fig. 4.9 a 4.12).

4.1.3 Química dos Porfiroblastos

Foram realizados quinze perfis borda-a-borda em cristais de granada, passando por suas respectivas porções de núcleo (ver exemplo na Fig. 4.11), sendo sete em megaporfiroblastos do ponto MR-1 e oito em porfiroblastos de tamanho comum de amostras de outras localidades, todas pertencentes à Unidade E. Foi utilizada microsonda eletrônica da marca *JEOL*, modelo *JXA-8230*, do Laboratório de Microsonda do Departamento de Petrologia e Metalogenia (DPM) da Universidade Estadual Paulista (UNESP). As condições de análise foram: diferença de potencial de 15 kV, corrente de 20 nA, diâmetro do feixe de 10 µm e tempo de contagem de 10 a 20 segundos nos picos e 5 a 10 segundos nas posições de *background*.

4.2 Resultados

A amostragem dos megaporfiroblastos foi realizada no segmento sudeste da *Nappe* de Passos (Fig. 4.2), em cinco pontos; MR-1; MR-6 (X: 341390, Y: 7705450), MR-8 (X: 337971; Y: 7705503), MR-12 (X: 338732; Y: 7705074), MR-20 (X: 340497; Y: 7703906) e F-8-A (X: 7702241; Y: 7702241). Nesses pontos, são encontrados cristais *in situ*, nos xistos hospedeiros, ocorrendo sob a forma de camadas, sendo que as amostras menos intemperizadas foram obtidas no ponto MR-1. Em outros cinco pontos, os megaporfiroblastos se apresentam em caráter abundante, porém sob a forma de cascalheiras.

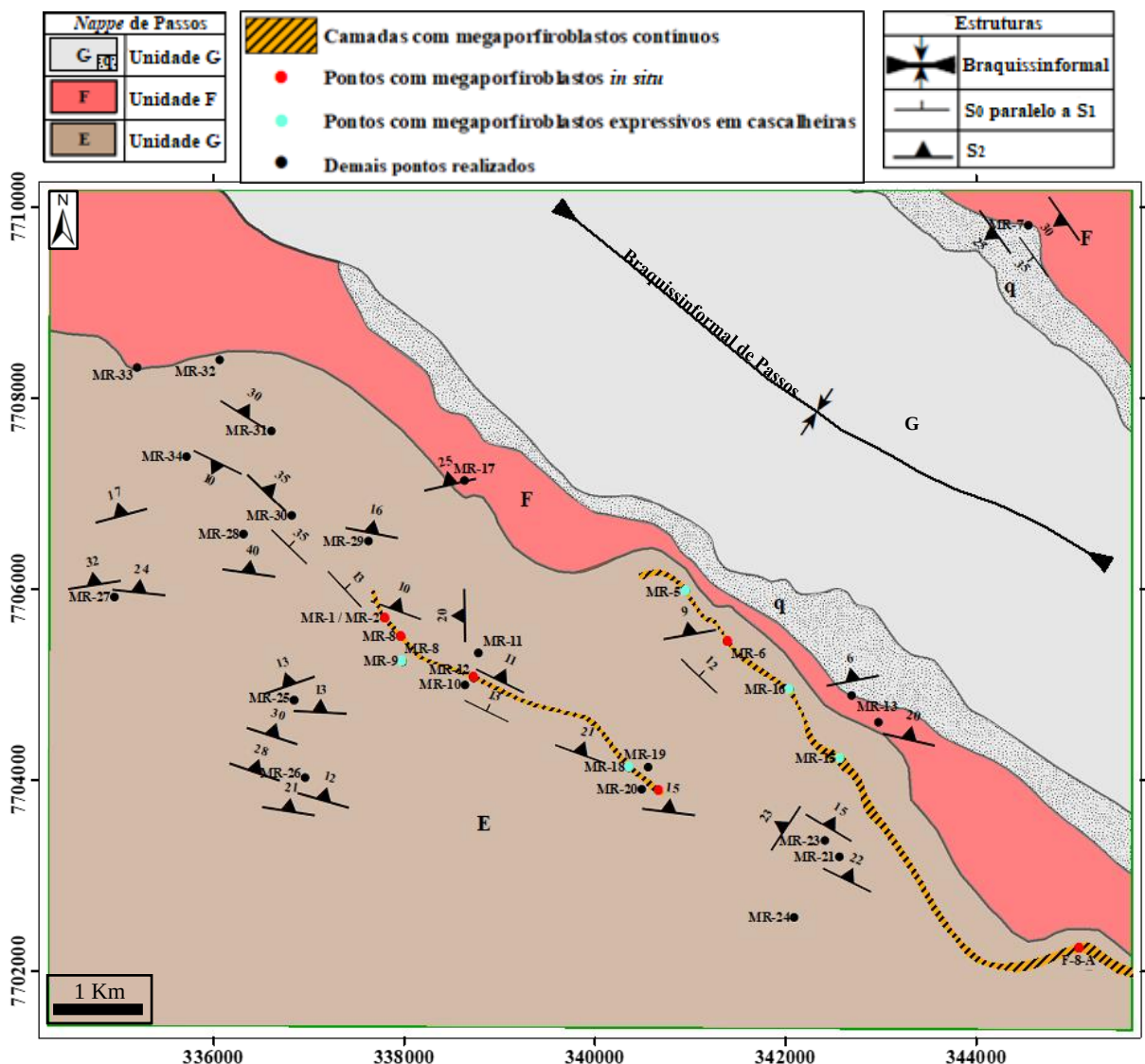


Figura 4.2: Mapa simplificado de segmento da porção sudeste da *Nappe* de Passos indicando as camadas contendo megaporfiroblastos nos arredores do ponto MR-1. O ponto MR-6 (X: 341390; Y: 7705450), corresponde a cianita-granada-quartzo-muscovita xisto com biotita em corte artificial destinado para silo. A localização do mapa na *Nappe* de Passos está indicada na Fig. 4.1 e o conteúdo litológico das unidades são apresentados no Cap. 2 – item 2.2 e Fig. 2.2.

O afloramento do ponto MR-1 é uma pequena crista de direção NW, localizada 7,3 Km a sudeste da sede do município de Passos (MG), que possui cerca de 270 metros de comprimento, com largura variando de 10 a 15 metros (Fig. 4.3). Em termos estratigráficos, encontra-se na Unidade E, a cerca de 340 metros em relação à base da Unidade F. O bandamento composicional (S_0) e a foliação S_1 são paralelos entre si, apresentando atitude preferencial de 047/13. A foliação principal (S_2) ocorre em baixo ângulo com S_0/S_1 , com atitude preferencial 020/10.



Figura 4.3: Crista de blocos e afloramentos de cianita-granada-muscovita xisto com rutilo e ilmenita e, por vezes, biotita e estauroлита, com megaporfiroblastos de granada. Estratigraficamente, ela situa-se porção superior da Unidade E. Ponto MR-1. Visada para NW.

A crista é formada por blocos e afloramentos alinhados de biotita-cianita-granada-quartzo-muscovita xisto com rutilo e ilmenita (ambos inferiores a 5% da composição total) e,

por vezes, pequenas quantidades de biotita e estauroлита (2 a 10%). Megaporfiroblastos de granada (3 a 6 cm de diâmetro maior) são abundantes, com alguns deles atingindo a ordem dos 7,5 cm. Além de granada, foi constatada a presença de quartzo, cianita, muscovita, biotita, estauroлита, rutilo e ilmenita. Os megaporfiroblastos de granada sempre exibem inclusões, principalmente de rutilo, quartzo e ilmenita, e minoritariamente de cianita, muscovita, biotita e estauroлита (Tab. 4.1).

A Tab. 4.1, o valor apresentado para granada (13%), por se tratar de megaporfiroblastos, foi extraído com base na média aritmética simples dos percentuais estimados desses minerais para as duas amostras polidas analisadas no presente estudo, sendo seccionadas segundo os cortes XZ (11%) e YZ (15%). Ver Fig. 4.18.

Tabela 4.1: Percentual de minerais da matriz e inclusos nos megaporfiroblastos de granada. Abreviação de minerais segundo Kretz (1983)

Lâmina	Inclusão (I) ou Matriz (M)	Ms	Qtz	Grt	Ky	St	Bt	Rt	Ilm
MR-1	M	40%	26%	13%	10%	5%	3%	2%	1%
	I	Raro	Mod.	-	Raro	Raro	Raro	Pouco	Pouco
MR-1-C	M	44%	23%	13%	14%	2%	2%	1%	1%
	I	Raro	Muito	-	Raro	-	Raro	Pouco	Mod.
MR-1-E	M	50%	21%	13%	10%	2%	2%	1%	1%
	I	Raro	Mod.	-	Raro	Raro	Raro	Pouco	Pouco
MR-1-G ₂	M	43%	30%	13%	8%	-	4%	1%	1%
	I	-	Muito	-	-	-	Raro	Mod.	Pouco
MR-1-N	M	47%	24%	13%	13%	-	-	2%	1%
	I	-	Muito	-	Mod.	-	-	Mod.	Pouco
MR-1-P	M	42%	32%	13%	11%	-	-	1%	1%
	I	-	Muito	-	Raro	-	-	Pouco	Raro
MR-2-N	M	46%	23%	13%	15%	-	-	2%	1%
	I	-	Muito	-	-	-	-	Pouco	Raro
MR-2-P	M	41%	32%	13%	11%	-	-	2%	1%
	I	-	Mod.	-	-	-	-	Mod.	Raro
MR-1-B	I	Raro	Muito		-	-	Raro	Pouco	Pouco
MR-1-F	I	-	Muito	-	-	-	-	Pouco	Pouco
MR-1-G ₁	I	Raro	Muito	-	-	-	Raro	Mod.	Pouco
MR-1-G ₃	I	Raro	Muito	-	-	-	Raro	Mod.	Pouco
MR-1-G ₄	I	Raro	Muito	-	-	-	Raro	Pouco	Pouco
MR-1-G ₅	I	Raro	Muito	-	-	-	Pouco	Mod.	Pouco
MR-1-G ₉ -SP ₁	I	Raro	Muito	-	-	-	Raro	Pouco	-
MR-1-G ₁₀	I	Raro	Muito	-	-	-	Raro	Pouco	Pouco

Obs.: Moderado encontra-se abreviado como “Mod.”.

O levantamento de campo realizado para avaliar essa ocorrência de megaporfiroblastos permitiu identificar que ela apresenta comportamento de camada seguindo a orientação do bandamento composicional (S_0), interpretado como estratificação primária dos metassedimentos, também indicado pelo contato das unidades litoestratigráficas. Adicionalmente, se identificou uma segunda ocorrência, também em forma de estrato, no ponto MR-6 (Fig. 4.2), próximo ao contato basal da unidade F. Assim, os dados de campo indicam que os megaporfiroblastos nessa área estão associados a dois níveis estratigráficos distintos, ambos situados na porção superior da unidade E. O exame detalhado dos afloramentos indica o mesmo padrão nas duas ocorrências.

A melhor exposição da distribuição dos megaporfiroblastos em rocha foi encontrada no ponto MR-6, que é um corte artificial destinado para silo (Fig. 4.4). Embora a alteração intempélica seja forte, como indicado pela limonitização parcial dos porfiroblastos de granada, as feições texturais estão bem preservadas. O silo possui 12 metros de comprimento por 3,5 metros de largura, apresentando altura máxima de 3,2 metros.

A rocha corresponde a um cianita-granada-quartzo-muscovita xisto com ilmenita e rutilo e, por vezes, com biotita, exibindo bandamento composicional marcado pela variação da proporção dos minerais, principalmente quartzo, chegando a formar algumas camadas de quartzo xisto. Paralela ao bandamento observa-se uma foliação (S_1) marcada principalmente por cristais de muscovita e rutilo com atitude 043/12. A foliação principal (S_2) é uma clivagem de crenulação apertada, passando a xistosidade, associada a forte recristalização, exibindo atitude 350/9. Foi possível reconhecer onze camadas (Fig. 4.4), com espessuras variando de 6 a 80 cm de espessura, sendo que as camadas 3, 5 e 10 (com espessuras de 19, 40 e 70 cm, respectivamente) apresentam megaporfiroblastos. Juntamente com esses megacristais também ocorrem porfiroblastos de tamanhos menores (Fig. 4.5).

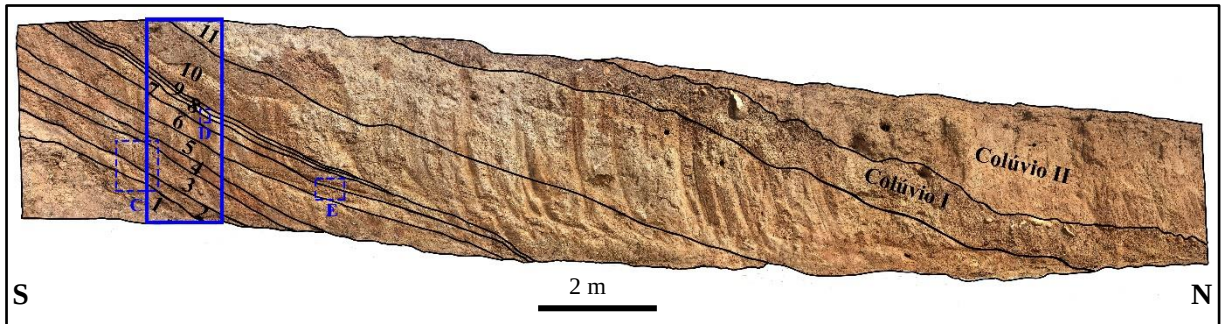


Figura 4.4: Parede lateral em afloramento de corte artificial (silo) mostrando as onze camadas identificadas (traços em preto) além das coberturas coluvionares. O retângulo em azul-escuro contínuo representa a localização da seção colunar, apresentada na Fig. 4.5. Já os descontínuos indicam a posição de três fotografias de detalhamento de camadas, também mostradas na mesma figura.

As 11 camadas identificadas se diferenciam no tamanho dos porfiroblastos de granada e na proporção dos minerais constituintes da rocha, principalmente granada, quartzo e muscovita. Dessa forma, camadas ricas em megaporfiroblastos (por exemplo, as camadas 3 e 5, Fig. 4.5 C), ocorrem ao lado de camadas com porfiroblastos de granada pequenos (por exemplo, as camadas 4 e 6) e são evidentes as variações litológicas caracterizadas pela intercalação de termos mais quartzosos nos granada xistos (fotografias D e E).

A porcentagem de granada varia de 5 a 35% da rocha, sendo que as camadas com megaporfiroblastos apresentam porcentagens de 15 a 35%. Entretanto, algumas camadas que não possuem megaporfiroblastos alcançam 30% de granada. O estudo desse afloramento, juntamente com o ponto MR-1, mostra que os megaporfiroblastos ocorrem em camadas centimétricas a decimétricas intercaladas em xistos de composições semelhantes, porém com porfiroblastos de granada de tamanho comum. A composição mineralógica das camadas é relativamente monótona, sendo a diferença entre uma camada e outra determinada pela variação na proporção dos constituintes principais. Observa-se que as camadas com megaporfiroblastos tendem a apresentar grande abundância de cianita (em torno de 10 a 25%), sugerindo que a formação destes cristais grandes esteja controlada por composições muito aluminosas.

O afloramento descrito no ponto MR-6 permite constatar três importantes evidências: (1) os megaporfiroblastos seguem a estratificação primária (S_0); (2) como a foliação principal (S_2) está em ângulo com S_0 , pode-se descartar que o desenvolvimento dos megaporfiroblastos tenha sido controlado por zonas de concentração de deformação dessa fase; (3) Camadas com igual abundância de granada (entre 30 e 35%) com megaporfiroblastos e com porfiroblastos de tamanho normal ocorrem lado-a-lado. Elas apontam fortemente para o fato de que a ocorrência de megaporfiroblastos é controlada principalmente pela estratificação primária.

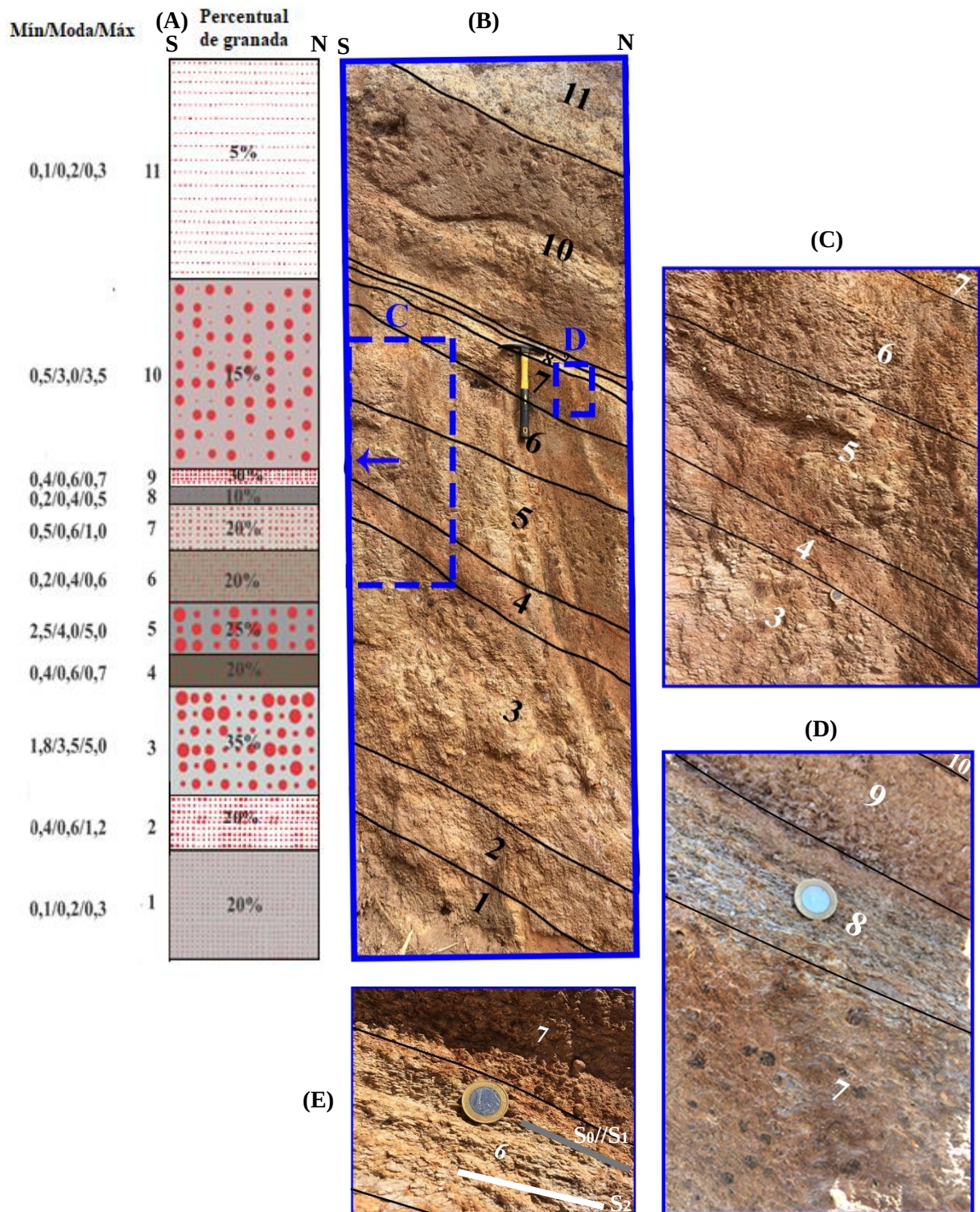


Figura 4.5: Coluna esquemática (A) e fotografia (B) das 11 camadas distinguíveis em corte artificial destinado para silo (Ponto MRH-6). Estão indicados, para cada camada, a sua respectiva espessura, o percentual de granada, assim como os valores mínimo (mín), moda e máximo (máx) para o diâmetro maior dos porfiroblastos de granada. (C) - Foto de detalhe destacando as camadas 3 e 5, ricas em megaporfiroblastos, adjacente a camadas com porfiroblastos milimétricos a subcentimétricos (camadas 4 e 6). (D) e (E) - Ilustram variação litológica bem evidenciada pela intercalação de camadas mais quartzosas (camadas 8 e 6) e camadas mais micáceas (camadas 7 e 9). Diâmetro da moeda = 2,7 cm. (E) – Detalhe das camadas 6 e 7, indicando os traçados de S_0/S_1 (em cinza) e S_2 (em branco).

Na localidade MR-1, o afloramento ao longo da crista permitiu boa observação da forma e tamanhos dos megaporfiroblastos, bem como obtenção de amostras orientadas para estudos em laboratório. Em geral, o formato dos megaporfiroblastos é elipsoidal (Fig. 4.6), com proporção predominante dos eixos maior, intermediário e menor: 1,3-1,0-0,7.

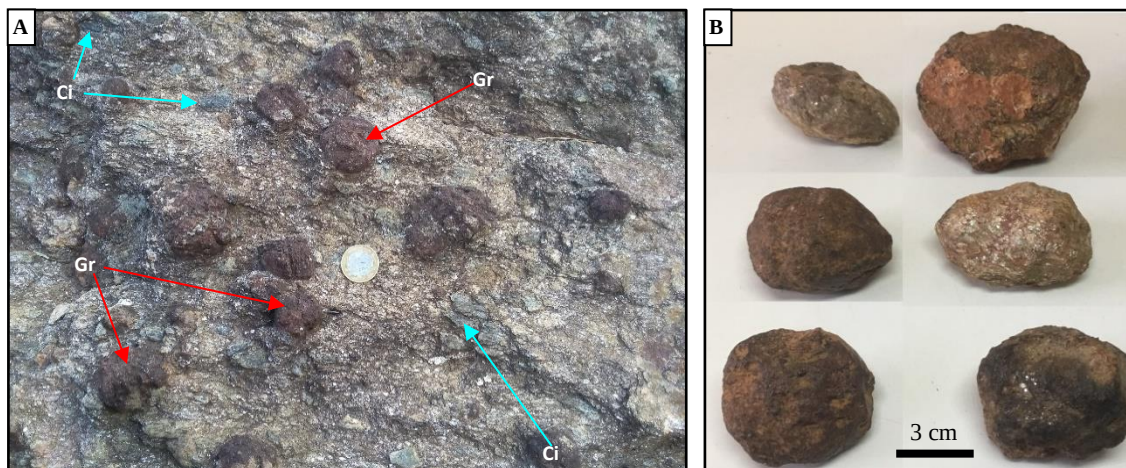


Figura 4.6: Megaporfiroblastos de granada. **A)** Detalhe de camada rica em megaporfiroblastos (Gr) do ponto MR-1, vistos sobre o plano da foliação principal (S_2). Apresentam geometria elipsoidal, com eixo maior orientado segundo a lineação mineral (notar orientação preferencial dos cristais de cianita). Também estão destacados alguns porfiroblastos de cianita (Ci). **B)** Megaporfiroblastos de granada mostrando a forma elipsoidal típica.

O arranjo geométrico em relação ao plano de foliação indica orientação preferencial com eixos maior e intermediário paralelos a subparalelos ao plano da foliação principal (Fig. 4.6A), sendo o eixo maior predominantemente paralelo à lineação mineral (L_2). Deste modo, a orientação de forma dos megaporfiroblastos segue, preferencialmente, os eixos do elipsoide de deformação D_2 . Tal comportamento é interpretado como sendo devido a crescimento controlado pelas anisotropias preexistentes (S_1/S_0), estando associado ao campo de deformação D_2 , como sugerem as microestruturas nos megaporfiroblastos e na matriz.

4.2.1 Padrões de Inclusões dos Megaporfiroblastos

Foram analisados os padrões de inclusões em quarenta e seis megaporfiroblastos, sendo vinte e nove seccionados perpendicularmente à L_2 (seções YZ) e dezessete paralelos a essa lineação (seções XZ).

Os megaporfiroblastos são, em sua maioria, do ponto MR-1 e alguns do ponto MR-6. Todavia, o elevado grau de alteração nesse último afloramento, em geral, dificultou a plena

caracterização de seus os padrões. Os cortes realizados em posição perpendicular à L_2 são os que permitiram um melhor entendimento dos padrões de S_1 (foliação interna definida pelas trilhas de inclusões) dos porfiroblastos. As inclusões são formadas principalmente por quartzo, rutilo e ilmenita, além de cianita, biotita, muscovita e estaurolita em caráter minoritário.

A maioria dos megacristais analisados em cortes YZ (quinze) apresenta no núcleo trilhas de inclusões retas a suavemente crenuladas, com aumento progressivo do apertamento das crenulações em direção à borda, onde alcançam ângulos interflancos em torno de 90 a 70°, exibindo configuração simétrica (Fig. 4.7A). Secundariamente, também há o registro de padrões assimétricos (Fig. 4.7B) em “S” (dois cristais) e “Z” (dois cristais), tendo como referencial, a visada para SE. A foliação S_e ($=S_2$) se amolda aos porfiroblastos e, em geral, não se identifica continuidade entre S_1 e S_e .

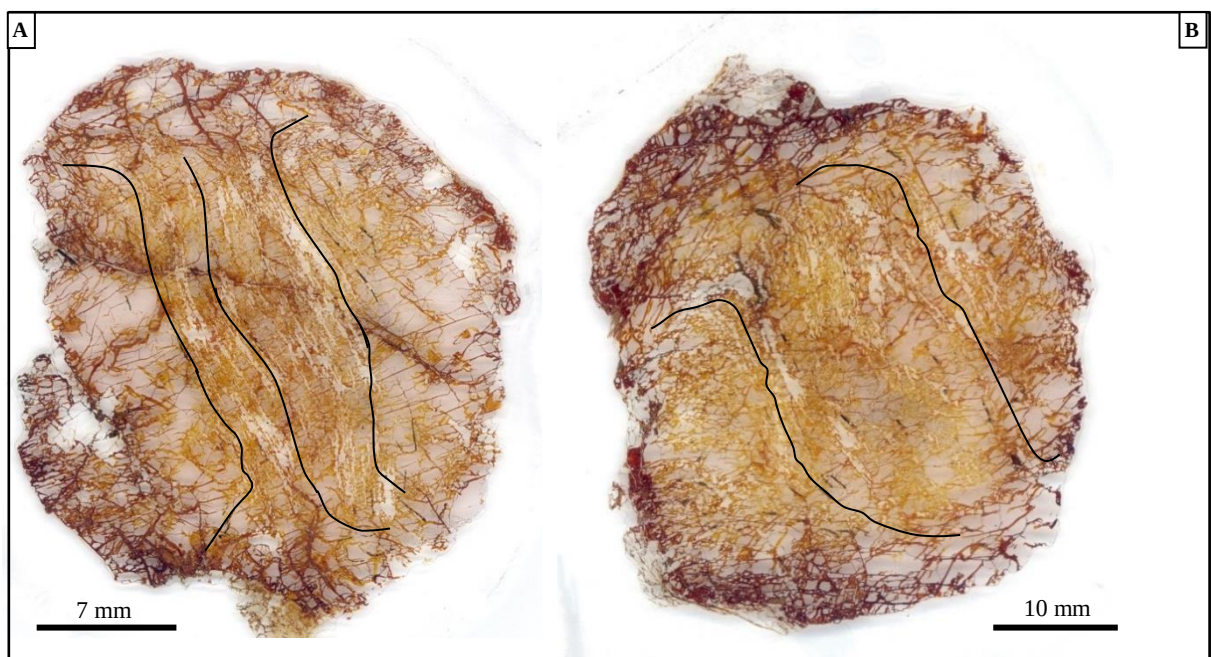


Figura 4.7: Fotos de lâminas mamute ilustrando os padrões de inclusões observados em megaporfiroblastos da *Nappe* de Passos, mostrando S_1 reto no centro e progressivamente crenulado, com maior intensidade na borda em relação ao núcleo. Ponto MR-1 (Unidade E). **(A)** Padrão simétrico (tipo milípede), amostra MR-1-G4. **(B)** Padrão assimétrico (tipo sigmoidal), MR-1-G3. Cortes YZ.

Na matriz, se identifica que S_e (foliação externa), correspondente a S_2 , que é uma clivagem de crenulação apertada associada a pronunciada recristalização evidenciada por arcos poligonais de micas (Fig. 4.8). São observados resquícios de uma foliação pretérita (S_1), marcada sobretudo pela orientação de alguns poucos cristais de mica e quartzo que não foram

totalmente obliterados por D₂. O padrão observado indica que S₁ corresponde a S₁ e registra o estágio inicial da crenulação D₂ que, após cessar o crescimento dos porfiroblastos, se tornou progressivamente mais apertada, transpondo e obliterando parcialmente S₁ na matriz.

Outra feição observada tanto nos cortes YZ quanto XZ é que as bordas dos cristais apresentam menor quantidade de grãos inclusos (Figs. 4.7 e 4.9), evidenciando zonação, que será melhor discutida adiante juntamente com perfis químicos (item 4.2.2). A passagem da porção mais rica em inclusão para a borda é gradacional. A redução da quantidade de inclusões na borda indica maior mobilidade iônica, sugerindo que o crescimento desses porfiroblastos foi acompanhado do aumento progressivo de temperatura.

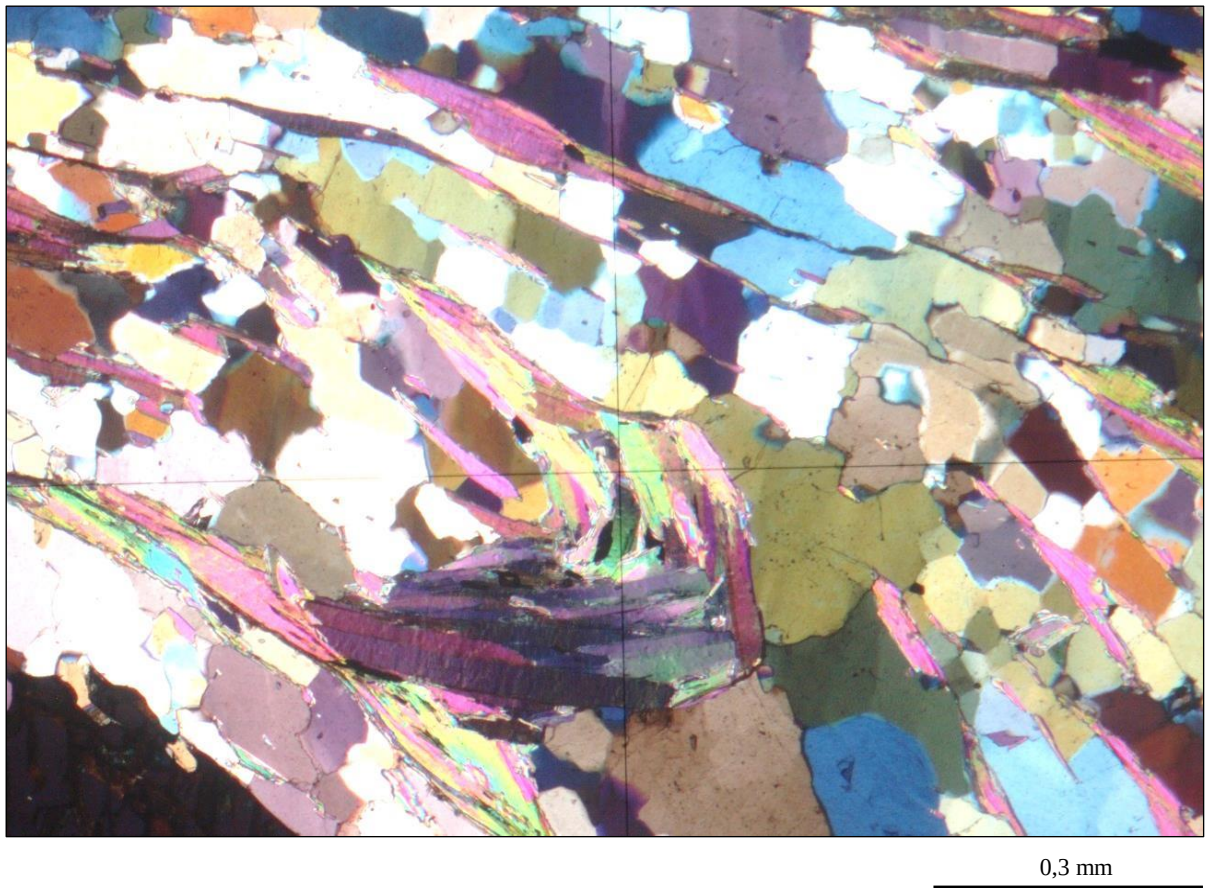


Figura 4.8: Fotomicrografia de muscovita-quartzo xisto destacando a presença de dobra de fase D₂ exibindo arco poligonal de muscovita, que é uma feição comum associada à foliação S₂. Polarizadores cruzados. As cores de interferência são mais altas por tratar de uma lâmina mais espessa ($\approx 35 \mu\text{m}$).

O padrão observado em quatorze megaporfiroblastos em seções XZ (paralelas à L₂) mostra trilhas de inclusões essencialmente retilíneas a levemente curvadas nas bordas (Fig. 4.9).

A observação detalhada das microestruturas revela a ocorrência sistemática de algumas feições diagnósticas: (1) S_1 não apresenta continuidade com S_e ; (2) foliação principal, $S_e=S_2$, se amolda ao redor dos megaporfiroblastos; (3) os porfiroblastos de granada apresentam sombras e capas de deformação; (4) S_1 é preservada no interior do porfiroblastos registrando crenulações D_2 suaves. Essas feições permitem classificar os megaporfiroblastos, em termos cinemáticos, como sendo formados em cedo- D_2 .

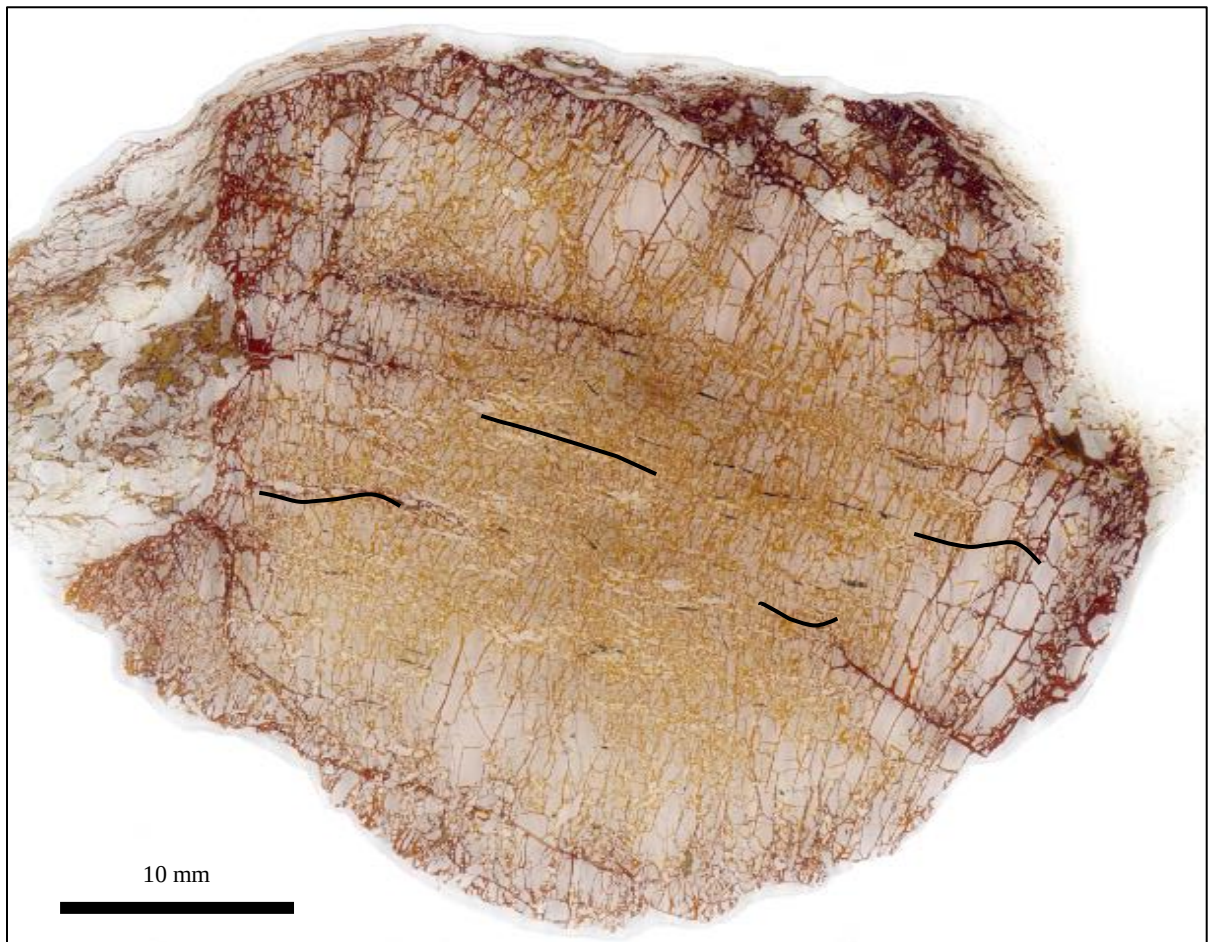


Figura 4.9: Padrão de inclusões na amostra MR1-G₂, em corte XZ. Mostra S_1 essencialmente reto, mas levemente curvado na borda. Ponto MR-1, Unidade E.

Outro aspecto importante relativo às inclusões, principalmente as de rutilo, é que apresentam, em geral, aumento de tamanho do núcleo em direção à borda, onde alcançam dimensões semelhantes às aquelas verificadas na matriz da rocha. Visando uma determinação quantitativa dessa variação foram selecionados megaporfiroblastos relativos às amostras MR-1 e MR-2, que são pertencentes ao mesmo afloramento, sendo confeccionadas quatro lâminas do tipo mamute. Utilizando-se fotos e programa de imagens (*Image-J*), com auxílio do

microscópio, foram levantados os diferentes tipos de inclusões, sendo desenhados os seus contornos, considerando-se três setores (núcleo, intermediário e borda), arbitrados e separados por linhas concêntricas aproximadamente paralelas à borda do porfiroblasto (Figs. 4.10 a 4.13). Além de grãos de quartzo e rutilo, também foi constatada a presença de ilmenita em todas as lâminas e de cianita em duas.

Para o megaporfiroblasto MR-1-N (Fig. 4.10), constata-se que as médias do comprimento maior dos cristais de rutilo no núcleo e no segmento intermediário são aproximadamente iguais (0,15 e 0,12 mm, respectivamente), mostrando aumento em direção à borda (0,22 mm) e na matriz (0,29 mm). As inclusões de quartzo apresentam comportamento similar, com menor tamanho no núcleo (0,49 mm) e maior na borda (0,52 mm). Entretanto, no setor intermediário, eles são ligeiramente maiores (0,55 mm) em relação à borda (0,52 mm) (Tab. 4.2).

Tabela 4.2: Estudos quantitativos das inclusões nos megaporfiroblastos MR-1-N e MR-1-P. Os valores correspondem à quantidade de inclusões analisada / média do comprimento maior (mm)

	MR-1-N		MR-1-P	
	Rutilo	Quartzo	Rutilo	Quartzo
Núcleo	56 / 0,15	330 / 0,49	54 / 0,03	265 / 0,13
Segmento intermediário	61 / 0,12	218 / 0,55	67 / 0,08	369 / 0,17
Borda	56 / 0,22	141 / 0,52	55 / 0,12	178 / 0,30
Matriz	67 / 0,29	não quantificado	23 / 0,11	não quantificado

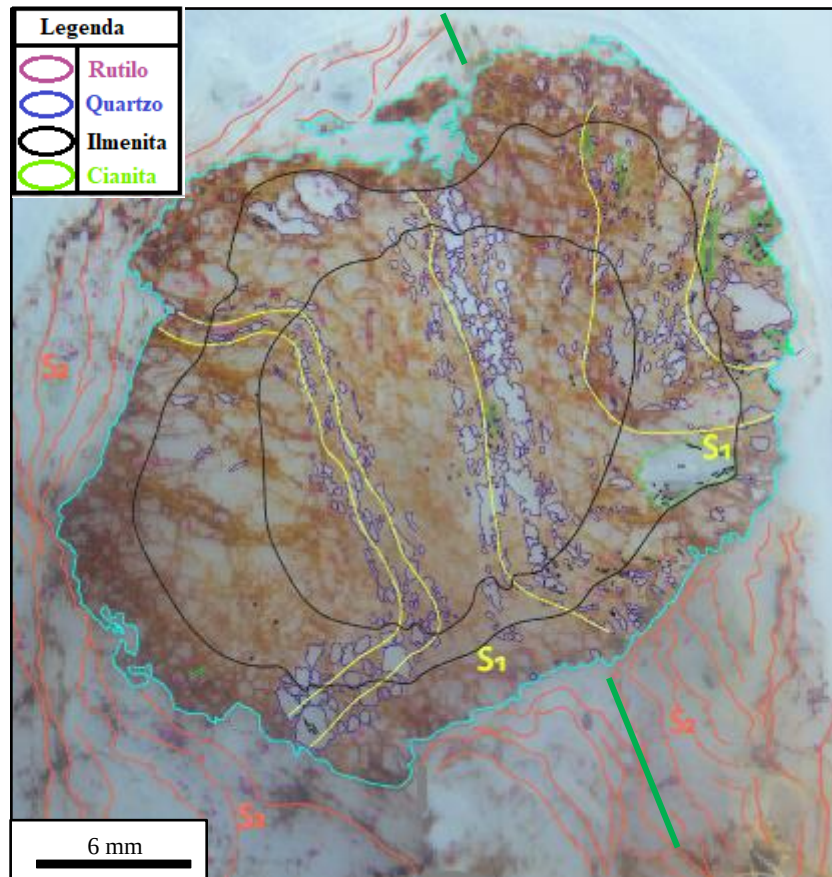


Figura 4.10: Megaporfiroblasto de granada da amostra MR-1-N (corte YZ) destacando as inclusões de rutilo, quartzo, ilmenita e cianita. Grãos de rutilo do setor da matriz adjacente ao megacristal de granada também são ressaltados, assim como as foliações S_1 (=Si) e S_2 (=Se). Em preto, estão indicados os limites estabelecidos para os setores de núcleo, intermediário e borda. Os limites da granada encontram-se expressos em azul-claro e a orientação preferencial de S_2 na matriz em verde-escuro.

Para o megaporfiroblasto MR-1-P (Fig. 4.11), o rutilo, apresenta tamanhos de 0,03 mm no núcleo, passando para 0,08 mm na porção intermediária e 0,12 mm na borda. Na matriz, o tamanho médio determinado é aproximadamente equivalente ao verificado na borda do porfiroblasto (0,11 mm). O tamanho das inclusões de quartzo também evidencia o crescimento progressivo do núcleo para borda, com valores médios de 0,13, 0,17, e 0,30 mm (Tab. 4.2).

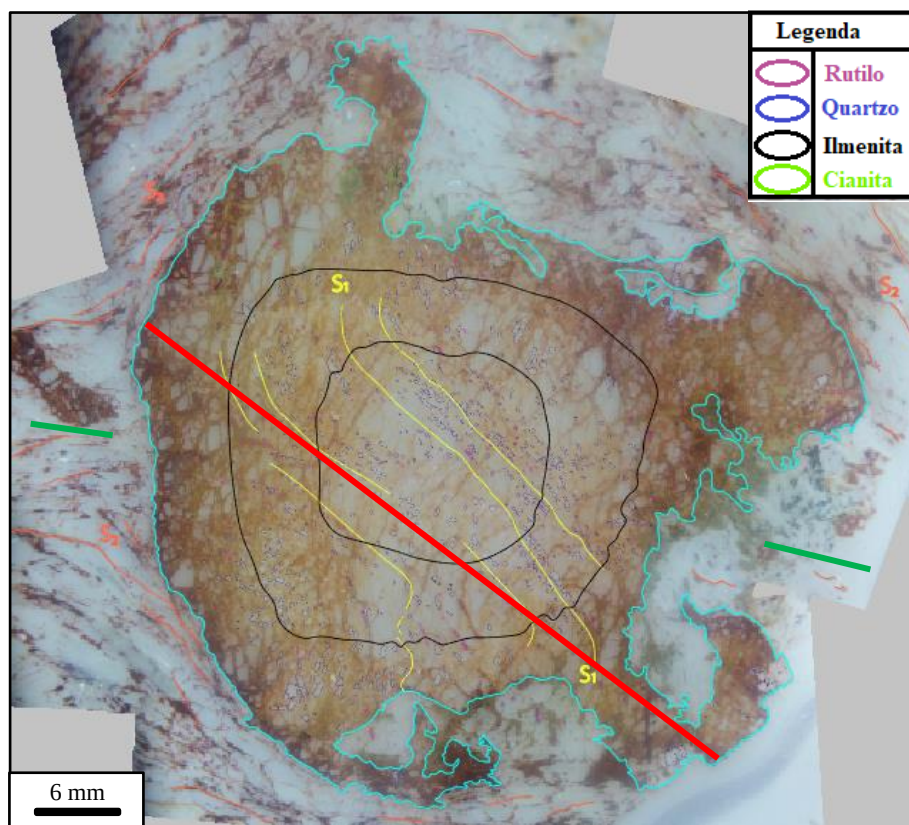


Figura 4.11: Porfiroblasto de granada da amostra MR-1-P (corte XZ) ressaltando as inclusões de rutilo, quartzo, ilmenita e cianita, bem como grãos de rutilo da matriz. As foliações S_1 e S_2 também se encontram em destaque. Os setores núcleo, intermediário e borda estão delineados em preto e, o limite da granada está indicado em azul-claro. Os traços em verde-escuro registram a orientação geral da foliação S_2 na matriz. A posição do perfil realizado na microsonda é mostrada pela linha vermelha.

Para a amostra MR-2, também foram analisados dois megaporfiroblastos, um em seção YZ (MR-2-N) e a outro XZ (MR-2-P). Na lâmina MR-2-N (Fig. 4.12), a média do comprimento maior dos cristais de rutilo apresenta aumento progressivo do núcleo para a borda, sendo ainda maior na matriz da rocha (Tab. 4.3). O quartzo também mostra aumento no tamanho das inclusões do núcleo (0,38 mm) para borda (0,42 mm), embora no segmento intermediário o valor seja inferior (0,22 mm) em relação ao primeiro.

Tabela 4.3: Estudos quantitativos realizados nas lâminas MR-2-N e MR-2-P. Os valores correspondem à quantidade de inclusões analisada / média do comprimento maior (mm)

	MR-2-N		MR-2-P	
	Rutilo	Quartzo	Rutilo	Quartzo
Núcleo	18 / 0,01	48 / 0,38	82 / 0,01	199 / 0,07
Segmento intermediário	42 / 0,02	84 / 0,22	66 / 0,03	238 / 0,14
Borda	43 / 0,03	43 / 0,42	108 / 0,02	172 / 0,12
Matriz	86 / 0,06	não quantificado	81 / 0,04	não quantificado

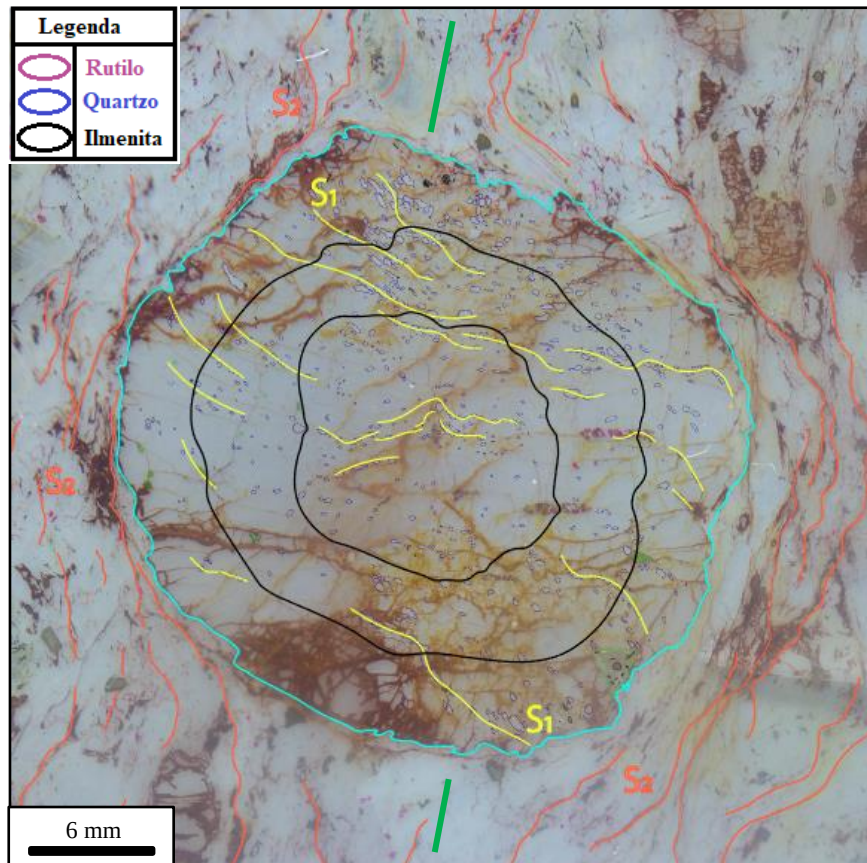


Figura 4.12: Porfiroblasto de granada da amostra MR-2-N mostrando as inclusões de rutilo, quartzo e ilmenita e grãos de rutilo da matriz. As foliações S₁ e S₂ também são indicadas. Os traços pretos indicam os setores núcleo, intermediário e borda. O limite da granada encontra-se expresso em azul-claro e, em verde-escuro, a orientação geral da foliação S₂ presente na matriz.

Para a lâmina MR-2-P (Fig. 4.13) foi identificado comportamento similar em relação às anteriores. Observa-se incremento no tamanho médio dos grãos de rutilo de 0,01 mm no núcleo para 0,03 mm na porção intermediária, diminuindo para 0,02 mm na borda, mostrando, porém, tamanho de 0,04 mm na matriz. Para as inclusões de quartzo, o diâmetro médio apresentado foi de 0,07 mm no núcleo, aumentando para 0,14 mm na porção intermediária e, por fim, diminuindo para 0,12 mm no segmento de borda (Tab. 4.3).

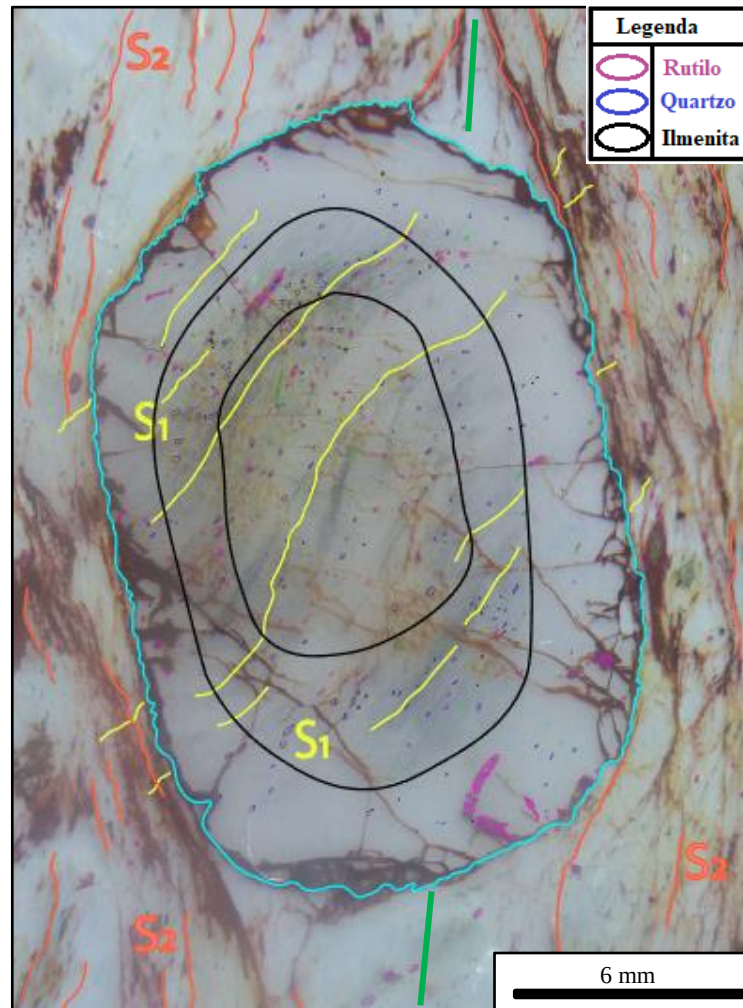


Figura 4.13: Porfiroblasto de granada de MR-2-P, destacando as inclusões (rutilo, quartzo e ilmenita), assim como grãos de rutilo na matriz. Também são registradas as foliações S₁ e S₂. Os setores de núcleo, intermediário e borda da granada estão destacados por traços pretos. Já o limite do porfiroblasto encontra-se registrado em azul-claro, enquanto que a orientação preferencial da foliação S₂ está indicada em verde-escuro.

A tendência geral de aumento do valor de média dos comprimentos maiores das inclusões do núcleo para a borda é interpretada como devida ao aumento progressivo de temperatura durante o crescimento dos porfiroblastos.

4.2.2 Zonação Química

Para os megaporfiroblastos, foram realizados sete perfis borda-a-borda com base na química mineral obtida por microsonda eletrônica, sendo todos os cristais analisados pertencentes também à Unidade E, no ponto MR-1 (Apêndice A, Tab. A.1). Para os porfiroblastos de tamanho comum, foram realizados oito perfis (Apêndice A, Tab. A.2), de

amostras de dois pontos, todos também da Unidade E, cujos resultados serão apresentados no item 4.2.3. Os perfis são representados pela proporção molecular de almandina, piropo, grossulária e espessartita (Figs. 4.14 e 4.17). Alguns dos pontos analisados ao longo dos perfis foram excluídos por apresentarem valores que destoavam consideravelmente das análises adjacentes. A avaliação de cada caso indicou se tratar de inclusões e/ou fraturas com alteração intempérica. Nesses casos, utilizou-se a interpolação dos pontos adjacentes para a construção das curvas.

Todos os megaporfiroblastos de granada analisados são ricos em almandina, sempre acima de 73%, e com baixas concentrações de piropo, grossulária e espessartita, que não ultrapassam 21%, 11% e 2,5%, respectivamente. Em linhas gerais, três dos perfis de megaporfiroblastos, MR1-B-Gr, MR1-G₄-Gr e MR1-G₁₀-Gr (Fig. 4.14A, B e C) apresentam comportamento típico de zonação por crescimento, com as concentrações de almandina e piropo mostrando valores mais baixos no núcleo em relação à borda. Espessartita e grossulária exibem comportamento inverso. Esse tipo de zonação indica crescimento do porfiroblasto acompanhado de aumento de temperatura (SPEAR, 1995). O membro final almandina também exhibe redução bem próximo à borda, sendo interpretada como reequilíbrio pós-auge metamórfico, através de difusão iônica, provavelmente envolvendo troca com a matriz e/ou inclusões (por exemplo, ilmenita e biotita).

Os porfiroblastos MR1-E-Gr₁, MR-1-E-Gr_{2L}, MR-1-E-Gr_{2T} e MR1-P (Fig. 4.14D, E, F e G) mostram padrão essencialmente retilíneo para almandina e, em alguns dos perfis, ocorre redução de sua concentração nas bordas (Fig. 4.14E e F), sugerindo homogeneização por processo de difusão iônica no auge do metamorfismo, seguido por reequilíbrio retrometamórfico. Esse reequilíbrio de almandina na borda também é identificado nos perfis que registram zonação de crescimento (Fig. 4.14A, B e C).

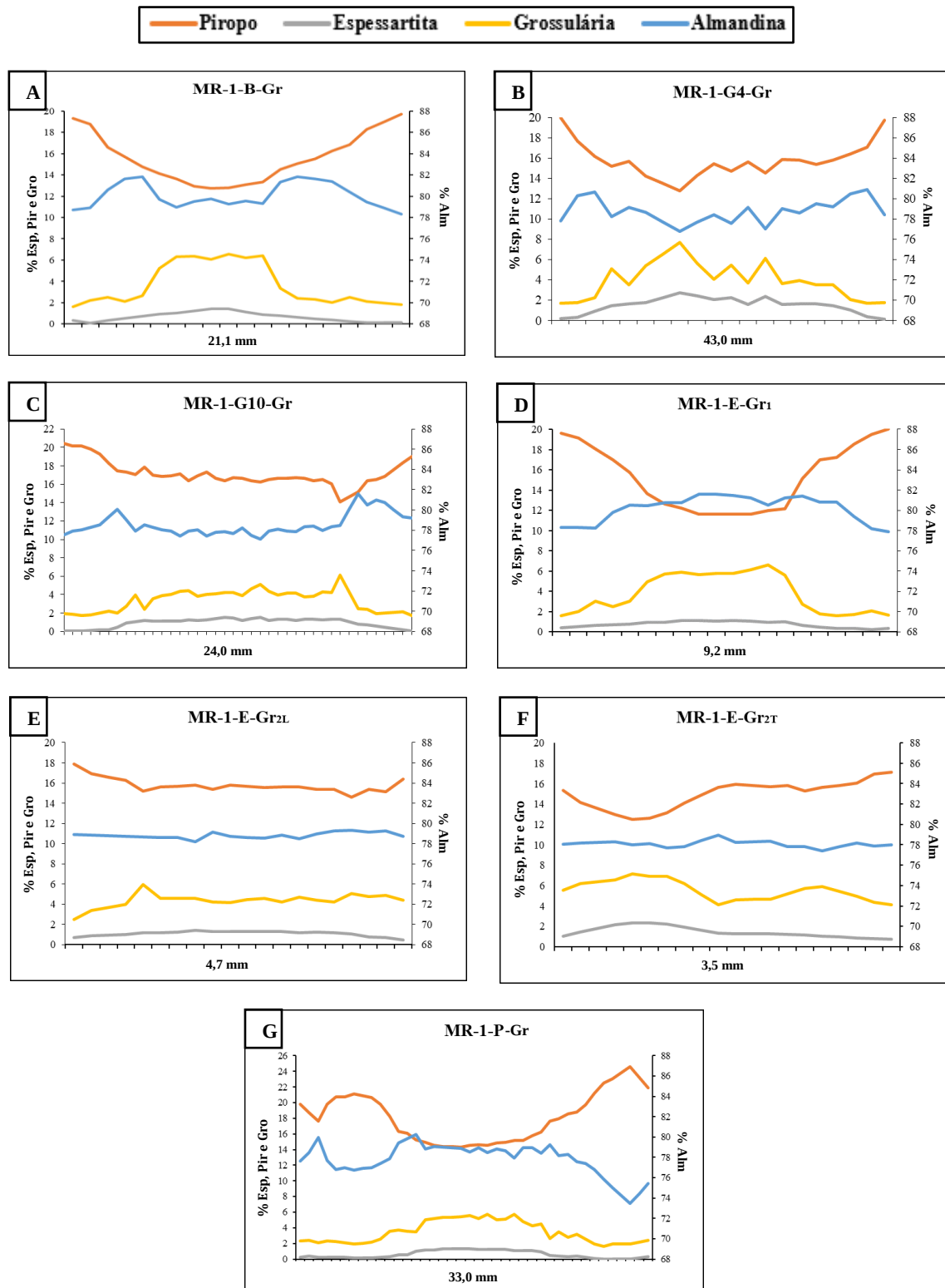


Figura 4.14: Perfis borda-a-borda mostrando a variação composicional dos megaporfiroblastos de granada. O componente almandina está representado no eixo da direita e os demais no da esquerda. Gráficos A a E = 20 pontos equidistantes ao longo de cada perfil; Gráfico F e G = 40 pontos.

Um aspecto interessante de se registrar é que piropo, grossulária e espessartita mostram o zonação de crescimento em todos os perfis (Fig. 14). O significado dessa diferença de comportamento entre o componente almandina e os demais é interpretada como sendo devido à maior abundância de outras fases minerais ricas em ferro, como, por exemplo, ilmenita e biotita, favorecendo a redistribuição desse elemento. Ilmenita está presente em todas as amostras de megaporfiroblastos e, com frequência, ocorre substituindo cristais de rutilo. A biotita foi observada em todas as amostras em proporções variando de 2 a 10%. Um mesmo cristal de granada pode apresentar zonação por crescimento para determinados elementos e processo de difusão iônica para outros (SPEAR & DANIEL, 2001).

4.2.3 Comparação com Porfiroblastos Comuns

Foram investigados sessenta e nove porfiroblastos de granada comumente encontradas ao longo da *Nappe* de Passos (diâmetros de 0,14 a 1,5 cm). Dos quarenta e dois porfiroblastos em seções XY, vinte e nove mostram Si do tipo progressivamente crenulada, tanto com bordas suaves quanto apertadas, simétricas. Nos outros treze, o padrão é assimétrico (Fig. 4.15A). Para os cortes XZ, o padrão visto com maior frequência foi o retilíneo, constatado em quatorze cristais (Fig. 4.15B). Nos demais, eles apresentam curvatura suave indicando padrões tanto em S quanto em Z.



Figura 4.15: Padrões de trilhas de inclusões em porfiroblastos de granada comuns. **A)** Corte YZ mostrando porfiroblastos com padrões de crenulação progressiva assimétrica (à esquerda) e simétrica (à direita). Ponto MRH-103 (X: 309265; Y: 7717803). **B)** Corte XZ mostrando padrão de Si retilíneo. Ponto CA-2-81 (X: 303599; Y: 7730639).

Considerando-se os padrões observados nas seções perpendiculares e paralelas a L_2 , conclui-se que a foliação S_1 dos porfiroblastos comuns, revelada pelas trilhas de inclusões, corresponde a uma foliação plana ou levemente crenulada no núcleo, com aumento progressivo da crenulação para a borda do porfiroblasto, sendo a direção do eixo da crenulação paralelo ou subparalelo a L_2 . A S_1 é descontínua em relação à foliação principal na matriz (S_2), que se amolda ao redor dos porfiroblastos. Além disso, os porfiroblastos apresentam capa e sombra de deformação, coerentes com a deformação D_2 . As feições descritas acima indicam que os porfiroblastos cresceram durante o desenvolvimento de uma crenulação afetando S_1 , cessando o crescimento antes do final do evento deformacional responsável pela crenulação (no caso, de fase D_2), sendo então classificados como cedo- D_2 . Conclui-se que os padrões de inclusões encontrados para os porfiroblastos comuns são essencialmente idênticos aos registrados nos megaporfiroblastos.

Fez-se uma estimativa visual do tamanho dos grãos de rutilo em sessenta e seis porfiroblastos de granada em granada-muscovita xistos abrangendo as Unidades E, F, G e H. Exibem tamanhos menores no núcleo e maiores nas bordas (Fig. 4.16), notando-se, também, que a quantidade de inclusões diminui da primeira para a última. Isso permite interpretar que durante o evento D_2 , concomitantemente ao desenvolvimento dos porfiroblastos, ocorreu aumento no tamanho dos grãos na matriz devido ao aumento de temperatura que acompanhou essa deformação. Estes cristais mostram comportamento idêntico ao determinado quantitativamente para os megaporfiroblastos.

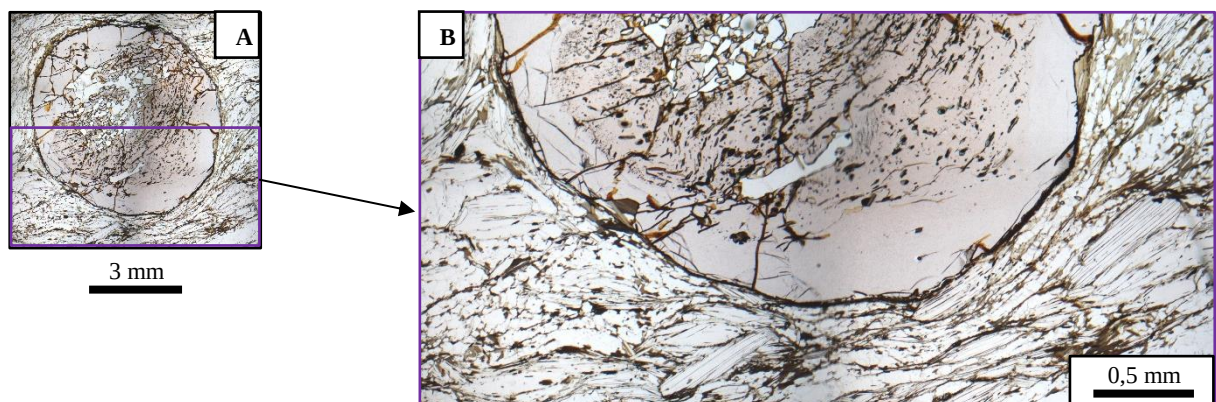
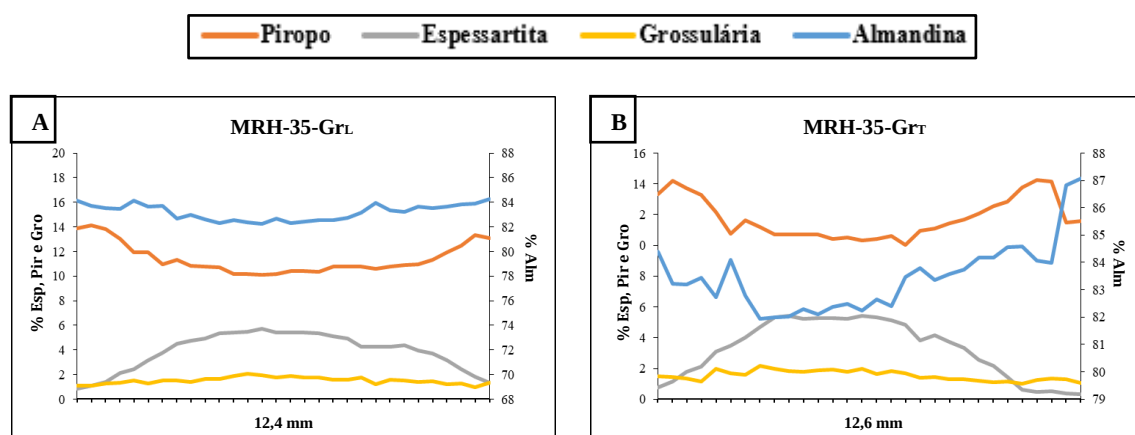


Figura 4.16: Porfiroblasto de granada de tamanho comum de granada-muscovita xisto da Unidade F em corte YZ. **(A)** – Visualização geral da granada. **(B)** - Visualização em detalhe de seu segmento inferior, mostrando o aumento de suas inclusões, sobretudo de rutilo. Ponto CA-8-3A (X: 300471; Y: 7734197).

Foram realizados oito perfis químicos em cristais de granada (*Fig. 4.17*), de duas amostras, pontos MRH-35 (X: 318758; Y: 7715873) e MRH-103-B (X: 309265; Y: 7717803). Como a finalidade é a comparação da composição química com os megaporfiroblastos, selecionou-se apenas amostras da Unidade E a fim de manter a similaridade das condições de metamorfismo. Os porfiroblastos são ricos em almandina, com porcentagem acima dos 77%, chegando a cerca de 87%, com piropo exibindo valores de aproximadamente 10% a 18%. São pobres em grossulária (da ordem de 1% a 7%) e espessartita (de cerca de 0,1% a 6%).

Em geral, almandina e piropo mostram concentrações crescentes em direção à borda, enquanto a grossulária e a espessartita mostram, frequentemente, comportamento oposto, com diminuição da porcentagem para a borda (*Fig. 17A e B*). Isso permite interpretar que o crescimento dos porfiroblastos de granada foi acompanhado pelo aumento progressivo de temperatura. Alguns porfiroblastos mostram o teor de almandina aproximadamente constante no núcleo, com decréscimo na borda (*Fig. 4.17D a H*), entretanto o teor de piropo mostra zonação normal, aumentando sua concentração para a borda. Tal comportamento, sugere que houve homogeneização da distribuição do Fe, que provavelmente sofreu redução nas bordas devido a reequilíbrio posterior ao auge metamórfico. É possível que a existência de minerais na matriz ricos em Fe, como a biotita, por exemplo, tenha permitido a homogeneização do Fe e que a ausência de minerais ricos em Mg e Ca tenha desfavorecido a homogeneização desses elementos nos porfiroblastos de granada. Nota-se também que na amostra MRH-103-B, os cristais pequenos (*Fig. 4.17 E a H*) exibem menor amplitude de variação, indicando que estão cortados mais na borda dos cristais.



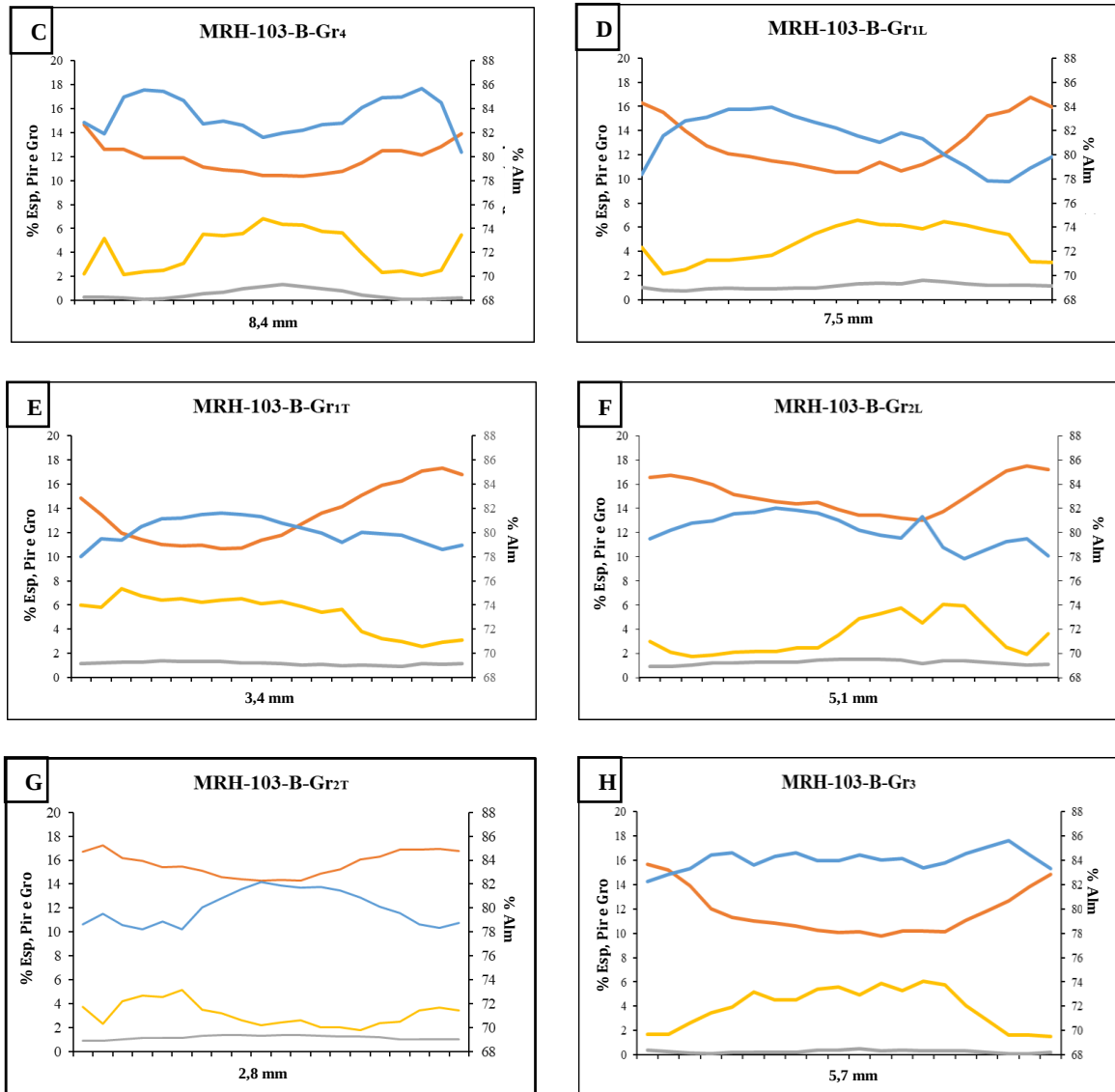


Figura 4.17: Gráficos mostrando a variação composicional de porfiroblastos comuns de granada referentes à Unidade E. Gráficos **A** e **B** = 40 análises pontuais equidistantes ao longo de cada perfil; Gráfico **C** a **H** = 40 análises equidistantes. Todas os cristais foram seccionados segundo o plano YZ.

Também é possível que o intemperismo químico tenha contribuído, ao menos, para parte desse comportamento ambíguo, sobretudo nas porções de borda. Portanto, assim como no caso dos megaporfiroblastos, os porfiroblastos comuns também apresentam zonação por crescimento, alguns com homogeneização por difusão e reequilíbrio retrometamórfico na borda.

Considerando somente a composição dos porfiroblastos de granada analisados, constata-se que em todos ocorre zonação de crescimento para, ao menos, dois de seus elementos, sobretudo piropo e espessartita, interpretado como reflexo de aumento de temperatura, evidenciado pelo incremento de almandina e piropo do núcleo para a borda,

acompanhado da redução de grossulária e espessartita. Também ocorrem perfis com composições mais constantes, indicando homogeneização por difusão iônica, durante o auge metamórfico. Outra feição observada em muitos dos porfiroblastos é a redução de almandina bem próximo à borda dos porfiroblastos (Fig. 17 D a H), assim como do piropo (Fig. 17 A, B, D, E, F e G), interpretada como consequência de processo de homogeneização, seguida de reequilíbrio retrometamórfico parcial com a matriz.

Os resultados descritos acima mostram que o padrão de composição química dos porfiroblastos comuns é essencialmente idêntico ao dos megaporfiroblastos.

4.2.4 Relação Espacial dos Porfiroblastos

Com a finalidade de se obter um melhor entendimento acerca do arranjo espacial dos dois tipos de porfiroblastos foram analisadas as relações angulares entre a foliação externa (Se) e os seguintes parâmetros: (a) foliação interna (Si); (b) diâmetro de maior comprimento da granada (D_M). Referem-se a orientações aparentes nos cortes YZ e XZ.

Para a leitura angular, utilizou-se como referência o traço de Se na amostra, lendo-se o menor ângulo com cada um dos outros parâmetros analisados (Si, PAr e E_M), anotando-se também o sentido da leitura (horário e anti-horário). Os resultados encontram-se expressos nas Tabs. 4.4, 4.5 e 4.6, respectivamente, na forma de frequência para três classes de intervalos angulares: 0-29°, 30-59° e 60-90°, onde 0° corresponde à situação de paralelismo com Se.

Tabela 4.4: Relações angulares entre os traços das foliações externa (Se=S₂) e interna (Si) em megaporfiroblastos e porfiroblastos comuns (seções YZ e XZ). Os valores indicam o número de cristais analisados e o respectivo percentual

Intervalo Se x Si	Megaporfiroblastos		Porfiroblastos comuns		Somatório dos dois tipos	
	YZ (n / %)	XZ (n / %)	YZ (n / %)	XZ (n / %)	YZ (n / %)	XZ (n / %)
0-29°	7 / 47	2 / 14	11 / 30	8 / 30	18 / 34	10 / 24
30-59°	2 / 13	3 / 22	11 / 30	7 / 26	13 / 24	10 / 24
60-90°	6 / 40	9 / 65	16 / 42	12 / 44	22 / 42	21 / 52
Total	15 / 100,0	14 / 100,0	38 / 100,0	27 / 100,0	53 / 100,0	41 / 100,0

Para os megaporfiroblastos, verifica-se que os valores observados com maior frequência são aqueles situados no intervalo 60-90° (Tab. 4.4), excetuando-se aqueles seccionados segundo o plano YZ, em que os de intervalo 0-29° apresentam uma tênue maioria em relação aos outros dois, cujo valor é de 47% (sete cristais). O intervalo situado entre 30-59°, em geral, apresentou-se em quantidade inferior às outras duas classes analisadas, menos para os

megaporfiroblastos seccionados segundo o plano XZ. É interessante notar que a classe subparalela a Se (0° - 29°) tende a ser bem representada nas seções YZ, sendo menos expressiva nas seções XZ. Para os porfiroblastos de tamanho comum, na seção YZ, a classe 60° - 90° também é majoritária, com percentual de 42% (dezesesseis cristais), enquanto as outras duas são de 30% cada (onze cristais para ambas). Para os cortes XZ, a classe de 60° - 90° é predominante, com valor 44% (doze porfiroblastos), seguida pela classe de 0 a 30° , cujo percentual é de 30% (oito cristais) e, por fim, a classe intermediária, que representa 26% (sete).

Ao realizar análise integrada dos intervalos para os dois tipos de cristais, constata-se que tanto para a seção YZ quanto para XZ há uma predominância do intervalo de 60° a 90° em relação aos outros dois, com 42% (vinte e dois cristais) e 52% (vinte e um), respectivamente. Para os cortes YZ, as relações angulares entre 0 - 30° são mais frequentes em relação à classe 30 - 59° , com valores de 34% (dezoito porfiroblastos) para a primeira e 24% para a outra (treze), enquanto que em XZ, essa condição é de igualdade, com 24% para ambos (dez cristais cada).

Quanto às medidas de D_M (Tab. 4.5), percebe-se que para os dois tipos de porfiroblastos analisados, tanto em cortes XZ quanto em YZ, há ampla predominância das orientações subparalelas à Se. Para os cortes XZ, os valores são de 49% (dezesesseis dos trinta e três porfiroblastos comuns) e 84% (vinte e um dos vinte e cinco megaporfiroblastos). Entre os outros dois intervalos, nota-se que o intervalo intermediário (30 - 59°) apresenta maior frequência do que o subperpendicular. Para os cortes YZ, 58% (vinte e cinco dos quarenta e três porfiroblastos comuns) e 65% (treze dos vinte megaporfiroblastos). Essa tendência de orientação preferencial do D_M pode ser visualizada em cortes XZ e YZ, de amostra de cianita-granada-muscovita xisto do ponto MR-1 (Fig. 4.18).

Tabela 4.5: Estudos estatísticos sobre as relações angulares observadas entre a foliação externa ($Se=S_2$) e o diâmetro maior (D_M) em megaporfiroblastos e porfiroblastos comuns cortados segundo YZ e XZ

Intervalo Se x D_M	Megaporfiroblastos		Porfiroblastos comuns		Somatório dos dois tipos	
	YZ (n / %)	XZ (n / %)	YZ (n / %)	XZ (n / %)	YZ (n / %)	XZ (n / %)
0-29°	13 / 65	21 / 84	25 / 58	16 / 49	38 / 60	37 / 64
30-59°	4 / 20	3 / 12	11 / 26	9 / 27	15 / 24	12 / 21
60-90°	3 / 15	1 / 4	7 / 16	8 / 24	10 / 16	9 / 15
Total	20 / 100	25 / 100	43 / 100	33 / 100	63 / 100	58 / 100

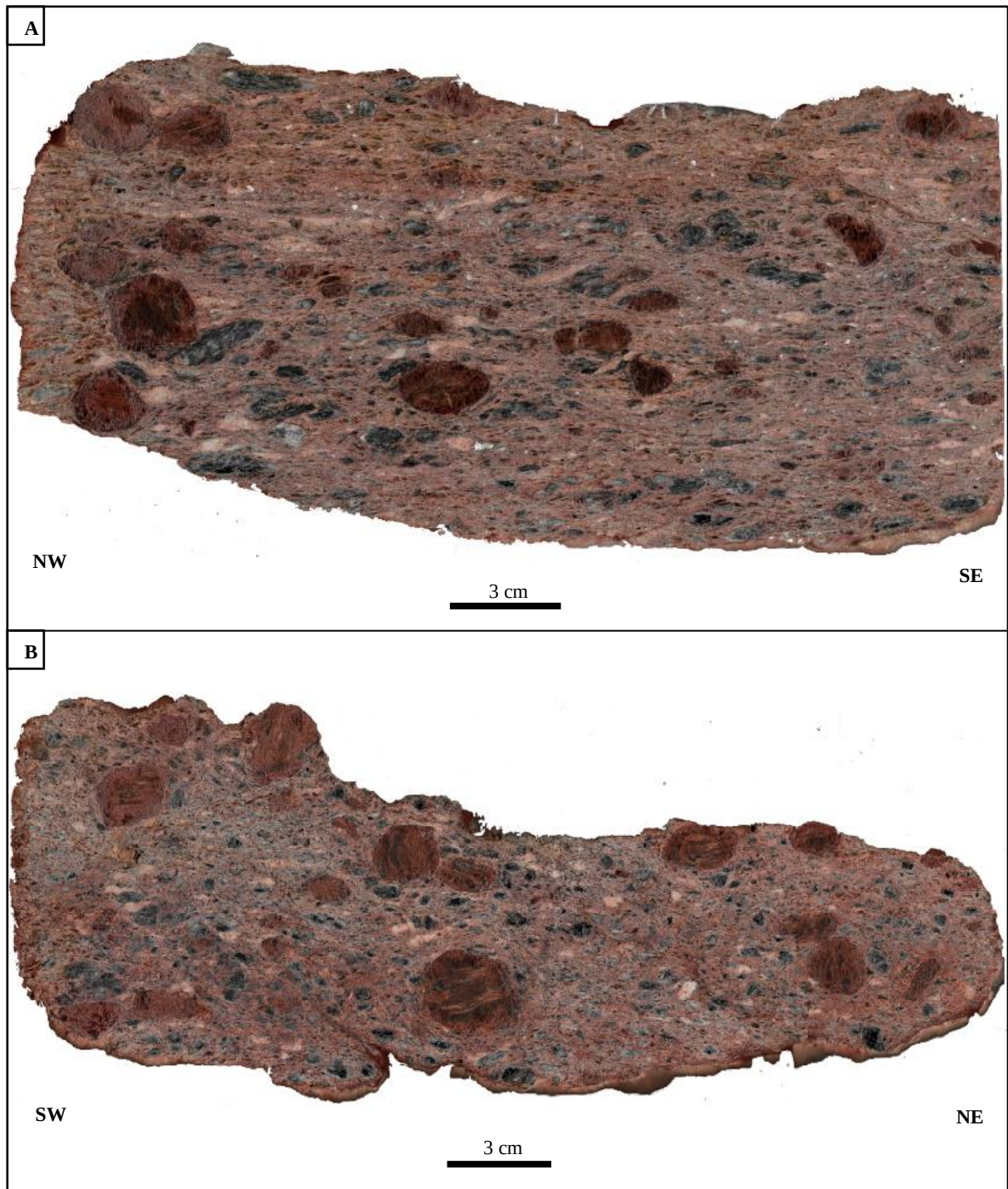


Figura 4.18: Amostras polidas de cianita-granada-muscovita xisto do ponto MR-1 seccionadas segundos os planos XZ (A) e YZ (B).

Nos sessenta e seis exemplares em que havia o registro do sentido de observação da seção (e não somente a direção), classificou-se o sentido de giro respectivo, em relação a Se, para os dois parâmetros medidos: Si – em 64% desses cristais (quarenta e dois porfiroblastos)

e D_M - em todos. Seus resultados são apresentados respectivamente nas Tabs. 4.6 e 4.7. Para as seções em YZ, o referencial de visada adotado é para SE, enquanto que para as XZ, é para NE.

Os dados obtidos para Si indicam que nas seções YZ as inclinações são aproximadamente equivalentes para os sentidos horário e anti-horário, sendo respectivamente 46% (seis porfiroblastos) e 54% (cinco) para os megaporfiroblastos e 50% para os porfiroblastos comuns (sete cristais cada). Já para as seções XZ percebe-se evidente predomínio do sentido horário, com percentual de 75% (nove de doze cristais) para os megaporfiroblastos, e resultados similares para os porfiroblastos comuns, que mostram 67% de medidas no sentido horário (dois cristais), entretanto o total de cristais estudados foi pequeno (três). Os sentidos de giro identificados para os dois conjuntos de porfiroblastos são sumarizados em forma de histograma, evidenciando o amplo predomínio de sentido horário na seção XZ a o equilíbrio entre os dois sentidos na seção YX (Fig. 4.19).

Tabela 4.6: Sentido de giro de Si em relação à foliação externa (Se) de megaporfiroblastos e porfiroblastos comuns (seções YZ e XZ).

Intervalo Se x Si	Megaporfiroblastos		Porfiroblastos comuns		Somatório dos dois tipos	
	YZ (n / %)	XZ (n / %)	YZ (n / %)	XZ (n / %)	YZ (n / %)	XZ (n / %)
0-29°	H	3 / 50	0 / 0	2 / 40	5 / 45	0 / 0,0
	A	3 / 50	2 / 100	3 / 60	6 / 55	2 / 100
30-59°	H	0 / 0	1 / 100	1 / 20	1 / 17	2 / 100
	A	1 / 100	0 / 0	4 / 80	5 / 83	0 / 0,0
60-90°	H	3 / 50	8 / 89	4 / 100	7 / 70	9 / 82
	A	3 / 50	1 / 11	0 / 0	3 / 30	2 / 18
Total	H	6 / 46	9 / 75	7 / 50	13 / 48	11 / 73
	A	7 / 54	3 / 25	7 / 50	14 / 52	4 / 27

Obs.: H = sentido horário; A = sentido anti-horário.

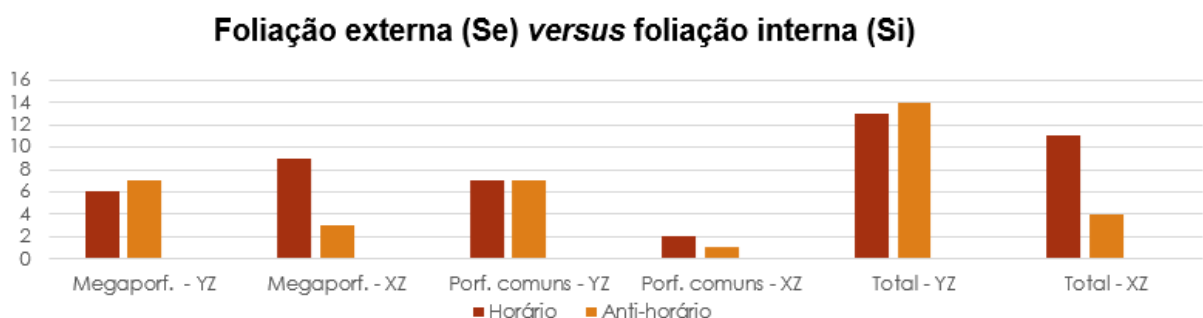


Figura 4.19: Gráficos de histograma sintetizando as informações contidas na Tab. 4.7 referentes ao sentido de giro dos megaporfiroblastos e dos porfiroblastos comuns, assim como somatório de ambos para os sentidos horário e anti-horário.

Com base na Tab. 4.7, é possível verificar que tanto os megaporfiroblastos quanto os porfiroblastos comuns mostram porcentagens próximas para os sentidos de giro entre o diâmetro maior e Se nas seções YZ, sendo 56% horários e 44% anti-horários para o primeiro tipo (com dez e oito cristais, respectivamente) e 47% horários e 53% anti-horários para o segundo (com nove e dez porfiroblastos, respectivamente). Para as seções XZ, os vinte e três megaporfiroblastos analisados registram 43% horário e 57% anti-horário. Para os porfiroblastos de tamanho comum, dos seis cristais analisados, 33% apresentam horário e 67% anti-horário. Os dados apresentados na tabela 4.7 em relação ao sentido de giro de D_M em relação a Se para as duas tipologias de cristais de granada, assim como da somatória de ambas para os sentidos horário e anti-horário, são mostrados em histograma da Fig. 4.20.

Tabela 4.7: Sentido de giro do diâmetro maior (D_M) de megaporfiroblastos e porfiroblastos comuns em relação à foliação externa (Se), para seções YZ e XZ

Intervalo Se x E_M		Megaporfiroblastos		Porfiroblastos comuns		Somatório dos dois tipos	
		YZ (n / %)	XZ (n / %)	YZ (n / %)	XZ (n / %)	YZ (n / %)	XZ (n / %)
0-29°	H	4 / 33	9 / 45	6 / 46	1 / 33	10 / 40	10 / 44
	A	8 / 67	11 / 55	7 / 54	2 / 67	15 / 60	13 / 56
30-59°	H	4 / 100	1 / 50	1 / 33	0 / 0	5 / 71	1 / 33
	A	0 / 0	1 / 50	2 / 67	1 / 100	2 / 29	2 / 67
60-90°	H	2 / 100	0 / 0	2 / 67	1 / 50	4 / 80	1 / 33
	A	0 / 0	1 / 100	1 / 33	1 / 50	1 / 20	2 / 67
Total	A	10 / 56	10 / 43	9 / 47	2 / 33	19 / 51	12 / 41
	H	8 / 44	13 / 57	10 / 53	4 / 67	18 / 49	17 / 59

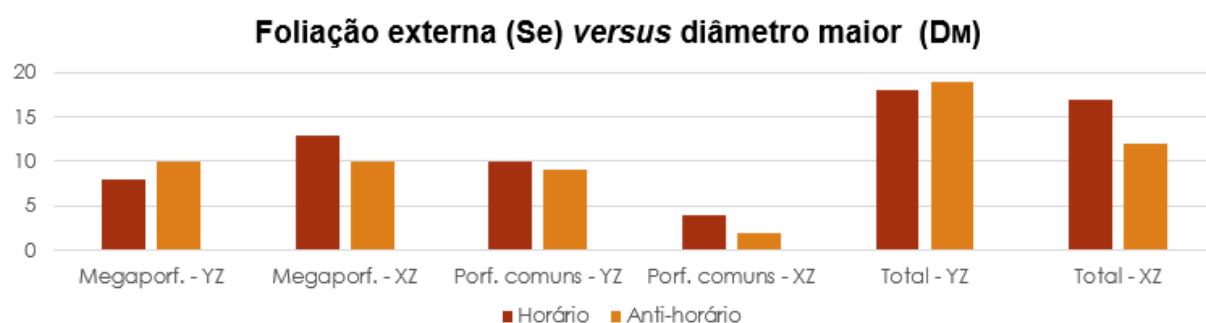


Figura 4.20: Gráficos de histograma sintetizando as informações contidas na Tab. 4.9 referentes sentido de giro das duas tipologias de cristais de granada estudadas, juntamente com somatório de ambas para os dois sentidos de análise.

Os resultados apresentados para a foliação interna (S_i) mostram que:

- 1) Tanto para os megaporfiroblastos quanto para os porfiroblastos comuns, é claro que as seções YZ apresentam porcentagens equivalentes para os dois sentidos de giro (ou

praticamente iguais no tocante ao primeiro tipo). Já nas seções XZ, a orientação apresenta sentido de giro com expressivo predomínio horário (75% e 67%, embora este último seja apenas para três grãos);

- 2) Nas seções YZ, ocorrem as três classes, com leve predomínio daquela que possui alto ângulo; enquanto na XZ, a classe dominante é de alto ângulo, embora haja representação nas de médio e baixo ângulo, sendo 22% e 14% para megaporfiroblastos e 26% e 30% para os porfiroblastos comuns, respectivamente.

Com base nessas observações, fez-se uma análise em estereogramas para avaliar as prováveis as atitudes preferencias de Si em relação ao plano de foliação principal e à lineação mineral L_2 (direção X de D_2). O plano equatorial do estereograma representa a foliação externa ($Se=S_2$), plano XY, considerada em posição horizontal, com a lineação mineral ($=X$) na direção 300-120. Os cortes YZ e XZ são representados pelos diâmetros nas posições 210 e 120, respectivamente. Os estereogramas são apresentados para os megaporfiroblastos (Fig. 4.21) e para os porfiroblastos comuns (Fig. 4.22).

Para o megaporfiroblastos (Fig. 4.22) que mostram para os traços de Si ampla predominância da classe de alto ângulo (60° - 90°) nos cortes XZ e, preferencialmente, com giro horário, considerou-se apenas essa classe como representativa, adotando-se o ângulo de caimento médio (75°) da classe. Os resultados mostram que Si deve apresentar atitude preferencialmente em alto ângulo com Se, com mergulhos principalmente para SE (rumo 120), e, em menor proporção, para ENE e SSE. Essas atitudes devem representar cerca de 60% a 70% dos casos.

Se forem consideradas as orientações menos frequentes dos traços de Si no corte XZ (Classe 0° - 29° e 30° - 60°), outras atitudes são encontradas (Fig. 4.22). Mostram planos com mergulhos médios a suaves para aproximadamente para o rumo 120, com menos contribuição de atitudes de baixo ângulo para ENE e SSE. Outra família de atitudes que aparece com importância é representada por planos subverticais, com direção aproximadamente N30W.

A análise de estereogramas realizada para os porfiroblastos comuns fornece resultados similares aos obtidos para os megaporfiroblastos.

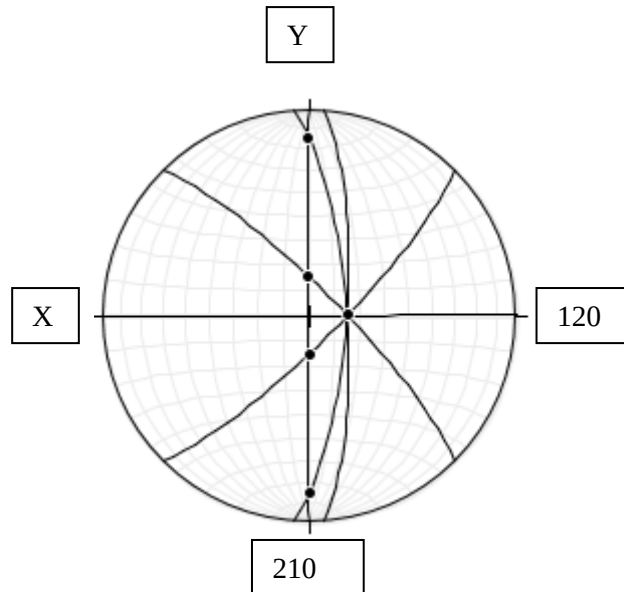


Figura 4.21: Estereograma para os megaporfiroblastos mostrando as possíveis orientações de planos de Si, obtidas a partir dos traços de Si (pontos) nos cortes YZ e XZ, combinados dois a dois. Para os traços de Si no plano XZ está representada apenas a classe de alto ângulo (60° - 90°), representada pelo valor médio de 75° de caimento, pois essa categoria é expressivamente mais abundante para os megaporfiroblastos. O plano equatorial do estereograma corresponde à foliação $S_e (=S_2)$, com o eixo X ($=L_E$) na posição horizontal, na direção 120, assim a linha Y corresponde ao traço ciclográfico do corte YZ e a linha X corresponde ao corte XZ.

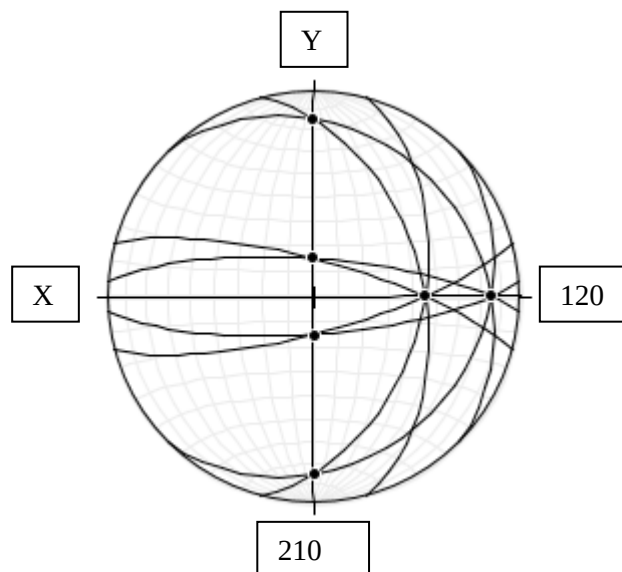


Figura 4.22: Estereograma para os megaporfiroblastos mostrando as possíveis orientações de planos de Si, obtidas a partir dos traços de Si (pontos) nos cortes YZ e XZ, combinados dois a dois. Para os traços de Si no plano XZ estão representadas as classes de médio (30 - 59°) e baixo ângulo (0 - 29°), representada pelos valores médios de 45° e 15° , respectivamente. O plano equatorial do estereograma corresponde à foliação $S_e (=S_2)$, com o eixo X ($=L_E$) na posição horizontal, na direção 120, assim a linha Y corresponde ao traço ciclográfico do corte YZ e a linha X corresponde ao corte XZ.

As relações espaciais dos cristais apresentados acima, considerando as relações angulares dos dois parâmetros (S_1 e D_M), permite deduzir que:

- 1) Os megaporfiroblastos e porfiroblastos apresentam forma elipsoidal com diâmetro maior e intermediário preferencialmente paralelos à S_2 , porém com tendência do eixo maior ser levemente oblíquo à S_2 , com sentido de giro predominantemente horário (visada para NE), produzindo arranjo assimétrico coerente com deformação D_2 , de caráter não-coaxial, com transporte para SE.
- 2) As medidas de S_1 nos cortes YZ mostram grande variação, desde baixo até alto ângulo com S_2 , com giros tanto no sentido horário quanto anti-horário, indicando padrão de distribuição de orientação simétrico. Nas seções XZ, registra-se ampla predominância de giro horário (visada para NE).
- 3) A reconstituição das orientações de S_1 , sugere predominância de planos com mergulhos íngremes para ESE, com dispersões para ENE e SSE, tomando-se como referencial a foliação S_2 (S_0) horizontal e a lineação mineral no rumo 120. Minoritariamente, são indicados planos com essas mesmas direções, porém com mergulhos baixos a médios, e ainda, planos subverticais com direções aproximadamente paralelas a L_2 .

Como visto anteriormente, os porfiroblastos aqui estudados cresceram durante o desenvolvimento da clivagem de crenulação D_2 , tendo cessada a blastese ainda no início dessa fase, o que imprimiu, na matriz, uma penetrativa trama tectônica indicativa de forte deformação não-coaxial com transporte para SE. Nesse contexto, os dados de orientação de S_1 e D_M , apresentados acima indicam que após o término de seu crescimento, os porfiroblastos foram rotacionados, com ângulos inferiores a 90° , durante a deformação não coaxial, contribuindo para o complexo arranjo espacial dos referidos parâmetros.

4.2.5 Padrões de Inclusões x Zonação Química

A comparação entre os padrões de inclusões com o perfil de variação composicional dos cristais de granada mostra que existe uma relação entre as zonas que apresentam maior deflexão nas trilhas de inclusão com as inflexões do perfil de zoneamento químico de crescimento. Esse comportamento é reconhecido tanto nos porfiroblastos (Fig. 4.23A) quanto nos megaporfiroblastos (Fig. 4.23B). Em geral, os porfiroblastos apresentam trilhas de inclusões retas a suavemente crenuladas no núcleo, sendo fortemente inflectidas, ou ainda, mais intensamente crenuladas para a borda. Nos dois exemplos mostrados (Fig. 4.23), percebe-se

que os pontos de inflexão das curvas composicionais coincidem com deflexões mais expressivas das trilhas de inclusões. A relação descrita é bem evidente nos perfis MRH-103-B-Gr (Fig. 4.20A) e MR1-G₄-Gr (Fig. 4.20B). No primeiro caso, merece destaque a coincidência espacial entre as variações apresentadas pelas quatro fases sólidas analisadas, com acentuada inflexão presente no segmento intermediário do cristal, fato este também verificado no segundo caso, no qual a trilha de inclusões é do tipo simétrica, sendo que no núcleo, ela é praticamente retilínea, ocorrendo o aumento na periodicidade das inflexões em direção à borda do cristal.

Nos perfis composicionais, identificam-se variações igualmente expressivas, principalmente marcadas pelo aumento de pirope (de 14% para cerca 17% no primeiro caso e 13% para aproximadamente 20% no segundo) e redução de grossulária (de 8% para aproximadamente 2% no primeiro e de 7 para cerca de 2% no segundo) e espessartita (de 1% para cerca de 0,1% no primeiro e 2,5% para aproximadamente 0,1% no segundo). No caso da almandina, ocorre aumento em ambos os casos até a proximidade da borda (82 para cerca de 86% no primeiro caso e de 77% para aproximadamente 81% no segundo). Todavia, merece nota o fato de haver redução no teor de almandina de 86% para cerca de 81% no perfil MRH-103-B-Gr₄ e de 81% para aproximadamente 78% em MR-1-G₄. Ambas são interpretadas como decorrentes de reequilíbrio no sistema porfiroblasto-matriz ocorrido posteriormente ao auge metamórfico, situado em D₂.

De acordo com os dados microestruturais e químicos apresentados nos itens acima, as bordas dos porfiroblastos se desenvolveram em condições de maior temperatura. Então, a maior intensidade de deformação durante o crescimento da borda dos porfiroblastos, sugerida pelo padrão de inclusões, ocorreu durante o aumento de temperatura dessas rochas, devido à mudança das propriedades reológicas aliada à maior intensidade dos esforços.

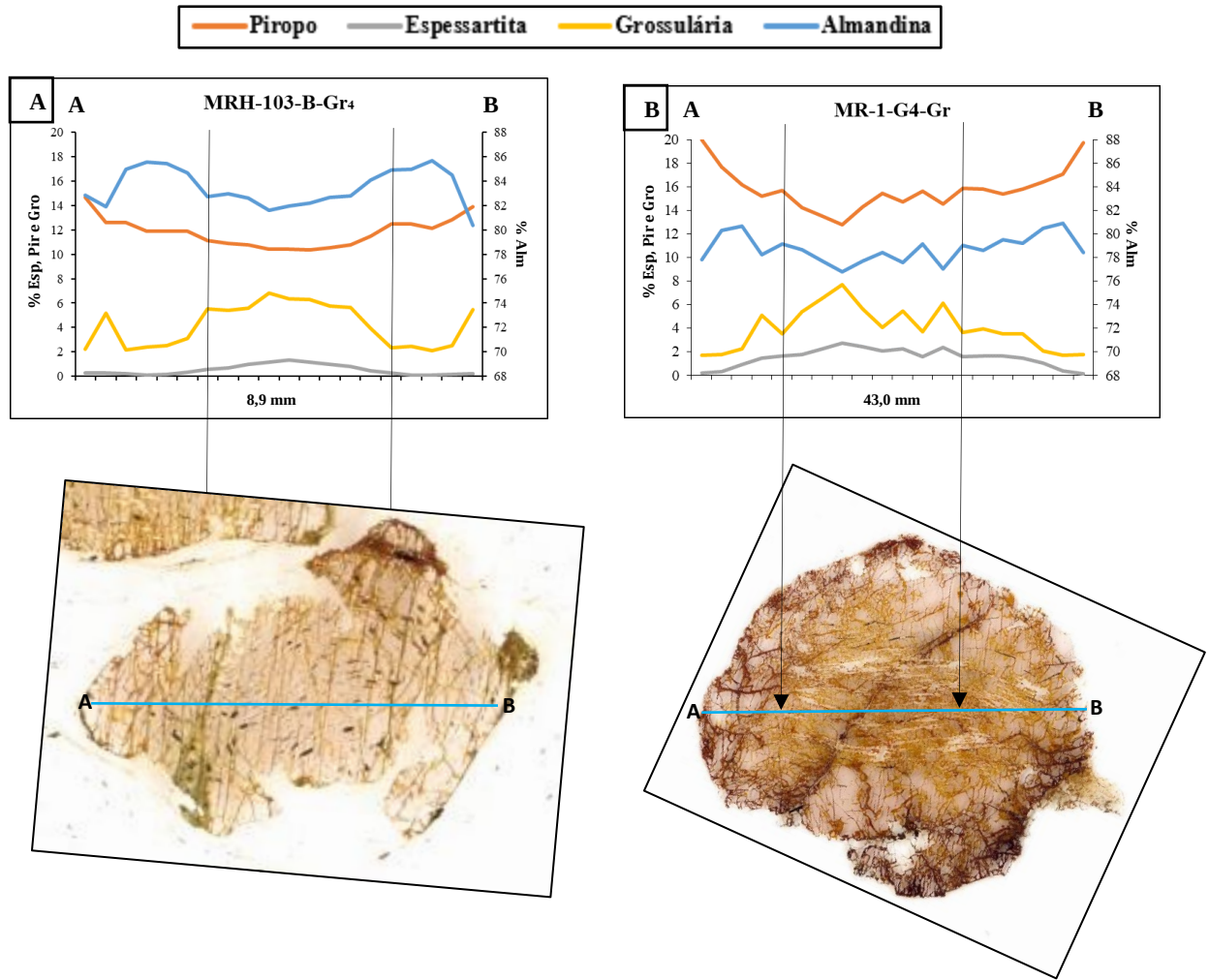


Figura 4.23: Comparação entre os padrões de inclusões e os perfis composicionais dos porfiroblastos (A) e megaporfiroblastos (B) de granada. A linha horizontal sobre as imagens dos porfiroblastos correspondem à localização dos perfis químicos. As setas pretas indicam a posição de inflexão das curvas composicionais, principalmente para piropo, grossulária e espessartita.

4.3 Discussão

As ocorrências de megaporfiroblastos na *Nappe* de Passos, embora já conhecidas desde a segunda metade da década de 1980 (ver Correia, 1986), até então não haviam sido examinadas com detalhe, sendo este trabalho uma primeira abordagem do tema, visando principalmente a caracterização da forma de ocorrência, posicionamento estratigráfico, microestruturas, relação cinemática com os eventos deformacionais e significado na evolução da *Nappe* de Passos.

A formação destes megacristais é intrigante. Por se apresentarem como ocorrências localizadas, uma das hipóteses consideradas é que estivessem controladas por zonas de cisalhamento que pudessem ter favorecido e condicionado a percolação de fluidos conduzindo

a formação de megacristais (BELL *et al.*, 1986; BELL & CUFF, 1989; CARLSON, 1989; ERAMBERT & AUSTRHEIM, 1993; CUSSLER, E. L., 2009; BAXTER *et al.*, 2013). Entretanto, a ocorrência estudada está situada no topo da unidade E, hospedada em biotita-cianita-granada-muscovita xisto, constatando-se dois níveis estratigráficos com megaporfiroblastos, a 60 e 340 m da base da Unidade F. Em escala de afloramento, foi possível identificar que os megaporfiroblastos ocorrem em camadas decimétricas, intercaladas com outras camadas decimétricas, também de $\pm$ cianita-granada-muscovita xistos. Como a foliação principal S_2 corta em baixo ângulo as camadas, pode-se descartar a possibilidade de que o desenvolvimento dos megaporfiroblastos tenha sido controlado por zonas de cisalhamento de fase D_2 . Além disso, o padrão de inclusões dos megaporfiroblastos mostra S_i ($=S_1$) reta a suavemente crenulada no núcleo, com aumento da intensidade da crenulação para a borda do cristal, indicando que começaram a crescer após a fase D_1 , um pouco antes ou durante o início da fase D_2 . Por isso, a formação desses megacristais não deve ter relação genética com a fase D_1 .

A formação de cristais em rochas metamórficas envolve duas etapas essenciais: nucleação e crescimento. Para a nucleação, obrigatoriamente ocorre mudança das condições físico-químicas para que minerais reagentes gerem um produto, causando a redução da energia livre do sistema (ΔG), que é proporcional ao volume do produto gerado. O processo requer que em um ponto da rocha ocorra a quebra da fase original e reorganização dos átomos em uma nova estrutura que, devido ao pequeno tamanho, é altamente instável (YARDLEY, 1989; VERNON & CLARKE, 2008). Para a permanência desses núcleos é necessário que a energia exigida para o início da reação seja sobrepassada para que ocorra a estabilização dos novos núcleos e o cristal possa crescer. A importância dessa energia adicional nas reações metamórficas tem sido destacada em diversos trabalhos (GEORGE & GAIDIES, 2017; SPEAR, 2017; SPEAR & WOLFE, 2018; PATTISON *et al.*, 2011; SPEAR *et al.*, 2014; CARLSON *et al.*, 2015), podendo, por vezes, envolver diferença de temperatura da ordem de dezenas de graus Celsius ou alguns kbar (SPEAR, 2017).

A etapa de crescimento inclui alguns processos que atuam em conjunto, como, por exemplo, a dissolução dos reagentes, a estabilização dos núcleos da nova fase, transporte dos componentes dos reagentes até o núcleo recém-formado, remoção dos elementos em excesso e incorporação dos elementos-produto na fase em crescimento através da interface matriz-cristal (DANIEL & SPEAR, 1999).

Como as reações para a formação de granada nas *fácies* xisto verde e anfibolito verde, envolvem, em geral, o consumo de fases hidratadas (por exemplo, clorita e biotita), o mecanismo de difusão se processa através de fase fluida intergranular (YARDLEY, 1989; CARLSON, 1989; CARLSON & GORDON, 2004). O crescimento do cristal pode ser controlado pela difusão ou interface (incorporação de material ao cristal em desenvolvimento), em função do primeiro ou do segundo ser mais lento em relação ao outro. Se o crescimento for controlado pelo processo de interface, então, todos os cristais crescerão com igual incremento de raio, independente do seu tamanho (KRETZ, 1974). Estes dois processos de crescimento, em geral, atuam em conjunto e a participação de cada um no desenvolvimento de uma fase mineral pode ser variada, além de ser passível de mudar durante o metamorfismo, em função do crescimento do porfiroblasto, e variações na temperatura, deformação e atividade de fluido.

Considerando esses conceitos, a formação de cristais com tamanhos exagerados, como no caso dos megaporfiroblastos de granada da *Nappe* de Passos, exige a soma de condições favoráveis. Portanto, é provável que não tenha havido significativa limitação de nenhum dos dois processos mencionados acima. Ou seja, a difusão e a incorporação de material na interface matriz-cristal devem ter atuado de forma efetiva para viabilizar o desenvolvimento dos megacristais.

Spear & Daniel (2001) destacam que a velocidade de crescimento do porfiroblasto varia em função do tipo de limite de grão envolvido, sendo maior ao longo de contatos triplos e menor em contatos duplos, podendo-se extrapolar isso para outros tipos de estruturas que facilitem o processo de difusão (como, por exemplo, a presença de duas foliações em ângulo e microfraturas). Nos dois locais com boas exposições das rochas hospedeiras dos megaporfiroblastos estudados (pontos MR-1 e MR-6), identificou-se que a foliação S_2 está oblíqua à S_1/S_0 , sendo este um fator que facilitador para o mecanismo de difusão. Adicionalmente, as rochas portadoras de megaporfiroblastos, assim como as camadas adjacentes, possuem expressivas quantidades de cianita (aproximadamente 12% da composição total), cuja formação é, ao menos em parte, contemporânea à granada. Como a formação de cianita envolve quebra de fases hidratadas, o fluido liberado no sistema contribui para a maior efetividade do processo de difusão. Outro aspecto a se considerar é que uma vez fixadas as condições físico-químicas para formação de uma nova fase mineral em uma dada composição de rocha, o volume total dessa nova fase pode ser representado por um grande número de pequenos cristais ou um pequeno número de cristais grandes, sendo que isso dependerá da quantidade de pontos nucleação. Então, os protólitos das rochas hospedeiras dos

megaporfiroblastos da *Nappe* de Passos deviam apresentar poucos pontos de nucleação, favorecendo a formação dos megacristais.

Um aspecto intrigante é que embora as condições de temperatura estimadas para a *Nappe* de Passos indiquem aumento progressivo da base para o topo, caracterizando um gradiente metamórfico inverso, as ocorrências conhecidas de megaporfiroblastos se restringem à porção intermediária desse gradiente (entre a porção superior da Unidade E e a inferior da Unidade G). Considerando-se que a temperatura é um dos principais fatores controladores do tamanho dos grãos em rochas metamórficas, seria esperado que os maiores cristais de cada fase mineral fossem encontrados na parte superior desse gradiente, como foi reconhecido nessa *nappe* (SIMÕES, 1995) para o quartzo (nos quartzitos) e anfibólio (nos anfibolitos), que mostram predominância de grãos mais grossos na unidade I.

Estudos de distribuição de tamanho de cristais (do inglês *CSD – crystal size distribution*) evidenciam que, em metamorfismo regional, a curva de número de grãos por volume *versus* o tamanho do cristal mostra típico padrão em sino (KRETZ, 1973). Interpreta-se que o *CSD* verificado para os cristais metamórficos são resultado direto de processo contínuo de nucleação e crescimento associado a mudança de temperatura. O valor máximo de cristais corresponderia ao período máximo da nucleação (KRETZ, 1973).

Embora nenhum estudo quantitativo de *CSD* tenha sido feito para as rochas com megaporfiroblastos da *Nappe* de Passos, a observação das amostras sugere que a moda do tamanho dos grãos está nos valores médios, com menor frequência dos tamanhos pequeno e grande. Padrões de *CSD* em rochas de diferentes zonas metamórficas mostram maior densidade nos grãos de tamanhos médios, sendo que o tamanho da classe de maior densidade aumenta em direção às zonas mais metamórficas, enquanto que o número de grãos da classe de maior densidade apresenta tendência inversa em direção a elas (CASHMAN & FERRY, 1988). Levando-se em conta esses aspectos, realmente seria esperado que os maiores porfiroblastos de granada fossem encontrados na porção superior da *Nappe* de Passos.

As relações estruturais e as feições texturais, conforme comentado acima, descartam a possibilidade de que a formação dos megaporfiroblastos possa estar controlada por alguma zona de cisalhamento. Esses cristais ocorrem em camadas decimétricas intercaladas com outras camadas de xistos granadíferos similares, porém com tamanhos de granada menores. Além disso, eles apresentam feições microestruturais e químicas idênticas àquelas vistas para porfiroblastos de granada de tamanho comum. O conjunto de dados sugere que o principal fator

para a formação desses megacristais foi a composição do protólito, caracterizada por ser altamente aluminosa, associada a um pequeno número de pontos de nucleação.

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES

Este trabalho representa uma primeira iniciativa de investigação da peculiar ocorrência de megaporfiroblastos de granada ($\geq 3\text{cm}$) na *Nappe* de Passos. Os estudos realizados permitiram caracterizar diversos aspectos relativos à forma de ocorrência e significado na evolução estrutural da *nappe*. Adicionalmente, os trabalhos de campo realizados na porção NW da *Nappe* de Passos trazem uma contribuição na caracterização das grandes dobras presentes na área.

As ocorrências de megaporfiroblastos na *Nappe* de Passos são descritas nas porções sul e sudeste dessa unidade litotectônica, posicionadas no topo da Unidade E e base da Unidade G. Com o levantamento de campo realizado no segmento noroeste da *Nappe* de Passos, envolvendo trinta perfis cortando as Unidades E, F, G, H e I, não foram encontradas novas ocorrências de megaporfiroblastos. Levando-se em conta o trabalho executado e a pronunciada alteração intempérica da região, não se pode excluir a possibilidade de ocorrência de megaporfiroblastos, mas, caso ocorram, devem ser raros e pouco expressivos.

Os trabalhos de campo feitos no setor NW permitiram realizar uma melhor definição geométrica do fechamento noroeste da Braquissinformal de Passos e demonstrar o caráter braquiantiformal da Antiforma de Itaú de Minas. Como ambas afetam a foliação principal (S_2) e por apresentam eixos na direção NW, elas são atribuídas à fase D_3 . Apresentam planos axiais subverticais com eixo 139/2 para o fechamento NW da Braquissinformal de Passos e eixo 146/2 na porção NW e 325/17 na porção SE para a Braquiantiformal de Itaú.

O estudo dos megaporfiroblastos foi realizado em uma ocorrência no sudeste da *Nappe* de Passos situada na porção superior da Unidade E, identificando-se que eles se encontram hospedados em camadas decimétricas de biotita-cianita-granada-quartzo-muscovita xistos, que se alternam a camadas de composições semelhantes, porém contendo porfiroblastos de tamanho usual (0,2 a 1,5 cm). Ocorre em dois níveis estratigráficos distintos, a 340 e a de 60 metros da base da Unidade F.

Os megaporfiroblastos de granada apresentam formato predominantemente elipsoidal, em geral, com diâmetros maior e intermediário paralelos ao plano da foliação S_2 (plano XY), sendo o diâmetro maior orientado de modo preferencialmente paralelo à lineação mineral (X). Este comportamento geométrico pode ser interpretado como produto de crescimento controlado com base em anisotropias preexistentes ($S_0//S_1$), vinculado ao campo de deformação D_2 ,

conforme evidenciado pelas microestruturas observadas no interior desses cristais, assim como na matriz.

Foram estudadas as microestruturas de quarenta e seis megaporfiroblastos, sendo vinte e nove seccionados segundo o plano YZ e os demais segundo o plano XZ, assim como de sessenta e nove porfiroblastos de granada de tamanhos comuns, de diversos pontos, porém todos da Unidade E, sendo quarenta e dois no corte YZ e o restante XZ. Os padrões de inclusões são essencialmente idênticos para os dois tipos de porfiroblastos. As seções perpendiculares à L_2 (plano YZ) são as que melhor definem os padrões de Si, que é representado por trilhas de inclusões, retilíneas a levemente onduladas no centro passando progressivamente para crenulada em suas porções de borda. Nas seções XZ, as trilhas de inclusões são, em geral, retilíneas passando a levemente curvadas nas bordas.

Esses padrões de Si evidenciam crescimento sincinemático aos estágios iniciais de uma crenulação, interpretada como relacionada à fase D_2 , que gerou a foliação principal (S_2) das rochas da *Nappe* de Passos. Os eixos das crenulações inclusas nos porfiroblastos apresentam direção subparalela à lineação mineral referente à fase principal (L_2). A ausência de continuidade entre Si e Se e a posição variada dos planos axiais das crenulações presentes no interior dos porfiroblastos, indicam prosseguimento da deformação após cessar o crescimento dos porfiroblastos. A continuidade da deformação causou o apertamento das crenulações com transposição e obliteração parcial de S_1 , formando a foliação principal da área (S_2). A Si é interpretada como a foliação S_1 , estando preservada no porfiroblasto. Sombras de deformação assimétricas adjacentes aos dois tipos de porfiroblastos evidenciam deformação não-coaxial, com transporte de topo para SE, coerente com o transporte da *Nappe* de Passos.

Os perfis químicos de megaporfiroblastos e porfiroblastos comuns revelam comportamento idêntico entre os dois tipos de cristais. Guardam zonação de crescimento com aumento dos componentes almandina e piropo do núcleo em direção à borda, enquanto que espessartita e grossulária apresentam tendência inversa. Essa assinatura química, juntamente com o aumento no tamanho das inclusões do núcleo para a borda e redução de sua frequência nesse mesmo sentido, indicam que o crescimento dos porfiroblastos foi acompanhado de aumento de temperatura.

Com base nos parâmetros investigados no presente trabalho, verifica-se que os megaporfiroblastos exibem história tectonometamórfica idêntica aos porfiroblastos comuns. A forma de ocorrência dos megaporfiroblastos, acompanhando os planos de acamamento, com a foliação principal (S_2) oblíqua a esse plano, tendo crescido durante os estágios iniciais de D_2

(portanto, pós-D₁), indica que seu desenvolvimento não deve estar relacionado a zonas de cisalhamento destas duas fases, levando a concluir que o principal controle para a formação dos megacristais foi a composição original da rocha sedimentar, associando alto teor de alumínio combinado a reduzido número de pontos de nucleação para formação de granada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALKMIM, F. F. O que faz de um cráton um cráton? O Cráton do São Francisco e as revelações almeidianas ao delimitá-lo. In: **Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo (SP): Editora Beca, p. 17-34, 2004. p. 17-34.
- ALMEIDA, F. F. M. Evolução tectônica do centro-oeste brasileiro no Proterozóico Superior. In: Academia Brasileira de Ciências, 1968, 40., Rio de Janeiro (RJ). **Anais...** Rio de Janeiro (RJ): Academia Brasileira de Ciências, 1968, v. 40, 1968 (Suplemento).
- ARAÚJO FILHO, J. O. Contribuição à estratigrafia e tectônica da Megainflexão dos Pirineus. In: Simpósio de Geologia do Centro-Oeste, 1981, 1., Goiânia (GO). **Anais...** Goiânia (GO): Sociedade Brasileira de Geologia (Núcleo do Centro-Oeste), 1981. v. 1, p. 24-26.
- ARAÚJO FILHO, J. O. de The Pirineus syntaxis: an example of the intersection of two brasiliano Fold-Thrust belts in central Brazil and its implications for the tectonic evolution of western Gondwana. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, n. 1, p. 144-148, 2000.
- BAXTER, E. F.; CADDICK, M. J.; AGUE, J. J. Garnet: common mineral, uncommonly useful. **Elements**, v. 9, n. 6, p. 415-419, 2013.
- BELL, T. H.; CUFF, C. Dissolution, solution transfer, diffusion versus fluid flow and volume loss during deformation/metamorphism. **Journal of Metamorphic Geology**, v. 7, n. 4, p. 425-447, 1989.
- BELL, T. H.; RUBENACH, M. J.; FLEMING, P. D. Porphyroblast nucleation, growth and dissolution in regional metamorphic rocks as a function of deformation partitioning during foliation development. **Journal of Metamorphic Geology**, v. 4, n. 1, p. 37-67, 1986.
- BRITO NEVES, B. B.; CORDANI, U. G. Tectonic evolution of South America during the Late Proterozoic, **Precambrian Research**, Amsterdam (Netherlands), v. 53, p. 23-40, 1991.
- CADDICK, M. J.; KONOPÁSEK, J.; THOMPSON, A. B. Preservation of garnet growth zoning and the duration of prograde metamorphism. **Journal of Petrology**, v. 51, n. 11, p. 2327-2347, 2010.
- CAMPOS NETO, M. C.; CABY, R. Lower crust extrusion and terrane accretion in the Neoproterozoic nappes of southeast Brazil. **Tectonics**, v. 19, n. 4, p. 669-687, 2000.
- CAMPOS NETO, M. D. C. *et al.* (1984). A nappe de cavalgamento Socorro (SP-MG). In: Congresso Brasileiro de Geologia, 1984, 33., Rio de Janeiro (RJ). **Anais...** Rio de Janeiro (RJ): Sociedade Brasileira de Geologia, 1984, v. 33, n. 4, p. 1809-1822.
- CARLSON, W. D. The significance of intergranular diffusion to the mechanisms and kinetics of porphyroblast crystallization. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v. 103, n. 1, p. 1-24, 1989.
- CARLSON, W. D.; GORDON, C. L. Effects of matrix grain size on the kinetics of intergranular diffusion. **Journal of Metamorphic Geology**, v. 22, n. 8, p. 733-742, 2004.
- CARLSON, W. D.; PATTISON, D. R. M.; CADDICK, M. J. Beyond the equilibrium paradigm: How consideration of kinetics enhances metamorphic interpretation. **American Mineralogist**, v. 100, n. 8-9, p. 1659-1667, 2015.
- CASHMAN, K. V.; FERRY, J. M. Crystal size distribution (CSD) in rocks and the kinetics and dynamics of crystallization. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v. 99, n. 4, p. 401-415, 1988.

CODEMIG. Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais. **Levantamento Aerogeofísico de Minas Gerais – Programa 2005/2006**. Belo Horizonte (MG), 2006. 12 mapas: 2977 x 2891 pixels. Convênio CODEMIG / CPRM (Serviço Geológico do Brasil).

CORREIA, C. T. **Geologia da Folha de Cássia-MG, e petrologia de seus anfibolitos**. 1986. 123 f. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Mineralogia e Petrologia) – Instituto de Geociências (IGC), Universidade de São Paulo (USP), 1986.

CORTES, J. P. S. **Compartimentação e evolução geomorfológica da borda ocidental da Serra da Canastra-MG**. 2014. 116 f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), 2003.

COSTA, L.A.M.; ANGEIRAS, A.G. Geosynclinal Evolution in the Epi-Baikalian Platform of Central Brazil, **Geologische Rundschau**, v. 60, n. 2, p. 1024-1050, 1971.

CUSSLER, E. L. **Diffusion: mass transfer in fluid systems**. Cambridge (United Kingdom): Cambridge University press, 2009. 631 p.

DANIEL, C. G.; SPEAR, F. S. The clustered nucleation and growth processes of garnet in regional metamorphic rocks from north-west Connecticut, USA. **Journal of Metamorphic Geology**, v. 17, n. 5, p. 503-520, 1999.

DARDENNE, M.A. Zonação Tectônica na borda ocidental do Cráton São Francisco. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 1978, 30., Recife (PE). **Anais...** Recife (PE), Sociedade Brasileira de Geologia, v. 33, 1978, p. 299-308.

DEMPSTER, T. J. *et al.* Chemical and textural equilibration of garnet during amphibolite facies metamorphism: The influence of coupled dissolution–reprecipitation. **Journal of Metamorphic Geology**, v. 35, n. 9, p. 1111-1130, 2017.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE MINAS GERAIS (DER-MG). **Mapa rodoviário**. 2013. Disponível em: <<http://www.deer.mg.gov.br/transportes/mapa-rodoviario>>. Acesso em 30.jul.2018.

FERNANDES, R. A.; CARNEIRO, M. A. O complexo metamórfico Campo Belo (Cráton São Francisco Meridional): unidades litodêmicas e evolução tectônica. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, n. 4, p. 671-678, 2000.

ERAMBERT, M.; AUSTRHEIM, H. The effect of fluid and deformation on zoning and inclusion patterns in poly-metamorphic garnets. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v. 115, n. 2, p. 204-214, 1993.

FONSECA, M. A.; DARDENNE, M. A.; UHLEIN, A. Faixa Brasília, Setor Setentrional: estilos estruturais e arcabouço tectônico. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 25, n. 4, 1995. p. 267-278.

FUCK, R. A. Dobramentos neoproterozóicos da margem Ocidental do Cráton do São Francisco: revisão. In: 36º Congresso Brasileiro de Geologia, 1990, 36., Natal (RN). **Resumos...** Natal (RN), Sociedade Brasileira de Geologia, v. 36, 1990. p. 288-289.

FUCK, R. A.; PIMENTEL, M. M.; SILVA, L. J. H. D. Compartimentação tectônica da porção oriental da Província Tocantins. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 1994, 38., Camboriú (SC). **Anais...** São Paulo (SP), Sociedade Brasileira de Geologia, v. 1, 1994. p. 215-216.

GENGO, R. M. **Petrologia de ortognaisses e granitóides do domínio Socorro, Nappe Socorro-Guaxupé, seção Extrema-Camanducaia**. 2014. 110 f. Dissertação (Mestrado em Mineralogia e Petrologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo (SP), 2014.

GEORGE, F. R.; GAIDIES, F. Characterization of a garnet population from the Sikkim Himalaya: insights into the rates and mechanisms of porphyroblast crystallization. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v. 172, n. 7, p. 57, 2017.

GUIA MONTE VERDE. **Mapa rodoviário do Estado de Minas Gerais**. 2017. Disponível em: <<http://guiamonteverde.com.br/mapas/mapamg.html>>. Acesso em 30.jul.2018.

HASUI, Y. Compartimentação Geológica do Brasil. In: HASUI, Y. *et al.* (Orgs.) **Geologia do Brasil**. São Paulo (SP): Editora Beca, 2012. pp. 112-122.

HEILBRON, M. *et al.* O contato basal do Grupo Canastra entre Itaú de Minas e Carmo do Rio Claro, MG. **Simpósio de Geologia de Minas Gerais**, v. 4, 1987. p. 179-198.

HOPPE, A.; KLEIN, H.; CHOUDHRURI, A. & SCHMIDT, W. Eclogitos pré-cambrianos no sudoeste de Minas Gerais. In: Simpósio de Geologia de Minas Gerais, 3., 1985, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte (MG): Sociedade Brasileira de Geologia, 1985. p. 180-192.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Divisão do Brasil em Mesorregiões e Microrregiões**. Rio de Janeiro (RJ): IBGE, 1990. v. 1, 135 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20%20RJ/DRB/Divisao%20regional_v01.pdf>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa de Vegetação do Brasil**. Rio de Janeiro (RJ): IBGE, 2004. 1 mapa, colorido. Escala 1:5.000.000. Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/mapas/tematicos/mapas_murais/vegetacao.pdf>. Acesso em: 18.out. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Divisão Regional do Brasil em Regiões Geográficas Imediatas e Regiões Geográficas Intermediárias**. Rio de Janeiro (RJ): IBGE, 2017. 82 p. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv100600.pdf>>. Acesso em: 1.ago.2018.

JOHNSON, S. E. Porphyroblast microstructures: A review of current and future trends. **American Mineralogist**, Lawrence, v.84, n.11/12, p.1711-1726, 1999.

KAEFER, L. Q. *et al.* Projeto Sapucaí: Estado de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. **Boletim CPRM – Série Geológica**, DNPM / CPRM, Superintendência Regional de São Paulo, São Paulo (SP), v. 2, p. 30-34, 1979. (Relatório Final de Geologia).

KRETZ, R. Kinetics of the crystallization of garnet at two localities near Yellowknife. **The Canadian Mineralogist**, v. 12, n. 1, p. 1-20, 1973.

KRETZ, R. Some models for the rate of crystallization of garnet in metamorphic rocks. **Lithos**, v. 7, n. 3, p. 123-131, 1974.

KRETZ, R. Symbols for rock-forming minerals. **American mineralogist**, v. 68, p. 277-279, 1983.

LUVIZOTTO, G. L. **Caracterização metamórfica das rochas do grupo Araxá na região de São Sebastião do Paraíso, Sudoeste de Minas Gerais**. 2003. 185 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), 2003.

LUVIZOTTO, G. L.; SIMÕES, L. S. A.; SOUZA, D. M. Geothermobarometry of retro-eclogites from the Passos Nappe in São Sebastião do Paraíso - MG, Brazil. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 46., 2012, Santos (SP). **Anais....** São Paulo (SP), Sociedade Brasileira de Geologia, v. 1, 2012.

LUVIZOTTO, G. L. *et al.* (Coords.) **Mapeamento Geológico de Áreas Cristalinas: Projeto Fumal (MG)**. Rio Claro (SP), 2015. 8 mapas, color. Escala 1:25.000. (Inédito).

MARINI, O.J.; FUCK, R.A.; DANNI, J.C. & DARDENNE, M.A. 1981. A evolução Geotectônica da Faixa Brasília e do seu embasamento. In: Simpósio sobre o Cráton do São Francisco e suas faixas marginais, 1., 1981, Salvador (BA). **Anais...** Salvador (BA), Sociedade Brasileira de Geologia, v.1, 1981. p. 100-105.

MORALES, N. *et al.* Geologia das folhas de Fortaleza de Minas, Alpinópolis, Jacuí e Nova Resende, MG. In: Simpósio de Geologia de Minas Gerais, 5., 1983, Belo Horizonte (MG). **Anais...** Belo Horizonte (MG), Sociedade Brasileira de Geologia, v. 2, 1983. p. 411-422.

MORALES, N. *et al.* Evolução tectônica do Grupo Araxá nas serras do Chapadão e da Fortaleza, sudoeste do estado de Minas Gerais. **Geociências**, v.15, n. especial, p. 41 – 66, 1996.

NUNES, E.; NÓBREGA JÚNIOR, O. B. A geomorfologia do Brasil. Natal (RN): Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), 2009. Disponível em: <http://www.ead.uepb.edu.br/ava/arquivos/cursos/geografia/geografia_fisica_I/GEOFISAULA12.pdf>. Acesso em 30 set. 2017.

OLIVEIRA, A.H.; CARNEIRO, M. A. Campo Belo Metamorphic Complex: Tectonic Evolution of an Archean sialic crust of the southern São Francisco Craton in Minas Gerais (Brazil). In: Academia Brasileira de Ciências, 73., 2001, Rio de Janeiro (RJ). **Anais...** Rio de Janeiro (RJ), v. 73, n. 3, 2001. p. 397-415.

PASSCHIER, C. W.; TROUW, R. A. J. **Microtectonics**. Berlin (Germany): Springer, 2005. 2 ed. 366 p.

PATTISON, D. R. M.; DE CAPITANI, C.; GAIDIES, F. Petrological consequences of variations in metamorphic reaction affinity. **Journal of Metamorphic Geology**, v. 29, n. 9, p. 953-977, 2011.

PIMENTEL, M. M. *et al.* The tectonic evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil, based on SHRIMP and LA-ICPMS U–Pb sedimentary provenance data: a review. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 31, n. 4, p. 345-357, 2011.

PIMENTEL, M. M. The tectonic evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil: a geochronological and isotopic approach. **Brazilian Journal of Geology**, v. 46, p. 67-82, 2016.

ROBYR, M. *et al.* Microstructural, chemical and textural records during growth of snowball garnet. **Journal of Metamorphic Geology**, v. 27, n. 6, p. 423-437, 2009.

RODRIGUES, J. B. **Proveniência de sedimentos dos grupos Canastra, Ibiá, Vazante e Bambuí: um estudo de zircões detríticos e idades modelo Sm-Nd**. 2008. 128 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências (IG), Universidade de Brasília. Brasília (DF), 2008.

ROSS, J. L. S. **Geografia do Brasil**. 6. ed. São Paulo (SP): Editora da Universidade de São Paulo, 2011. 552 p.

ROSSI, A.; VALERIANO, C. M.; ALMEIDA, J. C. H. Mapa geológico-estrutural preliminar da Folha Furnas 1:50.000, Nappe de Passos, Faixa Brasília Meridional. In: XLIII Congresso Brasileiro de Geologia, 43., 2006, Aracaju (SE). **Anais...** São Paulo (SP): Sociedade Brasileira de Geologia, 2006. v. 1. p. 179-179.

SANTOS, T. E. S. S.; SIMÕES, L. S. A. Caracterização estrutural de um segmento da rampa lateral de Capitólio, limite norte da *Nappe* de Passos (MG). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 39, n. 2, p. 360-374, 2009.

SCHMIDT, W.; FLEISCHER, R. Estilo estrutural do Pré-cambriano no sudeste de Minas Gerais. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 30. 1978, Recife (PE). **Anais...** Recife (PE): Sociedade Brasileira de Geologia, v. 1, 1978. p. 431-434.

SCHMIDT, A. *et al.* Lu–Hf geochronology on cm-sized garnets using microsampling: New constraints on garnet growth rates and duration of metamorphism during continental collision (Menderes Massif, Turkey). **Earth and Planetary Science Letters**, v. 43, n. 2, p. 24-35, 2015.

SCHRANK, A. **Petrologie des komatiites et des raches associées de la ceinture verte du massif précambrien de Piumhi (Minas Gerais-Brésil)**. 1982. 272 f. Tese (Doutorado) - Tese de Doutorado, Universidade de Paris Sud – ORSAY. Paris (França), 1982.

SILVA, C. H. **Evolução Geológica da Faixa Brasília na Região de Tapira, Sudoeste de Minas Gerais**. 2003. 196 f. Tese (Doutorado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Rio Claro (SP), 2003.

SIMÕES, L. S. A. **Evolução Tectonometamórfica da *Nappe* de Passos, sudoeste de Minas Gerais**. 1995. 149 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências (IGc) da Universidade de São Paulo. São Paulo (SP), 1995.

SIMÕES, L. S. A.; VALERIANO, C. M. Porção meridional da Faixa de Dobramentos Brasília: estágio atual do conhecimento e problemas de correlação tectono-estratigráfica. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 36., 1990. Natal (RN). **Anais...** São Paulo (RN): Sociedade Brasileira de Geologia, v. 6, 1990. p. 2564 – 2575.

SIMÕES, L. S. A.; GIRARDI, V. A. V. O significado do padrão de inclusões e do quimismo das granadas da *Nappe* de Passos, no metamorfismo inverso da porção meridional da Faixa Brasília. **Geociências**, v. 15, n. 1, p. 185-198, 1996.

SIMÕES, L. S. A. *et al.* Zonação metamórfica inversa do Grupo Araxá-Canastra na região de São Sebastião do Paraíso-Alpinópolis, MG. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 35., 1988, Belém (PA). **Anais...** São Paulo (SP): Sociedade Brasileira de Geologia, 1988. v. 4, p. 1203-1215.

SIMÕES, L. S. A. *et al.* (Coords.) **Mapeamento Geológico de Áreas Cristalinas: Projeto Cássia I**. Rio Claro (SP), 1990. 8 mapas, color. Escala 1: 25.000. (Inédito).

SIMÕES, L. S. A. *et al.* (Coords.) **Mapeamento Geológico de Áreas Cristalinas: Projeto Cássia II**. Rio Claro (SP), 1991. 8 mapas, color. Escala 1: 25.000. (Inédito).

SIMÕES, L. S. A. *et al.* Folha Delfinópolis (SF-23-V-A-III). Rio Claro (SP): UNESP/CPRM, 2006. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Programa Geologia do Brasil - Levantamentos Geológicos Básicos**. Brasília (DF): CPRM, 2006. 1 mapa, colorido. Escala 1:100.000. (Inédito).

SIMÕES, L. S. A. *et al.* Geologia da *Nappe* de Passos na Região da Represa de Estreito. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 2016, Porto Alegre RS. **Anais...** São Paulo: SBG, 2016. p. 1-1.

SOUZA, D. M. **Estudo do metamorfismo e fusão em rochas pelíticas do Grupo Araxá na Região de São Sebastião do Paraíso - MG**. 2013. 80 f. Trabalho de conclusão de curso (Geologia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista (UNESP). Rio Claro (SP), 2013.

- SPEAR, F. S. Zoned Metamorphic Minerals. In: _____. **Metamorphic phase equilibria and pressure-temperature-time paths**, Washington (DC): Mineralogical Society of America, 1995. pp. 575-639. (Segunda Impressão, Corrigido).
- SPEAR, F. S. Garnet growth after overstepping. **Chemical Geology**, v. 466, p. 491-499, 2017.
- SPEAR, F. S.; DANIEL, C. G. Diffusion control of garnet growth, Harpswell Neck, Maine, USA. **Journal of Metamorphic Geology**, v. 19, n. 2, p. 179-195, 2001.
- SPEAR, F.S.; WOLFE, O. M. Evaluation of the effective bulk composition (EBC) during growth of garnet. **Chemical Geology**, v. 491, p. 39-47, 2018.
- SPEAR, F. S.; THOMAS, J. B.; HALLETT, B. W. Overstepping the garnet isograd: a comparison of QuiG barometry and thermodynamic modeling. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v. 168, n. 3, p. 1059, 2014.
- STRIEDER, A. 1993. **Deformação e metamorfismo na região de Santa Cruz de Goiás: correlação tectono-estratigráfica e evolução tectônica regional**. 1993. 258 f. Tese (Doutorado em Geologia), Instituto de Geociências (IG), Universidade de Brasília (UnB), Brasília (DF), 1993.
- TEIXEIRA, N. A.; DANNI, J. C. M. Contribuição à estratigrafia do Grupo Araxá na região de Passos, MG. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 30., 1978, Recife (PE). **Anais...** São Paulo (PE): Sociedade Brasileira de Geologia, v. 2, 1978. p. 700-710.
- TEIXEIRA, W. *et al.* Polyphase Archean evolution in the Campo Belo metamorphic complex, Southern São Francisco Craton, Brazil: SHRIMP U-Pb zircon evidence. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 11, n. 3, p. 279-289, 1998.
- TROUW, R. A. J.; TAVARES, F.M.; ROBYR, M. Rotated garnets: a mechanism to explain the high frequency of inclusion trail angles around 90° and 180°. **Journal of Structural Geology**, v. 30, p. 1024-1033, 2008.
- TURBAY, C. V. G.; VALERIANO, C. de M. Litogeoquímica do Complexo Campos Gerais e granitoides intrusivos, Arqueano/Paleoproterozoico, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 42, n. 4, p. 663-689, 2012.
- UHLEIN, A. *et al.* Tectônica da Faixa de Dobramentos Brasília – setores setentrional e meridional. **Revista Geonomos**, v. 2, n. 20, 2012.
- VALERIANO, C. M. **Evolução tectônica da extremidade meridional da Faixa Brasília, região da Represa de Furnas, sudoeste de Minas Gerais**. 1992. 192 f. Tese de Doutorado (Mestrado em Tectônica) - Instituto de Geociências (IGC), Universidade de São Paulo (USP), São Paulo (SP), 1992.
- VALERIANO, C. M. The Southern Brasília Belt. In: HEILBRON, M.; CORDANI, U. G.; ALKMIM, F. F. (Eds.). **São Francisco Craton, Eastern Brazil: Tectonic Genealogy of a Miniature Continent**. Berlin (Germany): Springer, 2017. p. 189-203.
- VALERIANO, C. D. M.; SIMÕES, L. S. A. Geochemistry of proterozoic mafic rocks from the Passos nappe (Minas Gerais, Brazil): tectonic implications to the evolution of the southern Brasília Belt. **Brazilian Journal of Geology**, v. 27, n. 1, p. 99-110, 1997.
- VALERIANO, L. S. A.; HEILBRON, M.; SIMÕES, L. S. A. Compartimentação tectônica da porção meridional da Faixa Brasília, nos segmentos de Araxá e da Represa de Furnas, Sudoeste de Minas Gerais In: Congresso Brasileiro de Geologia, 1994, 38., Camboriú (SC). **Anais...** São Paulo (SP), Sociedade Brasileira de Geologia, v. 1, 1994. p. 217-218.

VALERIANO, C. M.; SIMÕES, L. S. A.; GODOY, A. M. Compartimentação tectônica da porção meridional das Faixas Uruaçu e Brasília, SW de Minas Gerais: dados preliminares. In: Simpósio de Geologia de Minas Gerais, 1989, 5., Belo Horizonte (MG). **Anais...** Belo Horizonte (MG), Sociedade Brasileira de Geologia (Núcleo de Minas Gerais), 1989. p. 238-242.

VALERIANO, C. M.; SIMÕES, L. S. A.; HEILBRON, M. Estruturação da porção meridional da Faixa Brasília, sudoeste de Minas Gerais: implicações sobre a definição do limite regional do Cráton São Francisco. In: Simpósio sobre o Cráton de São Francisco, 1993, 2., Salvador (BA). **Anais...** Salvador (BA), Sociedade Brasileira de Geologia, 1993. p. 275-276.

VALERIANO, C. D. M. *et al.* Southern Brasilia Belt (SE Brazil): tectonic discontinuities, K-Ar data and evolution during the Neoproterozoic Brasiliano orogeny, **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, p. 195-199, 2000.

VALERIANO, C. D. M. *et al.* A evolução tectônica da Faixa Brasília. In: MANTESSO-NETO, V. *et al.* **Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo (SP): Editora Beca, 2004a. p. 575-592.

VALERIANO, C. D. M. *et al.* U-Pb geochronology of the southern Brasilia belt (SE-Brazil): sedimentary provenance, Neoproterozoic orogeny and assembly of West Gondwana. **Precambrian Research**, v. 130, n. 1, p. 27-55, 2004b.

VALERIANO, C. M. *et al.* U-Pb geochronology of zircons from orthogneisses of the Campos Gerais Complex south of Alpinópolis town (Minas Gerais, SE-Brazil) using the LAMC-ICPMS technique: reconstructing archean nuclei in the southwestern margin of the São Francisco Craton. In: ALKMIM, F. F.; NOCE, C. M. eds. The Paleoproterozoic record of the São Francisco Craton, IGCP 509. Field Workshop, Bahia and Minas Gerais States, Brazil, Field Guide, 2006, Ouro Preto (MG). **Abstracts...** Ouro Preto (MG): Ed. UFOP, 2006. p. 88-89.

VALERIANO, C. M. *et al.* Geologia da Folha Alpinópolis (SF-23-V-B-IV). Rio de Janeiro (RJ): UERJ/CPRM, 2007. 93 p. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Programa Geologia do Brasil - Levantamentos Geológicos Básicos**. Brasília (DF): CPRM, 2007. Acompanha 1 mapa, colorido. Escala 1:100.000 e CD-ROM. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia_basica/pgb/rel_alpinopolis.pdf>. Acesso em 15.abr.2018.

VERNON, R. H.; CLARKE, G. L. **Principles of metamorphic petrology**. Cambridge (United Kingdom): Cambridge University Press, 2008. 446 p.

WARREN, L. V. *et al.* The puzzle assembled: Ediacaran guide fossil Cloudina reveals an old proto-Gondwana seaway. **Geology**, v. 42, n. 5, p. 391-394, 2014.

WERNICK, E. **A geologia da região de Amparo (Leste do Estado de São Paulo)**. 1967. 235 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras (FFCL). Rio Claro (SP). 1967.

YARDLEY, B. W. D. **An introduction to metamorphic petrology**. London (United Kingdom): Longman Scientific & Technical, 1989. 248 p.

ZANARDO, A. **Análise petrográfica, estratigráfica e microestrutural da região de Guaxupé – Passos – Delfinópolis (MG)**. 1992. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP). Rio Claro (SP). 1992.

ZANARDO, A.; MORALES, N.; DEL LAMA, E. A. Evolução metamórfica do Grupo Araxá-Canastra na região de Passos (MG). In: Congresso Brasileiro de Geologia, 37., 1992, São Paulo (SP). **Anais...** São Paulo (SP): SBG, 1992. v. 1, p. 408-409.

ZANARDO A. *et al.* **Folha São Sebastião do Paraíso (SF-23-V-A-VI)**. Rio Claro (SP): UNESP, 2008. 1 mapa, colorido. Escala 1:100.000 (Inédito).

ZWART, H. J. On the determination of polymetamorphic mineral associations, and its application to the Bosost area (Central Pyrenees). **Geologische Rundschau**, v. 52, n. 1, p. 38-65, 1962.

APÊNDICE A: TABELAS DE ANÁLISES QUÍMICAS:

Apêndice A.1: Análises químicas feitas em megaporfiroblastos das Unidades E e G da *Nappe* de Passos através de utilizada microsonda eletrônica da marca *JEOL*, modelo *JXA-8230*. Condições de análise: diferença de potencial de 15 kV, corrente de 20 nA e diâmetro do feixe de 10 µm. **Obs.:** Cátions calculados para 24 Oxigênios.

MR-1-B-Gr1 (Unidade E)																			
Óxidos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	20
SiO ₂	37,30	37,54	37,09	36,91	36,98	37,09	37,06	36,99	36,74	36,77	36,96	36,95	36,97	36,69	36,41	36,55	37,19	37,28	36,94
TiO ₂	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	1,02	0,01	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	21,49	21,42	21,47	21,33	21,36	21,30	21,04	21,19	21,26	21,05	21,31	21,14	21,22	21,28	21,08	21,36	21,18	21,67	21,52
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	36,12	36,05	36,73	37,00	37,22	36,21	35,85	35,84	35,98	35,47	35,83	36,08	36,82	37,04	36,54	36,86	36,38	35,97	35,62
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,14	0,05	0,15	0,24	0,33	0,42	0,47	0,54	0,64	0,63	0,50	0,41	0,35	0,29	0,22	0,17	0,11	0,06	0,05
MgO	4,98	4,81	4,24	4,00	3,77	3,60	3,47	3,27	3,23	3,21	3,31	3,41	3,69	3,83	3,90	4,12	4,27	4,64	5,03
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,58	0,80	0,88	0,75	0,94	1,86	2,24	2,24	2,14	2,29	2,18	2,28	1,19	0,86	0,81	0,71	0,89	0,75	0,65
Na ₂ O	0,05	0,04	0,01	0,03	0,04	0,02	0,00	0,02	0,04	0,04	0,02	0,02	0,03	0,00	0,04	0,03	0,02	0,01	0,03
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	100,67	100,71	100,58	100,28	100,66	100,50	100,15	100,09	100,03	99,45	100,11	100,28	100,29	99,99	100,02	99,81	100,04	100,39	99,84
Cátions																			
SiO ₂	5,93	5,96	5,92	5,92	5,92	5,94	5,96	5,95	5,92	5,95	5,94	5,94	5,94	5,91	5,86	5,90	5,96	5,94	5,91
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	4,03	4,01	4,04	4,04	4,03	4,02	3,99	4,02	4,04	4,02	4,04	4,01	4,02	4,04	4,00	4,06	4,00	4,07	4,06
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	4,80	4,78	4,91	4,97	4,99	4,85	4,82	4,82	4,85	4,80	4,82	4,85	4,95	4,99	4,92	4,97	4,88	4,79	4,77
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,02	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,06	0,07	0,09	0,09	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01
MgO	1,18	1,14	1,01	0,96	0,90	0,86	0,83	0,78	0,78	0,77	0,79	0,82	0,88	0,92	0,94	0,99	1,02	1,10	1,20
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,10	0,14	0,15	0,13	0,16	0,32	0,39	0,39	0,37	0,40	0,38	0,39	0,20	0,15	0,14	0,12	0,15	0,13	0,11
Na ₂ O	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fase sólida																			
Almandina	78,74	78,91	80,61	81,62	81,84	79,69	78,97	79,49	79,74	79,24	79,56	79,32	81,32	81,85	81,64	81,39	80,40	79,47	78,34
Piropo	19,33	18,76	16,58	15,72	14,78	14,13	13,64	12,93	12,74	12,78	13,10	13,35	14,54	15,06	15,53	16,23	16,83	18,28	19,70
Espessartita	0,32	0,11	0,32	0,54	0,74	0,93	1,05	1,21	1,44	1,42	1,13	0,90	0,79	0,65	0,50	0,37	0,24	0,13	0,12
Grossulária	1,62	2,23	2,49	2,12	2,64	5,25	6,34	6,37	6,08	6,56	6,21	6,42	3,36	2,43	2,33	2,01	2,53	2,12	1,84

Óxidos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
SiO ₂	37,40	37,40	37,17	37,19	36,72	36,69	36,34	36,61	36,44	36,43	37,19	36,89	36,80	36,13	36,13	36,89	36,42	37,07	37,05
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,60	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	21,68	21,68	21,60	21,52	21,37	21,04	21,08	20,94	21,13	21,22	21,35	21,34	21,54	21,03	21,33	21,37	21,14	21,37	21,54
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	35,38	35,25	35,36	35,52	36,26	35,89	35,58	35,66	36,32	36,31	36,25	36,14	35,40	35,48	35,87	36,02	36,21	35,51	35,22
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,18	0,22	0,28	0,30	0,33	0,43	0,41	0,49	0,50	0,46	0,49	0,46	0,41	0,42	0,29	0,21	0,15	0,16	0,10
MgO	4,97	4,84	4,58	4,24	3,98	3,42	3,12	3,02	2,90	2,90	2,90	2,90	2,95	2,99	3,74	4,24	4,33	4,66	4,92
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,57	0,71	1,08	0,87	1,06	1,71	1,96	2,04	1,97	2,01	2,01	2,13	2,26	1,90	0,95	0,62	0,56	0,60	0,74
Na ₂ O	0,03	0,03	0,02	0,02	0,04	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,02	0,02	0,00	0,03	0,01	0,04	0,01	0,04	0,02
K ₂ O	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	100,22	100,14	100,09	99,67	99,75	99,23	98,49	98,79	99,27	99,33	100,21	99,88	99,36	97,99	98,32	99,40	99,42	99,41	99,58
Cátions																			
SiO ₂	5,95	5,95	5,93	5,96	5,92	5,95	5,94	5,97	5,93	5,92	5,98	5,95	5,95	5,94	5,91	5,95	5,88	5,96	5,93
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	4,06	4,07	4,07	4,07	4,06	4,02	4,06	4,02	4,05	4,07	4,04	4,06	4,11	4,08	4,11	4,06	4,03	4,05	4,07
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	4,70	4,69	4,72	4,76	4,89	4,87	4,86	4,86	4,94	4,94	4,87	4,88	4,79	4,88	4,90	4,86	4,89	4,77	4,72
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01
MgO	1,18	1,15	1,09	1,01	0,96	0,83	0,76	0,73	0,70	0,70	0,69	0,70	0,71	0,73	0,91	1,02	1,04	1,12	1,17
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,10	0,12	0,18	0,15	0,18	0,30	0,34	0,36	0,34	0,35	0,35	0,37	0,39	0,34	0,17	0,11	0,10	0,10	0,13
Na ₂ O	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fase sólida																			
Almandina	78,33	78,34	78,27	79,81	80,50	80,46	80,75	80,77	81,57	81,56	81,48	81,20	80,52	81,26	81,43	80,78	80,83	79,38	78,21
Piropo	19,63	19,15	18,05	16,99	15,75	13,65	12,62	12,19	11,62	11,62	11,62	11,62	11,95	12,18	15,15	16,96	17,23	18,55	19,47
Espessartita	0,41	0,50	0,62	0,69	0,75	0,96	0,93	1,13	1,14	1,04	1,11	1,05	0,94	0,97	0,66	0,48	0,34	0,35	0,22
Grossulária	1,63	2,01	3,05	2,51	3,01	4,92	5,69	5,91	5,67	5,78	5,79	6,13	6,60	5,58	2,76	1,77	1,59	1,71	2,10
Óxidos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

SiO2	37,36	37,38	37,36	37,40	37,13	37,12	35,20	37,39	37,14	37,42	37,92	37,15	37,67	37,83	37,54	36,95	37,30	37,53	37,17
TiO2	0,01	0,00	0,02	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
Al2O3	21,42	21,44	21,62	21,40	21,37	21,34	21,30	21,55	21,18	21,71	21,53	21,40	21,40	21,82	21,96	21,46	21,46	21,44	21,50
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	35,49	35,70	35,17	34,87	34,91	35,34	33,88	35,13	35,54	35,31	35,63	35,19	35,39	35,42	35,40	35,45	35,74	35,60	35,70
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,33	0,38	0,43	0,52	0,52	0,53	0,52	0,64	0,57	0,58	0,58	0,57	0,59	0,54	0,56	0,51	0,46	0,34	0,32
MgO	4,51	4,30	4,09	3,87	3,84	3,95	3,79	3,98	3,88	3,98	3,98	3,92	3,93	3,95	3,87	3,86	3,69	3,87	3,82
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,87	1,19	1,70	2,06	2,08	1,61	1,54	1,60	1,48	1,45	1,57	1,61	1,48	1,65	1,55	1,47	1,78	1,67	1,72
Na2O	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00	0,01	0,01	0,01	0,03	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00
K2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	100,02	100,41	100,40	100,17	99,87	99,89	96,23	100,31	99,80	100,45	101,24	99,84	100,46	101,24	100,88	99,70	100,45	100,47	100,26
Cátions																			
SiO2	5,97	5,96	5,95	5,97	5,95	5,96	5,86	5,96	5,97	5,96	5,99	5,96	6,00	5,97	5,95	5,94	5,96	5,98	5,95
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al2O3	4,03	4,03	4,06	4,03	4,04	4,04	4,18	4,05	4,01	4,08	4,01	4,05	4,02	4,06	4,10	4,07	4,04	4,03	4,05
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	4,74	4,76	4,69	4,66	4,68	4,74	4,72	4,69	4,78	4,70	4,71	4,72	4,71	4,68	4,69	4,77	4,77	4,74	4,77
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,04	0,05	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04
MgO	1,07	1,02	0,97	0,92	0,92	0,94	0,94	0,95	0,93	0,94	0,94	0,94	0,93	0,93	0,91	0,93	0,88	0,92	0,91
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,15	0,20	0,29	0,35	0,36	0,28	0,27	0,27	0,25	0,25	0,27	0,28	0,25	0,28	0,26	0,25	0,30	0,29	0,30
Na2O	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
K2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fase sólida																			
Almandina	78,91	78,86	78,04	77,61	77,69	78,60	78,58	78,20	79,13	78,74	78,61	78,53	78,87	78,50	78,93	79,24	79,32	79,12	79,26
Piropo	17,89	16,91	16,16	15,33	15,21	15,64	15,65	15,79	15,38	15,80	15,66	15,58	15,59	15,61	15,37	15,38	14,60	15,35	15,13
Espessartita	0,74	0,86	0,97	1,18	1,17	1,19	1,22	1,44	1,27	1,32	1,30	1,29	1,32	1,21	1,27	1,16	1,04	0,77	0,71
Grossulária	2,47	3,38	4,83	5,89	5,93	4,57	4,56	4,56	4,21	4,14	4,43	4,59	4,22	4,69	4,43	4,21	5,05	4,76	4,90

MR-1-G4-Gr (Unidade E)																			
Óxidos	1	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SiO2	37,55	37,08	36,86	36,97	36,94	35,97	37,10	37,66	37,18	36,85	37,00	37,28	37,21	37,26	37,02	37,18	37,08	36,91	36,98
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al2O3	21,63	21,13	21,19	21,24	21,43	21,12	21,23	21,23	21,15	21,16	21,04	21,21	21,26	21,14	21,22	21,36	21,18	21,15	21,46
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	35,27	36,47	36,28	35,44	35,58	33,93	34,22	35,01	35,28	34,98	35,94	34,56	35,75	35,54	35,96	35,34	36,26	36,49	35,18
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,09	0,13	0,42	0,65	0,74	0,75	1,21	1,08	0,92	1,01	0,71	1,04	0,69	0,73	0,73	0,65	0,45	0,15	0,05
MgO	5,16	4,51	4,08	3,86	3,95	3,44	3,19	3,61	3,89	3,72	3,98	3,65	4,02	4,01	3,90	3,96	4,15	4,31	4,98
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,61	0,62	0,80	1,81	1,24	1,81	2,69	1,98	1,44	1,92	1,30	2,14	1,28	1,40	1,24	1,23	0,73	0,59	0,61
Na2O	0,03	0,04	0,03	0,04	0,04	0,00	0,04	0,03	0,03	0,03	0,01	0,01	0,00	0,03	0,04	0,04	0,04	0,02	0,03
K2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	100,33	99,98	99,65	100,01	99,92	97,03	99,70	100,60	99,89	99,67	99,98	99,90	100,23	100,14	100,12	99,74	99,89	99,63	99,29
Cátions																			
SiO2	5,96	5,95	5,94	5,94	5,93	5,94	5,97	6,00	5,97	5,94	5,95	5,98	5,96	5,97	5,95	5,97	5,96	5,95	5,94
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al2O3	4,04	4,00	4,03	4,02	4,06	4,11	4,03	3,99	4,00	4,02	3,99	4,01	4,01	3,99	4,02	4,04	4,01	4,02	4,06
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	4,68	4,89	4,89	4,76	4,78	4,68	4,61	4,67	4,74	4,72	4,83	4,64	4,79	4,76	4,83	4,75	4,87	4,92	4,72
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,01	0,02	0,06	0,09	0,10	0,11	0,17	0,15	0,13	0,14	0,10	0,14	0,09	0,10	0,10	0,09	0,06	0,02	0,01
MgO	1,22	1,08	0,98	0,92	0,95	0,85	0,77	0,86	0,93	0,89	0,95	0,87	0,96	0,96	0,93	0,95	0,99	1,04	1,19
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,10	0,11	0,14	0,31	0,21	0,32	0,46	0,34	0,25	0,33	0,22	0,37	0,22	0,24	0,21	0,21	0,13	0,10	0,10
Na2O	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
K2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fase sólida																			
Almandina	77,80	80,28	80,64	78,24	79,13	78,65	76,76	77,69	78,42	77,59	79,12	77,04	79,00	78,59	79,49	79,21	80,50	80,92	78,39
Piropo	20,29	17,70	16,15	15,19	15,67	14,21	12,77	14,28	15,41	14,70	15,62	14,51	15,83	15,82	15,37	15,81	16,42	17,05	19,75
Espessartita	0,19	0,28	0,94	1,46	1,66	1,76	2,76	2,42	2,08	2,27	1,58	2,34	1,55	1,63	1,63	1,47	1,01	0,34	0,12
Grossulária	1,71	1,74	2,27	5,11	3,54	5,38	7,72	5,62	4,09	5,45	3,67	6,11	3,62	3,96	3,51	3,52	2,08	1,69	1,73

MR-1-E-Gr2L (Unidade E)																
Óxidos	1	2	4	5	6	7	8	10	11	13	14	15	16	18	19	20
SiO2	37,13	37,03	36,89	36,76	37,25	37,30	37,22	37,27	37,71	37,77	37,61	37,40	37,35	37,05	37,46	37,10
TiO2	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,44	0,00	0,01	0,00
Al2O3	21,39	21,14	21,48	21,33	21,34	21,47	21,48	21,26	21,80	21,80	21,45	21,39	21,51	21,48	21,40	21,37
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	34,74	35,10	35,03	35,18	35,07	34,94	35,12	35,38	35,42	35,40	35,29	35,22	34,49	34,93	35,06	35,36
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,46	0,63	0,95	1,04	1,05	0,99	0,85	0,58	0,56	0,57	0,54	0,51	0,47	0,38	0,34	0,33
MgO	3,83	3,57	3,26	3,16	3,18	3,32	3,56	3,94	4,04	3,99	4,02	3,88	3,90	4,02	4,28	4,36
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	1,92	2,18	2,29	2,52	2,43	2,43	2,18	1,44	1,63	1,64	1,83	2,02	2,06	1,72	1,54	1,47
Na2O	0,03	0,02	0,00	0,01	0,02	0,03	0,00	0,02	0,02	0,03	0,00	0,02	0,01	0,02	0,00	0,01
K2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	99,49	99,69	99,89	100,02	100,35	100,49	100,41	99,89	101,19	101,21	100,75	100,45	100,23	99,61	100,09	99,99
Cátions																
SiO2	5,97	5,96	5,93	5,92	5,97	5,96	5,95	5,98	5,96	5,97	5,97	5,96	5,95	5,95	5,98	5,94
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00
Al2O3	4,05	4,01	4,07	4,05	4,03	4,04	4,05	4,02	4,06	4,06	4,02	4,02	4,04	4,07	4,02	4,03
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	4,67	4,73	4,71	4,74	4,70	4,67	4,70	4,75	4,68	4,68	4,69	4,70	4,60	4,69	4,68	4,73
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,06	0,09	0,13	0,14	0,14	0,13	0,11	0,08	0,07	0,08	0,07	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04
MgO	0,92	0,86	0,78	0,76	0,76	0,79	0,85	0,94	0,95	0,94	0,95	0,92	0,93	0,96	1,02	1,04
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,33	0,38	0,40	0,43	0,42	0,42	0,37	0,25	0,28	0,28	0,31	0,35	0,35	0,30	0,26	0,25
Na2O	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00
K2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fase sólida																
Almandina	78,08	78,18	78,31	78,02	78,09	77,68	77,84	78,93	78,24	78,35	77,81	77,84	77,41	78,17	77,89	77,98
Piropo	15,35	14,18	12,98	12,50	12,63	13,16	14,06	15,65	15,91	15,72	15,79	15,30	15,61	16,03	16,95	17,14
Espessartita	1,04	1,42	2,14	2,33	2,36	2,24	1,91	1,32	1,25	1,27	1,21	1,15	1,06	0,86	0,77	0,73
Grossulária	5,54	6,23	6,57	7,15	6,92	6,93	6,19	4,10	4,61	4,66	5,18	5,72	5,92	4,93	4,38	4,14

MR-1-G10-Gr (Unidade E)																				
Óxidos	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	14,00	15,00	16,00	17,00	18,00	19,00	20,00
SiO2	37,79	37,53	37,71	37,43	37,36	37,67	37,78	37,81	37,55	37,55	37,34	37,55	37,52	37,50	37,25	37,61	37,50	37,45	37,62	37,69
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
Al2O3	21,50	21,46	21,44	21,25	21,24	21,47	21,47	21,39	21,46	21,36	21,55	21,60	21,48	21,53	21,34	21,66	21,26	21,11	21,32	21,27
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	35,16	35,25	35,40	35,28	34,35	35,37	36,18	35,53	35,20	35,50	34,98	34,90	35,08	34,65	35,03	35,12	34,24	34,98	34,61	34,93
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,02	0,03	0,03	0,05	0,07	0,09	0,20	0,41	0,47	0,53	0,51	0,51	0,49	0,49	0,56	0,53	0,56	0,63	0,67	0,64
MgO	5,20	5,11	5,13	5,01	4,73	4,57	4,43	4,37	4,32	4,53	4,26	4,23	4,28	4,29	4,14	4,26	4,30	4,20	4,09	4,21
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,69	0,67	0,62	0,64	0,69	0,77	0,72	0,96	1,41	0,85	1,24	1,37	1,42	1,52	1,56	1,35	1,38	1,44	1,47	1,48
Na2O	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02	0,01	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,01
K2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	100,38	100,09	100,36	99,68	98,47	99,97	100,81	100,51	100,44	100,34	99,90	100,17	100,32	100,00	99,88	100,56	99,26	99,83	99,80	100,23
Cátions																				
SiO2	5,99	5,97	5,98	5,98	6,02	6,00	5,99	6,01	5,97	5,98	5,97	5,98	5,97	5,98	5,97	5,97	6,02	6,00	6,01	6,01
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al2O3	4,01	4,02	4,01	4,00	4,04	4,03	4,01	4,01	4,03	4,01	4,06	4,05	4,03	4,05	4,03	4,05	4,02	3,99	4,02	4,00
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	4,66	4,69	4,70	4,72	4,63	4,71	4,80	4,72	4,68	4,73	4,68	4,65	4,67	4,62	4,69	4,66	4,59	4,69	4,63	4,66
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,03	0,05	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,07	0,08	0,09	0,09	0,09
MgO	1,23	1,21	1,21	1,19	1,14	1,08	1,05	1,03	1,03	1,07	1,02	1,00	1,02	1,02	0,99	1,01	1,03	1,00	0,97	1,00
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,12	0,11	0,11	0,11	0,12	0,13	0,12	0,16	0,24	0,14	0,21	0,23	0,24	0,26	0,27	0,23	0,24	0,25	0,25	0,25
Na2O	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
K2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fase sólida																				
Almandina	77,57	77,92	78,01	78,28	78,54	79,33	80,05	79,04	77,89	78,56	78,29	78,07	77,90	77,44	77,91	78,06	77,41	77,83	77,86	77,66
Piropo	20,44	20,12	20,15	19,79	19,29	18,25	17,48	17,31	17,05	17,85	17,00	16,86	16,94	17,09	16,39	16,89	17,31	16,64	16,38	16,69
Espessartita	0,04	0,07	0,07	0,11	0,16	0,21	0,44	0,92	1,06	1,18	1,16	1,16	1,11	1,11	1,26	1,20	1,28	1,42	1,52	1,44
Grossulária	1,95	1,90	1,76	1,82	2,01	2,21	2,03	2,74	3,99	2,40	3,56	3,91	4,05	4,36	4,44	3,85	4,01	4,12	4,24	4,21

MR-1-G10-Gr (Unidade E) - Continuação																			
Óxidos	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	34	35	36	37	38	39	40
SiO2	37,62	37,59	37,79	37,50	37,59	37,44	37,42	37,82	37,57	37,69	37,57	37,49	37,33	37,50	37,67	38,07	37,81	37,74	37,53
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00
Al2O3	21,27	21,26	21,55	21,30	21,44	21,52	21,30	21,44	21,26	21,46	21,07	21,32	21,06	21,09	21,42	21,49	21,38	21,32	21,49
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	34,82	34,75	34,52	34,94	35,09	34,91	35,05	35,45	35,00	35,30	35,14	35,29	36,85	36,18	36,37	35,82	36,09	36,30	35,46
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,52	0,63	0,68	0,54	0,58	0,58	0,55	0,59	0,60	0,56	0,61	0,60	0,35	0,32	0,25	0,19	0,13	0,08	0,03
MgO	4,16	4,13	4,09	4,15	4,20	4,19	4,23	4,22	4,10	4,19	4,04	3,55	3,84	4,14	4,15	4,20	4,46	4,71	4,77
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	1,37	1,63	1,78	1,53	1,39	1,45	1,47	1,32	1,34	1,52	1,48	2,15	0,86	0,84	0,68	0,69	0,73	0,77	0,60
Na2O	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,00	0,02	0,04	0,04	0,00	0,04	0,01	0,03
K2O	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	99,78	100,00	100,43	99,99	100,31	100,10	100,05	100,85	99,91	100,75	99,93	100,39	100,33	100,10	100,59	100,58	100,65	100,94	99,89
Cátions																			
SiO2	6,01	6,00	6,00	5,99	5,99	5,97	5,98	5,99	6,01	5,98	6,01	5,99	5,99	6,00	5,99	6,03	6,00	5,98	5,98
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Al2O3	4,01	4,00	4,03	4,01	4,03	4,05	4,01	4,01	4,01	4,01	3,98	4,01	3,98	3,98	4,02	4,02	4,00	3,98	4,04
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	4,66	4,64	4,58	4,67	4,67	4,66	4,68	4,70	4,68	4,69	4,70	4,71	4,94	4,84	4,84	4,75	4,79	4,81	4,73
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,07	0,09	0,09	0,07	0,08	0,08	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01	0,00
MgO	0,99	0,98	0,97	0,99	1,00	1,00	1,01	1,00	0,98	0,99	0,96	0,85	0,92	0,99	0,98	0,99	1,05	1,11	1,13
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,23	0,28	0,30	0,26	0,24	0,25	0,25	0,22	0,23	0,26	0,25	0,37	0,15	0,14	0,12	0,12	0,12	0,13	0,10
Na2O	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01
K2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fase sólida																			
Almandina	78,24	77,52	77,09	77,90	78,08	77,89	77,85	78,33	78,41	77,96	78,33	78,47	81,60	80,50	81,01	80,72	80,01	79,33	79,24
Piropo	16,65	16,40	16,27	16,49	16,65	16,64	16,74	16,62	16,38	16,50	16,06	14,07	15,16	16,40	16,48	16,86	17,60	18,35	19,00
Espeartita	1,18	1,43	1,53	1,23	1,31	1,32	1,23	1,32	1,36	1,25	1,37	1,34	0,79	0,71	0,57	0,43	0,30	0,17	0,06
Grossulária	3,93	4,65	5,10	4,38	3,96	4,14	4,18	3,73	3,85	4,29	4,23	6,12	2,45	2,39	1,93	2,00	2,09	2,14	1,71

MR-1-P-Gr (Unidade E)																				
Óxidos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SiO ₂	37,32	37,37	36,93	36,89	36,83	37,13	37,41	37,65	37,54	37,59	37,03	36,86	37,02	37,07	37,28	36,73	36,86	37,00	36,73	36,74
TiO ₂	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	21,54	21,71	21,53	21,49	21,35	21,61	21,76	22,09	21,62	21,79	21,58	21,07	21,07	21,38	21,33	21,48	21,13	21,12	21,20	21,05
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	35,05	35,64	36,19	35,02	34,67	35,27	34,85	34,96	34,88	35,24	35,21	35,85	36,18	36,13	35,51	35,54	35,54	35,47	35,52	35,21
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,09	0,17	0,10	0,11	0,11	0,09	0,07	0,06	0,07	0,09	0,14	0,25	0,23	0,45	0,52	0,53	0,57	0,58	0,58	0,59
MgO	5,01	4,78	4,48	5,00	5,26	5,33	5,38	5,34	5,26	5,06	4,62	4,13	4,09	3,85	3,78	3,67	3,63	3,63	3,62	3,66
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,83	0,85	0,75	0,80	0,79	0,74	0,70	0,72	0,77	0,92	1,26	1,31	1,27	1,22	1,77	1,82	1,88	1,86	1,91	1,95
Na ₂ O	0,02	0,04	0,03	0,01	0,03	0,02	0,03	0,05	0,02	0,00	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02	0,03	0,01	0,03	0,01	0,03
K ₂ O	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	99,88	100,57	100,02	99,34	99,04	100,19	100,20	100,87	100,17	100,69	99,86	99,50	99,88	100,14	100,22	99,80	99,73	99,69	99,57	99,23
Cátions																				
SiO ₂	5,95	5,93	5,92	5,92	5,92	5,91	5,93	5,93	5,96	5,94	5,92	5,95	5,95	5,95	5,97	5,91	5,94	5,96	5,93	5,95
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	4,05	4,06	4,07	4,07	4,05	4,05	4,07	4,10	4,05	4,06	4,07	4,01	4,00	4,04	4,02	4,08	4,02	4,01	4,04	4,02
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	4,67	4,73	4,85	4,70	4,66	4,69	4,62	4,60	4,63	4,66	4,71	4,84	4,87	4,85	4,75	4,79	4,79	4,78	4,80	4,77
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,06	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08
MgO	1,19	1,13	1,07	1,20	1,26	1,27	1,27	1,25	1,24	1,19	1,10	0,99	0,98	0,92	0,90	0,88	0,87	0,87	0,87	0,88
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,14	0,14	0,13	0,14	0,14	0,13	0,12	0,12	0,13	0,16	0,22	0,23	0,22	0,21	0,30	0,31	0,32	0,32	0,33	0,34
Na ₂ O	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fase sólida																				
Almandina	77,64	78,47	79,98	77,70	76,78	76,98	76,78	76,91	76,98	77,42	77,89	79,43	79,82	80,27	78,85	79,07	78,98	78,97	78,91	78,54
Piropo	19,80	18,75	17,66	19,77	20,74	20,75	21,11	20,92	20,70	19,80	18,22	16,29	16,09	15,25	14,94	14,57	14,38	14,42	14,33	14,55
Espessartita	0,21	0,38	0,23	0,24	0,24	0,21	0,15	0,14	0,15	0,20	0,32	0,55	0,52	1,01	1,16	1,19	1,29	1,30	1,31	1,34
Grossulária	2,35	2,40	2,12	2,29	2,23	2,06	1,97	2,03	2,18	2,58	3,56	3,73	3,58	3,47	5,05	5,17	5,34	5,31	5,44	5,57

Apêndice A.2: Análises químicas feitas em porfiroblastos comuns da Unidades E da Nappe de Passos através de utilizada microsonda eletrônica da marca *JEOL*, modelo *JXA-8230*. Condições de análise: diferença de potencial de 15 kV, corrente de 20 nA e diâmetro do feixe de 10 µm. **Obs.:** Cátions calculados para 24 Oxigênios.

MRH-35-GrL (Unidade E)																								
Óxidos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
SiO2	36,99	37,23	36,78	36,74	36,80	36,94	36,36	36,71	36,76	36,44	36,83	36,43	36,31	36,62	36,67	36,61	36,59	36,74	36,61	36,59	36,65	36,58	36,48	36,42
TiO2	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,05	0,01	0,02
Al2O3	20,93	20,86	20,73	20,64	20,53	20,65	20,58	20,63	20,93	20,58	20,88	20,47	20,53	20,46	20,51	20,41	20,63	20,70	20,62	20,38	20,52	20,48	20,44	20,57
Cr2O3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,01	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02	0,02	0,00	0,02	0,02
FeO	37,79	37,92	37,41	37,46	37,70	37,64	37,40	36,66	36,91	36,74	36,83	36,80	36,79	36,80	37,09	36,78	36,52	36,94	36,86	37,16	37,48	37,52	37,23	36,89
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,37	0,48	0,62	0,94	1,07	1,40	1,67	1,98	2,09	2,18	2,37	2,38	2,40	2,52	2,39	2,38	2,36	2,37	2,25	2,19	1,90	1,87	1,88	1,90
MgO	3,51	3,59	3,47	3,29	3,00	3,02	2,75	2,81	2,71	2,68	2,70	2,54	2,55	2,54	2,55	2,61	2,59	2,60	2,70	2,71	2,73	2,66	2,71	2,71
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,39	0,38	0,44	0,47	0,54	0,45	0,54	0,53	0,49	0,58	0,56	0,66	0,71	0,68	0,62	0,66	0,61	0,61	0,55	0,55	0,62	0,43	0,56	0,53
Na2O	0,04	0,04	0,05	0,03	0,06	0,01	0,06	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,06	0,04	0,06	0,03	0,05	0,03	0,07	0,05	0,04	0,04	0,04	0,07
K2O	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	100,05	100,53	99,49	99,57	99,73	100,13	99,38	99,36	99,95	99,28	100,23	99,37	99,40	99,72	99,94	99,50	99,38	100,01	99,69	99,68	99,98	99,63	99,37	99,13
Cátions																								
SiO2	5,97	5,98	5,98	5,98	5,99	5,99	5,95	5,99	5,97	5,97	5,97	5,97	5,95	5,98	5,98	5,99	5,98	5,98	5,97	5,98	5,97	5,98	5,97	5,97
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	
Al2O3	3,99	3,95	3,97	3,96	3,94	3,95	3,97	3,97	4,01	3,97	3,99	3,96	3,97	3,94	3,94	3,94	3,98	3,97	3,97	3,93	3,94	3,95	3,95	3,98
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	5,10	5,10	5,08	5,10	5,13	5,10	5,12	5,00	5,01	5,03	4,99	5,04	5,04	5,03	5,06	5,03	4,99	5,02	5,03	5,08	5,10	5,13	5,10	5,06
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,05	0,06	0,08	0,13	0,15	0,19	0,23	0,27	0,29	0,30	0,33	0,33	0,33	0,35	0,33	0,33	0,33	0,33	0,31	0,30	0,26	0,26	0,26	0,26
MgO	0,84	0,86	0,84	0,80	0,73	0,73	0,67	0,68	0,65	0,66	0,65	0,62	0,62	0,62	0,62	0,64	0,63	0,63	0,66	0,66	0,66	0,65	0,66	0,66
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,07	0,07	0,08	0,08	0,09	0,08	0,09	0,09	0,08	0,10	0,10	0,12	0,12	0,12	0,11	0,12	0,11	0,11	0,10	0,10	0,11	0,08	0,10	0,09
Na2O	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02
K2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fase sólida																								
Almandina	84,13	83,72	83,55	83,48	84,13	83,62	83,69	82,66	83,00	82,62	82,29	82,54	82,35	82,24	82,69	82,30	82,43	82,53	82,54	82,73	83,17	83,94	83,33	83,22
Piropo	13,91	14,13	13,80	13,06	11,92	11,94	10,98	11,29	10,84	10,76	10,73	10,15	10,16	10,12	10,14	10,42	10,42	10,35	10,78	10,75	10,80	10,60	10,80	10,89
Essessartita	0,84	1,07	1,40	2,12	2,42	3,15	3,79	4,51	4,76	4,96	5,37	5,41	5,45	5,69	5,39	5,40	5,38	5,36	5,11	4,95	4,27	4,23	4,27	4,35
Grossulária	1,12	1,09	1,26	1,34	1,53	1,28	1,54	1,53	1,40	1,66	1,61	1,91	2,04	1,95	1,78	1,89	1,76	1,76	1,57	1,57	1,77	1,23	1,60	1,54

MRH-35-GrL (Unidade E) - Continuação						
Óxidos	25	26	27	28	29	30
SiO2	36,58	36,52	36,53	36,57	36,90	36,66
TiO2	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al2O3	20,39	20,49	20,69	20,66	20,84	20,67
Cr2O3	0,03	0,04	0,01	0,01	0,03	0,01
FeO	37,21	37,09	37,18	37,71	37,51	37,81
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	1,74	1,63	1,39	1,07	0,80	0,60
MgO	2,74	2,82	2,97	3,15	3,34	3,30
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,49	0,50	0,43	0,44	0,35	0,46
Na2O	0,05	0,06	0,04	0,02	0,02	0,04
K2O	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	99,24	99,16	99,24	99,64	99,79	99,56
Cátions						
SiO2	5,99	5,98	5,97	5,96	5,98	5,97
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al2O3	3,94	3,96	3,99	3,97	3,98	3,97
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	5,10	5,08	5,08	5,14	5,08	5,15
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,24	0,23	0,19	0,15	0,11	0,08
MgO	0,67	0,69	0,72	0,77	0,81	0,80
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,09	0,09	0,07	0,08	0,06	0,08
Na2O	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
K2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fase sólida						
Almandina	83,63	83,51	83,67	83,85	83,89	84,26
Piropo	10,99	11,33	11,93	12,49	13,31	13,09
Espessartita	3,97	3,71	3,17	2,42	1,81	1,35
Grossulária	1,41	1,45	1,23	1,24	0,99	1,31

MRH-35-GrT (Unidade E)																								
Óxidos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
SiO2	36,83	37,35	36,77	37,13	36,62	36,59	36,44	37,05	36,75	36,67	36,84	36,51	36,60	36,43	36,62	36,57	36,35	36,05	36,48	36,67	36,63	36,50	36,83	36,85
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,16	0,00	0,03	0,04	0,00	0,08	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,36	0,03	0,03	0,04	0,00	0,05	0,03
Al2O3	20,84	21,47	21,11	21,02	20,87	20,82	20,91	21,07	20,85	20,62	20,69	21,03	20,77	20,90	20,80	20,79	20,67	20,87	21,05	21,07	20,71	20,90	20,89	20,95
Cr2O3	0,01	0,01	0,03	0,02	0,01	0,05	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0,02	0,03	0,00	0,04	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01
FeO	37,59	37,19	37,24	37,12	37,17	37,47	36,79	36,81	36,82	36,63	36,73	36,56	36,59	36,83	36,81	37,00	36,67	36,99	37,57	37,37	36,96	37,25	37,67	37,64
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,34	0,51	0,78	0,94	1,38	1,52	1,77	2,08	2,36	2,38	2,31	2,32	2,32	2,31	2,40	2,36	2,26	2,11	1,70	1,83	1,62	1,46	1,14	0,96
MgO	3,33	3,56	3,44	3,31	3,07	2,69	2,90	2,82	2,70	2,69	2,68	2,68	2,60	2,63	2,60	2,61	2,66	2,49	2,76	2,79	2,84	2,91	3,03	3,15
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,52	0,50	0,46	0,40	0,69	0,59	0,55	0,77	0,69	0,64	0,62	0,66	0,66	0,62	0,70	0,57	0,63	0,58	0,49	0,50	0,44	0,45	0,41	0,38
Na2O	0,02	0,03	0,04	0,01	0,01	0,03	0,02	0,00	0,04	0,02	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,00	0,04	0,03	0,00	0,03	0,04	0,05	0,04	0,03
K2O	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	99,50	100,60	99,88	99,96	99,84	99,92	99,38	100,66	100,26	99,68	99,98	99,82	99,61	99,76	100,0	99,91	99,29	99,51	100,11	100,3	99,28	99,53	100,1	100,0
Cátions																								
SiO2	5,98	5,97	5,95	5,99	5,95	5,95	5,95	5,97	5,96	5,98	5,98	5,94	5,97	5,94	5,96	5,96	5,95	5,90	5,92	5,94	5,98	5,95	5,97	5,97
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Al2O3	3,99	4,05	4,03	4,00	4,00	3,99	4,02	4,00	3,98	3,96	3,96	4,03	3,99	4,02	3,99	3,99	3,99	4,03	4,03	4,02	3,99	4,02	3,99	4,00
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	5,10	4,97	5,04	5,01	5,05	5,10	5,02	4,96	4,99	4,99	4,99	4,98	4,99	5,02	5,01	5,04	5,02	5,06	5,10	5,06	5,05	5,08	5,10	5,10
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,05	0,07	0,11	0,13	0,19	0,21	0,24	0,28	0,32	0,33	0,32	0,32	0,32	0,32	0,33	0,33	0,31	0,29	0,23	0,25	0,22	0,20	0,16	0,13
MgO	0,81	0,85	0,83	0,80	0,74	0,65	0,70	0,68	0,65	0,65	0,65	0,65	0,63	0,64	0,63	0,63	0,65	0,61	0,67	0,67	0,69	0,71	0,73	0,76
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,09	0,09	0,08	0,07	0,12	0,10	0,10	0,13	0,12	0,11	0,11	0,11	0,12	0,11	0,12	0,10	0,11	0,10	0,09	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07
Na2O	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
K2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fase sólida																								
Almandina	84,40	83,23	83,20	83,44	82,74	84,09	82,79	81,94	81,99	82,03	82,29	82,12	82,38	82,48	82,25	82,65	82,39	83,47	83,79	83,35	83,57	83,73	84,18	84,17
Piropo	13,32	14,18	13,70	13,27	12,19	10,74	11,61	11,20	10,70	10,73	10,69	10,72	10,43	10,50	10,33	10,39	10,63	10,03	10,96	11,08	11,45	11,66	12,07	12,56
Espessartita	0,78	1,15	1,77	2,13	3,12	3,46	4,03	4,68	5,33	5,40	5,24	5,27	5,28	5,24	5,43	5,34	5,15	4,83	3,84	4,15	3,70	3,31	2,58	2,18
Grossulária	1,50	1,43	1,33	1,16	1,95	1,71	1,57	2,18	1,98	1,84	1,79	1,89	1,91	1,78	1,99	1,62	1,82	1,67	1,40	1,42	1,29	1,30	1,18	1,10

MRH-35-GrT (Unidade E) - Continuação						
Óxidos	25	26	27	28	29	30
SiO2	36,81	36,91	36,81	36,77	36,34	36,82
TiO2	0,01	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00
Al2O3	21,16	21,33	21,17	20,81	20,87	21,24
Cr2O3	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01
FeO	37,77	37,64	37,94	37,36	38,62	38,55
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,64	0,27	0,21	0,23	0,17	0,14
MgO	3,22	3,44	3,60	3,54	2,87	2,87
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,40	0,36	0,44	0,46	0,44	0,36
Na2O	0,05	0,01	0,04	0,04	0,00	0,02
K2O	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	100,07	99,99	100,23	99,24	99,37	100,01
Cátions						
SiO2	5,95	5,95	5,93	5,98	5,94	5,96
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Al2O3	4,03	4,06	4,02	3,99	4,02	4,05
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	5,11	5,08	5,11	5,08	5,28	5,22
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,09	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02
MgO	0,78	0,83	0,87	0,86	0,70	0,69
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,07	0,06	0,08	0,08	0,08	0,06
Na2O	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01
K2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fase sólida						
Almandina	84,56	84,59	84,06	83,97	86,83	87,08
Piropo	12,84	13,78	14,23	14,16	11,49	11,56
Espessartita	1,46	0,61	0,47	0,53	0,40	0,32
Grossulária	1,14	1,03	1,24	1,34	1,28	1,04

MRH-103-B-Gr1L (Unidade E)																				
Óxidos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SiO2	36,95	36,87	36,96	37,17	36,74	36,60	36,44	36,69	36,96	36,61	36,82	37,40	36,82	36,96	37,00	36,96	37,29	37,05	36,74	36,96
TiO2	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,04	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,04	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00
Al2O3	21,50	21,33	21,15	21,26	21,23	21,23	21,07	21,00	21,24	21,13	21,12	21,31	21,26	21,30	21,22	21,22	21,37	21,46	21,23	21,29
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	35,09	36,69	37,18	37,36	37,43	37,74	37,30	37,32	37,00	37,12	36,69	36,21	36,73	36,38	36,42	35,61	35,31	35,13	35,57	36,18
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,45	0,35	0,33	0,39	0,41	0,40	0,38	0,43	0,43	0,50	0,58	0,62	0,59	0,71	0,68	0,59	0,53	0,53	0,53	0,51
MgO	4,10	3,91	3,52	3,21	3,03	3,00	2,87	2,83	2,74	2,68	2,66	2,86	2,69	2,81	3,07	3,41	3,87	3,97	4,24	4,05
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	1,50	0,74	0,86	1,14	1,13	1,21	1,27	1,59	1,90	2,16	2,30	2,16	2,16	2,05	2,30	2,18	2,04	1,89	1,11	1,09
Na2O	0,02	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,00	0,01	0,02	0,01	0,03	0,01
K2O	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	99,61	99,91	100,03	100,57	99,99	100,21	99,38	99,87	100,28	100,23	100,22	100,57	100,28	100,25	100,74	99,98	100,44	100,07	99,46	100,09
Cátions																				
SiO2	5,94	5,93	5,96	5,96	5,94	5,92	5,93	5,95	5,96	5,92	5,94	5,99	5,94	5,95	5,93	5,95	5,95	5,93	5,93	5,93
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al2O3	4,07	4,05	4,02	4,02	4,05	4,05	4,05	4,01	4,04	4,03	4,02	4,02	4,04	4,04	4,01	4,02	4,02	4,05	4,04	4,03
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	4,71	4,94	5,01	5,01	5,06	5,10	5,08	5,06	4,99	5,02	4,95	4,85	4,95	4,90	4,88	4,79	4,71	4,71	4,80	4,86
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,06	0,05	0,04	0,05	0,06	0,06	0,05	0,06	0,06	0,07	0,08	0,08	0,08	0,10	0,09	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07
MgO	0,98	0,94	0,85	0,77	0,73	0,72	0,70	0,68	0,66	0,65	0,64	0,68	0,65	0,67	0,73	0,82	0,92	0,95	1,02	0,97
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,26	0,13	0,15	0,20	0,20	0,21	0,22	0,28	0,33	0,37	0,40	0,37	0,37	0,35	0,40	0,38	0,35	0,32	0,19	0,19
Na2O	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
K2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fase sólida																				
Almandina	78,38	81,59	82,81	83,14	83,74	83,76	83,95	83,23	82,67	82,19	81,59	81,01	81,83	81,32	80,01	79,03	77,85	77,79	78,91	79,85
Piropo	16,30	15,50	13,99	12,73	12,10	11,88	11,52	11,27	10,92	10,56	10,55	11,39	10,68	11,20	12,01	13,47	15,20	15,66	16,74	15,94
Espessartita	1,01	0,79	0,74	0,88	0,93	0,91	0,87	0,96	0,98	1,11	1,31	1,40	1,32	1,60	1,50	1,32	1,18	1,18	1,19	1,14
Grossulária	4,31	2,12	2,47	3,25	3,24	3,45	3,66	4,54	5,43	6,14	6,56	6,20	6,17	5,88	6,48	6,19	5,76	5,37	3,16	3,08

MRH-103-B-Gr2L (Unidade E)																
Óxidos	1	2	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18	19	20
SiO ₂	36,96	37,08	36,87	36,89	37,00	36,94	36,98	36,93	36,91	36,74	32,89	36,85	37,10	36,98	37,14	37,06
TiO ₂	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02	0,00	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	21,28	21,07	21,18	21,27	21,19	21,55	21,39	21,01	21,17	21,38	20,71	21,31	21,43	21,30	21,39	21,50
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	35,86	36,05	36,53	36,90	36,95	36,56	36,74	35,88	35,95	35,78	35,69	35,26	35,24	35,63	36,07	35,44
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,41	0,42	0,56	0,57	0,57	0,63	0,67	0,67	0,66	0,64	0,51	0,63	0,61	0,50	0,46	0,50
MgO	4,20	4,23	3,73	3,68	3,65	3,65	3,54	3,37	3,40	3,34	3,21	3,45	3,77	4,31	4,46	4,38
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	1,06	0,74	0,75	0,75	0,87	0,85	1,24	1,71	1,86	2,03	1,54	2,12	2,10	0,88	0,68	1,28
Na ₂ O	0,00	0,02	0,00	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02	0,01
K ₂ O	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	99,77	99,63	99,63	100,10	100,25	100,21	100,60	99,61	99,96	99,97	94,77	99,66	100,31	99,64	100,23	100,19
Cátions																
SiO ₂	5,94	5,97	5,96	5,94	5,95	5,93	5,93	5,97	5,95	5,92	5,67	5,94	5,94	5,95	5,94	5,92
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	4,03	4,00	4,03	4,04	4,02	4,08	4,04	4,00	4,02	4,06	4,21	4,05	4,04	4,04	4,03	4,05
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	4,82	4,85	4,93	4,97	4,97	4,91	4,93	4,85	4,84	4,82	5,14	4,75	4,71	4,79	4,82	4,74
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,06	0,06	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,07	0,09	0,08	0,07	0,06	0,07
MgO	1,01	1,01	0,90	0,88	0,87	0,87	0,85	0,81	0,82	0,80	0,82	0,83	0,90	1,03	1,06	1,04
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,18	0,13	0,13	0,13	0,15	0,15	0,21	0,30	0,32	0,35	0,28	0,37	0,36	0,15	0,12	0,22
Na ₂ O	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fase sólida																
Almandina	79,49	80,19	81,69	82,00	81,84	81,62	81,05	80,18	79,79	79,55	81,29	78,78	77,85	79,26	79,50	78,06
Piropo	16,58	16,77	14,88	14,58	14,39	14,52	13,93	13,42	13,43	13,23	13,02	13,73	14,84	17,09	17,54	17,20
Essartita	0,92	0,94	1,27	1,28	1,29	1,43	1,50	1,52	1,48	1,44	1,18	1,42	1,38	1,14	1,04	1,13
Grossulária	3,01	2,10	2,16	2,14	2,48	2,44	3,51	4,88	5,30	5,78	4,50	6,07	5,93	2,51	1,93	3,61

MRH-103-B-Gr1T (Unidade E)																				
Óxidos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SiO2	37,15	36,50	37,24	36,76	36,41	36,63	36,72	36,76	36,87	36,70	36,97	99,48	36,08	36,00	37,16	37,35	37,00	37,13	37,07	36,96
TiO2	0,02	0,01	0,01	0,00	0,09	0,04	0,01	0,00	0,00	0,03	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
Al2O3	21,31	21,16	21,20	21,20	21,15	21,04	21,29	21,10	21,16	21,27	21,21	0,02	20,98	21,20	21,50	21,39	21,44	21,45	21,41	21,39
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	35,08	36,06	35,79	36,14	36,30	36,57	36,44	36,73	36,82	36,50	36,26	0,51	35,68	35,09	35,96	35,99	35,77	35,84	35,47	35,59
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,50	0,55	0,57	0,56	0,62	0,60	0,59	0,58	0,55	0,53	0,50	0,01	0,47	0,44	0,45	0,44	0,41	0,52	0,50	0,51
MgO	3,75	3,43	3,03	2,88	2,77	2,75	2,75	2,70	2,72	2,86	2,97	0,00	3,41	3,52	3,81	4,02	4,10	4,34	4,39	4,25
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	2,10	2,06	2,58	2,38	2,24	2,30	2,18	2,25	2,30	2,14	2,20	0,01	1,88	1,94	1,35	1,12	1,04	0,90	1,03	1,08
Na2O	0,01	0,03	0,04	0,01	0,00	0,01	0,03	0,01	0,01	0,02	0,02	0,00	0,01	0,03	0,03	0,02	0,02	0,00	0,02	0,02
K2O	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	99,92	99,81	100,47	99,93	99,58	99,96	100,03	100,14	100,43	100,05	100,15	100,05	98,54	98,25	100,28	100,34	99,77	100,19	99,89	99,80
Cátions																				
SiO2	5,96	5,90	5,97	5,94	5,91	5,93	5,93	5,94	5,94	5,93	5,95	11,97	5,91	5,89	5,95	5,97	5,94	5,94	5,94	5,93
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al2O3	4,03	4,03	4,01	4,04	4,05	4,02	4,06	4,02	4,02	4,05	4,03	0,00	4,05	4,09	4,06	4,03	4,06	4,05	4,04	4,05
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	4,71	4,88	4,80	4,88	4,93	4,95	4,92	4,96	4,96	4,93	4,88	0,05	4,88	4,81	4,81	4,81	4,80	4,79	4,75	4,78
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,07	0,08	0,08	0,08	0,09	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,00	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07
MgO	0,90	0,83	0,72	0,69	0,67	0,66	0,66	0,65	0,65	0,69	0,71	0,00	0,83	0,86	0,91	0,96	0,98	1,03	1,05	1,02
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,36	0,36	0,44	0,41	0,39	0,40	0,38	0,39	0,40	0,37	0,38	0,00	0,33	0,34	0,23	0,19	0,18	0,15	0,18	0,19
Na2O	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01
K2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fase sólida																				
Almandina	78,04	79,47	79,40	80,52	81,14	81,20	81,48	81,60	81,50	81,34	80,79	80,40	79,94	79,22	80,04	79,92	79,80	79,19	78,63	78,97
Piropo	14,86	13,48	11,99	11,43	11,02	10,90	10,94	10,69	10,75	11,35	11,80	12,70	13,60	14,16	15,09	15,89	16,29	17,09	17,32	16,80
Espessartita	1,13	1,23	1,29	1,26	1,41	1,36	1,34	1,30	1,23	1,19	1,14	1,05	1,07	1,00	1,02	1,00	0,93	1,17	1,12	1,15
Grossulária	5,98	5,82	7,33	6,79	6,42	6,55	6,24	6,41	6,53	6,12	6,27	5,90	5,39	5,62	3,84	3,19	2,97	2,55	2,92	3,08

MRH-103-B-Gr2T (Unidade E)

Óxidos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SiO2	37,00	37,00	36,94	36,89	36,20	34,98	36,76	36,64	37,02	36,50	36,80	36,71	36,75	36,98	36,76	36,76	36,83	37,18	37,11	37,69
TiO2	0,06	0,00	0,00	0,04	0,04	0,06	0,03	0,05	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00
Al2O3	21,32	21,34	21,58	21,29	20,94	19,47	21,31	21,41	21,50	21,02	21,04	21,38	21,49	21,28	21,26	21,40	21,32	21,49	21,31	21,99
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	35,23	35,78	35,52	35,32	34,71	33,74	35,63	36,11	36,86	36,75	36,35	36,83	36,92	36,61	36,31	35,80	35,91	35,51	35,26	35,68
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,40	0,41	0,45	0,51	0,50	0,48	0,58	0,62	0,61	0,60	0,59	0,62	0,60	0,57	0,55	0,53	0,47	0,46	0,47	0,46
MgO	4,21	4,35	4,11	4,04	3,80	3,74	3,78	3,65	3,65	3,59	3,57	3,61	3,77	3,84	4,05	4,09	4,28	4,28	4,28	4,26
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	1,31	0,82	1,49	1,66	1,57	1,74	1,21	1,12	0,93	0,77	0,84	0,92	0,72	0,72	0,64	0,84	0,88	1,21	1,29	1,22
Na2O	0,00	0,04	0,03	0,00	0,03	0,05	0,03	0,00	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02
K2O	0,00	0,01	0,00	0,01	0,03	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	99,54	99,75	100,09	99,76	97,83	94,27	99,35	99,61	100,62	99,25	99,22	100,09	100,25	100,03	99,57	99,44	99,72	100,1	99,73	101,3
Cátions																				
SiO2	5,95	5,94	5,92	5,93	5,94	5,97	5,94	5,92	5,93	5,93	5,97	5,92	5,91	5,95	5,93	5,93	5,93	5,94	5,95	5,94
TiO2	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al2O3	4,04	4,04	4,07	4,04	4,05	3,92	4,06	4,08	4,06	4,03	4,02	4,06	4,07	4,04	4,05	4,07	4,04	4,05	4,03	4,09
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	4,74	4,81	4,76	4,75	4,76	4,82	4,82	4,88	4,94	5,00	4,93	4,96	4,96	4,92	4,90	4,83	4,83	4,75	4,73	4,71
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06
MgO	1,01	1,04	0,98	0,97	0,93	0,95	0,91	0,88	0,87	0,87	0,86	0,87	0,90	0,92	0,97	0,98	1,03	1,02	1,02	1,00
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,23	0,14	0,26	0,29	0,28	0,32	0,21	0,19	0,16	0,13	0,15	0,16	0,12	0,12	0,11	0,14	0,15	0,21	0,22	0,21
Na2O	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
K2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fase sólida																				
Almandina	78,62	79,51	78,59	78,22	78,88	78,24	80,04	80,81	81,59	82,15	81,89	81,72	81,76	81,44	80,89	80,09	79,57	78,65	78,33	78,76
Piropo	16,72	17,22	16,19	15,93	15,39	15,47	15,14	14,57	14,41	14,30	14,34	14,29	14,86	15,23	16,06	16,31	16,89	16,90	16,93	16,76
Espeartita	0,91	0,93	1,01	1,15	1,16	1,13	1,33	1,40	1,37	1,35	1,35	1,38	1,35	1,28	1,24	1,20	1,05	1,02	1,05	1,02
Grossulária	3,75	2,34	4,22	4,71	4,58	5,16	3,50	3,22	2,62	2,20	2,42	2,61	2,03	2,05	1,81	2,40	2,49	3,43	3,68	3,46

MRH-103-B-Gr3 (Unidade E)																			
Óxidos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18	19	20
SiO2	36,97	36,79	36,90	36,65	36,83	36,57	36,43	36,46	36,41	36,75	36,81	36,31	36,34	36,51	36,62	36,74	36,34	36,65	37,09
TiO2	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,09	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,06	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,03	0,00
Al2O3	21,43	21,41	21,34	21,17	20,97	21,31	21,01	21,20	20,95	21,30	21,09	21,05	20,91	21,07	20,94	20,84	21,22	21,01	21,35
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	37,00	36,97	37,43	37,54	38,22	37,30	37,81	37,79	37,20	37,31	37,29	37,04	37,76	37,42	37,48	37,96	38,60	37,71	37,30
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,16	0,11	0,07	0,04	0,09	0,08	0,10	0,09	0,17	0,18	0,22	0,15	0,17	0,15	0,14	0,14	0,04	0,03	0,11
MgO	3,96	3,81	3,50	2,99	2,86	2,76	2,73	2,66	2,55	2,51	2,51	2,42	2,56	2,57	2,54	2,78	3,20	3,47	3,74
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,58	0,58	0,93	1,20	1,38	1,80	1,59	1,58	1,87	1,93	1,70	2,02	1,86	2,12	2,00	1,43	0,57	0,56	0,54
Na2O	0,01	0,03	0,01	0,00	0,00	0,02	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,02	0,03	0,02
K2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	100,12	99,70	100,20	99,60	100,38	99,95	99,74	99,79	99,15	100,01	99,63	99,07	99,64	99,86	99,76	99,90	100,02	99,50	100,1
Cátions																			
SiO2	5,94	5,93	5,94	5,95	5,95	5,92	5,93	5,92	5,95	5,94	5,98	5,94	5,92	5,93	5,95	5,96	5,89	5,95	5,96
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al2O3	4,06	4,07	4,05	4,05	3,99	4,07	4,03	4,06	4,03	4,06	4,03	4,06	4,02	4,03	4,01	3,99	4,06	4,02	4,04
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	4,97	4,99	5,04	5,09	5,16	5,05	5,14	5,13	5,08	5,05	5,06	5,06	5,15	5,08	5,09	5,15	5,24	5,12	5,01
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,01
MgO	0,95	0,92	0,84	0,72	0,69	0,66	0,66	0,64	0,62	0,61	0,61	0,59	0,62	0,62	0,62	0,67	0,77	0,84	0,89
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,10	0,10	0,16	0,21	0,24	0,31	0,28	0,28	0,33	0,33	0,30	0,35	0,33	0,37	0,35	0,25	0,10	0,10	0,09
Na2O	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
K2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fase sólida																			
Almandina	82,28	82,86	83,32	84,47	84,61	83,62	84,35	84,65	83,98	83,95	84,43	84,02	84,13	83,40	83,81	84,57	85,64	84,44	83,35
Piropo	15,70	15,22	13,89	12,00	11,28	11,01	10,87	10,60	10,24	10,08	10,13	9,77	10,18	10,20	10,13	11,05	12,65	13,87	14,88
Espeartita	0,36	0,25	0,15	0,08	0,19	0,19	0,24	0,21	0,39	0,40	0,50	0,35	0,37	0,34	0,32	0,31	0,08	0,08	0,24
Grossulária	1,66	1,66	2,65	3,45	3,92	5,18	4,54	4,55	5,40	5,57	4,94	5,87	5,32	6,06	5,74	4,07	1,62	1,61	1,54

RH-103-B-Gr4 (Unidade E)																				
Óxidos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SiO ₂	36,86	36,52	36,49	36,65	36,42	36,81	36,49	36,67	36,38	36,34	36,48	36,87	36,04	36,53	36,42	36,56	36,77	36,47	36,69	37,26
TiO ₂	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,04	0,00	0,00	0,02	0,03	0,02	0,03
Al ₂ O ₃	21,35	21,35	21,11	21,28	21,20	20,94	21,15	21,06	21,13	21,06	20,80	20,96	20,73	21,15	20,93	21,18	21,08	20,91	21,12	21,28
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	37,27	36,76	37,48	38,34	38,34	38,03	36,92	36,77	36,45	36,17	36,12	36,49	36,52	36,92	37,74	37,98	37,86	38,43	37,59	36,20
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,11	0,13	0,08	0,05	0,06	0,14	0,26	0,31	0,43	0,50	0,57	0,51	0,44	0,35	0,21	0,11	0,04	0,03	0,07	0,11
MgO	3,71	3,18	3,12	3,00	3,00	3,01	2,79	2,72	2,67	2,59	2,58	2,59	2,61	2,70	2,90	3,13	3,12	3,05	3,20	3,51
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,78	1,82	0,75	0,83	0,89	1,09	1,92	1,86	1,93	2,35	2,18	2,17	1,99	1,95	1,38	0,81	0,86	0,73	0,87	1,92
Na ₂ O	0,03	0,01	0,02	0,01	0,03	0,03	0,01	0,02	0,04	0,05	0,04	0,04	0,05	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03	0,00
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	100,11	99,77	99,06	100,17	99,94	100,06	99,57	99,41	99,05	99,06	98,76	99,67	98,39	99,65	99,60	99,78	99,77	99,68	99,60	100,30
Cátions																				
SiO ₂	5,93	5,91	5,95	5,93	5,91	5,96	5,93	5,96	5,94	5,93	5,97	5,98	5,94	5,93	5,93	5,93	5,96	5,93	5,95	5,97
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	4,05	4,07	4,06	4,06	4,06	4,00	4,05	4,03	4,07	4,05	4,01	4,01	4,03	4,05	4,02	4,05	4,03	4,01	4,04	4,02
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	5,02	4,97	5,11	5,18	5,20	5,15	5,02	5,00	4,97	4,94	4,94	4,95	5,03	5,01	5,14	5,15	5,13	5,23	5,10	4,85
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,04	0,06	0,07	0,08	0,07	0,06	0,05	0,03	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01
MgO	0,89	0,77	0,76	0,72	0,73	0,73	0,67	0,66	0,65	0,63	0,63	0,62	0,64	0,65	0,70	0,76	0,75	0,74	0,77	0,84
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,13	0,32	0,13	0,14	0,15	0,19	0,33	0,32	0,34	0,41	0,38	0,38	0,35	0,34	0,24	0,14	0,15	0,13	0,15	0,33
Na ₂ O	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fase sólida																				
Almandina	82,85	81,89	85,00	85,59	85,43	84,66	82,76	82,98	82,63	81,64	81,95	82,19	82,70	82,80	84,09	84,94	84,96	85,70	84,51	80,40
Piropo	14,69	12,63	12,62	11,92	11,91	11,93	11,13	10,92	10,78	10,43	10,41	10,38	10,54	10,78	11,50	12,49	12,47	12,13	12,83	13,90
Espeartita	0,24	0,29	0,19	0,11	0,12	0,32	0,60	0,70	0,99	1,14	1,30	1,16	1,00	0,80	0,47	0,25	0,08	0,08	0,17	0,24
Grossulária	2,22	5,19	2,19	2,38	2,53	3,10	5,51	5,39	5,60	6,80	6,34	6,27	5,76	5,62	3,94	2,32	2,48	2,09	2,50	5,46

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

RAFAEL FRANCISCO HARTUNG

ESTUDO DE MEGAPORFIROBLASTOS DE GRANADA DA
NAPPE DE PASSOS

Dissertação de Mestrado apresentada junto ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Sérgio Amarante Simões

Rio Claro - SP

2018

RAFAEL FRANCISCO HARTUNG

ESTUDO DE MEGAPORFIROBLASTOS DE GRANADA DA
NAPPE DE PASSOS

Dissertação de Mestrado apresentada junto ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Luiz Sérgio Amarante Simões

Prof. Dr. George Luiz Luvizotto

Prof. Dr. Renato de Moraes

Conceito: Aprovado

Rio Claro, SP, 30 de outubro de 2018

*Dedico este trabalho aos meus pais pela força
e incentivo ao longo desta jornada.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, aos meus pais Abiud Hartung Junior e Osmarina Gimenez Hartung e às pessoas que me ajudaram na concretização da presente Dissertação de Mestrado, sobretudo ao meu orientador, Prof. Dr. Luiz Sergio Amarante Simões, por acreditar em meu potencial e por ter me auxiliado ao longo de todas as etapas da presente Dissertação.

Ao Prof. Dr. George Luiz Luvizotto e ao Prof. Dr. Guillermo Rafael Beltran Navarro pelas boas críticas construtivas e sugestões feitas durante o Exame Geral de Qualificação, que também contribuíram na confecção deste relatório final.

Ao Prof. Dr. Renato de Moraes e Prof. Dr. George Luiz Luvizotto por terem aceito o convite e participado de minha Banca, além das pertinentes sugestões e críticas por eles apresentadas.

Aos meus colegas e amigos da universidade, em especial, o Dr. Alex Joaquim Choupina Andrade Silva, Bel. Andres Isquierdo Perez, Bel. Cleberson Ernandes de Andrade, Me. Rodrigo Irineu Cerri, Bel. Julio Silva, Me. Felipe Pereira de Sisto, Bel. Leonardo Alberto Sala e Bel. Mateus Felipe Stanfoca Casagrande pelas conversas e bons momentos vividos ao longo desses anos.

Ao servidor técnico-administrativo Dr. Daniel Françoso de Godoy pela atenção disponibilizada durante as análises químicas realizadas na microsonda do DPM/UNESP.

Ao CNPq (Processo n 131604/2016-3) e  FAPESP (Processo 2017/03663-1) pelo financiamento.

*“Se vi mais longe foi por estar de pé sobre
ombros de gigantes”
(Trecho de carta escrita a 5 de fevereiro de
1676 por Isaac Newton a Robert Hook).*

RESUMO

Na *Nappe* de Passos, unidade tectônica pertencente à Faixa Brasília Meridional, em seu segmento intermediário (Unidades E e G), ocorrem megaporfiroblastos de granada (diâmetro $\geq$ 3 cm, alcançando até 8 cm), hospedados em cianita-mica xistos, que contrastam com os de tamanho usual (0,2 a 1,5 cm) comumente encontrados nos xistos granadíferos desta *nappe*. Este trabalho, como uma primeira iniciativa de estudo dessa peculiar feição metamórfica, investiga a ocorrência desses megaporfiroblastos através de levantamento de campo, análise microtectônica e determinação de perfis químicos. Parte do trabalho foi voltada para buscar ocorrências de megaporfiroblastos na porção NW da *Nappe* de Passos, a norte da cidade de Cássia (MG). Com o levantamento de campo, que incluiu trinta perfis seccionando as Unidades E, F G, H e I, não foi encontrada nenhuma ocorrência de camadas ricas em megaporfiroblastos neste setor da *nappe*. Ao longo desse levantamento, foi possível realizar uma melhor caracterização geométrica do fechamento NW da Braquissinformal de Passos e demonstrar o caráter braquiantiformal da Antiforma de Itaú de Minas. Para o estudo dos megaporfiroblastos, selecionou-se uma ocorrência no segmento SE da *Nappe* de Passos, no topo da Unidade E. Eles se encontram hospedados em camadas decimétricas de biotita-cianita-granada-quartzo-muscovita xistos, que se alternam com camadas de composições semelhantes, porém contendo porfiroblastos de tamanho usual. Os megaporfiroblastos têm forma elipsoidal, com eixo maior paralelo à lineação mineral associada à foliação principal (S_2). A análise de microestruturas em quarenta e seis megaporfiroblastos mostra trilhas de inclusões definindo foliação interna (S_i) retilínea a suavemente ondulada no centro, passando a crenulada nas bordas. A S_i ($=S_1/S_0$) não apresenta continuidade com foliação principal ($S_e=S_2$), que se amolda ao redor dos megaporfiroblastos, evidenciando crescimento sincinemático, cedo- D_2 . A ausência de continuidade entre S_i e S_e e a posição variada dos planos axiais das crenulações inclusas, indicam prosseguimento da deformação após cessar o crescimento dos porfiroblastos, cujas sombras de deformação assimétricas revelam regime de deformação não-coaxial associado a D_2 , coerente com o sentido de transporte da *nappe* (topo para SE). Os megaporfiroblastos são ricos em almandina (73 a 82%) e pobres em espessartita (0,1 a 2,5%) e guardam zonação de crescimento com incremento de almandina e piropo para a borda, acompanhado da redução de espessartita e grossulária, interpretada como blastese sob aumento de temperatura. Os porfiroblastos de tamanho comum de mica xistos, também da unidade E mostram essencialmente o mesmo padrão de inclusões e de zonação química, indicando que

compartilham a mesma evolução tectonometamórfica. Os dados levantados indicam que a formação dos megaporfiroblastos deve estar relacionada à composição altamente aluminosa do protólito, associada a escassez de pontos de nucleação.

Palavras-chave: Faixa Brasília. *Nappe* de Passos. Megaporfiroblastos de granada. Microtectônica. Granada zonada.

ABSTRACT

The Passos Nappe is an important tectonic unit of the Southern Brasília Belt. In the intermediate segment of the Passos Nappe, represented by E and G Units, occurs megaporphyroblasts of garnet (diameter 3 to 8 cm). The megaporphyroblasts are hosted in kyanite-mica schists and contrast with the usual size (from 0.2 to 1.5 cm) commonly found in the granadiferous schists of this nappe. This work provides the first study of this peculiar metamorphic feature and aims to investigate the occurrence of these megaporphyroblasts based on field work, microtectonic analysis and determination of chemical profiles. Part of the work focused on identifying the occurrence of megaporphyroblasts to the north of the Cássia city (Minas Gerais State), within the NW sector of the Passos Nappe. Thirty transects were produced along the E, F G, H and I Units, however, no occurrence of megaporphyroblasts rich layers was found in this sector of the nappe. The improvement on the geometric characterization of the northwest closure of the Passos Brachisyncline and the demonstration of the brachianticline aspect of Itaú de Minas Antiform were possible with the transect work. For the study of megaporphyroblasts, it was selected an occurrence located in the SE sector of the Passos Nappe, situated at the top of the E Unit. The study carried out in this sector shows that megaporphyroblasts are hosted in decimetric layers of biotite-kyanite-garnet-quartz-muscovite schists, which alternate with layers of similar compositions, but containing porphyroblasts of usual size. The megaporphyroblasts have ellipsoidal shape, with the major axis parallel to the mineral lineation, associated with the main foliation (S_2). The analysis of microstructures in forty-six megaporphyroblasts shows inclusion trails that define an internal foliation (S_i) that is straight to gently undulating in the center of the garnet, passing to crenulated at the rims. The S_i ($=S_1/S_0$) does not exhibit continuity with the main foliation ($S_e=S_2$), which curves around the megaporphyroblasts, suggesting synkinematic growth early D_2 . The absence of continuity between S_i and S_e and the varied position of the axial planes of the included crenulations, indicate continuation of the deformation after the growth of the porphyroblast, whose asymmetric deformation shadows reveal a non-coaxial D_2 deformation regime that is consistent with the nappe transport (top for SE). The megaporphyroblasts are almandine-rich (73 to 82%) and spessartite-poor (0.1 to 2.5%) and they show growth zonation with increase of almandine and pyropo to the rims, accompanied by reduction of spessartite and grossular. This is interpreted as an increasing temperature blastesis. The common size garnet porphyroblasts of the mica schists, also of the E Unit, show essentially the same inclusions pattern and chemical

zonation like the megaporphyroblasts, indicating that they share the same tectonometamorphic evolution. The collected data indicate that the formation of megaporphyroblasts must be related to the high-Al protolith composition, associated with scarce nucleation points.

Keywords: Brasília Belt. Passos Nappe. Garnet megaporphyroblasts. Microtectonics. Garnet zoned.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivos	2
1.2 Métodos	2
1.3 Localização da Área de Pesquisa e Vias de Acesso	4
1.4 Aspectos Fisiográficos.....	5
CAPÍTULO 2 - GEOLOGIA REGIONAL.....	8
2.1 Faixa Brasília.....	9
2.2. <i>Nappe</i> de Passos	12
CAPÍTULO 3 – BUSCA POR OCORRÊNCIAS DE MEGAPORFIROBLASTOS NO SEGMENTO NOROESTE DA NAPPE DE PASSOS	22
3.1 Investigação no Segmento Noroeste da <i>Nappe</i> de Passos.....	22
3.2 Caracterização das Grandes dobras D ₃	27
CAPÍTULO 4 - MEGAPORFIROBLASTOS NA NAPPE DE PASSOS.....	36
4.1 Métodos para o Estudo dos Megaporfiroblastos	37
4.1.1 Trabalhos de Campo	37
4.1.2 Avaliação Textural dos Porfiroblastos	39
4.1.3 Química dos Porfiroblastos	39
4.2 Resultados	40
4.2.1 Padrões de Inclusões dos Megaporfiroblastos	46
4.2.2 Zonação Química.....	54
4.2.3 Comparação com Porfiroblastos Comuns	57
4.2.4 Relação Espacial dos Porfiroblastos	61
4.2.5 Padrões de Inclusões x Zonação Química	68
4.3 Discussão	70
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
APÊNDICE A: TABELAS DE ANÁLISES QUÍMICAS:	86
Apêndice A.1: Análises Químicas Realizadas em Megaporfiroblastos	87
Apêndice A.2: Análises Químicas Realizadas em Porfiroblastos Comuns	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Localização da área de pesquisa.....	5
Figura 2.1: Províncias tectônicas do Brasil.....	8
Figura 2.2: Contexto geológico relativo ao segmento meridional da Faixa Brasília	12
Figura 2.3: Mapas geológicos referentes à <i>Nappe</i> de Passos e unidades adjacentes com destaque para a sua porção oriental.	13
Figura 2.4: Mapa contendo a distribuição das isógradas propostas por Simões (1995) para o segmento noroeste da <i>Nappe</i> de Passos.....	18
Figura 2.5: Ilustração esquemática referente ao padrão estrutural da <i>Nappe</i> de Passos	20
Figura 3.1: Mapa geológico da área de pesquisa	23
Figura 3.2: Fotografia de megaporfiroblasto de granada	25
Figura 3.3: Cascalheira contendo porfiroblastos de granada	26
Figura 3.4: Mapa geológico da porção noroeste da <i>Nappe</i> de Passos contendo a distribuição espacial das unidades litoestratigráficas da <i>Nappe</i> de Passos e das duas mega-dobras de fase D ₃ verificadas ..	28
Figura 3.5: Distribuição espacial dos três domínios tectônicos em que o polígono de pesquisa foi compartimentado na realização da análise estrutural: BSP, BAI-NW e BAI-SE.	29
Figura 3.6: Estereogramas mostrando a distribuição dos polos de S ₂ no Domínio BSP	31
Figura 3.7: Estereogramas apresentando a distribuição dos polos de S ₂ no domínio da BAI-NW.....	33
Figura 3.9: Estereogramas mostrando o padrão de distribuição de elementos de dobras pós-D ₂	34
Figura 4.1: Mapa geológicos relativos à <i>Nappe</i> de Passos, com destaque para a localização das amostras estudadas e ocorrências de megaporfiroblastos conhecidas.....	38
Figura 4.2: Mapa simplificado de segmento da porção sudeste da <i>Nappe</i> de Passos indicando as camadas contendo megaporfiroblastos nos arredores do ponto MR-1.....	40
Figura 4.3: Crista de blocos e afloramentos de cianita-granada-muscovita xisto com rutilo e ilmenita e, por vezes, biotita e estauroilita, com megaporfiroblastos de granada (ponto MR-1).....	41
Figura 4.4: Parede lateral em afloramento de corte artificial destinado para silo, mostrando as onze camadas identificadas, além das coberturas coluvionares (ponto MR-6)	44
Figura 4.5: Coluna esquemática e fotografia das 11 camadas distinguíveis em corte artificial destinado para silo (ponto MRH-6), juntamente com três fotografias de detalhamento de camadas	45
Figura 4.6: Megaporfiroblastos de granada com destaque para a sua geometria elipsoidal típica	46
Figura 4.7: Fotos de lâminas do tipo mamute ilustrando os padrões de inclusões observados em megaporfiroblastos da <i>Nappe</i> de Passos - amostras MR-1-G ₃ e MR-1-G ₄ (ambas em corte YZ)	47
Figura 4.8: Fotomicrografia de muscovita-quartzo xisto com rutilo e ilmenita destacando a presença de dobra de fase D ₂ exibindo arco poligonal de muscovita.....	48
Figura 4.9: Padrão de inclusões na amostra MR1-G ₂ (corte XZ)	49
Figura 4.10: Megaporfiroblasto de granada da amostra MR-1-N (corte YZ).....	51
Figura 4.11: Porfiroblasto de granada da amostra MR-1-P (corte XZ)	52
Figura 4.12: Porfiroblasto de granada da amostra MR-2-N (corte YZ).....	54
Figura 4.14: Perfis borda-a-borda mostrando a variação composicional dos megaporfiroblastos de granada relativos à Unidade E.....	57
Figura 4.16: Porfiroblasto de granada de tamanho comum relativo ao ponto CA-8-3A (corte YZ) mostrando o aumento de suas inclusões, sobretudo de rutilo.....	58
Figura 4.17: Gráficos mostrando a variação composicional de porfiroblastos comuns de granada referentes à Unidade E.	60

Figura 4.18: Amostras polidas de cianita-granada-muscovita xisto pertencentes ao ponto MR-1 (seções XZ e YZ)	63
Figura 4.19: Gráficos de histograma referentes sentido de giro dos megaporfiroblastos e dos porfiroblastos comuns da foliação interna (Si) em relação à foliação externa (Se), assim como somatório de ambos para os sentidos horário e anti-horário.	64
Figura 4.20: Gráficos de histograma relativos sentido de giro das duas tipologias de cristais de granada estudadas do diâmetro maior (D _M) em relação à foliação externa (Se), juntamente com somatório de ambas para os dois sentidos de análise.	65
Figura 4.22: Estereograma para os megaporfiroblastos mostrando as possíveis orientações de planos de Si, obtidas a partir dos traços de Si (pontos) nos cortes YZ e XZ, combinados dois a dois. Para os traços de Si no plano XZ está representada apenas a classe de alto ângulo (60°-90°).....	67
Figura 4.22: Estereograma para os megaporifoblastos mostrando as possíveis orientações de planos de Si, obtidas a partir dos traços de Si (pontos) nos cortes YZ e XZ, combinados dois a dois. Para os traços de Si no plano XZ estão representadas as classes de médio (30-59°) e baixo ângulo (0-29°)....	67
Figura 4.23: Comparação entre os padrões de inclusões e os perfis composicionais dos porfiroblastos e megaporfiroblastos de granada.....	70

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1: Diâmetros mínimo, médio e máximo dos porfiroblastos de granada observados.....	26
Tabela 4.1: Percentual de minerais da matriz e inclusos nos megaporfiroblastos de granada.....	42
Tabela 4.2: Estudos quantitativos das inclusões nos megaporfiroblastos MR-1-N e MR-1-P.....	50
Tabela 4.3: Estudos quantitativos realizados nas lâminas MR-2-N e MR-2-P.....	52
Tabela 4.4: Relações angulares entre os traços das foliações externa ($S_e=S_2$) e interna (S_i) em megaporfiroblastos e porfiroblastos (seções YZ e XZ).....	61
Tabela 4.5: Estudos estatísticos sobre as relações angulares observadas entre a foliação externa ($S_e=S_2$) e o diâmetro maior (D_M) em megaporfiroblastos e porfiroblastos (seções YZ e XZ).....	62
Tabela 4.6: Sentido de giro de S_i em relação à foliação externa (S_e) de megaporfiroblastos e porfiroblastos comuns (seções YZ e XZ).....	64
Tabela 4.7: Sentido de giro do diâmetro maior (D_M) em relação à foliação externa (S_e) nos megaporfiroblastos e porfiroblastos comuns (seções YZ e XZ).....	65

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

No segmento meridional da Faixa Brasília, região de Passos (MG), registra-se a ocorrência de três importantes compartimentos tectônicos, sendo o inferior de caráter autóctone e o intermediário e superior de natureza alóctone. Apresentam-se imbricados por falhas de empurrão de abrangência regional, desenvolvidas no Ediacarano, durante o Ciclo Orogênico Brasileiro-Pan-Africano, há cerca de 600 Ma (SIMÕES & VALERIANO, 1990; ZANARDO, 1992; VALERIANO *et al.*, 2004a; ROSSI *et al.* 2006; VALERIANO *et al.* 2006; SANTOS & SIMÕES, 2009; SIMÕES *et al.*, 2016).

Segundo Simões *et al.* (2016), o compartimento tectônico superior, denominado de *Nappe* de Passos, apresenta aloctonia mínima de 200 Km para ESE, correspondendo ao domínio interno da Faixa Brasília, nessa região. É constituída por rochas metassedimentares, de natureza psamo-pelítica, além de contribuição minoritária de rochas metabásicas toleíticas. O autor divide as rochas presentes na *Nappe* de Passos, em nove unidades litoestratigráficas informais, denominadas da base para o topo de Unidade A até Unidade I.

A *Nappe* de Passos é caracterizada por uma foliação principal de baixo ângulo à qual se associa uma lineação mineral interpretada como indicadora da direção de transporte tectônico. Essa lineação apresenta orientação que varia de E-W a N30W, com caimentos suaves, ora para NW, ora para o quadrante oposto. Indicadores cinemáticos, de modo sistemático, revelam transporte de topo para ESE.

Com base em seu conteúdo litológico e correlações com seus protólitos, é possível reconhecer, para *Nappe* de Passos, a presença de dois ciclos deposicionais: inferior e superior. O ciclo deposicional inferior (Unidades A, B e C) apresenta sedimentação madura, representada predominantemente por quartzitos e mica xistos. Já o ciclo deposicional superior reflete sedimentação imatura, caracterizada pela presença de paragneisses, mica xistos, além de quartzitos em caráter minoritário (SIMÕES, 1995).

Essa *nappe* apresenta três feições peculiares:

- (1) presença de um gradiente metamórfico invertido de caráter contínuo da base em direção ao topo (SIMÕES *et al.*, 1988; SIMÕES, 1995; VALERIANO & SIMÕES, 1997; LUVIZOTTO, 2003);
- (2) existência, em sua porção intermediária, de retroeclogitos (HOPPE *et al.*, 1985; LUVIZOTTO, 2003; LUVIZOTTO *et al.*, 2012);
- (3) ocorrência, na porção intermediária, de porfiroblastos de granada apresentando diâmetros igual ou superior a 3 cm (CORREIA, 1986; ZANARDO, 1992; LUVIZOTTO, 2003;

LUVIZOTTO *et al.*, 2015), atingindo, em determinados casos, a ordem dos 8 cm, mas que ainda não haviam sido estudados com maior detalhamento. Esses cristais foram designados, no presente trabalho, como megaporfiroblastos.

O tema principal dessa dissertação é a análise dos padrões de inclusões e zoneamento químico de megaporfiroblastos de granada. São reconhecidos em locais bem específicos da *Nappe* de Passos, nas Unidades E e G, próximo aos contatos com a Unidade F. Ocorrem hospedados em granada-mica xisto e os diâmetros desses porfiroblastos destoam daqueles frequentemente encontrados ao longo da *Nappe* de Passos, geralmente entre 0,1 a 0,7 cm, atingindo, por vezes, 1 a 2 cm de diâmetro.

1.1 Objetivos

A presente pesquisa tem por objetivo principal o estudo de megaporfiroblastos de granada que ocorrem na *Nappe* de Passos, buscando a caracterização cinemático-textural e químicas desses cristais. Mais especificamente visa:

- 1) avaliar se esses megaporfiroblastos ocorrem na porção noroeste da unidade alóctone em questão e realizar uma melhor caracterização geométrica acerca do fechamento noroeste da Braquissinformal de Passos e da Antiforma de Itaú de Minas, sendo ambas da fase D₃;
- 2) determinar o padrão de inclusões desses megacristais, de modo a caracterizar sua relação cinemática com os eventos deformacionais;
- 3) determinar se existe zonação química nos megaporfiroblastos e, caso ocorram, comparar com o padrão de inclusões, para analisar a correlação entre a variação composicional e a evolução estrutural registrada no interior dos porfiroblastos;
- 4) comparar os padrões de inclusão e químico dos megaporfiroblastos com os de porfiroblastos de tamanho comum para verificar se registram a mesma história tectonotermal.

1.2 Métodos

Os métodos de estudo podem ser resumidos em 7 atividades, descritas a seguir.

Atividade 1: Revisão de literatura referente ao contexto geológico local e regional, bem como levantamento de referências bibliográficas relacionadas às temáticas de microtectônica e metamorfismo.

Atividade 2: Interpretação de imagens aerogeofísicas gamaespectrométricas e magnetométricas de CODEMIG (2006), da área de estudo e adjacências, para auxiliar na integração e verificação de mapas geológicos, tanto os da região NW da *Nappe* de Passos (SIMÕES *et al.*, 1990, 1991; SIMÕES, 1995) quanto aos utilizados para a visão mais regional, abrangendo a ocorrência de megaporfiroblastos estudados na *Nappe* de Passos (LUVIZOTTO, 2003; SIMÕES *et al.* 2006; VALERIANO *et al.*, 2007; ZANARDO *et al.*, 2008; LUVIZOTTO *et al.*, 2015).

Atividade 3: Integração de dados descritivos e estruturais de pontos contendo amostras (com ou sem lâminas) referentes aos trabalhos de Simões *et al.* (1990, 1991) e Simões (1995) para o estudo da porção noroeste da *Nappe* de Passos. Em relação ao último trabalho, foram incluídos 124 pontos, identificados pela sigla *LSD*, sendo que 33 encontram-se fora do polígono de mapeamento da porção NW da *Nappe* de Passos. Ao todo, há 24 pontos com amostras laminadas. Os demais se referem a mapeamento curricular do curso de Geologia da UNESP. Foram compilados 70 pontos elencados pelas nomenclaturas “CA” e “CA91”, totalizando 78 amostras, sendo 61 laminadas. Para a porção sudeste, foram integrados dois pontos relativos ao trabalho de Luvizotto *et al.* (2015), que é o F-8-A e F-8-B (“F” de “Fumal”).

Atividade 4: Fotointerpretação e montagem de fotomosaicos georreferenciados de modo a construir uma base planialtimétrica em *ArcGis* para os trabalhos de campo e representação de mapas geológicos. Todas as coordenadas UTM (*Universal Transversa de Mercator*) citadas referem-se à zona geodésica 23S, no *datum* WGS84.

Atividade 5: Trabalho de Campo realizado para duas finalidades, sendo a primeira com ênfase na identificação de ocorrências de megaporfiroblastos de granada na porção NW da *Nappe* de Passos, abordada de maneira aprofundada no capítulo 3, e a segunda voltada para o estudo de uma ocorrência de megaporfiroblastos de granada situada em sua porção SE, cujos detalhes estão descritos no capítulo 4. O trabalho de campo na porção NW desta unidade alóctone foi acompanhado de coleta de amostras orientadas para estudos petrográficos e microestruturais. Utilizou-se como base geológica o mapa de Simões (1995), ajustando-se os contatos com os novos dados obtidos, nos casos de divergência. Envolveu 19 dias de campo, com descrição de 111 pontos (sigla *MRH*), registro de aproximadamente 700 fotos e coleta de 35 amostras de rochas, das quais foram produzidas 21 lâminas delgadas. Os dados levantados no âmbito do mestrado e os integrados somam 340 pontos, 167 amostras, incluindo rochas e megaporfiroblastos de granada, e 115 lâminas.

Atividade 6: Estudos petrográficos principalmente para análises microtectônicas com enfoque nos porfiroblastos de granada e, adicionalmente, para caracterização mineral e textural dos

principais litotipos encontrados. São 46 lâminas descritas para megaporfiroblastos e 69 para porfiroblastos comuns.

Atividade 7: Seleção de onze amostras representativas de porfiroblastos e megaporfiroblastos de granada para realização de perfis químicos em microsonda. As análises foram realizadas em microsonda *JEOL*, modelo *JXA-8230*, do Laboratório de Microsonda do DPM-UNESP e/ou MEV. Demais detalhes sobre essa atividade estão descritos no capítulo 4.

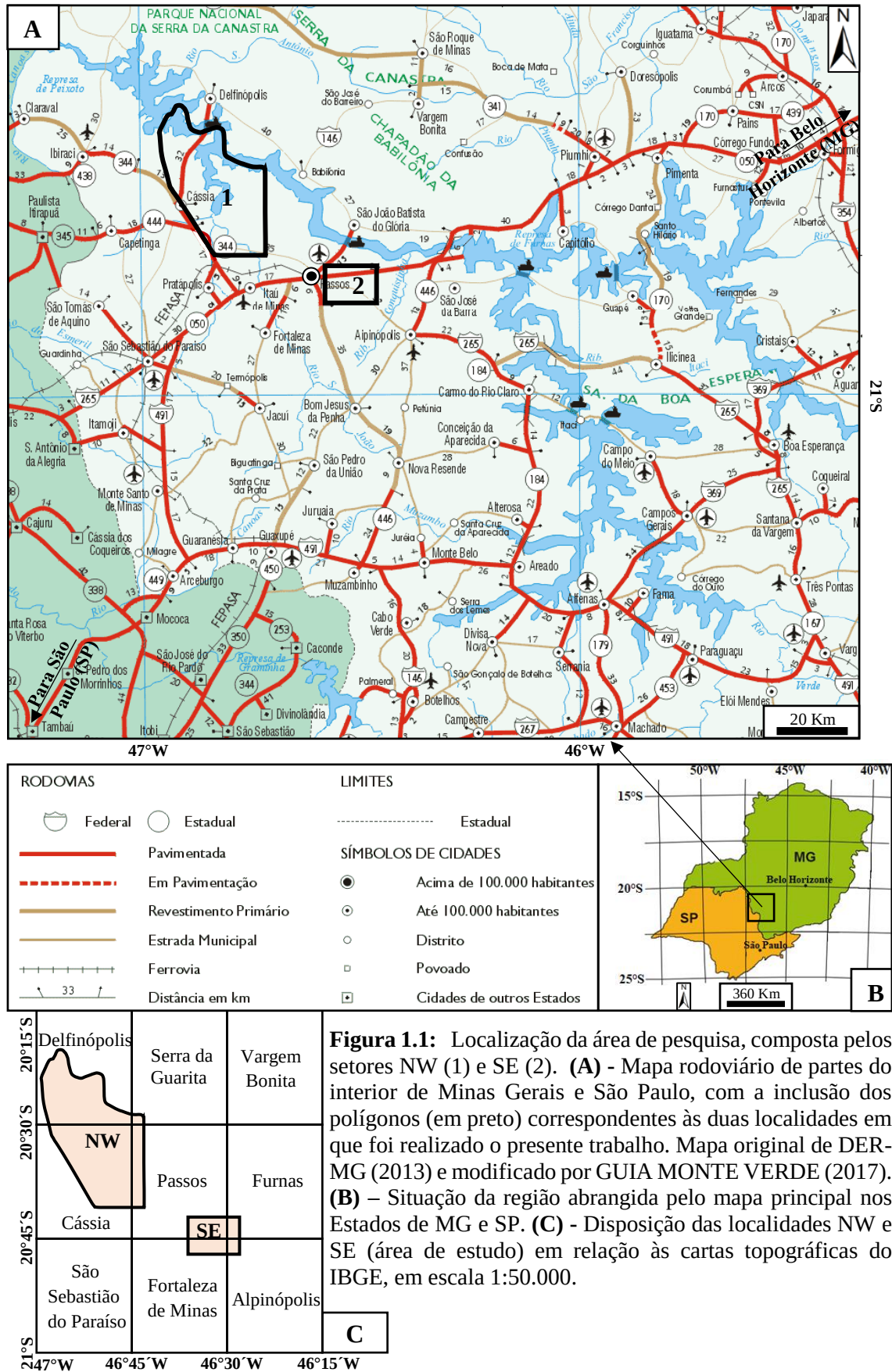
Atividade 8: Elaboração da Dissertação.

1.3 Localização da Área de Pesquisa e Vias de Acesso

A área de estudo (Fig. 1.1) envolve duas localidades descontínuas em termos espaciais. A primeira está situada no segmento noroeste da *Nappe* de Passos, onde foi realizado levantamento geológico visando verificar a possibilidade de ocorrência de megaporfiroblastos. A outra se encontra na porção sudeste desta *nappe*, dentro da qual é registrado um importante afloramento com ocorrência de megaporfiroblastos de granada.

A primeira possui área total de 585 km², sendo que a principal via de acesso à esta localidade é através da rodovia MG-344. Já a última, que contém ocorrência já conhecida, possui área de 100 Km² e apresenta forma retangular, sendo a MG-050 a sua principal via de acesso.

Para se ter acesso à área de estudo, o melhor caminho a ser percorrido partindo de São Paulo (SP) consiste em seguir por 268 Km até Mococa (SP) pelas rodovias SP-348 e SP-340. Já no Estado de Minas Gerais, são mais 73 Km até São Sebastião do Paraíso pelas rodovias MG-449 e MG-491 com a finalidade de acessar a rodovia MG-050, trafegando por mais 33 Km até o trevo de confluência com a MG-344, próximo à entrada de Itaú de Minas. A partir deste ponto, os caminhos a serem percorridos são distintos a depender do segmento a ser visitado. Para o setor NW, são mais 17 Km transitando pela MG-344 no sentido Itaú-Cássia a partir do referido trevo, ingressando, com isso, no extremo sudoeste da mesma. Em relação ao setor SE, para acessá-lo, é preciso se deslocar por mais 20 Km a partir do trevo de Itaú de Minas pela própria MG-050, no sentido Itaú-Passos adentrando, com isso, no extremo oeste dela.



1.4 Aspectos Fisiográficos

A área de estudo abrange parte dos municípios de Cássia, Itaú de Minas e Passos, sendo que a localidade NW encontra-se situada integralmente na área rural do último mencionado. Os três pertencem à microrregião de Passos e mesorregião do Sul e Sudoeste do Estado de Minas Gerais (IBGE, 1990). Conforme nova classificação proposta por IBGE (2017), englobando municípios de todo o país segundo critérios socioeconômicos, os três municípios em questão pertencem à região geográfica imediata de Passos (MG), que, por vez, encontra-se inserida dentro da região geográfica intermediária de Varginha (MG). Essas duas novas classes de agrupamento são, em linhas gerais, correlatas às terminologias de microrregiões e mesorregiões, respectivamente, adotadas anteriormente por IBGE (1990).

O bioma que ocorre na área de pesquisa é o cerrado (IBGE, 2004). Quanto aos aspectos climáticos, têm-se a presença dos climas tropical semiúmido (porção norte e centro-norte da localidade NW) e o de altitude (porções sul e centro-sul da localidade NW e localidade SE em sua totalidade), conforme classificação climática de *Köppen-Geiger* (ROSS, 2011).

Em termos hidrográficos, ela está totalmente situada na Bacia Hidrográfica do Rio Grande. Em relação ao polígono correspondente ao seu setor noroeste da *nappe*, mais especificamente em seus limites noroeste, norte e nordeste, o rio principal que dá nome a esta bacia encontra-se represado, formando a importante Represa de Peixoto. Também merece nota o fato de que no interior desta área, também ocorre um importante afluente da margem esquerda do Rio Grande. Trata-se do Rio São João. Para o polígono situado na porção sudeste da unidade alóctone supramencionada, as principais drenagens observadas foram o Ribeirão da Bocaina e o Córrego da Peroba, sendo que este último é afluente da margem direita do primeiro, que, por sua vez, é afluente da margem esquerda do Rio Grande, desaguardo na referida drenagem rio principal em área localizada fora deste polígono.

Em relação à compartimentação geomorfológica, a área de trabalho encontra-se inserida no “*Domínio das faixas de dobramentos e coberturas metassedimentares associadas*” e em caráter mais específico no “*Subdomínio das faixas de dobramentos do Brasil Central*” (NUNES & NÓBREGA JÚNIOR, 2009). Trata-se de um contexto de terrenos pré-cambrianos de base de orógeno erodido, apresentando uma significativa quantidade de estruturas dobradas associadas ao ciclo brasileiro (CORTES, 2014). Regionalmente, há o registro de importantes feições geomorfológicas que imprimem à paisagem desníveis topográficos da ordem de 100 a

400 metros, dentre as quais incluem-se as Serras da Canastra, Preta, Itambé, do Vargedo, São João ou do Formoso, do Grotão, além do Chapadão da Babilônia.

CAPÍTULO 2 - GEOLOGIA REGIONAL

A área de pesquisa encontra-se localizada na Faixa Brasília, um importante cinturão móvel de idade brasileira pertencente à Província Tocantins. Essa província corresponde a um extenso compartimento litotectônico situado na porção central da plataforma sul-americana, tida como resultado de intensas interações colisionais criogenianas a, no máximo, cambrianas ocorridas entre os Crátons Amazônico, São Francisco e do Paranapanema (Fig. 2.1) (ALMEIDA *et al.*, 1977, 1981). A formação da Faixa Brasília está diretamente relacionada ao Ciclo Brasiliano/Pan-africano, evento geodinâmico registrado no Gondwana Ocidental, cujo ápice se deu no Ediacarano (FUCK *et al.*, 1994; SCHOBENHAUS *et al.*, 2001, VALERIANO *et al.*, 2004a; UHLEIN *et al.*, 2012; PIMENTEL, 2016).

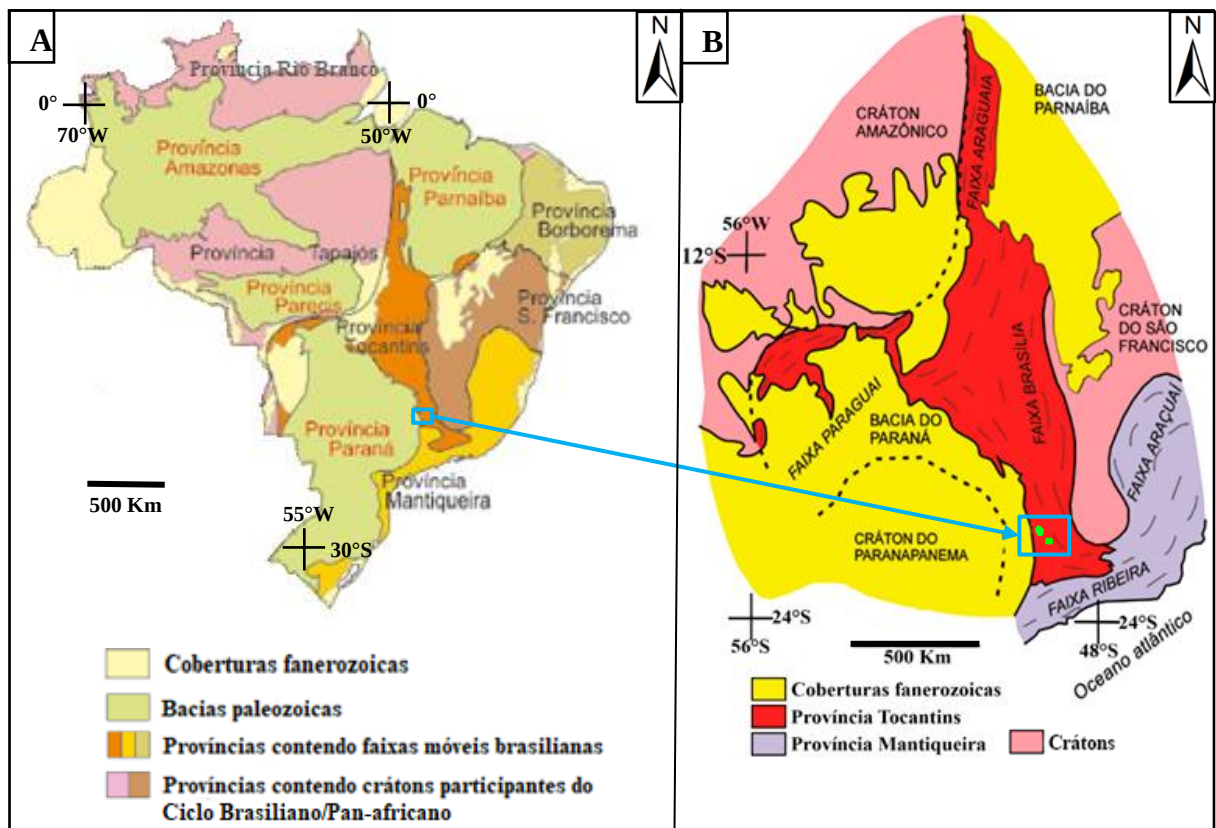


Figura 2.1: Províncias tectônicas do Brasil. (A) - é destacada a localização da Província Tocantins no território brasileiro. Extraído e modificado de Hasui *et al.* (2012). No mapa expresso em (B), é registrada a compartimentação da Província Tocantins nas Faixas Brasília, Paraguai e Araguaia. No segmento meridional da primeira faixa móvel, é mostrada, em verde-claro, a localização da área de estudo, com um retângulo em azul-claro destacando-a. Extraído e modificado de Valeriano *et al.* (2004a).

2.1 Faixa Brasília

Segundo Brito Neves & Cordani (1991), a Faixa Brasília representa um importante orógeno colisional brasileiro localizado na porção sudeste da Província Tocantins. Em termos de dimensão espacial, Uhlein *et al.* (2012) esclarecem que essa faixa móvel apresenta, em superfície, aproximadamente 1.200 quilômetros de comprimento por cerca de 300 quilômetros de largura, bordejando a porção ocidental do *Cráton* São Francisco com *trend* aproximado em NW-SE.

O contexto deformacional da Faixa Brasília reflete transporte em direção ao *Cráton* São Francisco, localizado a leste, sendo seu metamorfismo decrescente no mesmo rumo, indicando, com isso, polaridade metamórfica (VALERIANO *et al.*, 2004a).

O entendimento acerca do contexto evolutivo dessa faixa móvel tem sido objeto de intensos debates na literatura desde trabalhos pioneiros, dentre os quais incluem-se Almeida (1968), Costa & Angeiras (1971), Dardenne (1978) e Marini *et al.* (1981).

Costa & Angeiras (1971) e Dardenne (1978) entendem que a estruturação da Faixa Brasília é tida como resultado de uma evolução monocíclica, associada às interações colisionais neoproterozoicas ocorridas durante Ciclo Brasileiro-Pan-africano. Fuck (1990, 1994) também segue essa diretriz e propõem a divisão da referida faixa móvel em cinco compartimentos: (1) Zona cratônica: unidade autóctone constituída por setores do embasamento arqueano/paleoproterozoico, além da cobertura metassedimentar neoproterozoica afetadas pelas deformações sin-brasilianas. O limite do cráton, em linhas gerais, é caracterizado por destacadas falhas de empurrão de âmbito regional, eventualmente truncadas por falhas transcorrentes; (2) Zona externa: unidade alóctone constituída por rochas metapsamopelíticas polideformadas dos Grupos Canastra, Paranoá, Vazante e Ibiá afetadas por extensos falhamentos e empurrões; (3) Zona interna: unidade alóctone correspondente às rochas metapsamopelíticas e metavulcânicas polideformadas do Grupo Araxá, também afetadas por significativos falhamentos e empurrões; (4) Maciço de Goiás: constituído por terrenos granito-*greenstone* arqueanos, além de terrenos ortognáissicos paleoproterozoicos; (5) Arco magmático de Goiás: formado por terrenos ortognáissicos, além de sequências metavulcanossedimentares neoproterozoicas expostas entre os municípios de Sanclerlândia e Bom Jardim de Goiás, se estendendo por cerca de 400 Km a nordeste, até os municípios de Mara Rosa e Porangatu.

A Faixa Brasília apresenta uma importante inflexão em sua porção central, denominada de Inflexão dos Pirineus, responsável pela sua subdivisão em segmentos setentrional, com orientação preferencial das estruturas NNE e meridional, com orientação NNW. Trata-se de um conhecido alinhamento marcado pela inflexão das estruturas da Faixa Brasília para a direção WNW (ARAÚJO FILHO, 1981, 2000; STRIEDER, 1993).

O segmento meridional desta faixa móvel é caracterizado pela presença de unidades litoestratigráficas de naturezas predominantemente metassedimentares, estando associadas majoritariamente a um contexto deposicional de margem passiva, reflexo do processo de abertura do Oceano Goianides, cuja sedimentação se processou durante o episódio geotectônico conhecido como “*tafrogênese toniana*” (BRITO NEVES & CORDANI, 1991). Minoritariamente, também são verificadas rochas oriundas de sedimentação processada em bacia do tipo sin-orogênica (possivelmente do tipo *fore arc*), estando já vinculada, portanto, a evento de ativação tectônica cujo produto final foi o fechamento do Oceano Goianides. De modo sintético, denota-se que durante o Ediacarano, as rochas pertencentes à referida faixa foram submetidas a importantes eventos colisionais vinculados ao Ciclo Brasileiro-Pan-africano, reflexo da interação entre três *crátons*: São Francisco, Paranapanema e Amazônico (PIMENTEL, 2016; VALERIANO, 2017).

Na porção sul da Faixa Brasília, o grau metamórfico e o processo deformacional apresentam maior intensidade em relação ao segmento meridional, causando a obliteração das relações estratigráficas entre as suas unidades. Com isso, desenvolveu-se complexos sistemas de *nappes* e empurrões nesse setor da faixa móvel em análise (Fig. 2.2), apresentando vergência em direção ao *Cráton* São Francisco (VALERIANO *et al.*, 1994; VALERIANO *et al.*, 2000, 2004a; SILVA, 2003). A fase orogênica referente ao segmento meridional da referida faixa móvel foi iniciada a partir de evento de subducção progressiva de unidades de margem passiva, de distal para proximal, culminando com colisão continental entre aproximadamente 650 a 630 Ma. Com base em geocronologia U-Pb em monazita, a exumação pós-pico metamórfico ocorreu em aproximadamente 610 a 605 Ma e o resfriamento final entre cerca de 600 a 580 Ma, tomando-se como base idades K-Ar obtidas a partir de micas brancas (VALERIANO *et al.*, 2004b; VALERIANO, 2017).

Simões & Valeriano (1990), Valeriano *et al.* (1993) e Valeriano *et al.* (2000, 2004b) propõem a divisão da Faixa Brasília meridional, na região de Passos (MG), em três Domínios tectônicos distintos, denominados como Interno, Externo e Cratônico. Esses domínios, ao longo

de toda a Faixa Brasília, não se apresentam homogêneos em termos longitudinais. O Domínio Cratônico abrange rochas arqueanas ortognáissicas (Complexo Campo Belo) e ortognáissicas a metassedimentares (Complexo Campo Belo), assim como rochas pelítico-carbonáticas neoproterozoicas (Grupo Bambuí). Apresenta caráter alóctone a para-autóctone. No Domínio Externo ocorrem rochas metassedimentares neoproterozoicas predominantemente psamo-pelíticas, formadas em contexto de margem passiva (Grupos Canastra e Ibiá), além de rochas metavulcanossedimentares que constituem o *Greestone Belt* de Piumhi. Este domínio possui natureza alóctone. O Domínio Interno, que cavalga os outros dois domínios, é formado por rochas, majoritariamente, metapelíticas imaturas referentes ao Grupo Araxá e partes do Grupo Andrelândia, estando empilhadas em complexos sistemas de *nappes*. Tanto o Domínio Externo quanto Interno são classificadas como unidades tectônicas alóctones (VALERIANO *et al.*, 2004b).

Na Faixa Brasília meridional destacam-se, em termos de expressão em mapa, quatro grandes *nappes* (Araxá, Passos, Guaxupé e Luminárias), todas imbricados em baixo ângulo, durante o Ediacarano, em direção ao *Cráton* São Francisco (PIMENTEL, 2016). Nos seus estágios finais, o estilo deformacional é predominantemente marcado por dobras abertas a suaves, associadas a falhas transcorrentes sinistrais com *trend* representativo NW-SE, tendo como produto a segmentação transversal desta faixa móvel. Para isso, basta verificar a variação apresentada em latitude e, sobretudo, em longitude, pelos sistemas *de nappes* em função desse cisalhamento tardio (VALERIANO *et al.*, 2004a). Ver Fig. 2.2.

Segundo Pimentel (2016), as *Nappes* de Passos e Luminárias são formadas predominantemente por rochas metassedimentares psamo-pelíticas pertencentes aos Grupos Araxá, estando vinculadas a depósitos de margem passiva, formados em até 650 Ma, com base na idade U-Pb referente ao zircão mais novo. Para a *Nappe* de Araxá, o autor considera que seus metassedimentos foram depositados em uma bacia sin-orogênica, possivelmente do tipo *fore arc*, mas para o Grupo Araxá na *Nappe* de Passos, admite que representa sedimentação de margem passiva, conforme proposto por Valeriano *et al.* (2004b), que considera que o Grupo Araxá observado na referida unidade alóctone, composto por rochas metassedimentares predominantemente pelíticas, com intercalações de rochas metabásicas predominantemente continentais, pode ser resultado de crosta associada à abertura oceânica, sendo reflexo da ruptura do paleocontinente Rodínia.

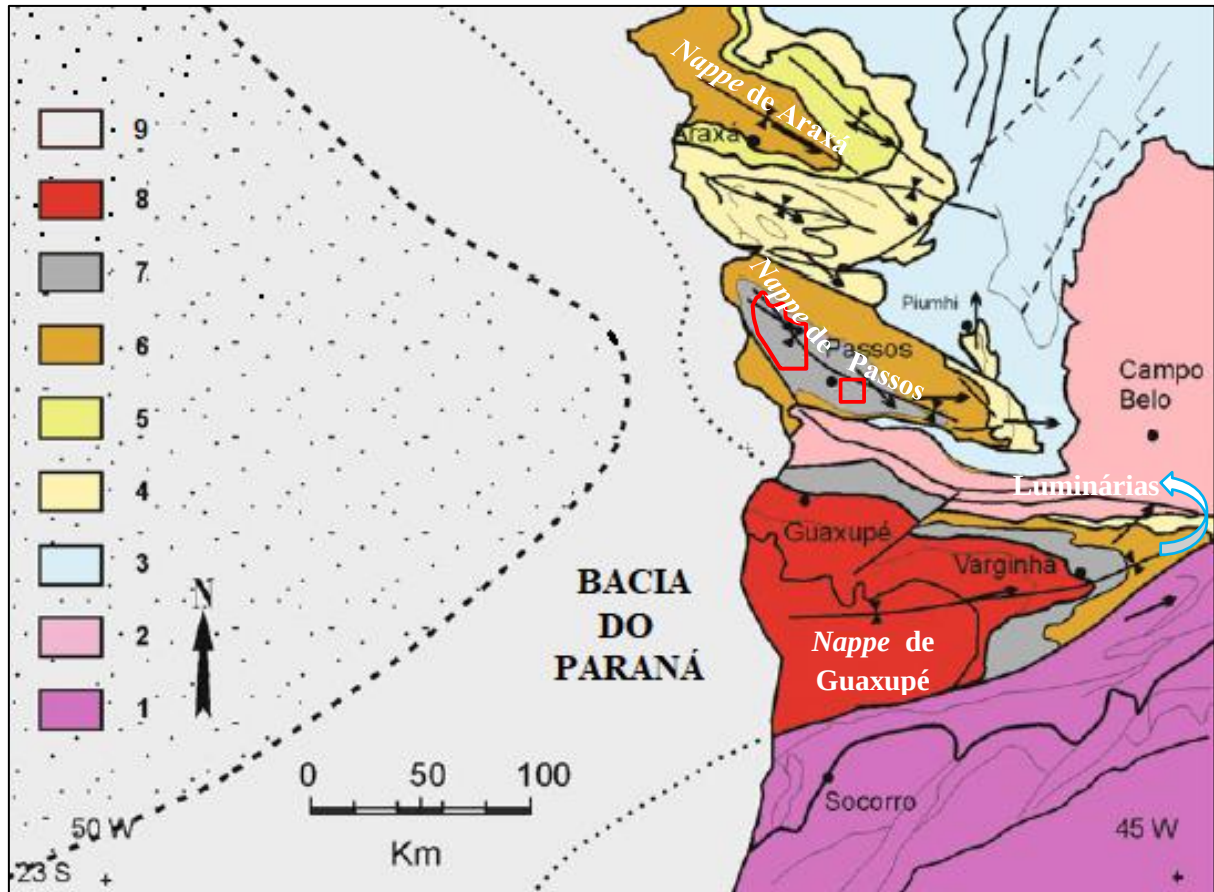


Figura 2.2: Contexto geológico relativo ao segmento meridional da Faixa Brasília e unidades tectônicas adjacentes. (1) - Faixa Ribeira; (2) e (3) – Domínio Cratônico, sendo (2) o Embasamento do Cráton São Francisco (Complexos Campos Gerais e Campo Belo) e (3) a Cobertura neoproterozoica a cambriana do Cráton São Francisco (Grupo Bambuí); (4) e (5) – Domínio Externo, sendo (4) o Grupo Canastra e (5) o Grupo Ibiá; (6) a (8) - Domínio Interno, sendo (6) o Grupo Araxá, (7) o Grupo Araxá metamorfoisado sob condições de *fácies* granulito e (8) o Complexo de arco magmático (*nappe* granulítica de Guaxupé); (9) – Cobertura fanerozoica (Bacia do Paraná). Extraído e modificado de Valeriano (2016).

2.2. Nappe de Passos

A *Nappe* de Passos apresenta, em mapa, forma alongada na direção ESE (Fig. 2.3) e, nessa região, corresponde ao Domínio Interno da Faixa Brasília que se justapõe aos outros dois domínios (Externo e Cratônico) através de extensa superfície de cavalgamento.

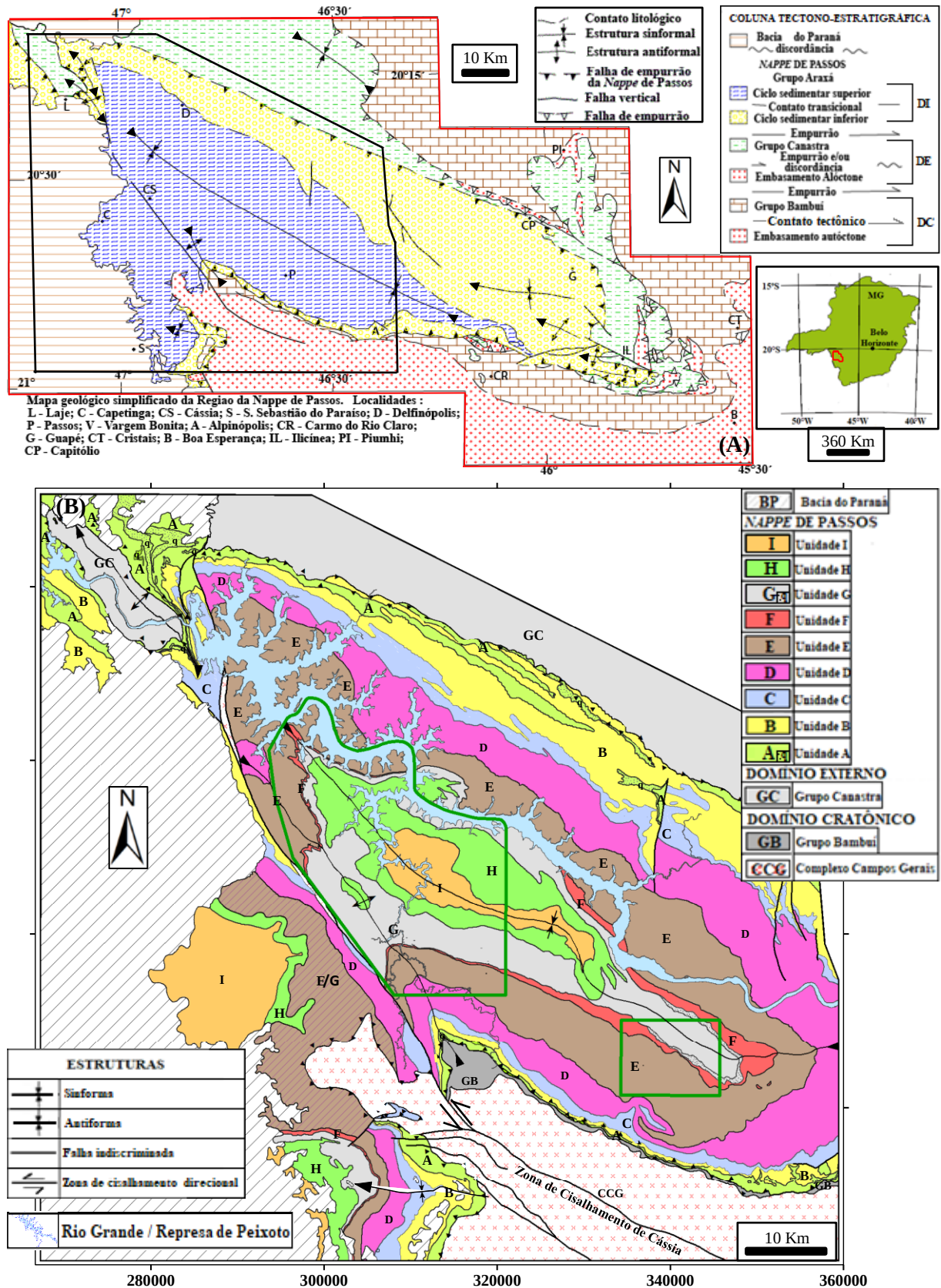


Figura 2.3: Mapas geológicos referentes à *Nappe* de Passos e unidades adjacentes. **(A)** - Mapa geológico simplificado contendo os Domínios Interno, Externo e Cratônico, simplificados na coluna tectonometamórfica como DI, DE e DC, respectivamente. **(B)** - Mapa da porção ocidental da *nappe* com suas nove unidades litoestratigráficas a partir de informações integradas de Simões (1995), Luvizotto (2003), Simões *et al.* (2006), Valeriano *et al.* (2007), Zanardo *et al.* (2008) e Luvizotto *et al.* (2015).

O domínio cratônico na região de Passos inclui uma parcela do Grupo Bambuí e, juntamente com seu embasamento, representados por terrenos ortognáissicos migmatizados referentes aos Complexos Campos Gerais e Campo Belo. A primeira representa uma unidade litoestratigráfica mesoarqueana dividida em dois litotipos distintos: o Ortognaisse Campos Gerais com idade-modelo (T_{DM}) de 3,2 Ga e o Ortognaisse Mandembo (reflexo de anatexia de crosta composta por associação TTG arqueana), datado entre 3,4 a 3,2 Ga (TURBAY *et al.*, 2012).

O Complexo Metamórfico Campo Belo é constituído por rochas gnáissicas, metassedimentares pelíticas e psamíticas, assim como metabásicas, metaultrabásicas e migmatíticas, correspondente a uma crosta sílica de idade arqueana (FERNANDES & CARNEIRO, 2000; OLIVEIRA & CARNEIRO, 2000). Dados isotópicos Pb-Pb de Teixeira *et al.* (1998) obtido a partir grãos de zircão interpretados como componentes reliquiais em migmatito exibirem idade de $3,205 \pm 17$ Ga.

O Grupo Bambuí, pertencente ao Supergrupo São Francisco, é constituído majoritariamente por rochas metacarbonáticas, além de metapelitos e metapsamitos, todas de baixo grau metamórfico. Sua idade deposicional máxima foi objeto de intensos debates na literatura, sobretudo a partir da década de 1980 (PIMENTEL, 2016).

Dados geocronológicos, sobretudo com base em relações isotópicas Sm-Nd e U-Pb levantados a partir de grãos detríticos de zircão e monazita, demonstram grande variação temporal em relação às suas áreas-fonte.

O trabalho de Rodrigues (2008), com base em datações feitas em zircão e monazita detríticos, coloca a idade máxima de deposição para o Grupo Bambuí em cerca de 610 Ma. Pimentel *et al.* (2011) registram, para a porção basal do Grupo Bambuí, significativas quantidades de zircões datados do intervalo estimado entre 600 a 550 Ma. A atualização do limite máximo de sedimentação para idades mais recentes em relação às anteriores foi possível a partir da descoberta de fósseis geneticamente vinculados à fauna de Ediacara presentes em rochas metacarbonáticas da Formação Sete Lagoas (WARREN *et al.*, 2014). Esse fato encontra-se em consonância com Pimentel (2016), tendo em vista que novos dados U-Pb obtidos a partir de zircões detríticos atribuem a idade deposicional máxima para o Grupo Bambuí entre 550 a 540 Ma. Este autor interpretou que os metassedimentos da referida unidade foram depositados, ao menos em parte, uma bacia do tipo *foreland*.

Na região de Passos (MG), o Domínio Externo é constituído por uma complexa imbricação de metarenitos e metapelitos da Sequência Serra da Boa Esperança, correlacionável ao Grupo Canastra. Falhas de empurrão de âmbito regional o separam do Domínio Cratônico, constituído pelas associações ortognáissicas arqueanas e pelítico-carbonáticas neoproterozóicas já elencadas nos dois parágrafos anteriores. A idade máxima calculada para sua sedimentação é de 942 ± 17 Ma, com base em idades U-Pb obtidas em zircão detrítico (VALERIANO *et al.* 2004b). Simões (1995) relata, em meio aos quartzitos dessa unidade, a preservação parcial dos grãos de quartzo referentes à rocha protólito, bem como de estratificações cruzadas e marcas de onda.

A Sequência Serra da Boa Esperança (Grupo Canastra), é constituída por quartzito, sericita filito e metaconglomerado quartzíticos (VALERIANO *et al.*, 2007). Esse termo foi originalmente proposto por Valeriano (1992) em substituição à designação anterior, denominada como Sequência Metassedimentar Carmo do Rio Claro, tendo em vista que esse termo abrangia unidades de distintas origens.

Nas adjacências da cidade de Piumhi (MG), observa-se que o Domínio Externo encontra-se associado a lentes tectônicas de gnaiss. Também são constatadas rochas metavulcanossedimentares, com destaque para as metavulcânicas básicas komatiíticas, sendo que localmente há a preservação de estruturas primárias, dentre as quais incluem-se *pillow* lavas e *spiniflex*, correspondente a uma associação do tipo *greenstone belt* (SCHRANK, 1982; VALERIANO *et al.*, 2004a).

O Domínio Interno na região estudada corresponde à *Nappe* de Passos, cuja importância é destacada desde os trabalhos pioneiros de Teixeira & Danni (1978) e Schmidt & Fleischer (1978). Essa *nappe* cavalga tanto as rochas do Domínio Externo, quanto àqueles pertencentes ao Domínio Cratônico. Mapeamentos posteriores propiciaram uma melhor delineação de seus contornos, demonstrando que a superfície de cavalgamento dessa *nappe* desenha um contato sinuoso, definindo estrutura de direção alongada NW-SE (MORALES *et al.*, 1983; VALERIANO *et al.*, 1989), conforme verificado na Figura 2.3.

Simões (1995), considerando o conteúdo litológico e as condições de metamorfismo, correlaciona as rochas da *Nappe* de Passos ao Grupo Araxá. Divide a *nappe* em nove unidades litoestratigráficas informais, sendo da base para o topo: (1) Unidade A - caracterizada por xisto muscovítico fino com intercalações decimétricas a métricas de quartzito e de biotita-clorita-muscovita xisto, aos quais associam-se lentes de mármore; (2) Unidade B - composta por

alternância de camadas métricas de quartzito puros e micáceo, com intercalações métricas ocasionais de muscovita xisto; (3) Unidade C - caracterizada por muscovita xisto, clorita-muscovita xisto e biotita-clorita-muscovita xisto; (4) Unidade D - constituída essencialmente por biotita-muscovita gnaiss bandado, em geral, finos, com intercalações ocasionais de muscovita xisto, quartzito feldspático, quartzito e mais raramente anfibolito; (5) Unidade E - constituída por muscovita xisto e biotita-muscovita xisto, os quais apresentam camadas com granada, cianita e ocasionalmente estauroлита. Normalmente, eles exibem intercalações decimétricas a métricas de quartzito, quartzito xisto (com ou sem granada), anfibolito, granada anfibolito, gndito e biotita gnaiss, sendo estes dois últimos litotipos menos frequentes. Também são identificadas algumas raras ocorrências de magnetita quartzito, grunerita quartzito e rocha calcissilicática; (6) Unidade F - é representada por um pacote pouco espesso de gnaiss, constituído por biotita, muscovita, plagioclásio e, menos freqüentemente, microclínio. Geralmente, apresenta textura porfiroblástica e/ou porfiroclástica, marcada por cristais de feldspato de 3 a 20 mm de comprimento; (7) Unidade G: recorrência da associação litológica que constitui a unidade E, todavia com grau metamórfico mais intenso, já dentro da anfibolito superior; (8) Unidade H: é caracterizada por gnaiss com intercalações locais de biotita-muscovita xisto, quartzito, e, anfibolito; (9) Unidade I: formada por biotita-muscovita xisto, por vezes feldspáticos, com intercalações decimétricas a métricas de quartzito, quartzito xisto, e menos freqüentemente de biotita gnaiss e anfibolito. O conjunto como um todo se assemelha às unidades E e G, entretanto a ocorrência freqüente de quartzitos de granulação exageradamente grossa e de cianita-quartzito xisto feldspático (semelhante a um gnaiss, porém muito quartzoso), constitui uma feição característica dessa unidade.

O metamorfismo atribuído à *Nappe* de Passos é o da zona da biotita da *fácies* xisto verde em sua porção basal, chegando até a *fácies* granulito em seu topo, com a ocorrência de anatexia em determinados segmentos (LUVIZOTTO, 2003; SOUZA, 2013). Apresenta, portanto, um gradiente metamórfico invertido (TEIXEIRA & DANNI, 1978; SIMÕES *et al.*, 1988; VALERIANO, 1992; ZANARDO, 1992; ZANARDO *et al.* 1992, SIMÕES, 1995).

A causa para a origem desse gradiente invertido foi discutida por Simões (1995) que, após analisar os diversos modelos conhecido para explicar inversão metamórfica em cinturões orogênicos e, considerando os dados termobarométricos e estruturais da *Nappe* de Passos, concluiu que o gradiente invertido deve ter sido gerado como reflexo da inversão das isothermas em sistema de subducção aliada ao intenso cisalhamento dúctil que afetou essas rochas durante o processo de exumação.

Ao realizar a caracterização tectonometamórfica da *Nappe* de Passos, Simões (1995), com base nas ocorrências das assembleias minerais e com auxílio de microscopia óptica e microsonda, apresenta o traçado aproximado de três isógradas em sua área de trabalho. A primeira delas, denominada de *Albita out*, não se encontra inserida no polígono de pesquisa da presente qualificação. O traçado aproximado dessa isógrada é na porção inferior da Unidade D, geralmente situado, em superfície, a distâncias que variam de 60 a 700 metros em relação ao contato de topo da Unidade C. Essa linha representa o limite superior de ocorrência de albita em meio às rochas metabásicas da *Nappe* de Passos, representadas em campo por anfíbolitos.

A segunda e a terceira isógradas encontram-se inseridas na área de trabalho da presente pesquisa (Fig. 2.4).

A segunda é a *granada in*, que equivale ao limite inferior em que são encontradas granadas em metapelitos da referida *nappe*. Essa isógrada situa-se no interior da Unidade D, em termos de superfície, localizado em torno de 150 a 800 metros do contato com a Unidade E. A partir dessa isógrada, também merece destaque o aparecimento de cianita em xisto, indicando, para o metamorfismo principal, um regime bórico, ao menos, intermediário.

A terceira isógrada é referente ao *clinopiroxênio in*, que corresponde à ocorrência de clinopiroxênio em metabásicas. No geral, conforme observado na Fig. 2.5, essa isógrada está na Unidade E, bem próximo ao contato com a Unidade F.

As estruturas da *Nappe* de Passos em geral são atribuídas à superposição de quatro eventos deformacionais. A foliação principal (S_2), de baixo ângulo, como a superfície de cavalgamento que a separa dos domínios externo e cratônico, estão relacionadas ao segundo evento deformacional que atuou na área, denominado de D_2 . S_2 é mesoscopicamente identificada como uma xistosidade, mas ao observá-la em detalhe, principalmente com a utilização da microscopia óptica, verifica-se que se trata de uma clivagem de crenulação apertada. As dobras D_2 possuem eixos com orientação preferencial na direção WNW a NW, com caimentos suaves para NW e SE. Esse evento apresenta caráter predominantemente dúctil e foi o responsável pelo transporte tectônico da *Nappe* de Passos (SIMÕES & VALERIANO, 1990; SIMÕES, 1995; LUVIZOTTO, 2003; SILVESTRE, 2013). A aloctonia mínima verificada é de cerca de 200 Km no sentido SSE (SIMÕES *et al.*, 2016).

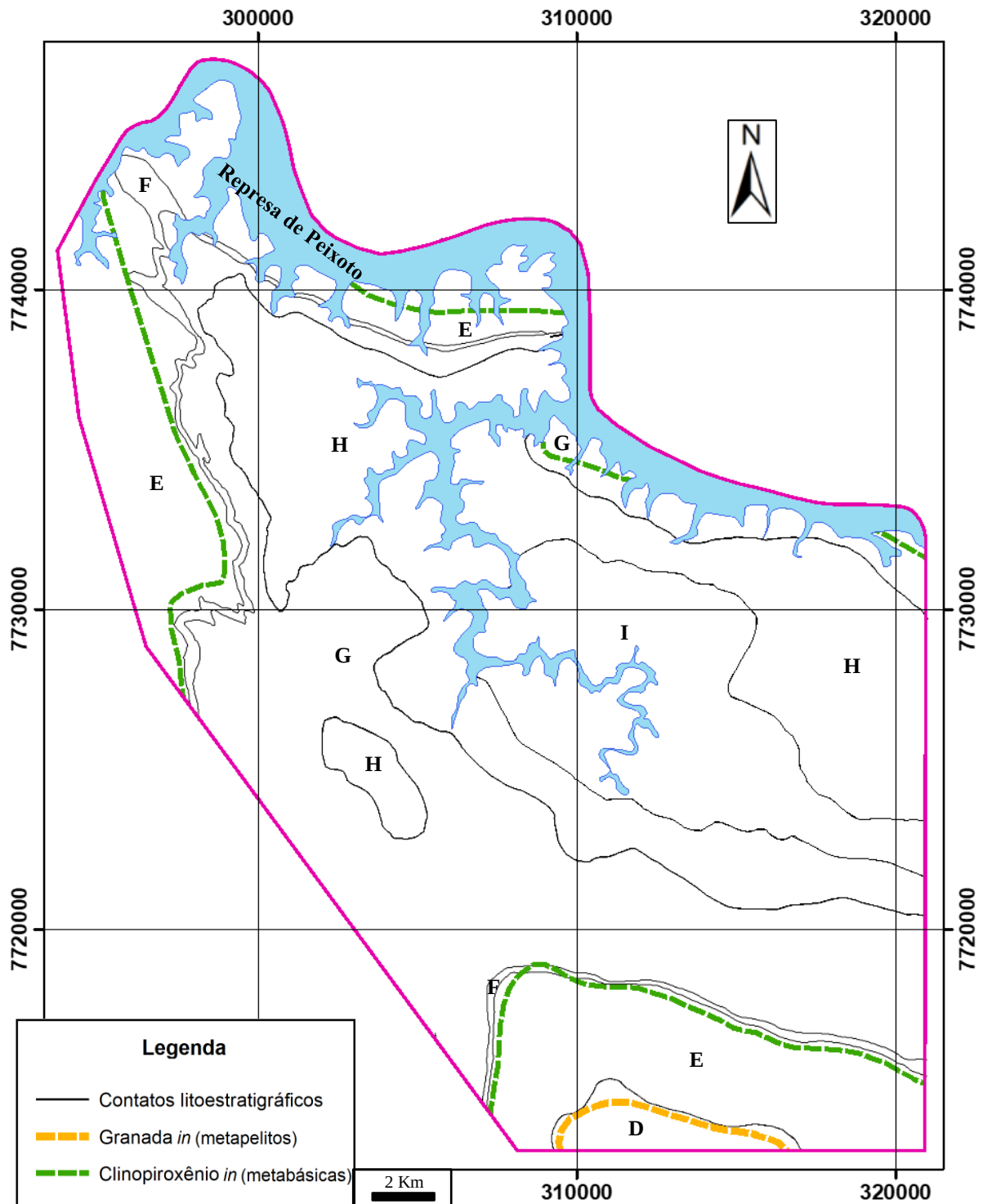


Figura 2.4: Mapa contendo a distribuição das isógrads propostas por Simões (1995) para o segmento NW da *Nappe* de Passos, área de pesquisa de ocorrência de megaporfiroblastos no presente trabalho.

O evento deformacional D_1 foi o responsável por gerar uma foliação S_1 , encontrada frequentemente paralela ao bandamento composicional (S_0). O seu reconhecimento mais seguro ocorre nas regiões de charneira das dobras relacionadas ao evento D_2 , uma vez que nesses setores, S_1 faz alto ângulo com a foliação S_2 . S_1 é uma xistosidade caracterizada pela orientação de minerais placoides (micas, feldspatos e anfibólio) e pela forma alongada dos cristais de

quartzo. Assim como o segundo evento, esse também apresenta caráter essencialmente dúctil (SIMÕES, 1995).

O evento deformacional D₃, gerou dobras abertas a suaves, que afetam a foliação S₂, apresentando planos axiais com orientações vertical a subvertical e eixos com caimentos suaves, frequentemente para NW, e minoritariamente para SE. Foi responsável por gerar estruturas importantes no âmbito regional, tais como a Braquissinormal de Passos, a Antiformal de Itaú de Minas e a Zona de Cisalhamento de Cássia, cujo sentido é sinistral. Essas grandes estruturas afetam claramente a foliação S₂, sendo frequente a ocorrência de dobras mesoscópicas D₃ parasíticas às grandes dobras e também adjacentes à Zona de Cisalhamento de Cássia e à Sinforma do Chapadão (SIMÕES, 1995; MORALES *et al.* 1996). Em determinados afloramentos, registra-se a ocorrência de pequenas falhas, apresentando rejeitos milimétricos a decimétricos, em posição paralela aos planos axiais das dobras vinculadas a esse evento evidenciando que apresenta caráter dúctil-rúptil (SIMÕES, 1995).

O evento D₄ foi responsável pela geração de dobras abertas a suaves, com plano axial vertical a subvertical e linhas de charneira apresentado direção predominantemente entre N e NNE e caimentos, em geral, suaves para S a SSW ou N a NNE. Comumente, ocorrem falhas de pequeno rejeito paralelas ao plano axial das dobras. Em âmbito local, para essa fase, também ocorrem dobras maiores, geralmente sob a forma de pares de sinforma e antiforma, algumas delas adjacentes à extensas falhas, como, por exemplo, a falha da Serra de Santa Maria. Assim como o evento anterior, este possui caráter dúctil-rúptil (SIMÕES, 1995).

De modo a propiciar um melhor entendimento da disposição espacial das estruturas planares e lineares existentes no interior do polígono de mapeamento, é apresentado o esquema didático da *Fig. 4.5*, extraído e adaptado a partir da obra de Simões (1995).

A estratificação primária (S₀) é frequentemente paralela à subparalela à foliação principal (S₂). Normalmente, S₂ apresenta-se ao longo da área com baixos ângulos de mergulho. Em relação às lineações mineral e de estiramento associadas ao evento principal, elas foram denominadas por Simões (1995), de modo simplificado, como L_m e L_e, respectivamente. O autor utiliza L₂ paralelo à L_m. Há ainda um terceiro tipo de lineação, que é aquela gerada a partir da intersecção entre os planos das foliações S₁ (paralela à estratificação primária) e S₂, sendo coincidente ao eixo D₂. Este eixo normalmente é encontrado em posição paralela a subparalela às lineações mineral e/ou de estiramento, conforme ressaltado por Simões (1995), com caimentos suaves tanto para NW quanto para SE. Em Valeriano (1992) e Zanardo (1992), a

depender do setor do Domínio Interno, essas estruturas podem se apresentar ora paralelas, ora oblíquas entre si. Valeriano (1992) explica esse fato como reflexo de rotação progressiva dos eixos, segundo a direção X.

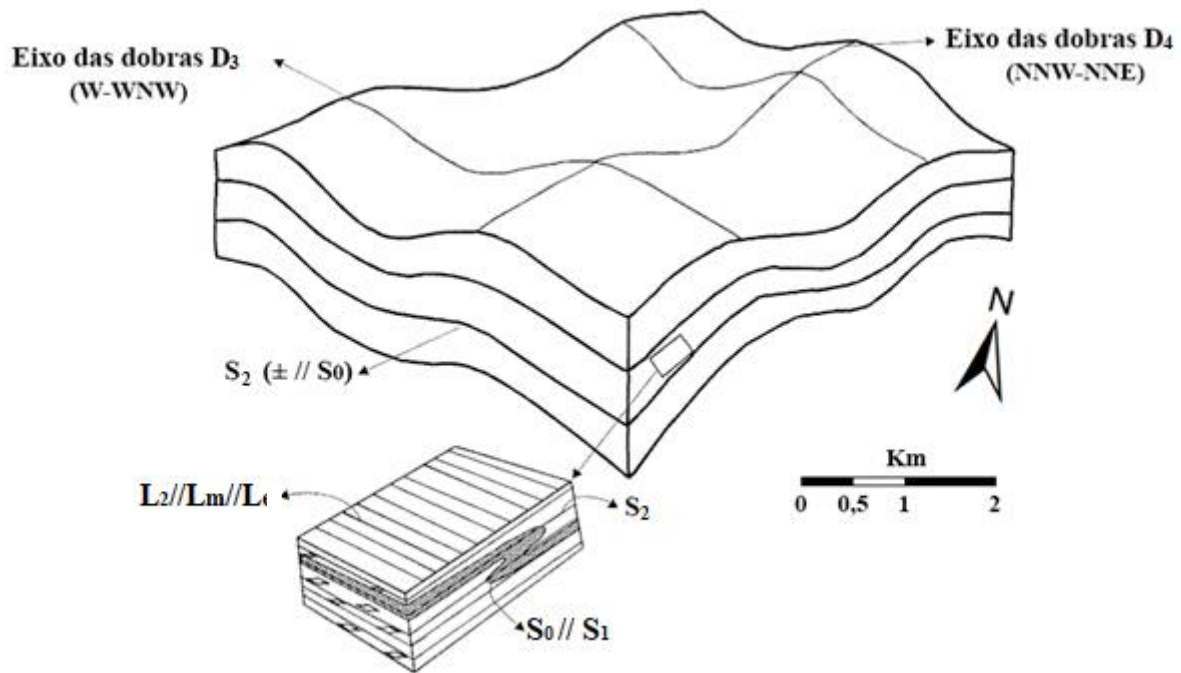


Figura 2.5: Ilustração esquemática referente ao padrão estrutural visto com maior frequência para as rochas da *Nappe* de Passos. A estratificação primária (S_0) normalmente encontra-se em posição paralela à subparalela à foliação principal (S_2), que apresenta baixo ângulo de mergulho. Lineações minerais e de estiramento, paralelas entre si, encontram-se contidas no plano de S_2 . Indicadores cinemáticos, tais como mica *fish*, foliation *fish* e porfiroclasto de feldspato, visualizados em posição paralela à L_2 , evidenciam que o transporte da *Nappe* de Passos foi de NW para SE. Dobras apertadas a isoclinais são comumente encontradas afetando S_0 , com eixos geralmente paralelos à L_2 e com S_2 em posição plano axial a essas dobras. Analisando a charneira dessas dobras, verifica-se a presença de uma outra foliação tectônica que também está sendo dobrada, denominada de S_1 . Existem ainda dois conjuntos de dobras abertas a suaves que afetam a foliação principal. Ambas possuem caráter dúctil/rúptil, planos axiais íngremes e apresentam eixos de caimento suaves, com sentidos W a WNW para as dobras relacionadas ao evento D_3 e NNW a NNE para àquelas vinculadas ao evento D_4 . Extraído de Simões (1995).

A presença de indicadores cinemáticos, tais como os porfiroclastos de feldspato, vistos com maior frequência nas variedades gnáissicas ao longo das Unidades D, F e H, assim como mica *fish* e foliation *fish*, observados de maneira mais evidente nos xistos das Unidades A, C, E, G e I, verificados em cortes paralelos à lineação mineral relacionada à fase principal (L_2) possibilitam esclarecer que o deslocamento apresentado pela *Nappe* de Passos foi de NW para SE, conforme destacado por Simões (1995). Ainda segundo o autor, dobras apertadas a isoclinais são encontradas afetando a estratificação primária, com eixos geralmente em posição paralela à lineação mineral relacionada ao evento D_2 e com S_2 em posição plano axial a essas

dobras. Também são descritos dois tipos de dobras abertas a suaves crenulando a foliação principal, exibindo planos axiais com mergulhos em alto ângulo e eixos com caimento suaves, relacionadas aos eventos D₃ e D₄, cujas atitudes preferenciais já se encontram indicadas na Fig. 2.5.

Ao realizar uma análise sintética a respeito do quadro evolutivo da *Nappe* de Passos, constata-se que as rochas desta unidade alóctone são consideradas como oriundas de metassedimentos de margem passiva, variando de plataforma a depósitos de talude continental (SIMÕES 1995; VALERIANO, 1992, 2017), relativa ao processo de fragmentação do supercontinente Rodínia (VALERIANO *et al.*, 2004a), representando, portanto, a borda oeste da paleoplaca São Francisco (ALKMIN, 2004) e que foram profundamente afetados pelos processos orogenéticos neoproterozoicos, culminando na formação do Gondwana. A idade máxima de sedimentação verificada com base em zircões detríticos é aproximadamente 907 Ma (VALERIANO *et al.*, 2004b; VALERIANO, 2017). O pico do metamorfismo ocorreu em cerca de 631 Ma, indicado por análise ID-TIMS em monazita euhedral (VALERIANO *et al.*, 2004b) e o alojamento final em torno de 550 a 540 Ma, como mostram idades de zircões detríticos (PIMENTEL, 2016) e de fósseis da fauna ediacarana (WARREN *et al.*, 2014) no Grupo Bambuí, que é cavalgado pela *nappe*.

CAPÍTULO 3 – BUSCA POR OCORRÊNCIAS DE MEGAPORFIROBLASTOS NO SEGMENTO NOROESTE DA NAPPE DE PASSOS

Com a finalidade de verificar possíveis ocorrências de megaporfiroblastos de granada ao longo de toda a *Nappe* de Passos, selecionou-se uma área pertencente à porção noroeste da referida unidade alóctone, para a qual não se tinha registro desses cristais. O trabalho realizado nessa área também serviu para maior familiarização com as unidades da *nappe* e estruturas presentes em suas rochas. Como descrito a seguir (item 3.1), o levantamento feito nesse setor não identificou ocorrências de camadas ricas em megaporfiroblastos. Contudo, ele permitiu o aprimoramento do traçado dos contatos e melhor caracterização geométrica das grandes dobras existentes na área, sendo que os resultados desse trabalho serão apresentados neste capítulo (item 3.2).

3.1 Investigação no Segmento Noroeste da *Nappe* de Passos

O estudo foi realizado em uma área de 585 km², situada na porção noroeste da *Nappe* de Passos, em que ocorrem as unidades D, E, F, G, H e I, conforme denominação proposta por Simões (1995). Na Fig. 3.1 é mostrado o mapa geológico simplificado da área, em escala 1:105.000, com a indicação das principais estruturas, pontos realizados, assim como os trajetos percorridos na busca por ocorrências de megaporfiroblastos. A descrição das unidades litoestratigráficas está apresentada no item 2.2 (*Nappe* de Passos). Maiores detalhes acerca da constituição litológica dessas unidades e também das Unidades A, B e C podem ser encontrados no trabalho de Simões (1995). O mapa apresentado na Fig. 3.1 corresponde essencialmente ao de Simões (1995) para o segmento específico analisado, com a realização de pequenos ajustes em alguns contatos, sobretudo nos dois existentes entre as Unidades E, F e G tomando como base a interpretação de dados aerogamaespectrométricos acompanhados de confirmação em campo, juntamente com inclusão de novas medidas estruturais obtidas durante os levantamentos executados no presente trabalho.

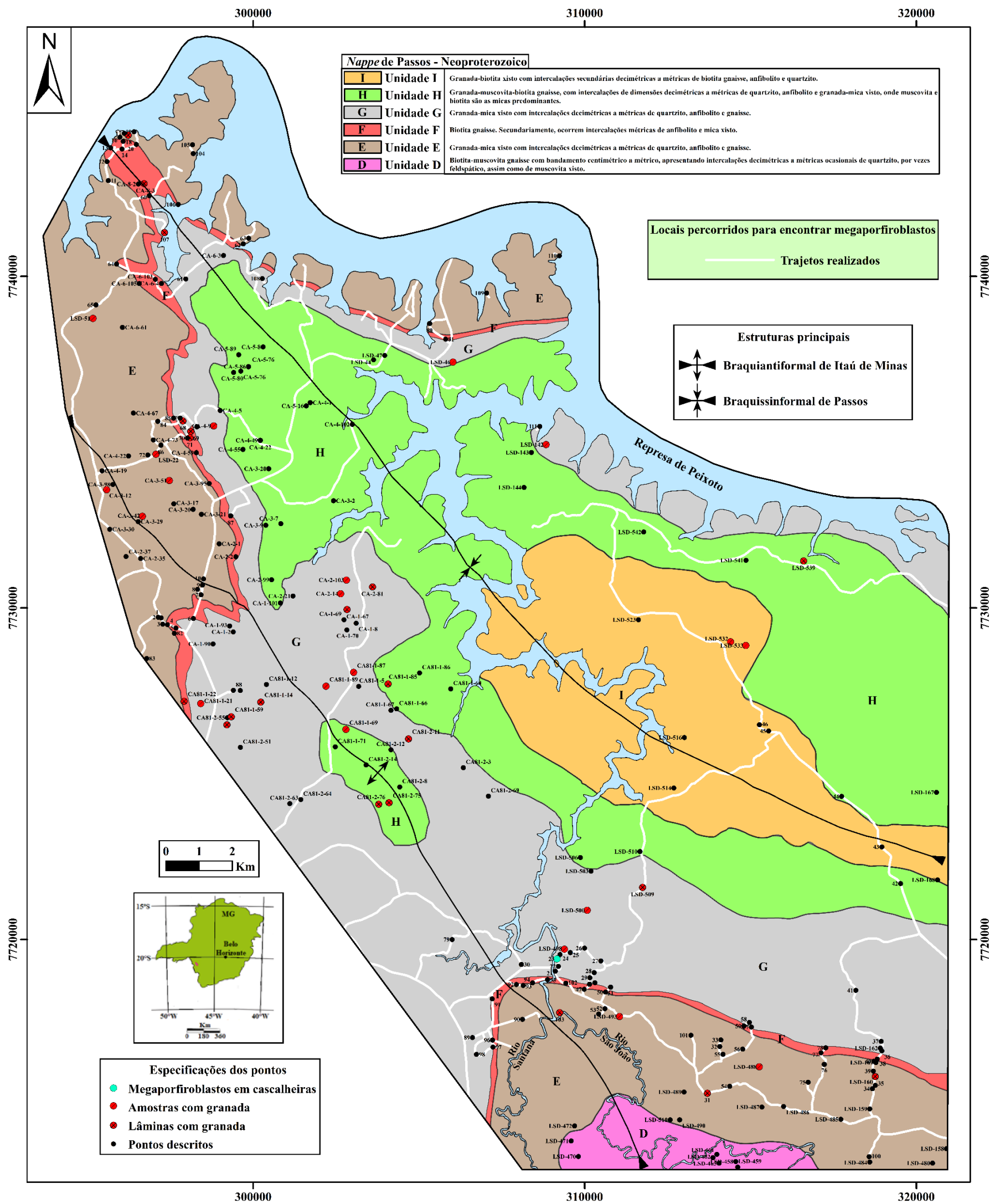


Figura 3.1: Mapa geológico da área de pesquisa. Destaca os trajetos realizados visando a busca por megaporfiroblastos de granada. Para simplificar a visualização dos pontos levantados com base nas incursões de campo, a optou-se por omitir a sigla “MRH”, deixando registrado somente o número correspondente.

Com base nas ocorrências de megaporfiroblastos de granada conhecidas em outras localidades da *Nappe* de Passos, arbitrou-se como ocorrências desses megacristais aqueles cujo diâmetro possui medida igual ou superior a 3 cm e que fossem abundantes nas rochas em que se encontram hospedados.

Na busca dos megaporfiroblastos, foram realizados diversos caminhamentos cortando os contatos das unidades litoestratigráficas, com maior detalhamento nas unidades E, F e G, pois as ocorrências já conhecidas desses minerais são registradas no topo da unidade E e base da Unidade G. Ao todo, somam vinte e três perfis cortando as unidades E, F e G e sete perfis abrangendo também as unidades H e I (ver Fig. 3.1).

Nas ocorrências de megaporfiroblastos conhecidas fora da área em questão, percebeu-se que esses minerais são facilmente identificados como cristais desagregados das rochas, ao longo dos leitos de estradas que cortam essas ocorrências. Por isso, os perfis foram realizados preferencialmente ao longo das estradas e trilhas. Adicionalmente foram investigadas áreas de cultivo ou pasto e drenagens. Também foram observadas cuidadosamente as cascalheiras de depósitos coluvionares que são frequentemente constatados em cortes de estrada.

Na área investigada, não foi observada nenhuma ocorrência de camadas ricas em megaporfiroblastos. Apenas cristais isolados constatados nos pontos MRH-17 (X: 296116; Y: 7744313) e MRH-106 (X: 297740; Y: 7742168). No primeiro ponto, foi observado apenas um cristal isolado com diâmetro de 3,2 cm (Fig. 3.2). Já no segundo, foram vistos dois cristais com diâmetros de 3,4 e 4,9 cm.



Figura 3.2: Fotografia de megaporfiroblasto de granada, destacado pela seta branca, com diâmetro de 3,2 cm hospedado em granada-muscovita xisto da Unidade E. Visada para SW. Ponto MRH-18 (X: 296234; Y: 7744262), situado no extremo noroeste da área de trabalho.

Além dessas ocorrências *in situ*, foram encontrados colúvios com megaporfiroblastos em duas localidades, uma no ponto MRH-24 (X: 309255; Y: 7719547), estando situada no setor SW da área (Fig. 3.3), próxima ao Rio São João, posicionada sobre rochas da Unidade G, e a outra, está localizada em sua porção NW, no ponto MRH-61 (X: 297963; Y: 7739923), aproximadamente 160 metros a SE da margem da Represa de Peixoto, cobrindo rochas da mesma unidade litoestratigráfica.



Figura 3.3: Cascalheira contendo porfiroblastos de granada. Os dois cristais destacados (setas) atingem 3 cm de diâmetro, todavia são minoritários em relação ao conjunto global, frequentemente entre 0,7 a 2,5 cm. Ponto MRH-24 (X: 309255; Y: 7719547). Nele, é possível constatar que a maioria dos cristais são de dimensões predominantemente subcentimétricas.

As observações de campo mostram que os porfiroblastos de granada verificados em cascalheiras e rochas pertencentes às Unidades D a I mostram diâmetros predominantemente entre 0,3 e 0,6 cm, entretanto, não são incomuns porfiroblastos em mica xistos com diâmetros alcançando valores entre 1 e 1,5 cm.

Tabela 3.1: Diâmetros mínimo, médio e máximo dos porfiroblastos de granada observados em campo, incluindo cascalheiras e afloramentos (em cm)

Unidade litoestratigráfica		Diâmetro mínimo	Diâmetro médio	Diâmetro máximo
I		0,2	0,6	0,9
H		0,1	0,3	0,8
G		0,2	0,6	4,2
F		0,1	0,4	0,6
E	Superior	0,1	0,5	4,9
	Inferior	0,1	0,3	2,8

O fato de não ter sido identificada, com base nos trabalhos de campo realizados, nenhuma ocorrência de megaporfiroblastos de granada (considerando-se os critérios de abundância e diâmetro maior ou igual a 3 cm), sugere que os referidos cristais não se formaram nessa região ou que ocorrem de forma muito localizada.

3.2 Caracterização das Grandes Dobras D₃

Como objetivo complementar, aproveitando os dados de campo juntamente com aqueles integrados a partir de trabalhos prévios, fez-se a caracterização geométrica das duas grandes dobras D₃ existentes na área visando contribuir com o aprimoramento da configuração estrutural da *Nappe* de Passos. As estruturas observadas nos afloramentos visitados são coerentes com o padrão estrutural descrito em diversos trabalhos, que consideram quatro fases de deformação (HEILBRON *et al.*, 1987; VALERIANO, 1992; SIMÕES, 1995; LUVIZOTTO, 2003), conforme apresentado no item 2.2.

A distribuição espacial das seis unidades litoestratigráficas, de D até I, mostra uma configuração complexa, principalmente, em função de duas grandes estruturas, a Braquissinformal de Passos (BSP) e a Braquiantiformal de Itaú de Minas (BAI), sendo apresentadas na Fig. 3.4. Ambas são identificadas pelo desenho dos contatos litoestratigráficos e pelas medidas do bandamento composicional, interpretado como estratificação primária (S₀), assim como da foliação principal (S₂).

A Unidade D, que é a mais basal do segmento estratigráfico abordado, ocorre apenas no extremo sul da área, no núcleo da BAI, onde o eixo da dobra apresenta caimento para NW. As Unidades E, F, G e H se sobrepõem a ela, desenhando a antiforma localizada nesse segmento específico. Na porção NW da BAI, a Unidade E ocorre no núcleo da estrutura, devido à inversão do caimento do eixo, que nesse local se dá para SE. A ocorrência da unidade G, entre as duas zonas periclinais da BAI descritas acima, é interpretada como uma pequena feição de sela dessa estrutura. Em sua extensão para o norte da área, a Unidade E desenha o fechamento NW da BSP. As Unidades F, G, H e I ocorrem em sequência, reproduzindo o desenho dessa dobra, que mostra caimento para sudeste. O caráter braquissinformal dessa estrutura é percebido em seu fechamento SE, fora desse setor da área de estudo, onde o eixo possui caimento para NW.

Além do desenho dos contatos litoestratigráficos, as medidas de S₂ também evidenciam essas dobras. Essa foliação é plano axial de dobras, apertadas a isoclinais, frequentemente observadas em todas as unidades da *nappe*, exibindo eixos de direção NW com caimentos suaves. As observações de afloramentos e seções delgadas mostram que nas zonas de charneira dessas dobras D₂, se observa, de modo paralelo ao bandamento composicional dobrado, uma foliação definida por minerais metamórficos, interpretada como sendo da fase de deformação mais antiga (D₁). Por isso, essa superfície, no presente trabalho, é denominada de S₁//S₀, que se apresenta, na maioria dos afloramentos, paralela ou subparalela à foliação principal (S₂).

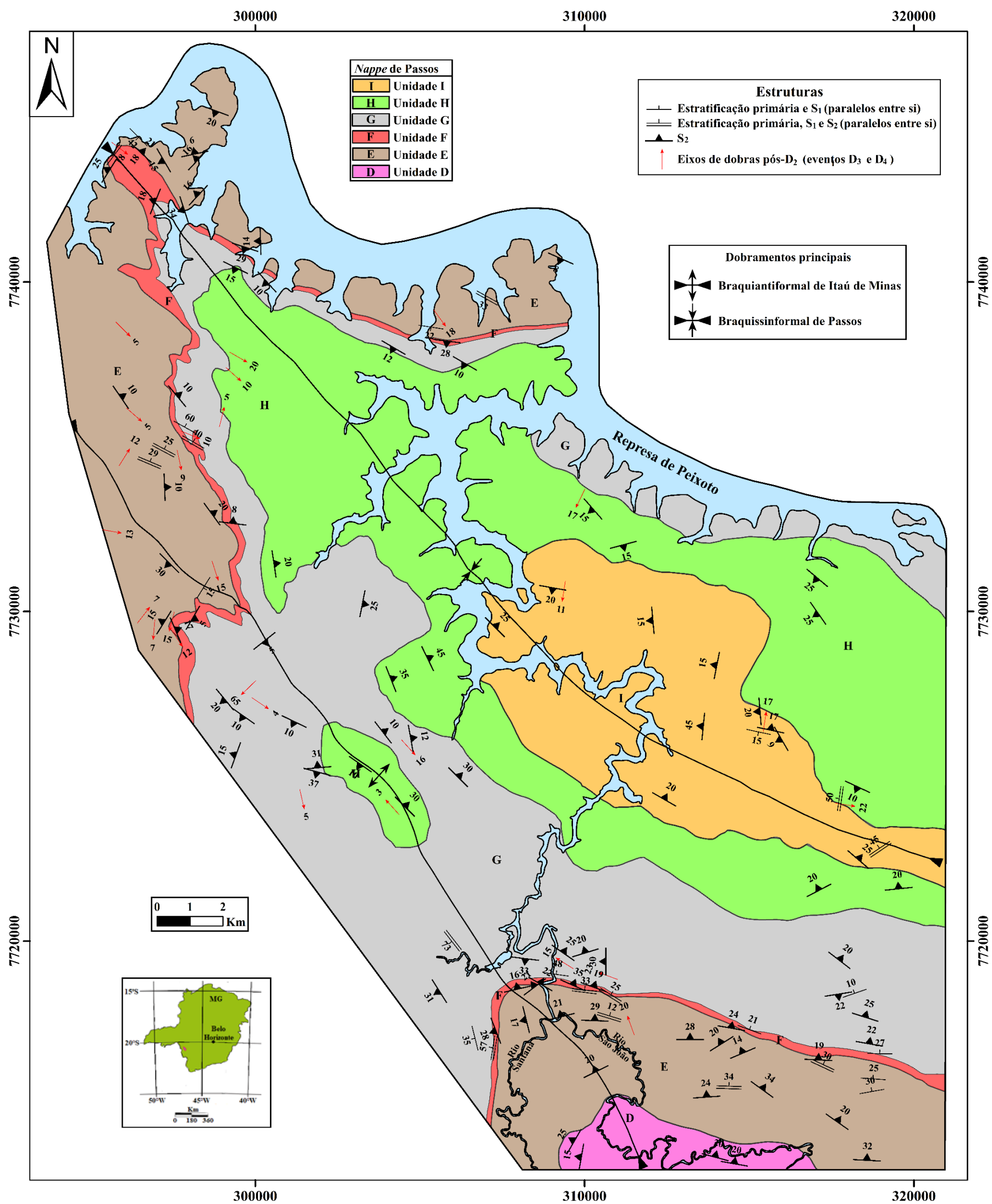


Figura 3.4: Mapa geológico do polígono de trabalho contendo a distribuição espacial das seis unidades litoestratigráficas da *Nappe* de Passos e as duas megadobras de fase D_3 verificadas em área. Também estão plotadas as estruturas medidas, assim como as integradas ao presente trabalho.

Como dobram a foliação principal (S_2) e com base nas orientações de eixos e planos axiais, as duas megadobras aqui descritas são consideradas como referentes à fase D_3 , que é registrada em dobras de âmbito local e/ou regional (HEILBRON *et al.* 1987; VALERIANO, 1992; SIMÕES, 1995; LUVIZOTTO, 2003; VALERIANO *et al.* 2003, 2007). Para a análise dessas estruturas, foram estabelecidos três domínios (Fig. 3.5), tomando-se como referencial as duas grandes dobras verificadas no polígono de pesquisa: a Braquissinormal de Passos e a Braquiantiformal de Itaú de Minas.

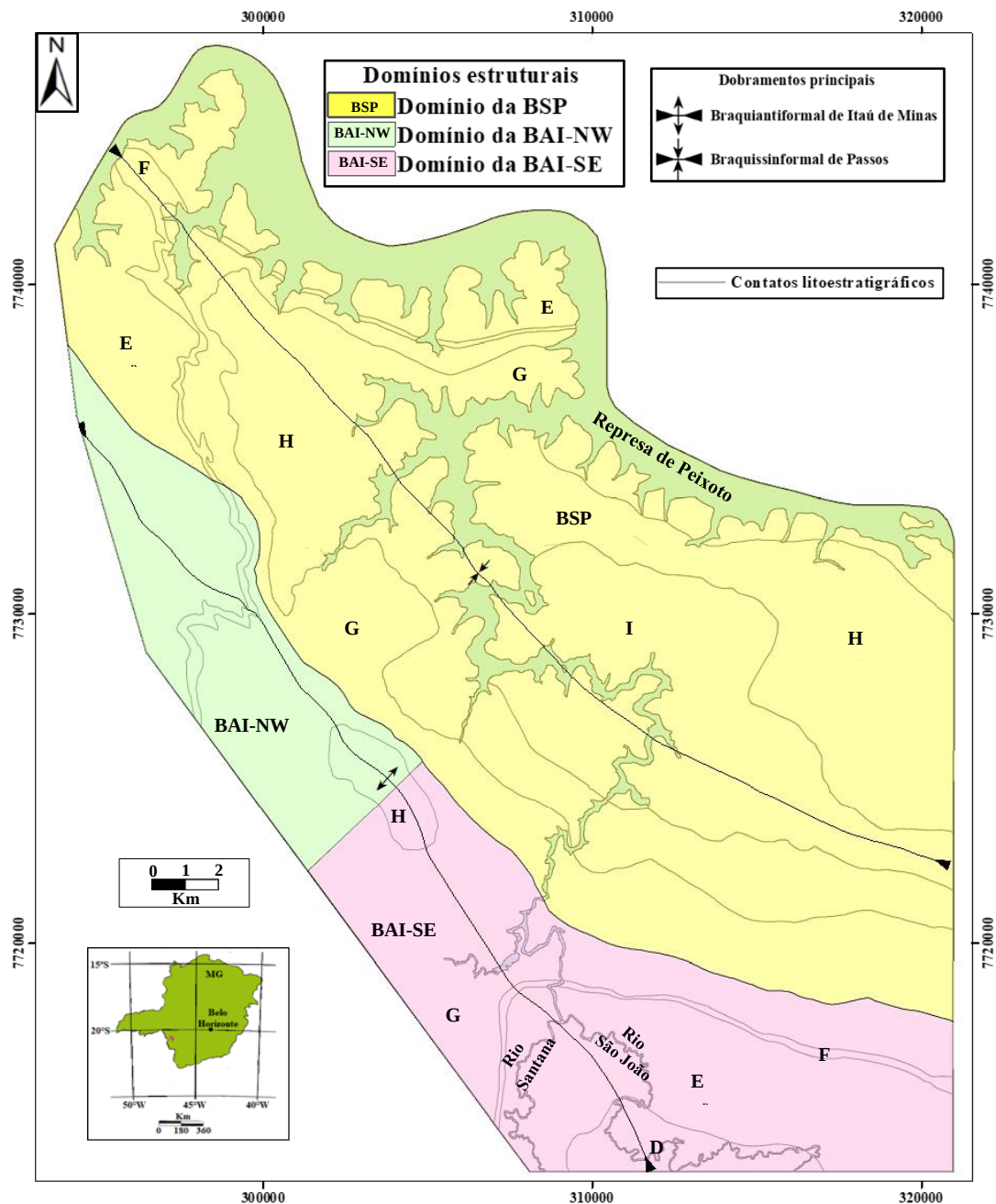


Figura 3.5: Distribuição espacial dos três domínios tectônicos em que o polígono de pesquisa foi compartimentado na realização da análise estrutural. Tratam-se dos domínios da BSP, BAI-NW e BAI-SE.

O primeiro domínio (BSP) corresponde à Braquissinformal de Passos. Ao analisar o contexto geológico regional (Fig. 2.1), percebe-se que se trata da porção ocidental da referida estrutura. Com relação à Braquiantiformal de Itaú de Minas, foram considerados dois domínios em função do caimento do eixo da estrutura a noroeste e sudeste da referida dobra, sendo designados pelas siglas BAI-NW e BAI-SE, respectivamente. Quando houver referência textual à Braquiantiformal de Itaú de Minas como um todo, ela será designada por BAI. A geometria da foliação S_2 pode ser bem evidenciada quando analisadas as medidas nos mapas da Fig. 3.4, juntamente com as projeções estereográficas apresentadas nas Figs. 3.6 a 3.8.

Na porção nordeste da área, dentro do Domínio BSP, S_2 apresenta mergulhos predominantemente de baixo ângulo para sudoeste (7° a 25°). Na porção central da área, ainda no Domínio BSP, S_2 passa a mergulhar para nordeste, definindo a estrutura sinformal, retornado a mergulhos para sudoeste, caracterizando a estrutura antiformal. A distribuição dos polos de S_2 para esse domínio (Fig. 3.6), em estereograma, define um padrão em guirlanda de círculo máximo (Fig. 3.6A), a partir da qual pode-se determinar que o eixo apresenta atitude 139/02. As atitudes preferenciais dos flancos são 233/19, para o flanco nordeste (Fig. 3.6B), e 57/22 para o sudoeste (Fig. 3.6C). As atitudes mais representativas de S_2 para cada flanco permite caracterizar a referida dobra como suave, com ângulo interflancos de 138° .

No Domínio BAI-NW, na porção noroeste da referida estrutura antiformal, os eixos de dobras parasíticas apresentam caimento de baixo ângulo para sudeste, predominantemente entre 5° a 22° , enquanto que no Domínio BAI-SE, o eixo apresenta caimento para o quadrante oposto, com ângulos situados no intervalo entre 19° a 33° . Para os dois domínios, também foram registrados mergulhos de S_2 destoantes das faixas de valores apresentadas acima dos 33° , sobretudo em relação ao limite superior (Figs. 3.7 e 3.8), todavia, possuem caráter pontual. No Domínio BAI-NW também é verificado que os polos de S_2 definem guirlanda de círculo máximo (Fig. 3.7), indicando que a dobra tem eixo com atitude 146/02 (Fig. 3.7A), flancos 59/11 (Fig. 3.7B) e 237/16 (Fig. 3.7C). O ângulo interflancos medido para as porções mais distantes da charneira foi de 132° , caracterizando uma dobra do tipo suave.

No domínio BAI-SE repete-se o padrão em guirlanda de círculo máximo (Fig. 3.8), com atitude representativa do eixo de 329/19 (Fig. 3.8A) e flancos de 54/18 (Fig. 3.8B) e 224/26 (Fig. 3.8C). O ângulo mais distante da região sob influência da zona de charneira é de 121° . Percebe-se que os ângulos interflancos determinados para os dois domínios referentes à BAI são menores em relação àquele observado para o domínio BSP.

Como correspondem a dobras de fase D_3 , que também é responsável pelo desenvolvimento da Falha de Cássia, cuja ocorrência encontra-se situada de modo adjacente ao limite SW da área estudada (fora da área – ver Fig. 2.3B), é esperado que as dobras mais próximas à zona de falha sejam mais apertadas.

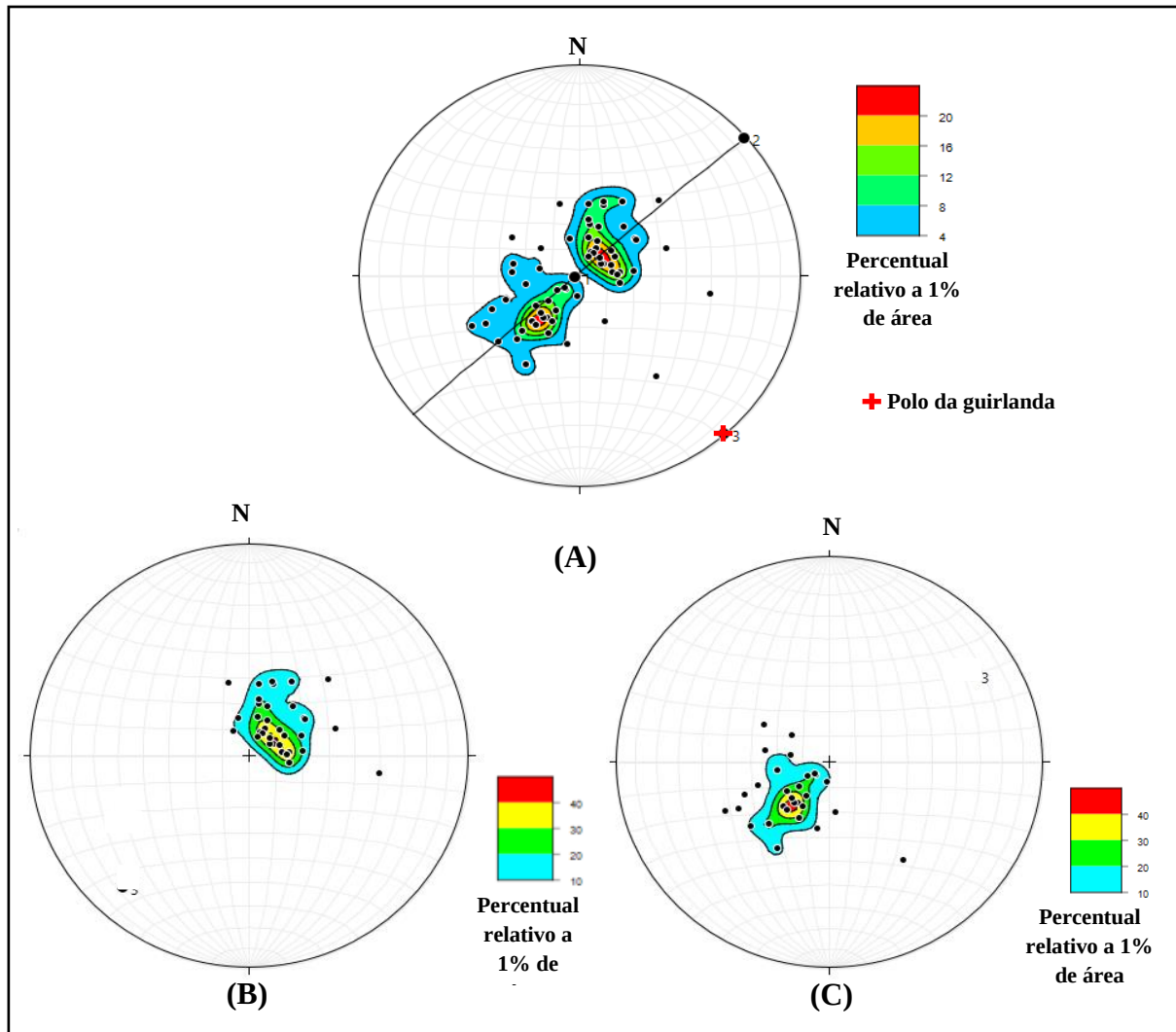


Figura 3.6: Estereogramas mostrando a distribuição dos polos de S_2 no Domínio BSP. (A) - Todas as medidas para esse domínio. O polo da guirlanda vista apresenta valor de 139/2. (B) - Flanco nordeste, com atitude representativa de S_2 de 233/19. (C) - Flanco sudoeste, cujo valor é de 57/22. (Projeção de Schmidt-Lambert, hemisfério inferior, número de medições = 73, 35 e 33, respectivamente).

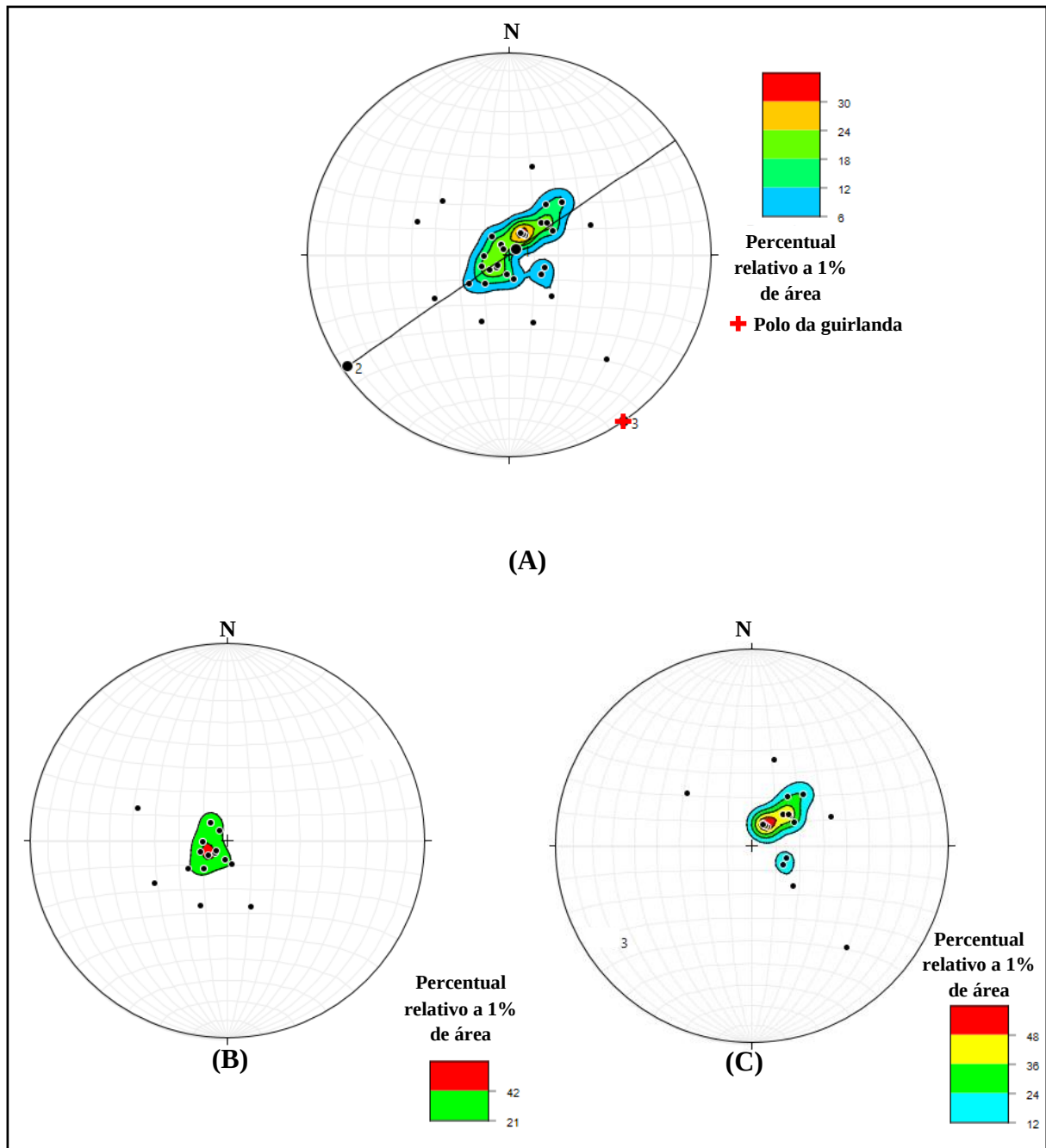


Figura 3.7: Estereogramas apresentando a distribuição dos polos de S₂ no domínio da BAI-NW. Em **(A)** - Todas as medidas deste domínio. O eixo da dobra pós-D₂ possui atitude de 146/2, sendo evidenciado pelo polo da guirlanda formada. **(B)** e **(C)** - Têm-se, respectivamente, os flancos nordeste e sudoeste, cujo valores representativos de atitude são de 59/11 e 237/16. (Projeção de Schmidt-Lambert, hemisfério inferior, número de medições = 33, 15 e 16, respectivamente).

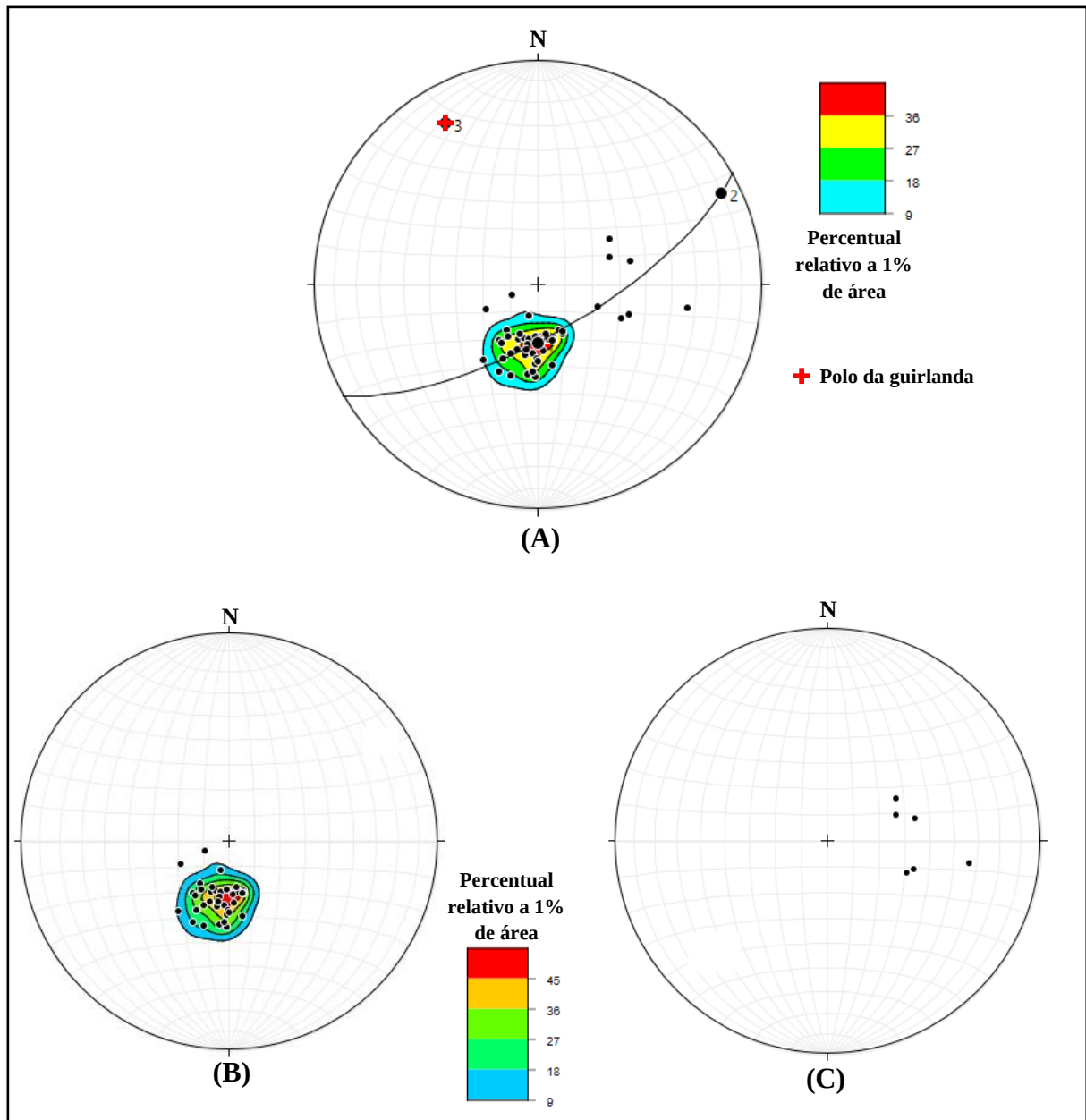


Figura 3.8: Estereogramas exibindo a distribuição dos polos de S_2 no Domínio BAI-SE. **(A)** – Todos os polos da foliação principal nesse domínio. O polo da guirlanda formada, cuja atitude é de 325/17, representa o eixo da dobra pós- D_2 . **(B)** e **(C)** – Respectivamente, os flancos nordeste e sudoeste da estrutura dobrada pós- D_2 presente neste domínio. Com base nesses dois estereogramas, denota-se que a atitude representativa de S_2 é de 54/18 no flanco nordeste e 224/26 no flanco sudoeste. (Projeção de Schmidt-Lambert, hemisfério inferior, número de medições = 41, 32 e 6, respectivamente).

Além das grandes dobras descritas acima, foram observadas, em alguns afloramentos, dobras e crenulações que afetam a foliação principal (S_2) das rochas da *Nappe* de Passos sendo, por isso, designadas no presente trabalho como pós- D_2 . Não foi verificada a presença de foliação plano axial, mas somente de dobras abertas a suaves, com plano axial subvertical.

O conjunto de dados sugere a existência de duas fases pós-D₂. Ambas apresentam deformação heterogênea, com significativa variação de frequência dessas estruturas de um setor para outro.

Na Fig. 3.9 são apresentados os eixos de dobras pós-D₂ evidenciados na área de trabalho (Fig. 3.9A), assim como seus respectivos planos axiais (Fig. 3.9B). A representação dos eixos de dobras pós-D₂ permite constatar a ocorrência de duas direções preferenciais com predomínio de caimento em baixo ângulo, sendo uma para NW e a outra para NNE. A família NW tem caimento predominante para SE, com atitude de 143/14 e minoritariamente para NW, com atitude de 307/4 (Fig. 3.9A).

A segunda família mostra valores máximos registrados em 17/2 e 188/8. As duas medidas com caimento em alto ângulo (60°) para o quadrante SW, outras duas em baixo ângulo para SEE (não ultrapassando os 13°) e uma localizada no quadrante NW provavelmente são da mesma geração, pois se ajustam à direção NNE.

Ocorrem outras medidas com baixo caimento para SSE e NNW que por apresentarem posição intermediária em relação às duas famílias, suas relações genéticas ficam duvidosas.

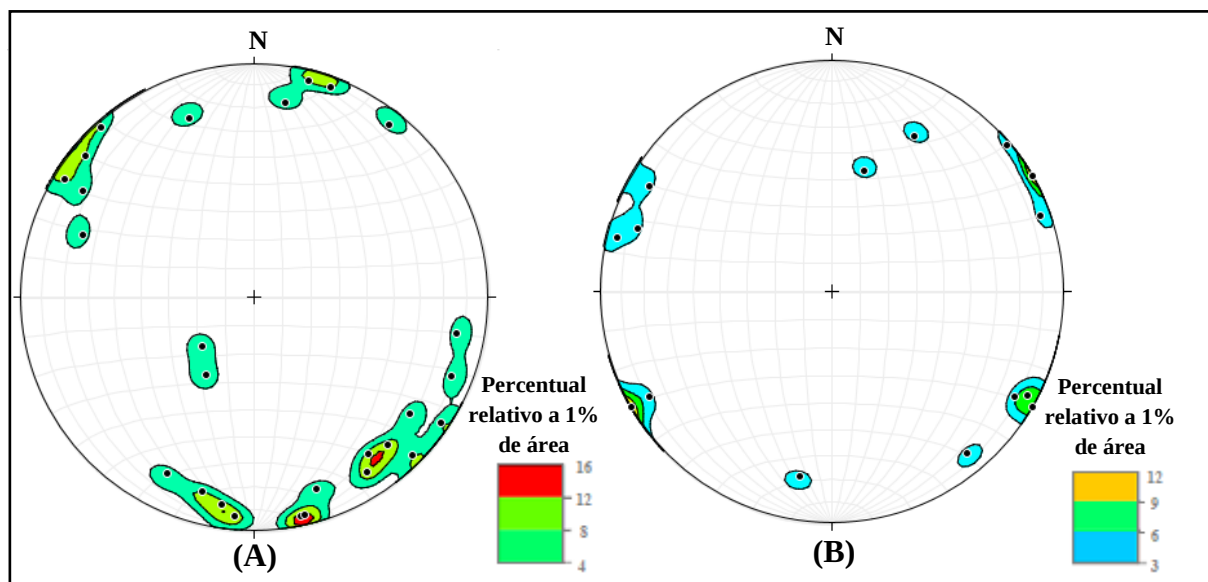


Figura 3.9: Estereogramas mostrando o padrão de distribuição de elementos de dobras pós-D₂ verificados ao longo da área. **A** - Eixo de dobras. Sugerem duas famílias com atitudes preferenciais 311/09 e 23/06, correspondendo às fases D₃ e D₄, respectivamente. (Projeção de Schmidt-Lambert, hemisfério inferior, n = 27); **(B)** - Polos dos planos axiais de dobras pós-D₂. (Projeção de Schmidt-Lambert, hemisfério inferior, número de medições = 27 e 15, respectivamente).

Embora não tenha sido observada relação de superposição das duas famílias de dobras, elas são interpretadas como D_3 (eixo NW) e D_4 (eixo NE) com base na correlação geométrica com as fases de deformação descritas por outros autores (HEILBRON *et al.*, 1987, VALERIANO, 1992; SIMÕES, 1995), sendo que a fase D_3 correspondente às dobras parasíticas das estruturas maiores observadas na área (BSP e BAI).

CAPÍTULO 4 - MEGAPORFIROBLASTOS NA NAPPE DE PASSOS

O estudo de porfiroblastos é de grande valia para o entendimento da evolução tectonometamórfica de cinturões orogênicos, tendo em vista que possibilitam o registro, sob a forma de inclusões passivas, de informações referentes às condições físico-químicas e estruturais da matriz da rocha durante o seu crescimento. Após cessar o crescimento do porfiroblasto, a matriz pode sofrer modificações decorrentes de eventos deformacionais que tendem a obliterar total ou parcialmente as estruturas preexistentes (ZWART, 1962; JOHNSON, 1999; PASSCHIER & TROUW, 2005). Por isso, o estudo dos padrões de inclusões e químicos de porfiroblastos revela-se como uma importante ferramenta para o entendimento da evolução tectonometamórfica de cinturões orogênicos (TROUW *et al.*, 2008; ROBYR *et al.*, 2009; CADDICK *et al.*, 2010; SCHMIDT *et al.*, 2015; DEMPSTER *et al.*, 2017).

Nas rochas metapelíticas da *Nappe* de Passos, porfiroblastos de granada são observados com grande frequência, sendo que, em ampla maioria, são de dimensões milimétricas (1 a 7 mm), identificados desde o topo da Unidade D até a Unidade I (SIMÕES & GIRARDI, 1995; LUVIZOTTO, 2003). Todavia, esporadicamente, ocorrem camadas de cianita-granadamuscovita xisto com porfiroblastos de diâmetros iguais ou superiores a 3 cm, denominados neste trabalho de “*megaporfiroblastos*”. Nesse segmento da Faixa Brasília, porfiroblastos exageradamente grandes em relação à matriz são descritos por Luvizotto (2003) e Luvizotto *et al.* (2015) para o topo da Unidade E e base da Unidade G, respectivamente. Para a primeira unidade, Luvizotto *et al.* (2015) constata a existência de cristais com diâmetros alcançando cerca de 7,5 cm. Já para a segunda, o valor relatado por Luvizotto (2003) é de aproximadamente 6 cm. Sob a forma de cascalheiras, com base nos trabalhos de campo realizados no presente trabalho, há o registro de granada com diâmetro de até aproximadamente 8 cm.

Neste capítulo, é apresentada a caracterização cinemático-textural e química de megaporfiroblastos da *Nappe* de Passos, fazendo-se a comparação, segundo esses parâmetros de análise, com os porfiroblastos de tamanho comum, de modo a avaliar seus significados no contexto de evolução tectonometamórfica da *nappe*.

4.1 Métodos para o Estudo dos Megaporfiroblastos

O trabalho envolveu levantamento de campo, para reconhecimento das ocorrências de megaporfiroblastos e seleção de afloramentos para estudo detalhado, petrografia para identificação das microestruturas dos porfiroblastos de granada e análise de microsonda visando determinar possíveis zonações químicas nesses porfiroblastos.

4.1.1 Trabalhos de Campo

Das seis ocorrências conhecidas de megaporfiroblastos na *Nappe* de Passos (Fig. 4.1), selecionou-se para o presente estudo aquela referente ao ponto MR-1 (X: 337799; Y: 7705693), situado no Km 3,3 da Estrada das Areias, área rural do município de Passos (MG), pois apresenta boas exposições e é menos afetada por alteração intempérica. Trata-se de uma crista formada por blocos e afloramentos alinhados de biotita-cianita-granada-quartzo-muscovita xisto da Unidade E que se estende por cerca de 270 metros, na direção NW. Foram realizadas medidas das estruturas e coletadas quatro amostras orientadas, com dimensões máximas de 60 x 30 x 20 cm. Além dessas amostras, foram coletados trinta e cinco megaporfiroblastos de granada, isolados, sendo dezesseis orientados. Esse material foi utilizado para estudos petrográficos, sendo realizados vários cortes, preferencialmente nas posições XZ e YZ, com base na trama de tectonito SL que a rocha apresenta. A partir desse afloramento, fez-se um mapa local que permitiu identificar a continuidade da ocorrência para SE e localizar uma segunda ocorrência, posicionada estratigraficamente acima, mais próxima ao contato com a base da Unidade F. Também foram selecionadas amostras de granada-muscovita xistos desta e de outras localidades (Fig. 4.1) com porfiroblastos de granada apresentando dimensões comumente encontradas ao longo da *Nappe* de Passos (em geral, menor que 1 cm), que também foram analisadas em cortes XZ e YZ.

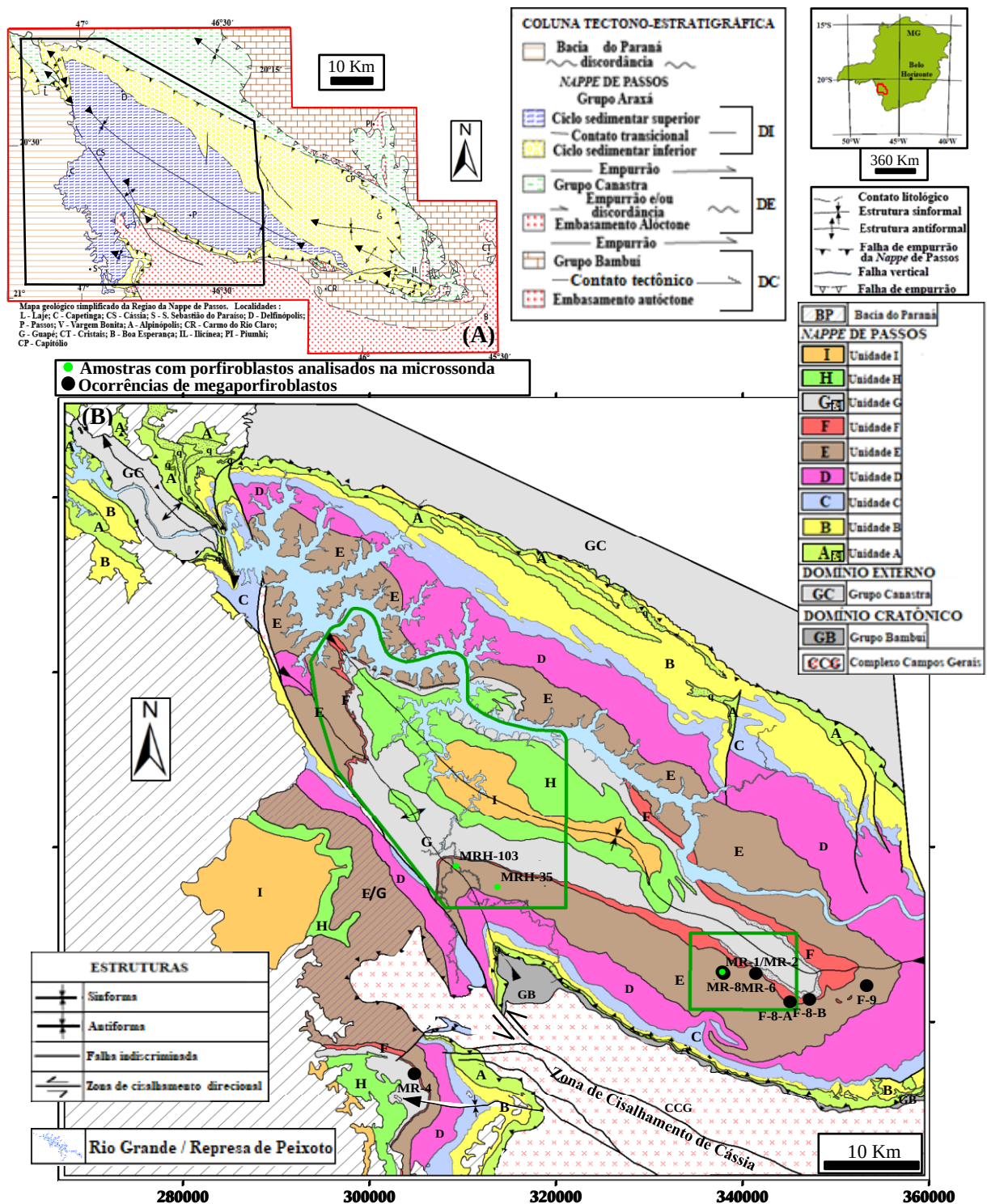


Figura 4.1: Mapa geológicos relativos à *Nappe de Passos*. (A) - Mapa mostrando os principais compartimentos tectônicos da região segundo Simões (1995), onde o polígono preto indica a área representada no mapa inferior. Em sua coluna tectono-estratigráfica, os Domínios Interno, Externo e Cratônico foram simplificados como DI, DE e DC, respectivamente. (B) - Mapa geológico da porção oriental da *Nappe de Passos*, mostrando a localização das amostras estudadas e das ocorrências de megaporfiroblastos conhecidas. O retângulo na porção SE indica a área mostrada na Fig. 4.2, que inclui a ocorrência de megaporfiroblastos estudada (MR-1). Informações integradas de Simões (1995), Luvizotto (2003), Simões *et al.* (2006), Valeriano *et al.* (2007), Zanardo *et al.* (2008) e Luvizotto *et al.* (2015).

4.1.2 Avaliação Textural dos Porfiroblastos

Foram confeccionadas dezessete lâminas de megaporfiroblastos das amostras coletadas no ponto MR-1 (Fig. 4.2). Com base na foliação principal e lineação mineral associada, quatro delas foram produzidas em cortes XZ e as outras treze na seção YZ. Também foram analisadas duas amostras polidas do ponto supramencionado, sendo uma seccionada segundo o plano XZ (corte de aproximadamente 15 x 30 cm) e a outra em YZ (corte de cerca de 15 x 20 cm). Para o estudo dos porfiroblastos de tamanho comum foram analisadas dezesseis seções delgadas referentes às Unidades E, F, G e H, também cortadas em XZ (quatro lâminas) e YZ (doze). Para cada lâmina, foram identificados os padrões de inclusões em, ao menos, um cristal para cada uma, sendo registrados em fotografias e desenhos.

Foram realizados estudos quantitativos de inclusões em quatro megaporfiroblastos de granada (lâminas MR-1-N, MR-1-P, MR-2-N e MR-2-P) considerando tamanho, frequência e fase mineral. Para medir os diâmetros das inclusões, foi utilizado o programa *ImageJ*, desenvolvido pela *NIH (National Institutes of Health)*. A área dos megaporfiroblastos vista em lâminas foi dividida em três segmentos (núcleo, intermediário e borda) expressos como contornos concêntricos, seguindo aproximadamente a forma dos cristais, permitindo a quantificação do tamanho das inclusões separadamente para cada um dos segmentos (ver Fig. 4.9 a 4.12).

4.1.3 Química dos Porfiroblastos

Foram realizados quinze perfis borda-a-borda em cristais de granada, passando por suas respectivas porções de núcleo (ver exemplo na Fig. 4.11), sendo sete em megaporfiroblastos do ponto MR-1 e oito em porfiroblastos de tamanho comum de amostras de outras localidades, todas pertencentes à Unidade E. Foi utilizada microsonda eletrônica da marca *JEOL*, modelo *JXA-8230*, do Laboratório de Microsonda do Departamento de Petrologia e Metalogenia (DPM) da Universidade Estadual Paulista (UNESP). As condições de análise foram: diferença de potencial de 15 kV, corrente de 20 nA, diâmetro do feixe de 10 µm e tempo de contagem de 10 a 20 segundos nos picos e 5 a 10 segundos nas posições de *background*.

4.2 Resultados

A amostragem dos megaporfiroblastos foi realizada no segmento sudeste da *Nappe* de Passos (Fig. 4.2), em cinco pontos; MR-1; MR-6 (X: 341390, Y: 7705450), MR-8 (X: 337971; Y: 7705503), MR-12 (X: 338732; Y: 7705074), MR-20 (X: 340497; Y: 7703906) e F-8-A (X: 7702241; Y: 7702241). Nesses pontos, são encontrados cristais *in situ*, nos xistos hospedeiros, ocorrendo sob a forma de camadas, sendo que as amostras menos intemperizadas foram obtidas no ponto MR-1. Em outros cinco pontos, os megaporfiroblastos se apresentam em caráter abundante, porém sob a forma de cascalheiras.

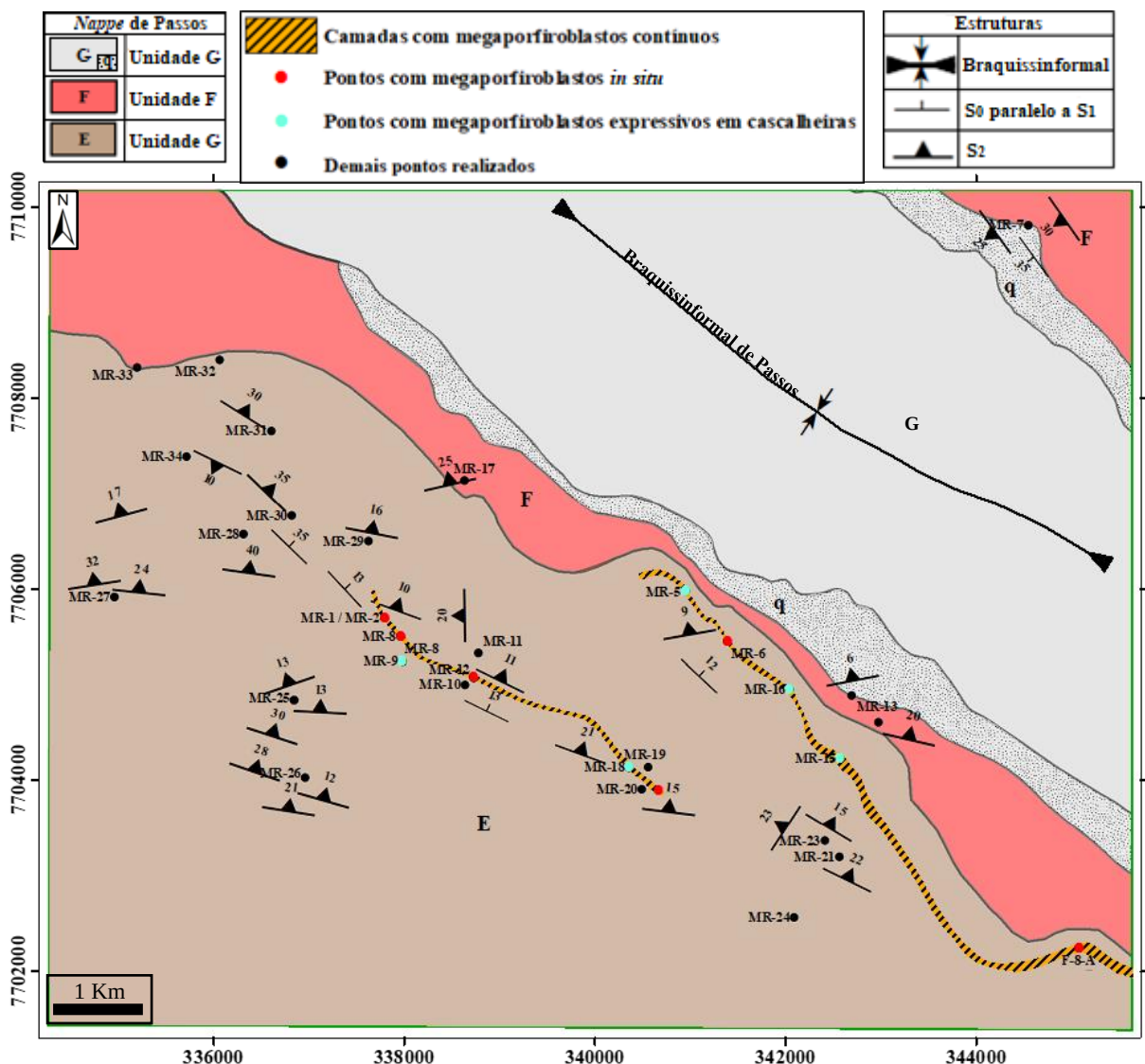


Figura 4.2: Mapa simplificado de segmento da porção sudeste da *Nappe* de Passos indicando as camadas contendo megaporfiroblastos nos arredores do ponto MR-1. O ponto MR-6 (X: 341390; Y: 7705450), corresponde a cianita-granada-quartzo-muscovita xisto com biotita em corte artificial destinado para silo. A localização do mapa na *Nappe* de Passos está indicada na Fig. 4.1 e o conteúdo litológico das unidades são apresentados no Cap. 2 – item 2.2 e Fig. 2.2.

O afloramento do ponto MR-1 é uma pequena crista de direção NW, localizada 7,3 Km a sudeste da sede do município de Passos (MG), que possui cerca de 270 metros de comprimento, com largura variando de 10 a 15 metros (Fig. 4.3). Em termos estratigráficos, encontra-se na Unidade E, a cerca de 340 metros em relação à base da Unidade F. O bandamento composicional (S_0) e a foliação S_1 são paralelos entre si, apresentando atitude preferencial de 047/13. A foliação principal (S_2) ocorre em baixo ângulo com S_0/S_1 , com atitude preferencial 020/10.



Figura 4.3: Crista de blocos e afloramentos de cianita-granada-muscovita xisto com rutilo e ilmenita e, por vezes, biotita e estauroлита, com megaporfiroblastos de granada. Estratigraficamente, ela situa-se porção superior da Unidade E. Ponto MR-1. Visada para NW.

A crista é formada por blocos e afloramentos alinhados de biotita-cianita-granada-quartzo-muscovita xisto com rutilo e ilmenita (ambos inferiores a 5% da composição total) e,

por vezes, pequenas quantidades de biotita e estauroilita (2 a 10%). Megaporfiroblastos de granada (3 a 6 cm de diâmetro maior) são abundantes, com alguns deles atingindo a ordem dos 7,5 cm. Além de granada, foi constatada a presença de quartzo, cianita, muscovita, biotita, estauroilita, rutilo e ilmenita. Os megaporfiroblastos de granada sempre exibem inclusões, principalmente de rutilo, quartzo e ilmenita, e minoritariamente de cianita, muscovita, biotita e estauroilita (Tab. 4.1).

A Tab. 4.1, o valor apresentado para granada (13%), por se tratar de megaporfiroblastos, foi extraído com base na média aritmética simples dos percentuais estimados desses minerais para as duas amostras polidas analisadas no presente estudo, sendo seccionadas segundo os cortes XZ (11%) e YZ (15%). Ver Fig. 4.18.

Tabela 4.1: Percentual de minerais da matriz e inclusos nos megaporfiroblastos de granada. Abreviação de minerais segundo Kretz (1983)

Lâmina	Inclusão (I) ou Matriz (M)	Ms	Qtz	Grt	Ky	St	Bt	Rt	Ilm
MR-1	M	40%	26%	13%	10%	5%	3%	2%	1%
	I	Raro	Mod.	-	Raro	Raro	Raro	Pouco	Pouco
MR-1-C	M	44%	23%	13%	14%	2%	2%	1%	1%
	I	Raro	Muito	-	Raro	-	Raro	Pouco	Mod.
MR-1-E	M	50%	21%	13%	10%	2%	2%	1%	1%
	I	Raro	Mod.	-	Raro	Raro	Raro	Pouco	Pouco
MR-1-G ₂	M	43%	30%	13%	8%	-	4%	1%	1%
	I	-	Muito	-	-	-	Raro	Mod.	Pouco
MR-1-N	M	47%	24%	13%	13%	-	-	2%	1%
	I	-	Muito	-	Mod.	-	-	Mod.	Pouco
MR-1-P	M	42%	32%	13%	11%	-	-	1%	1%
	I	-	Muito	-	Raro	-	-	Pouco	Raro
MR-2-N	M	46%	23%	13%	15%	-	-	2%	1%
	I	-	Muito	-	-	-	-	Pouco	Raro
MR-2-P	M	41%	32%	13%	11%	-	-	2%	1%
	I	-	Mod.	-	-	-	-	Mod.	Raro
MR-1-B	I	Raro	Muito	-	-	-	Raro	Pouco	Pouco
MR-1-F	I	-	Muito	-	-	-	-	Pouco	Pouco
MR-1-G ₁	I	Raro	Muito	-	-	-	Raro	Mod.	Pouco
MR-1-G ₃	I	Raro	Muito	-	-	-	Raro	Mod.	Pouco
MR-1-G ₄	I	Raro	Muito	-	-	-	Raro	Pouco	Pouco
MR-1-G ₅	I	Raro	Muito	-	-	-	Pouco	Mod.	Pouco
MR-1-G ₉ -SP ₁	I	Raro	Muito	-	-	-	Raro	Pouco	-
MR-1-G ₁₀	I	Raro	Muito	-	-	-	Raro	Pouco	Pouco

Obs.: Moderado encontra-se abreviado como “Mod.”.

O levantamento de campo realizado para avaliar essa ocorrência de megaporfiroblastos permitiu identificar que ela apresenta comportamento de camada seguindo a orientação do bandamento composicional (S_0), interpretado como estratificação primária dos metassedimentos, também indicado pelo contato das unidades litoestratigráficas. Adicionalmente, se identificou uma segunda ocorrência, também em forma de estrato, no ponto MR-6 (Fig. 4.2), próximo ao contato basal da unidade F. Assim, os dados de campo indicam que os megaporfiroblastos nessa área estão associados a dois níveis estratigráficos distintos, ambos situados na porção superior da unidade E. O exame detalhado dos afloramentos indica o mesmo padrão nas duas ocorrências.

A melhor exposição da distribuição dos megaporfiroblastos em rocha foi encontrada no ponto MR-6, que é um corte artificial destinado para silo (Fig. 4.4). Embora a alteração intempélica seja forte, como indicado pela limonitização parcial dos porfiroblastos de granada, as feições texturais estão bem preservadas. O silo possui 12 metros de comprimento por 3,5 metros de largura, apresentando altura máxima de 3,2 metros.

A rocha corresponde a um cianita-granada-quartzo-muscovita xisto com ilmenita e rutilo e, por vezes, com biotita, exibindo bandamento composicional marcado pela variação da proporção dos minerais, principalmente quartzo, chegando a formar algumas camadas de quartzo xisto. Paralela ao bandamento observa-se uma foliação (S_1) marcada principalmente por cristais de muscovita e rutilo com atitude 043/12. A foliação principal (S_2) é uma clivagem de crenulação apertada, passando a xistosidade, associada a forte recristalização, exibindo atitude 350/9. Foi possível reconhecer onze camadas (Fig. 4.4), com espessuras variando de 6 a 80 cm de espessura, sendo que as camadas 3, 5 e 10 (com espessuras de 19, 40 e 70 cm, respectivamente) apresentam megaporfiroblastos. Juntamente com esses megacristais também ocorrem porfiroblastos de tamanhos menores (Fig. 4.5).

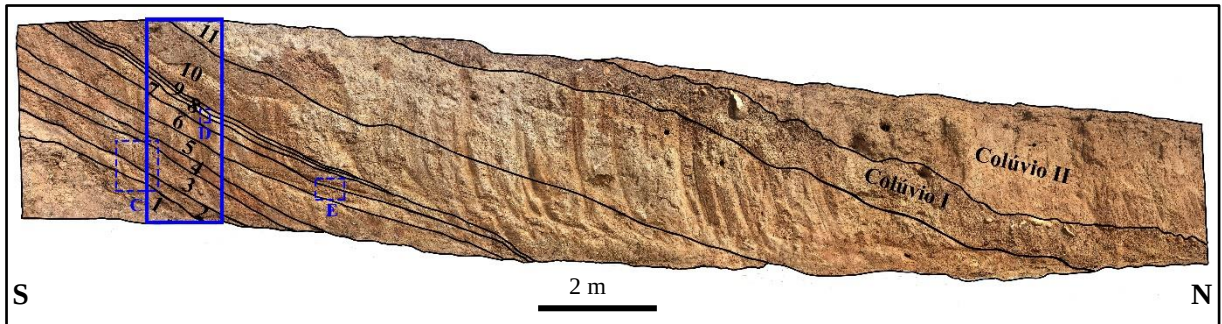


Figura 4.4: Parede lateral em afloramento de corte artificial (silo) mostrando as onze camadas identificadas (traços em preto) além das coberturas coluvionares. O retângulo em azul-escuro contínuo representa a localização da seção colunar, apresentada na Fig. 4.5. Já os descontínuos indicam a posição de três fotografias de detalhamento de camadas, também mostradas na mesma figura.

As 11 camadas identificadas se diferenciam no tamanho dos porfiroblastos de granada e na proporção dos minerais constituintes da rocha, principalmente granada, quartzo e muscovita. Dessa forma, camadas ricas em megaporfiroblastos (por exemplo, as camadas 3 e 5, Fig. 4.5 C), ocorrem ao lado de camadas com porfiroblastos de granada pequenos (por exemplo, as camadas 4 e 6) e são evidentes as variações litológicas caracterizadas pela intercalação de termos mais quartzosos nos granada xistos (fotografias D e E).

A porcentagem de granada varia de 5 a 35% da rocha, sendo que as camadas com megaporfiroblastos apresentam porcentagens de 15 a 35%. Entretanto, algumas camadas que não possuem megaporfiroblastos alcançam 30% de granada. O estudo desse afloramento, juntamente com o ponto MR-1, mostra que os megaporfiroblastos ocorrem em camadas centimétricas a decimétricas intercaladas em xistos de composições semelhantes, porém com porfiroblastos de granada de tamanho comum. A composição mineralógica das camadas é relativamente monótona, sendo a diferença entre uma camada e outra determinada pela variação na proporção dos constituintes principais. Observa-se que as camadas com megaporfiroblastos tendem a apresentar grande abundância de cianita (em torno de 10 a 25%), sugerindo que a formação destes cristais grandes esteja controlada por composições muito aluminosas.

O afloramento descrito no ponto MR-6 permite constatar três importantes evidências: (1) os megaporfiroblastos seguem a estratificação primária (S_0); (2) como a foliação principal (S_2) está em ângulo com S_0 , pode-se descartar que o desenvolvimento dos megaporfiroblastos tenha sido controlado por zonas de concentração de deformação dessa fase; (3) Camadas com igual abundância de granada (entre 30 e 35%) com megaporfiroblastos e com porfiroblastos de tamanho normal ocorrem lado-a-lado. Elas apontam fortemente para o fato de que a ocorrência de megaporfiroblastos é controlada principalmente pela estratificação primária.

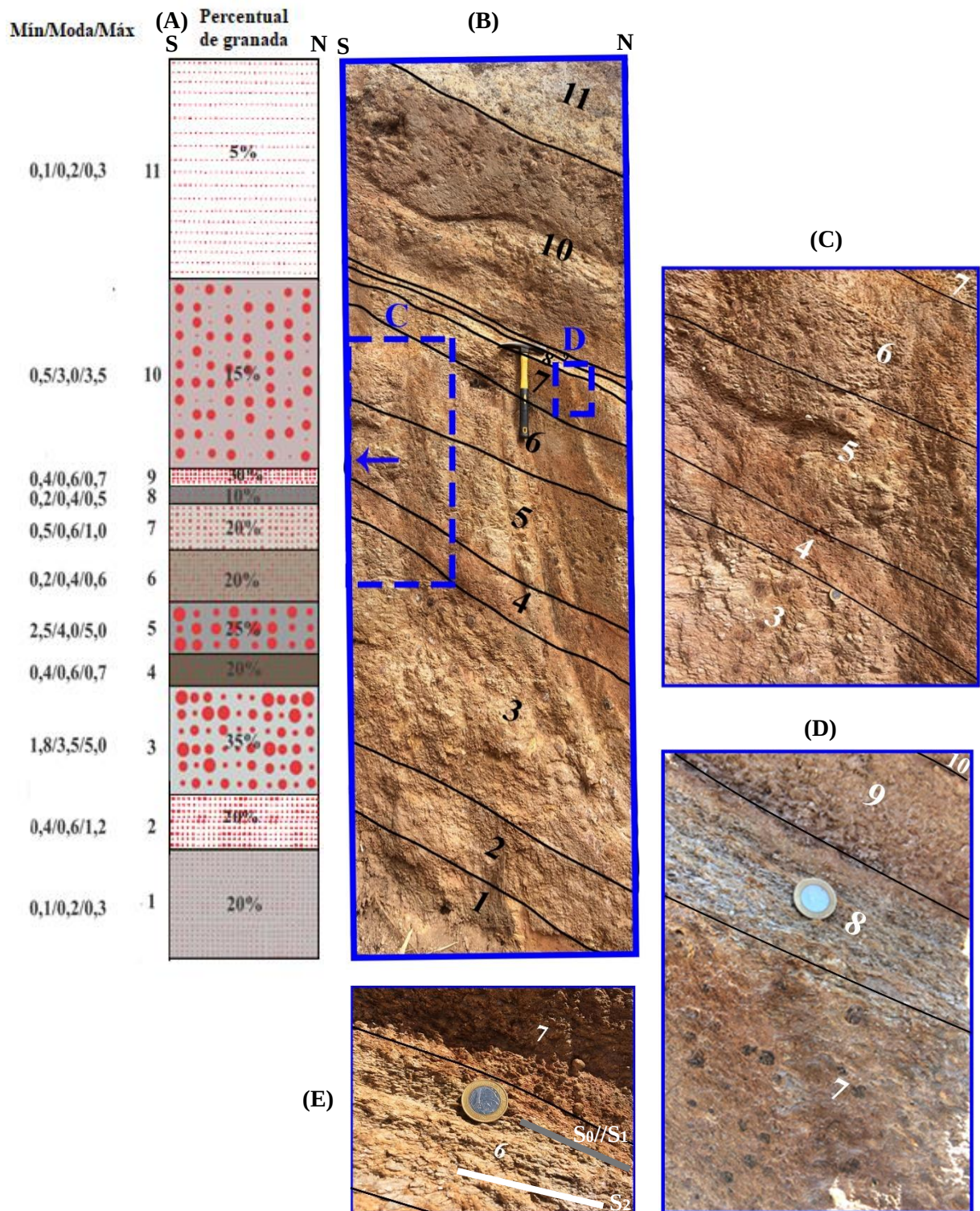


Figura 4.5: Coluna esquemática (A) e fotografia (B) das 11 camadas distinguíveis em corte artificial destinado para silo (Ponto MRH-6). Estão indicados, para cada camada, a sua respectiva espessura, o percentual de granada, assim como os valores mínimo (mín), moda e máximo (máx) para o diâmetro maior dos porfiroblastos de granada. (C) - Foto de detalhe destacando as camadas 3 e 5, ricas em megaporfiroblastos, adjacente a camadas com porfiroblastos milimétricos a subcentimétricos (camadas 4 e 6). (D) e (E) - Ilustram variação litológica bem evidenciada pela intercalação de camadas mais quartzosas (camadas 8 e 6) e camadas mais micáceas (camadas 7 e 9). Diâmetro da moeda = 2,7 cm. (E) – Detalhe das camadas 6 e 7, indicando os traçados de S₀/S₁ (em cinza) e S₂ (em branco).

Na localidade MR-1, o afloramento ao longo da crista permitiu boa observação da forma e tamanhos dos megaporfiroblastos, bem como obtenção de amostras orientadas para estudos em laboratório. Em geral, o formato dos megaporfiroblastos é elipsoidal (Fig. 4.6), com proporção predominante dos eixos maior, intermediário e menor: 1,3-1,0-0,7.

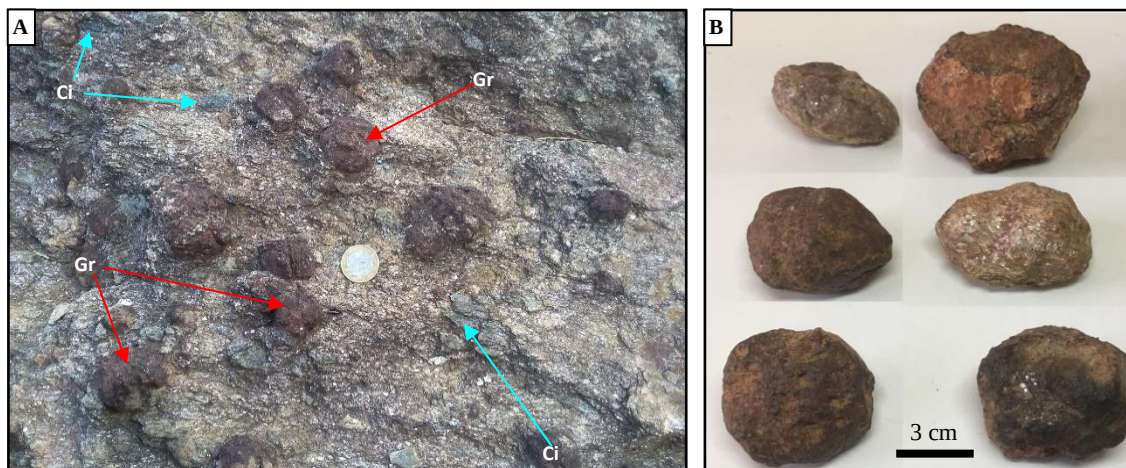


Figura 4.6: Megaporfiroblastos de granada. **A)** Detalhe de camada rica em megaporfiroblastos (Gr) do ponto MR-1, vistos sobre o plano da foliação principal (S_2). Apresentam geometria elipsoidal, com eixo maior orientado segundo a lineação mineral (notar orientação preferencial dos cristais de cianita). Também estão destacados alguns porfiroblastos de cianita (Ci). **B)** Megaporfiroblastos de granada mostrando a forma elipsoidal típica.

O arranjo geométrico em relação ao plano de foliação indica orientação preferencial com eixos maior e intermediário paralelos a subparalelos ao plano da foliação principal (Fig. 4.6A), sendo o eixo maior predominantemente paralelo à lineação mineral (L_2). Deste modo, a orientação de forma dos megaporfiroblastos segue, preferencialmente, os eixos do elipsoide de deformação D_2 . Tal comportamento é interpretado como sendo devido a crescimento controlado pelas anisotropias preexistentes (S_1/S_0), estando associado ao campo de deformação D_2 , como sugerem as microestruturas nos megaporfiroblastos e na matriz.

4.2.1 Padrões de Inclusões dos Megaporfiroblastos

Foram analisados os padrões de inclusões em quarenta e seis megaporfiroblastos, sendo vinte e nove seccionados perpendicularmente à L_2 (seções YZ) e dezessete paralelos a essa lineação (seções XZ).

Os megaporfiroblastos são, em sua maioria, do ponto MR-1 e alguns do ponto MR-6. Todavia, o elevado grau de alteração nesse último afloramento, em geral, dificultou a plena

caracterização de seus os padrões. Os cortes realizados em posição perpendicular à L_2 são os que permitiram um melhor entendimento dos padrões de S_1 (foliação interna definida pelas trilhas de inclusões) dos porfiroblastos. As inclusões são formadas principalmente por quartzo, rutilo e ilmenita, além de cianita, biotita, muscovita e estaurolita em caráter minoritário.

A maioria dos megacristais analisados em cortes YZ (quinze) apresenta no núcleo trilhas de inclusões retas a suavemente crenuladas, com aumento progressivo do apertamento das crenulações em direção à borda, onde alcançam ângulos interflancos em torno de 90 a 70°, exibindo configuração simétrica (Fig. 4.7A). Secundariamente, também há o registro de padrões assimétricos (Fig. 4.7B) em “S” (dois cristais) e “Z” (dois cristais), tendo como referencial, a visada para SE. A foliação S_e ($=S_2$) se amolda aos porfiroblastos e, em geral, não se identifica continuidade entre S_1 e S_e .

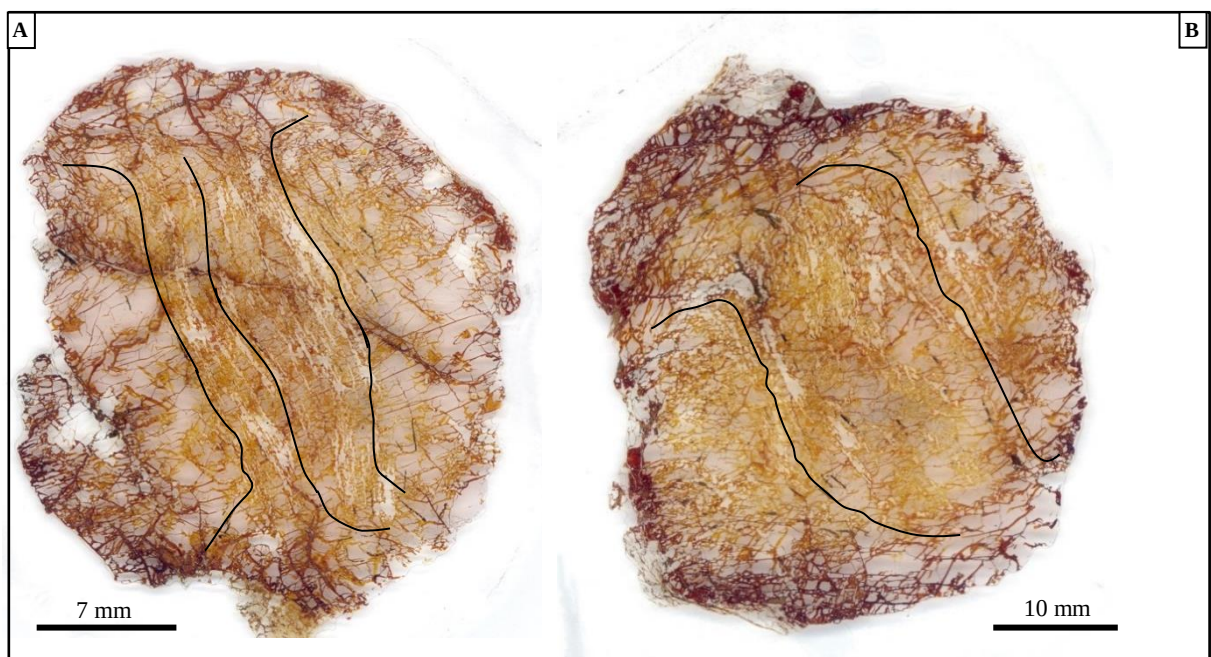


Figura 4.7: Fotos de lâminas mamute ilustrando os padrões de inclusões observados em megaporfiroblastos da *Nappe* de Passos, mostrando S_1 reto no centro e progressivamente crenulado, com maior intensidade na borda em relação ao núcleo. Ponto MR-1 (Unidade E). **(A)** Padrão simétrico (tipo milípede), amostra MR-1-G4. **(B)** Padrão assimétrico (tipo sigmoidal), MR-1-G3. Cortes YZ.

Na matriz, se identifica que S_e (foliação externa), correspondente a S_2 , que é uma clivagem de crenulação apertada associada a pronunciada recristalização evidenciada por arcos poligonais de micas (Fig. 4.8). São observados resquícios de uma foliação pretérita (S_1), marcada sobretudo pela orientação de alguns poucos cristais de mica e quartzo que não foram

totalmente obliterados por D_2 . O padrão observado indica que S_1 corresponde a S_1 e registra o estágio inicial da crenulação D_2 que, após cessar o crescimento dos porfiroblastos, se tornou progressivamente mais apertada, transpondo e obliterando parcialmente S_1 na matriz.

Outra feição observada tanto nos cortes YZ quanto XZ é que as bordas dos cristais apresentam menor quantidade de grãos inclusos (Figs. 4.7 e 4.9), evidenciando zonação, que será melhor discutida adiante juntamente com perfis químicos (item 4.2.2). A passagem da porção mais rica em inclusão para a borda é gradacional. A redução da quantidade de inclusões na borda indica maior mobilidade iônica, sugerindo que o crescimento desses porfiroblastos foi acompanhado do aumento progressivo de temperatura.

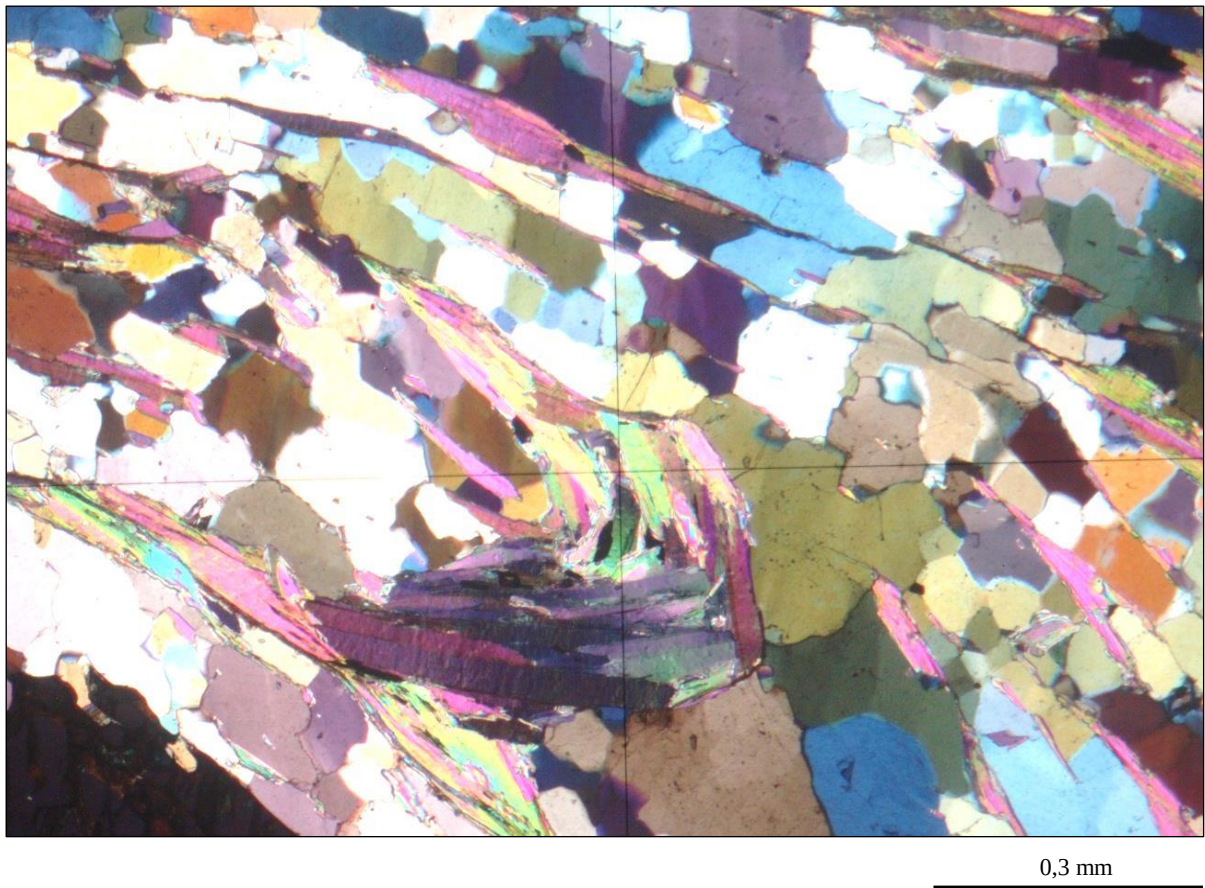


Figura 4.8: Fotomicrografia de muscovita-quartzo xisto destacando a presença de dobra de fase D_2 exibindo arco poligonal de muscovita, que é uma feição comum associada à foliação S_2 . Polarizadores cruzados. As cores de interferência são mais altas por tratar de uma lâmina mais espessa ($\approx 35 \mu\text{m}$).

O padrão observado em quatorze megaporfiroblastos em seções XZ (paralelas à L_2) mostra trilhas de inclusões essencialmente retilíneas a levemente curvadas nas bordas (Fig. 4.9).

A observação detalhada das microestruturas revela a ocorrência sistemática de algumas feições diagnósticas: (1) S_1 não apresenta continuidade com S_e ; (2) foliação principal, $S_e=S_2$, se amolda ao redor dos megaporfiroblastos; (3) os porfiroblastos de granada apresentam sombras e capas de deformação; (4) S_1 é preservada no interior do porfiroblastos registrando crenulações D_2 suaves. Essas feições permitem classificar os megaporfiroblastos, em termos cinemáticos, como sendo formados em cedo- D_2 .

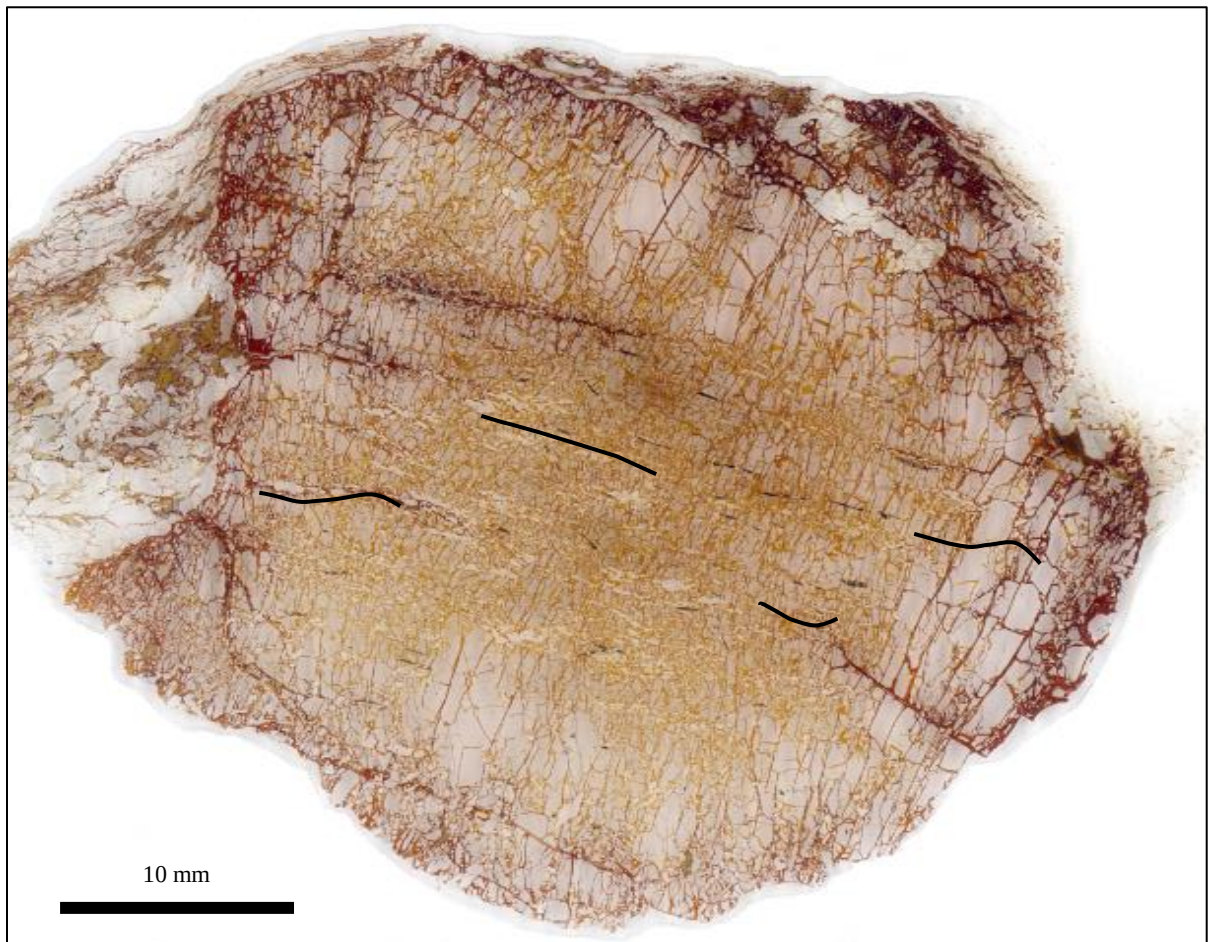


Figura 4.9: Padrão de inclusões na amostra MR1-G₂, em corte XZ. Mostra S_1 essencialmente reto, mas levemente curvado na borda. Ponto MR-1, Unidade E.

Outro aspecto importante relativo às inclusões, principalmente as de rutilo, é que apresentam, em geral, aumento de tamanho do núcleo em direção à borda, onde alcançam dimensões semelhantes às aquelas verificadas na matriz da rocha. Visando uma determinação quantitativa dessa variação foram selecionados megaporfiroblastos relativos às amostras MR-1 e MR-2, que são pertencentes ao mesmo afloramento, sendo confeccionadas quatro lâminas do tipo mamute. Utilizando-se fotos e programa de imagens (*Image-J*), com auxílio do

microscópio, foram levantados os diferentes tipos de inclusões, sendo desenhados os seus contornos, considerando-se três setores (núcleo, intermediário e borda), arbitrados e separados por linhas concêntricas aproximadamente paralelas à borda do porfiroblasto (Figs. 4.10 a 4.13). Além de grãos de quartzo e rutilo, também foi constatada a presença de ilmenita em todas as lâminas e de cianita em duas.

Para o megaporfiroblasto MR-1-N (Fig. 4.10), constata-se que as médias do comprimento maior dos cristais de rutilo no núcleo e no segmento intermediário são aproximadamente iguais (0,15 e 0,12 mm, respectivamente), mostrando aumento em direção à borda (0,22 mm) e na matriz (0,29 mm). As inclusões de quartzo apresentam comportamento similar, com menor tamanho no núcleo (0,49 mm) e maior na borda (0,52 mm). Entretanto, no setor intermediário, eles são ligeiramente maiores (0,59 mm) em relação à borda (Tab. 4.2).

Tabela 4.2: Estudos quantitativos das inclusões nos megaporfiroblastos MR-1-N e MR-1-P. Os valores correspondem à quantidade de inclusões analisada / média do comprimento maior (mm)

	MR-1-N		MR-1-P	
	Rutilo	Quartzo	Rutilo	Quartzo
Núcleo	56 / 0,15	330 / 0,49	54 / 0,03	265 / 0,13
Segmento intermediário	61 / 0,12	218 / 0,55	67 / 0,08	369 / 0,17
Borda	56 / 0,22	141 / 0,52	55 / 0,12	178 / 0,30
Matriz	67 / 0,29	não quantificado	23 / 0,11	não quantificado

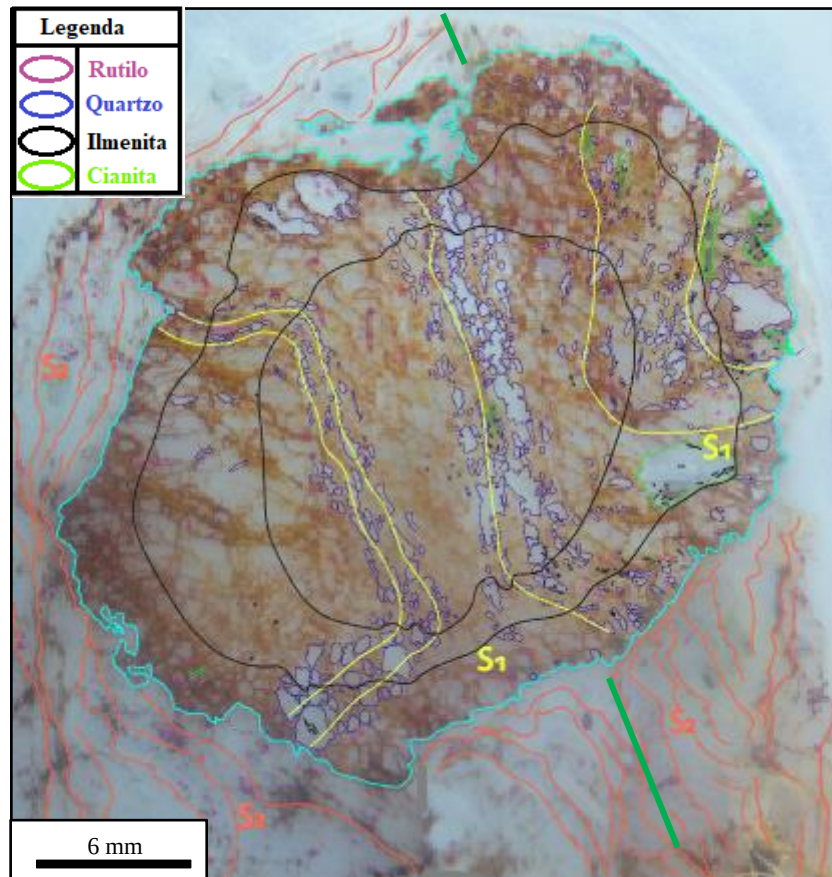


Figura 4.10: Megaporfiroblasto de granada da amostra MR-1-N (corte YZ) destacando as inclusões de rutilo, quartzo, ilmenita e cianita. Grãos de rutilo do setor da matriz adjacente ao megacristal de granada também são ressaltados, assim como as foliações S_1 (=Si) e S_2 (=Se). Em preto, estão indicados os limites estabelecidos para os setores de núcleo, intermediário e borda. Os limites da granada encontram-se expressos em azul-claro e a orientação preferencial de S_2 na matriz em verde-escuro.

Para o megaporfiroblasto MR-1-P (Fig. 4.11), o rutilo, apresenta tamanhos de 0,03 mm no núcleo, passando para 0,08 mm na porção intermediária e 0,12 mm na borda. Na matriz, o tamanho médio determinado é aproximadamente equivalente ao verificado na borda do porfiroblasto (0,11 mm). O tamanho das inclusões de quartzo também evidencia o crescimento progressivo do núcleo para borda, com valores médios de 0,13, 0,17, e 0,30 mm (Tab. 4.2).

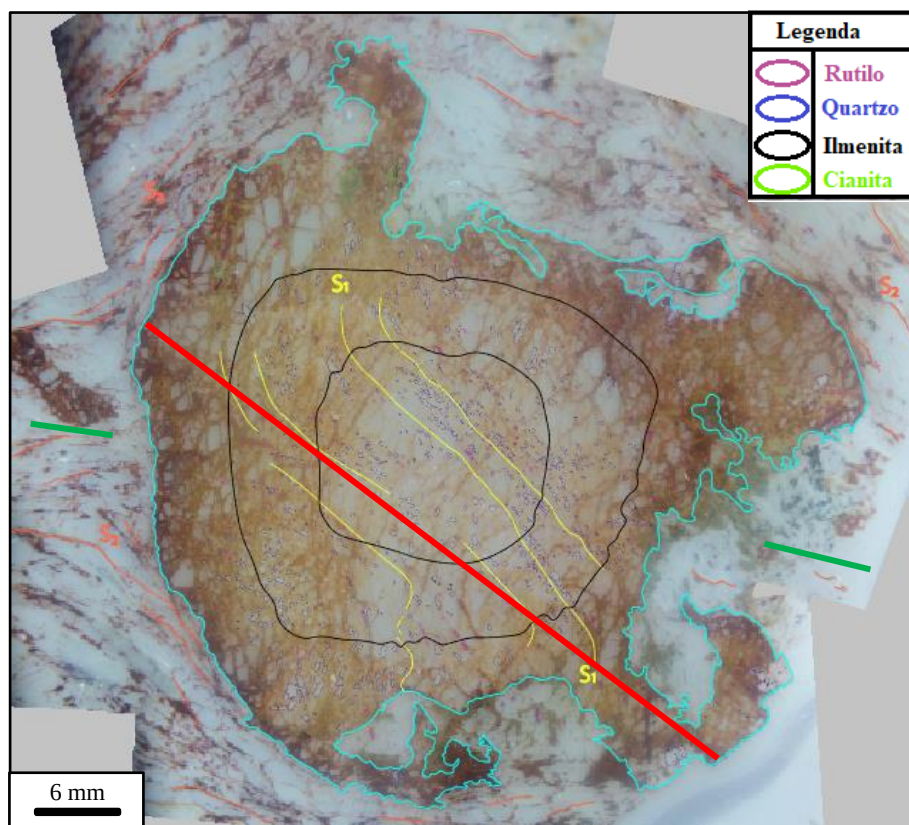


Figura 4.11: Porfiroblasto de granada da amostra MR-1-P (corte XZ) ressaltando as inclusões de rutilo, quartzo, ilmenita e cianita, bem como grãos de rutilo da matriz. As foliações S_1 e S_2 também se encontram em destaque. Os setores núcleo, intermediário e borda estão delineados em preto e, o limite da granada está indicado em azul-claro. Os traços em verde-escuro registram a orientação geral da foliação S_2 na matriz. A posição do perfil realizado na microsonda é mostrada pela linha vermelha.

Para a amostra MR-2, também foram analisados dois megaporfiroblastos, um em seção YZ (MR-2-N) e o outro XZ (MR-2-P). Na lâmina MR-2-N (Fig. 4.12), a média do comprimento maior dos cristais de rutilo apresenta aumento progressivo do núcleo para a borda, sendo ainda maior na matriz da rocha (Tab. 4.3). O quartzo também mostra aumento no tamanho das inclusões do núcleo (0,38 mm) para borda (0,42 mm), embora no segmento intermediário o valor seja inferior (0,22 mm) em relação ao primeiro.

Tabela 4.3: Estudos quantitativos realizados nas lâminas MR-2-N e MR-2-P. Os valores correspondem à quantidade de inclusões analisada / média do comprimento maior (mm)

	MR-2-N		MR-2-P	
	Rutilo	Quartzo	Rutilo	Quartzo
Núcleo	18 / 0,01	48 / 0,38	82 / 0,01	199 / 0,07
Segmento intermediário	42 / 0,02	84 / 0,22	66 / 0,03	238 / 0,14
Borda	43 / 0,03	43 / 0,42	108 / 0,02	172 / 0,12
Matriz	86 / 0,06	não quantificado	81 / 0,04	não quantificado

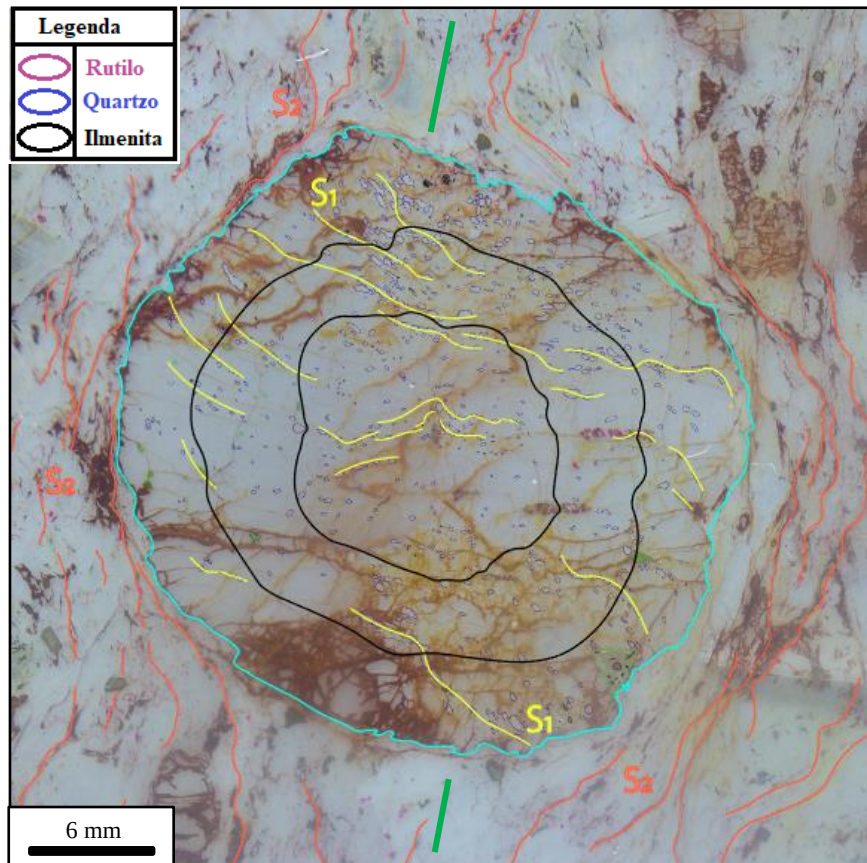


Figura 4.12: Porfiroblasto de granada da amostra MR-2-N mostrando as inclusões de rutilo, quartzo e ilmenita e grãos de rutilo da matriz. As foliações S₁ e S₂ também são indicadas. Os traços pretos indicam os setores núcleo, intermediário e borda. O limite da granada encontra-se expresso em azul-claro e, em verde-escuro, a orientação geral da foliação S₂ presente na matriz.

Para a lâmina MR-2-P (Fig. 4.13) foi identificado comportamento similar em relação às anteriores. Observa-se incremento no tamanho médio dos grãos de rutilo de 0,01 mm no núcleo para 0,03 mm na porção intermediária, diminuindo para 0,02 mm na borda, mostrando, porém, tamanho de 0,04 mm na matriz. Para as inclusões de quartzo, o diâmetro médio apresentado foi de 0,07 mm no núcleo, aumentando para 0,14 mm na porção intermediária e, por fim, diminuindo para 0,12 mm no segmento de borda (Tab. 4.3).

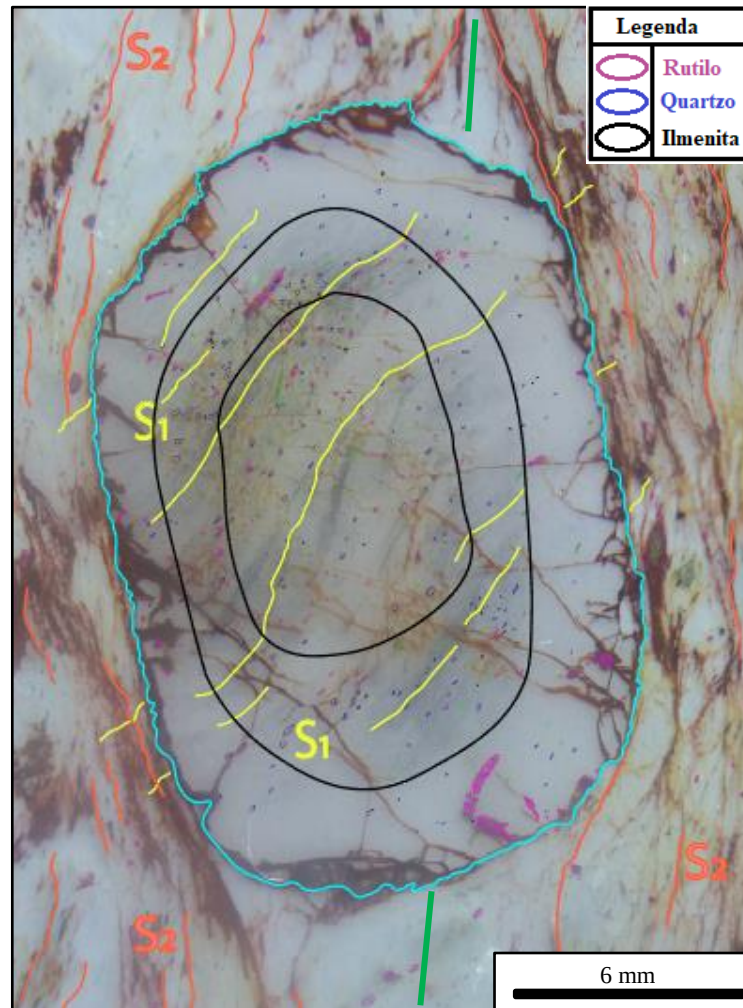


Figura 4.13: Porfiroblasto de granada de MR-2-P, destacando as inclusões (rutilo, quartzo e ilmenita), assim como grãos de rutilo na matriz. Também são registradas as foliações S₁ e S₂. Os setores de núcleo, intermediário e borda da granada estão destacados por traços pretos. Já o limite do porfiroblasto encontra-se registrado em azul-claro, enquanto que a orientação preferencial da foliação S₂ está indicada em verde-escuro.

A tendência geral de aumento do valor de média dos comprimentos maiores das inclusões do núcleo para a borda é interpretada como devida ao aumento progressivo de temperatura durante o crescimento dos porfiroblastos.

4.2.2 Zonação Química

Para os megaporfiroblastos, foram realizados sete perfis borda-a-borda com base na química mineral obtida por microsonda eletrônica, sendo todos os cristais analisados pertencentes também à Unidade E, no ponto MR-1 (Apêndice A, Tab. A.1). Para os porfiroblastos de tamanho comum, foram realizados oito perfis (Apêndice A, Tab. A.2), de

amostras de dois pontos, todos também da Unidade E, cujos resultados serão apresentados no item 4.2.3. Os perfis são representados pela proporção molecular de almandina, piropo, grossulária e espessartita (Figs. 4.14 e 4.17). Alguns dos pontos analisados ao longo dos perfis foram excluídos por apresentarem valores que destoavam consideravelmente das análises adjacentes. A avaliação de cada caso indicou se tratar de inclusões e/ou fraturas com alteração intempérica. Nesses casos, utilizou-se a interpolação dos pontos adjacentes para a construção das curvas.

Todos os megaporfiroblastos de granada analisados são ricos em almandina, sempre acima de 73%, e com baixas concentrações de piropo, grossulária e espessartita, que não ultrapassam 21%, 11% e 2,5%, respectivamente. Em linhas gerais, três dos perfis de megaporfiroblastos, MR1-B-Gr, MR1-G₄-Gr e MR1-G₁₀-Gr (Fig. 4.14A, B e C) apresentam comportamento típico de zonação por crescimento, com as concentrações de almandina e piropo mostrando valores mais baixos no núcleo em relação à borda. Espessartita e grossulária exibem comportamento inverso. Esse tipo de zonação indica crescimento do porfiroblasto acompanhado de aumento de temperatura (SPEAR, 1995). O membro final almandina também exhibe redução bem próximo à borda, sendo interpretada como reequilíbrio pós-auge metamórfico, através de difusão iônica, provavelmente envolvendo troca com a matriz e/ou inclusões (por exemplo, ilmenita e biotita).

Os porfiroblastos MR1-E-Gr₁, MR-1-E-Gr_{2L}, MR-1-E-Gr_{2T} e MR1-P (Fig. 4.14D, E, F e G) mostram padrão essencialmente retilíneo para almandina e, em alguns dos perfis, ocorre redução de sua concentração nas bordas (Fig. 4.14E e F), sugerindo homogeneização por processo de difusão iônica no auge do metamorfismo, seguido por reequilíbrio retrometamórfico. Esse reequilíbrio de almandina na borda também é identificado nos perfis que registram zonação de crescimento (Fig. 4.14A, B e C).

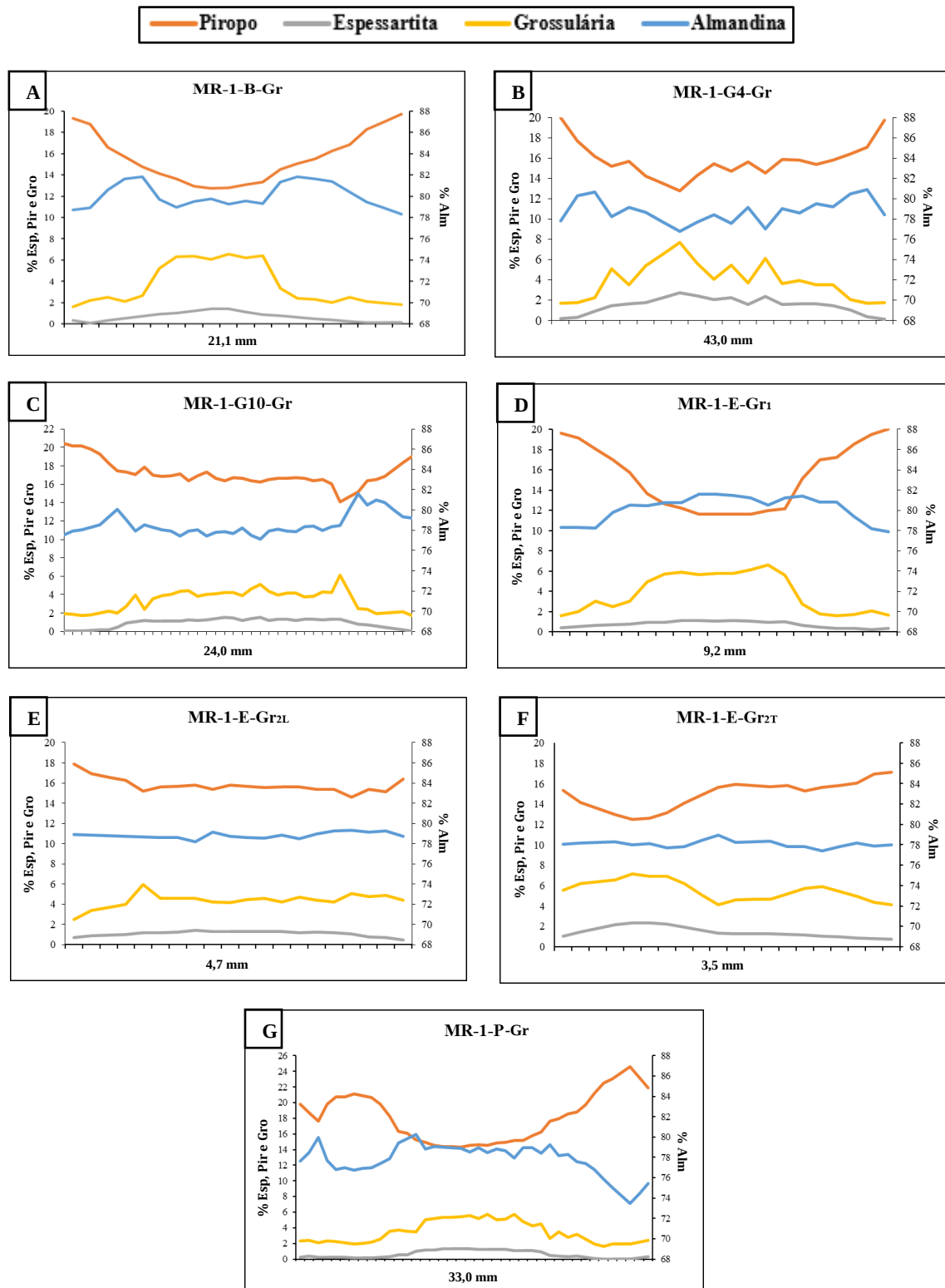


Figura 4.14: Perfis borda-a-borda mostrando a variação composicional dos megaporfiroblastos de granada. O componente almandina está representado no eixo da direita e os demais no da esquerda. Gráficos A a E = 20 pontos equidistantes ao longo de cada perfil; Gráfico F e G = 40 pontos.

Um aspecto interessante de se registrar é que piropo, grossulária e espessartita mostram o zonação de crescimento em todos os perfis (Fig. 14). O significado dessa diferença de comportamento entre o componente almandina e os demais é interpretada como sendo devido à maior abundância de outras fases minerais ricas em ferro, como, por exemplo, ilmenita e biotita, favorecendo a redistribuição desse elemento. Ilmenita está presente em todas as amostras de megaporfiroblastos e, com frequência, ocorre substituindo cristais de rutilo. A biotita foi observada em todas as amostras em proporções variando de 2 a 10%. Um mesmo cristal de granada pode apresentar zonação por crescimento para determinados elementos e processo de difusão iônica para outros (SPEAR & DANIEL, 2001).

4.2.3 Comparação com Porfiroblastos Comuns

Foram investigados sessenta e nove porfiroblastos de granada comumente encontradas ao longo da *Nappe* de Passos (diâmetros de 0,14 a 1,5 cm). Dos quarenta e dois porfiroblastos em seções XY, vinte e nove mostram Si do tipo progressivamente crenulada, tanto com bordas suaves quanto apertadas, simétricas. Nos outros treze, o padrão é assimétrico (Fig. 4.15A). Para os cortes XZ, o padrão visto com maior frequência foi o retilíneo, constatado em quatorze cristais (Fig. 4.15B). Nos demais, eles apresentam curvatura suave indicando padrões tanto em S quanto em Z.



Figura 4.15: Padrões de trilhas de inclusões em porfiroblastos de granada comuns. **A)** Corte YZ mostrando porfiroblastos com padrões de crenulação progressiva assimétrica (à esquerda) e simétrica (à direita). Ponto MRH-103 (X: 309265; Y: 7717803). **B)** Corte XZ mostrando padrão de Si retilíneo. Ponto CA-2-81 (X: 303599; Y: 7730639).

Considerando-se os padrões observados nas seções perpendiculares e paralelas a L_2 , conclui-se que a foliação S_1 dos porfiroblastos comuns, revelada pelas trilhas de inclusões, corresponde a uma foliação plana ou levemente crenulada no núcleo, com aumento progressivo da crenulação para a borda do porfiroblasto, sendo a direção do eixo da crenulação paralelo ou subparalelo a L_2 . A S_1 é descontínua em relação à foliação principal na matriz (S_2), que se amolda ao redor dos porfiroblastos. Além disso, os porfiroblastos apresentam capa e sombra de deformação, coerentes com a deformação D_2 . As feições descritas acima indicam que os porfiroblastos cresceram durante o desenvolvimento de uma crenulação afetando S_1 , cessando o crescimento antes do final do evento deformacional responsável pela crenulação (no caso, de fase D_2), sendo então classificados como cedo- D_2 . Conclui-se que os padrões de inclusões encontrados para os porfiroblastos comuns são essencialmente idênticos aos registrados nos megaporfiroblastos.

Fez-se uma estimativa visual do tamanho dos grãos de rutilo em sessenta e seis porfiroblastos de granada em granada-muscovita xistos abrangendo as Unidades E, F, G e H. Exibem tamanhos menores no núcleo e maiores nas bordas (Fig. 4.16), notando-se, também, que a quantidade de inclusões diminui da primeira para a última. Isso permite interpretar que durante o evento D_2 , concomitantemente ao desenvolvimento dos porfiroblastos, ocorreu aumento no tamanho dos grãos na matriz devido ao aumento de temperatura que acompanhou essa deformação. Estes cristais mostram comportamento idêntico ao determinado quantitativamente para os megaporfiroblastos.

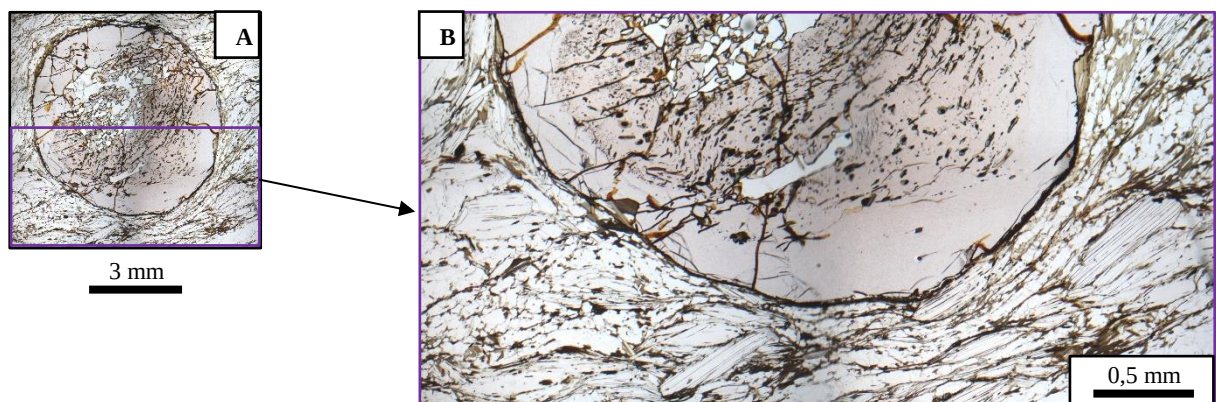
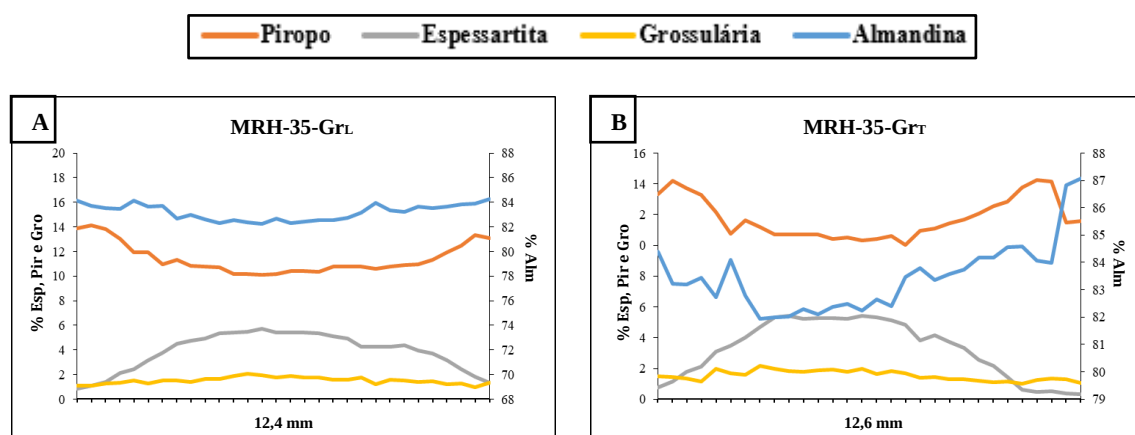


Figura 4.16: Porfiroblasto de granada de tamanho comum de granada-muscovita xisto da Unidade F em corte YZ. **(A)** – Visualização geral da granada. **(B)** - Visualização em detalhe de seu segmento inferior, mostrando o aumento de suas inclusões, sobretudo de rutilo. Ponto CA-8-3A (X: 300471; Y: 7734197).

Foram realizados oito perfis químicos em cristais de granada (*Fig. 4.17*), de duas amostras, pontos MRH-35 (X: 318758; Y: 7715873) e MRH-103-B (X: 309265; Y: 7717803). Como a finalidade é a comparação da composição química com os megaporfiroblastos, selecionou-se apenas amostras da Unidade E a fim de manter a similaridade das condições de metamorfismo. Os porfiroblastos são ricos em almandina, com porcentagem acima dos 77%, chegando a cerca de 87%, com piropo exibindo valores de aproximadamente 10% a 18%. São pobres em grossulária (da ordem de 1% a 7%) e espessartita (de cerca de 0,1% a 6%).

Em geral, almandina e piropo mostram concentrações crescentes em direção à borda, enquanto a grossulária e a espessartita mostram, frequentemente, comportamento oposto, com diminuição da porcentagem para a borda (*Fig. 17A e B*). Isso permite interpretar que o crescimento dos porfiroblastos de granada foi acompanhado pelo aumento progressivo de temperatura. Alguns porfiroblastos mostram o teor de almandina aproximadamente constante no núcleo, com decréscimo na borda (*Fig. 4.17D a H*), entretanto o teor de piropo mostra zonação normal, aumentando sua concentração para a borda. Tal comportamento, sugere que houve homogeneização da distribuição do Fe, que provavelmente sofreu redução nas bordas devido a reequilíbrio posterior ao auge metamórfico. É possível que a existência de minerais na matriz ricos em Fe, como a biotita, por exemplo, tenha permitido a homogeneização do Fe e que a ausência de minerais ricos em Mg e Ca tenha desfavorecido a homogeneização desses elementos nos porfiroblastos de granada. Nota-se também que na amostra MRH-103-B, os cristais pequenos (*Fig. 4.17 E a H*) exibem menor amplitude de variação, indicando que estão cortados mais na borda dos cristais.



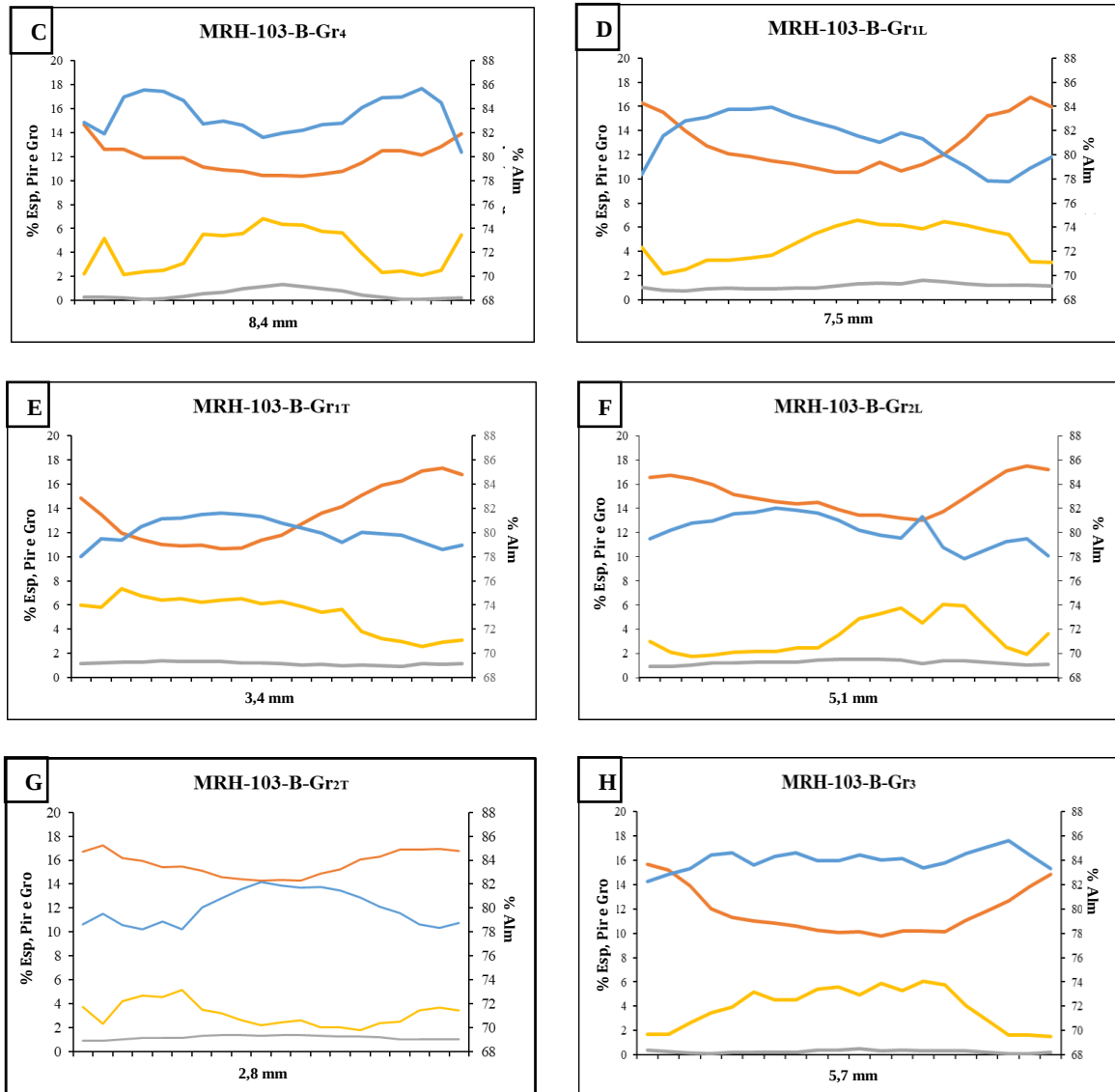


Figura 4.17: Gráficos mostrando a variação composicional de porfiroblastos comuns de granada referentes à Unidade E. Gráficos **A** e **B** = 40 análises pontuais equidistantes ao longo de cada perfil; Gráfico **C** a **H** = 40 análises equidistantes. Todas os cristais foram seccionados segundo o plano YZ.

Também é possível que o intemperismo químico tenha contribuído, ao menos, para parte desse comportamento ambíguo, sobretudo nas porções de borda. Portanto, assim como no caso dos megaporfiroblastos, os porfiroblastos comuns também apresentam zonação por crescimento, alguns com homogeneização por difusão e reequilíbrio retrometamórfico na borda.

Considerando somente a composição dos porfiroblastos de granada analisados, constata-se que em todos ocorre zonação de crescimento para, ao menos, dois de seus elementos, sobretudo piropo e espessartita, interpretado como reflexo de aumento de temperatura, evidenciado pelo incremento de almandina e piropo do núcleo para a borda,

acompanhado da redução de grossulária e espessartita. Também ocorrem perfis com composições mais constantes, indicando homogeneização por difusão iônica, durante o auge metamórfico. Outra feição observada em muitos dos porfiroblastos é a redução de almandina bem próximo à borda dos porfiroblastos (Fig. 17 D a H), assim como do piropo (Fig. 17 A, B, D, E, F e G), interpretada como consequência de processo de homogeneização, seguida de reequilíbrio retrometamórfico parcial com a matriz.

Os resultados descritos acima mostram que o padrão de composição química dos porfiroblastos comuns é essencialmente idêntico ao dos megaporfiroblastos.

4.2.4 Relação Espacial dos Porfiroblastos

Com a finalidade de se obter um melhor entendimento acerca do arranjo espacial dos dois tipos de porfiroblastos foram analisadas as relações angulares entre a foliação externa (Se) e os seguintes parâmetros: (a) foliação interna (Si); (b) diâmetro de maior comprimento da granada (D_M). Referem-se a orientações aparentes nos cortes YZ e XZ.

Para a leitura angular, utilizou-se como referência o traço de Se na amostra, lendo-se o menor ângulo com cada um dos outros parâmetros analisados (Si, PAr e E_M), anotando-se também o sentido da leitura (horário e anti-horário). Os resultados encontram-se expressos nas Tabs. 4.4, 4.5 e 4.6, respectivamente, na forma de frequência para três classes de intervalos angulares: 0-29°, 30-59° e 60-90°, onde 0° corresponde à situação de paralelismo com Se.

Tabela 4.4: Relações angulares entre os traços das foliações externa (Se=S₂) e interna (Si) em megaporfiroblastos e porfiroblastos comuns (seções YZ e XZ). Os valores indicam o número de cristais analisados e o respectivo percentual

Intervalo Se x Si	Megaporfiroblastos		Porfiroblastos comuns		Somatório dos dois tipos	
	YZ (n / %)	XZ (n / %)	YZ (n / %)	XZ (n / %)	YZ (n / %)	XZ (n / %)
0-29°	7 / 47	2 / 14	11 / 30	8 / 30	18 / 34	10 / 24
30-59°	2 / 13	3 / 22	11 / 30	7 / 26	13 / 24	10 / 24
60-90°	6 / 40	9 / 65	16 / 42	12 / 44	22 / 42	21 / 52
Total	15 / 100,0	14 / 100,0	38 / 100,0	27 / 100,0	53 / 100,0	41 / 100,0

Para os megaporfiroblastos, verifica-se que os valores observados com maior frequência são aqueles situados no intervalo 60-90° (Tab. 4.4), excetuando-se aqueles seccionados segundo o plano YZ, em que os de intervalo 0-29° apresentam uma tênue maioria em relação aos outros dois, cujo valor é de 47% (sete cristais). O intervalo situado entre 30-59°, em geral, apresentou-se em quantidade inferior às outras duas classes analisadas, menos para os

megaporfiroblastos seccionados segundo o plano XZ. É interessante notar que a classe subparalela a Se (0° - 29°) tende a ser bem representada nas seções YZ, sendo menos expressiva nas seções XZ. Para os porfiroblastos de tamanho comum, na seção YZ, a classe 60° - 90° também é majoritária, com percentual de 42% (dezesesseis cristais), enquanto as outras duas são de 30% cada (onze cristais para ambas). Para os cortes XZ, a classe de 60° - 90° é predominante, com valor 44% (doze porfiroblastos), seguida pela classe de 0 a 30° , cujo percentual é de 30% (oito cristais) e, por fim, a classe intermediária, que representa 26% (sete).

Ao realizar análise integrada dos intervalos para os dois tipos de cristais, constata-se que tanto para a seção YZ quanto para XZ há uma predominância do intervalo de 60° a 90° em relação aos outros dois, com 42% (vinte e dois cristais) e 52% (vinte e um), respectivamente. Para os cortes YZ, as relações angulares entre 0° - 30° são mais frequentes em relação à classe 30° - 59° , com valores de 34% (dezoito porfiroblastos) para a primeira e 24% para a outra (treze), enquanto que em XZ, essa condição é de igualdade, com 24% para ambos (dez cristais cada).

Quanto às medidas de D_M (Tab. 4.5), percebe-se que para os dois tipos de porfiroblastos analisados, tanto em cortes XZ quanto em YZ, há ampla predominância das orientações subparalelas à Se. Para os cortes XZ, os valores são de 49% (dezesesseis dos trinta e três porfiroblastos comuns) e 84% (vinte e um dos vinte e cinco megaporfiroblastos). Entre os outros dois intervalos, nota-se que o intervalo intermediário (30° - 59°) apresenta maior frequência do que o subperpendicular. Para os cortes YZ, 58% (vinte e cinco dos quarenta e três porfiroblastos comuns) e 65% (treze dos vinte megaporfiroblastos). Essa tendência de orientação preferencial do D_M pode ser visualizada em cortes XZ e YZ, de amostra de cianita-granada-muscovita xisto do ponto MR-1 (Fig. 4.18).

Tabela 4.5: Estudos estatísticos sobre as relações angulares observadas entre a foliação externa ($Se=S_2$) e o diâmetro maior (D_M) em megaporfiroblastos e porfiroblastos comuns cortados segundo YZ e XZ

Intervalo Se x D_M	Megaporfiroblastos		Porfiroblastos comuns		Somatório dos dois tipos	
	YZ (n / %)	XZ (n / %)	YZ (n / %)	XZ (n / %)	YZ (n / %)	XZ (n / %)
0-29°	13 / 65	21 / 84	25 / 58	16 / 49	38 / 60	37 / 64
30-59°	4 / 20	3 / 12	11 / 26	9 / 27	15 / 24	12 / 21
60-90°	3 / 15	1 / 4	7 / 16	8 / 24	10 / 16	9 / 15
Total	20 / 100	25 / 100	43 / 100	33 / 100	63 / 100	58 / 100

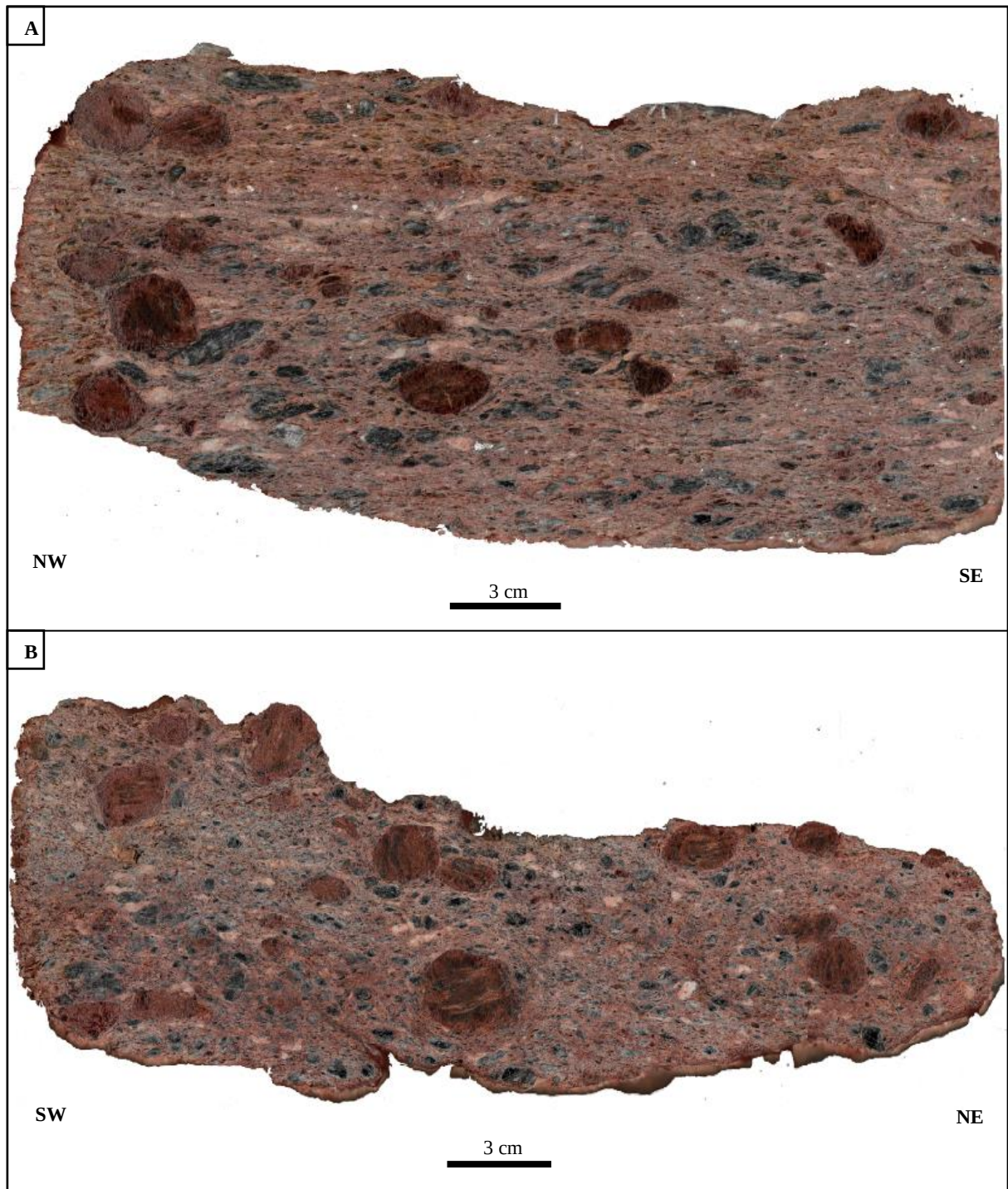


Figura 4.18: Amostras polidas de cianita-granada-muscovita xisto do ponto MR-1 seccionadas segundos os planos XZ (A) e YZ (B).

Nos sessenta e seis exemplares em que havia o registro do sentido de observação da seção (e não somente a direção), classificou-se o sentido de giro respectivo, em relação a Se, para os dois parâmetros medidos: Si – em 64% desses cristais (quarenta e dois porfiroblastos)

e D_M - em todos. Seus resultados são apresentados respectivamente nas Tabs. 4.6 e 4.7. Para as seções em YZ, o referencial de visada adotado é para SE, enquanto que para as XZ, é para NE.

Os dados obtidos para Si indicam que nas seções YZ as inclinações são aproximadamente equivalentes para os sentidos horário e anti-horário, sendo respectivamente 46% (seis porfiroblastos) e 54% (cinco) para os megaporfiroblastos e 50% para os porfiroblastos comuns (sete cristais cada). Já para as seções XZ percebe-se evidente predomínio do sentido horário, com percentual de 75% (nove de doze cristais) para os megaporfiroblastos, e resultados similares para os porfiroblastos comuns, que mostram 67% de medidas no sentido horário (dois cristais), entretanto o total de cristais estudados foi pequeno (três). Os sentidos de giro identificados para os dois conjuntos de porfiroblastos são sumarizados em forma de histograma, evidenciando o amplo predomínio de sentido horário na seção XZ a o equilíbrio entre os dois sentidos na seção YX (Fig. 4.19).

Tabela 4.6: Sentido de giro de Si em relação à foliação externa (Se) de megaporfiroblastos e porfiroblastos comuns (seções YZ e XZ).

Intervalo Se x Si	Megaporfiroblastos		Porfiroblastos comuns		Somatório dos dois tipos	
	YZ (n / %)	XZ (n / %)	YZ (n / %)	XZ (n / %)	YZ (n / %)	XZ (n / %)
0-29°	H	3 / 50	0 / 0	2 / 40	5 / 45	0 / 0,0
	A	3 / 50	2 / 100	3 / 60	6 / 55	2 / 100
30-59°	H	0 / 0	1 / 100	1 / 20	1 / 17	2 / 100
	A	1 / 100	0 / 0	4 / 80	5 / 83	0 / 0,0
60-90°	H	3 / 50	8 / 89	4 / 100	7 / 70	9 / 82
	A	3 / 50	1 / 11	0 / 0	3 / 30	2 / 18
Total	H	6 / 46	9 / 75	7 / 50	13 / 48	11 / 73
	A	7 / 54	3 / 25	7 / 50	14 / 52	4 / 27

Obs.: H = sentido horário; A = sentido anti-horário.

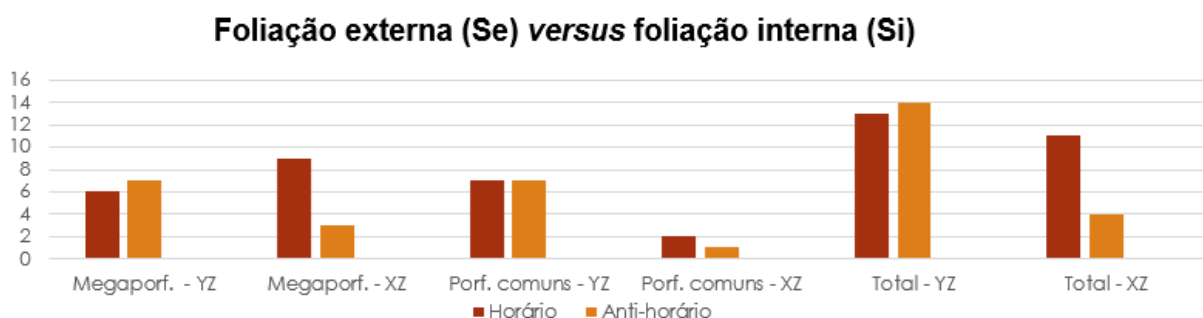


Figura 4.19: Gráficos de histograma sintetizando as informações contidas na Tab. 4.7 referentes ao sentido de giro dos megaporfiroblastos e dos porfiroblastos comuns, assim como somatório de ambos para os sentidos horário e anti-horário.

Com base na Tab. 4.7, é possível verificar que tanto os megaporfiroblastos quanto os porfiroblastos comuns mostram porcentagens próximas para os sentidos de giro entre o diâmetro maior e Se nas seções YZ, sendo 56% horários e 44% anti-horários para o primeiro tipo (com dez e oito cristais, respectivamente) e 47% horários e 53% anti-horários para o segundo (com nove e dez porfiroblastos, respectivamente). Para as seções XZ, os vinte e três megaporfiroblastos analisados registram 43% horário e 57% anti-horário. Para os porfiroblastos de tamanho comum, dos seis cristais analisados, 33% apresentam horário e 67% anti-horário. Os dados apresentados na tabela 4.7 em relação ao sentido de giro de D_M em relação a Se para as duas tipologias de cristais de granada, assim como da somatória de ambas para os sentidos horário e anti-horário, são mostrados em histograma da Fig. 4.20.

Tabela 4.7: Sentido de giro do diâmetro maior (D_M) de megaporfiroblastos e porfiroblastos comuns em relação à foliação externa (Se), para seções YZ e XZ

Intervalo Se x E_M		Megaporfiroblastos		Porfiroblastos comuns		Somatório dos dois tipos	
		YZ (n / %)	XZ (n / %)	YZ (n / %)	XZ (n / %)	YZ (n / %)	XZ (n / %)
0-29°	H	4 / 33	9 / 45	6 / 46	1 / 33	10 / 40	10 / 44
	A	8 / 67	11 / 55	7 / 54	2 / 67	15 / 60	13 / 56
30-59°	H	4 / 100	1 / 50	1 / 33	0 / 0	5 / 71	1 / 33
	A	0 / 0	1 / 50	2 / 67	1 / 100	2 / 29	2 / 67
60-90°	H	2 / 100	0 / 0	2 / 67	1 / 50	4 / 80	1 / 33
	A	0 / 0	1 / 100	1 / 33	1 / 50	1 / 20	2 / 67
Total	A	10 / 56	10 / 43	9 / 47	2 / 33	19 / 51	12 / 41
	H	8 / 44	13 / 57	10 / 53	4 / 67	18 / 49	17 / 59

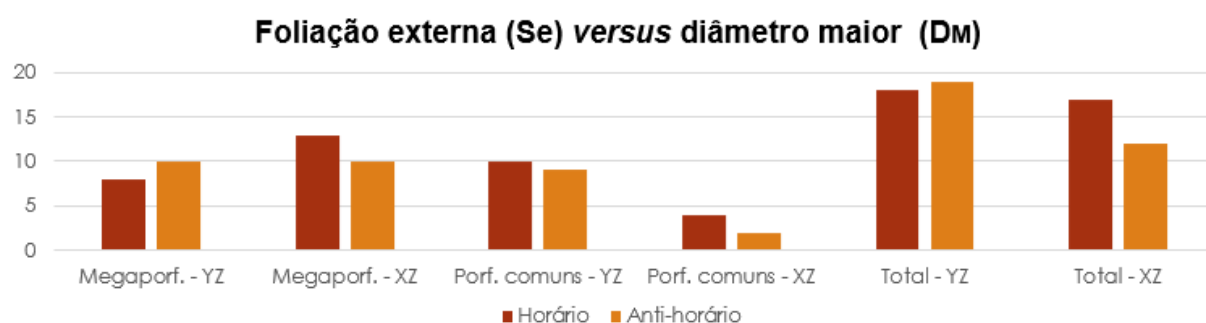


Figura 4.20: Gráficos de histograma sintetizando as informações contidas na Tab. 4.9 referentes sentido de giro das duas tipologias de cristais de granada estudadas, juntamente com somatório de ambas para os dois sentidos de análise.

Os resultados apresentados para a foliação interna (S_i) mostram que:

- 1) Tanto para os megaporfiroblastos quanto para os porfiroblastos comuns, é claro que as seções YZ apresentam porcentagens equivalentes para os dois sentidos de giro (ou

praticamente iguais no tocante ao primeiro tipo). Já nas seções XZ, a orientação apresenta sentido de giro com expressivo predomínio horário (75% e 67%, embora este último seja apenas para três grãos);

- 2) Nas seções YZ, ocorrem as três classes, com leve predomínio daquela que possui alto ângulo; enquanto na XZ, a classe dominante é de alto ângulo, embora haja representação nas de médio e baixo ângulo, sendo 22% e 14% para megaporfiroblastos e 26% e 30% para os porfiroblastos comuns, respectivamente.

Com base nessas observações, fez-se uma análise em estereogramas para avaliar as prováveis as atitudes preferencias de Si em relação ao plano de foliação principal e à lineação mineral L_2 (direção X de D_2). O plano equatorial do estereograma representa a foliação externa ($Se=S_2$), plano XY, considerada em posição horizontal, com a lineação mineral ($=X$) na direção 300-120. Os cortes YZ e XZ são representados pelos diâmetros nas posições 210 e 120, respectivamente. Os estereogramas são apresentados para os megaporfiroblastos (Fig. 4.21) e para os porfiroblastos comuns (Fig. 4.22).

Para o megaporfiroblastos (Fig. 4.22) que mostram para os traços de Si ampla predominância da classe de alto ângulo (60° - 90°) nos cortes XZ e, preferencialmente, com giro horário, considerou-se apenas essa classe como representativa, adotando-se o ângulo de caimento médio (75°) da classe. Os resultados mostram que Si deve apresentar atitude preferencialmente em alto ângulo com Se, com mergulhos principalmente para SE (rumo 120), e, em menor proporção, para ENE e SSE. Essas atitudes devem representar cerca de 60% a 70% dos casos.

Se forem consideradas as orientações menos frequentes dos traços de Si no corte XZ (Classe 0° - 29° e 30° - 60°), outras atitudes são encontradas (Fig. 4.22). Mostram planos com mergulhos médios a suaves para aproximadamente para o rumo 120, com menos contribuição de atitudes de baixo ângulo para ENE e SSE. Outra família de atitudes que aparece com importância é representada por planos subverticais, com direção aproximadamente N30W.

A análise de estereogramas realizada para os porfiroblastos comuns fornece resultados similares aos obtidos para os megaporfiroblastos.

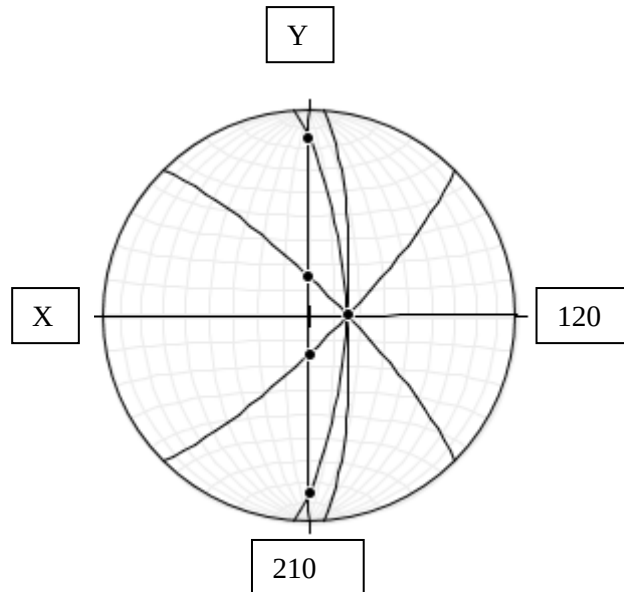


Figura 4.21: Estereograma para os megaporfiroblastos mostrando as possíveis orientações de planos de Si, obtidas a partir dos traços de Si (pontos) nos cortes YZ e XZ, combinados dois a dois. Para os traços de Si no plano XZ está representada apenas a classe de alto ângulo (60° - 90°), representada pelo valor médio de 75° de caimento, pois essa categoria é expressivamente mais abundante para os megaporfiroblastos. O plano equatorial do estereograma corresponde à foliação $S_e (=S_2)$, com o eixo X ($=L_E$) na posição horizontal, na direção 120, assim a linha Y corresponde ao traço ciclográfico do corte YZ e a linha X corresponde ao corte XZ.

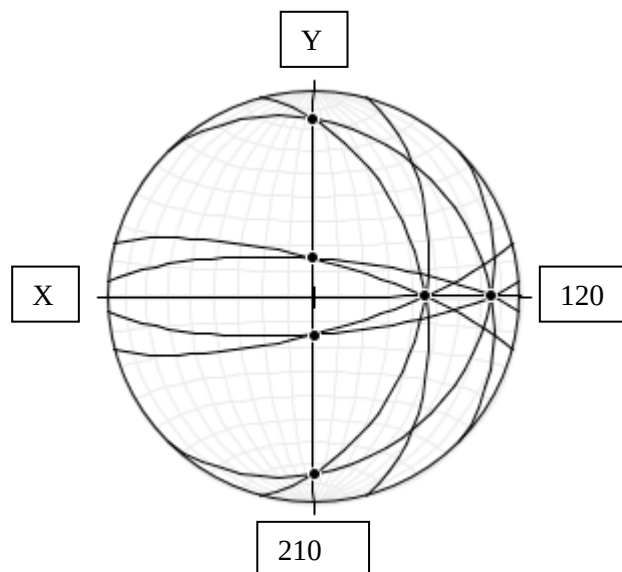


Figura 4.22: Estereograma para os megaporfiroblastos mostrando as possíveis orientações de planos de Si, obtidas a partir dos traços de Si (pontos) nos cortes YZ e XZ, combinados dois a dois. Para os traços de Si no plano XZ estão representadas as classes de médio (30 - 59°) e baixo ângulo (0 - 29°), representada pelos valores médios de 45° e 15° , respectivamente. O plano equatorial do estereograma corresponde à foliação $S_e (=S_2)$, com o eixo X ($=L_E$) na posição horizontal, na direção 120, assim a linha Y corresponde ao traço ciclográfico do corte YZ e a linha X corresponde ao corte XZ.

As relações espaciais dos cristais apresentados acima, considerando as relações angulares dos dois parâmetros (S_1 e D_M), permite deduzir que:

- 1) Os megaporfiroblastos e porfiroblastos apresentam forma elipsoidal com diâmetro maior e intermediário preferencialmente paralelos à S_2 , porém com tendência do eixo maior ser levemente oblíquo à S_2 , com sentido de giro predominantemente horário (visada para NE), produzindo arranjo assimétrico coerente com deformação D_2 , de caráter não-coaxial, com transporte para SE.
- 2) As medidas de S_1 nos cortes YZ mostram grande variação, desde baixo até alto ângulo com S_2 , com giros tanto no sentido horário quanto anti-horário, indicando padrão de distribuição de orientação simétrico. Nas seções XZ, registra-se ampla predominância de giro horário (visada para NE).
- 3) A reconstituição das orientações de S_1 , sugere predominância de planos com mergulhos íngremes para ESE, com dispersões para ENE e SSE, tomando-se como referencial a foliação S_2 (S_0) horizontal e a lineação mineral no rumo 120. Minoritariamente, são indicados planos com essas mesmas direções, porém com mergulhos baixos a médios, e ainda, planos subverticais com direções aproximadamente paralelas a L_2 .

Como visto anteriormente, os porfiroblastos aqui estudados cresceram durante o desenvolvimento da clivagem de crenulação D_2 , tendo cessada a blastese ainda no início dessa fase, o que imprimiu, na matriz, uma penetrativa trama tectônica indicativa de forte deformação não-coaxial com transporte para SE. Nesse contexto, os dados de orientação de S_1 e D_M , apresentados acima indicam que após o término de seu crescimento, os porfiroblastos foram rotacionados, com ângulos inferiores a 90° , durante a deformação não coaxial, contribuindo para o complexo arranjo espacial dos referidos parâmetros.

4.2.5 Padrões de Inclusões x Zonação Química

A comparação entre os padrões de inclusões com o perfil de variação composicional dos cristais de granada mostra que existe uma relação entre as zonas que apresentam maior deflexão nas trilhas de inclusão com as inflexões do perfil de zoneamento químico de crescimento. Esse comportamento é reconhecido tanto nos porfiroblastos (Fig. 4.23A) quanto nos megaporfiroblastos (Fig. 4.23B). Em geral, os porfiroblastos apresentam trilhas de inclusões retas a suavemente crenuladas no núcleo, sendo fortemente inflectidas, ou ainda, mais intensamente crenuladas para a borda. Nos dois exemplos mostrados (Fig. 4.23), percebe-se

que os pontos de inflexão das curvas composicionais coincidem com deflexões mais expressivas das trilhas de inclusões. A relação descrita é bem evidente nos perfis MRH-103-B-Gr (Fig. 4.20A) e MR1-G₄-Gr (Fig. 4.20B). No primeiro caso, merece destaque a coincidência espacial entre as variações apresentadas pelas quatro fases sólidas analisadas, com acentuada inflexão presente no segmento intermediário do cristal, fato este também verificado no segundo caso, no qual a trilha de inclusões é do tipo simétrica, sendo que no núcleo, ela é praticamente retilínea, ocorrendo o aumento na periodicidade das inflexões em direção à borda do cristal.

Nos perfis composicionais, identificam-se variações igualmente expressivas, principalmente marcadas pelo aumento de pirope (de 14% para cerca 17% no primeiro caso e 13% para aproximadamente 20% no segundo) e redução de grossulária (de 8% para aproximadamente 2% no primeiro e de 7 para cerca de 2% no segundo) e espessartita (de 1% para cerca de 0,1% no primeiro e 2,5% para aproximadamente 0,1% no segundo). No caso da almandina, ocorre aumento em ambos os casos até a proximidade da borda (82 para cerca de 86% no primeiro caso e de 77% para aproximadamente 81% no segundo). Todavia, merece nota o fato de haver redução no teor de almandina de 86% para cerca de 81% no perfil MRH-103-B-Gr₄ e de 81% para aproximadamente 78% em MR-1-G₄. Ambas são interpretadas como decorrentes de reequilíbrio no sistema porfiroblasto-matriz ocorrido posteriormente ao auge metamórfico, situado em D₂.

De acordo com os dados microestruturais e químicos apresentados nos itens acima, as bordas dos porfiroblastos se desenvolveram em condições de maior temperatura. Então, a maior intensidade de deformação durante o crescimento da borda dos porfiroblastos, sugerida pelo padrão de inclusões, ocorreu durante o aumento de temperatura dessas rochas, devido à mudança das propriedades reológicas aliada à maior intensidade dos esforços.

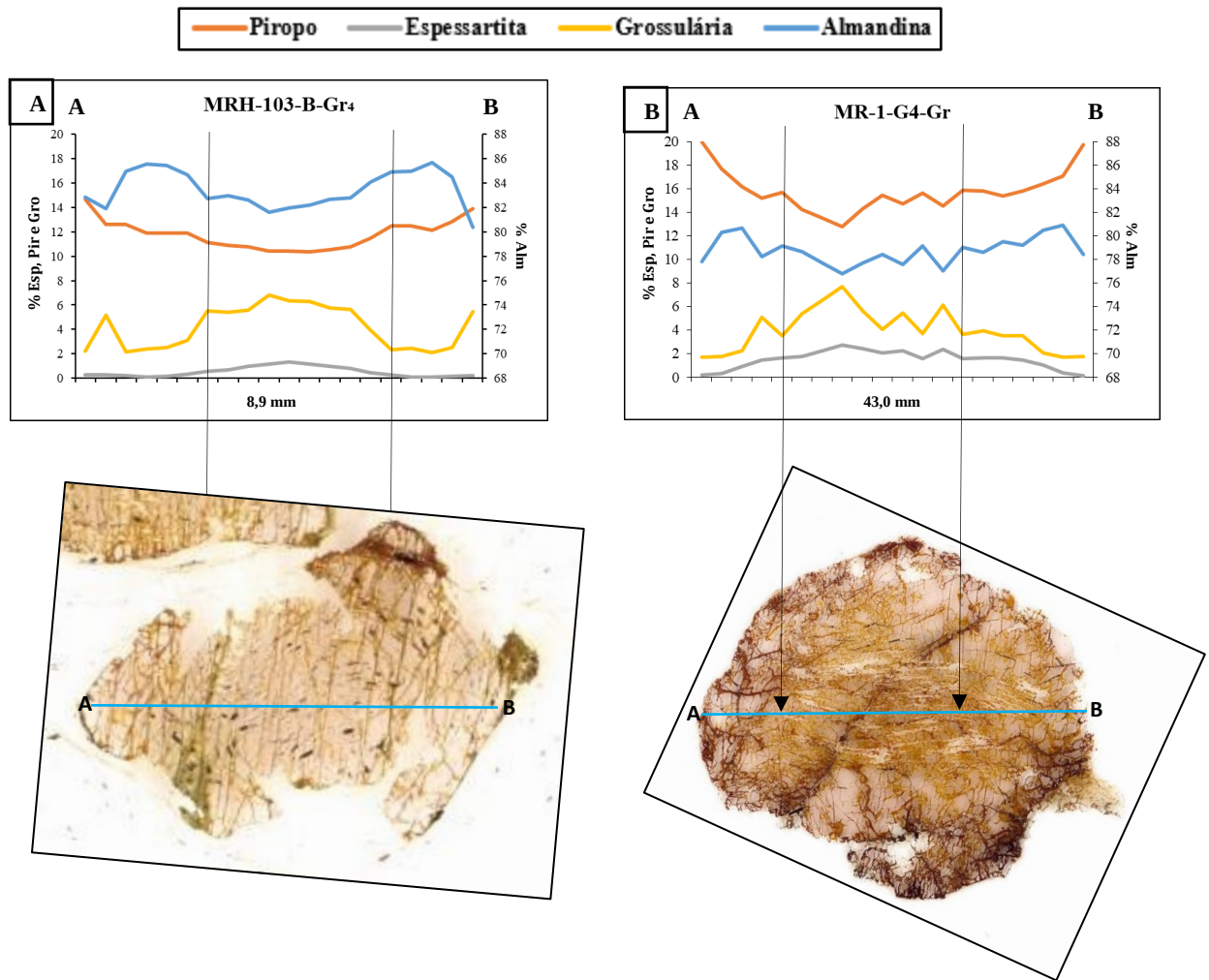


Figura 4.23: Comparação entre os padrões de inclusões e os perfis composicionais dos porfiroblastos (A) e megaporfiroblastos (B) de granada. A linha horizontal sobre as imagens dos porfiroblastos correspondem à localização dos perfis químicos. As setas pretas indicam a posição de inflexão das curvas composicionais, principalmente para piropo, grossulária e espessartita.

4.3 Discussão

As ocorrências de megaporfiroblastos na *Nappe* de Passos, embora já conhecidas desde a segunda metade da década de 1980 (ver Correia, 1986), até então não haviam sido examinadas com detalhe, sendo este trabalho uma primeira abordagem do tema, visando principalmente a caracterização da forma de ocorrência, posicionamento estratigráfico, microestruturas, relação cinemática com os eventos deformacionais e significado na evolução da *Nappe* de Passos.

A formação destes megacristais é intrigante. Por se apresentarem como ocorrências localizadas, uma das hipóteses consideradas é que estivessem controladas por zonas de cisalhamento que pudessem ter favorecido e condicionado a percolação de fluidos conduzindo

a formação de megacristais (BELL *et al.*, 1986; BELL & CUFF, 1989; CARLSON, 1989; ERAMBERT & AUSTRHEIM, 1993; CUSSLER, E. L., 2009; BAXTER *et al.*, 2013). Entretanto, a ocorrência estudada está situada no topo da unidade E, hospedada em biotita-cianita-granada-muscovita xisto, constatando-se dois níveis estratigráficos com megaporfiroblastos, a 60 e 340 m da base da Unidade F. Em escala de afloramento, foi possível identificar que os megaporfiroblastos ocorrem em camadas decimétricas, intercaladas com outras camadas decimétricas, também de $\pm$ cianita-granada-muscovita xistos. Como a foliação principal S_2 corta em baixo ângulo as camadas, pode-se descartar a possibilidade de que o desenvolvimento dos megaporfiroblastos tenha sido controlado por zonas de cisalhamento de fase D_2 . Além disso, o padrão de inclusões dos megaporfiroblastos mostra S_i ($=S_1$) reta a suavemente crenulada no núcleo, com aumento da intensidade da crenulação para a borda do cristal, indicando que começaram a crescer após a fase D_1 , um pouco antes ou durante o início da fase D_2 . Por isso, a formação desses megacristais não deve ter relação genética com a fase D_1 .

A formação de cristais em rochas metamórficas envolve duas etapas essenciais: nucleação e crescimento. Para a nucleação, obrigatoriamente ocorre mudança das condições físico-químicas para que minerais reagentes gerem um produto, causando a redução da energia livre do sistema (ΔG), que é proporcional ao volume do produto gerado. O processo requer que em um ponto da rocha ocorra a quebra da fase original e reorganização dos átomos em uma nova estrutura que, devido ao pequeno tamanho, é altamente instável (YARDLEY, 1989; VERNON & CLARKE, 2008). Para a permanência desses núcleos é necessário que a energia exigida para o início da reação seja sobrepassada para que ocorra a estabilização dos novos núcleos e o cristal possa crescer. A importância dessa energia adicional nas reações metamórficas tem sido destacada em diversos trabalhos (GEORGE & GAIDIES, 2017; SPEAR, 2017; SPEAR & WOLFE, 2018; PATTISON *et al.*, 2011; SPEAR *et al.*, 2014; CARLSON *et al.*, 2015), podendo, por vezes, envolver diferença de temperatura da ordem de dezenas de graus Celsius ou alguns kbar (SPEAR, 2017).

A etapa de crescimento inclui alguns processos que atuam em conjunto, como, por exemplo, a dissolução dos reagentes, a estabilização dos núcleos da nova fase, transporte dos componentes dos reagentes até o núcleo recém-formado, remoção dos elementos em excesso e incorporação dos elementos-produto na fase em crescimento através da interface matriz-cristal (DANIEL & SPEAR, 1999).

Como as reações para a formação de granada nas *fácies* xisto verde e anfibolito verde, envolvem, em geral, o consumo de fases hidratadas (por exemplo, clorita e biotita), o mecanismo de difusão se processa através de fase fluida intergranular (YARDLEY, 1989; CARLSON, 1989; CARLSON & GORDON, 2004). O crescimento do cristal pode ser controlado pela difusão ou interface (incorporação de material ao cristal em desenvolvimento), em função do primeiro ou do segundo ser mais lento em relação ao outro. Se o crescimento for controlado pelo processo de interface, então, todos os cristais crescerão com igual incremento de raio, independente do seu tamanho (KRETZ, 1974). Estes dois processos de crescimento, em geral, atuam em conjunto e a participação de cada um no desenvolvimento de uma fase mineral pode ser variada, além de ser passível de mudar durante o metamorfismo, em função do crescimento do porfiroblasto, e variações na temperatura, deformação e atividade de fluido.

Considerando esses conceitos, a formação de cristais com tamanhos exagerados, como no caso dos megaporfiroblastos de granada da *Nappe* de Passos, exige a soma de condições favoráveis. Portanto, é provável que não tenha havido significativa limitação de nenhum dos dois processos mencionados acima. Ou seja, a difusão e a incorporação de material na interface matriz-cristal devem ter atuado de forma efetiva para viabilizar o desenvolvimento dos megacristais.

Spear & Daniel (2001) destacam que a velocidade de crescimento do porfiroblasto varia em função do tipo de limite de grão envolvido, sendo maior ao longo de contatos triplos e menor em contatos duplos, podendo-se extrapolar isso para outros tipos de estruturas que facilitem o processo de difusão (como, por exemplo, a presença de duas foliações em ângulo e microfraturas). Nos dois locais com boas exposições das rochas hospedeiras dos megaporfiroblastos estudados (pontos MR-1 e MR-6), identificou-se que a foliação S_2 está oblíqua à S_1/S_0 , sendo este um fator que facilitador para o mecanismo de difusão. Adicionalmente, as rochas portadoras de megaporfiroblastos, assim como as camadas adjacentes, possuem expressivas quantidades de cianita (aproximadamente 12% da composição total), cuja formação é, ao menos em parte, contemporânea à granada. Como a formação de cianita envolve quebra de fases hidratadas, o fluido liberado no sistema contribui para a maior efetividade do processo de difusão. Outro aspecto a se considerar é que uma vez fixadas as condições físico-químicas para formação de uma nova fase mineral em uma dada composição de rocha, o volume total dessa nova fase pode ser representado por um grande número de pequenos cristais ou um pequeno número de cristais grandes, sendo que isso dependerá da quantidade de pontos nucleação. Então, os protólitos das rochas hospedeiras dos

megaporfiroblastos da *Nappe* de Passos deviam apresentar poucos pontos de nucleação, favorecendo a formação dos megacristais.

Um aspecto intrigante é que embora as condições de temperatura estimadas para a *Nappe* de Passos indiquem aumento progressivo da base para o topo, caracterizando um gradiente metamórfico inverso, as ocorrências conhecidas de megaporfiroblastos se restringem à porção intermediária desse gradiente (entre a porção superior da Unidade E e a inferior da Unidade G). Considerando-se que a temperatura é um dos principais fatores controladores do tamanho dos grãos em rochas metamórficas, seria esperado que os maiores cristais de cada fase mineral fossem encontrados na parte superior desse gradiente, como foi reconhecido nessa *nappe* (SIMÕES, 1995) para o quartzo (nos quartzitos) e anfibólio (nos anfibolitos), que mostram predominância de grãos mais grossos na unidade I.

Estudos de distribuição de tamanho de cristais (do inglês *CSD – crystal size distribution*) evidenciam que, em metamorfismo regional, a curva de número de grãos por volume *versus* o tamanho do cristal mostra típico padrão em sino (KRETZ, 1973). Interpreta-se que o *CSD* verificado para os cristais metamórficos são resultado direto de processo contínuo de nucleação e crescimento associado a mudança de temperatura. O valor máximo de cristais corresponderia ao período máximo da nucleação (KRETZ, 1973).

Embora nenhum estudo quantitativo de *CSD* tenha sido feito para as rochas com megaporfiroblastos da *Nappe* de Passos, a observação das amostras sugere que a moda do tamanho dos grãos está nos valores médios, com menor frequência dos tamanhos pequeno e grande. Padrões de *CSD* em rochas de diferentes zonas metamórficas mostram maior densidade nos grãos de tamanhos médios, sendo que o tamanho da classe de maior densidade aumenta em direção às zonas mais metamórficas, enquanto que o número de grãos da classe de maior densidade apresenta tendência inversa em direção a elas (CASHMAN & FERRY, 1988). Levando-se em conta esses aspectos, realmente seria esperado que os maiores porfiroblastos de granada fossem encontrados na porção superior da *Nappe* de Passos.

As relações estruturais e as feições texturais, conforme comentado acima, descartam a possibilidade de que a formação dos megaporfiroblastos possa estar controlada por alguma zona de cisalhamento. Esses cristais ocorrem em camadas decimétricas intercaladas com outras camadas de xistos granadíferos similares, porém com tamanhos de granada menores. Além disso, eles apresentam feições microestruturais e químicas idênticas àquelas vistas para porfiroblastos de granada de tamanho comum. O conjunto de dados sugere que o principal fator

para a formação desses megacristais foi a composição do protólito, caracterizada por ser altamente aluminosa, associada a um pequeno número de pontos de nucleação.

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES

Este trabalho representa uma primeira iniciativa de investigação da peculiar ocorrência de megaporfiroblastos de granada ($\geq 3\text{cm}$) na *Nappe* de Passos. Os estudos realizados permitiram caracterizar diversos aspectos relativos à forma de ocorrência e significado na evolução estrutural da *nappe*. Adicionalmente, os trabalhos de campo realizados na porção NW da *Nappe* de Passos trazem uma contribuição na caracterização das grandes dobras presentes na área.

As ocorrências de megaporfiroblastos na *Nappe* de Passos são descritas nas porções sul e sudeste dessa unidade litotectônica, posicionadas no topo da Unidade E e base da Unidade G. Com o levantamento de campo realizado no segmento noroeste da *Nappe* de Passos, envolvendo trinta perfis cortando as Unidades E, F, G, H e I, não foram encontradas novas ocorrências de megaporfiroblastos. Levando-se em conta o trabalho executado e a pronunciada alteração intempérica da região, não se pode excluir a possibilidade de ocorrência de megaporfiroblastos, mas, caso ocorram, devem ser raros e pouco expressivos.

Os trabalhos de campo feitos no setor NW permitiram realizar uma melhor definição geométrica do fechamento noroeste da Braquissinformal de Passos e demonstrar o caráter braquiantiformal da Antiforma de Itaú de Minas. Como ambas afetam a foliação principal (S_2) e por apresentam eixos na direção NW, elas são atribuídas à fase D_3 . Apresentam planos axiais subverticais com eixo 139/2 para o fechamento NW da Braquissinformal de Passos e eixo 146/2 na porção NW e 325/17 na porção SE para a Braquiantiformal de Itaú.

O estudo dos megaporfiroblastos foi realizado em uma ocorrência no sudeste da *Nappe* de Passos situada na porção superior da Unidade E, identificando-se que eles se encontram hospedados em camadas decimétricas de biotita-cianita-granada-quartzo-muscovita xistos, que se alternam a camadas de composições semelhantes, porém contendo porfiroblastos de tamanho usual (0,2 a 1,5 cm). Ocorre em dois níveis estratigráficos distintos, a 340 e a de 60 metros da base da Unidade F.

Os megaporfiroblastos de granada apresentam formato predominantemente elipsoidal, em geral, com diâmetros maior e intermediário paralelos ao plano da foliação S_2 (plano XY), sendo o diâmetro maior orientado de modo preferencialmente paralelo à lineação mineral (X). Este comportamento geométrico pode ser interpretado como produto de crescimento controlado com base em anisotropias preexistentes ($S_0//S_1$), vinculado ao campo de deformação D_2 ,

conforme evidenciado pelas microestruturas observadas no interior desses cristais, assim como na matriz.

Foram estudadas as microestruturas de quarenta e seis megaporfiroblastos, sendo vinte e nove seccionados segundo o plano YZ e os demais segundo o plano XZ, assim como de sessenta e nove porfiroblastos de granada de tamanhos comuns, de diversos pontos, porém todos da Unidade E, sendo quarenta e dois no corte YZ e o restante XZ. Os padrões de inclusões são essencialmente idênticos para os dois tipos de porfiroblastos. As seções perpendiculares à L_2 (plano YZ) são as que melhor definem os padrões de Si, que é representado por trilhas de inclusões, retilíneas a levemente onduladas no centro passando progressivamente para crenulada em suas porções de borda. Nas seções XZ, as trilhas de inclusões são, em geral, retilíneas passando a levemente curvadas nas bordas.

Esses padrões de Si evidenciam crescimento sincinemático aos estágios iniciais de uma crenulação, interpretada como relacionada à fase D_2 , que gerou a foliação principal (S_2) das rochas da *Nappe* de Passos. Os eixos das crenulações inclusas nos porfiroblastos apresentam direção subparalela à lineação mineral referente à fase principal (L_2). A ausência de continuidade entre Si e Se e a posição variada dos planos axiais das crenulações presentes no interior dos porfiroblastos, indicam prosseguimento da deformação após cessar o crescimento dos porfiroblastos. A continuidade da deformação causou o apertamento das crenulações com transposição e obliteração parcial de S_1 , formando a foliação principal da área (S_2). A Si é interpretada como a foliação S_1 , estando preservada no porfiroblasto. Sombras de deformação assimétricas adjacentes aos dois tipos de porfiroblastos evidenciam deformação não-coaxial, com transporte de topo para SE, coerente com o transporte da *Nappe* de Passos.

Os perfis químicos de megaporfiroblastos e porfiroblastos comuns revelam comportamento idêntico entre os dois tipos de cristais. Guardam zonação de crescimento com aumento dos componentes almandina e piropo do núcleo em direção à borda, enquanto que espessartita e grossulária apresentam tendência inversa. Essa assinatura química, juntamente com o aumento no tamanho das inclusões do núcleo para a borda e redução de sua frequência nesse mesmo sentido, indicam que o crescimento dos porfiroblastos foi acompanhado de aumento de temperatura.

Com base nos parâmetros investigados no presente trabalho, verifica-se que os megaporfiroblastos exibem história tectonometamórfica idêntica aos porfiroblastos comuns. A forma de ocorrência dos megaporfiroblastos, acompanhando os planos de acamamento, com a foliação principal (S_2) oblíqua a esse plano, tendo crescido durante os estágios iniciais de D_2

(portanto, pós-D₁), indica que seu desenvolvimento não deve estar relacionado a zonas de cisalhamento destas duas fases, levando a concluir que o principal controle para a formação dos megacristais foi a composição original da rocha sedimentar, associando alto teor de alumínio combinado a reduzido número de pontos de nucleação para formação de granada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALKMIM, F. F. O que faz de um cráton um cráton? O Cráton do São Francisco e as revelações almeidianas ao delimitá-lo. In: **Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo (SP): Editora Beca, p. 17-34, 2004. p. 17-34.
- ALMEIDA, F. F. M. Evolução tectônica do centro-oeste brasileiro no Proterozóico Superior. In: Academia Brasileira de Ciências, 1968, 40., Rio de Janeiro (RJ). **Anais...** Rio de Janeiro (RJ): Academia Brasileira de Ciências, 1968, v. 40, 1968 (Suplemento).
- ARAÚJO FILHO, J. O. Contribuição à estratigrafia e tectônica da Megainflexão dos Pirineus. In: Simpósio de Geologia do Centro-Oeste, 1981, 1., Goiânia (GO). **Anais...** Goiânia (GO): Sociedade Brasileira de Geologia (Núcleo do Centro-Oeste), 1981. v. 1, p. 24-26.
- ARAÚJO FILHO, J. O. de The Pirineus syntaxis: an example of the intersection of two brasiliano Fold-Thrust belts in central Brazil and its implications for the tectonic evolution of western Gondwana. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, n. 1, p. 144-148, 2000.
- BAXTER, E. F.; CADDICK, M. J.; AGUE, J. J. Garnet: common mineral, uncommonly useful. **Elements**, v. 9, n. 6, p. 415-419, 2013.
- BELL, T. H.; CUFF, C. Dissolution, solution transfer, diffusion versus fluid flow and volume loss during deformation/metamorphism. **Journal of Metamorphic Geology**, v. 7, n. 4, p. 425-447, 1989.
- BELL, T. H.; RUBENACH, M. J.; FLEMING, P. D. Porphyroblast nucleation, growth and dissolution in regional metamorphic rocks as a function of deformation partitioning during foliation development. **Journal of Metamorphic Geology**, v. 4, n. 1, p. 37-67, 1986.
- BRITO NEVES, B. B.; CORDANI, U. G. Tectonic evolution of South America during the Late Proterozoic, **Precambrian Research**, Amsterdam (Netherlands), v. 53, p. 23-40, 1991.
- CADDICK, M. J.; KONOPÁSEK, J.; THOMPSON, A. B. Preservation of garnet growth zoning and the duration of prograde metamorphism. **Journal of Petrology**, v. 51, n. 11, p. 2327-2347, 2010.
- CAMPOS NETO, M. C.; CABY, R. Lower crust extrusion and terrane accretion in the Neoproterozoic nappes of southeast Brazil. **Tectonics**, v. 19, n. 4, p. 669-687, 2000.
- CAMPOS NETO, M. D. C. *et al.* (1984). A nappe de cavalgamento Socorro (SP-MG). In: Congresso Brasileiro de Geologia, 1984, 33., Rio de Janeiro (RJ). **Anais...** Rio de Janeiro (RJ): Sociedade Brasileira de Geologia, 1984, v. 33, n. 4, p. 1809-1822.
- CARLSON, W. D. The significance of intergranular diffusion to the mechanisms and kinetics of porphyroblast crystallization. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v. 103, n. 1, p. 1-24, 1989.
- CARLSON, W. D.; GORDON, C. L. Effects of matrix grain size on the kinetics of intergranular diffusion. **Journal of Metamorphic Geology**, v. 22, n. 8, p. 733-742, 2004.
- CARLSON, W. D.; PATTISON, D. R. M.; CADDICK, M. J. Beyond the equilibrium paradigm: How consideration of kinetics enhances metamorphic interpretation. **American Mineralogist**, v. 100, n. 8-9, p. 1659-1667, 2015.
- CASHMAN, K. V.; FERRY, J. M. Crystal size distribution (CSD) in rocks and the kinetics and dynamics of crystallization. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v. 99, n. 4, p. 401-415, 1988.

CODEMIG. Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais. **Levantamento Aerogeofísico de Minas Gerais – Programa 2005/2006**. Belo Horizonte (MG), 2006. 12 mapas: 2977 x 2891 pixels. Convênio CODEMIG / CPRM (Serviço Geológico do Brasil).

CORREIA, C. T. **Geologia da Folha de Cássia-MG, e petrologia de seus anfibolitos**. 1986. 123 f. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Mineralogia e Petrologia) – Instituto de Geociências (IGC), Universidade de São Paulo (USP), 1986.

CORTES, J. P. S. **Compartimentação e evolução geomorfológica da borda ocidental da Serra da Canastra-MG**. 2014. 116 f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), 2003.

COSTA, L.A.M.; ANGEIRAS, A.G. Geosynclinal Evolution in the Epi-Baikalian Platform of Central Brazil, **Geologische Rundschau**, v. 60, n. 2, p. 1024-1050, 1971.

CUSSLER, E. L. **Diffusion: mass transfer in fluid systems**. Cambridge (United Kingdom): Cambridge University press, 2009. 631 p.

DANIEL, C. G.; SPEAR, F. S. The clustered nucleation and growth processes of garnet in regional metamorphic rocks from north-west Connecticut, USA. **Journal of Metamorphic Geology**, v. 17, n. 5, p. 503-520, 1999.

DARDENNE, M.A. Zonagem Tectônica na borda ocidental do Cráton São Francisco. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 1978, 30., Recife (PE). **Anais...** Recife (PE), Sociedade Brasileira de Geologia, v. 33, 1978, p. 299-308.

DEMPSTER, T. J. *et al.* Chemical and textural equilibration of garnet during amphibolite facies metamorphism: The influence of coupled dissolution–reprecipitation. **Journal of Metamorphic Geology**, v. 35, n. 9, p. 1111-1130, 2017.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE MINAS GERAIS (DER-MG). **Mapa rodoviário**. 2013. Disponível em: <<http://www.deer.mg.gov.br/transportes/mapa-rodoviario>>. Acesso em 30.jul.2018.

FERNANDES, R. A.; CARNEIRO, M. A. O complexo metamórfico Campo Belo (Cráton São Francisco Meridional): unidades litodêmicas e evolução tectônica. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, n. 4, p. 671-678, 2000.

ERAMBERT, M.; AUSTRHEIM, H. The effect of fluid and deformation on zoning and inclusion patterns in poly-metamorphic garnets. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v. 115, n. 2, p. 204-214, 1993.

FONSECA, M. A.; DARDENNE, M. A.; UHLEIN, A. Faixa Brasília, Setor Setentrional: estilos estruturais e arcabouço tectônico. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 25, n. 4, 1995. p. 267-278.

FUCK, R. A. Dobramentos neoproterozóicos da margem Ocidental do Cráton do São Francisco: revisão. In: 36º Congresso Brasileiro de Geologia, 1990, 36., Natal (RN). **Resumos...** Natal (RN), Sociedade Brasileira de Geologia, v. 36, 1990. p. 288-289.

FUCK, R. A.; PIMENTEL, M. M.; SILVA, L. J. H. D. Compartimentação tectônica da porção oriental da Província Tocantins. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 1994, 38., Camboriú (SC). **Anais...** São Paulo (SP), Sociedade Brasileira de Geologia, v. 1, 1994. p. 215-216.

GENGO, R. M. **Petrologia de ortognaisses e granitóides do domínio Socorro, Nappe Socorro-Guaxupé, seção Extrema-Camanducaia**. 2014. 110 f. Dissertação (Mestrado em Mineralogia e Petrologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo (SP), 2014.

GEORGE, F. R.; GAIDIES, F. Characterization of a garnet population from the Sikkim Himalaya: insights into the rates and mechanisms of porphyroblast crystallization. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v. 172, n. 7, p. 57, 2017.

GUIA MONTE VERDE. **Mapa rodoviário do Estado de Minas Gerais**. 2017. Disponível em: <<http://guiamonteverde.com.br/mapas/mapamg.html>>. Acesso em 30.jul.2018.

HASUI, Y. Compartimentação Geológica do Brasil. In: HASUI, Y. *et al.* (Orgs.) **Geologia do Brasil**. São Paulo (SP): Editora Beca, 2012. pp. 112-122.

HEILBRON, M. *et al.* O contato basal do Grupo Canastra entre Itaú de Minas e Carmo do Rio Claro, MG. **Simpósio de Geologia de Minas Gerais**, v. 4, 1987. p. 179-198.

HOPPE, A.; KLEIN, H.; CHOUDHRURI, A. & SCHMIDT, W. Eclogitos pré-cambrianos no sudoeste de Minas Gerais. In: Simpósio de Geologia de Minas Gerais, 3., 1985, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte (MG): Sociedade Brasileira de Geologia, 1985. p. 180-192.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Divisão do Brasil em Mesorregiões e Microrregiões**. Rio de Janeiro (RJ): IBGE, 1990. v. 1, 135 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20%20RJ/DRB/Divisao%20regional_v01.pdf>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa de Vegetação do Brasil**. Rio de Janeiro (RJ): IBGE, 2004. 1 mapa, colorido. Escala 1:5.000.000. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas/tematicos/mapas_murais/vegetacao.pdf>. Acesso em: 18.out. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Divisão Regional do Brasil em Regiões Geográficas Imediatas e Regiões Geográficas Intermediárias**. Rio de Janeiro (RJ): IBGE, 2017. 82 p. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv100600.pdf>>. Acesso em: 1.ago.2018.

JOHNSON, S. E. Porphyroblast microstructures: A review of current and future trends. **American Mineralogist**, Lawrence, v.84, n.11/12, p.1711-1726, 1999.

KAEFER, L. Q. *et al.* Projeto Sapucaí: Estado de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. **Boletim CPRM – Série Geológica**, DNPM / CPRM, Superintendência Regional de São Paulo, São Paulo (SP), v. 2, p. 30-34, 1979. (Relatório Final de Geologia).

KRETZ, R. Kinetics of the crystallization of garnet at two localities near Yellowknife. **The Canadian Mineralogist**, v. 12, n. 1, p. 1-20, 1973.

KRETZ, R. Some models for the rate of crystallization of garnet in metamorphic rocks. **Lithos**, v. 7, n. 3, p. 123-131, 1974.

KRETZ, R. Symbols for rock-forming minerals. **American mineralogist**, v. 68, p. 277-279, 1983.

LUVIZOTTO, G. L. **Caracterização metamórfica das rochas do grupo Araxá na região de São Sebastião do Paraíso, Sudoeste de Minas Gerais**. 2003. 185 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), 2003.

LUVIZOTTO, G. L.; SIMÕES, L. S. A.; SOUZA, D. M. Geothermobarometry of retro-eclogites from the Passos Nappe in São Sebastião do Paraíso - MG, Brazil. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 46., 2012, Santos (SP). **Anais....** São Paulo (SP), Sociedade Brasileira de Geologia, v. 1, 2012.

LUVIZOTTO, G. L. *et al.* (Coords.) **Mapeamento Geológico de Áreas Cristalinas: Projeto Fumal (MG)**. Rio Claro (SP), 2015. 8 mapas, color. Escala 1:25.000. (Inédito).

MARINI, O.J.; FUCK, R.A.; DANNI, J.C. & DARDENNE, M.A. 1981. A evolução Geotectônica da Faixa Brasília e do seu embasamento. In: Simpósio sobre o Cráton do São Francisco e suas faixas marginais, 1., 1981, Salvador (BA). **Anais...** Salvador (BA), Sociedade Brasileira de Geologia, v.1, 1981. p. 100-105.

MORALES, N. *et al.* Geologia das folhas de Fortaleza de Minas, Alpinópolis, Jacuí e Nova Resende, MG. In: Simpósio de Geologia de Minas Gerais, 5., 1983, Belo Horizonte (MG). **Anais...** Belo Horizonte (MG), Sociedade Brasileira de Geologia, v. 2, 1983. p. 411-422.

MORALES, N. *et al.* Evolução tectônica do Grupo Araxá nas serras do Chapadão e da Fortaleza, sudoeste do estado de Minas Gerais. **Geociências**, v.15, n. especial, p. 41 – 66, 1996.

NUNES, E.; NÓBREGA JÚNIOR, O. B. A geomorfologia do Brasil. Natal (RN): Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), 2009. Disponível em: <http://www.ead.uepb.edu.br/ava/arquivos/cursos/geografia/geografia_fisica_I/GEOFISAULA12.pdf>. Acesso em 30 set. 2017.

OLIVEIRA, A.H.; CARNEIRO, M. A. Campo Belo Metamorphic Complex: Tectonic Evolution of an Archean sialic crust of the southern São Francisco Craton in Minas Gerais (Brazil). In: Academia Brasileira de Ciências, 73., 2001, Rio de Janeiro (RJ). **Anais...** Rio de Janeiro (RJ), v. 73, n. 3, 2001. p. 397-415.

PASSCHIER, C. W.; TROUW, R. A. J. **Microtectonics**. Berlin (Germany): Springer, 2005. 2 ed. 366 p.

PATTISON, D. R. M.; DE CAPITANI, C.; GAIDIES, F. Petrological consequences of variations in metamorphic reaction affinity. **Journal of Metamorphic Geology**, v. 29, n. 9, p. 953-977, 2011.

PIMENTEL, M. M. *et al.* The tectonic evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil, based on SHRIMP and LA-ICPMS U–Pb sedimentary provenance data: a review. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 31, n. 4, p. 345-357, 2011.

PIMENTEL, M. M. The tectonic evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil: a geochronological and isotopic approach. **Brazilian Journal of Geology**, v. 46, p. 67-82, 2016.

ROBYR, M. *et al.* Microstructural, chemical and textural records during growth of snowball garnet. **Journal of Metamorphic Geology**, v. 27, n. 6, p. 423-437, 2009.

RODRIGUES, J. B. **Proveniência de sedimentos dos grupos Canastra, Ibiá, Vazante e Bambuí: um estudo de zircões detríticos e idades modelo Sm-Nd**. 2008. 128 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências (IG), Universidade de Brasília. Brasília (DF), 2008.

ROSS, J. L. S. **Geografia do Brasil**. 6. ed. São Paulo (SP): Editora da Universidade de São Paulo, 2011. 552 p.

ROSSI, A.; VALERIANO, C. M.; ALMEIDA, J. C. H. Mapa geológico-estrutural preliminar da Folha Furnas 1:50.000, Nappe de Passos, Faixa Brasília Meridional. In: XLIII Congresso Brasileiro de Geologia, 43., 2006, Aracaju (SE). **Anais...** São Paulo (SP): Sociedade Brasileira de Geologia, 2006. v. 1. p. 179-179.

SANTOS, T. E. S. S.; SIMÕES, L. S. A. Caracterização estrutural de um segmento da rampa lateral de Capitólio, limite norte da *Nappe* de Passos (MG). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 39, n. 2, p. 360-374, 2009.

SCHMIDT, W.; FLEISCHER, R. Estilo estrutural do Pré-cambriano no sudeste de Minas Gerais. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 30. 1978, Recife (PE). **Anais...** Recife (PE): Sociedade Brasileira de Geologia, v. 1, 1978. p. 431-434.

SCHMIDT, A. *et al.* Lu–Hf geochronology on cm-sized garnets using microsampling: New constraints on garnet growth rates and duration of metamorphism during continental collision (Menderes Massif, Turkey). **Earth and Planetary Science Letters**, v. 43, n. 2, p. 24-35, 2015.

SCHRANK, A. **Petrologie des komatiites et des raches associées de la ceinture verte du massif précambrien de Piumhi (Minas Gerais-Brésil)**. 1982. 272 f. Tese (Doutorado) - Tese de Doutorado, Universidade de Paris Sud – ORSAY. Paris (França), 1982.

SILVA, C. H. **Evolução Geológica da Faixa Brasília na Região de Tapira, Sudoeste de Minas Gerais**. 2003. 196 f. Tese (Doutorado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Rio Claro (SP), 2003.

SIMÕES, L. S. A. **Evolução Tectonometamórfica da *Nappe* de Passos, sudoeste de Minas Gerais**. 1995. 149 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências (IGc) da Universidade de São Paulo. São Paulo (SP), 1995.

SIMÕES, L. S. A.; VALERIANO, C. M. Porção meridional da Faixa de Dobramentos Brasília: estágio atual do conhecimento e problemas de correlação tectono-estratigráfica. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 36., 1990. Natal (RN). **Anais...** São Paulo (RN): Sociedade Brasileira de Geologia, v. 6, 1990. p. 2564 – 2575.

SIMÕES, L. S. A.; GIRARDI, V. A. V. O significado do padrão de inclusões e do quimismo das granadas da *Nappe* de Passos, no metamorfismo inverso da porção meridional da Faixa Brasília. **Geociências**, v. 15, n. 1, p. 185-198, 1996.

SIMÕES, L. S. A. *et al.* Zonação metamórfica inversa do Grupo Araxá-Canastra na região de São Sebastião do Paraíso-Alpinópolis, MG. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 35., 1988, Belém (PA). **Anais...** São Paulo (SP): Sociedade Brasileira de Geologia, 1988. v. 4, p. 1203-1215.

SIMÕES, L. S. A. *et al.* (Coords.) **Mapeamento Geológico de Áreas Cristalinas: Projeto Cássia I**. Rio Claro (SP), 1990. 8 mapas, color. Escala 1: 25.000. (Inédito).

SIMÕES, L. S. A. *et al.* (Coords.) **Mapeamento Geológico de Áreas Cristalinas: Projeto Cássia II**. Rio Claro (SP), 1991. 8 mapas, color. Escala 1: 25.000. (Inédito).

SIMÕES, L. S. A. *et al.* Folha Delfinópolis (SF-23-V-A-III). Rio Claro (SP): UNESP/CPRM, 2006. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Programa Geologia do Brasil - Levantamentos Geológicos Básicos**. Brasília (DF): CPRM, 2006. 1 mapa, colorido. Escala 1:100.000. (Inédito).

SIMÕES, L. S. A. *et al.* Geologia da *Nappe* de Passos na Região da Represa de Estreito. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 2016, Porto Alegre RS. **Anais...** São Paulo: SBG, 2016. p. 1-1.

SOUZA, D. M. **Estudo do metamorfismo e fusão em rochas pelíticas do Grupo Araxá na Região de São Sebastião do Paraíso - MG**. 2013. 80 f. Trabalho de conclusão de curso (Geologia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista (UNESP). Rio Claro (SP), 2013.

- SPEAR, F. S. Zoned Metamorphic Minerals. In: _____. **Metamorphic phase equilibria and pressure-temperature-time paths**, Washington (DC): Mineralogical Society of America, 1995. pp. 575-639. (Segunda Impressão, Corrigido).
- SPEAR, F. S. Garnet growth after overstepping. **Chemical Geology**, v. 466, p. 491-499, 2017.
- SPEAR, F. S.; DANIEL, C. G. Diffusion control of garnet growth, Harpswell Neck, Maine, USA. **Journal of Metamorphic Geology**, v. 19, n. 2, p. 179-195, 2001.
- SPEAR, F.S.; WOLFE, O. M. Evaluation of the effective bulk composition (EBC) during growth of garnet. **Chemical Geology**, v. 491, p. 39-47, 2018.
- SPEAR, F. S.; THOMAS, J. B.; HALLETT, B. W. Overstepping the garnet isograd: a comparison of QuiG barometry and thermodynamic modeling. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v. 168, n. 3, p. 1059, 2014.
- STRIEDER, A. 1993. **Deformação e metamorfismo na região de Santa Cruz de Goiás: correlação tectono-estratigráfica e evolução tectônica regional**. 1993. 258 f. Tese (Doutorado em Geologia), Instituto de Geociências (IG), Universidade de Brasília (UnB), Brasília (DF), 1993.
- TEIXEIRA, N. A.; DANNI, J. C. M. Contribuição à estratigrafia do Grupo Araxá na região de Passos, MG. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 30., 1978, Recife (PE). **Anais...** São Paulo (PE): Sociedade Brasileira de Geologia, v. 2, 1978. p. 700-710.
- TEIXEIRA, W. *et al.* Polyphase Archean evolution in the Campo Belo metamorphic complex, Southern São Francisco Craton, Brazil: SHRIMP U-Pb zircon evidence. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 11, n. 3, p. 279-289, 1998.
- TROUW, R. A. J.; TAVARES, F.M.; ROBYR, M. Rotated garnets: a mechanism to explain the high frequency of inclusion trail angles around 90° and 180°. **Journal of Structural Geology**, v. 30, p. 1024-1033, 2008.
- TURBAY, C. V. G.; VALERIANO, C. de M. Litogeoquímica do Complexo Campos Gerais e granitoides intrusivos, Arqueano/Paleoproterozoico, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 42, n. 4, p. 663-689, 2012.
- UHLEIN, A. *et al.* Tectônica da Faixa de Dobramentos Brasília – setores setentrional e meridional. **Revista Geonomos**, v. 2, n. 20, 2012.
- VALERIANO, C. M. **Evolução tectônica da extremidade meridional da Faixa Brasília, região da Represa de Furnas, sudoeste de Minas Gerais**. 1992. 192 f. Tese de Doutorado (Mestrado em Tectônica) - Instituto de Geociências (IGC), Universidade de São Paulo (USP), São Paulo (SP), 1992.
- VALERIANO, C. M. The Southern Brasília Belt. In: HEILBRON, M.; CORDANI, U. G.; ALKMIM, F. F. (Eds.). **São Francisco Craton, Eastern Brazil: Tectonic Genealogy of a Miniature Continent**. Berlin (Germany): Springer, 2017. p. 189-203.
- VALERIANO, C. D. M.; SIMÕES, L. S. A. Geochemistry of proterozoic mafic rocks from the Passos nappe (Minas Gerais, Brazil): tectonic implications to the evolution of the southern Brasília Belt. **Brazilian Journal of Geology**, v. 27, n. 1, p. 99-110, 1997.
- VALERIANO, L. S. A.; HEILBRON, M.; SIMÕES, L. S. A. Compartimentação tectônica da porção meridional da Faixa Brasília, nos segmentos de Araxá e da Represa de Furnas, Sudoeste de Minas Gerais In: Congresso Brasileiro de Geologia, 1994, 38., Camboriú (SC). **Anais...** São Paulo (SP), Sociedade Brasileira de Geologia, v. 1, 1994. p. 217-218.

VALERIANO, C. M.; SIMÕES, L. S. A.; GODOY, A. M. Compartimentação tectônica da porção meridional das Faixas Uruaçu e Brasília, SW de Minas Gerais: dados preliminares. In: Simpósio de Geologia de Minas Gerais, 1989, 5., Belo Horizonte (MG). **Anais...** Belo Horizonte (MG), Sociedade Brasileira de Geologia (Núcleo de Minas Gerais), 1989. p. 238-242.

VALERIANO, C. M.; SIMÕES, L. S. A.; HEILBRON, M. Estruturação da porção meridional da Faixa Brasília, sudoeste de Minas Gerais: implicações sobre a definição do limite regional do Cráton São Francisco. In: Simpósio sobre o Cráton de São Francisco, 1993, 2., Salvador (BA). **Anais...** Salvador (BA), Sociedade Brasileira de Geologia, 1993. p. 275-276.

VALERIANO, C. D. M. *et al.* Southern Brasilia Belt (SE Brazil): tectonic discontinuities, K-Ar data and evolution during the Neoproterozoic Brasileiro orogeny, **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, p. 195-199, 2000.

VALERIANO, C. D. M. *et al.* A evolução tectônica da Faixa Brasília. In: MANTESSO-NETO, V. *et al.* **Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo (SP): Editora Beca, 2004a. p. 575-592.

VALERIANO, C. D. M. *et al.* U-Pb geochronology of the southern Brasilia belt (SE-Brazil): sedimentary provenance, Neoproterozoic orogeny and assembly of West Gondwana. **Precambrian Research**, v. 130, n. 1, p. 27-55, 2004b.

VALERIANO, C. M. *et al.* U-Pb geochronology of zircons from orthogneisses of the Campos Gerais Complex south of Alpinópolis town (Minas Gerais, SE-Brazil) using the LAMC-ICPMS technique: reconstructing archaic nuclei in the southwestern margin of the São Francisco Craton. In: ALKIMIM, F. F.; NOCE, C. M. eds. The Paleoproterozoic record of the São Francisco Craton, IGCP 509. Field Workshop, Bahia and Minas Gerais States, Brazil, Field Guide, 2006, Ouro Preto (MG). **Abstracts...** Ouro Preto (MG): Ed. UFOP, 2006. p. 88-89.

VALERIANO, C. M. *et al.* Geologia da Folha Alpinópolis (SF-23-V-B-IV). Rio de Janeiro (RJ): UERJ/CPRM, 2007. 93 p. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Programa Geologia do Brasil - Levantamentos Geológicos Básicos**. Brasília (DF): CPRM, 2007. Acompanha 1 mapa, colorido. Escala 1:100.000 e CD-ROM. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia_basica/pgb/rel_alpinopolis.pdf>. Acesso em 15.abr.2018.

VERNON, R. H.; CLARKE, G. L. **Principles of metamorphic petrology**. Cambridge (United Kingdom): Cambridge University Press, 2008. 446 p.

WARREN, L. V. *et al.* The puzzle assembled: Ediacaran guide fossil Cloudina reveals an old proto-Gondwana seaway. **Geology**, v. 42, n. 5, p. 391-394, 2014.

WERNICK, E. **A geologia da região de Amparo (Leste do Estado de São Paulo)**. 1967. 235 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras (FFCL). Rio Claro (SP). 1967.

YARDLEY, B. W. D. **An introduction to metamorphic petrology**. London (United Kingdom): Longman Scientific & Technical, 1989. 248 p.

ZANARDO, A. **Análise petrográfica, estratigráfica e microestrutural da região de Guaxupé – Passos – Delfinópolis (MG)**. 1992. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP). Rio Claro (SP). 1992.

ZANARDO, A.; MORALES, N.; DEL LAMA, E. A. Evolução metamórfica do Grupo Araxá-Canastra na região de Passos (MG). In: Congresso Brasileiro de Geologia, 37., 1992, São Paulo (SP). **Anais...** São Paulo (SP): SBG, 1992. v. 1, p. 408-409.

ZANARDO A. *et al.* **Folha São Sebastião do Paraíso (SF-23-V-A-VI)**. Rio Claro (SP): UNESP, 2008. 1 mapa, colorido. Escala 1:100.000 (Inédito).

ZWART, H. J. On the determination of polymetamorphic mineral associations, and its application to the Bosost area (Central Pyrenees). **Geologische Rundschau**, v. 52, n. 1, p. 38-65, 1962.

APÊNDICE A: TABELAS DE ANÁLISES QUÍMICAS:

Apêndice A.1: Análises químicas feitas em megaporfiroblastos das Unidades E e G da *Nappe* de Passos através de utilizada microsonda eletrônica da marca *JEOL*, modelo *JXA-8230*. Condições de análise: diferença de potencial de 15 kV, corrente de 20 nA e diâmetro do feixe de 10 µm. **Obs.:** Cátions calculados para 24 Oxigênios.

MR-1-B-Gr1 (Unidade E)																			
Óxidos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	20
SiO ₂	37,30	37,54	37,09	36,91	36,98	37,09	37,06	36,99	36,74	36,77	36,96	36,95	36,97	36,69	36,41	36,55	37,19	37,28	36,94
TiO ₂	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	1,02	0,01	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	21,49	21,42	21,47	21,33	21,36	21,30	21,04	21,19	21,26	21,05	21,31	21,14	21,22	21,28	21,08	21,36	21,18	21,67	21,52
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	36,12	36,05	36,73	37,00	37,22	36,21	35,85	35,84	35,98	35,47	35,83	36,08	36,82	37,04	36,54	36,86	36,38	35,97	35,62
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,14	0,05	0,15	0,24	0,33	0,42	0,47	0,54	0,64	0,63	0,50	0,41	0,35	0,29	0,22	0,17	0,11	0,06	0,05
MgO	4,98	4,81	4,24	4,00	3,77	3,60	3,47	3,27	3,23	3,21	3,31	3,41	3,69	3,83	3,90	4,12	4,27	4,64	5,03
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,58	0,80	0,88	0,75	0,94	1,86	2,24	2,24	2,14	2,29	2,18	2,28	1,19	0,86	0,81	0,71	0,89	0,75	0,65
Na ₂ O	0,05	0,04	0,01	0,03	0,04	0,02	0,00	0,02	0,04	0,04	0,02	0,02	0,03	0,00	0,04	0,03	0,02	0,01	0,03
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	100,67	100,71	100,58	100,28	100,66	100,50	100,15	100,09	100,03	99,45	100,11	100,28	100,29	99,99	100,02	99,81	100,04	100,39	99,84
Cátions																			
SiO ₂	5,93	5,96	5,92	5,92	5,92	5,94	5,96	5,95	5,92	5,95	5,94	5,94	5,94	5,91	5,86	5,90	5,96	5,94	5,91
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	4,03	4,01	4,04	4,04	4,03	4,02	3,99	4,02	4,04	4,02	4,04	4,01	4,02	4,04	4,00	4,06	4,00	4,07	4,06
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	4,80	4,78	4,91	4,97	4,99	4,85	4,82	4,82	4,85	4,80	4,82	4,85	4,95	4,99	4,92	4,97	4,88	4,79	4,77
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,02	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,06	0,07	0,09	0,09	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01
MgO	1,18	1,14	1,01	0,96	0,90	0,86	0,83	0,78	0,78	0,77	0,79	0,82	0,88	0,92	0,94	0,99	1,02	1,10	1,20
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,10	0,14	0,15	0,13	0,16	0,32	0,39	0,39	0,37	0,40	0,38	0,39	0,20	0,15	0,14	0,12	0,15	0,13	0,11
Na ₂ O	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fase sólida																			
Almandina	78,74	78,91	80,61	81,62	81,84	79,69	78,97	79,49	79,74	79,24	79,56	79,32	81,32	81,85	81,64	81,39	80,40	79,47	78,34
Piropo	19,33	18,76	16,58	15,72	14,78	14,13	13,64	12,93	12,74	12,78	13,10	13,35	14,54	15,06	15,53	16,23	16,83	18,28	19,70
Espessartita	0,32	0,11	0,32	0,54	0,74	0,93	1,05	1,21	1,44	1,42	1,13	0,90	0,79	0,65	0,50	0,37	0,24	0,13	0,12
Grossulária	1,62	2,23	2,49	2,12	2,64	5,25	6,34	6,37	6,08	6,56	6,21	6,42	3,36	2,43	2,33	2,01	2,53	2,12	1,84

Óxidos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
SiO ₂	37,40	37,40	37,17	37,19	36,72	36,69	36,34	36,61	36,44	36,43	37,19	36,89	36,80	36,13	36,13	36,89	36,42	37,07	37,05
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,60	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	21,68	21,68	21,60	21,52	21,37	21,04	21,08	20,94	21,13	21,22	21,35	21,34	21,54	21,03	21,33	21,37	21,14	21,37	21,54
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	35,38	35,25	35,36	35,52	36,26	35,89	35,58	35,66	36,32	36,31	36,25	36,14	35,40	35,48	35,87	36,02	36,21	35,51	35,22
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,18	0,22	0,28	0,30	0,33	0,43	0,41	0,49	0,50	0,46	0,49	0,46	0,41	0,42	0,29	0,21	0,15	0,16	0,10
MgO	4,97	4,84	4,58	4,24	3,98	3,42	3,12	3,02	2,90	2,90	2,90	2,90	2,95	2,99	3,74	4,24	4,33	4,66	4,92
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,57	0,71	1,08	0,87	1,06	1,71	1,96	2,04	1,97	2,01	2,01	2,13	2,26	1,90	0,95	0,62	0,56	0,60	0,74
Na ₂ O	0,03	0,03	0,02	0,02	0,04	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,02	0,02	0,00	0,03	0,01	0,04	0,01	0,04	0,02
K ₂ O	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	100,22	100,14	100,09	99,67	99,75	99,23	98,49	98,79	99,27	99,33	100,21	99,88	99,36	97,99	98,32	99,40	99,42	99,41	99,58
Cátions																			
SiO ₂	5,95	5,95	5,93	5,96	5,92	5,95	5,94	5,97	5,93	5,92	5,98	5,95	5,95	5,94	5,91	5,95	5,88	5,96	5,93
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	4,06	4,07	4,07	4,07	4,06	4,02	4,06	4,02	4,05	4,07	4,04	4,06	4,11	4,08	4,11	4,06	4,03	4,05	4,07
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	4,70	4,69	4,72	4,76	4,89	4,87	4,86	4,86	4,94	4,94	4,87	4,88	4,79	4,88	4,90	4,86	4,89	4,77	4,72
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01
MgO	1,18	1,15	1,09	1,01	0,96	0,83	0,76	0,73	0,70	0,70	0,69	0,70	0,71	0,73	0,91	1,02	1,04	1,12	1,17
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,10	0,12	0,18	0,15	0,18	0,30	0,34	0,36	0,34	0,35	0,35	0,37	0,39	0,34	0,17	0,11	0,10	0,10	0,13
Na ₂ O	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fase sólida																			
Almandina	78,33	78,34	78,27	79,81	80,50	80,46	80,75	80,77	81,57	81,56	81,48	81,20	80,52	81,26	81,43	80,78	80,83	79,38	78,21
Piropo	19,63	19,15	18,05	16,99	15,75	13,65	12,62	12,19	11,62	11,62	11,62	11,62	11,95	12,18	15,15	16,96	17,23	18,55	19,47
Espessartita	0,41	0,50	0,62	0,69	0,75	0,96	0,93	1,13	1,14	1,04	1,11	1,05	0,94	0,97	0,66	0,48	0,34	0,35	0,22
Grossulária	1,63	2,01	3,05	2,51	3,01	4,92	5,69	5,91	5,67	5,78	5,79	6,13	6,60	5,58	2,76	1,77	1,59	1,71	2,10
Óxidos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

SiO2	37,36	37,38	37,36	37,40	37,13	37,12	35,20	37,39	37,14	37,42	37,92	37,15	37,67	37,83	37,54	36,95	37,30	37,53	37,17
TiO2	0,01	0,00	0,02	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
Al2O3	21,42	21,44	21,62	21,40	21,37	21,34	21,30	21,55	21,18	21,71	21,53	21,40	21,40	21,82	21,96	21,46	21,46	21,44	21,50
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	35,49	35,70	35,17	34,87	34,91	35,34	33,88	35,13	35,54	35,31	35,63	35,19	35,39	35,42	35,40	35,45	35,74	35,60	35,70
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,33	0,38	0,43	0,52	0,52	0,53	0,52	0,64	0,57	0,58	0,58	0,57	0,59	0,54	0,56	0,51	0,46	0,34	0,32
MgO	4,51	4,30	4,09	3,87	3,84	3,95	3,79	3,98	3,88	3,98	3,98	3,92	3,93	3,95	3,87	3,86	3,69	3,87	3,82
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,87	1,19	1,70	2,06	2,08	1,61	1,54	1,60	1,48	1,45	1,57	1,61	1,48	1,65	1,55	1,47	1,78	1,67	1,72
Na2O	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00	0,01	0,01	0,01	0,03	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00
K2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	100,02	100,41	100,40	100,17	99,87	99,89	96,23	100,31	99,80	100,45	101,24	99,84	100,46	101,24	100,88	99,70	100,45	100,47	100,26
Cátions																			
SiO2	5,97	5,96	5,95	5,97	5,95	5,96	5,86	5,96	5,97	5,96	5,99	5,96	6,00	5,97	5,95	5,94	5,96	5,98	5,95
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al2O3	4,03	4,03	4,06	4,03	4,04	4,04	4,18	4,05	4,01	4,08	4,01	4,05	4,02	4,06	4,10	4,07	4,04	4,03	4,05
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	4,74	4,76	4,69	4,66	4,68	4,74	4,72	4,69	4,78	4,70	4,71	4,72	4,71	4,68	4,69	4,77	4,77	4,74	4,77
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,04	0,05	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04
MgO	1,07	1,02	0,97	0,92	0,92	0,94	0,94	0,95	0,93	0,94	0,94	0,94	0,93	0,93	0,91	0,93	0,88	0,92	0,91
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,15	0,20	0,29	0,35	0,36	0,28	0,27	0,27	0,25	0,25	0,27	0,28	0,25	0,28	0,26	0,25	0,30	0,29	0,30
Na2O	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
K2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fase sólida																			
Almandina	78,91	78,86	78,04	77,61	77,69	78,60	78,58	78,20	79,13	78,74	78,61	78,53	78,87	78,50	78,93	79,24	79,32	79,12	79,26
Piropo	17,89	16,91	16,16	15,33	15,21	15,64	15,65	15,79	15,38	15,80	15,66	15,58	15,59	15,61	15,37	15,38	14,60	15,35	15,13
Espessartita	0,74	0,86	0,97	1,18	1,17	1,19	1,22	1,44	1,27	1,32	1,30	1,29	1,32	1,21	1,27	1,16	1,04	0,77	0,71
Grossulária	2,47	3,38	4,83	5,89	5,93	4,57	4,56	4,56	4,21	4,14	4,43	4,59	4,22	4,69	4,43	4,21	5,05	4,76	4,90

MR-1-G4-Gr (Unidade E)																			
Óxidos	1	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SiO2	37,55	37,08	36,86	36,97	36,94	35,97	37,10	37,66	37,18	36,85	37,00	37,28	37,21	37,26	37,02	37,18	37,08	36,91	36,98
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al2O3	21,63	21,13	21,19	21,24	21,43	21,12	21,23	21,23	21,15	21,16	21,04	21,21	21,26	21,14	21,22	21,36	21,18	21,15	21,46
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	35,27	36,47	36,28	35,44	35,58	33,93	34,22	35,01	35,28	34,98	35,94	34,56	35,75	35,54	35,96	35,34	36,26	36,49	35,18
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,09	0,13	0,42	0,65	0,74	0,75	1,21	1,08	0,92	1,01	0,71	1,04	0,69	0,73	0,73	0,65	0,45	0,15	0,05
MgO	5,16	4,51	4,08	3,86	3,95	3,44	3,19	3,61	3,89	3,72	3,98	3,65	4,02	4,01	3,90	3,96	4,15	4,31	4,98
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,61	0,62	0,80	1,81	1,24	1,81	2,69	1,98	1,44	1,92	1,30	2,14	1,28	1,40	1,24	1,23	0,73	0,59	0,61
Na2O	0,03	0,04	0,03	0,04	0,04	0,00	0,04	0,03	0,03	0,03	0,01	0,01	0,00	0,03	0,04	0,04	0,04	0,02	0,03
K2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	100,33	99,98	99,65	100,01	99,92	97,03	99,70	100,60	99,89	99,67	99,98	99,90	100,23	100,14	100,12	99,74	99,89	99,63	99,29
Cátions																			
SiO2	5,96	5,95	5,94	5,94	5,93	5,94	5,97	6,00	5,97	5,94	5,95	5,98	5,96	5,97	5,95	5,97	5,96	5,95	5,94
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al2O3	4,04	4,00	4,03	4,02	4,06	4,11	4,03	3,99	4,00	4,02	3,99	4,01	4,01	3,99	4,02	4,04	4,01	4,02	4,06
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	4,68	4,89	4,89	4,76	4,78	4,68	4,61	4,67	4,74	4,72	4,83	4,64	4,79	4,76	4,83	4,75	4,87	4,92	4,72
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,01	0,02	0,06	0,09	0,10	0,11	0,17	0,15	0,13	0,14	0,10	0,14	0,09	0,10	0,10	0,09	0,06	0,02	0,01
MgO	1,22	1,08	0,98	0,92	0,95	0,85	0,77	0,86	0,93	0,89	0,95	0,87	0,96	0,96	0,93	0,95	0,99	1,04	1,19
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,10	0,11	0,14	0,31	0,21	0,32	0,46	0,34	0,25	0,33	0,22	0,37	0,22	0,24	0,21	0,21	0,13	0,10	0,10
Na2O	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
K2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fase sólida																			
Almandina	77,80	80,28	80,64	78,24	79,13	78,65	76,76	77,69	78,42	77,59	79,12	77,04	79,00	78,59	79,49	79,21	80,50	80,92	78,39
Piropo	20,29	17,70	16,15	15,19	15,67	14,21	12,77	14,28	15,41	14,70	15,62	14,51	15,83	15,82	15,37	15,81	16,42	17,05	19,75
Espessartita	0,19	0,28	0,94	1,46	1,66	1,76	2,76	2,42	2,08	2,27	1,58	2,34	1,55	1,63	1,63	1,47	1,01	0,34	0,12
Grossulária	1,71	1,74	2,27	5,11	3,54	5,38	7,72	5,62	4,09	5,45	3,67	6,11	3,62	3,96	3,51	3,52	2,08	1,69	1,73

MR-1-E-Gr2L (Unidade E)																
Óxidos	1	2	4	5	6	7	8	10	11	13	14	15	16	18	19	20
SiO2	37,13	37,03	36,89	36,76	37,25	37,30	37,22	37,27	37,71	37,77	37,61	37,40	37,35	37,05	37,46	37,10
TiO2	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,44	0,00	0,01	0,00
Al2O3	21,39	21,14	21,48	21,33	21,34	21,47	21,48	21,26	21,80	21,80	21,45	21,39	21,51	21,48	21,40	21,37
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	34,74	35,10	35,03	35,18	35,07	34,94	35,12	35,38	35,42	35,40	35,29	35,22	34,49	34,93	35,06	35,36
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,46	0,63	0,95	1,04	1,05	0,99	0,85	0,58	0,56	0,57	0,54	0,51	0,47	0,38	0,34	0,33
MgO	3,83	3,57	3,26	3,16	3,18	3,32	3,56	3,94	4,04	3,99	4,02	3,88	3,90	4,02	4,28	4,36
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	1,92	2,18	2,29	2,52	2,43	2,43	2,18	1,44	1,63	1,64	1,83	2,02	2,06	1,72	1,54	1,47
Na2O	0,03	0,02	0,00	0,01	0,02	0,03	0,00	0,02	0,02	0,03	0,00	0,02	0,01	0,02	0,00	0,01
K2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	99,49	99,69	99,89	100,02	100,35	100,49	100,41	99,89	101,19	101,21	100,75	100,45	100,23	99,61	100,09	99,99
Cátions																
SiO2	5,97	5,96	5,93	5,92	5,97	5,96	5,95	5,98	5,96	5,97	5,97	5,96	5,95	5,95	5,98	5,94
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00
Al2O3	4,05	4,01	4,07	4,05	4,03	4,04	4,05	4,02	4,06	4,06	4,02	4,02	4,04	4,07	4,02	4,03
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	4,67	4,73	4,71	4,74	4,70	4,67	4,70	4,75	4,68	4,68	4,69	4,70	4,60	4,69	4,68	4,73
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,06	0,09	0,13	0,14	0,14	0,13	0,11	0,08	0,07	0,08	0,07	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04
MgO	0,92	0,86	0,78	0,76	0,76	0,79	0,85	0,94	0,95	0,94	0,95	0,92	0,93	0,96	1,02	1,04
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,33	0,38	0,40	0,43	0,42	0,42	0,37	0,25	0,28	0,28	0,31	0,35	0,35	0,30	0,26	0,25
Na2O	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00
K2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fase sólida																
Almandina	78,08	78,18	78,31	78,02	78,09	77,68	77,84	78,93	78,24	78,35	77,81	77,84	77,41	78,17	77,89	77,98
Piropo	15,35	14,18	12,98	12,50	12,63	13,16	14,06	15,65	15,91	15,72	15,79	15,30	15,61	16,03	16,95	17,14
Espessartita	1,04	1,42	2,14	2,33	2,36	2,24	1,91	1,32	1,25	1,27	1,21	1,15	1,06	0,86	0,77	0,73
Grossulária	5,54	6,23	6,57	7,15	6,92	6,93	6,19	4,10	4,61	4,66	5,18	5,72	5,92	4,93	4,38	4,14

MR-1-G10-Gr (Unidade E)																				
Óxidos	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	14,00	15,00	16,00	17,00	18,00	19,00	20,00
SiO2	37,79	37,53	37,71	37,43	37,36	37,67	37,78	37,81	37,55	37,55	37,34	37,55	37,52	37,50	37,25	37,61	37,50	37,45	37,62	37,69
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
Al2O3	21,50	21,46	21,44	21,25	21,24	21,47	21,47	21,39	21,46	21,36	21,55	21,60	21,48	21,53	21,34	21,66	21,26	21,11	21,32	21,27
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	35,16	35,25	35,40	35,28	34,35	35,37	36,18	35,53	35,20	35,50	34,98	34,90	35,08	34,65	35,03	35,12	34,24	34,98	34,61	34,93
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,02	0,03	0,03	0,05	0,07	0,09	0,20	0,41	0,47	0,53	0,51	0,51	0,49	0,49	0,56	0,53	0,56	0,63	0,67	0,64
MgO	5,20	5,11	5,13	5,01	4,73	4,57	4,43	4,37	4,32	4,53	4,26	4,23	4,28	4,29	4,14	4,26	4,30	4,20	4,09	4,21
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,69	0,67	0,62	0,64	0,69	0,77	0,72	0,96	1,41	0,85	1,24	1,37	1,42	1,52	1,56	1,35	1,38	1,44	1,47	1,48
Na2O	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02	0,01	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,01
K2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	100,38	100,09	100,36	99,68	98,47	99,97	100,81	100,51	100,44	100,34	99,90	100,17	100,32	100,00	99,88	100,56	99,26	99,83	99,80	100,23
Cátions																				
SiO2	5,99	5,97	5,98	5,98	6,02	6,00	5,99	6,01	5,97	5,98	5,97	5,98	5,97	5,98	5,97	5,97	6,02	6,00	6,01	6,01
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al2O3	4,01	4,02	4,01	4,00	4,04	4,03	4,01	4,01	4,03	4,01	4,06	4,05	4,03	4,05	4,03	4,05	4,02	3,99	4,02	4,00
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	4,66	4,69	4,70	4,72	4,63	4,71	4,80	4,72	4,68	4,73	4,68	4,65	4,67	4,62	4,69	4,66	4,59	4,69	4,63	4,66
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,03	0,05	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,07	0,08	0,09	0,09	0,09
MgO	1,23	1,21	1,21	1,19	1,14	1,08	1,05	1,03	1,03	1,07	1,02	1,00	1,02	1,02	0,99	1,01	1,03	1,00	0,97	1,00
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,12	0,11	0,11	0,11	0,12	0,13	0,12	0,16	0,24	0,14	0,21	0,23	0,24	0,26	0,27	0,23	0,24	0,25	0,25	0,25
Na2O	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
K2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fase sólida																				
Almandina	77,57	77,92	78,01	78,28	78,54	79,33	80,05	79,04	77,89	78,56	78,29	78,07	77,90	77,44	77,91	78,06	77,41	77,83	77,86	77,66
Piropo	20,44	20,12	20,15	19,79	19,29	18,25	17,48	17,31	17,05	17,85	17,00	16,86	16,94	17,09	16,39	16,89	17,31	16,64	16,38	16,69
Espessartita	0,04	0,07	0,07	0,11	0,16	0,21	0,44	0,92	1,06	1,18	1,16	1,16	1,11	1,11	1,26	1,20	1,28	1,42	1,52	1,44
Grossulária	1,95	1,90	1,76	1,82	2,01	2,21	2,03	2,74	3,99	2,40	3,56	3,91	4,05	4,36	4,44	3,85	4,01	4,12	4,24	4,21

MR-1-G10-Gr (Unidade E) - Continuação																			
Óxidos	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	34	35	36	37	38	39	40
SiO2	37,62	37,59	37,79	37,50	37,59	37,44	37,42	37,82	37,57	37,69	37,57	37,49	37,33	37,50	37,67	38,07	37,81	37,74	37,53
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00
Al2O3	21,27	21,26	21,55	21,30	21,44	21,52	21,30	21,44	21,26	21,46	21,07	21,32	21,06	21,09	21,42	21,49	21,38	21,32	21,49
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	34,82	34,75	34,52	34,94	35,09	34,91	35,05	35,45	35,00	35,30	35,14	35,29	36,85	36,18	36,37	35,82	36,09	36,30	35,46
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,52	0,63	0,68	0,54	0,58	0,58	0,55	0,59	0,60	0,56	0,61	0,60	0,35	0,32	0,25	0,19	0,13	0,08	0,03
MgO	4,16	4,13	4,09	4,15	4,20	4,19	4,23	4,22	4,10	4,19	4,04	3,55	3,84	4,14	4,15	4,20	4,46	4,71	4,77
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	1,37	1,63	1,78	1,53	1,39	1,45	1,47	1,32	1,34	1,52	1,48	2,15	0,86	0,84	0,68	0,69	0,73	0,77	0,60
Na2O	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,00	0,02	0,04	0,04	0,00	0,04	0,01	0,03
K2O	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	99,78	100,00	100,43	99,99	100,31	100,10	100,05	100,85	99,91	100,75	99,93	100,39	100,33	100,10	100,59	100,58	100,65	100,94	99,89
Cátions																			
SiO2	6,01	6,00	6,00	5,99	5,99	5,97	5,98	5,99	6,01	5,98	6,01	5,99	5,99	6,00	5,99	6,03	6,00	5,98	5,98
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Al2O3	4,01	4,00	4,03	4,01	4,03	4,05	4,01	4,01	4,01	4,01	3,98	4,01	3,98	3,98	4,02	4,02	4,00	3,98	4,04
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	4,66	4,64	4,58	4,67	4,67	4,66	4,68	4,70	4,68	4,69	4,70	4,71	4,94	4,84	4,84	4,75	4,79	4,81	4,73
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,07	0,09	0,09	0,07	0,08	0,08	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01	0,00
MgO	0,99	0,98	0,97	0,99	1,00	1,00	1,01	1,00	0,98	0,99	0,96	0,85	0,92	0,99	0,98	0,99	1,05	1,11	1,13
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,23	0,28	0,30	0,26	0,24	0,25	0,25	0,22	0,23	0,26	0,25	0,37	0,15	0,14	0,12	0,12	0,12	0,13	0,10
Na2O	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01
K2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fase sólida																			
Almandina	78,24	77,52	77,09	77,90	78,08	77,89	77,85	78,33	78,41	77,96	78,33	78,47	81,60	80,50	81,01	80,72	80,01	79,33	79,24
Piropo	16,65	16,40	16,27	16,49	16,65	16,64	16,74	16,62	16,38	16,50	16,06	14,07	15,16	16,40	16,48	16,86	17,60	18,35	19,00
Espeartita	1,18	1,43	1,53	1,23	1,31	1,32	1,23	1,32	1,36	1,25	1,37	1,34	0,79	0,71	0,57	0,43	0,30	0,17	0,06
Grossulária	3,93	4,65	5,10	4,38	3,96	4,14	4,18	3,73	3,85	4,29	4,23	6,12	2,45	2,39	1,93	2,00	2,09	2,14	1,71

MR-1-P-Gr (Unidade E)																				
Óxidos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SiO ₂	37,32	37,37	36,93	36,89	36,83	37,13	37,41	37,65	37,54	37,59	37,03	36,86	37,02	37,07	37,28	36,73	36,86	37,00	36,73	36,74
TiO ₂	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	21,54	21,71	21,53	21,49	21,35	21,61	21,76	22,09	21,62	21,79	21,58	21,07	21,07	21,38	21,33	21,48	21,13	21,12	21,20	21,05
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	35,05	35,64	36,19	35,02	34,67	35,27	34,85	34,96	34,88	35,24	35,21	35,85	36,18	36,13	35,51	35,54	35,54	35,47	35,52	35,21
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,09	0,17	0,10	0,11	0,11	0,09	0,07	0,06	0,07	0,09	0,14	0,25	0,23	0,45	0,52	0,53	0,57	0,58	0,58	0,59
MgO	5,01	4,78	4,48	5,00	5,26	5,33	5,38	5,34	5,26	5,06	4,62	4,13	4,09	3,85	3,78	3,67	3,63	3,63	3,62	3,66
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,83	0,85	0,75	0,80	0,79	0,74	0,70	0,72	0,77	0,92	1,26	1,31	1,27	1,22	1,77	1,82	1,88	1,86	1,91	1,95
Na ₂ O	0,02	0,04	0,03	0,01	0,03	0,02	0,03	0,05	0,02	0,00	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02	0,03	0,01	0,03	0,01	0,03
K ₂ O	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	99,88	100,57	100,02	99,34	99,04	100,19	100,20	100,87	100,17	100,69	99,86	99,50	99,88	100,14	100,22	99,80	99,73	99,69	99,57	99,23
Cátions																				
SiO ₂	5,95	5,93	5,92	5,92	5,92	5,91	5,93	5,93	5,96	5,94	5,92	5,95	5,95	5,95	5,97	5,91	5,94	5,96	5,93	5,95
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	4,05	4,06	4,07	4,07	4,05	4,05	4,07	4,10	4,05	4,06	4,07	4,01	4,00	4,04	4,02	4,08	4,02	4,01	4,04	4,02
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	4,67	4,73	4,85	4,70	4,66	4,69	4,62	4,60	4,63	4,66	4,71	4,84	4,87	4,85	4,75	4,79	4,79	4,78	4,80	4,77
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,06	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08
MgO	1,19	1,13	1,07	1,20	1,26	1,27	1,27	1,25	1,24	1,19	1,10	0,99	0,98	0,92	0,90	0,88	0,87	0,87	0,87	0,88
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,14	0,14	0,13	0,14	0,14	0,13	0,12	0,12	0,13	0,16	0,22	0,23	0,22	0,21	0,30	0,31	0,32	0,32	0,33	0,34
Na ₂ O	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fase sólida																				
Almandina	77,64	78,47	79,98	77,70	76,78	76,98	76,78	76,91	76,98	77,42	77,89	79,43	79,82	80,27	78,85	79,07	78,98	78,97	78,91	78,54
Piropo	19,80	18,75	17,66	19,77	20,74	20,75	21,11	20,92	20,70	19,80	18,22	16,29	16,09	15,25	14,94	14,57	14,38	14,42	14,33	14,55
Espessartita	0,21	0,38	0,23	0,24	0,24	0,21	0,15	0,14	0,15	0,20	0,32	0,55	0,52	1,01	1,16	1,19	1,29	1,30	1,31	1,34
Grossulária	2,35	2,40	2,12	2,29	2,23	2,06	1,97	2,03	2,18	2,58	3,56	3,73	3,58	3,47	5,05	5,17	5,34	5,31	5,44	5,57

Apêndice A.2: Análises químicas feitas em porfiroblastos comuns da Unidades E da Nappe de Passos através de utilizada microsonda eletrônica da marca *JEOL*, modelo *JXA-8230*. Condições de análise: diferença de potencial de 15 kV, corrente de 20 nA e diâmetro do feixe de 10 µm. **Obs.:** Cátions calculados para 24 Oxigênios.

MRH-35-GrL (Unidade E)																								
Óxidos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
SiO2	36,99	37,23	36,78	36,74	36,80	36,94	36,36	36,71	36,76	36,44	36,83	36,43	36,31	36,62	36,67	36,61	36,59	36,74	36,61	36,59	36,65	36,58	36,48	36,42
TiO2	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,05	0,01	0,02
Al2O3	20,93	20,86	20,73	20,64	20,53	20,65	20,58	20,63	20,93	20,58	20,88	20,47	20,53	20,46	20,51	20,41	20,63	20,70	20,62	20,38	20,52	20,48	20,44	20,57
Cr2O3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,01	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02	0,02	0,00	0,02	0,02
FeO	37,79	37,92	37,41	37,46	37,70	37,64	37,40	36,66	36,91	36,74	36,83	36,80	36,79	36,80	37,09	36,78	36,52	36,94	36,86	37,16	37,48	37,52	37,23	36,89
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,37	0,48	0,62	0,94	1,07	1,40	1,67	1,98	2,09	2,18	2,37	2,38	2,40	2,52	2,39	2,38	2,36	2,37	2,25	2,19	1,90	1,87	1,88	1,90
MgO	3,51	3,59	3,47	3,29	3,00	3,02	2,75	2,81	2,71	2,68	2,70	2,54	2,55	2,54	2,55	2,61	2,59	2,60	2,70	2,71	2,73	2,66	2,71	2,71
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,39	0,38	0,44	0,47	0,54	0,45	0,54	0,53	0,49	0,58	0,56	0,66	0,71	0,68	0,62	0,66	0,61	0,61	0,55	0,55	0,62	0,43	0,56	0,53
Na2O	0,04	0,04	0,05	0,03	0,06	0,01	0,06	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,06	0,04	0,06	0,03	0,05	0,03	0,07	0,05	0,04	0,04	0,04	0,07
K2O	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	100,05	100,53	99,49	99,57	99,73	100,13	99,38	99,36	99,95	99,28	100,23	99,37	99,40	99,72	99,94	99,50	99,38	100,01	99,69	99,68	99,98	99,63	99,37	99,13
Cátions																								
SiO2	5,97	5,98	5,98	5,98	5,99	5,99	5,95	5,99	5,97	5,97	5,97	5,97	5,95	5,98	5,98	5,99	5,98	5,98	5,97	5,98	5,97	5,98	5,97	5,97
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	
Al2O3	3,99	3,95	3,97	3,96	3,94	3,95	3,97	3,97	4,01	3,97	3,99	3,96	3,97	3,94	3,94	3,94	3,98	3,97	3,97	3,93	3,94	3,95	3,95	3,98
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
FeO	5,10	5,10	5,08	5,10	5,13	5,10	5,12	5,00	5,01	5,03	4,99	5,04	5,04	5,03	5,06	5,03	4,99	5,02	5,03	5,08	5,10	5,13	5,10	5,06
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
MnO	0,05	0,06	0,08	0,13	0,15	0,19	0,23	0,27	0,29	0,30	0,33	0,33	0,33	0,35	0,33	0,33	0,33	0,33	0,31	0,30	0,26	0,26	0,26	0,26
MgO	0,84	0,86	0,84	0,80	0,73	0,73	0,67	0,68	0,65	0,66	0,65	0,62	0,62	0,62	0,62	0,64	0,63	0,63	0,66	0,66	0,66	0,65	0,66	0,66
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
CaO	0,07	0,07	0,08	0,08	0,09	0,08	0,09	0,09	0,08	0,10	0,10	0,12	0,12	0,12	0,11	0,12	0,11	0,11	0,10	0,10	0,11	0,08	0,10	0,09
Na2O	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02
K2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fase sólida																								
Almandina	84,13	83,72	83,55	83,48	84,13	83,62	83,69	82,66	83,00	82,62	82,29	82,54	82,35	82,24	82,69	82,30	82,43	82,53	82,54	82,73	83,17	83,94	83,33	83,22
Piropo	13,91	14,13	13,80	13,06	11,92	11,94	10,98	11,29	10,84	10,76	10,73	10,15	10,16	10,12	10,14	10,42	10,42	10,35	10,78	10,75	10,80	10,60	10,80	10,89
Essessartita	0,84	1,07	1,40	2,12	2,42	3,15	3,79	4,51	4,76	4,96	5,37	5,41	5,45	5,69	5,39	5,40	5,38	5,36	5,11	4,95	4,27	4,23	4,27	4,35
Grossulária	1,12	1,09	1,26	1,34	1,53	1,28	1,54	1,53	1,40	1,66	1,61	1,91	2,04	1,95	1,78	1,89	1,76	1,76	1,57	1,57	1,77	1,23	1,60	1,54

MRH-35-GrL (Unidade E) - Continuação						
Óxidos	25	26	27	28	29	30
SiO2	36,58	36,52	36,53	36,57	36,90	36,66
TiO2	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al2O3	20,39	20,49	20,69	20,66	20,84	20,67
Cr2O3	0,03	0,04	0,01	0,01	0,03	0,01
FeO	37,21	37,09	37,18	37,71	37,51	37,81
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	1,74	1,63	1,39	1,07	0,80	0,60
MgO	2,74	2,82	2,97	3,15	3,34	3,30
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,49	0,50	0,43	0,44	0,35	0,46
Na2O	0,05	0,06	0,04	0,02	0,02	0,04
K2O	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	99,24	99,16	99,24	99,64	99,79	99,56
Cátions						
SiO2	5,99	5,98	5,97	5,96	5,98	5,97
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al2O3	3,94	3,96	3,99	3,97	3,98	3,97
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	5,10	5,08	5,08	5,14	5,08	5,15
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,24	0,23	0,19	0,15	0,11	0,08
MgO	0,67	0,69	0,72	0,77	0,81	0,80
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,09	0,09	0,07	0,08	0,06	0,08
Na2O	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
K2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fase sólida						
Almandina	83,63	83,51	83,67	83,85	83,89	84,26
Piropo	10,99	11,33	11,93	12,49	13,31	13,09
Espessartita	3,97	3,71	3,17	2,42	1,81	1,35
Grossulária	1,41	1,45	1,23	1,24	0,99	1,31

MRH-35-GrT (Unidade E)																								
Óxidos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
SiO2	36,83	37,35	36,77	37,13	36,62	36,59	36,44	37,05	36,75	36,67	36,84	36,51	36,60	36,43	36,62	36,57	36,35	36,05	36,48	36,67	36,63	36,50	36,83	36,85
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,16	0,00	0,03	0,04	0,00	0,08	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,36	0,03	0,03	0,04	0,00	0,05	0,03
Al2O3	20,84	21,47	21,11	21,02	20,87	20,82	20,91	21,07	20,85	20,62	20,69	21,03	20,77	20,90	20,80	20,79	20,67	20,87	21,05	21,07	20,71	20,90	20,89	20,95
Cr2O3	0,01	0,01	0,03	0,02	0,01	0,05	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0,02	0,03	0,00	0,04	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01
FeO	37,59	37,19	37,24	37,12	37,17	37,47	36,79	36,81	36,82	36,63	36,73	36,56	36,59	36,83	36,81	37,00	36,67	36,99	37,57	37,37	36,96	37,25	37,67	37,64
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,34	0,51	0,78	0,94	1,38	1,52	1,77	2,08	2,36	2,38	2,31	2,32	2,32	2,31	2,40	2,36	2,26	2,11	1,70	1,83	1,62	1,46	1,14	0,96
MgO	3,33	3,56	3,44	3,31	3,07	2,69	2,90	2,82	2,70	2,69	2,68	2,68	2,60	2,63	2,60	2,61	2,66	2,49	2,76	2,79	2,84	2,91	3,03	3,15
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,52	0,50	0,46	0,40	0,69	0,59	0,55	0,77	0,69	0,64	0,62	0,66	0,66	0,62	0,70	0,57	0,63	0,58	0,49	0,50	0,44	0,45	0,41	0,38
Na2O	0,02	0,03	0,04	0,01	0,01	0,03	0,02	0,00	0,04	0,02	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,00	0,04	0,03	0,00	0,03	0,04	0,05	0,04	0,03
K2O	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	99,50	100,60	99,88	99,96	99,84	99,92	99,38	100,66	100,26	99,68	99,98	99,82	99,61	99,76	100,0	99,91	99,29	99,51	100,11	100,3	99,28	99,53	100,1	100,0
Cátions																								
SiO2	5,98	5,97	5,95	5,99	5,95	5,95	5,95	5,97	5,96	5,98	5,98	5,94	5,97	5,94	5,96	5,96	5,95	5,90	5,92	5,94	5,98	5,95	5,97	5,97
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Al2O3	3,99	4,05	4,03	4,00	4,00	3,99	4,02	4,00	3,98	3,96	3,96	4,03	3,99	4,02	3,99	3,99	3,99	4,03	4,03	4,02	3,99	4,02	3,99	4,00
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	5,10	4,97	5,04	5,01	5,05	5,10	5,02	4,96	4,99	4,99	4,99	4,98	4,99	5,02	5,01	5,04	5,02	5,06	5,10	5,06	5,05	5,08	5,10	5,10
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,05	0,07	0,11	0,13	0,19	0,21	0,24	0,28	0,32	0,33	0,32	0,32	0,32	0,32	0,33	0,33	0,31	0,29	0,23	0,25	0,22	0,20	0,16	0,13
MgO	0,81	0,85	0,83	0,80	0,74	0,65	0,70	0,68	0,65	0,65	0,65	0,65	0,63	0,64	0,63	0,63	0,65	0,61	0,67	0,67	0,69	0,71	0,73	0,76
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,09	0,09	0,08	0,07	0,12	0,10	0,10	0,13	0,12	0,11	0,11	0,11	0,12	0,11	0,12	0,10	0,11	0,10	0,09	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07
Na2O	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
K2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fase sólida																								
Almandina	84,40	83,23	83,20	83,44	82,74	84,09	82,79	81,94	81,99	82,03	82,29	82,12	82,38	82,48	82,25	82,65	82,39	83,47	83,79	83,35	83,57	83,73	84,18	84,17
Piropo	13,32	14,18	13,70	13,27	12,19	10,74	11,61	11,20	10,70	10,73	10,69	10,72	10,43	10,50	10,33	10,39	10,63	10,03	10,96	11,08	11,45	11,66	12,07	12,56
Espessartita	0,78	1,15	1,77	2,13	3,12	3,46	4,03	4,68	5,33	5,40	5,24	5,27	5,28	5,24	5,43	5,34	5,15	4,83	3,84	4,15	3,70	3,31	2,58	2,18
Grossulária	1,50	1,43	1,33	1,16	1,95	1,71	1,57	2,18	1,98	1,84	1,79	1,89	1,91	1,78	1,99	1,62	1,82	1,67	1,40	1,42	1,29	1,30	1,18	1,10

MRH-35-GrT (Unidade E) - Continuação						
Óxidos	25	26	27	28	29	30
SiO2	36,81	36,91	36,81	36,77	36,34	36,82
TiO2	0,01	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00
Al2O3	21,16	21,33	21,17	20,81	20,87	21,24
Cr2O3	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01
FeO	37,77	37,64	37,94	37,36	38,62	38,55
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,64	0,27	0,21	0,23	0,17	0,14
MgO	3,22	3,44	3,60	3,54	2,87	2,87
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,40	0,36	0,44	0,46	0,44	0,36
Na2O	0,05	0,01	0,04	0,04	0,00	0,02
K2O	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	100,07	99,99	100,23	99,24	99,37	100,01
Cátions						
SiO2	5,95	5,95	5,93	5,98	5,94	5,96
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Al2O3	4,03	4,06	4,02	3,99	4,02	4,05
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	5,11	5,08	5,11	5,08	5,28	5,22
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,09	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02
MgO	0,78	0,83	0,87	0,86	0,70	0,69
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,07	0,06	0,08	0,08	0,08	0,06
Na2O	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01
K2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fase sólida						
Almandina	84,56	84,59	84,06	83,97	86,83	87,08
Piropo	12,84	13,78	14,23	14,16	11,49	11,56
Espessartita	1,46	0,61	0,47	0,53	0,40	0,32
Grossulária	1,14	1,03	1,24	1,34	1,28	1,04

MRH-103-B-Gr1L (Unidade E)																				
Óxidos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SiO2	36,95	36,87	36,96	37,17	36,74	36,60	36,44	36,69	36,96	36,61	36,82	37,40	36,82	36,96	37,00	36,96	37,29	37,05	36,74	36,96
TiO2	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,04	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,04	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00
Al2O3	21,50	21,33	21,15	21,26	21,23	21,23	21,07	21,00	21,24	21,13	21,12	21,31	21,26	21,30	21,22	21,22	21,37	21,46	21,23	21,29
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	35,09	36,69	37,18	37,36	37,43	37,74	37,30	37,32	37,00	37,12	36,69	36,21	36,73	36,38	36,42	35,61	35,31	35,13	35,57	36,18
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,45	0,35	0,33	0,39	0,41	0,40	0,38	0,43	0,43	0,50	0,58	0,62	0,59	0,71	0,68	0,59	0,53	0,53	0,53	0,51
MgO	4,10	3,91	3,52	3,21	3,03	3,00	2,87	2,83	2,74	2,68	2,66	2,86	2,69	2,81	3,07	3,41	3,87	3,97	4,24	4,05
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	1,50	0,74	0,86	1,14	1,13	1,21	1,27	1,59	1,90	2,16	2,30	2,16	2,16	2,05	2,30	2,18	2,04	1,89	1,11	1,09
Na2O	0,02	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,00	0,01	0,02	0,01	0,03	0,01
K2O	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	99,61	99,91	100,03	100,57	99,99	100,21	99,38	99,87	100,28	100,23	100,22	100,57	100,28	100,25	100,74	99,98	100,44	100,07	99,46	100,09
Cátions																				
SiO2	5,94	5,93	5,96	5,96	5,94	5,92	5,93	5,95	5,96	5,92	5,94	5,99	5,94	5,95	5,93	5,95	5,95	5,93	5,93	5,93
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al2O3	4,07	4,05	4,02	4,02	4,05	4,05	4,05	4,01	4,04	4,03	4,02	4,02	4,04	4,04	4,01	4,02	4,02	4,05	4,04	4,03
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	4,71	4,94	5,01	5,01	5,06	5,10	5,08	5,06	4,99	5,02	4,95	4,85	4,95	4,90	4,88	4,79	4,71	4,71	4,80	4,86
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,06	0,05	0,04	0,05	0,06	0,06	0,05	0,06	0,06	0,07	0,08	0,08	0,08	0,10	0,09	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07
MgO	0,98	0,94	0,85	0,77	0,73	0,72	0,70	0,68	0,66	0,65	0,64	0,68	0,65	0,67	0,73	0,82	0,92	0,95	1,02	0,97
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,26	0,13	0,15	0,20	0,20	0,21	0,22	0,28	0,33	0,37	0,40	0,37	0,37	0,35	0,40	0,38	0,35	0,32	0,19	0,19
Na2O	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
K2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fase sólida																				
Almandina	78,38	81,59	82,81	83,14	83,74	83,76	83,95	83,23	82,67	82,19	81,59	81,01	81,83	81,32	80,01	79,03	77,85	77,79	78,91	79,85
Piropo	16,30	15,50	13,99	12,73	12,10	11,88	11,52	11,27	10,92	10,56	10,55	11,39	10,68	11,20	12,01	13,47	15,20	15,66	16,74	15,94
Espessartita	1,01	0,79	0,74	0,88	0,93	0,91	0,87	0,96	0,98	1,11	1,31	1,40	1,32	1,60	1,50	1,32	1,18	1,18	1,19	1,14
Grossulária	4,31	2,12	2,47	3,25	3,24	3,45	3,66	4,54	5,43	6,14	6,56	6,20	6,17	5,88	6,48	6,19	5,76	5,37	3,16	3,08

MRH-103-B-Gr2L (Unidade E)																
Óxidos	1	2	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18	19	20
SiO2	36,96	37,08	36,87	36,89	37,00	36,94	36,98	36,93	36,91	36,74	32,89	36,85	37,10	36,98	37,14	37,06
TiO2	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02	0,00	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00
Al2O3	21,28	21,07	21,18	21,27	21,19	21,55	21,39	21,01	21,17	21,38	20,71	21,31	21,43	21,30	21,39	21,50
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	35,86	36,05	36,53	36,90	36,95	36,56	36,74	35,88	35,95	35,78	35,69	35,26	35,24	35,63	36,07	35,44
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,41	0,42	0,56	0,57	0,57	0,63	0,67	0,67	0,66	0,64	0,51	0,63	0,61	0,50	0,46	0,50
MgO	4,20	4,23	3,73	3,68	3,65	3,65	3,54	3,37	3,40	3,34	3,21	3,45	3,77	4,31	4,46	4,38
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	1,06	0,74	0,75	0,75	0,87	0,85	1,24	1,71	1,86	2,03	1,54	2,12	2,10	0,88	0,68	1,28
Na2O	0,00	0,02	0,00	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02	0,01
K2O	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	99,77	99,63	99,63	100,10	100,25	100,21	100,60	99,61	99,96	99,97	94,77	99,66	100,31	99,64	100,23	100,19
Cátions																
SiO2	5,94	5,97	5,96	5,94	5,95	5,93	5,93	5,97	5,95	5,92	5,67	5,94	5,94	5,95	5,94	5,92
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al2O3	4,03	4,00	4,03	4,04	4,02	4,08	4,04	4,00	4,02	4,06	4,21	4,05	4,04	4,04	4,03	4,05
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	4,82	4,85	4,93	4,97	4,97	4,91	4,93	4,85	4,84	4,82	5,14	4,75	4,71	4,79	4,82	4,74
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,06	0,06	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,07	0,09	0,08	0,07	0,06	0,07
MgO	1,01	1,01	0,90	0,88	0,87	0,87	0,85	0,81	0,82	0,80	0,82	0,83	0,90	1,03	1,06	1,04
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,18	0,13	0,13	0,13	0,15	0,15	0,21	0,30	0,32	0,35	0,28	0,37	0,36	0,15	0,12	0,22
Na2O	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
K2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fase sólida																
Almandina	79,49	80,19	81,69	82,00	81,84	81,62	81,05	80,18	79,79	79,55	81,29	78,78	77,85	79,26	79,50	78,06
Piropo	16,58	16,77	14,88	14,58	14,39	14,52	13,93	13,42	13,43	13,23	13,02	13,73	14,84	17,09	17,54	17,20
Essartita	0,92	0,94	1,27	1,28	1,29	1,43	1,50	1,52	1,48	1,44	1,18	1,42	1,38	1,14	1,04	1,13
Grossulária	3,01	2,10	2,16	2,14	2,48	2,44	3,51	4,88	5,30	5,78	4,50	6,07	5,93	2,51	1,93	3,61

MRH-103-B-Gr1T (Unidade E)																				
Óxidos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SiO2	37,15	36,50	37,24	36,76	36,41	36,63	36,72	36,76	36,87	36,70	36,97	99,48	36,08	36,00	37,16	37,35	37,00	37,13	37,07	36,96
TiO2	0,02	0,01	0,01	0,00	0,09	0,04	0,01	0,00	0,00	0,03	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
Al2O3	21,31	21,16	21,20	21,20	21,15	21,04	21,29	21,10	21,16	21,27	21,21	0,02	20,98	21,20	21,50	21,39	21,44	21,45	21,41	21,39
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	35,08	36,06	35,79	36,14	36,30	36,57	36,44	36,73	36,82	36,50	36,26	0,51	35,68	35,09	35,96	35,99	35,77	35,84	35,47	35,59
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,50	0,55	0,57	0,56	0,62	0,60	0,59	0,58	0,55	0,53	0,50	0,01	0,47	0,44	0,45	0,44	0,41	0,52	0,50	0,51
MgO	3,75	3,43	3,03	2,88	2,77	2,75	2,75	2,70	2,72	2,86	2,97	0,00	3,41	3,52	3,81	4,02	4,10	4,34	4,39	4,25
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	2,10	2,06	2,58	2,38	2,24	2,30	2,18	2,25	2,30	2,14	2,20	0,01	1,88	1,94	1,35	1,12	1,04	0,90	1,03	1,08
Na2O	0,01	0,03	0,04	0,01	0,00	0,01	0,03	0,01	0,01	0,02	0,02	0,00	0,01	0,03	0,03	0,02	0,02	0,00	0,02	0,02
K2O	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	99,92	99,81	100,47	99,93	99,58	99,96	100,03	100,14	100,43	100,05	100,15	100,05	98,54	98,25	100,28	100,34	99,77	100,19	99,89	99,80
Cátions																				
SiO2	5,96	5,90	5,97	5,94	5,91	5,93	5,93	5,94	5,94	5,93	5,95	11,97	5,91	5,89	5,95	5,97	5,94	5,94	5,94	5,93
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al2O3	4,03	4,03	4,01	4,04	4,05	4,02	4,06	4,02	4,02	4,05	4,03	0,00	4,05	4,09	4,06	4,03	4,06	4,05	4,04	4,05
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	4,71	4,88	4,80	4,88	4,93	4,95	4,92	4,96	4,96	4,93	4,88	0,05	4,88	4,81	4,81	4,81	4,80	4,79	4,75	4,78
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,07	0,08	0,08	0,08	0,09	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,00	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07
MgO	0,90	0,83	0,72	0,69	0,67	0,66	0,66	0,65	0,65	0,69	0,71	0,00	0,83	0,86	0,91	0,96	0,98	1,03	1,05	1,02
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,36	0,36	0,44	0,41	0,39	0,40	0,38	0,39	0,40	0,37	0,38	0,00	0,33	0,34	0,23	0,19	0,18	0,15	0,18	0,19
Na2O	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01
K2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fase sólida																				
Almandina	78,04	79,47	79,40	80,52	81,14	81,20	81,48	81,60	81,50	81,34	80,79	80,40	79,94	79,22	80,04	79,92	79,80	79,19	78,63	78,97
Piropo	14,86	13,48	11,99	11,43	11,02	10,90	10,94	10,69	10,75	11,35	11,80	12,70	13,60	14,16	15,09	15,89	16,29	17,09	17,32	16,80
Espessartita	1,13	1,23	1,29	1,26	1,41	1,36	1,34	1,30	1,23	1,19	1,14	1,05	1,07	1,00	1,02	1,00	0,93	1,17	1,12	1,15
Grossulária	5,98	5,82	7,33	6,79	6,42	6,55	6,24	6,41	6,53	6,12	6,27	5,90	5,39	5,62	3,84	3,19	2,97	2,55	2,92	3,08

MRH-103-B-Gr2T (Unidade E)

Óxidos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SiO2	37,00	37,00	36,94	36,89	36,20	34,98	36,76	36,64	37,02	36,50	36,80	36,71	36,75	36,98	36,76	36,76	36,83	37,18	37,11	37,69
TiO2	0,06	0,00	0,00	0,04	0,04	0,06	0,03	0,05	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00
Al2O3	21,32	21,34	21,58	21,29	20,94	19,47	21,31	21,41	21,50	21,02	21,04	21,38	21,49	21,28	21,26	21,40	21,32	21,49	21,31	21,99
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	35,23	35,78	35,52	35,32	34,71	33,74	35,63	36,11	36,86	36,75	36,35	36,83	36,92	36,61	36,31	35,80	35,91	35,51	35,26	35,68
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,40	0,41	0,45	0,51	0,50	0,48	0,58	0,62	0,61	0,60	0,59	0,62	0,60	0,57	0,55	0,53	0,47	0,46	0,47	0,46
MgO	4,21	4,35	4,11	4,04	3,80	3,74	3,78	3,65	3,65	3,59	3,57	3,61	3,77	3,84	4,05	4,09	4,28	4,28	4,28	4,26
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	1,31	0,82	1,49	1,66	1,57	1,74	1,21	1,12	0,93	0,77	0,84	0,92	0,72	0,72	0,64	0,84	0,88	1,21	1,29	1,22
Na2O	0,00	0,04	0,03	0,00	0,03	0,05	0,03	0,00	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02
K2O	0,00	0,01	0,00	0,01	0,03	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	99,54	99,75	100,09	99,76	97,83	94,27	99,35	99,61	100,62	99,25	99,22	100,09	100,25	100,03	99,57	99,44	99,72	100,1	99,73	101,3
Cátions																				
SiO2	5,95	5,94	5,92	5,93	5,94	5,97	5,94	5,92	5,93	5,93	5,97	5,92	5,91	5,95	5,93	5,93	5,93	5,94	5,95	5,94
TiO2	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al2O3	4,04	4,04	4,07	4,04	4,05	3,92	4,06	4,08	4,06	4,03	4,02	4,06	4,07	4,04	4,05	4,07	4,04	4,05	4,03	4,09
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	4,74	4,81	4,76	4,75	4,76	4,82	4,82	4,88	4,94	5,00	4,93	4,96	4,96	4,92	4,90	4,83	4,83	4,75	4,73	4,71
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06
MgO	1,01	1,04	0,98	0,97	0,93	0,95	0,91	0,88	0,87	0,87	0,86	0,87	0,90	0,92	0,97	0,98	1,03	1,02	1,02	1,00
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,23	0,14	0,26	0,29	0,28	0,32	0,21	0,19	0,16	0,13	0,15	0,16	0,12	0,12	0,11	0,14	0,15	0,21	0,22	0,21
Na2O	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
K2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fase sólida																				
Almandina	78,62	79,51	78,59	78,22	78,88	78,24	80,04	80,81	81,59	82,15	81,89	81,72	81,76	81,44	80,89	80,09	79,57	78,65	78,33	78,76
Piropo	16,72	17,22	16,19	15,93	15,39	15,47	15,14	14,57	14,41	14,30	14,34	14,29	14,86	15,23	16,06	16,31	16,89	16,90	16,93	16,76
Espeartita	0,91	0,93	1,01	1,15	1,16	1,13	1,33	1,40	1,37	1,35	1,35	1,38	1,35	1,28	1,24	1,20	1,05	1,02	1,05	1,02
Grossulária	3,75	2,34	4,22	4,71	4,58	5,16	3,50	3,22	2,62	2,20	2,42	2,61	2,03	2,05	1,81	2,40	2,49	3,43	3,68	3,46

MRH-103-B-Gr3 (Unidade E)																			
Óxidos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18	19	20
SiO2	36,97	36,79	36,90	36,65	36,83	36,57	36,43	36,46	36,41	36,75	36,81	36,31	36,34	36,51	36,62	36,74	36,34	36,65	37,09
TiO2	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,09	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,06	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,03	0,00
Al2O3	21,43	21,41	21,34	21,17	20,97	21,31	21,01	21,20	20,95	21,30	21,09	21,05	20,91	21,07	20,94	20,84	21,22	21,01	21,35
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	37,00	36,97	37,43	37,54	38,22	37,30	37,81	37,79	37,20	37,31	37,29	37,04	37,76	37,42	37,48	37,96	38,60	37,71	37,30
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,16	0,11	0,07	0,04	0,09	0,08	0,10	0,09	0,17	0,18	0,22	0,15	0,17	0,15	0,14	0,14	0,04	0,03	0,11
MgO	3,96	3,81	3,50	2,99	2,86	2,76	2,73	2,66	2,55	2,51	2,51	2,42	2,56	2,57	2,54	2,78	3,20	3,47	3,74
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,58	0,58	0,93	1,20	1,38	1,80	1,59	1,58	1,87	1,93	1,70	2,02	1,86	2,12	2,00	1,43	0,57	0,56	0,54
Na2O	0,01	0,03	0,01	0,00	0,00	0,02	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,02	0,03	0,02
K2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	100,12	99,70	100,20	99,60	100,38	99,95	99,74	99,79	99,15	100,01	99,63	99,07	99,64	99,86	99,76	99,90	100,02	99,50	100,1
Cátions																			
SiO2	5,94	5,93	5,94	5,95	5,95	5,92	5,93	5,92	5,95	5,94	5,98	5,94	5,92	5,93	5,95	5,96	5,89	5,95	5,96
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al2O3	4,06	4,07	4,05	4,05	3,99	4,07	4,03	4,06	4,03	4,06	4,03	4,06	4,02	4,03	4,01	3,99	4,06	4,02	4,04
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	4,97	4,99	5,04	5,09	5,16	5,05	5,14	5,13	5,08	5,05	5,06	5,06	5,15	5,08	5,09	5,15	5,24	5,12	5,01
Fe2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,01
MgO	0,95	0,92	0,84	0,72	0,69	0,66	0,66	0,64	0,62	0,61	0,61	0,59	0,62	0,62	0,62	0,67	0,77	0,84	0,89
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,10	0,10	0,16	0,21	0,24	0,31	0,28	0,28	0,33	0,33	0,30	0,35	0,33	0,37	0,35	0,25	0,10	0,10	0,09
Na2O	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
K2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fase sólida																			
Almandina	82,28	82,86	83,32	84,47	84,61	83,62	84,35	84,65	83,98	83,95	84,43	84,02	84,13	83,40	83,81	84,57	85,64	84,44	83,35
Piropo	15,70	15,22	13,89	12,00	11,28	11,01	10,87	10,60	10,24	10,08	10,13	9,77	10,18	10,20	10,13	11,05	12,65	13,87	14,88
Espeartita	0,36	0,25	0,15	0,08	0,19	0,19	0,24	0,21	0,39	0,40	0,50	0,35	0,37	0,34	0,32	0,31	0,08	0,08	0,24
Grossulária	1,66	1,66	2,65	3,45	3,92	5,18	4,54	4,55	5,40	5,57	4,94	5,87	5,32	6,06	5,74	4,07	1,62	1,61	1,54

RH-103-B-Gr4 (Unidade E)																				
Óxidos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SiO ₂	36,86	36,52	36,49	36,65	36,42	36,81	36,49	36,67	36,38	36,34	36,48	36,87	36,04	36,53	36,42	36,56	36,77	36,47	36,69	37,26
TiO ₂	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,04	0,00	0,00	0,02	0,03	0,02	0,03
Al ₂ O ₃	21,35	21,35	21,11	21,28	21,20	20,94	21,15	21,06	21,13	21,06	20,80	20,96	20,73	21,15	20,93	21,18	21,08	20,91	21,12	21,28
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	37,27	36,76	37,48	38,34	38,34	38,03	36,92	36,77	36,45	36,17	36,12	36,49	36,52	36,92	37,74	37,98	37,86	38,43	37,59	36,20
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,11	0,13	0,08	0,05	0,06	0,14	0,26	0,31	0,43	0,50	0,57	0,51	0,44	0,35	0,21	0,11	0,04	0,03	0,07	0,11
MgO	3,71	3,18	3,12	3,00	3,00	3,01	2,79	2,72	2,67	2,59	2,58	2,59	2,61	2,70	2,90	3,13	3,12	3,05	3,20	3,51
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,78	1,82	0,75	0,83	0,89	1,09	1,92	1,86	1,93	2,35	2,18	2,17	1,99	1,95	1,38	0,81	0,86	0,73	0,87	1,92
Na ₂ O	0,03	0,01	0,02	0,01	0,03	0,03	0,01	0,02	0,04	0,05	0,04	0,04	0,05	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03	0,00
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	100,11	99,77	99,06	100,17	99,94	100,06	99,57	99,41	99,05	99,06	98,76	99,67	98,39	99,65	99,60	99,78	99,77	99,68	99,60	100,30
Cátions																				
SiO ₂	5,93	5,91	5,95	5,93	5,91	5,96	5,93	5,96	5,94	5,93	5,97	5,98	5,94	5,93	5,93	5,93	5,96	5,93	5,95	5,97
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	4,05	4,07	4,06	4,06	4,06	4,00	4,05	4,03	4,07	4,05	4,01	4,01	4,03	4,05	4,02	4,05	4,03	4,01	4,04	4,02
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	5,02	4,97	5,11	5,18	5,20	5,15	5,02	5,00	4,97	4,94	4,94	4,95	5,03	5,01	5,14	5,15	5,13	5,23	5,10	4,85
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,04	0,06	0,07	0,08	0,07	0,06	0,05	0,03	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01
MgO	0,89	0,77	0,76	0,72	0,73	0,73	0,67	0,66	0,65	0,63	0,63	0,62	0,64	0,65	0,70	0,76	0,75	0,74	0,77	0,84
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,13	0,32	0,13	0,14	0,15	0,19	0,33	0,32	0,34	0,41	0,38	0,38	0,35	0,34	0,24	0,14	0,15	0,13	0,15	0,33
Na ₂ O	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fase sólida																				
Almandina	82,85	81,89	85,00	85,59	85,43	84,66	82,76	82,98	82,63	81,64	81,95	82,19	82,70	82,80	84,09	84,94	84,96	85,70	84,51	80,40
Piropo	14,69	12,63	12,62	11,92	11,91	11,93	11,13	10,92	10,78	10,43	10,41	10,38	10,54	10,78	11,50	12,49	12,47	12,13	12,83	13,90
Espeartita	0,24	0,29	0,19	0,11	0,12	0,32	0,60	0,70	0,99	1,14	1,30	1,16	1,00	0,80	0,47	0,25	0,08	0,08	0,17	0,24
Grossulária	2,22	5,19	2,19	2,38	2,53	3,10	5,51	5,39	5,60	6,80	6,34	6,27	5,76	5,62	3,94	2,32	2,48	2,09	2,50	5,46