

Trabalho de Formatura
Curso de Graduação em Geologia

ESTUDO DO METAMORFISMO DE ROCHAS DE ALTO GRAU DO GRUPO
ARAXÁ NA REGIÃO DE SÃO SEBASTIÃO DO PARAÍSO – MG

Daniel Marinzek de Souza

Prof.Dr. George Luiz Luvizotto

Rio Claro (SP)

2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

DANIEL MARINZEK DE SOUZA

**ESTUDO DO METAMORFISMO EM ROCHAS METAPELÍTICAS E
METABÁSICAS DO GRUPO ARAXÁ NA REGIÃO DE SÃO
SEBASTIÃO DO PARAÍSO – MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Bacharel ou Licenciado em Física.
Estudo do Metamorfismo em rochas metapelíticas e metabásicas do Grupo Araxá na Região de São Sebastião do Paraíso.

Rio Claro - SP

2013

552
S729e

Souza, Daniel Marinzek de

Estudo do metamorfismo em rochas metapelíticas e metabásicas do grupo Araxá na região de São Sebastião do Paraíso - MG / Daniel Marinzek de Souza. - Rio Claro, 2013
76 f. : il., figs., tabs., mapas

Trabalho de conclusão de curso (Geologia) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: George Luiz Luvizotto

1. Petrologia. 2. Nappe de Passos. 3. Rutilo. 4. Fácies granulito. 5. LA-ICP-MS. 6. Pseudoseções. I. Título.

DANIEL MARINZEK DE SOUZA

**ESTUDO DO METAMORFISMO EM ROCHAS METAPELÍTICAS E
METABÁSICAS DO GRUPO ARAXÁ NA REGIÃO DE SÃO
SEBASTIÃO DO PARAÍSO – MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Bacharel ou Licenciado em Física.
Estudo do Metamorfismo em rochas metapelíticas e metabásicas do Grupo Araxá na Região de São Sebastiao do Paraíso

Comissão Examinadora

PROF.DR. GEORGE LUIZ LUVIZOTTO (orientador)

PROF.DR LUIZ SERGIO AMARANTES SIMÕES

PROF DR ANTENOR ZANARDO

Rio Claro, 28 de NOVEMBRO de 2013.

Assinatura do(a) aluno(a)

assinatura do(a) orientador(a)

Agradecimentos

Agradeço a todos que fizeram e fazem parte da minha vida. Em especial aos meus pais e irmãos que sempre estiveram comigo nas horas boas e ruins, me dando apoio e me mostrando o melhor caminho a se seguir! E a meus Avós, tios, tias e primos que sempre me ajudaram.

Agradeço ao meu orientador George Luvizotto pela paciência por me orientar e pelo seus ensinamentos acadêmicos e culturais.

Ao professor Peter Hackspacher por me proporcionar um intercâmbio incrível para Alemanha, no qual foi um dos melhores anos da minha vida.

Meus agradecimentos também a Universidade de Heidelberg- Alemanha, pela estrutura cedida e pelas aulas, e também aos professor Hans-Peter Meyer e Rainer Altherr por ajudar e autorizar o uso dos laboratórios de laminação e análises de MEV para estudos do presente trabalho.

Também agradeço ao Professor Thomas Zack por fazer as análises das amostras na Universidade de Gothenburg-Suécia por meio do LA-ICP-MS.

Agradeço a Unesp, através de professores e funcionários que fizeram parte dos meus anos na faculdade e pelos seus ensinamentos.

E por fim, e não menos importante, a todos os meus amigos que sempre estiveram com comigo nesta jornada, que me ajudaram sempre que necessitei e me proporcionaram muitas felicidades.

Agradeço a Deus que me acompanhou e iluminou todos estes anos!!!!!!

Resumo

Este estudo concentra-se em rochas metassedimentares da Nappe de Passos em São Sebastião do Paraíso, sul de Minas Gerais, Brasil. Essas rochas pertencem ao domínio interno (Grupo Araxá) da Faixa Brasília, uma Faixa orogênica Neoproterozóica associada à formação do super continente Gondwana. Essa Nappe é caracterizada por gradiente metamórfico invertido. Condições metamórficas calculadas anteriormente mostram aumento de fácies xisto verde na base (450 ° C, 6 kbar), para anfibolito superior (750 ° C , 11 Kbar) na parte superior da sequência. No entanto, a maioria destas estimativas são baseadas no termômetros Fe- Mg e as temperaturas máximas podem ser subestimados devido à troca de Fe- Mg após o resfriamento do pico metamórfico. Neste estudo, apresentam-se novos resultados de pressão e temperatura para essas rochas, com base em análises em assembleia de minerais metamórficos pelo LA-ICP-MS.

Na área estudada, as rochas do topo da sequência têm a típica assembleia mineral da fácies granulito: $Grt + Ky + KFS + /- Pl + liq$. Estas rochas não possuem muscovita e têm apenas pequenas quantidades de biotita rica em Ti, de cor marrom-avermelhado. Em um sistema simplificado NaKFMASH o campo de estabilidade para esta paragênese mineral é delimitada pelas reações $Sil = Ky$ no lado de baixa pressão e por $Ms + Ab = Ky + KFS + liq$ no lado de baixa temperatura e para as composições com alto teor de Mg por $Bt + Grt = Opx + Ky + liq$ no lado de alta temperatura. Temperaturas mínimas (considerando pós-pico do reequilíbrio) de ca . 750 °C são obtidos valores de $Fe / (Fe + Mg)$ de 0,7 em granadas apresentadas na literatura.

Resultados obtidos por meio de LA-ICP-MS para três amostras mostram que rutilos inclusos na granadas tem até 1.847 ppm de Zr, que se traduziriam em temperaturas de até 830 °C para uma pressão de 12 kbar. Também para a amostra de retroeclogito, os resultados indicam teores de Zr na granada de 537 ppm a uma temperatura de 708°C. É interessante notar que ocorrem vários afloramentos de retroeclogitos na parte superior da sequência sugerindo pressões de 12 a 17 kbar para estas rochas. Pseudoseções calculadas para o sistema NaKFMASH corroboram os resultados obtidos pelo geotermômetro Zr-em-rutilo. Em resumo, a condição de pico metamórfico para as rochas da Nappe de Passos são mais elevadas do que anteriormente relatadas e caem no campo de rochas de mais alta temperatura e pressão representadas.

Palavras-chave: Nappe de Passos; Rutilo; Fácies Granulito; LA-ICP-MS, Pseudoseções

ABSTRACT

This study focuses on metasedimentary rocks from the Passos Nappe in São Sebastião do Paraíso, southern Minas Gerais, Brazil. These rocks belong to the Internal Domain (Araxa Group) of the Southern Brasília Belt, a Neoproterozoic orogenic belt associated to the formation of the Gondwana Supercontinent. Rocks from the studied area are characterized by an inverted metamorphic gradient. Previously calculated metamorphic conditions show an increasing from greenschist facies at the base (450°C, 6 kbar), to upper amphibolite facies (750°C, 11 Kbar) at the top of the sequence. However, most of these estimates are based on Fe-Mg exchange thermometers and peak temperatures may be underestimated due to Fe-Mg exchange from cooling after peak metamorphism. In this study, we present new PT results for these rocks, based on metamorphic mineral assemblage LA-ICP-MS analyses.

In the studied area, rocks from the top of the sequence have a typical granulite facies mineral assemblage: Grt+Ky+Kfs+/-Pl+liq. These rocks lack muscovite and have only minor amounts of Ti-rich, dark brown biotite. In a simplified NaKFMASH system the stability field for this mineral assemblage is bounded by the reactions $Sil = Ky$ on the low pressure side, $Ms+Ab = Ky+Kfs+liq$ on the low temperature side and for high-Mg bulk compositions $Bt + Grt = Opx + Ky + liq$ on the high-temperature side. Minimum temperatures (considering post-peak reequilibration) of ca. 750°C are obtained by Fe/(Fe+Mg) values of 0.7 in garnets from a Grt+Ky+Kfs bearing sample.

LA-ICP-MS results obtained for three samples show that rutiles included in garnets have up to 1847 ppm of Zr, which would translate into temperatures up to 830°C for a pressure between 12 to 15 kbar. Also for retroeclogite sample, the results indicate the contents of Zr in the garnet 537 ppm at a temperature of 708 ° C. It is noteworthy that several occurrences of retroeclogites occur in the upper part of the sequence and pressures from 12 to 17 kbar can be obtained for these rocks Pseudosections calculated for the system NaKFMASH corroborates the results obtained by geothermometry Zr-in-rutile. In summary, the peak condition for the metamorphic rocks nappe de Passos are higher than previously reported and rocks fall within the field of high pressure granulites.

Keywords: Passos Nappe; Rutile; Granulite Facies; LA-ICP-MS; Pseudosections

LISTA DE ANEXOS

- **Anexo I:** Mapa Geológico 1:50000
- **Anexo II:** Tabela de análise de rutilo pelo LA-ICP-MS
- **Anexo III:** Tabela com a análise química de Rocha Total pelo XRF
- **Anexo IV:** Tabela para análise de rutilo no LA-ICP-MS

SUMÁRIO:

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 MINERAIS ACESSÓRIOS E ELEMENTOS TRAÇOS	1
1.2 RUTILO:	2
1.3 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO	3
2. OBJETIVOS.....	4
3. MÉTODOS DE TRABALHO.....	5
3.1 PROCEDIMENTO.....	8
3.2 GEOTERMÔMETRO DE Zr EM RUTILO.....	14
4. GEOLOGIA REGIONAL:	16
4.1 UNIDADES REGIONAIS:	19
4.2 BACIA DO PARANÁ:	21
4.3 ESTRATIGRAFIA DO GRUPO ARAXÁ NA NAPPE DE PASSOS.....	22
4.4 SÍNTESE DA GEOLOGIA ESTRUTURAL NA NAPPE DE PASSOS	24
4.5 METAMORFISMO DA NAPPE DE PASSOS	28
4.6 GEOCRONOLOGIA:	30
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
5.1 ESTRATIGRAFIA E LITOLOGIA.....	31
<i>Unidade E:</i>	32
<i>Unidade F:</i>	33
<i>Unidade G:</i>	34
<i>Unidade H:</i>	35
<i>Bacia do Paraná</i>	36
5.2 ANÁLISE TEXTURAL DAS AMOSTRAS COM RUTILO	36
5.2.1 AMOSTRA MG -161	37
5.2.2 AMOSTRA SSP-12A1	40
5.2.3 AMOSTRA SSP-DH-10A2	42
5.2.4 AMOSTRA OLARIA 2.....	46
5.2.5 <i>Microscopia de Varredura e Imagens por Elétrons Retroespalhados</i>	49
5.3 ELEMENTOS TRAÇOS EM RUTILO E TERMOMETRIA	58
5.4 QUÍMICA DE ROCHA TOTAL E PSEUDOSEÇÕES	70
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS:.....	74
REFERÊNCIA:.....	76

ÍNDICE DE FIGURAS:

FIGURA 1: ESTRUTURA DO RUTILO TiO ₂	2
FIGURA 2: LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	3
FIGURA 3: FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DE TRABALHO.....	8
FIGURA 4: IMAGEM DA AMOSTRA SSP-DH-10A2 COM A LOCALIZAÇÃO DOS RUTILOS.....	9
FIGURA 5: IMAGEM MEV EXEMPLIFICADA.	10
FIGURA 6: ILUSTRAÇÃO E COMPONENTES DO MEV	10
FIGURA 7: IMAGEM ILUSTRANDO ESPECTRO DE RAIOS X DE UM GRÃO DE RUTILO	11
FIGURA 8: ESQUEMA DO ICP-MS.....	12
FIGURA 9: ESBOÇO TECTÔNICO DO BRASIL CENTRAL, COM DESTAQUE PARA A PROVÍNCIA TOCANTINS.	16
FIGURA 10: FAIXA BRASÍLIA COMPARTIMENTADA EM 3 DOMÍNIOS TECTÔNICOS.....	18
FIGURA 11: COLUNA ESTRATIGRÁFICA DO GRUPO ARAXÁ NA ÁREA ESTUDADA..	21
FIGURA 12: MAPA GEOLÓGICO SIMPLIFICADO DA NAPPE DE PASSOS	26
FIGURA 13: A FIGURA REPRESENTA UM DETALHE DE UMA ZONA DE COLISÃO DE DUAS PLACAS LITOSFÉRICAS.....	30
FIGURA 14: FOTOGRAFIA ILUSTRANDO AFLORAMENTO DE ROCHA ALTERADA DA UNIDADE E. PONTO SSP-DH-26..	33
FIGURA 15: FOTOGRAFIA ILUSTRANDO TÍPICO AFLORAMENTO DA UNIDADE F. PONTO SSP-DH-24. GNAISSE.	34
FIGURA 16: A) FOTO DA AMOSTRA OLARIA 2, RETROECLOGITOS. B) FOTOMICROGRAFIA EM DETALHE DA AMOSTRA OLARIA (POLARIZADORES DESCRUZADOS).....	34
FIGURA 17: FOTOGRAFIA ILUSTRANDO AFLORAMENTO DA UNIDADE G. PONTO SSP-DH-2.	35
FIGURA 18: FOTOGRAFIA ILUSTRANDO AFLORAMENTO DA UNIDADE H. PONTO SSP-DH-12.	36
FIGURA 19: AMOSTRA MG-161. A: BIOTITA GRANADA GNAISSE. B: RUTILOS INCLUSOS NA GRANADA BEM FRATURADA.....	38
FIGURA 20: IMAGEM DA AMOSTRA MG-161 COM A LOCALIZAÇÃO DOS RUTILOS.....	39
FIGURA 21: AMOSTRA SSP-12A1 A:BIOTITA-CIANITA-GRANADA GNAISSE B: RUTILOS INCLUSO NA GRANADA BEM FRATURADA.....	41
FIGURA 22: AMOSTRA SSP-12A1. BIOTITA-CIANITA-GRANADA GNAISSE.	41
FIGURA 23: IMAGEM DA AMOSTRA SSP-DH-12A1 COM A IDENTIFICAÇÃO DOS RUTILOS QUE FORAM IDENTIFICADOS PELO MICROSCÓPIO ELETRÔNICO PETROGRÁFICO, IMAGEADOS POR MEIO DE MEV E POSTERIORMENTE ANALISADOS POR MEIO DE LA-ICP-MS.	42
FIGURA 24: AMOSTRA A: SSP-DH-10A2: BIOTITA-CIANITA-GRANADA B: RUTILOS INCLUSOS NA GRANADA BEM FRATURADA.....	44
FIGURA 25: AMOSTRA SSP-DH-10A2: BIOTITA-CIANITA-GRANADA GNAISSE.. A) IMAGEM A NICÓIS DESCRUZADOS. B) IMAGEM A NICÓIS CRUZADOS.	44
FIGURA 26: IMAGEM DA AMOSTRA SSP-DH-10A2 COM A IDENTIFICAÇÃO DOS RUTILOS QUE FORAM IDENTIFICADOS PELO MICROSCÓPIO ELETRÔNICO PETROGRÁFICO, IMAGEADOS POR MEIO DE MEV E POSTERIORMENTE ANALISADOS POR MEIO DE LA-ICP-MS.	45
FIGURA 27: AMOSTRA OLARIA-2. A: RETROECLOGITO B: RUTILOS INCLUSOS NA MATRIZ.....	47

FIGURA 28: IMAGEM DA AMOSTRA OLARIA-2 COM A IDENTIFICAÇÃO DOS RUTILOS QUE FORAM IDENTIFICADOS PELO MICROSCÓPIO ELETRÔNICO PETROGRÁFICO, IMAGEADOS POR MEIO DE MEV E POSTERIORMENTE ANALISADOS POR MEIO DE LA-ICP-MS.	48
FIGURA 29: IMAGENS POR ELÉTRONS RETROESPALHADOS (A,B,C,D,E,F,G,H) DA AMOSTRA MG-161	51
FIGURA 30: IMAGENS POR ELÉTRONS RETROESPALHADOS (A,B,C,D,E,F,G) DA AMOSTRA SSP-DH-12A1.....	53
FIGURA 31: IMAGENS POR ELÉTRONS RETROESPALHADOS (A,B,C,D,E,F,G,H) DA AMOSTRA OLARIA-2 J.	55
FIGURA 32: IMAGENS POR ELÉTRONS RETROESPALHADOS (A,B,C,D,E,F,G,H,I,J,L,M) DA AMOSTRA SSP-DH-10A2	57
FIGURA 33: TEORES DE ZIRCÔNIO E NIÓBIO EM PPM NA AMOSTRA MG-161..	63
FIGURA 34: TEORES DE ZIRCÔNIO E NIÓBIO EM PPM NA AMOSTRA MG-161.	63
FIGURA 35: TEORES DE ZIRCÔNIO E NIÓBIO EM PPM DA AMOSTRA SSP-DH-12A1.	64
FIGURA 36: TEORES DE ZIRCÔNIO E NIÓBIO EM PPM NA AMOSTRA SSP-DH-12A1.	65
FIGURA 37: TEORES DE ZIRCÔNIO E NIÓBIO EM PPM DA AMOSTRA SSP-DH-10A2.	65
FIGURA 38: TEORES DE ZIRCÔNIO E NIÓBIO EM PPM DA AMOSTRA SSP-DH-10A2.	66
FIGURA 39: TEORES DE ZIRCÔNIO E NIÓBIO EM PPM DA AMOSTRA OLARIA-2.	67
FIGURA 40: TEORES DE ZIRCÔNIO E NIÓBIO EM PPM DA AMOSTRA OLARIA-2.	67
FIGURA 41: DIFERENÇA DE PPM DE ZR EM CRISTAL DE RUTILO INCLUSO NA GRANADA E NA MATRIZ.....	68
FIGURA 42: CONCENTRAÇÕES DE Nb E Cr DAS AMOSTRAS NO CRISTAIS DE RUTILO.	69
FIGURA 43: PONTOS DE CONCENTRAÇÕES EM RUTILO DE Nb vs. Cr A PARTIR DE DIFERENTES LOCAIS	70
FIGURA 44: PSEUDOSEÇÃO CALCULADA PARA A AMOSTRA MG-161, NO SISTEMA KFMASSTO.	72
FIGURA 45: PSEUDOSEÇÃO CALCULADA PARA A AMOSTRA SSP-DH-10A2, NO SISTEMA KFMASSTO.....	73
FIGURA 46: PSEUDOSEÇÃO CALCULADA PARA A AMOSTRA SSP-DH-12A1, NO SISTEMA KFMASSTO.....	74

LISTA DE TABELAS:

TABELA 1: AMOSTRAS SELECIONADAS PARA ANÁLISES BSE E LA-ICP-MS.....	6
TABELA 2: SIGNIFICADO DO NOME DAS AMOSTRAS.....	7
TABELA 3: AMOSTRAS ANALISADAS NO XRF	13
TABELA 4: MODELOS DE SOLUÇÃO	14
TABELA 5: CONCENTRAÇÕES DE Zr E Nb OBTIDAS PARA A AMOSTRA MG-161.....	59
TABELA 6: CONCENTRAÇÕES DE Zr E Nb OBTIDAS PARA A AMOSTRA SSP-DH-12A1.....	60
TABELA 7: CONCENTRAÇÕES DE Zr E Nb OBTIDAS PARA A AMOSTRA SSP-DH-10A2.....	61
TABELA 8: CONCENTRAÇÕES DE Zr E Nb OBTIDAS PARA A AMOSTRA OLARIA-2.	62

1. INTRODUÇÃO

O Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) tem a proposta de dar continuidade a estudos realizados por Zanardo, 1992; Simões et al. (1988) e Luvizotto (2003) e investigou o metamorfismo em rochas de médio a alto grau metamórfico pertencente ao Grupo Araxá aflorantes na região de São Sebastião do Paraíso, MG. Os dados e as amostras essenciais para o desenvolvimento do TCC estavam disponíveis no Departamento de Petrologia e Metalogenia (DPM), IGCE/Unesp e foram coletados ao longo de vários trabalhos desenvolvidos na área e feito um mapeamento geológico na área adjacente a São Sebastião do Paraíso (SSP). O presente TCC tem seu foco em problemas ainda não abordados de forma sistemática em trabalhos anteriores, relacionados a calcular as condições de pico metamórfico.

Para as análises de temperatura para as rochas de mais alto grau na Nappe de Passos, foi utilizado o rutilo como o principal mineral acessório, por ser um importante carregador de elementos traços, principalmente aqueles que possuem alta carga iônica, como por exemplo, Ti, Nb, Ta, Zr, HF, Sb, Sn, V, W e Cr. Foi demonstrado que a incorporação de Zr no rutilo é dependente de temperatura em sistemas com o quartzo e zircão (Zack et al - 2004; Watson et al - 2006; Tomkins et al - 2007).

1.1 Minerais acessórios e elementos traços

É de grande importância o conhecimento de minerais acessórios e de elementos traços, isso porque os minerais acessórios apesar de ocorrerem em pequenas quantidades, são os mais importantes carregadores de elementos traços. Esses são fundamentais para monitorar processos geoquímicos, como troca de elementos entre os minerais. Com a baixa mobilidade destes elementos, eles são importantes para ter referência do metamorfismo principal, isso porque não sofreram reequilíbrios posteriores. Como a incorporação de Zr no rutilo é dependente da temperatura e pressão, pode-se calcular os valores de temperatura e pressão por técnicas analíticas como MEV e LA-ICP-MS.

A geoquímica de elementos traços em rutilo é também usada para estudos da proveniência de sedimentos, sendo os cristais de rutilo um potencial padrão mineral para microanálises, ou seja, Nb e Cr podem ser usados para diferenciação entre rochas metamórficas e metapelíticas, e o Zr pode indicar a temperatura do pico metamórfico da rocha fonte.

1.2 Rutilo:

Rutilo (TiO_2) é uma das principais fases de Ti e frequentemente ocorre como mineral acessório em diversas rochas ígneas e metamórficas, sedimentos siliciclásticos, depósitos de placer e depósitos hidrotermais. É a forma mais comum e natural de TiO_2 , com três mais raros polimorfos anataso, rutilo e brookita. Cristaliza-se em uma estrutura tetragonal, com cada íon Ti^{4+} e rodeado por seis oxigênios nos vértices de um octaedro regular distorcido. Cada oxigênio está rodeado por três íons Ti^{4+} e encontra-se em um plano nos vértices de um triângulo equilátero aproximadamente (DEER et al., 1992). Este arranjo resulta em uma cela unitária primitiva tetragonal. O arranjo local dos ânions e cátions leva 6 ao redor de 1 Ti e 3 Ti ao redor de 1 oxigênio (Figura 1).

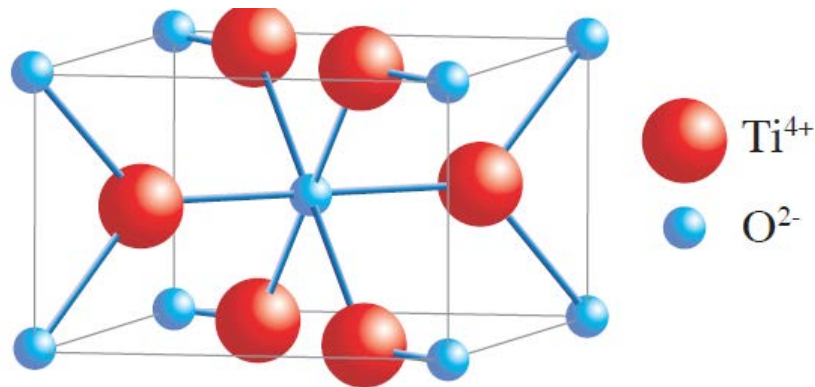


Figura 1: Estrutura do rutilo TiO_2 . Parâmetros de célula unitária: $a=4.584$, e $c=2.953$. (extraído de Luvisotto, 2008)

Em rochas metamórficas, como por exemplo as rochas da área de estudo, a formação de rutilo é associada em uma sequência de reações de desidratação, primeiramente envolvendo muscovita (para formar sillimanita e feldspato potássico) e, em seguida, biotita (para formar feldspatos potássicos e granada) na fase de transição de anfibolito a granulito. O Ti liberado pela quebra da biotita leva à formação de rutilo, que pode ser descrita pela reação: $\text{Sil} + \text{Bt} (\text{alto-Ti}) + \text{Qtz} = \text{Grt} + \text{Kfs} + \text{Rt} + \text{melt}$. A formação de rutilo a partir da biotita é também apoiada por texturas petrográficas observadas nas rochas.

Recentemente tem sido demonstrado que a incorporação de Zr em rutilo é fortemente dependente da temperatura (ZACK et al., 2004b; WATSON et al., 2006; TOMKINS et al., 2007) em sistemas contendo quartzo e zircão, assim como o rutilo também fornece idades precisas de U-Pb (ZACK et al 2011).

1.3 Localização e vias de acesso

A área de estudo localiza-se no sudoeste do estado de Minas Gerais, a leste da cidade de São Sebastião do Paraíso (Figura 2). O acesso à área pode ser feito através da rodovia SP-330, seguindo-se até Ribeirão Preto, onde se tem acesso a SP-351 / MG – 050 que liga a região de Nordeste do estado de São Paulo a Belo Horizonte, passando por São Sebastião do Paraíso e Passos.

A Figura 2 representa a localização geral nos estados de Minas Gerais e São Paulo, em que as linhas vermelhas são as rodovias que dão acesso até a área representada pelo retângulo listrado, e em destaque no quadro maior, as latitudes e as longitudes dos estados de Minas Gerais e São Paulo.

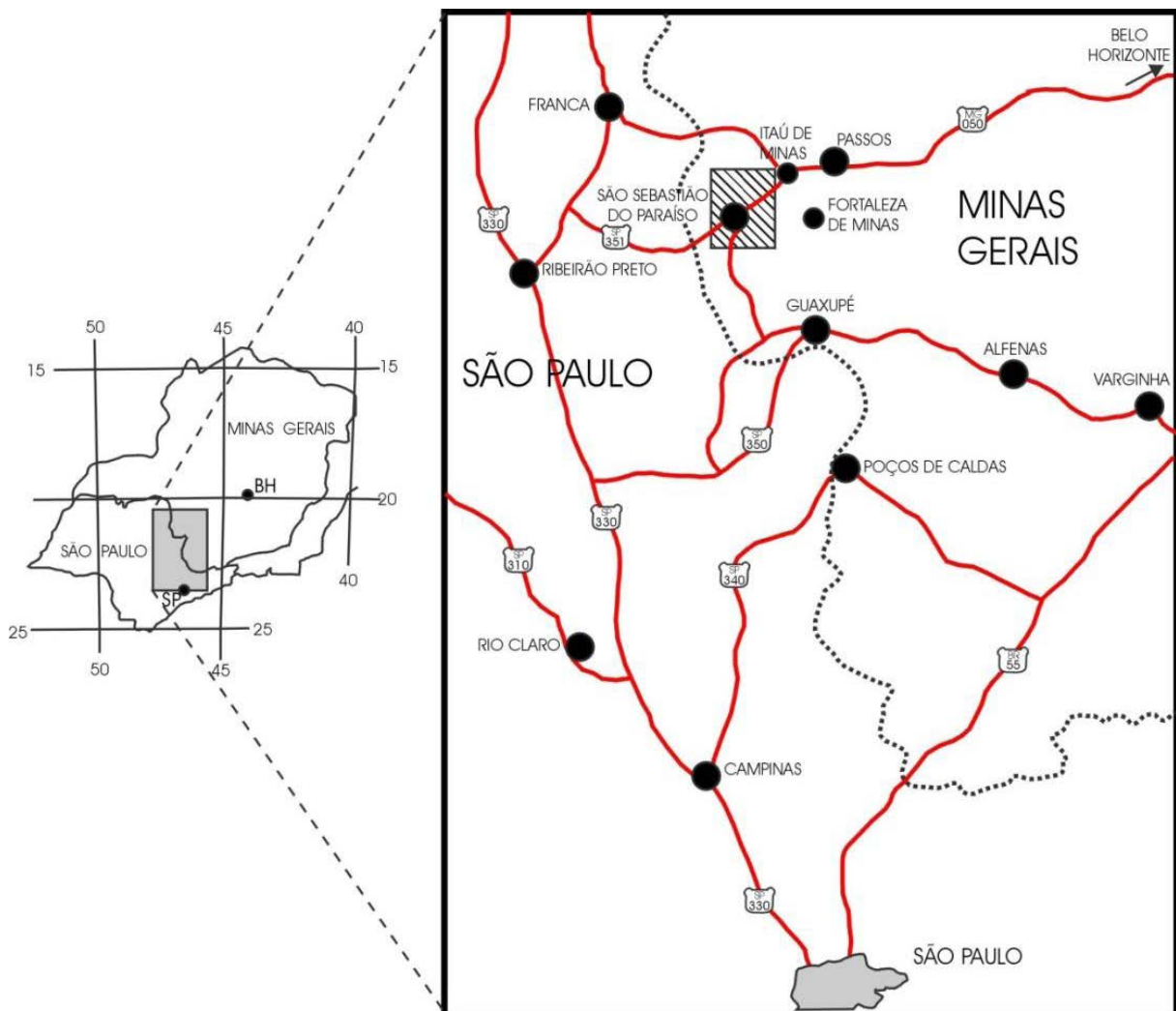


Figura 2: Localização da área de estudo (retângulo preenchido com linhas inclinadas) e principais vias de acesso.

2. OBJETIVOS

O objetivo é investigar com base em estudos petrográficos, geotermométrico e por meio de pseudoseções as condições de pico do metamorfismo. Será dada atenção especial às rochas de mais alto grau aflorantes na área, pouco contemplada em estudos anteriores;

Visa também dar continuidade ao mapa geológico da folha de SSP, em escala 1:50000 (Luvizotto et al., 2003).

3. MÉTODOS DE TRABALHO

Neste trabalho foram utilizadas técnicas básicas e avançadas para o estudo das rochas metamórficas e inclui: mapeamento geológico, descrição mesoscópica e microscópica de amostras com o auxílio de lupa e microscópio petrográfico (paragêneses, texturas e padrão de inclusões); documentação fotomicrográfica das lâminas e imageamento com microscópio eletrônico de varredura / imagens de elétrons retroespalhados (SEM/BSE); análises químicas de rutilo por meio do método “Laser Ablation ICP-MS” (LA-ICP-MS) e de rocha total por meio de fluorescência de raio X. Por fim realizou-se a integração dos dados químicos e cartográficos para a posterior interpretação dos mesmos. Tais atividades foram desenvolvidas junto ao DPM, IGCE/Unesp, na Universidade de Heidelberg - Alemanha (SEM/BSE) e na Universidade de Gotemburgo - Suécia (LA-ICP-MS).

O presente trabalho foi desenvolvido segundo o plano apresentado a seguir.

1. Levantamento bibliográfico e coleta de informações referentes aos tópicos e técnicas abordados no presente trabalho. Este processo é listado como a primeira atividade, mas que foi estendido ao longo de todo o trabalho, a fim de se manter atualizadas as informações relacionadas aos tópicos abordados.
2. Organização e integração de dados pré-existentes (mestrado Luvizotto e outros trabalhos referentes a área de estudo), incluindo material cartográfico, amostras de rocha, lâminas petrográficas e eventuais dados de química de rocha e mineral disponível no DPM.
3. Definição, com base nos dados integrados, de domínios de maior interesse dentro da área investigada. Tais domínios serviram como base para a seleção de amostras para a confecção de novas lâminas petrográficas bem como para direcionar trabalhos de campo. A Nappe de Passos na área pesquisada de São Sebastião do Paraíso possui metamorfismo invertido e com a estrutura macroscópica regional de uma sinforma com eixo mergulhando para oeste (LUVIZOTTO 2003). Portanto, foram investigadas áreas onde afloram rochas das unidades superiores da sequência metassedimentar, na porção oeste da área de afloramento do grupo Araxá.

4. Trabalhos de campo para auxiliar na integração e complementação dos mapas pré-existentes, abrangendo áreas com escassez ou ausência de dados. Foram coletadas amostras de interesse para as análises do metamorfismo.
5. Seleção de amostras de mais alto grau para estudos Geotermométricos, no qual lâminas petrográficas foram confeccionadas no laboratório de laminação do DPM, IGCE/Unesp e na Universidade de Heidelberg, Alemanha.
6. Descrição petrográfica, tanto das lâminas pré-existentes quanto de novas lâminas confeccionadas ao longo do desenvolvimento do projeto. O trabalho de petrografia procurou identificar a ocorrência de minerais índices do metamorfismo, identificar texturas que evidenciem processos de metamorfismo e fusão e identificar, através das associações minerais, as principais reações metamórficas que deram origem à paragênese atual. Foi investigada em detalhe a possível ocorrência de feldspato potássico nas rochas, o que indicaria a passagem da fácies anfibolito para granulito e foi dada atenção especial às amostras contendo rutilo.
7. Um total de 5 lâminas (Tabelas 1 e 2) contendo rutilo passou por um sistemático processo de documentação e imageamento (microscópio petrográfico e SEM/BSE), visando à preparação destas amostras para análises químicas “in situ” de rutilo. Tais análises químicas fornecem resultados de temperatura, por meio da concentração de Zr (TOMKINS et al., 2007).

As amostras selecionadas representam a unidade estratigráfica superior e assim teoricamente o maior grau metamórfico:

Tabela 1: Amostras selecionadas para análises BSE e LA-ICP-MS

Amostra	Unidade Estratigráfica	Rocha	Coordenada
SSP-DH-12A1	H	Biotita-granada gnaiss	297374 / 7692826
SSP-DH-10A2	H	Biotita-granada gnaiss	297791 / 7693003
SSP-DH-9A1	H	Cianita-biotita-granada gnaiss	297326 / 7689879
MG-161	H	Biotita-granada gnaiss	300682 / 769272
Olaria 2	F	Retroeclogito	301204 / 769784

Tabela 2: Significado nomenclatura utilizada para designar as amostras

SSP	São Sebastiao do Paraiso
DH	Amostra referente ao trabalho
12	Número do ponto visitado no trabalho de campo
A1	Identificação de uma das amostras do mesmo ponto
MG-161	Amostra referente à Luvizotto 2003 e número do ponto
Olaria 2	Local do ponto (Fazenda) e número do ponto

8. Confecção de Mapa Geológico (localização dos pontos em campo, retroelogitos, amostras analisadas por BSE e LA-ICP-MS e foliação) da parte noroeste da Folha São Sebastião do Paraiso. A base topográfica utilizada foi IBGE 1971 referente ao mapa geológico Luvizotto 2003. Para elaboração do mapa geológico deste trabalho foram utilizados os programas Arc Gis 9.3 e Corel Draw 6.0.
9. Tratamento e integração dos dados obtidos visando à caracterização das condições de temperatura atingidas durante o pico do metamorfismo. Para isto, foram utilizadas as reações metamórficas descritas, grades petrogenéticas e pseudoseções publicadas na literatura para amostras com composição química semelhante às das rochas estudadas.
10. Análises químicas minerais pontuais nas lâminas selecionadas (Tabela 1), onde foram feitos imageamentos dos rutilos selecionados anteriormente no microscópio petrográfico e MEV, também análises dos rutilos no LA-ICP-MS, sendo colocados em tabelas do Excel.
11. Elaboração de relatório final (Figura 3).

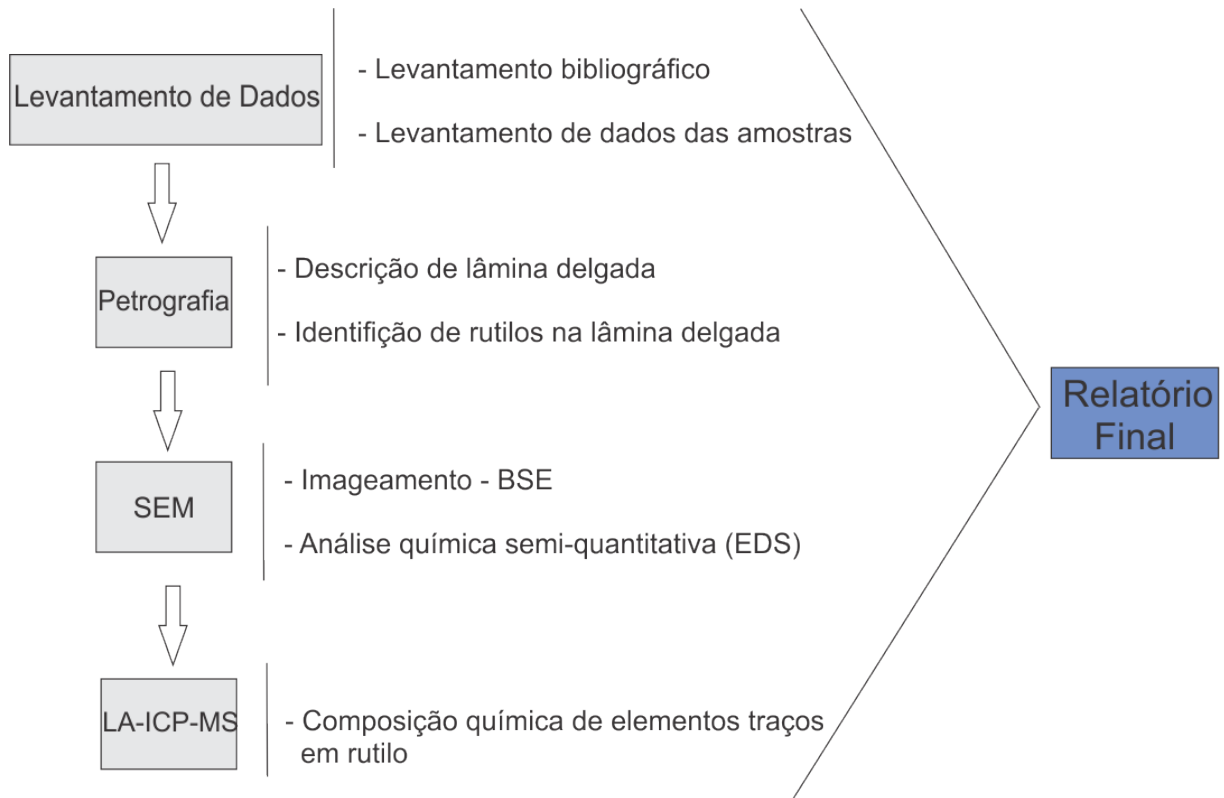


Figura 3: Fluxograma das etapas de trabalho.

Detalha-se a seguir os procedimentos de preparação e seleção de rutilos para análise química.

3.1 Procedimento

Os critérios a seguir foram utilizados para selecionar rutilos a serem analisados:

- Confecção de lâmina polida e descrição petrográfica.
- Os cristais maiores que $50\mu\text{m}$, de preferência sem inclusões, lamelas e agulhas e com uma boa forma cristalina.
- Os cristais de rutilo inclusos nos minerais granada e cianita, isso porque existe uma preservação do metamorfismo principal (sistema fechado).
- Cristais de rutilos presentes na matriz da rocha, principalmente em quartzo e feldspato.
- E de preferência longe de fraturas, isso porque o rutilo não terá uma reação de reequilíbrio com os fluidos das fraturas.

A preparação das amostras seguiu os passos listados a seguir:

1. Estes rutilos são marcados em imagens scaneadas das lâminas, para facilitar a localização

dos rutilos no (SEM/BSE) (Figura 4).

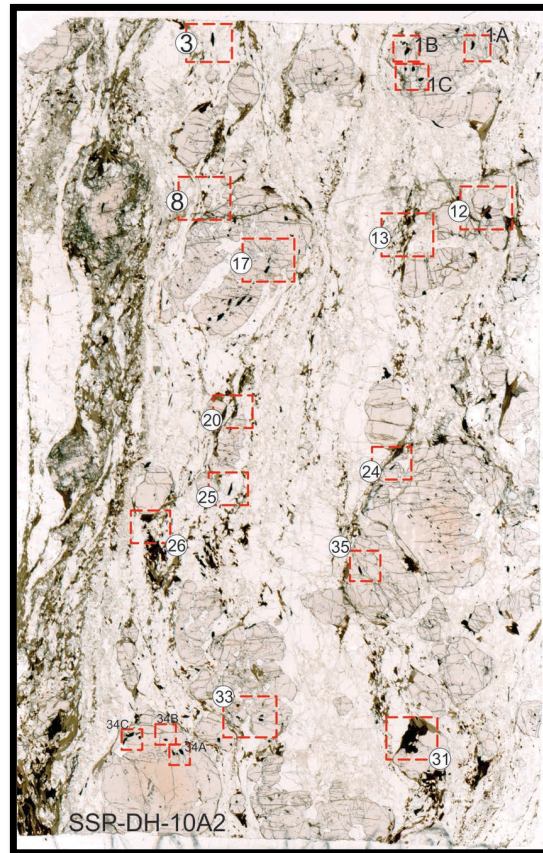


Figura 4: Exemplo da imagem da amostra SSP-DH-10A2 com a localização dos rutilos que foram identificados pelo microscópio petrográfico, imageados por meio de MEV e posteriormente analisados por meio de LA-ICP-MS.

2. Foram selecionadas três amostras para análise química de Rocha Total por meio de Espectrometro de fluorescência de Raio X (XRF) no Laboratório de Geoquímica - IGCE - DPM (Tabela 3). O XRF é do modelo Philips PW-2400, com tubo de RH de 3 kw, (Ver metodologia em Nardy et al,1997).
3. Metalização das lâminas com carbono para criar uma camada submilimetrica condutora sobre as mesmas.
4. Imageamento em SEM/BSE

O processo de imageamento seguiu os passos listados a seguir:

- O microscópio eletrônico de varredura (SEM) produz imagens de alta resolução de uma amostra. Um feixe de elétrons de alta energia incide na superfície da amostra, o que provoca uma interação, onde parte do feixe é refletida e coletada por detectores do tipo BSE (Figura 5).

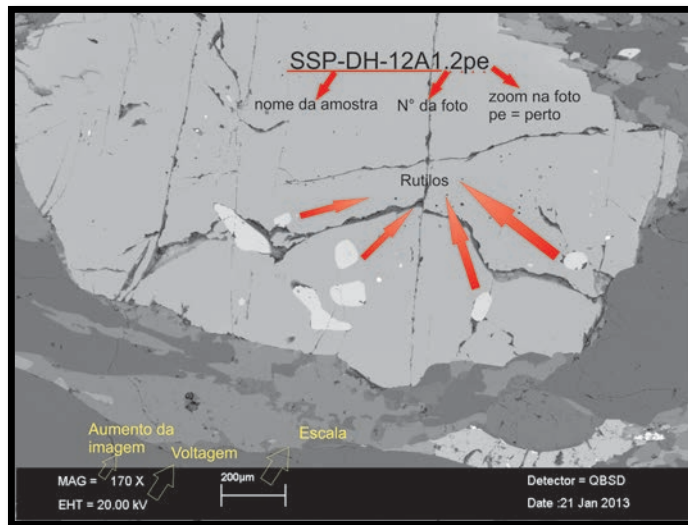


Figura 5: Imagem MEV exemplificada.

- Foi utilizado detector de elétrons retroespalhados (BSE), que capta os elétrons refletidos pela amostra e os diferencia através dos seus respectivos coeficientes de emissão, que estão diretamente relacionados com os números atômicos dos elementos químicos analisados (Figura 6).

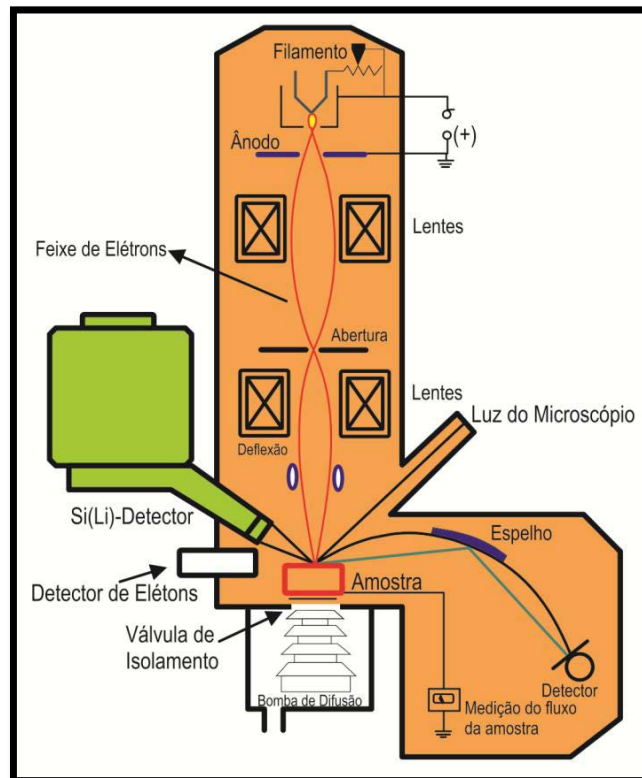


Figura 6: Ilustração e componentes do MEV. Fonte: Adaptado de Hans-Peter Meyer (material de aula), 2012

- Estes sinais são transmitidos ao programa INCA, através de outro detector

Energy-Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS) que possibilita analisar a composição química de cada mineral existente na rocha. Este programa foi utilizado para confirmar se os minerais identificados em seção delgada realmente se tratavam de rutilos (Figura 7).

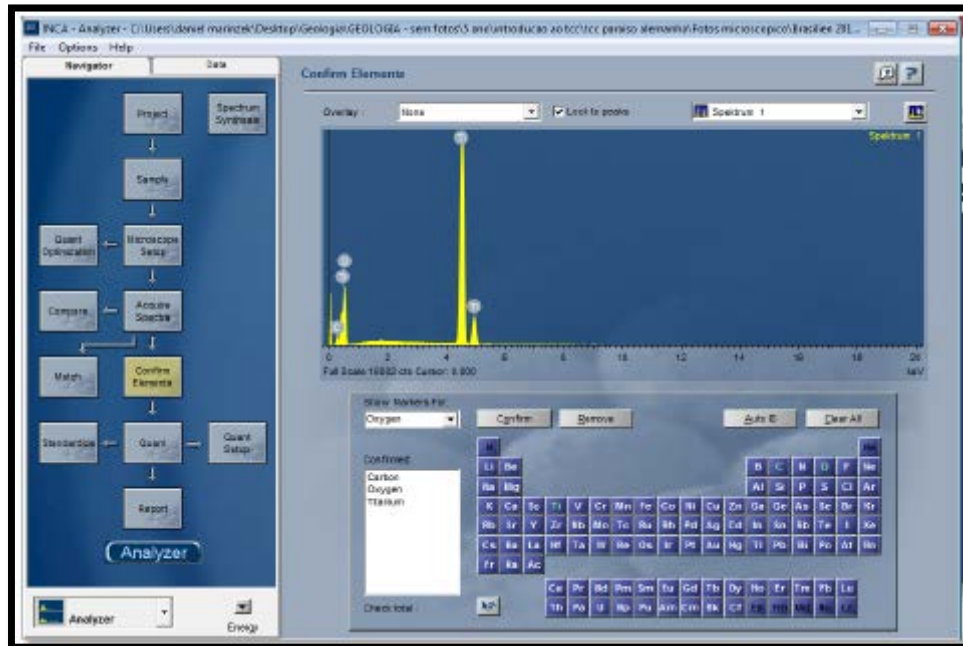


Figura 7: Imagem ilustrando espectro de Raio X de um grão de rutilo e o ambiente de trabalho do software INCA

Todo este processo de imageamento e seleção de grãos para análise se decorreu em 3 meses de curso teórico e mais um mês de uso do MEV, assim totalizando 4 meses de trabalho.

5. Preparação de tabela indicando os grãos de rutilo à serem analisados por meio de LA-ICP-MS .

Foi confeccionada uma tabela (Anexo 4) contendo informações referentes as amostras, tais como: números das imagens escaneadas, detectores, ocorrência de inclusões, minerais hospedeiros, localização dos cristais, tamanho, ocorrência de fraturas e demais observações.

6. Análise química para a determinação da concentração de Zr no rutilo.

A Espectrometria de massa é usada para identificar diferentes tipos de átomos (isótopos) que algumas substâncias possuem. A incidência de laser pulveriza pequenas porções ou partículas da amostra que são ionizadas pela fonte de plasma (por calor), assim, a massa e os íons são interpretados pela posição que passam no espectrômetro. Neste trabalho foi utilizado o *laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometer* (LA-ICP-MS) do Departamento de

Ciências da Terra da Universidade de Gothenburg (Suécia), para as análises em cristais de rutilo.

No La-ICP-MS a amostra é atingida pontualmente por um laser que provoca a pulverização/vaporização de pequena quantidade da mesma; posteriormente na câmara de ablação é adicionado um gás nebulizador (He ou Ar) ao material vaporizado, transformando-o em aerossóis. Os aerossóis criados são transportados para dentro do núcleo de um plasma de argônio indutivamente acoplado (ICP) que pode atingir temperaturas da ordem de 10000 K, fazendo com que as partículas se transformem em moléculas, átomos e íons, sendo que estes últimos são separados em função de suas respectivas massas por um analisador (espectômetro de massa) e lidos por um detector, que gera o espectro característico de cada elemento (Agilent Technology 2005). O ICP-MS oferece uma sensibilidade extremamente alta para uma vasta gama de elementos (Figura 8).

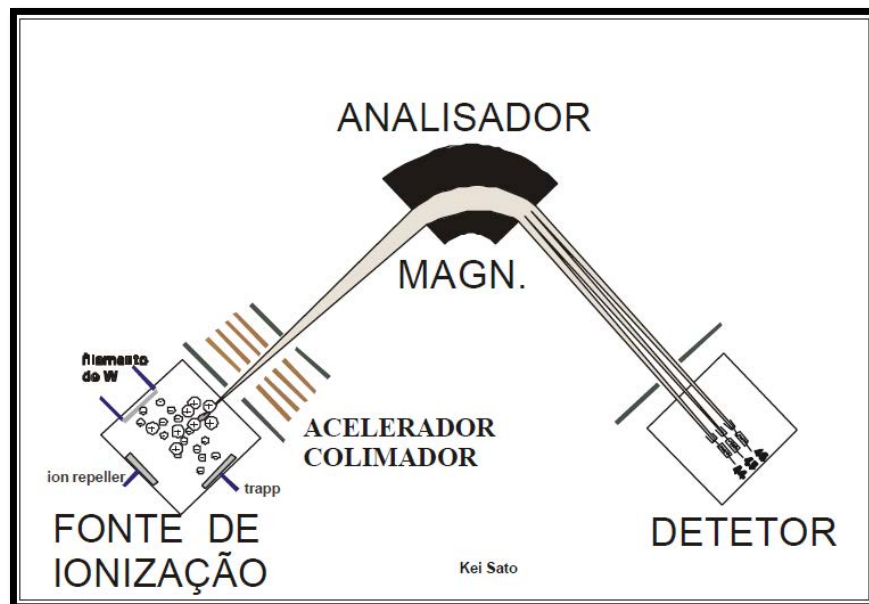


Figura 8: Esquema do ICP-MS. Fonte Sato 2002

A análise por ablação a laser em rutilos foi realizada na Universidade de Gothenburg – Suécia usando o sistema de ablação a laser New Wave NWR213 acoplado ao analisador quadrupolar Agilent 7500a ICP-MS. A câmara que abriga as amostras, chamada de célula de grande formato tem a capacidade, por exemplo, de acomodar até 9 discos regulares de 1 polegada cada, ou de 6 a 8 lâminas retangulares de dimensões de 4,5x3,0 cm dispostas de maneira organizada. Combinada com uma câmara de ablação de 1 centímetro de diâmetro (posicionada sobre a amostra quando a mesma é analisada) permite uma rápida varredura em qualquer lugar que a amostra esteja na célula de grande formato. As análises são realizadas

utilizando-se feixe de 50 μm de energia de densidade aproximada de $4\text{J}/\text{cm}^2$ e taxa de repetição de 10 Hz. A câmara de ablação foi “preenchida” com hélio, gás utilizado para transportar o aerosol produzido durante a ablação para o ICP-MS. Antes de atingir a tocha, o transportador de gás é misturado com argônio e nitrogênio, com uma taxa total de 0.90l /min hélio, 0.65 l/min argônio e 2 ml/min nitrogênio.

Assim das 4 amostras encaminhadas ao LA-ICP-MS, 75 rutilos foram analisados, para os quais 15 isotopos foram quantificados em ppm, que são: Al^{27} ; V^{51} ; Cr^{53} ; Fe^{56} ; Zr^{90} ; Nb^{93} ; Mo^{95} ; Sn^{118} ; Sb^{121} ; Hf^{178} ; Ta^{181} ; W^{184} ; Pb^{208} ; Th^{232} ; U^{238} (ver Anexo 3).

Os padrões utilizados para conferir a confiabilidade das análises foram o SRM610 (padrão primário) e o rutilo R10 (padrão secundário, Luvizotto et al. 2009).

- Foram selecionadas três amostras para análise química de Rocha Total por meio de Espectrometro de fluorescência de Raio X (XRF) no Laboratório de Geoquímica - IGCE - DPM (Tabela 3). O XRF é do modelo Philips PW-2400, com tubo de RH de 3 kw, (Ver metodologia em Nardy et al,1997).

Tabela 3: Amostras analisadas no XRF

Amostra	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Soma	Soma sem LOI
SSP-DH-10A2	67,2	1,1	14,3	8,18	0,2	2,47	1,5	1,47	3,5	0,18	0,1	100	99,96
SSP-DH-12A	67,5	1,2	14,5	8,55	0,2	2,51	1,3	0,92	3,2	0,2	0	100	100
MG-161	72,8	1,2	13,4	5,4	0,1	1,31	0,8	1,15	3,9	0,07	0	100	99,99

- Foram feitas também estimativas de P e T por meio de pseudoseções para comprovar a mineralogia de pelito em alto grau metamórfico na região de SSP. O software utilizado para gerar pseudoseções foi o Perple_X (Connolly, 2005). As pseudoseções foram calculadas para o sistema KFMASHTO e as análises de rocha total recalculadas para o equivalente de 1% de H₂O, volume suficiente para saturar a rocha e gerar material fundido.

Para os cálculos utilizaram-se os seguintes modelos de solução (Tabela 4).

Tabela 4: Modelos de Solução

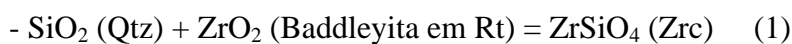
Modelo de Solução	Fase mineral
TiBio (HP)	TiBt: biotita
Gt (HP)	Gr: granada
St (HP)	St: estaurolita
hCrd	Crd: cordierita
Ctd (HP)	Cld: cloritóide
Opx: (HP)	Opx: ortopiroxênio
Chl (HP)	Chl: clorita
Sp (HP)	Spl: espinélio
Melt (HP)	fundido
Pheng (HP)	Pheng: fengita
ILHm (A)	ilm: ilmenita

Para detalhes sobre estes modelos de solução ver documentação do software Perple-X em Connolly (2005).

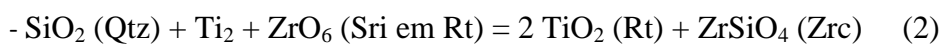
3.2 Geotermômetro de Zr em Rutilo

Segundo (ZACK et al. 2004), geralmente o crescimento rutilo pode ser associado a (1) a uma série de reações contínuas P-sensíveis envolvendo a quebra de titanita e / ou ilmenita sendo o rutilo estabilizado em alta pressão, (2) a quebra de hornblenda rica em Ti e biotita onde ilmenita e / ou rutilo formam no lado de alta temperatura e (3) exsolução durante o arrefecimento a partir de uma fase de alta temperatura (por exemplo, Ti-augita, kaersutita, titanomagnetite)

Em um sistema de ZrO_2 - SiO_2 - TiO_2 , a reação equilibrada a seguir pode ser escrita, de forma que isola o conteúdo de Zr no rutilo coexistindo com zircão e quartzo: (ZACK et al., 2004)



No entanto, uma fase intermediária no sistema de ZrO_2 - TiO_2 a srilankita (Ti_2ZrO_6 ; WILLGALLIS et al. 1983) é estável sob condições geológicas (Troitzsch e Ellis, 2004). Assim, uma reação alternativa pode ser escrita:



Estudos recentes, por exemplo, Zack et al. (2004) e Tomkins et al. (2007), mostraram que a solubilidade de ZrO_2 em rutilo é fortemente dependente da temperatura. Desta forma, em sistemas contendo Ti, Zr e Si em excesso, isto é, contendo quartzo, rutilo e zircão, a quantidade

de Zr no rutilo pode ser utilizada para cálculo da temperatura de cristalização deste mineral. Esta é a base fundamental do geotermômetro Zr-em-rutilo. Todavia, há efeito da pressão na incorporação Zr no rutilo. Isto se deve ao fato do Zr^{+4} ser um (cátion maior) que o Ti^{+4} (cátion menor). Desta forma, pra uma mesma temperatura, o teor de Zr no rutilo deve diminuir com o aumento da pressão. Tal fato foi demonstrado experimentalmente por ensaios de laboratório realizados por Tomkins et al. (2007).

No sistema $TiO_2 - ZrO_2 - SiO_2$ (equação 2) a presença de quartzo e zircão funciona como uma solução tampão que fornece Zr para ser incorporado ao rutilo, mantendo-se assim o equilíbrio do sistema (ZACK et al. 2004, TOMKINS et al. 2007). Nos trabalhos apresentados, por exemplo, Zack et al. (2004) e Luvizotto et al. (2009), os autores discutem que as maiores concentrações de Zr são encontradas em rutilo inclusos em fases resistentes, como por exemplo, granada e cianita. Os autores discutem ainda que estes minerais teriam servido como escudo, preservando a composição química dos cristais de rutilo, no que se diz respeito às concentrações de Zr. Tomkins (2007) levantou algumas questões sobre o fato apresentado acima e discute que, mesmo que a associação mineral rutilo, zircão e quartzo ocorram na rocha, o zircão presente somente em inclusões em minerais pode não ter tido comunicação com rutilo quando ele cresceu. Desta forma, se o rutilo foi isolado partir do quartzo, ou tornou-se isolado enquanto ele estava em comunicação com uma fonte de Zr, então ele terá mais Zr do que o esperado para aquela temperatura.

Porém, segundo (Zack et al. (2004) o crescimento da granada pode ser atribuído às condições metamórficas de pico. A morfologia arredondada de inclusões é interpretada como a incorporação de cristais durante o crescimento de porfiroblastos. Observação de rutilo, zircão e quartzo em tais granadas (uma característica comum em algumas amostras investigadas) indica a sua presença durante as condições de pico metamórfico, ou seja, os teores de Zr nos rutilos inclusos nas granadas são aqueles mais fiéis para análise de temperatura. Será discutido no decorrer do trabalho que as concentrações mais altas de Zr nos rutilos analisados no presente trabalho correspondem àquelas obtidas em cristais inclusos em granada. Assume-se neste trabalho que a interpretação de Zack et al. (2004) é a que melhor reflete os resultados obtidos.

No Anexo II os cálculos de temperatura no rutilo são dados pela seguinte fórmula (SEGUNDO H. S. TOMKINS, 2007):

$$T(^{\circ}C) = 83.9 + 0.410P / 0.1428 - R \ln \varnothing$$

No qual \varnothing é ppm de Zr em cristais de rutilo, P é em kbar e R é a constante do gás, (0.0083144 kJ K⁻¹).

Sendo que nas colunas do Anexo II os significados são: Número de rutilos analisados;

número de pontos no LA-ICP-MS; Número da imagem no BSE; Número do rutilo na imagem; isótopo 90 do zircônio; isótopo 93 do nióbio; Temperatura calculada segundo Zack 2004; Temperatura calculada segundo Tomkins 2007.

4. GEOLOGIA REGIONAL:

A área de estudo faz parte da Província Tocantins, um domínio orogênico decorrente da aproximação e colisão dos crátons Amazônico a oeste, do cráton São Francisco a leste e o cráton Parapanema a sudoeste (ALMEIDA *et al.*, 1981). Três cinturões dobrados configuram a Província Tocantins, sendo a Faixa Brasília que faz limite ao cráton São Francisco, e as Faixas Paraguai e Araguaia que bordejam a cráton Amazônico (ALMEIDA *et al.*, 1981) (Figura 9).

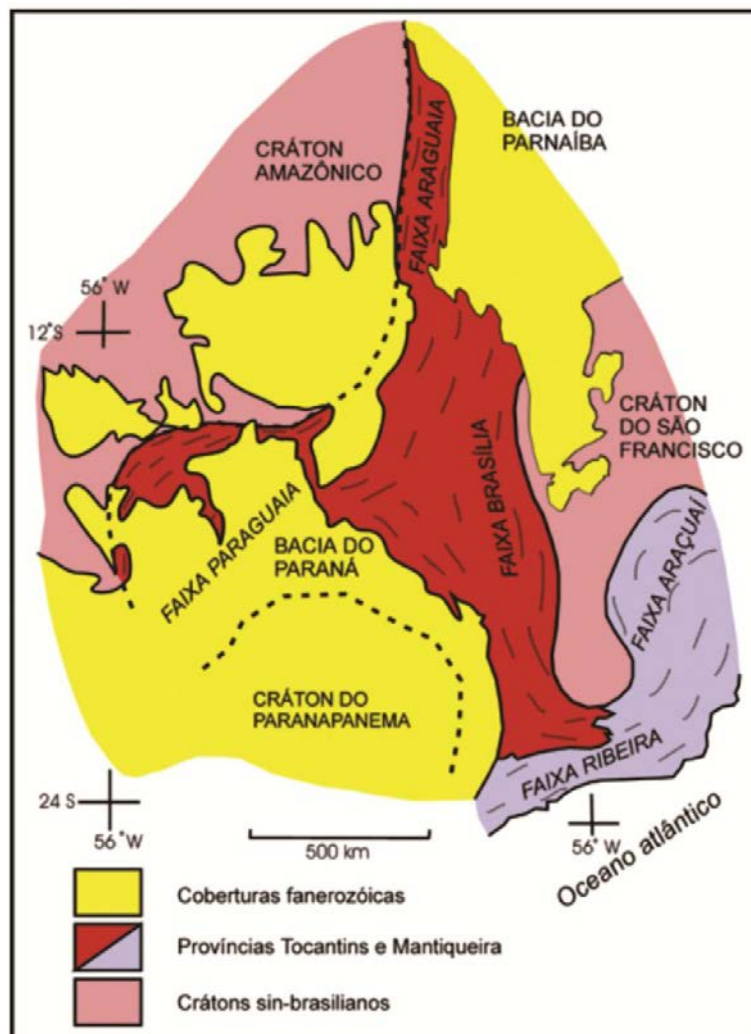


Figura 9: Esboço tectônico do Brasil central, com destaque para a Província Tocantins.

As rochas adjacentes à área de estudo fazem parte da Faixa Brasília, um cinturão de

dobras e cisalhamento Neoproterozóico (790 – 600 Ma.) desenvolvido na margem ocidental do Cráton São Francisco (Valeriano et al., 1995).

A Faixa Brasília é caracterizada em um complexo sistema de nappes e cavalgamentos, em que os contatos são caracterizados por zonas de cisalhamento de baixo ângulo e frequentemente arqueados por rampas laterais (Teixeira & Danni, 1978; Schmidt & Fleischer, 1978; Simões, 1995, Valeriano et al., 1995, Seer, 1999).

Três compartimentos tectônicos são reconhecidos na Faixa Brasília. Estes compartimentos estão imbricados de oeste para leste através de falhas de empurrão durante a Orogênese Brasileira. Esses compartimentos ou domínios estruturais foram denominados como Domínio interno, Domínio Externo e Domínio Cratônico (por exemplo: Valeriano, 1999 e Valeriano et al., 2000).

Apresenta-se a seguir uma descrição sucinta destes domínios.

- **Domínio interno:** Este domínio ocorre estruturalmente na porção superior. É alóctone e apresenta-se sotoposto ao Domínio Alóctone Externo. É representado pelos metassedimentos e magmatismo básico do Grupo Araxá e corresponde a Nappe de Passos na área estudada. É o domínio que apresenta graus mais intensos de metamorfismo e deformação (VALERIANO *et al.*, 1995).
- **Domínio Externo:** Este domínio representa o compartimento intermediário e é estruturalmente alóctone. Na área de estudo é constituído de escamas tectônicas de metassedimentos psamo-pelíticos correspondente ao sistema de cavalgamento Ilicínea-Piumhí. Próximo da região de estudo, em Passos, as rochas variam bastante como rochas arqueanas do Greenstone-belt de Piumhí, rochas do Grupo Canastra, ocorre também neste compartimento a presença do Grupo Bambuí e do seu embasamento (SIMOES; 1995).
- **Domínio Cratônico:** O Grupo Bambuí representa o compartimento inferior, em que é representado por uma cobertura metassedimentar pelito-carbonática. Os complexos Divinópolis e Campos Gerais representam o embasamento desse Grupo Bambuí sendo do tipo granito-greenstone.. Este domínio tem uma continuidade a leste com o Cráton São Francisco (VALERIANO *et al.*, 1995).

A figura 10 representa a disposição da Faixa Brasília nos três domínios tectônicos citados acima.

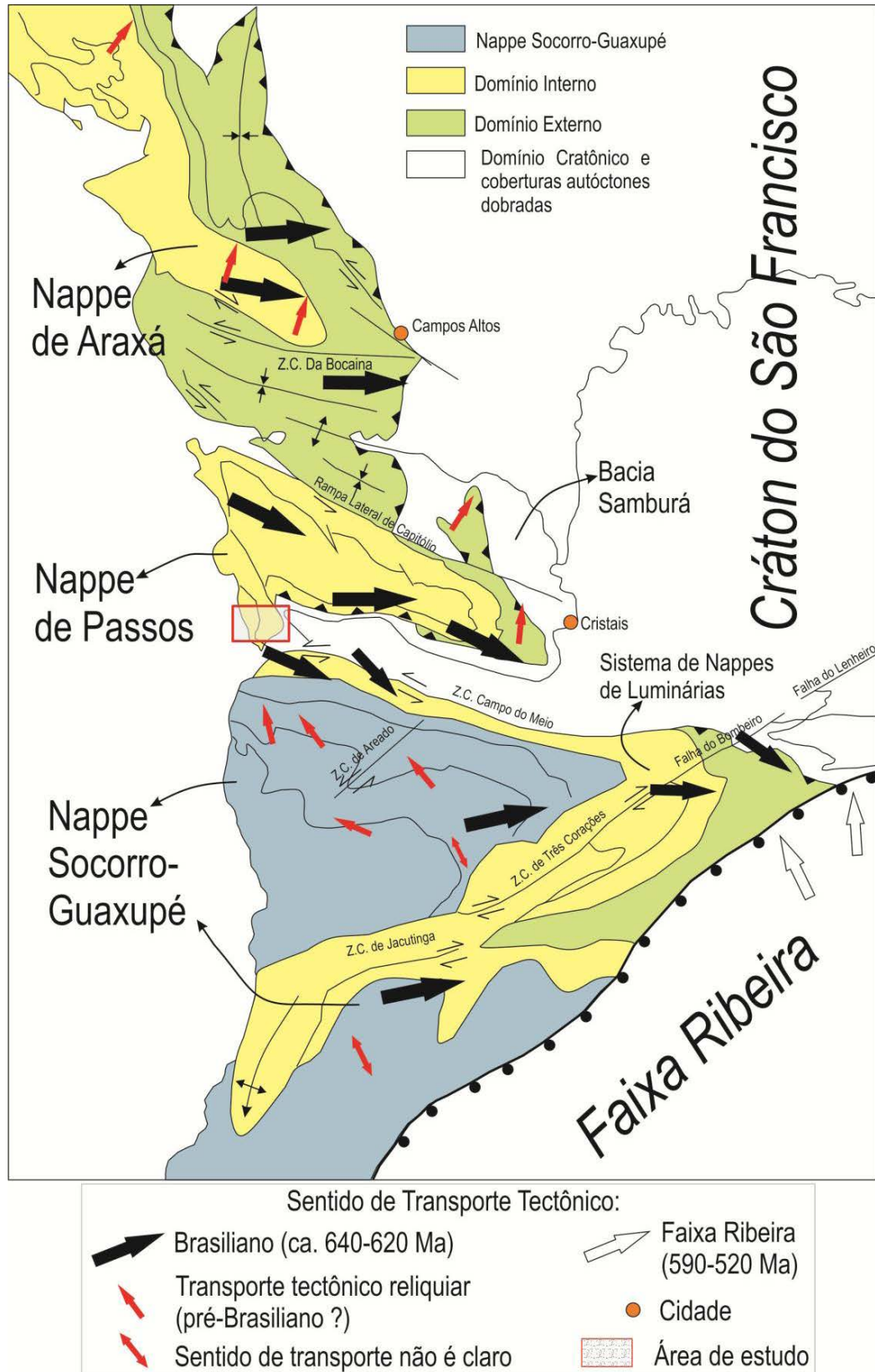


Figura 10: Faixa Brasília compartimentada em 3 domínios tectônicos. Fonte: Modificado de Valeriano, 1999.

O local de estudo deste trabalho insere-se Faixa Brasília Meridional pertencente ao Domínio interno. As rochas estudadas fazem parte da Nappe de Passos, do Grupo Araxá, uma unidade alóctone neoproterozóica com metamorfismo invertido composta por uma sequência metassedimentar e rochas metabásicas e ultrabásicas.

4.1 Unidades Regionais:

No entorno da área de estudo ocorrem rochas associadas ao Complexo Barbacena e sequências metavulcano-sedimentares de idade paleoproterozóica a arqueana que representam o embasamento: o Grupo Bambuí; o Grupo Araxá, e rochas sedimentares paleozóicas e mesozóicas da Bacia do Paraná. Ocorrem também depósitos aluvionares mais recentes de idades terciárias a quaternárias.

Para melhor entendimento serão descritas as unidades que compõem os Domínios Interno e Cratônico da Faixa Brasília Meridional. Desta forma, não serão apresentadas descrições detalhadas a respeito do Domínio Externo e depósitos sedimentares recentes.

- Complexo Barbacena: Pertencente ao Domínio Cratônico - O Complexo Barbacena foi inicialmente inserido no Complexo Campos Gerais por Cavalcante et al., (1979). Segundo Zanardo et al. (1996) o Complexo Campos Gerais pode-se ser dividido em duas unidades. Esta divisão baseia-se no fato das unidades possuírem idades e eventos tectônicos diferentes.

A porção a norte é representada por terrenos do tipo granito-greenstone, o qual correspondia o prolongamento oeste do Complexo Barbacena (Barbosa, 1954). Na parte sul, as rochas podem ser correlacionáveis com a sequência do Grupo Araxá por ser uma sequência metavulcano-sedimentar (ZANARDO et al., 1996).

O embasamento do Complexo Barbacena na região de estudo está sotoposto ao Grupo Bambuí e a Nappe de Passos, sendo as rochas xisto, gnaisse, anfíbolitos, migmatitos e rochas metavulcano-sedimentares pertencentes a este Complexo.

- Grupo Bambuí: Pertencente ao Domínio Cratônico e sotoposto a Nappe de Passos e sobre o Complexo Barbacena. Este Grupo é constituído essencialmente por rochas metamórficas, representadas por metaconglomerados, metasiltitos, metamargas e metafilitos ardoseanos. Por vezes este Grupo é encontrado no Domínio Externo da Faixa Brasília (Fuck *et al.* 1993).

Na região próxima da área de estudo, esta unidade é representada por metassedimentos

de baixo grau metamórfico, predominando filitos de laminação bem marcada com bandamento dado por faixas de cores alternadas e partes ricas em carbonatos, ocorrendo lentes de mármore (Morales et al.,1996).

Grupo Araxá: Este Grupo pertence ao Domínio Interno e vem sendo discutido por vários autores por apresentar dificuldade em construir uma coluna estratigráfica guia. Isto se deve ao fato da unidade possuir diferentes tipos de rocha, ligado a origem sedimentar e o grau metamórfico (por exemplo: Barbosa et al. 1970, Braun 1970, Marini et al. 1979, Braun & Baptista 1977, Teixeira 1978, Teixeira & Danni, 1978, Heilbron et al. 1987, Valeriano et al. 1989, Simões 1995, Seer 1999 dentre muitos outros).

Simões (1995) dividiu a Nappe de Passos em nove unidades da base para o topo de A a I. O autor definiu que o Ciclo Depositional Inferior é caracterizado pelas unidades basais (A, B e C), no qual representado por uma sedimentação essencialmente matura, como quartzitos associados à metapelitos. A partir da unidade D corresponde ao Ciclo Depositional Superior, no qual se torna mais comum a presença de metassedimentos imaturos, representados por paragnaisses.

Luvizotto (2003), em estudo realizado na porção sul da Nappe de Passos, próximo a São Sebastião do Paraíso, que identificou as mesmas unidades apresentadas por Simões (1995). Todavia, Luvizotto (2003) não identificou a presença da unidade I de Simões (1995) na área. O autor discute que as rochas representantes da unidade I podem ter sido incluídas na unidade H e não descarta a ocorrência da unidade I na região de São Sebastião do Paraíso (Figura 11).

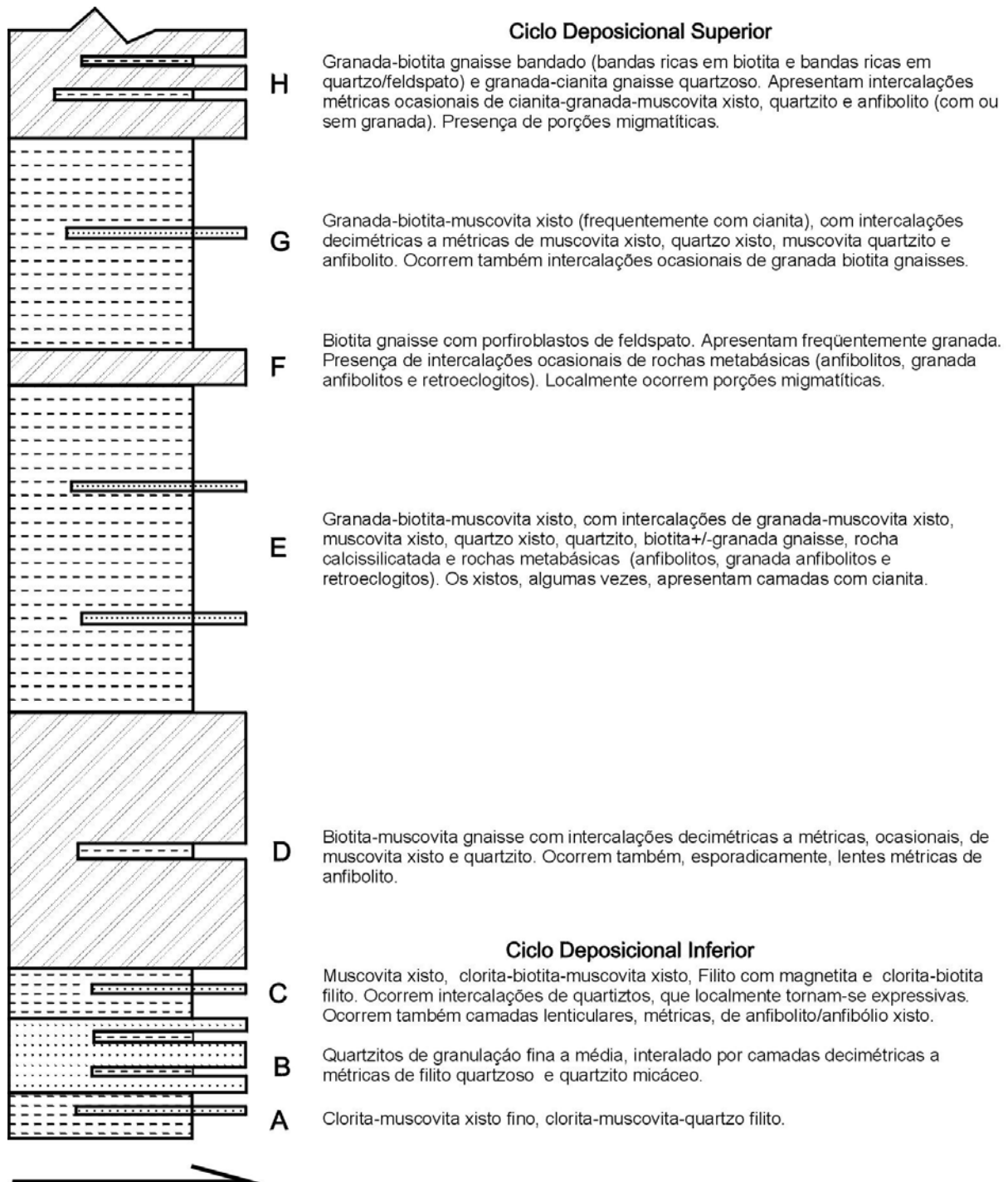


Figura 11: coluna estratigráfica do Grupo Araxá na área estudada. A divisão da estratigrafia em Ciclo Depositional Inferior e Superior segue a Proposta de Simões (1995).

4.2 Bacia do Paraná:

Ela é representada a oeste pela Formação Aquidauana na área de estudo (Anexo I), no qual é constituída por lamitos, arenitos avermelhados, que muitas vezes são conglomeráticos e diamictitos. Esta formação pertence ao Grupo Tubarão, denominado originalmente de Serie

Tubarão por White (1908) in Baptista et al. (1984) e apresenta idade permo-carbonífera. Em algumas porções em morro testemunho como Serras do Chapadão e Fortaleza é encontrada também esta Formação. Segundo Oliveira et al (1984) a espessura máxima é da ordem de 60 metros, ocorrendo ao sul da cidade de São Sebastião do Paraíso. Não será dada mais atenção a esta Bacia, pois não faz parte do contexto deste trabalho.

4.3 Estratigrafia do Grupo Araxá na Nappe de Passos

Seguindo a divisão do Grupo Araxá na Nappe de Passos, segundo Simões 1995 e Luvizotto 2003, pode ser dividida em 8 unidades litoestratigráficas, denominadas da base para o topo de A a H. Anteriormente, Simões et al -1988 descreveu estas unidades em 9 litoestratigrafias, porém a divisão de ambos autores são semelhantes. Somente a Unidade I mapeado por Simões (1955) não foi mapeada na área de estudo, mas não descartando que esta unidade possa aflorar em outra área na região.

Serão descritas a seguir brevemente as unidades litoestratigráficas da Nappe de Passos.

- Unidade A: Segundo Luvizotto 2003, esta unidade pode ser caracterizada por rochas metassedimentares de granulação fina, sendo muscovita xisto finos as principais rochas encontradas. A existência de clorita e biotita chega a ser às vezes essenciais em algumas camadas, ocorrendo também intercalações de camadas decimétricas a métricas de quartzito. O contato inferior desta unidade é tectônico, separando o Domínio Cratônico com a superfície de cavalgamento Nappe de Passos. Enquanto que o contato superior é transicional caracterizado pelo aumento da frequência de camadas de quartzito em direção ao topo da Unidade A (LUVIZOTTO, 2003).
- Unidade B: Os quartzitos puros apresentam granulação fina à média de coloração branca, (sendo que às vezes ocorre acamamento com bandas de quartzo e bandas mais escuras compostas por magnetita, ilmenita, zircão e turmalina), no qual estão alternados com quartzitos micáceos, sendo o contato entre as camadas é ora gradacional, ora abrupto (segundo LUVIZOTTO, 2003). O contato desta Unidade com a Unidade C é gradacional, marcado por intercalações de camadas de

muscovita xisto, cuja frequência aumenta, até tornar-se a rocha predominante (LUVIZOTTO, 2003).

- Unidade C: Esta unidade é composta por muscovita xisto, biotita-muscovita xisto, clorita-muscovita xisto e clorita-biotita muscovita xisto. Ocorrem também a presença de quartzito puro e micáceo, sendo estes quartzitos em camadas decimétricas a métricas, no qual em algumas partes podem ser expressivos. Os xistos apresentam granulação fina de coloração acinzentada a prateada, e quando alterados apresentam coloração ocre a avermelhada (LUVIZOTTO 2003). Há presença de rochas metabásicas, no qual existem intercalações métricas de clorita-actinolita xisto e anfibólio xisto (SIMÕES 1995).
- Unidade D: Esta unidade representa a primeira unidade expressiva de gnaiss no Grupo Araxá (LUVIZOTTO, 2003). É formada por biotita-muscovita gnaiss bandados e apresenta em algumas porções decimétricas a métricas de quartzito e muscovita xisto. São encontrados locais com anfibólitos. Simões & Valeriano (1990), Valeriano (1992) e Simões (1995) interpretam esta unidade como um pacote de metassedimentos psamíticos imaturos. Segundo estes autores os gnaisses da Unidade D marcam uma forte mudança nas condições de sedimentação do Grupo Araxá, anteriormente caracterizada por sedimentos clásticos maduros (unidades A, B e C).
- Unidade E: Esta unidade é caracterizada por granada-muscovita xisto, muscovita xisto, quartzo xisto, muscovita quartzo xisto, biotita gnaiss, granada-biotita gnaiss, gnaiss, anfibólito, mica quartzito, quartzito e granada quartzito. Segundo Luvizotto 2003 as rochas gnáissicas intercaladas nesta unidade são representadas por biotita-muscovita gnaisses com porfiroblastos de feldspato, que podem ou não apresentar granada. Estas rochas podem ser diferenciadas dos gnaisses da Unidade F pela maior quantidade de muscovita, pela granulação mais fina e pela coloração mais clara. Vale lembrar que algumas ocorrências de retroeclogitos fazem parte da zona de contato entre as unidades E e F.
- Unidade F: Esta unidade é composta por biotita gnaiss, granada-biotita gnaiss,

rochas metabásicas e retroeclogitos. Os gnaisses possuem bandamento marcado por bandas claras compostas por material quartzo feldspático e bandas escuras compostas principalmente por biotitas. Nesta unidade é frequente a presença de veios quartzo-feldspáticos paralelos ao bandamento, os quais, muitas vezes, apresentam-se boudinados. Estes veios, que a partir desta unidade tornam-se frequentes, são interpretados como produto de anatexia (LUVIZOTTO 2003).

- Unidade G: As rochas desta unidade são muito parecidas com a da unidade E, sendo compostas por granada-cianita-biotita-muscovita xistos e granada-biotita-muscovita xistos intercalados por camadas decimétricas a métricas de muscovita-quartzo xisto e quartzito, além de biotita gnaisse, anfíbolitos e granadas anfíbolitos. Para separar as unidades E e G foi a granulação mais grossa e a presença mais constante de cianita na unidade G (LUVIZOTTO 2003).
- Unidade H: Gnaisse é o principal litotipo da unidade, porém ocorrem xistos, quartzitos e anfíbolitos. A presença de cianita e granada é recorrente em alguns locais, além de material pegmatítico e veio quartzo-feldspático relacionados a altas temperaturas (fusão parcial). A separação dos pacotes de gnaisse presentes nesta unidade não pode ser realizada na escala de mapeamento do presente trabalho. Porém, foi possível perceber que os gnaisses quartzosos (o primeiro dos dois pacotes de gnaisse descritos acima) tendem a ocorrer na base desta unidade (LUVIZOTTO 2003).

4.4 Síntese da Geologia Estrutural na Nappe de Passos

Na porção meridional da Faixa Brasília ocorre uma importante estrutura alóctone denominada Nappe de Passos, representada por rochas do Grupo Araxá. Com cerca de 4 km de espessura, cavalga todas as unidades subjacentes, incluindo-se o embasamento. A Nappe vem sendo estudada por mais de 30 anos por diferentes pesquisadores, mas os trabalhos de (Morales et al., 1983, Oliveira et al., 1983, Heilbron et al., 1987, Simões et al., 1988, Valeriano et al. 1989, Simões, 1995) foram que delimitaram os contornos da Nappe de Passos, no qual a superfície de cavalgamento possui um contato sinuoso, que demonstra uma estrutura alongada na direção NW-SE. A Nappe de Passos apresenta metamorfismo invertido, em que as rochas

mostram o gradiente metamórfico na base da sequência de 450°C a 6 kbar e no topo de 740°C a 11 kbar (SIMOES; 1995).

Segundo Simões (1995), a Nappe de Passos é uma estrutura alóctone essencialmente metassedimentar, com alguns locais de rochas metabásicas. A norte ela é limitada por uma zona de cisalhamento subvertical sinistral, enquanto que ao sul, próxima a área de estudo, por zonas de cisalhamento verticais com direção aproximada E-W relacionados ao cinturão de cavalgamento de Campo do Meio (Morales, 1993). Figura 12 representa o mapa geológico da Nappe de Passos e a localização da área de estudo.

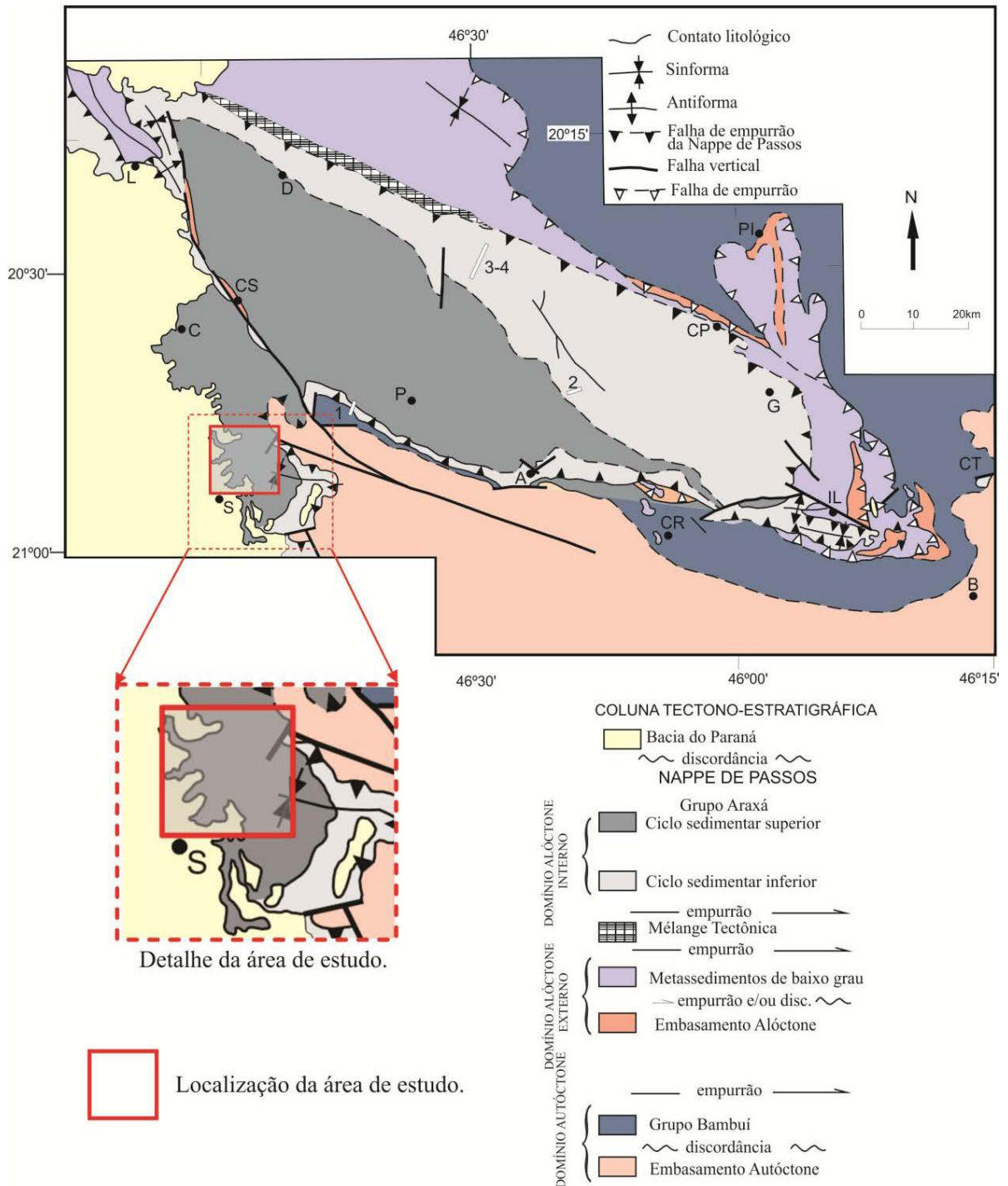


Figura 12: Mapa geológico simplificado da Nappe de Passos, apresentando detalhe da área de estudo. Localidades: L – Laje. C – Capetinga. CS – Cássia. S – São Sebastião do Paraíso. D – Delfinópolis. P – Passos. V – Vargem Bonita. A – Alpinópolis. CR – Carmo do Rio. Fonte: Extraído de Simões, 1995.

Na região de São Sebastião do Paraíso e Cássia separam as estruturas em três blocos distintos, representados pelas rochas do Domínio Cratônico (embasamento), pelos metassedimentos do Grupo Araxá (Domínio Interno) e pelas rochas da Bacia do Paraná Oliveira et al. (1984). Morales et al. (1996) destacam que, próximo as serras do Chapadão e da Fortaleza,

a zona de cavalgamento principal, a Nappe de Passos, marca o contato entre o Complexo Barbacena e o Grupo Araxá, é evidenciado não somente pela discordância estrutural, mas por exibirem rochas miloníticas que representam a deformação concentrada ao longo de uma zona de cavalgamento principal.

Simões et al. (1988), defende a posição normal dos estratos baseado na ocorrência de estratificação cruzada em quartzitos da Serra do Chapadão. Outro destaque é que as dobras pós-metamórficas presentes na Nappe de Passos são incongruentes com um flanco inverso Simões (1995).

A Nappe de Passos foi agrupada em quatro fases de deformação para as regiões entre Itaú de Minas e Carmo do Rio Claro Heilbron et. al. (1987). Simões & Valeriano (1990) confirmaram que este modelo estrutural era válido para toda a Nappe de Passos.

Simões (1995) diz que a fase D1 é representada essencialmente pela foliação S1, no qual é encontrada paralela ao bandamento composicional (SO) e, na maioria das vezes, a foliação S2. Esta foliação é marcada pela orientação preferencial de minerais inequidimensionais e pela forma alongada dos cristais de quartzo.

Um importante evento deformacional na evolução estrutural da Nappe de Passos é a fase D2, que está associada à foliação principal da área (S2), a lineação mineral e a superfície de cavalgamento da Nappe Simões (1995). Segundo o autor, em alguns afloramentos a foliação S2 é encontrada como uma xistosidade e como clivagem de crenulação, onde a foliação dobrada corresponde a foliação S1. As dobras intrafoliares, apertadas a isoclinais, com charneiras predominantemente arredondadas, apresentando foliação S2 em posição plano axial, está ligado a fase de deformação D2. O transporte tectônico da Nappe de Passos apresenta preferencialmente direções entre ENE e SE, no qual foi observado através de indicadores cinemáticos (porfiroblastos tipo sigma, mica-fish, estruturas tipo S-C, recristalização oblíqua de grãos e quartzo, etc.) analisados paralelamente a lineação mineral associada à fase D2 (Simões & Valeriano, 1990; Simões, 1995; Morales et. al., 1996).

Segundo Simões (1995) as dobras suaves a abertas, apresentando os planos axiais com direção NW, verticais a subverticais e eixos com mergulhos suaves para NW e em menor escala para SE, fazem parte da fase D3. Por esta fase apresentar um caráter heterogêneo de deformação, a grande variação na frequência das estruturas ao longo da área Simões (1995). Próximo à área de estudo deste trabalho, a estrutura sinformal de Passos, a zona de falha de Cássia e o antiformal de Itaú estão ligados à fase D3.

Geralmente a fase D4 apresenta-se como dobras isópacas, como charneira arredondada, sendo comum a ocorrência de falhas de pequeno rejeito associadas ao plano axial das dobras. As

dobras abertas a suaves possuem plano axial vertical a subvertical e linha de charneira variando entre N e NNE, com caimentos suaves para SSW e NNE (Simões, 1995).

Mais ao norte da área estudada, as Serras do Chapadão e da Fortaleza são uma estrutura em forma de S invertido, cujas inflexões definem a Sinforma do Chapadão ao norte e a Antiforma de Termópolis ao sul Morales *et al.* (1996). Os planos axiais destas estruturas apresentam direções próximas a E-W e alto ângulo de mergulho e os eixos direção E-W com caimento suave para W. Em ambas estruturas a foliação principal está dobrada, paralela ao bandamento composicional, evidenciando estruturas de caráter tardio.

4.5 Metamorfismo da Nappe de Passos

Na Nappe de Passos o metamorfismo é invertido, sendo que as variações no grau metamórfico estão paralelas a foliação e ao bandamento. Simões (1995) e Luvizotto (2003) descrevem que nas unidades da base (A, B e C) o metamorfismo é da fácies xisto verde (aprox. 450°C a 6 kbar) caracterizado pela associação mineralógica clorita + biotita + muscovita + quartzo. A unidade E é caracterizada pela paragênese granada + estaurolita + cianita o que indica metamorfismo em fácies anfibolito superior. A Unidade F é caracterizada pela paragênese granada + biotita + quartzo, todavia esta unidade é representada por gnaisse. As unidades adjacentes apresentam composição pelítica o que favorece a cristalização de minerais índices do metamorfismo. Já as unidades superiores (G e H) com metamorfismo da fácies anfibolito superior é representada pela paragênese granada + cianita com porções quartzo feldspáticas que indicam processos de fusão parcial. Resultados termobarométricos apresentados por Simões (1995) e Luvizotto (2003) indicam condições de 740°C e 11 a 14 kbar para as rochas do topo da sequência. Ressalta-se que a partir da Unidade E, as rochas apresentam caráter migmatítico, evidenciando pela presença de bandas quartzo-feldspáticas.

Segundo Simões (1995) e Luvizotto (2003) o auge do metamorfismo foi alcançado no início da fase D2 na Nappe de Passos, porém ocorre um retrometamorfismo na área, mas não afetando completamente o metamorfismo principal. Esse processo está ligado desde a fase (tardi) - D2 até a fase D4.

Apresentam-se a seguir uma breve discussão sobre as associações minerais do metamorfismo principal (MP) presentes nas diferentes rochas da Nappe de Passos.

A paragênese mineral para o MP da Nappe de Passos nas rochas pelíticas nas unidades basais (A, B e C) é muscovita + clorita + quartzo e biotita + clorita + muscovita + quartzo, evidenciando um metamorfismo da fácies xisto verde, zona da biotita e/ou da granada (Simões

1995). Na unidade C, pode-se encontrar a presenças de xistos de coloração esverdeada e anfíbolitos.

Simões (1995) discute que a unidade D é representada pela paragênese de biotita, plagioclásio, microclínio, quartzo e epidoto, sendo que no topo desta unidade começa haver presença de granada, que seguirá para as unidades superiores. As reações de biotita e muscovita são diretamente dependentes, enquanto que o crescimento de uma mica consome a outra, porém nestas rochas, numa etapa a reação parou ficando em equilíbrio biotita e muscovita (Simões 1995).

Segundo Simões (1995), a unidade E é caracterizada pelas seguintes associações metamórficas; granada, muscovita, quartzo, biotita, cianita e ocasionalmente estauroлита. Ocorrem também veios de quartzo-feldspáticos interpretado como porções pegmatíticas de origem metamórfica.

Enquanto que na unidade F os gnaisses possuem saussuritização dos cristais de plagioclásio, e também tem maior ocorrência de lentes de material quartzo feldspáticos de caráter migmatítico, evidenciando que estes gnaisses alcançaram temperaturas de fusão (Luvizotto 2003). Esta unidade diferencia das outras unidades superiores também pela presença de retroeclogitos, com associação mineral de Clinopiroxênio, anfibólio, quartzo, epidoto, rutilo, granada e plagioclásio.

A unidade G apresenta as mesmas associações minerais da unidade E, porém ocorrem com maior frequência e tamanho veios pegmatíticos (Simões 1995).

Segundo Simões 1995, os gnaisses da unidade H são mais diversificados que das unidades anteriores, com a paragênese de biotita + plagioclásio + k-feldspato + quartzo, com presença de granada e cianita. Existem também veios anatéticos com composição granítica.

No geral, as rochas metabásicas das unidades E, G, H são representadas por anfíbolitos com paragênese principal de anfibólio, quartzo, rutilo, ilmenita, plagioclásio e granada (Luvizotto 2003).

Segundo Simões et al 1995, a Nappe de Passos corresponde a um prisma de acreção, em que a inversão da temperatura ocorreu pelo desvio das isothermas junto a zona de subducção e as pressões elevadas evidenciam que não houve uma descontinuidade tectônica pós auge metamórfico juntamente com o padrão estrutural. Além disso, houve um intenso cisalhamento dúctil relacionado à fase D2 que aumentou a pressão das rochas da Nappe da Nappe (Figura 13).

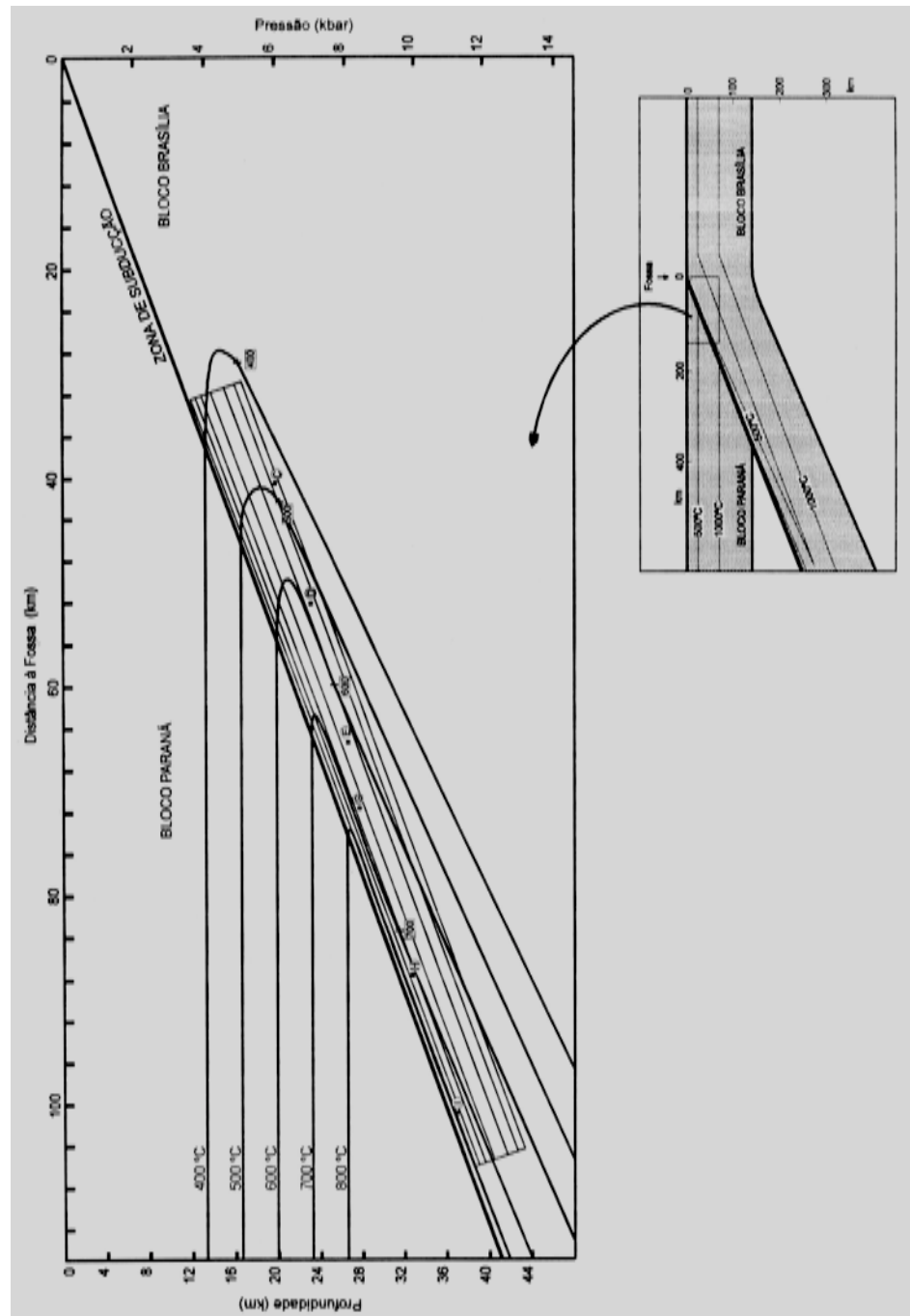


Figura 13: A figura representa um detalhe de uma zona de colisão de duas placas litosféricas, conforme ilustrado na figura menor, na porção superior direita. Para o posicionamento das isothermas Simões (1995) adotou um gradiente geotérmico de 30°C/km e um mergulho de 20° para a zona de cisalhamento. Os valores das isothermas foram interpolados a partir dos dados de temperatura obtidos pela aplicação do geotermômetro Spear (1981) para cada unidade. Extraído de Simões (1995).

4.6 Geocronologia:

O Domínio Cratônico possuem idades de resfriamento paleo a mesoproterozóicos para as rochas do embasamento da Nappe de Passos pelo método K-Ar, mostrando que este sistema não

foi totalmente aberto durante a orogênia neoproterozóica, que resultou no cavalgamento da Nappe de Passos. Assim o embasamento não foi afetado pelo metamorfismo das rochas do Grupo Araxá Valeriano et al. (2000).

Na região do Grupo Araxá para o Domínio Interno, Seer (1999) compilou dados de K-Ar, Sm-Nd e U-Pb e resultou que houve dois eventos colisionais na Faixa Brasília Meridional, em que o mais novo datado em torno de 630 Ma no qual reflete a colagem final do Gondwana e o mais antigo cerca de 790 Ma.

Os dados de K-Ar obtidos por Hasui & Almeida (1970 in Seer, 1999), conferem o resfriamento regional após 630 Ma, ocorrido durante o alojamento final das escamas tectônicas sobre níveis crustais mais rasos, no qual encerrou este processo em torno de 580 Ma.

Em um conjunto de dados adquirido por Valeriano et al. (2000), conclui que o intervalo de tempo de 674-640 e 673-566 Ma pelas idades K-Ar restringem o resfriamento regional da Nappe de Passos. Estes dados foram obtidos por biotita/hornblenda e mica branca.

Dados mais recentes de U-Pb nos rutilos adquiridos por Diniz (2013) na região de estudo, mostram idades de resfriamento de 590 Ma com erros consideravelmente baixos para as rochas metapelíticas. Essas idades corroboram os dados apresentados na literatura para a Nappe de Passos, onde idades de rutilo (VALERIANO et al., 2004) e da monazita (VALERIANO et al., 2004 E RENO et al., 2011) fornecem ca.590 Ma. e são interpretadas como sendo a idade de resfriamento, pós pico do metamorfismo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico serão tratados e discutidos os resultados obtidos no presente trabalho. Incluem-se: mapeamento geológico, petrografia, imageamento das lâminas por meio de microscopia eletrônica de varredura, análises de elementos traços em rutilo por meio de LA-ICP-MS e pseudoseções calculadas a partir de dados de rocha total obtidos por meio de fluorescência de Raio X. Com base nestes dados é apresentada discussão sobre as condições de pico de metamorfismo (temperatura e a pressão) alcançada pelas rochas estudadas.

5.1 Estratigrafia e Litologia

O mapeamento geológico da área de estudo contemplou rochas já descritas na literatura (ZANARDO, 1992; SIMÕES et al., 1988 e LUVIZOTTO 2003) Todavia, a área mapeada no presente trabalho não apresentava mapa em escala de detalhe. Descreve-se a seguir as unidades

litotectônicas aflorantes na área de mapeamento, seguindo a estratigrafia proposta por Simões (1995) e Luvizotto (2003). O mapa geológico (Anexo I) ilustra a distribuição espacial das unidades, bem como os pontos visitados e as foliações encontradas na área de estudo, assim como a localização das amostras analisadas.

Apresenta-se a seguir a descrição das unidades que ocorrem na área mapeada.

Unidade E:

Esta unidade é caracterizada pela ocorrência predominante de granada-muscovita xisto (Figura 14), muscovita xisto, quartzo xisto, muscovita-quartzo xisto. Os xistos desta unidade podem conter cianita e estaurolita. A estaurolita é encontrada principalmente inclusa em cristais de granada. Em menores proporções ocorrem biotita gnaisse, granada biotita gnaisse, anfíbolito, mica quartzito, quartzito e granada quartzito (gondito). É comum observar-se nesta unidade feições migmatíticas, representadas por finas camadas (centimétricas a decimétricas) compostas por quartzo e feldspato, paralelas ao bandamento composicional da rocha. Estas feições são comuns a partir desta unidade, em direção ao topo da Nappe de Passos. A predominância da área mapeada é de xisto, sendo que no ponto SSP-DB-40 ocorrem intercalações de mica quartzito de espessura decimétricas a métricas com granada-muscovita xisto. (Anexo I). Granada-biotita gnaisse e biotita gnaisse ocorrem somente em locais pontuais em drenagens, sendo que no ponto SSP-DB- 31 essas rochas estão intercaladas. No ponto SSP-DB-41 foi encontrado somente biotita gnaisse (Anexo I). Porém nos pontos SSP-DB- 38, 39, 41, 42, 43 e 51 fazem parte de uma serra no qual é sustentada por biotita gnaisse e em algumas porções ocorre granada biotita gnaisse. Apesar de fazer parte da Unidade E, no mapa geológico ela foi diferenciada pela cor, visto que esta rocha encontra-se em grande abundância somente neste local (em blocos e afloramentos). Esta rocha também foi descrita em drenagens próximas a área representada no mapa (ver Anexo I). Na área mapeada, a Unidade E faz contato com a Unidade F e com rocha da Bacia do Paraná. Vale ressaltar que os afloramentos encontrados estavam intemperizados, salvo em alguns pontos.



Figura 14: Fotografia ilustrando afloramento de rocha alterada da Unidade E. Ponto SSP-DH-26. Granada muscovita xisto.

Unidade F:

A unidade F é composta quase que exclusivamente por biotita gnaiss, granada-biotita gnaiss. Algumas ocorrências pontuais de retroeclogitos foram descritas na região próxima ao contato entre as unidades E e F. Estas rochas foram incluídas na Unidade F, seguindo-se a proposta de Luvizotto 2003. Os gnaisses possuem bandamento marcado por bandas claras compostas por material quartzo feldspático e bandas escuras compostas principalmente por biotita (Figura 15). A Unidade F é importante, pois separa as unidades E e G no qual possuem litologias muito parecidas, sendo assim uma unidade guia no mapeamento. Os retroeclogitos são caracterizados por granada anfíbolitos que apresentam textura peculiar. Tanto em amostra de mão quanto em estudos petrográficos (Figura 16), observa-se que os cristais de granada são separados dos clinopiroxênios por textura em corona, isto é, os cristais de granada são separados dos cristais de piroxênio por uma fina camada de plagioclásio e hornblenda, respectivamente. Luvizotto 2003 apresentou dados termobarométricos para estas rochas e sugere que a textura em corona foi formada em estágio pós pico de pressão, associados ao aumento da temperatura. Cabe ressaltar que a presença retroeclogitos, em conjunto com a ocorrência de cianita (polimorfo de aluminossilicato de alta pressão), evidencia o caráter de alta pressão das rochas da Nappe de Passos. A Unidade F faz contato no extremo oeste da área com a Bacia do Paraná. (Anexo I). Os afloramentos desta unidade se encontram como cristas na topográfica, encontra-se afloramentos com blocos; e geralmente encontra-se bons afloramentos com amostras frescas.



Figura 15: Fotografia ilustrando típico afloramento da Unidade F. Ponto SSP-DH-24. Gnaiss bandado com uma porção quartzo feldspática (clara) e outra por biotitas (escuras).

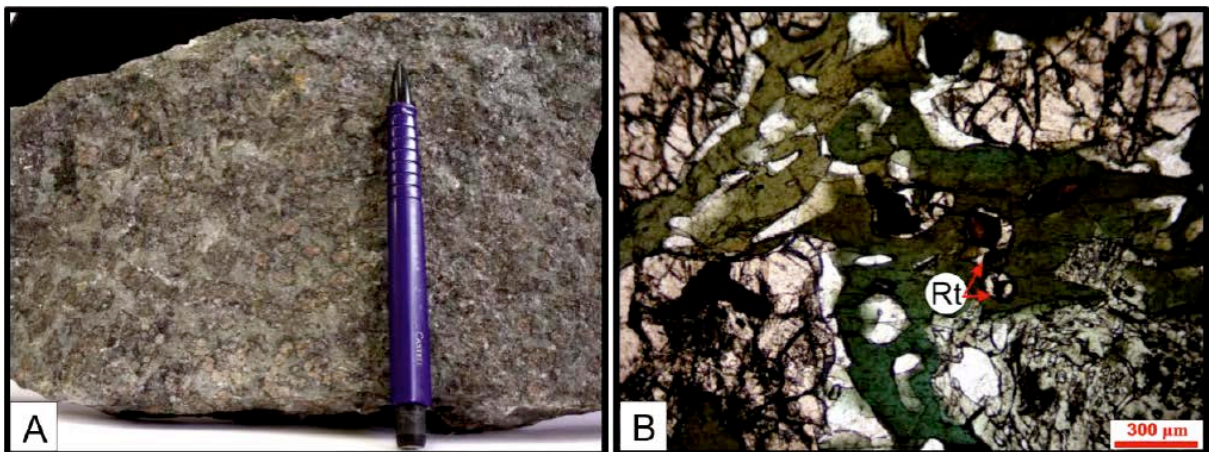


Figura 16: A) Foto da amostra Olaria 2, retroclogitos. B) Fotomicrografia em detalhe da amostra Olaria (polarizadores descruzados). Na porção superior direita e inferior esquerda de coloração marron claro são granadas; mineral de coloração verde claro são Cpx; mineral de coloração verde escuro são anfibólios; e os minerais transparentes são os plagioclásios.

Unidade G:

As rochas que compõem a Unidade G assemelham-se bastante com as rochas que compõem a Unidade E, sendo composta predominantemente por granada-cianita-biotita-muscovita xistos e granada-biotita-muscovita xistos. Ocorrem subordinadamente intercalações de camadas decimétricas a métricas de muscovita-quartzo xisto e quartzito, além de biotita gnaiss, anfibolito e granada anfibolito. Pode-se diferenciá-la da unidade E pelos seguintes critérios: Unidade F como unidade guia separando elas; granulação mais grossa, tendo granadas com até 6cm de diâmetro; e maior ocorrência de cianita (Figura 17). Cristais de estauroлита são encontrados, com pouca frequência, inclusos no núcleo de cristais de granada. Bandas ricas em

quartzo e feldspato são frequentes e interpretadas como feições migmatíticas. Esta unidade faz contato com a Bacia do Paraná na porção oeste da área mapeada (Anexo I). Os afloramentos dessa unidade são abundantes, ocorrendo em drenagens, estradas e cristas ressaltadas na topográfica.



Figura 17: Fotografia ilustrando afloramento da Unidade G. Ponto SSP-DH-2. Xisto de granulação grossa, com presença de granadas e cianitas centimétricas.

Unidade H:

Gnaiss é o litotipo com maior expressão na área mapeada (Figura 18), porém ocorrem xistos, quartzitos e anfibolitos. A presença de cianita e granada é recorrente, além de material pegmatítico e veio quartzo-feldspático relacionados a altas temperaturas (fusão parcial). A quantidade de biotita presente nas rochas da Unidade H é bastante inferior àquela observada das demais unidades. Além disto, a paragênese mineral representante desta unidade é composta por granada, cianita, feldspato potássico e rutilo (paragênese anidra). Tais características permitiram interpretar que as rochas da Unidade H foram formadas em fácies granulito, através de reações de desidratação das micas. Devido ao fato exposto, foi nesta unidade que se coletaram as amostras para análise química e posterior cálculo de temperatura. (Anexo II). Esta unidade também faz contato com a Bacia do Paraná a oeste do mapa geológico (Anexo I). Os afloramentos associados a esta unidade geralmente contem amostras frescas e são encontrados em cristas e blocos ressaltados na topográfica.

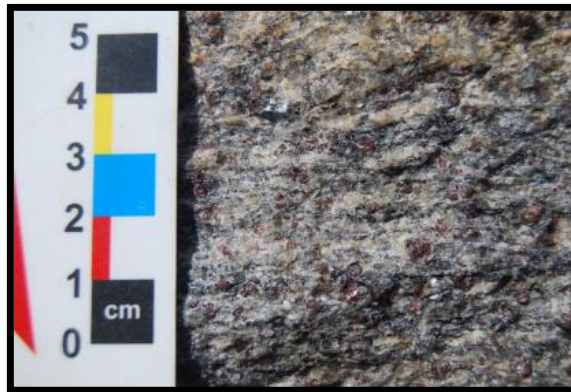


Figura 18: Fotografia ilustrando afloramento da Unidade H. Ponto SSP-DH-12. Rocha constituída de bandas claras de quartzo feldspáticas e bandas escuras de biotita. Presença de cianitas azuis.

Bacia do Paraná

As rochas sedimentares da Bacia do Paraná não fazem parte do interesse principal do trabalho. A ocorrência destas rochas se limita à porção oeste da área mapeada onde as rochas sedimentares da Bacia do Paraná fazem contato com as rochas das unidades E, F, G e H. As rochas aflorantes na área mapeada fazem parte da Formação Aquidauana, unidade caracterizada por rochas sedimentares psamíticas de coloração avermelhada, arenitos mal selecionados, às vezes conglomeráticos e lamitos.

Vale ressaltar, que a parte centro sul, nas coordenadas UTM córrego alegre 23s= 769650-768830 e 292000- 302000 foi feito um mapeamento de reconhecimento de acordo com o mapa de Luvizotto 2003, ou seja, o mapa foi praticamente o mesmo, salvo alguns locais. Mas esta parte do trabalho foi de grande importância, pois foram recolhidas as amostras de mais alta posição estrutural, onde são esperadas as maiores temperatura de metamorfismo.

5.2 Análise textural das amostras com rutilo

Para utilizar-se resultados de análise química em rutilos no cálculo de temperatura, é indispensável realizar-se estudo da textura metamórfica das rochas. Desta forma, é possível estudar as relações de contato e determinar se o rutilo está em equilíbrio com os demais minerais presentes na rocha. Tais estudos foram realizados por meio de petrografia e imageamento utilizando-se MEV.

Para um melhor entendimento de cada amostra (MG-161; SSP-DH-12A1; OLARIA 2;

SSP-DH-10A2) analisada, elas foram separadas por subitem, apresentadas a seguir. Estas amostras estão ilustradas nas figuras 19 a 28 e os dados químicos obtidos para as mesmas apresentados nas tabelas 5 a 8.

As amostras MG-161; SSP-DH-12A1 E SSP-DH-10A2 (Figuras 19 e 20; 21 a 23; 24 a 26, respectivamente) são gnaisses representantes da Unidade H (Anexo I) e foram utilizadas para análise de elementos traço em rutilo por meio de LA-ICP-MS.

Uma característica comum dessas amostras é a paragênese mineral composta por biotita + granada + k-feldspato + plagioclásio + quartzo e sempre com presença de cianita.

5.2.1 AMOSTRA MG -161

A amostra MG-161 (Figura 19) é biotita-granada gnaisse com rutilo, caracterizada com uma cor cinza amarelada de textura granoblástica. A rocha possui granulação de média a grossa, com orientação bem marcada pelas porções quartzo-feldspáticas e biotitas.

Em descrição de lâmina a mineralogia principal é: 25 % de quartzo que compõe a matriz da rocha juntamente com o plagioclásio, o quartzo encontra-se estirado pela rocha com extinção ondulante, incolor e com relevo baixo; 20% de granada, com tamanho de 1cm que são porfiroblastos, no qual na sombra de pressão nas granadas há o crescimento de biotita. A granada apresenta relevo alto e possui muitas inclusões de rutilo e quartzo (Figura 29G), e se encontra bem fraturada na maioria das vezes na rocha; 20% de feldspato, encontra-se alongado e não pleocróico, incolor e com baixa refringência. Em cristal de feldspato ocorre estrutura do tipo mimerquita; 15% de plagioclásio com germinação aparente, com cristais de até 1,4 mm. Os cristais de plagioclásio apresentam-se anedrais a subanedrais, incolores a nicóis descruzados e relevo baixo; 10 % de biotita, com pleocroísmo verde-marron, relevo baixo, habito acicular, encontra-se disperso na matriz principalmente e em contato com a granada (processo de retrometamorfismo); 5 % de rutilo, no qual é um mineral acessório desta rocha, com coloração marron escuro com polarizadores descruzados, apresenta pleocroísmo e relevo moderado. Rutilo encontram-se principalmente como inclusões nas granadas e por vezes seguindo uma direção diferente da foliação encontrada na lâmina (representa uma foliação anterior que se encontra na amostra) (Figura 29 F); 3% de cianita, de tamanhos variados, chegando até 3 cm, possui duas direções de clivagem, incolores a nicóis despolarizados, relevo moderado a alto, com extinção paralela e está distribuída por toda a lâmina, exceto como inclusões nas granadas; 2 % de muscovita, com birrefringência alta, incolores a polarizadores cruzados, ripiformes a tabulares e sempre esta em contato com a biotita (reação de retrometamorfismo).

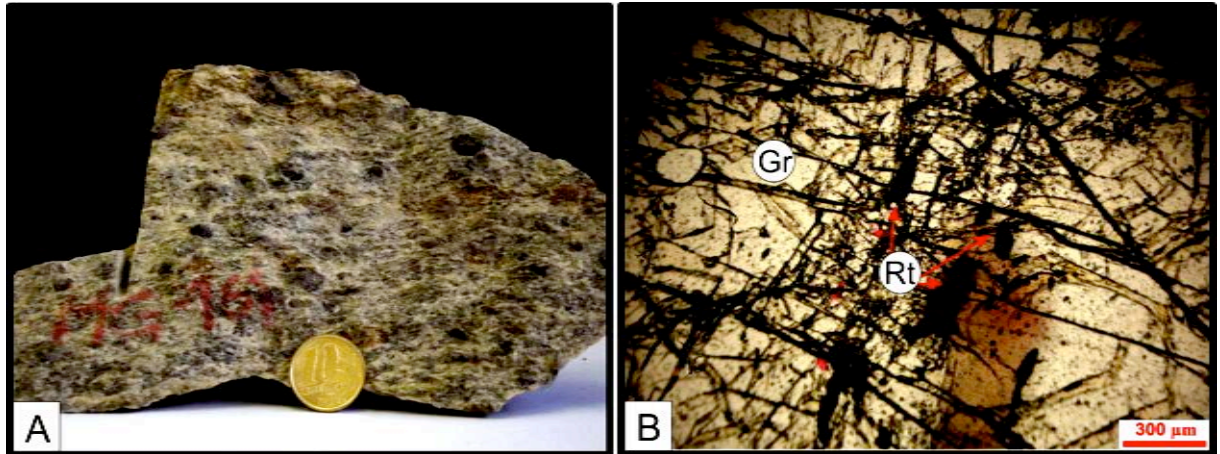


Figura 19: Amostra MG-161. A: Biotita granada gnaiss, de granulação média a grossa, com orientação mineral fortemente marcada pelas porções quartzo-feldspáticas juntamente com as biotitas. B: Foto tirada no microscópico, mostrando rutilos inclusos na granada bem fraturada.

A Figura 20 apresenta uma imagem da lâmina MG-161 aonde a localização dos rutilos que foram identificados pelo microscópio petrográfico, imageados por de MEV e posteriormente analisados por meio de LA-ICP-MS.

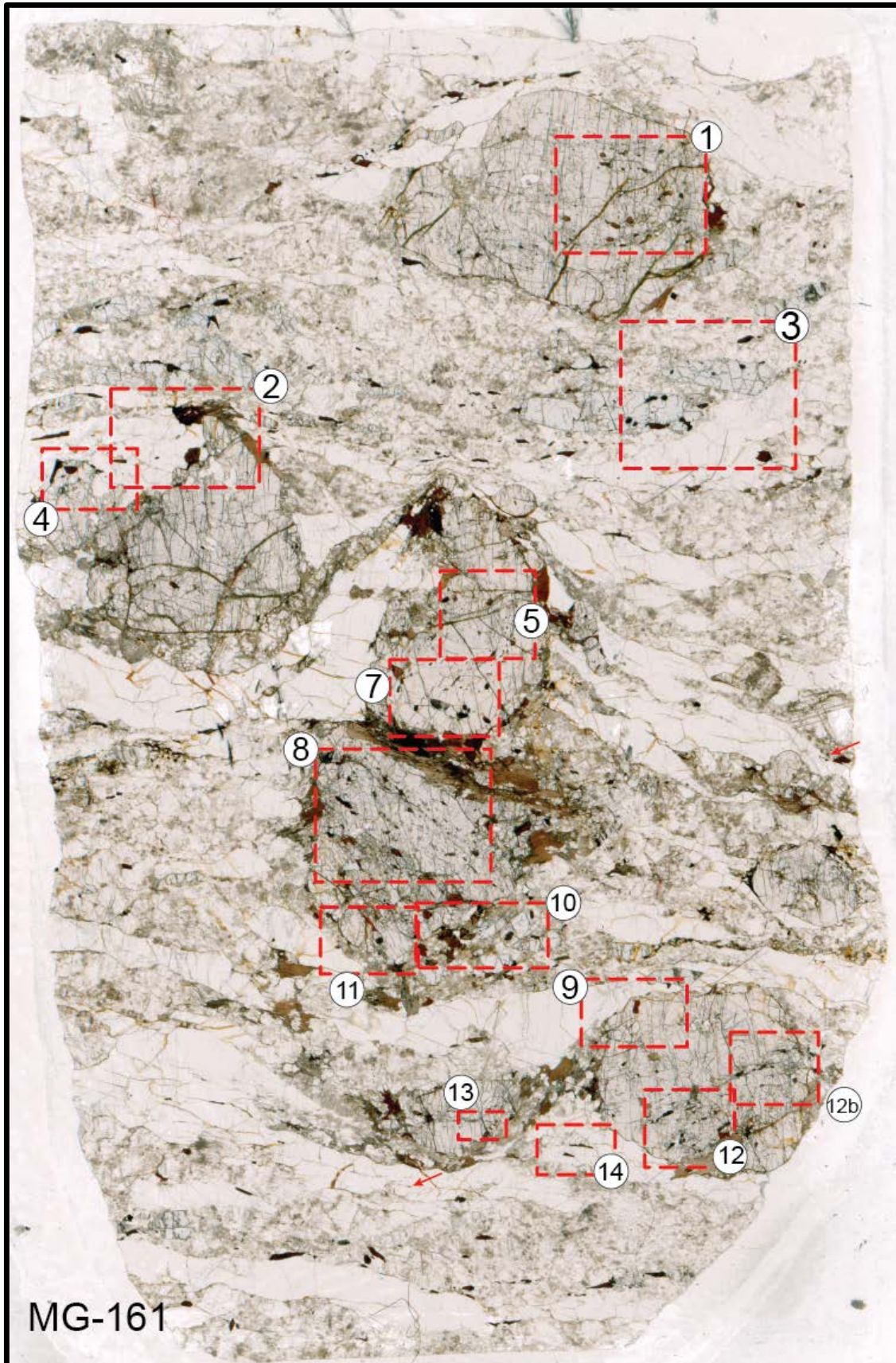


Figura 20: Imagem da amostra MG-161 com a localização dos rutilos que foram identificados pelo microscópio petrográfico, imageados por meio de MEV e posteriormente analisados por meio de LA-ICP-MS.

5.2.2 AMOSTRA SSP-12A1

A amostra SSP-12A1 (Figura 21) é um biotita-cianita-granada gnaisse com rutilo, possui uma granulação média com uma estrutura gnáissica, de coloração cinza e textura granoblástica e porfiroblástica.

A mineralogia principal através de descrição de lâmina é: 22% de quartzo, que estão estirados e com tamanho de até 2,5 mm, na maioria das vezes com extinção ondulante, transparente a polarizadores descruzados, com birrefringência baixa e que compõe a matriz da rocha; 20% de granada com cristais de até 2,1 mm com muitas fraturas em todas as direções que por vezes não ultrapassa as inclusões de quartzo e rutilo. Os cristais de granada ficam opacos com nicóis polarizados, tem relevo alto e não apresenta pleocroísmo. Nos porfiroblastos de granada ocorre sombra de pressão em que há o crescimento de biotita; 15% de feldspato que são anedrais e subedrais, transparentes a polarizadores descruzados. Ocorrem como cristais milimétricos e bem dispersos pela matriz da rocha; Esta rocha apresenta 12% de cianita, no qual seus cristais estão dispersos na lâmina e com tamanho de até 2 mm. A cianita apresenta duas direções de clivagem bem marcada, é incolor a polarizadores descruzados, relevo alto e birrefringência moderada; 10 % de biotita com coloração marron por vezes pouco esverdeados, tendo um relevo baixo e extinção paralela. A biotita encontra-se como ripas alongadas e orientadas com tamanho de até 0,3mm. A foliação da rocha é marcada pela biotita, que por vezes está alterando para clorita (retrometamorfismo); 10% de plagioclásio que aparecem com germinação polissintética e com tamanho que chega a 0,4mm. Possuem relevo baixo, são transparentes a nicóis despolarizados e não possuem pleocroísmo e por vezes na borda do plagioclásio contém epidoto; O rutilo representa 8% de toda a amostra, principalmente são encontrados como inclusão em granada e por vezes próximos a biotita, na cianita e na matriz. Sua coloração é marron escuro a polarizadores descruzados, com habito prismático e por vezes semi-arredondados, com tamanho de até 0,9 mm. Na Figura 22 ilustra o rutilo na matriz da rocha, em contato com as granadas; A muscovita representa 2% da rocha, possuindo habito fibroso, birrefringência alta e relevo baixo. 1% da rocha equivale ao zircão, titanita, ilmenita e epidoto.

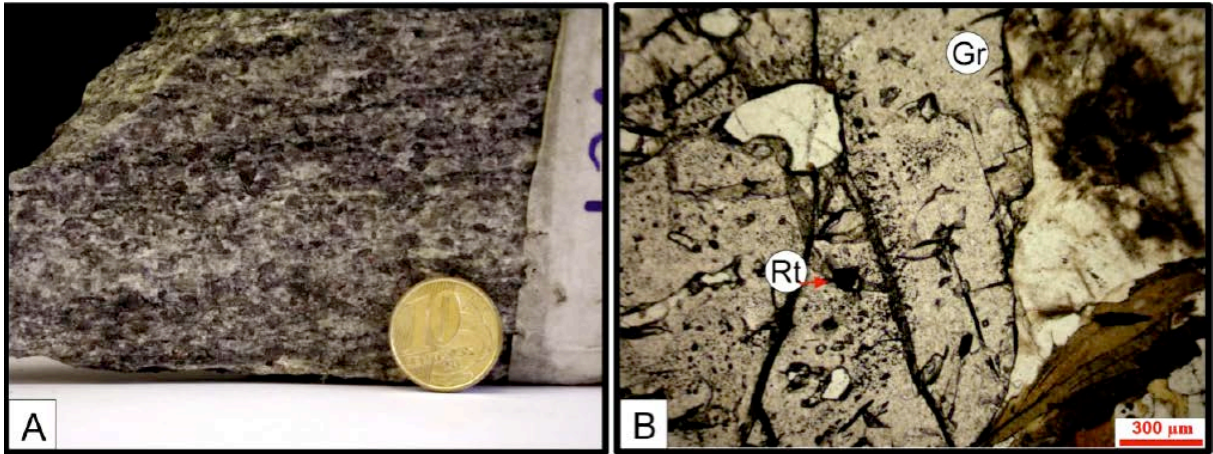


Figura 21: Amostra SSP-12A1 A: Biotita-cianita-granada gnaisse, granulação média, com estrutura gnáissica, com porfiroclastos de granada apresentando orientação marcada principalmente pela biotita e pelo quartzo. B: Foto tirada no microscópio petrográfico, mostrando rutilos incluído na granada bem fraturada.

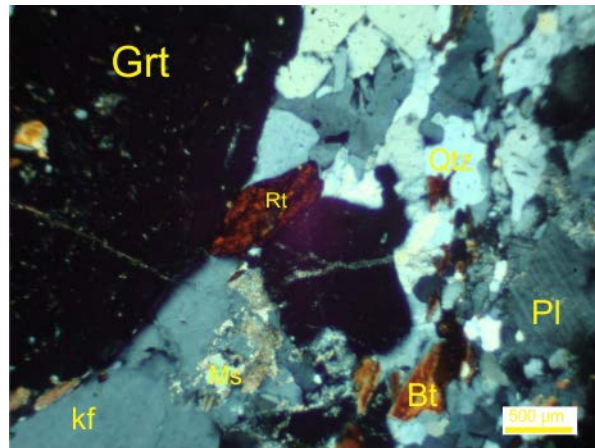


Figura 22: Amostra SSP-12A1. Biotita-cianita-granada gnaisse. A imagem ilustra o rutilo na matriz da rocha, em contato com as granadas. Foto tirada no microscópio petrográfico a nicóis cruzado.

A Figura 23 apresenta uma imagem da lâmina SSP-DH-12A1 onde é apresentada a localização dos rutilos que foram identificados pelo microscópio petrográfico, imageados por meio de MEV e posteriormente analisados por meio de LA-ICP-MS.

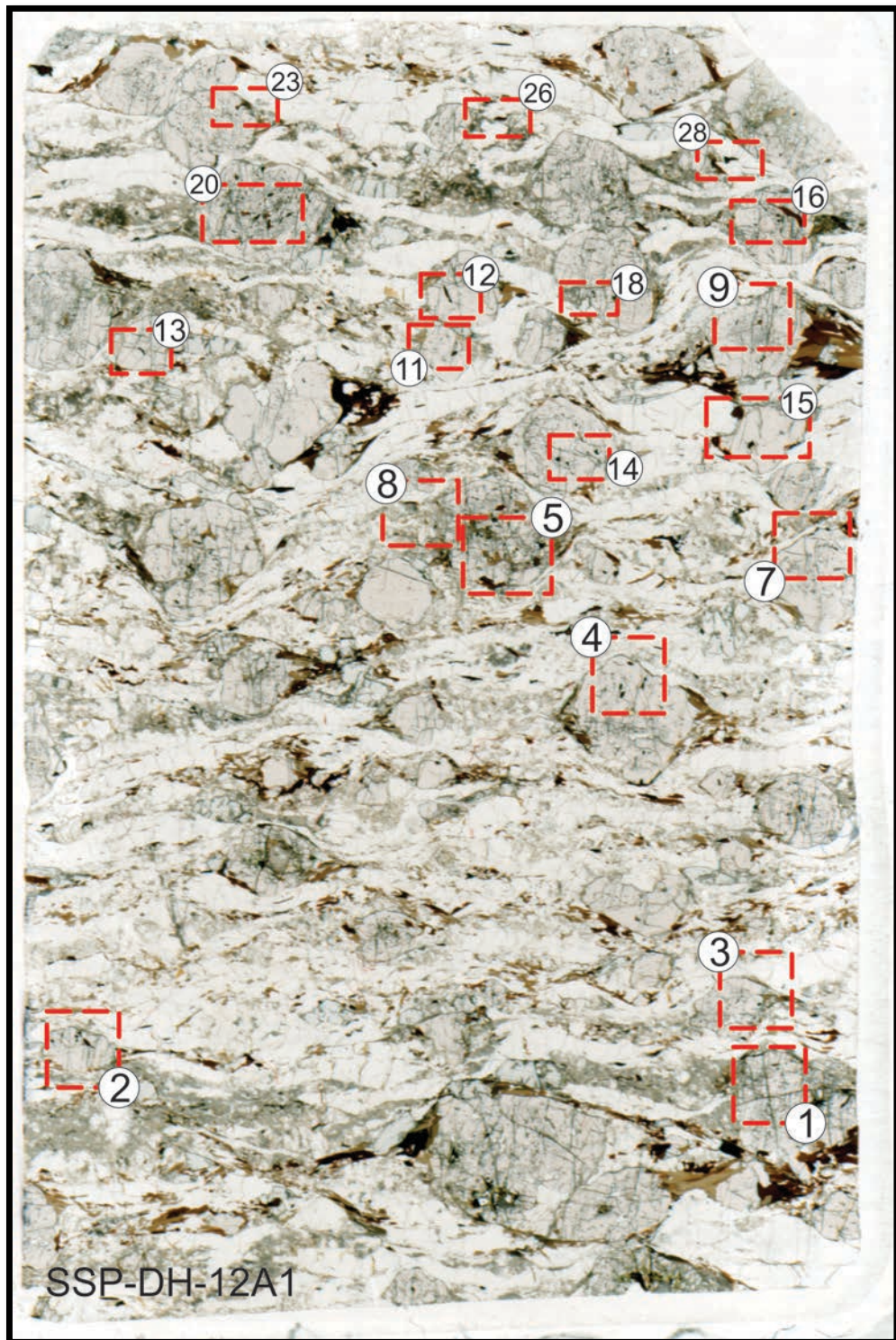


Figura 23: Imagem da amostra SSP-DH-12A1 com a identificação dos rutilos que foram identificados pelo microscópio eletrônico petrográfico, imageados por meio de MEV e posteriormente analisados por meio de LA-ICP-MS.

5.2.3 AMOSTRA SSP-DH-10A2

A amostra SSP-DH-10A2 (Figura 24) também é uma cianita-biotita-granada ganisse com rutilo, de coloração cinza, com estrutura gnáissica e textura granoblástica e porfiroblástica. A

granulação desta amostra é média, ocorrendo orientação bem marcada pela biotita e por bandas quartzo-feldspáticas.

Com a descrição de lâmina desta rocha, pode-se concluir que a mineralogia principal é: 25% de quartzo que se encontram alongados em uma mesma direção, sendo seus cristais anedrais, ocorrendo de vários tamanhos chegando ao máximo a 2,5mm. Possui extinção paralela e relevo baixo; A granada representa 23% da lâmina, com relevo alto, não pleocróico e de coloração marrom a nicóis descruzados. Possuem fraturas em todas as direções com inclusões de quartzo e rutilo, tem fraca birrefringência e se torna opaca com nicóis polarizados. Nos porfiroblastos de granada ocorre sombra de pressão em que há o crescimento de biotita (reação retrometamórfica); 17% da lâmina são de feldspato potássico, são incolores, apresenta relevo baixo e não são pleocróicos. Esse mineral junto com o quartzo faz parte da matriz da rocha; 15% de cianita, com relevo alto, birrefringência moderado de coloração rosa azulado e sem pleocroísmo. Os grãos de cianita aparecem dispersos na lâmina, com duas direções de clivagem bem marcada e algumas cianitas se encontram alongadas; Biotita representa 10% da rocha, em forma de ripas orientadas e com pleocroísmo. De coloração marrom e algumas vezes esverdeadas, possuem 0,8 mm de tamanho e por vezes em contatos com os grãos de granada; Com 6% de rutilo na amostra, ele se encontra como inclusão em granadas por vezes orientados ou na matriz. Na lâmina encontra-se preferencialmente prismáticos, mas em inclusão na granada as vezes são semi-arredondados. O rutilo possui um relevo moderado, de coloração marrom escuro e fraco pleocroísmo; Com 4% de plagioclásio com tamanho de 0,3 mm, apresenta germinação polissintética bem marcada em alguns cristais. O plagioclásio esta disperso na matriz da rocha, são transparentes a nicóis despolarizados, possuem relevo baixo a médio; Também ocorre na rocha a presença de opacos dispersos pela matriz. A figura 25 ilustra por meio do microscópico petrográfico alguns minerais pertencentes a esta rocha.

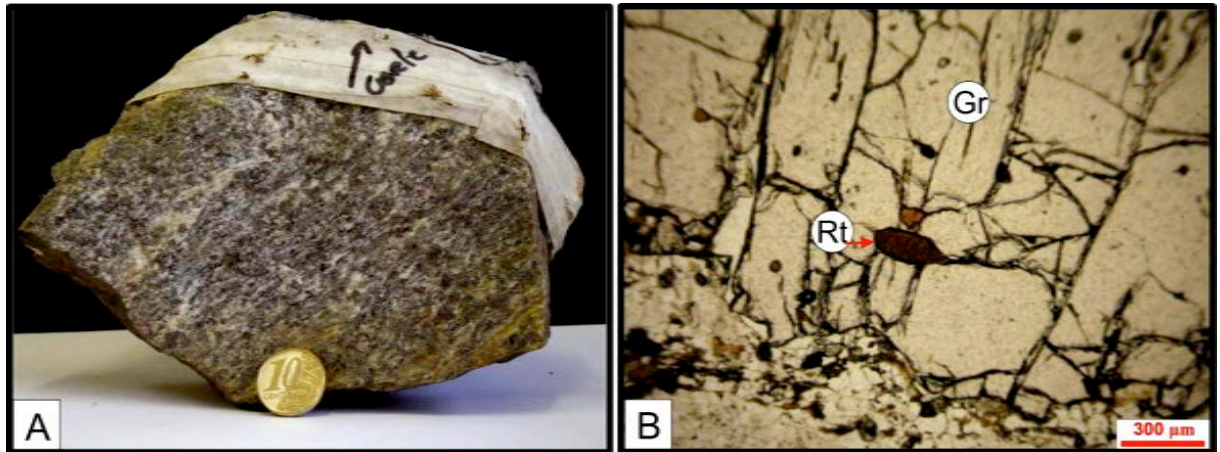


Figura 24: Amostra A: SSP-DH-10A2: Biotita-cianita-granada gnaiss granulação média, com estrutura gnáissica, apresentando orientação marcada principalmente pela biotita e pelas bandas quartzo-feldspáticas. B: Foto tirada no microscópico petrográfico, mostrando rutilos inclusos na granada bem fraturada.

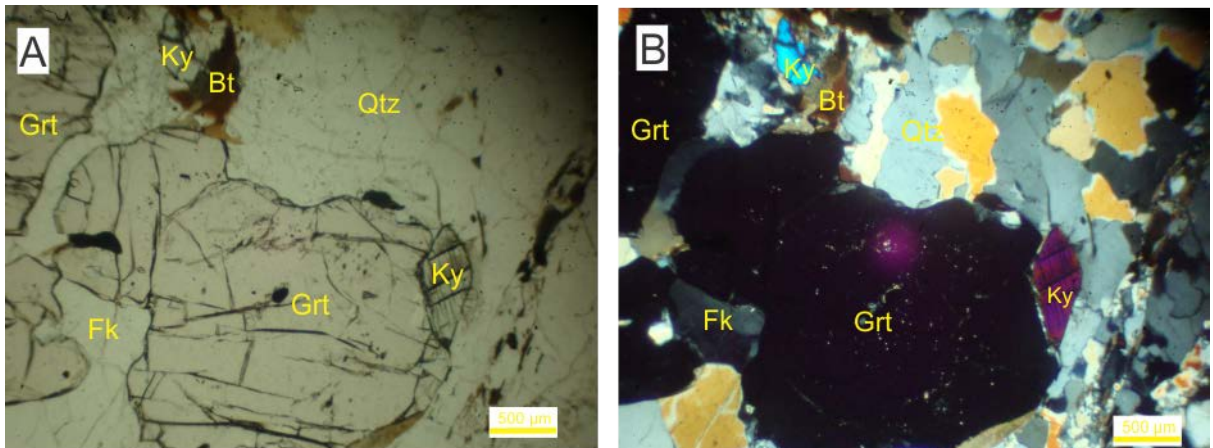


Figura 25: Amostra SSP-DH-10A2: Biotita-cianita-granada gnaiss. Foto ilustra alguns minerais por meio do microscópico petrográfico alguns minerais da rocha. Grt: Granada; Fk: Feldspato potássico; Qtz: Quartzo; Bt: Biotita; Ky: Cianita. A) Imagem a nicóis descruzados. B) Imagem a nicóis cruzados.

A Figura 26 apresenta uma imagem da lâmina SSP-DH-10A2 onde é apresentada a localização dos rutilos que foram identificados pelo microscópico petrográfico, imageados por meio de MEV e posteriormente analisados por meio de LA-ICP-MS.

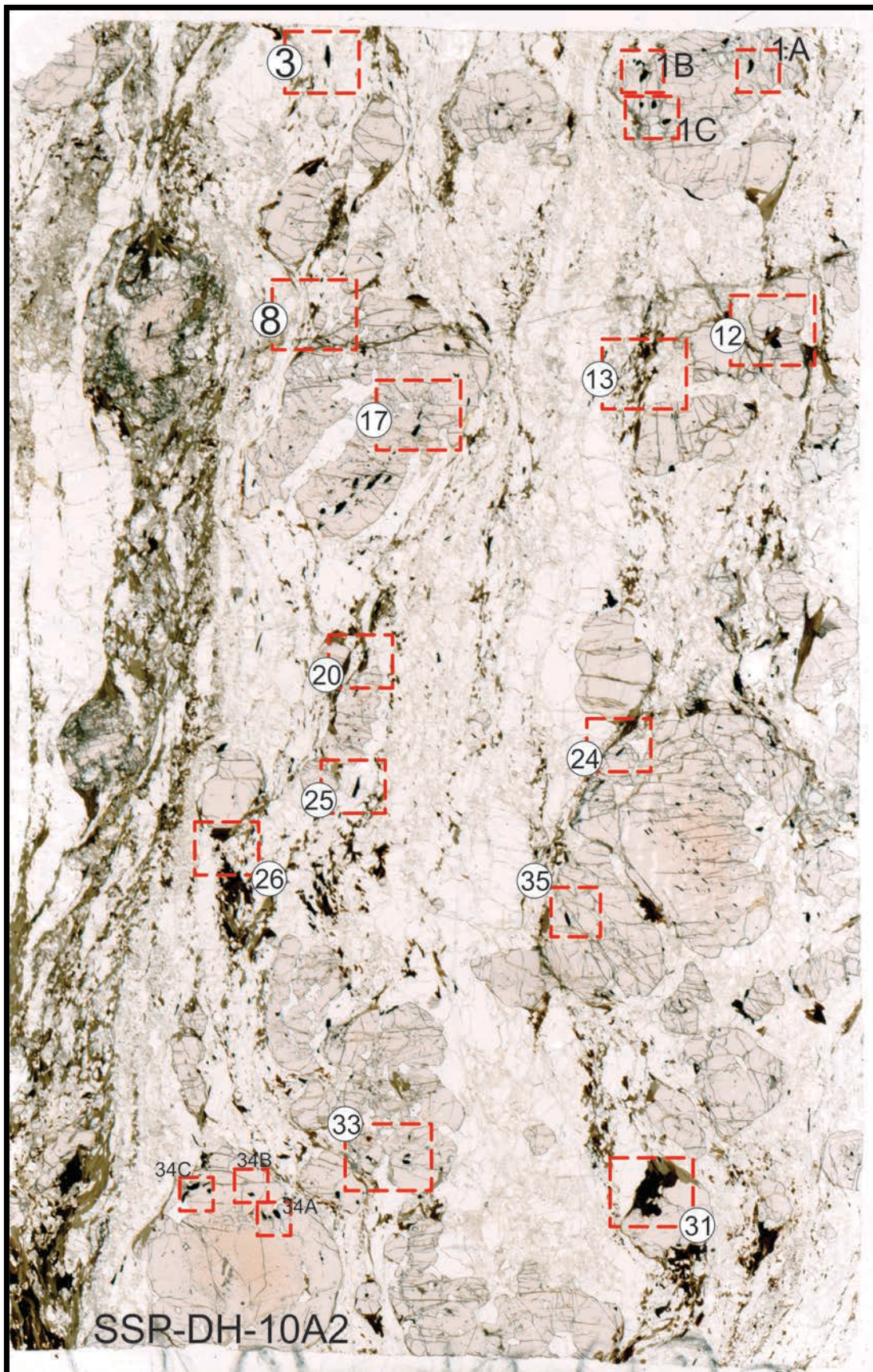


Figura 26: Imagem da amostra SSP-DH-10A2 com a identificação dos rutilos que foram identificados pelo microscópio eletrônico petrográfico, imageados por meio de MEV e posteriormente analisados por meio de LA-ICP-MS.

5.2.4 AMOSTRA OLARIA 2

Como já foi discutido anteriormente a amostra Olaria-2 representa um granada anfibólito interpretado como retroeclogito (Figura 27).

Em afloramento o retroeclogitos se apresenta em cristas ressaltadas na topografia e ou em blocos, de coloração esverdeada, foliados, e às vezes com porções bandadas de quartzo e plagioclásio paralelas a bandas de anfibólito. As granadas possuem tamanhos variados, sendo porfiroblastos com até 1 cm de diâmetro.

Em descrição de lâmina delgada, foi possível descrever a mineralogia principal, como sendo: 35% de granada de coloração marrom, com relevo forte e isotrópico. A maioria dos grãos de granada são poiquiloblasticas, apresentam inclusões de rutilo, quartzo, hornblenda, e possuem varias fraturas com direções diversas. As bordas das granadas estão corroídas pelo motivo de se transformarem em coronas de plagioclásio e hornblenda.

Os clinopiroxênio representam 35% da rocha, de coloração verde claro, estão associados à textura simplectíticas, que são marcadas pelo intercrescimento de plagioclásio e clinopiroxênio desenvolvido a partir de um clinopiroxênio reliquiar (Cpx1). O clinopiroxênio nunca esta em contato com a granada em sua borda, somente plagioclásio e hornblenda.

Com 14% de hornblenda, ela possui coloração verde escuro, relevo alto e diferentes tamanhos, com duas direções de clivagens bem definidas. Os cristais de hornblenda ocorrem associados à textura em corona e forma-se a partir de alteração dos cristais de clinopiroxênio. A hornblenda por vezes esta em contato com plagioclásio e granada.

O plagioclásio apresenta 10% da lâmina, são transparentes a nicóis descruzados e possuem relevo baixo. Este mineral também possui uma germinação bem definida e apresenta nas texturas em corona, em contato com granadas e hornblendas.

Os cristais de quartzo estão em 8% da rocha, apresentando coloração cinza mais escuro com extinção ondulante. Juntamente com o plagioclásio apresenta um bandamento na rocha, possuindo uma textura granoblástica e tamanho de cristais de até 1 mm.

Rutilo está em 2% da amostra, geralmente como inclusão na granada ou na matriz da rocha. De coloração marrom escuro, possui um relevo moderado e um fraco pleocroísmo. Apresenta hábito prismático, mas em algumas porções da lâmina eles são semi-arredondados e com diversos tamanhos com até 0,8 mm.

Ocorre também nesta rocha como acessório 1% de ilmenita e epidoto.

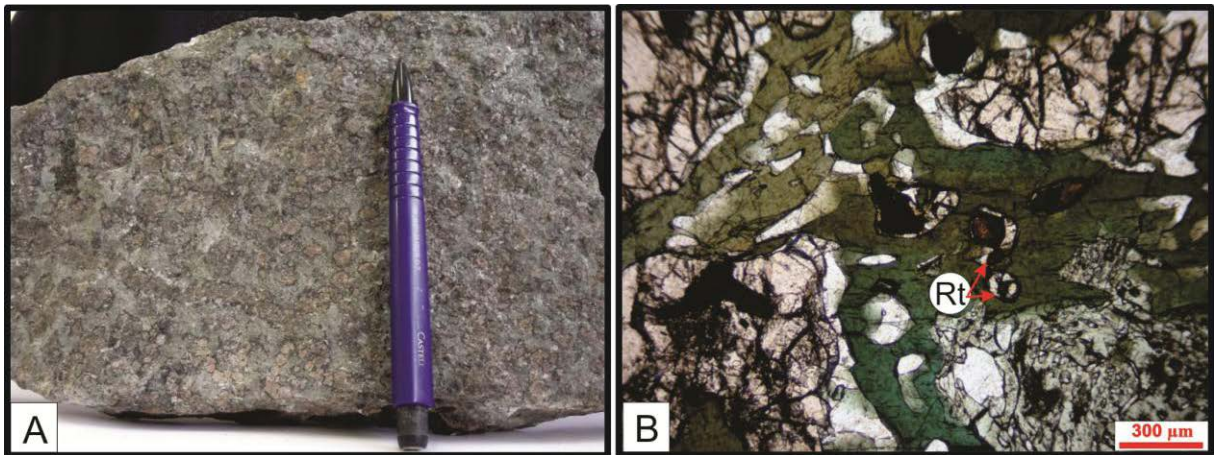


Figura 27: Amostra Olaria-2. A: Retroeclogito, matriz de granulação fina a média, com cristais milimétricos a centimétricos de granada e apresenta uma coloração esverdeada devido aos anfibólios. B: Foto tirada no microscópio petrográfico a nicóis cruzados, mostrando rutilos inclusos na matriz. Granada de coloração marron claro; Hornblenda de coloração verde escuro; Clinopiroxênio de coloração verde claro.

A Figura 28 apresenta uma imagem da lâmina Olaria-2 onde é apresentada a localização dos rutilos que foram identificados pelo microscópio petrográfico, imageados por meio de MEV e posteriormente analisados por meio de LA-ICP-MS.

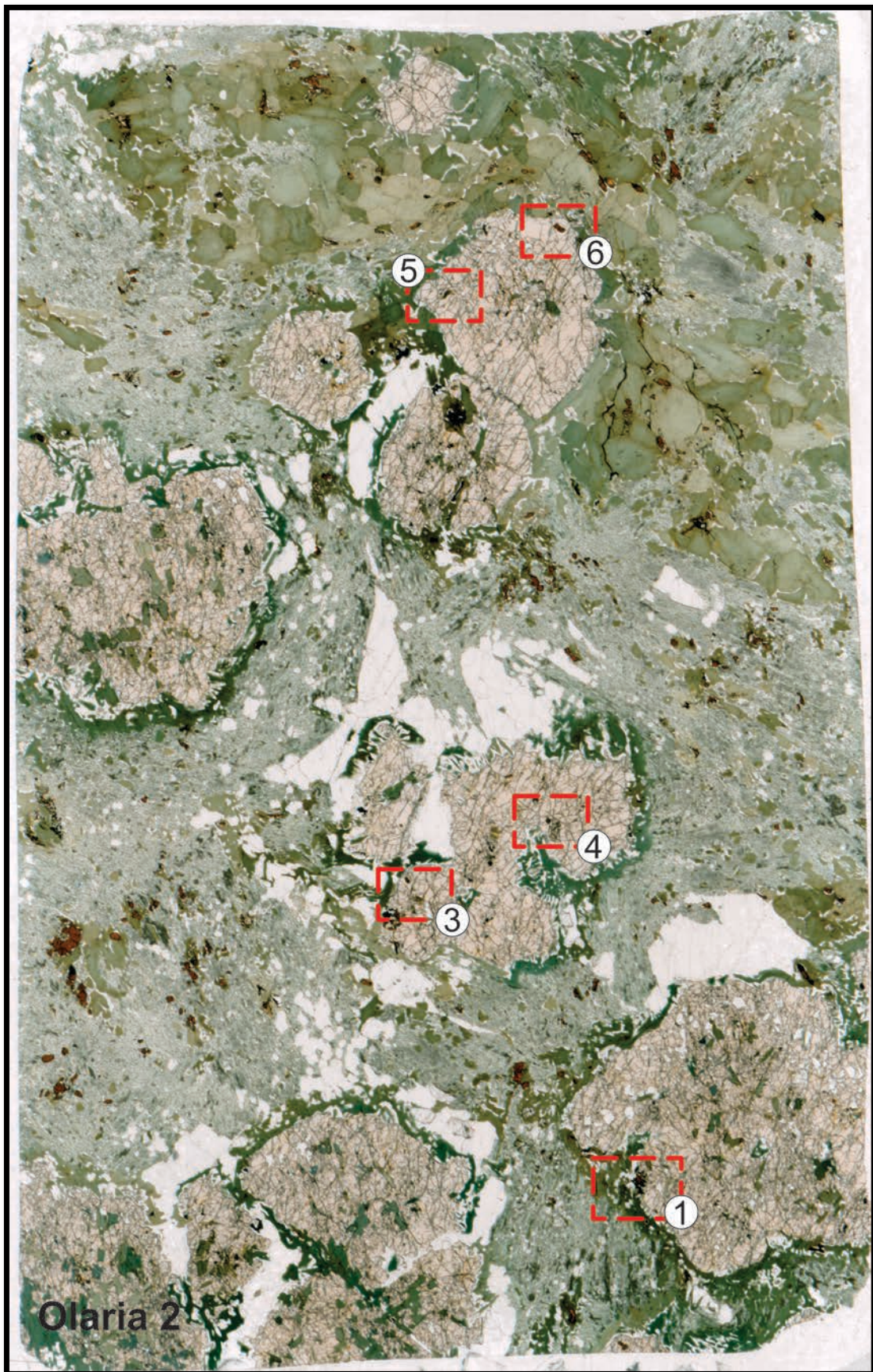


Figura 28: Imagem da amostra Olaria-2 com a identificação dos rutilos que foram identificados pelo microscópio eletrônico petrográfico, imageados por meio de MEV e posteriormente analisados por meio de LA-ICP-MS.

5.2.5 Microscopia de Varredura e Imagens por Elétrons Retroespalhados

As amostras selecionadas, MG-161; SSP-DH 12A1e SSP:DH-A2, pertencem à Unidade H, e possuem mineralogia, textura e estrutura muito similares. São interpretadas como produto metamórfico em fácies granulito de protólito de composição pelítica ou semi-pelítica. A amostra Olaria-2, contém textura e estruturas diferentes das outras amostras analisadas. É interpretada como produto metamórfico de rocha básica, por exemplo basalto, metamorfisada em regime de alta pressão. As texturas em corona e simplectítica observadas nesta amostra, são interpretadas como reequilíbrios em condições de temperatura superiores àquelas do pico bórico, como foi discutido por Luvizotto 2003.

Imagens por eletrons retroespalhados (BSE) obtidas para as amostras analisadas são apresentadas nas figuras 29 a 32. Descreve-se a seguir algumas características texturais observadas nas imagens.

Nas amostras estudadas destacam-se feições como grãos de rutilo anedrais e ou arredondados, que ocorrem frequentemente como inclusões ou ao longo de contorno de grãos minerais formadores de rocha (Figuras 29 H, 30 E, G e 31). A partir desta textura, interpreta-se que o rutilo cresceu durante o metamorfismo principal que atuou na área e em equilíbrio com a paragênese de pico metamórfico. Como a região passou por retrometamorfismo, algumas reações foram notadas como rutilo parcialmente substituído por titanita ou ilmenita (Figura 29F). Mas em geral, rutilo é mais bem preservado como inclusões em granada, pois a granada serviu como um escudo, protegendo o para novas reações (Figuras 29 A, D, E, F, G; 30; 31 C, D, F, H; 32 A, B, C, D, F, L). As inclusões de quartzo e rutilo nas granadas possuem uma direção preferencial e que por vezes esta perpendicular a foliação da matriz, e isso pode ser entendido como uma foliação pretérita da foliação principal na Nappe de Passos (Figura 29 F), preservada no interior dos cristais de granada; A maioria das granadas apresenta fraturas, no qual não ultrapassam o limite dos grãos (Figuras 29D e 30A). Por vezes, grãos de rutilos associados a estas fraturas apresentam indícios de alteração retrometamórfica, com o a presença de bordas e ilmenita e / ou titanita.

Na amostra Olaria-2 (Figura 31 B) está bem evidenciado como a granada somente faz contato com plagioclásio e com hornblenda. Nestas amostras a granada nunca faz contato com o clinopiroxênio, mostrando que estes dois minerais não ocorrem em equilíbrio na amostra.

Houve atenção especial em selecionar-se rutilos arredondados e inalterados, inclusos em granada inalterada para as análises químicas com LA-ICP-MS (por exemplo, Figuras 30 A,B e 32 L).

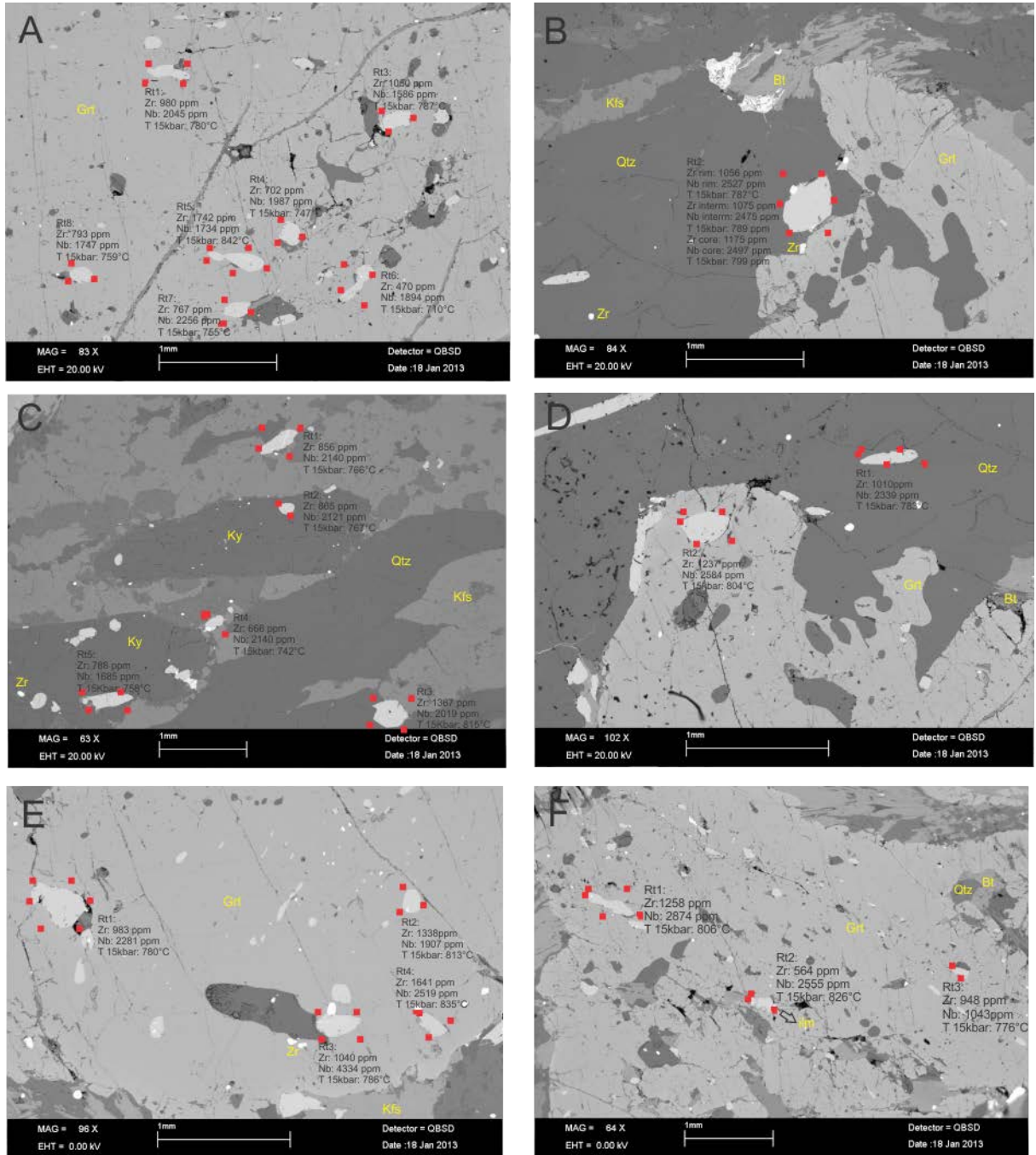


Figura 29: Continua na próxima página.

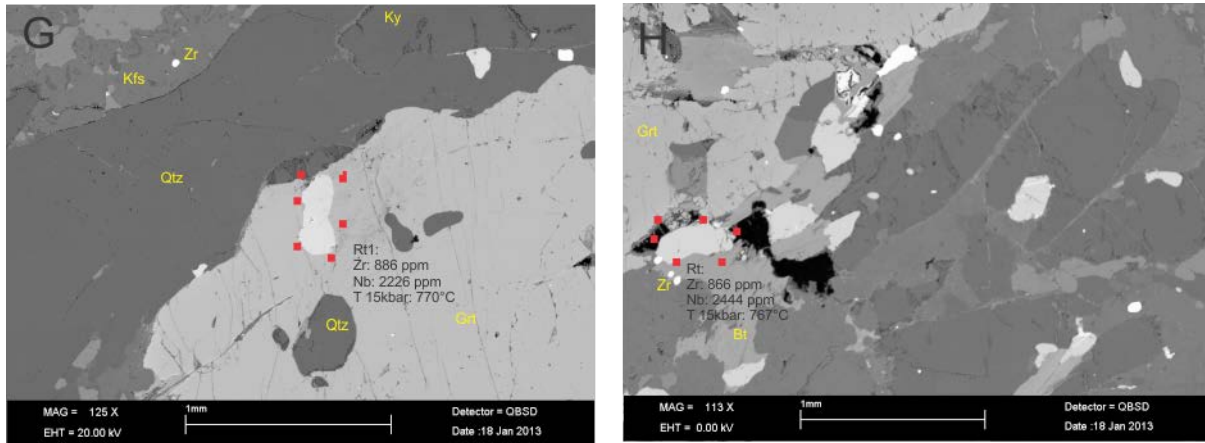


Figura 29: Imagens por elétrons retroespalhados (A,B,C,D,E,F,G,H) da amostra MG-161 juntamente com a identificação mineralógica, teores em ppm de Zr e Nb em rutilo. A temperatura apresentada nas figuras foi calculada através do geotermômetro Zr-em-rutilo, utilizando-se a calibração de Tomkins et al, 2007, para pressão de 15 kbar. A= Bse imagem # 1 (rutilos 1 a 7); B= Bse imagem # 2 (rutilos 8 a 10); C= Bse imagem # 3 (rutilos 11 a 15); D= Bse imagem # 4 (rutilos 16e 17); E= Bse imagem # 7 (rutilos 18 a 21); F: Bse imagem # 8 (rutilos 22 a 24); G: Bse imagem # 9 (rutilo 25); H: Bse imagem # 10 (rutilo 26). Os dados apresentados nas figuras são também representados na tabela 5 e no Anexo II.

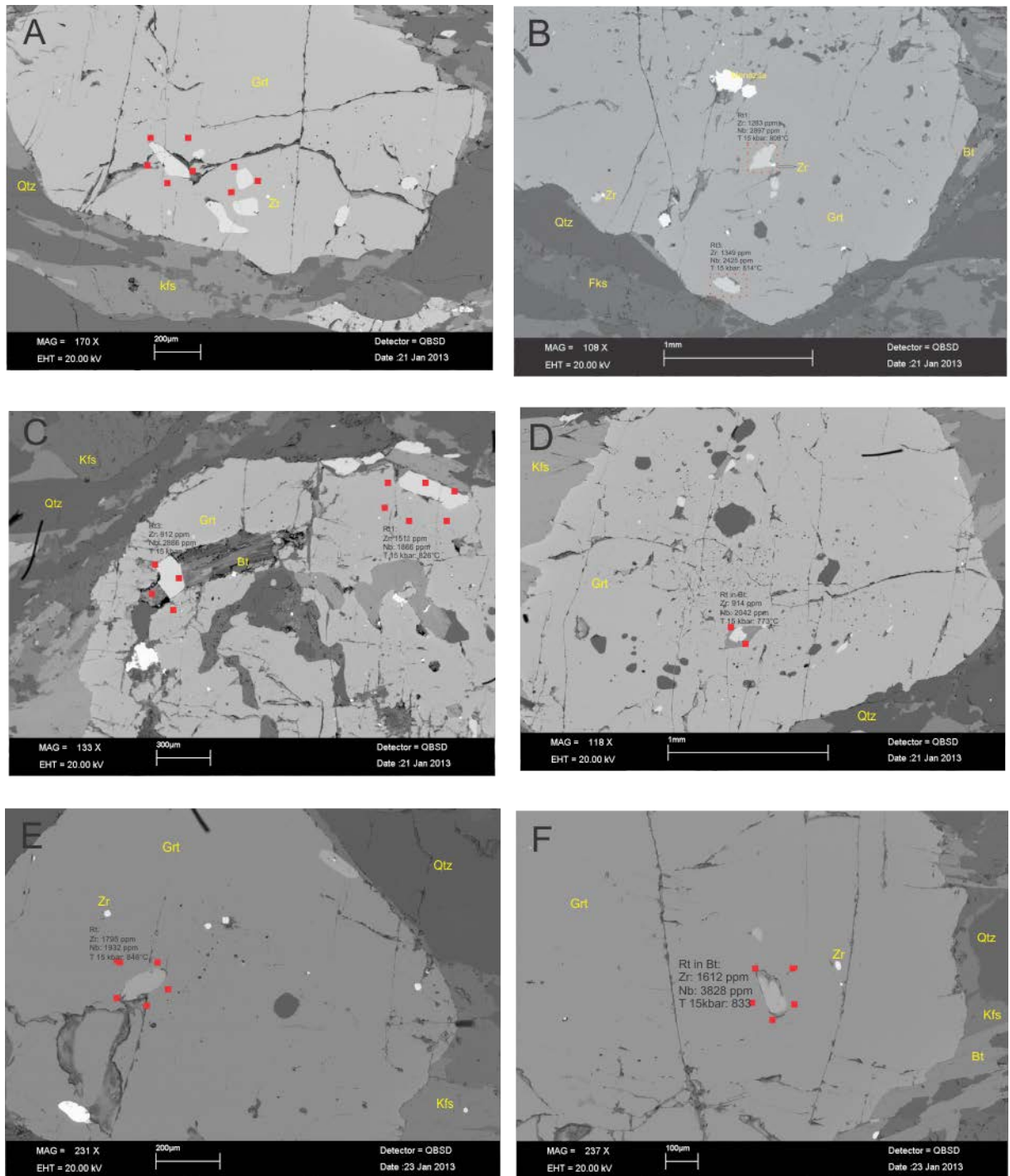


Figura 30: Continua na próxima página.

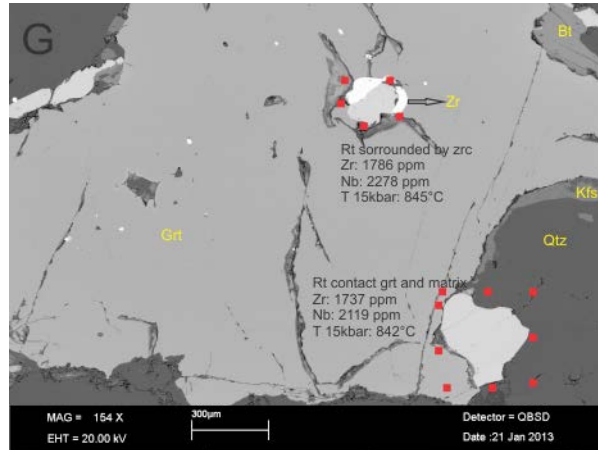


Figura 30: Imagens por elétrons retroespalhados (A,B,C,D,E,F,G) da amostra SSP-DH-12A1 juntamente com a identificação mineralógica, teores em ppm de Zr e Nb em rutilo. A temperatura apresentada nas figuras foi calculada através do geotermômetro Zr-em-rutilo, utilizando-se a calibração de Tomkins et al, 2007, para pressão de 15 kbar. A= Bse imagem # 2 (rutilos 1 e 2); B= Bse imagem # 4 (rutilos 3 e 4); C= Bse imagem # 5 (rutilos 5 e 6); D= Bse imagem # 9 (rutilo 7); E= Bse imagem # 11 (rutilo 8); F: Bse imagem # 12 (rutilo 9); G: Bse imagem # 15 (rutilos 10 e 11). Os dados apresentados nas figuras são também representados na tabela 6 e no Anexo II.

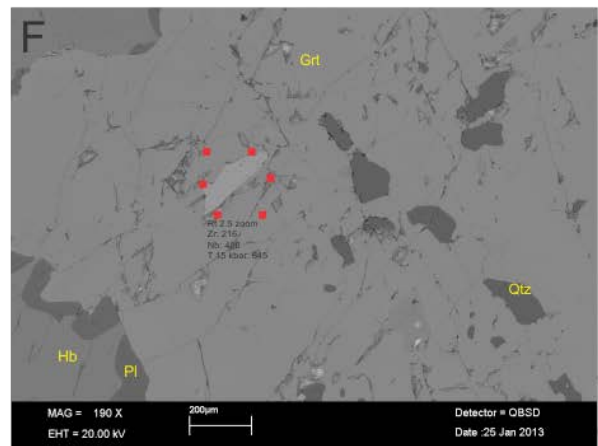
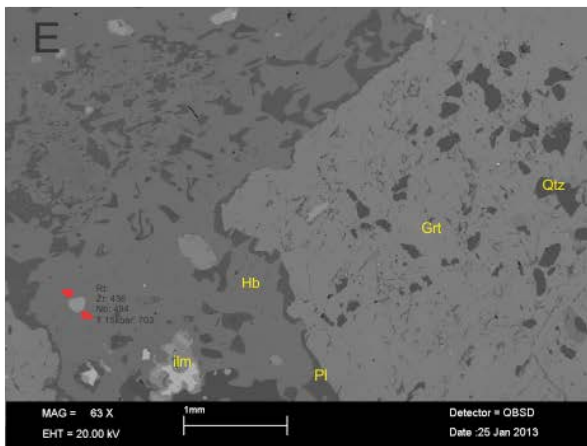
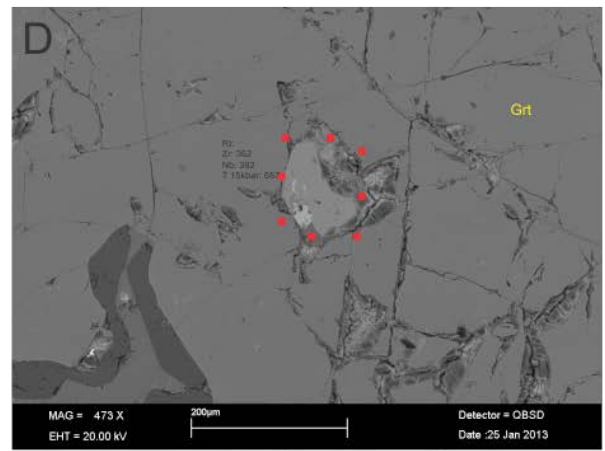
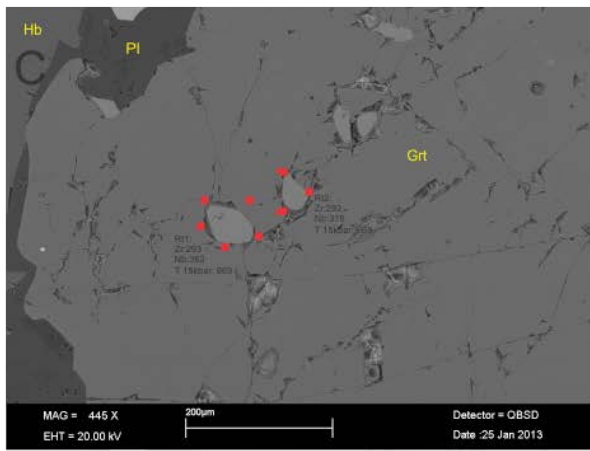
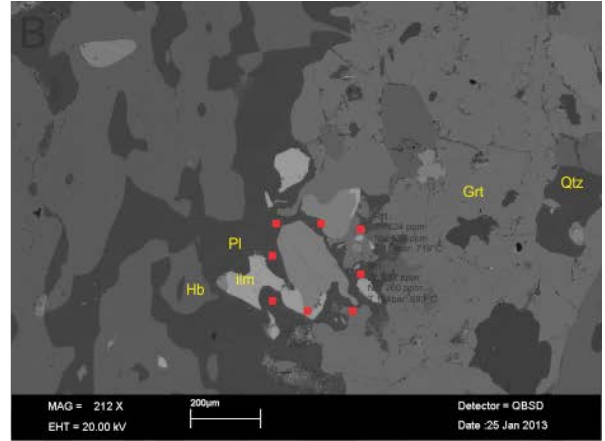
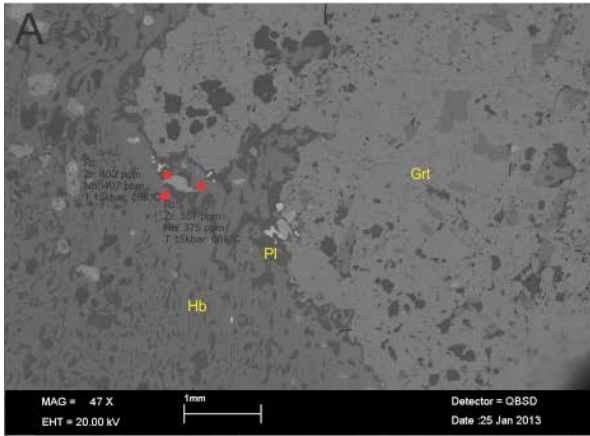


Figura 31: Continua na próxima página.

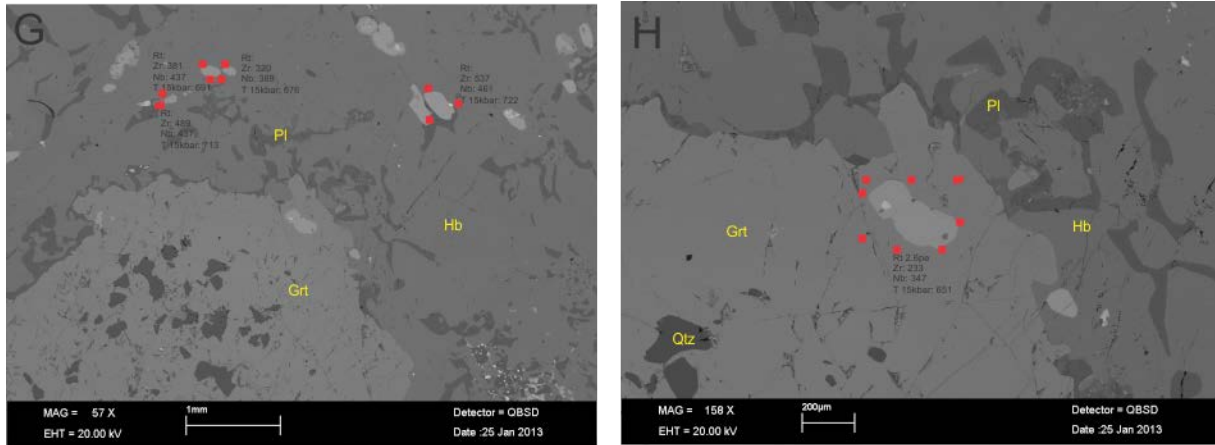


Figura 31: Imagens por elétrons retroespalhados (A,B,C,D,E,F,G,H) da amostra Olaria-2 juntamente com a identificação mineralógica, teores em ppm de Zr e Nb em rutilo. A temperatura apresentada nas figuras foi calculada através do geotermômetro Zr-em-rutilo, utilizando-se a calibração de Tomkins et al, 2007, para pressão de 15 kbar. A= Bse imagem # 0 (rutilos 1 e 2); B= Bse imagem # 1 (rutilos 3 e 4); C= Bse imagem # 3 (rutilos 5 e 6); D= Bse imagem # 4 (rutilo 7); E= Bse imagem # 5gr (rutilos 8 a 12); F: Bse imagem # 5pe (rutilo 13); G: Bse imagem # 6pe (rutilo 14); H: Bse imagem # 6 (rutilos 14 a 19). Os dados apresentados nas figuras são também representados na tabela 8 e no Anexo II.

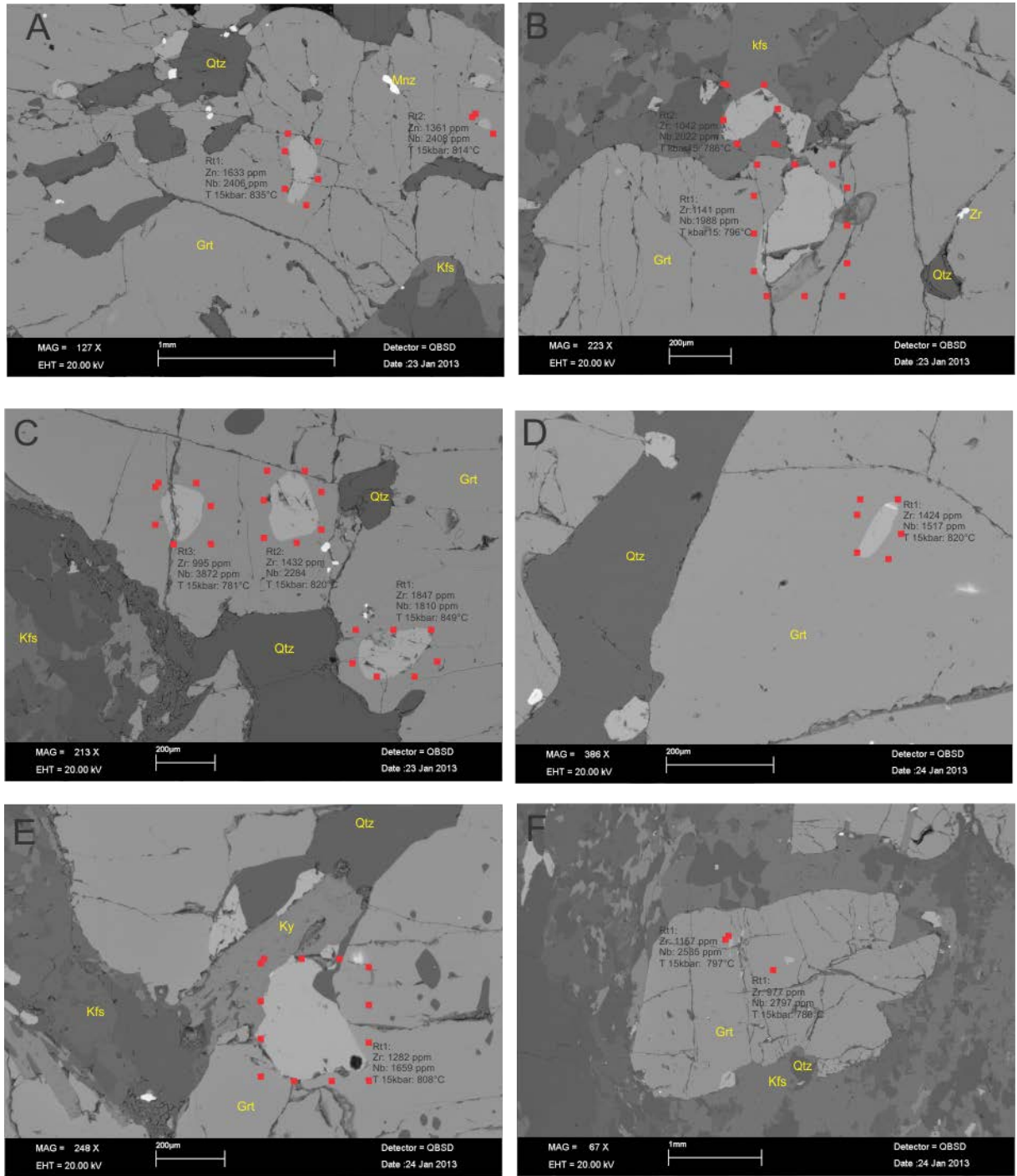


Figura 32: Continua na próxima página

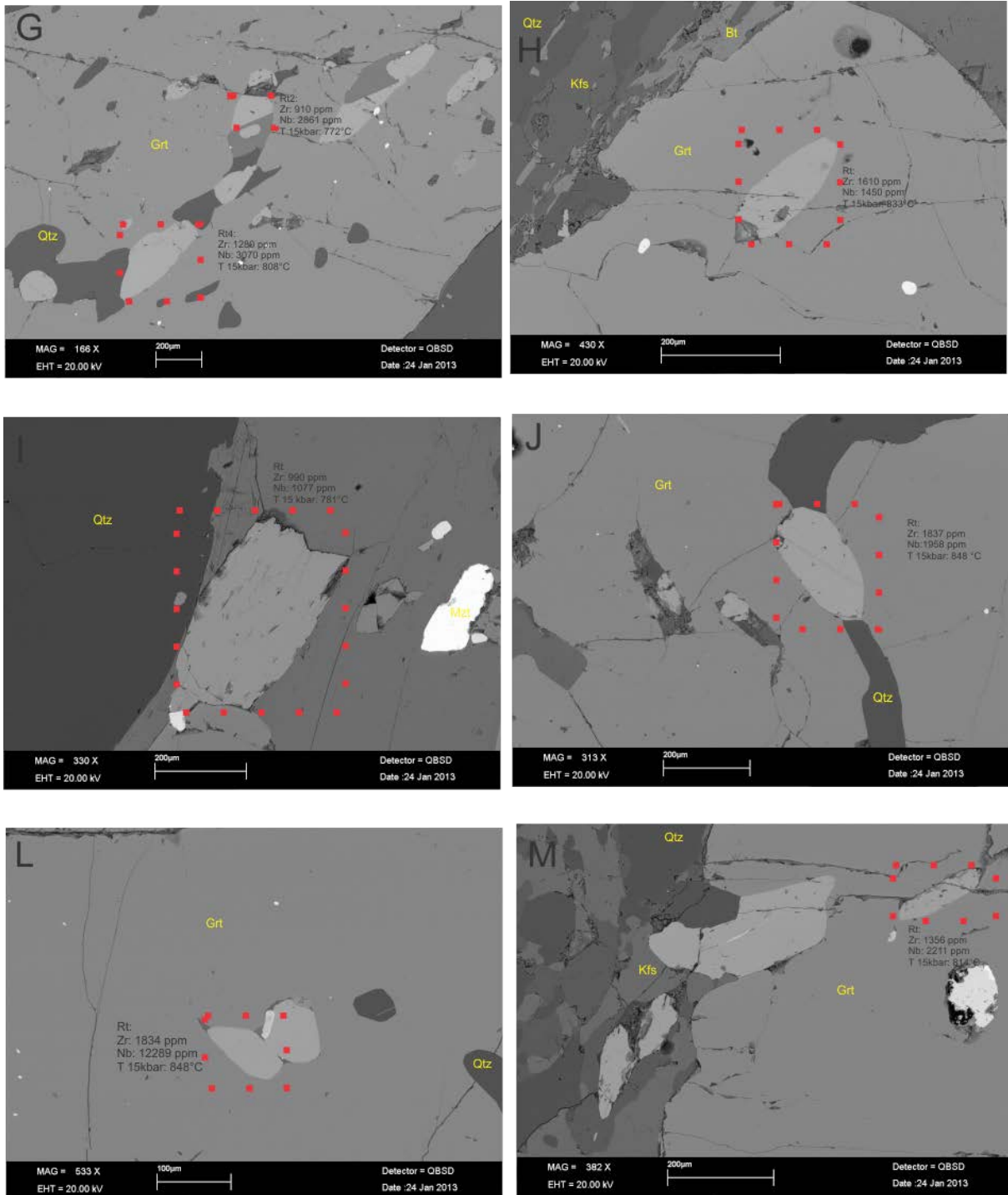


Figura 32: Imagens por elétrons retroespalhados (A,B,C,D,E,F,G,H,I,J,L,M) da amostra SSP-DH-10A2 juntamente com a identificação mineralógica, teores em ppm de Zr e Nb em rutilo. A temperatura apresentada nas figuras foi calculada através do geotermômetro Zr-em-rutilo, utilizando-se a calibração de Tomkins et al, 2007, para pressão de 15 kbar. A= Bse imagem # 1A (rutilos 1 e 2); B= Bse imagem # 1B (rutilos 3 e 4); C= Bse imagem # 1C (rutilos 6 a 8); D= Bse imagem # 8pe (rutilo 8); E= Bse imagem # 12pe (rutilo 9); F= Bse imagem # 13pe (rutilos 10 e 11); G: Bse imagem # 17B (rutilos 12 e 13); H: Bse imagem # 24pe (rutilo 14); I: Bse imagem # 31 (rutilo 15); J: Bse imagem # 34A (rutilo 19) ; L: Bse imagem # 34B (rutilo 18); M: Bse imagem # 34C (rutilo 17). Os dados apresentados nas figuras são também representados na tabela 7 e no Anexo II

5.3 Elementos traços em rutilo e termometria

Serão tratados nesta seção concentrações de elementos traços obtidos para os rutilos analisados, bem como a comparação de dados obtidos para as 4 amostras.

Foram obtidos concentrações para os seguintes elementos: V, Cr, Fe, Zr, Nb, Mo, Sn, Sb, Hf, Ta, W, Pb, Th e U. Os resultados obtidos são apresentados na tabela do Anexo II. No presente trabalho apresenta-se discussão sobre os elementos Zr, Nb, Ta, Hf, Cr e Fe. Sabe-se que o rutilo é um importante carreador dos demais elementos analisados. Todavia, uma discussão mais detalhada sobre a composição química dos rutilos no que se diz respeito a estes elementos foge do escopo do presente trabalho. Todavia, os resultados são apresentados no presente trabalho para fomentar estudos posteriores.

As concentrações de Zr e Nb obtidas para os rutilos analisados são também apresentadas nas imagens BSE (Figuras 29 a 32). O número destas imagens (BSE#) e o número dos rutilos (# of Rt) constam nas tabelas 5 a 8 e podem ser utilizados para a correlação entre os resultados. Os dados de temperatura apresentados nas figuras foram calculados com base na calibração de Tomkins et al (2007) e considerando-se pressão de 15 kbar. As tabelas 5 a 8 contêm os teores em ppm de Zr e Nb em cristais de rutilo obtidos em todas amostras analisadas. São apresentados também os valores de temperatura (Zack. et al. 2004 e Tomkins et al. 2007) obtidos para as pressões de 12, 15 e 20 kbar. Ao final de cada tabela é apresentado os valores máximos, mínimos e a média dos valores de temperatura obtidos para cada amostra.

Tabela 5: Concentrações de Zr e Nb obtidas para a amostra MG-161. As temperaturas apresentadas foram calculadas utilizando-se as calibrações de Zack et al. (2004)* (T Zack) e Tomkins et al. (2007) (T Tomkins), segundo a pressão especificada (em kbar). * não considera o efeito da pressão.

Nº de rutilos analisados	# of LA spots	BSE image #	# of rt	Zr90	Nb93	T Zack	T Tomkins @ 12kbar	T Tomkins @ 15kbar	T Tomkins @ 20kbar
MG-161									
1	26	1	3	1050	1586	879	772	787	811
2	27	1	1	980	2045	870	765	780	804
3	28	1	4	702	1987	828	733	747	770
4	29	1	5	1742	1734	944	827	842	868
5	30	1	7	767	2256	839	741	755	779
6	31	1	6	470	1894	776	696	710	732
7	32	1	8	793	1747	843	744	759	782
8	37	2	2 borda	1056	2527	880	773	787	812
9	38	2	2 interm	1075	2475	882	775	789	814
10	39	2	2 núcleo	1175	2497	893	784	799	823
11	40	3	3	1367	2019	913	800	815	840
12	41	3	5	788	1685	842	744	758	781
13	42	3	4	666	2140	821	728	742	765
14	43	3	2	865	2121	854	753	767	791
15	44	3	1	856	2140	853	752	766	790
16	45	4	2	1237	2584	900	789	804	829
17	46	4	1	1010	2339	874	768	783	807
18	47	7	3	1042	4334	878	772	786	810
19	48	7	4	1641	2519	936	820	835	861
20	49	7	2	1338	1907	910	798	813	837
21	50	7	1	983	2281	871	766	780	804
22	51	8	1	1258	2874	902	791	806	831
23	52	8	2	564	2255	800	713	726	749
24	53	8	-	948	1043	866	762	776	800
25	54	9	1	886	2226	857	755	770	793
26	55	10	Delineado por George	866	2444	854	753	767	791
T °C									
Mínima						776	696	710	732
Máxima						944	827	842	868
Média						868	764	779	803

Tabela 6: Concentrações de Zr e Nb obtidas para a amostra SSP-DH-12A1. As temperaturas apresentadas foram calculadas utilizando-se as calibrações de Zack et al. (2004)* (T Zack) e Tomkins et al. (2007) (T Tomkins), segundo a pressão especificada (em kbar). * não considera o efeito da pressão

N° de Rutilos analisados	# of LA spots	BSE image #	# of rt	Zr90	Nb93	T Zack	T Tomkins @12kbar	T Tomkins @15kbar	T Tomkins @20kbar
SSP-DH-12A1									
1	14	2	4	1020	2476	875	770	784	808
2	15	2	3	1660	3129	938	822	837	862
3	16	4	3	1349	2425	911	799	814	838
4	17	4	1	1283	2897	905	793	808	833
5	18	5	3	912	2886	861	758	773	796
6	19	5	1	1511	1866	926	811	826	851
7	20	9	Rt na Bt	914	2042	861	758	773	797
8	21	11	grande rt	1795	1932	948	830	846	871
9	22	12	Rt na Bt	1612	3828	934	818	833	858
10	23	15	contato grt e matrix	1737	2119	943	827	842	867
11	24	15	rt cercado por zrc	1786	2278	947	830	845	870
T °C									
Mínima						861	758	773	796
Máxima						948	830	846	871
Média						913	801	816	841

Tabela 7: Concentrações de Zr e Nb obtidas para a amostra SSP-DH-10A2. As temperaturas apresentadas foram calculadas utilizando-se as calibrações de Zack et al. (2004)* (T Zack) e Tomkins et al. (2007) (T Tomkins), segundo a pressão especificada (em kbar). * não considera o efeito da pressão

N° de rutilos analisados	# of LA spots	BSE image #	# of rt	Zr90	Nb93	T Zack	T Tomkins @12kbar	T Tomkins @15kbar	T Tomkins @20kbar
SSP-DH-10A2									
1	87	1A	1	1633	2406	935	820	835	860
2	88	1A	2	1361	2408	912	800	814	839
3	89	1B	2	1141	1988	890	781	796	820
4	90	1B	1	1042	2022	878	772	786	810
5	91	1C	3	1847	1810	951	834	849	874
6	92	1C	2	1432	2284	919	805	820	845
7	93	1C	1	995	3872	872	767	781	805
8	94	8pe	1	1424	1517	918	805	820	844
9	95	12pe	1	1282	1659	905	793	808	833
10	96	13pe	3	1157	2535	891	782	797	821
11	97	13pe	1	977	2797	870	765	780	803
12	98	17B	2	1280	3070	904	793	808	832
13	99	17B	4	910	2861	861	758	772	796
14	100	24pe		1610	1450	934	818	833	858
15	101	31		990	1077	872	766	781	805
16	102	34	-	845	1024	851	751	765	788
17	103	34C		1356	2211	912	799	814	839
18	104	34B		1834	12289	950	833	848	874
19	105	34A		1837	1958	951	833	848	874
T°C									
Mínima						851	751	765	788
Máxima						951	834	849	874
Média						904	793	808	833

Tabela 8: Concentrações de Zr e Nb obtidas para a amostra Olaria-2. As temperaturas apresentadas foram calculadas utilizando-se as calibrações de Zack et al. (2004)* (T Zack) e Tomkins et al. (2007) (T Tomkins), segundo a pressão especificada (em kbar). * não considera o efeito da pressão

N° de rutilos analisados	# of LA spots	BSE image #	# of rt	Zr90	Nb93	T Zack	T Tomkins @12kbar	T Tomkins @15kbar	T Tomkins @20kbar
Olaria 2									
1	64	0	Grande Rt	357	375	741	673	686	708
2	65	0	Grande Rt	402	407	757	683	696	718
3	66	1	2	524	530	790	706	719	742
4	67	1	2	387	260	751	679	693	714
5	68	3	1	293	362	716	656	669	691
6	69	3	2	292	376	715	656	669	690
7	70	4		362	392	743	674	687	709
8	71	5 grande	-	417	1481	761	686	699	721
9	72	5 grande	-	436	494	767	690	703	725
10	73	5 grande	-	418	662	761	686	699	721
11	74	5 grande	-	401	661	756	682	696	718
12	75	5 grande	-	412	645	760	685	698	720
13	76	5 pequeno	2.5pe	216	408	677	632	645	666
14	77	6	2.6pe	233	347	687	638	651	672
15	78	6	5	409	466	759	684	697	720
16	79	6	5	537	461	793	708	722	744
17	80	6	2	381	437	750	678	691	713
18	81	6	3	320	389	727	664	676	698
19	82	6	1	489	437	781	700	713	736
Mínima						677	632	645	666
Máxima						793	708	722	744
Média						747	677	690	712

Foi especificado nas figuras 33 e 34, para cada caso de rutilo analisado, se o mesmo se encontra na matriz ou na granada e seus respectivos contatos. Os rutilos de número (1 a 7; 16; 18 a 25) todos estão inclusos na granada. Os rutilos de número (8 a 11;13; 15;17 e 25) todos estão inclusos na matriz de quartzo. Os rutilos de número (12 e 14) estão como inclusão na cianita. E os rutilos de número (4;6;13;18;20) estão em contato com zircão. Apesar de todos esses rutilos estarem como inclusão na granada ou na matriz, todos eles não possuem uma tendência nos teores de Nb e Zr, porém no geral os rutilos inclusos na granada possuem teores em ppm de Zr pouco acima daquele inclusos na matriz.

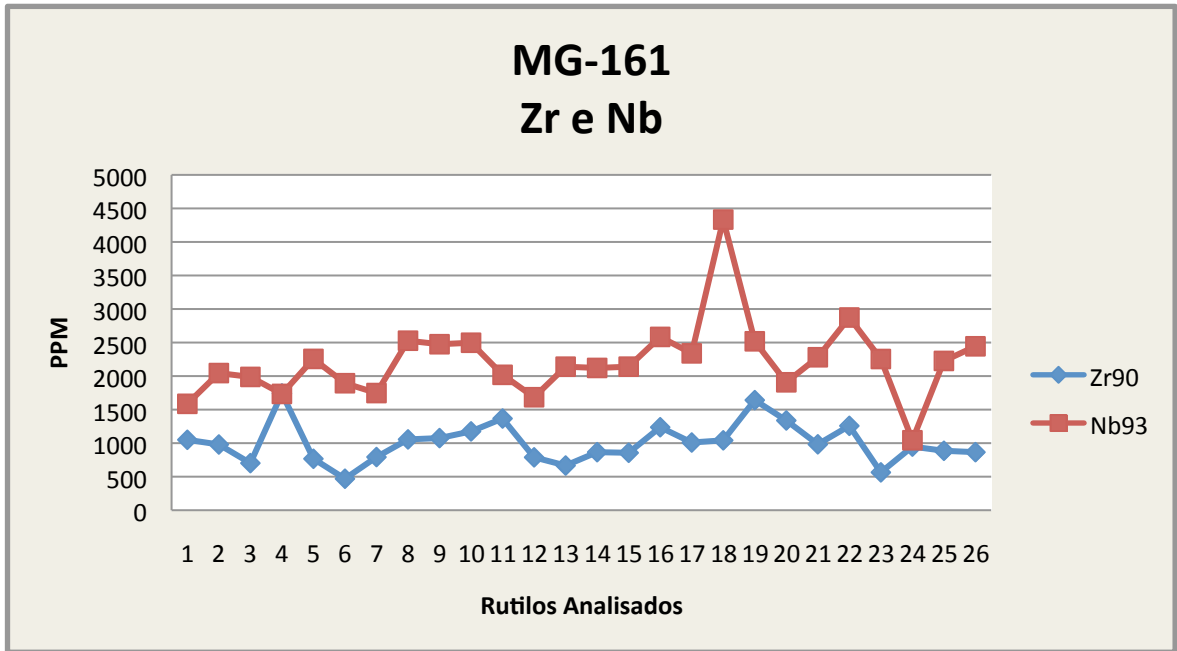


Figura 33: Teores de zircônio e nióbio em ppm na amostra MG-161. Os rutilos representados na figura estão ilustrados na figura 28 (A e H). Números de 1 a 26 no eixo X corresponde àqueles apresentados na primeira coluna da tabela 5.

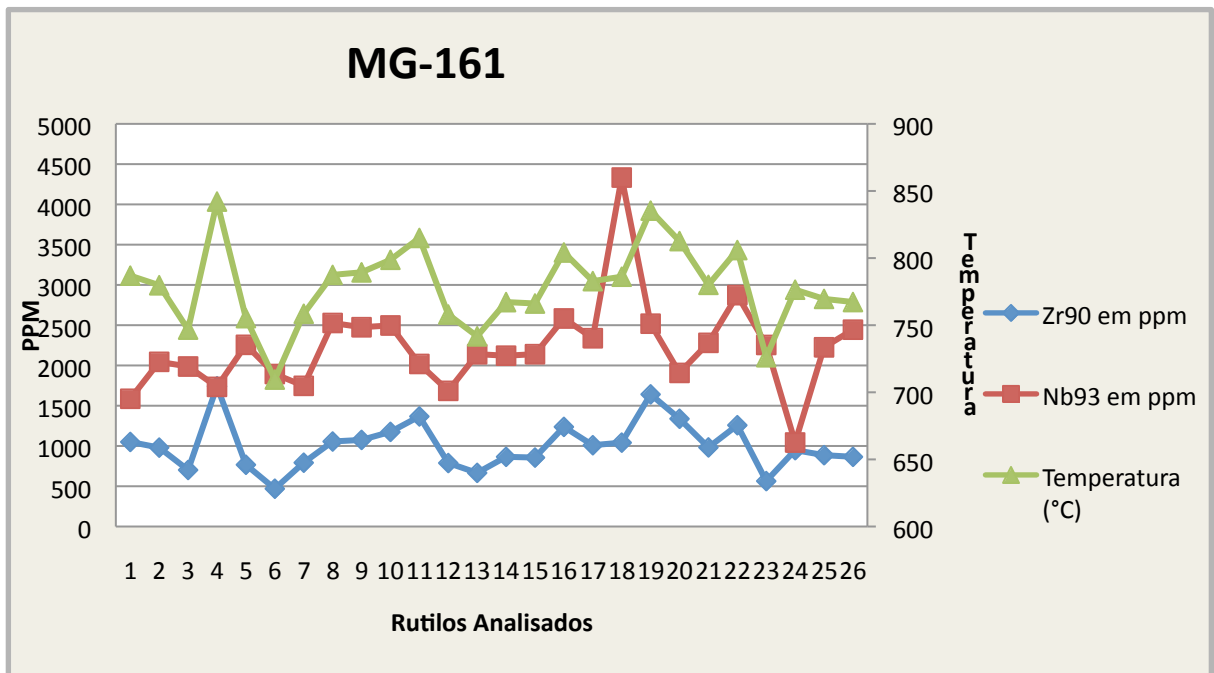


Figura 34: Teores de zircônio e nióbio em ppm na amostra MG-161, juntamente com a temperatura alcançada. Os rutilos representados na figura estão ilustrados na figura 28 (A a H). Números de 1 a 26 no eixo X corresponde àqueles apresentados na primeira coluna da tabela 5.

Foi especificado nas figuras 35 e 36, para cada caso de rutilo analisado, se o mesmo se encontra na matriz ou na granada e seus respectivos contatos. Os rutilos de número (1 a 4; 8 e

10) são inclusões na granada, enquanto que os rutilos de número (5 e 6) estão em contato com granada e biotita. O rutilo de número 7 é inclusão na biotita e o de número 9 está incluso na biotita que está incluso na granada. O rutilo de número 10 faz contato com granada e quartzo, enquanto o rutilo de número 11 está incluso na granada e faz contato com zircão. Analisando os dados, não se pode dizer que nesta amostra os teores de Zr e Nb são maiores em inclusões na granada. Porém o rutilo de numero 9 tem um teor de Nb bem mais alto do que no resto da amostra, isso porque a reação de quebra da biotita liberou Nb, e o cristal de rutilo inseriu em sua composição química esse Nb da biotita, e a granada serviu como um tampão para que este Nb no cristal de rutilo não reagisse com outro mineral.

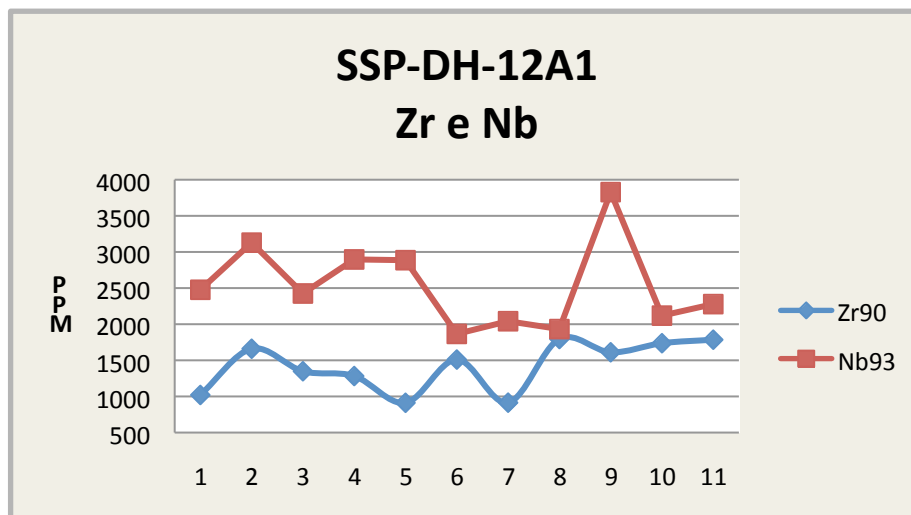


Figura 35: Teores de zircônio e nióbio em ppm da amostra SSP-DH-12A1. Os rutilos representados na figura estão ilustrados na figura 29 (A a G). Números de 1 a 11 no eixo X corresponde àqueles apresentados na primeira coluna da tabela 6.

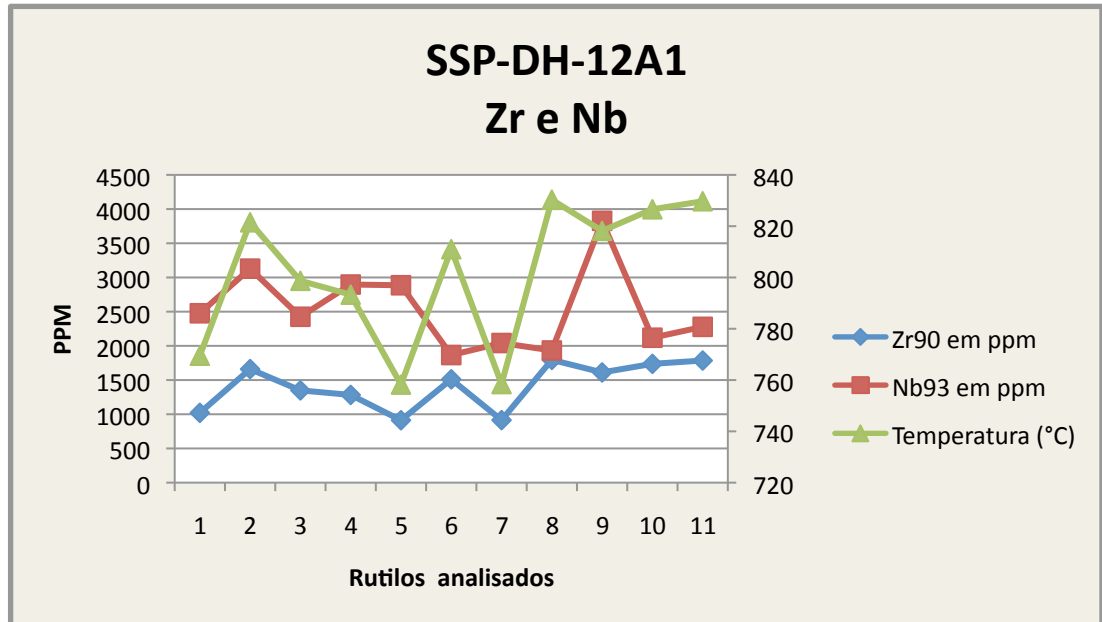


Figura 36: Teores de zircônio e nióbio em ppm na amostra SSP-DH-12A1, juntamente com a temperatura alcançada pelo rutilo. Os rutilos representados na figura estão ilustrados na figura 29 (A a G). Números de 1 a 11 no eixo X corresponde àqueles apresentados na primeira coluna da tabela 6.

Foi especificado nas figuras 37 e 38, para cada caso de rutilo analisado, se o mesmo se encontra na matriz ou na granada e seus respectivos contatos. O rutilos de número (1; 2; 4 a 8; 10 a 14; 16 a 19) são inclusões na granada, enquanto que o rutilo de numero 3 esta na matriz e o de número 9 e 15 estão na borda da granada em contato com quartzo. Nesta amostra os teores de Zr e Nb na matriz e em inclusões na granada são parecidos. Mas foi nesta amostra, como inclusão em granada, que obteve a maior concentração de Zr com 1847 ppm e maior concentração de Nb com 12289 ppm em diferentes rutilos.

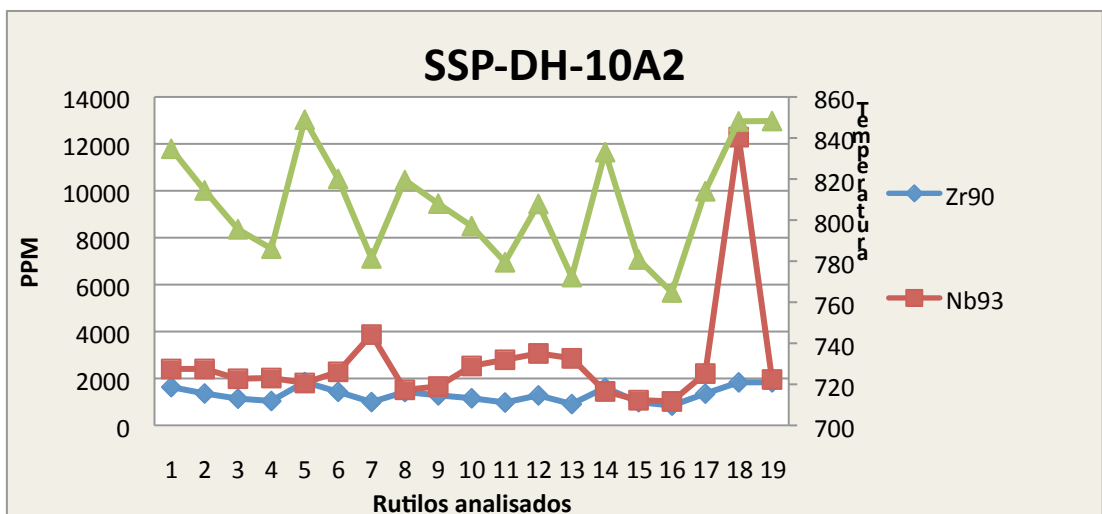


Figure 37: Teores de zircônio e nióbio em ppm da amostra SSP-DH-10A2, juntamente com a temperatura alcançada pelo rutilo. Os rutilos representados na figura estão ilustrados na figura 31 (A a M). Números de 1 a 11 no eixo X corresponde àqueles apresentados na primeira coluna da tabela 7.

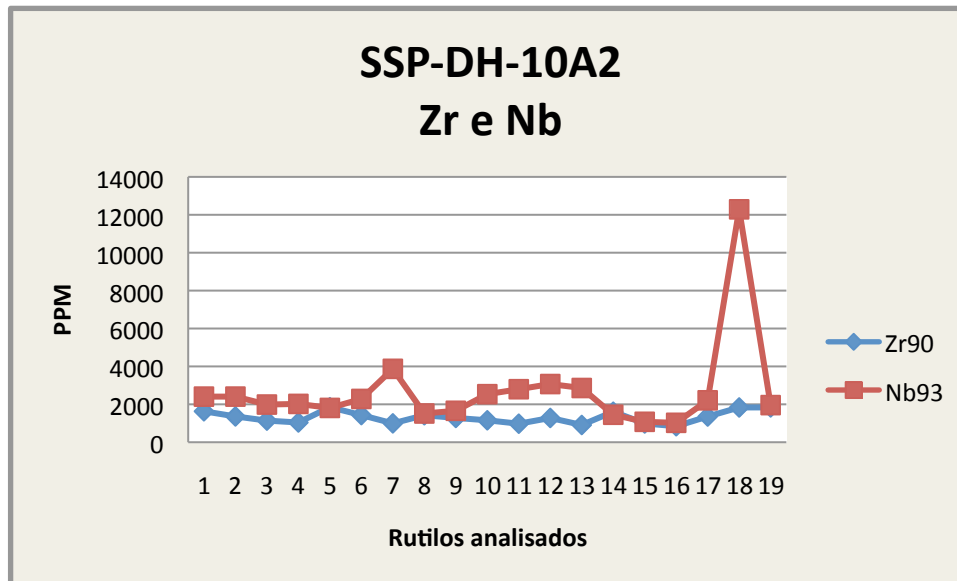


Figura 38: Teores de zircônio e nióbio em ppm da amostra SSP-DH-10A2. Os rutilos representados na figura estão ilustrados na figura 31 (A a M). Números de 1 a 11 no eixo X corresponde àqueles apresentados na primeira coluna da tabela 7.

Será especificado nas figuras 39 e 40, para cada caso de rutilo analisado, se o mesmo se encontra na matriz ou na granada e seus respectivos contatos. Os rutilos de número (1;2; 15 a 18) estão na matriz em contato com hornblenda e clinopiroxênio, enquanto que os rutilos de número 3 e 4 estão também na matriz porém em contato com plagioclásio, hornblenda e ilmenita. Os rutilos de número (5 a 7; 13; 14 e 19) são inclusões na granada e os rutilos de número 8 a 12 encontram-se na matriz em contato com hornblenda, clinopiroxênio e ilmenita. Como esperado, esta amostra sendo um retroeclogitos, os teores de Zr e Nb deram menores que as outras rochas metapelíticas. Nesta amostra a maioria dos teores de Zr e Nb deram maiores na matriz, mostrando que a granada não exerceu um escudo para os rutilos inclusos nela.

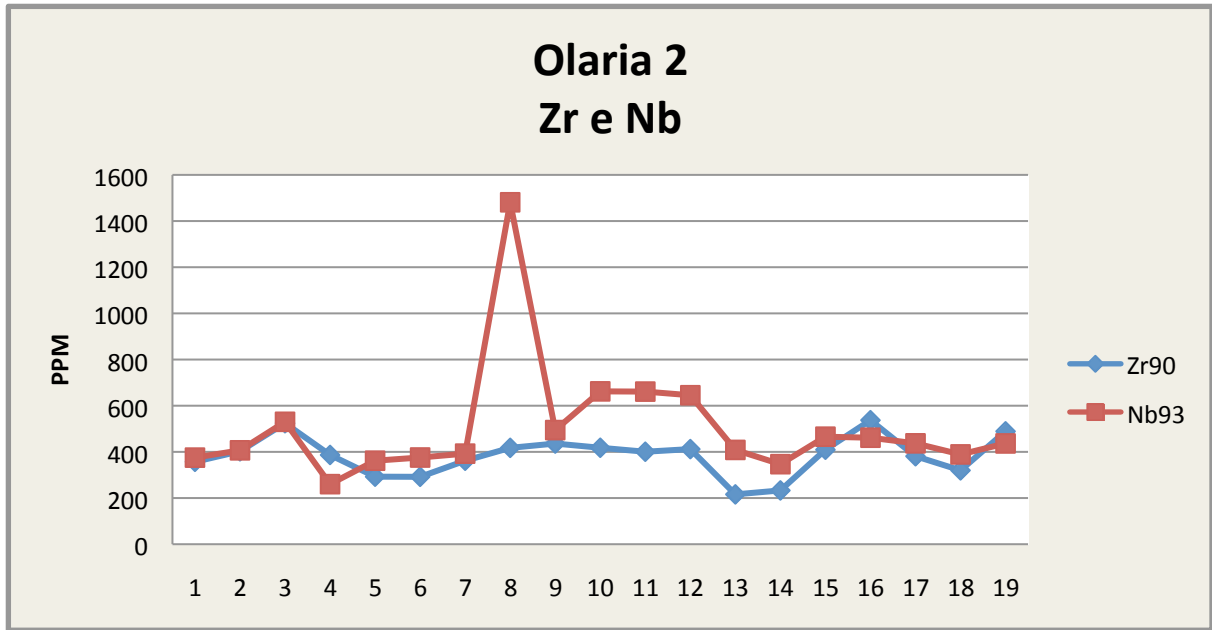


Figura 39: Teores de zircônio e nióbio em ppm da amostra Olaria-2. Os rutilos representados na figura estão ilustrados na figura 30 (A a H). Números de 1 a 19 no eixo X corresponde àqueles apresentados na primeira coluna da tabela 8.

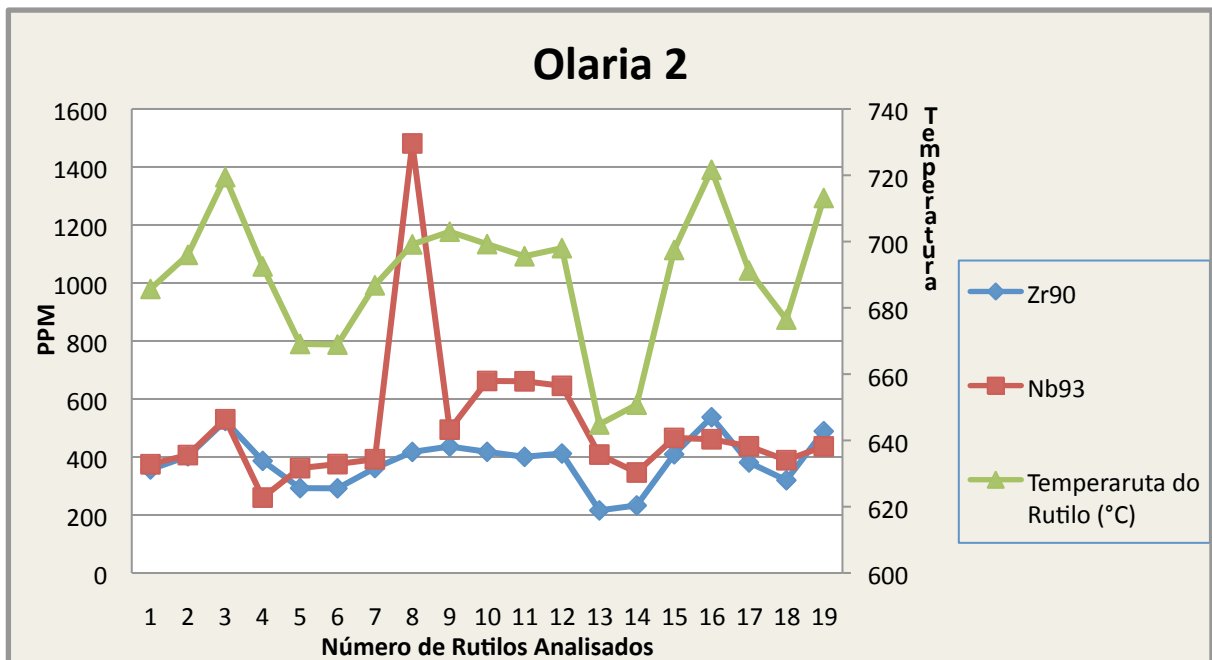


Figura 40: Teores de zircônio e nióbio em ppm da amostra Olaria-2, juntamente com a temperatura alcançada pelo rutilo. Os rutilos representados na figura estão ilustrados na figura 30 (A a H). Números de 1 a 19 no eixo X corresponde àqueles apresentados na primeira coluna da tabela 8.

A concentração de Zr em rutilo analisado (75 análises em grãos de rutilo) variam entre 216 ppm e 1847 ppm (Anexo II). Nenhum zoneamento foi observado nos grãos de rutilo, mesmo em diferentes concentrações de Zr, assim mostrando nenhuma correlação textural com diferentes teores de Zr. Porém cristais de rutilos inclusos na granada possuem concentrações maiores de Zr,

sendo a maior concentração com 1847 ppm alcançando uma temperatura de 834°C a 12kbar. As concentrações de Zr em cristais de rutilos fora da granada e em cianita mostram o conteúdo Zr mais baixos. Mas vale ressaltar que houve poucos grãos na matriz que teve teores de Zr alto, comparados com rutilos inclusos na granada. Porém na amostra olaria-2, a maioria dos teores de Zr deram maiores na matriz. Na figura 41, foram selecionados 11 cristais de rutilos inclusos na granada e na matriz, demonstrando a diferença da concentração de Zr nestes casos.

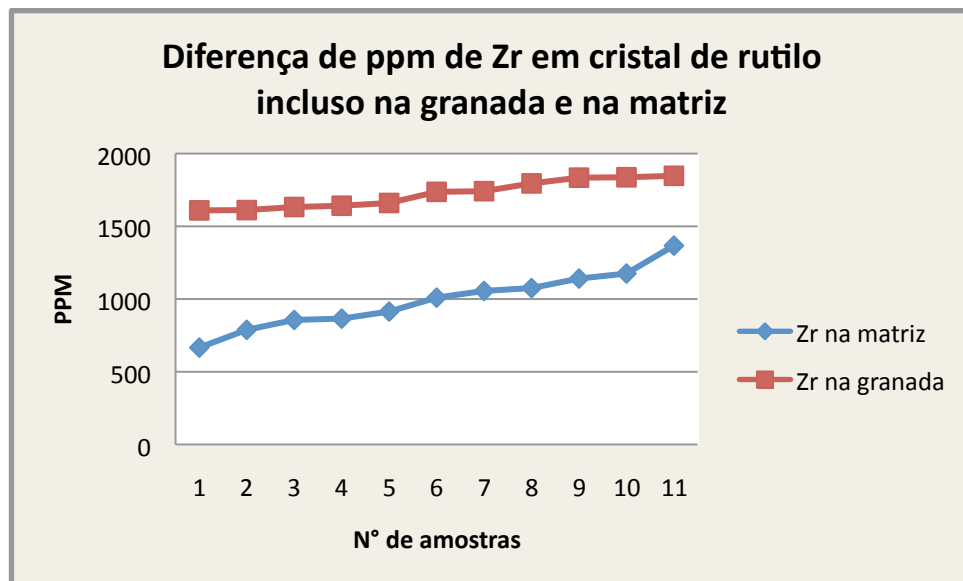


Figura 41: Diferença de ppm de Zr em cristal de rutilo incluído na granada e na matriz. No eixo X são as maiores concentrações de Zr em cristais de rutilo analisados de todas as amostras

Os valores de Fe em rutilo a partir das diferentes amostras não exercem nenhuma correlação com a temperatura e/ou textura petrográfica das amostras contendo rutilo. Importante ressaltar que o Hf possui o mesmo comportamento do Zr, isto é: sua incorporação também é dependente da temperatura. Todavia, por ocorrerem em concentrações sensivelmente mais baixas, é conveniente a utilização do Zr como geotermômetro.

Segundo (ZACK et al. 2002b) os teores de Nb e Cr em rutilo podem indicar o tipo de rocha que se encontram, que no caso são metapelitos (exceto Olaria-2), sendo o Nb entre 900 e 2700 ppm e Cr abaixo de 1000 ppm. Comparando o Nb das amostras SSP-DH-12A1 (1866-3828 ppm); MG-161 (1043-4334 ppm); SSP-DH-10A2 (1024-12289ppm) conclui-se que estas amostras apresentam teores maiores de Nb do que é referido na literatura, e mesmo sabendo que a rocha primária pode ser pelítica ou semi-pelítica, houve uma troca química grande no metamorfismo. Ocorre o mesmo com o Cr e o V, dando valores mais altos nas amostras citadas acima, sabendo que o Cr é alto em rochas máficas e baixo em félsicas (Figuras 42 e 43).

Possuem o mesmo comportamento o Nb e o Ta, no qual não são dependentes da temperatura. Alto nióbio pode ser explicado pela cristalização de rutilo em decorrência da quebra da biotita (ver Luvizotto et al 2009b). Na amostra Olaria-2, que é um retroeclogito e como protólito um rocha metabásica, os teores de Nb e Cr estão de acordo com a literatura, no qual se encontra no campo de rutilos a partir de rochas máficas (Figura 42 e 43) (ZACK, 2002).

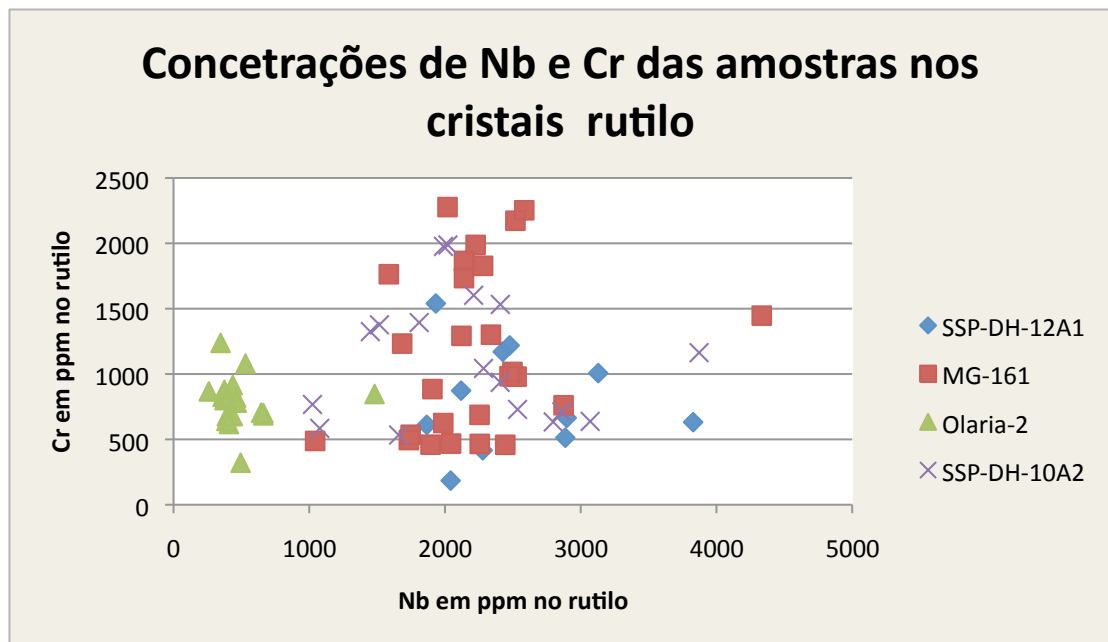


Figura 42: Concentrações de Nb e Cr das amostras no cristais de rutilo.

A figura 43 representa rochas de diferentes ambientes metamórficos, como metabasalto (representado por simbologia do diamante preto) e metagabros (representado com diamante vazio) são exemplos de eclogito, além de granada mica xisto (representado por quadrados pretos) e granulitos máficos (representado por quadrado vazio).

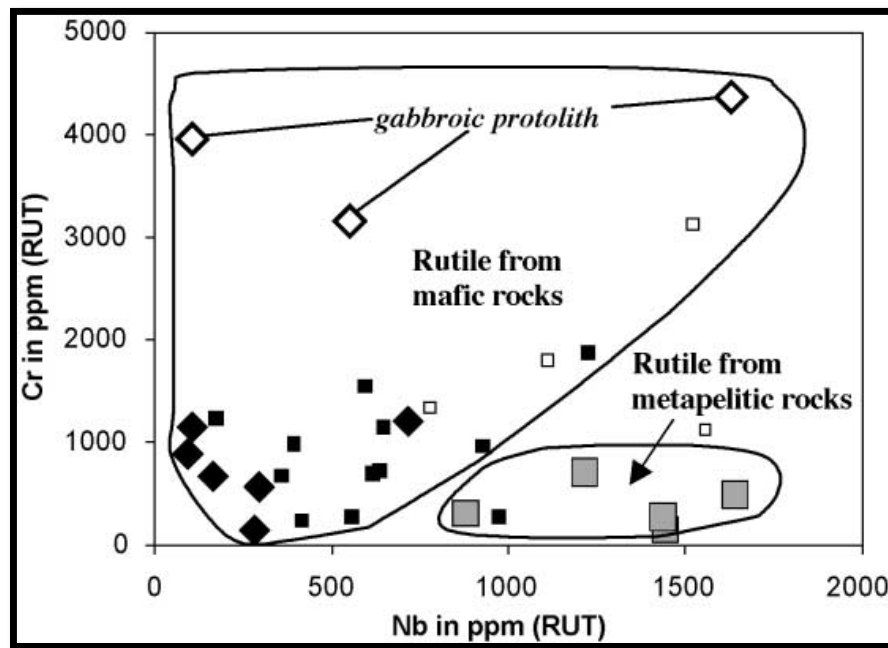


Figura 43: Pontos de concentrações em rutilo de Nb vs. Cr a partir de diferentes locais (Fonte ZACK 2002)

5.4 Química de rocha total e pseudoseções

Na tabela 3 estão os dados de Rocha Total obtidos por fluorescência de raio X para as amostras estudadas (MG-161, SSP-DH-12A2 e SSP-DH-10A2). Observando-se as análises químicas obtidas para as amostras do presente trabalho (Tabela 3) e comparando-as com a composição média de sedimentos pelíticos, é possível observar que as rochas estudadas representam rochas de composição pelítica. Entretanto as concentrações de Ca e Mn são mais baixas que a média global de sedimentos pelíticos. Estas análises químicas foram utilizadas para o cálculo de pseudoseções utilizando-se o programa Perple-X. Pseudoseções são grades petrogenéticas calculados para a composição específica da rocha em questão. Estas grades representam graficamente as reações metamórficas que podem ocorrer em um determinado intervalo de pressão e temperatura para o sistema químico estipulado e levando-se em consideração a composição química da amostra. Foram calculados diagramas para as amostras MG-161, SSP-DH-12A2 e SSP-DH-10A2, conforme descrito nos métodos de trabalho. Para o cálculo das pseudoseções utilizou-se o sistema KFMASHTO (K, Fe, Mg, Al, Si, H₂O, TiO₂). Escolheu-se este sistema pelo fato do mesmo ser adequado para representar reações químicas em rochas de composição pelítica. Isto é, neste sistema é possível representar-se os principais minerais índices do metamorfismo presente em rochas metapelíticas, por exemplo, micas, granada, estauroлита, aluminossilicatos, feldspato potássico, quartzo, rutilo e ilmenita (minerais

presentes nas rochas estudadas no presente trabalho). As análises químicas foram recalculadas para 100%, incluindo-se apenas os elementos referentes ao sistema químico considerado. Para os cálculos das pseudoseções, admitiu-se concentração de H₂O de 1%, quantidade suficiente para saturar a rocha e produzir material fundido. Os modelos de solução utilizados nos cálculos são apresentados na tabela 4 (Métodos de Trabalho). Os modelos foram escolhidos com base nas paragêneses presentes nas amostras e de acordo com as características do próprio modelo de solução. Um resumo das principais características destes modelos é apresentado na documentação referente ao programa Perple_X (Disponível online em: http://www.perplex.ethz.ch/perplex/solution_model/glossarz.html).

As figuras 44 a 46 apresentam os resultados obtidos das amostras. Destaca-se aqui a paragênese mineral das amostras analisadas é representada por: quartzo (Qz); feldspato potássico (Sa); cianita (Ky); granada (Grt); rutilo (Rt); biotita com alto teor de titânio (Bt); fundido (Melt). Abreviações segundo Whitney e Evans 2010. Com esta paragênese pode-se identificar o campo que representa a paragênese presente nas amostras estudadas, que no caso é o campo 3 (achurado). No campo 1 e 2 a mineralogia principal é fengita (Ph); Grt; Ky; Sa; Qz; Rt; Luvizotto 2003, em análises químicas realizadas em micas de amostras coletadas em áreas próximas das amostras analisadas no presente trabalho, constatou que não ocorre presença de fengita, deste modo concluindo que estes campos não se enquadram na mineralogia das amostras analisadas. Além disso, nestes campos citados anteriormente, não ocorre a presença de biotita. Nos outros campos, ocorre a presença de sillimanita e que não está inserida na mineralogia principal da rocha e também não se enquadra nas mesmas condições de temperatura e pressão, deste modo eliminando estes campos com a presença deste mineral. Por fim, o campo 3 é onde se encontra a mesma composição química das amostras, e principalmente concordando com o resultado das análises pelo LA-ICP-MS, ou seja, em temperaturas entre 800°C e 850°C (assumindo-se pressões entre 12 e 20 kbar). Estas pseudoseções também indicam que não se cristaliza ortopiroxênio nas rochas estudadas pela paragênese mineral das rochas, apesar das condições de pressão e temperatura indicarem metamorfismo em fácies granulito. Nota-se que segundo a literatura, ocorre ortopiroxênio em rochas metapelíticas em altas temperaturas e pressões. Desta forma, a ausência de ortopiroxênio nas amostras estudadas não indica que o grau metamórfico não atingiu fácies granulito.

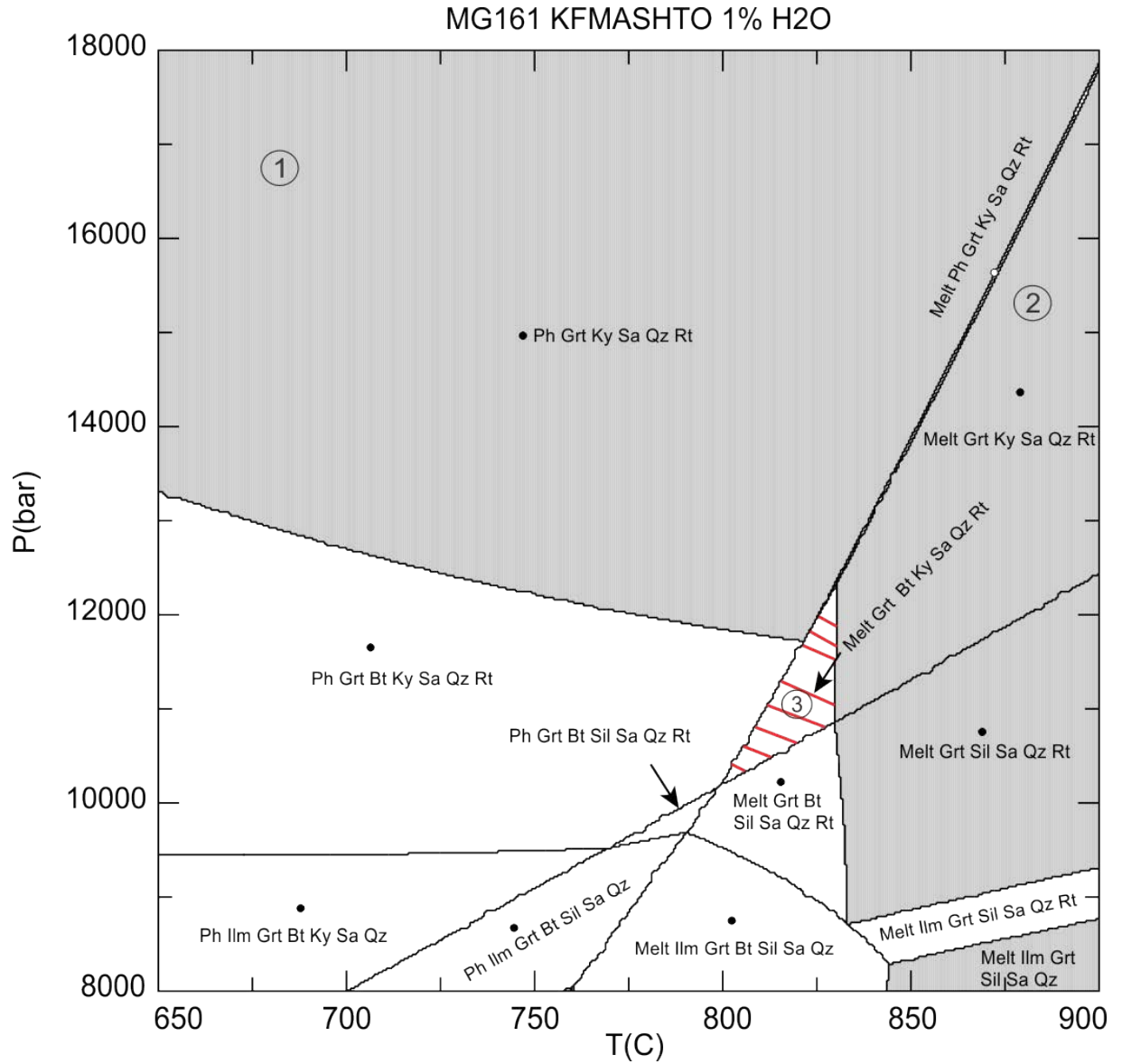


Figura 44: Pseudoseção calculada para a amostra MG-161, no sistema KFMASHTO. A área achurada indica a região do gráfico compatível com a paragénesis observada na amostra.

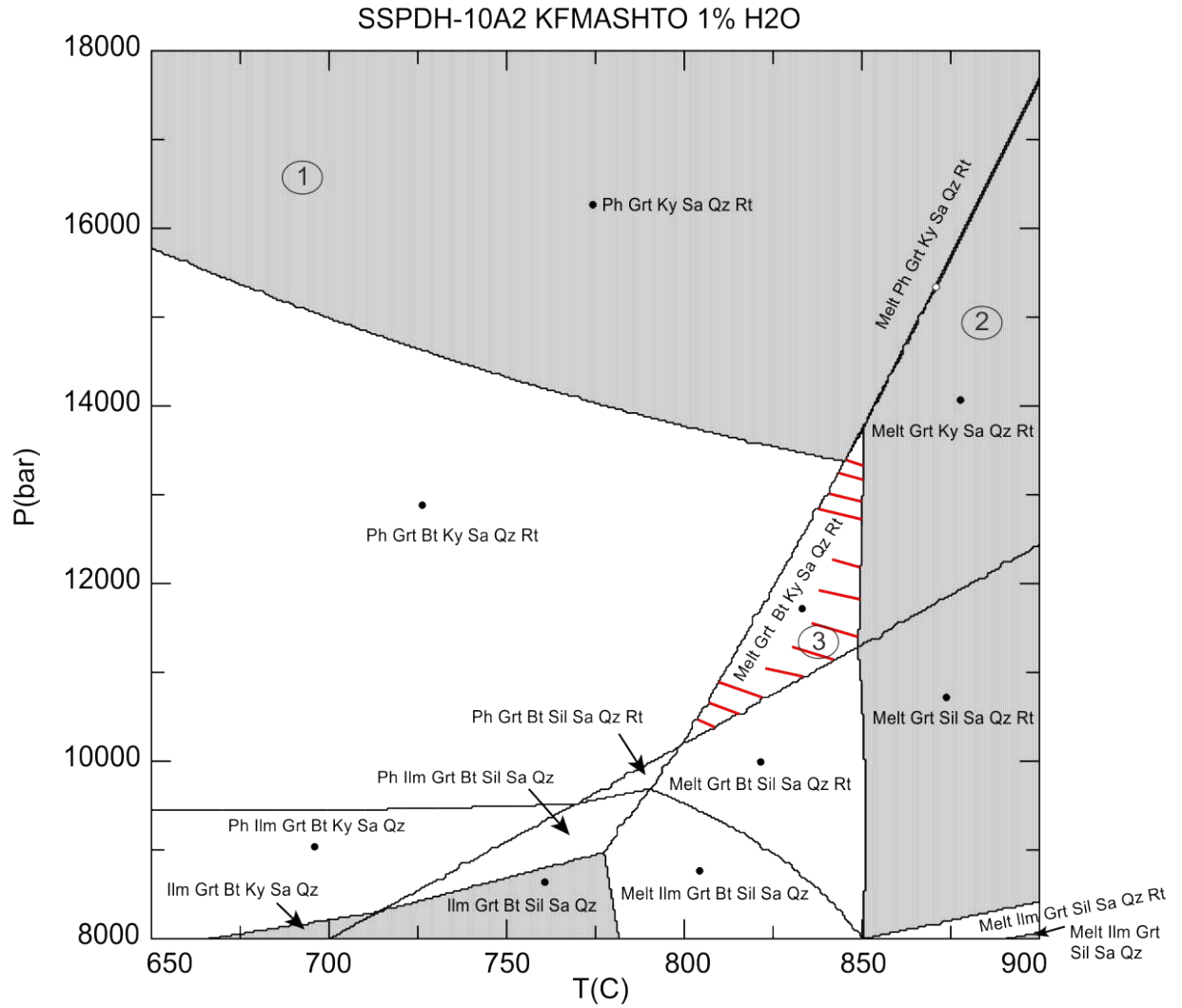


Figura 45: Pseudoseção calculada para a amostra SSP-DH-10A2, no sistema KFMASHTO. A área achurada indica a região do gráfico compatível com a paragênese observada na amostra.

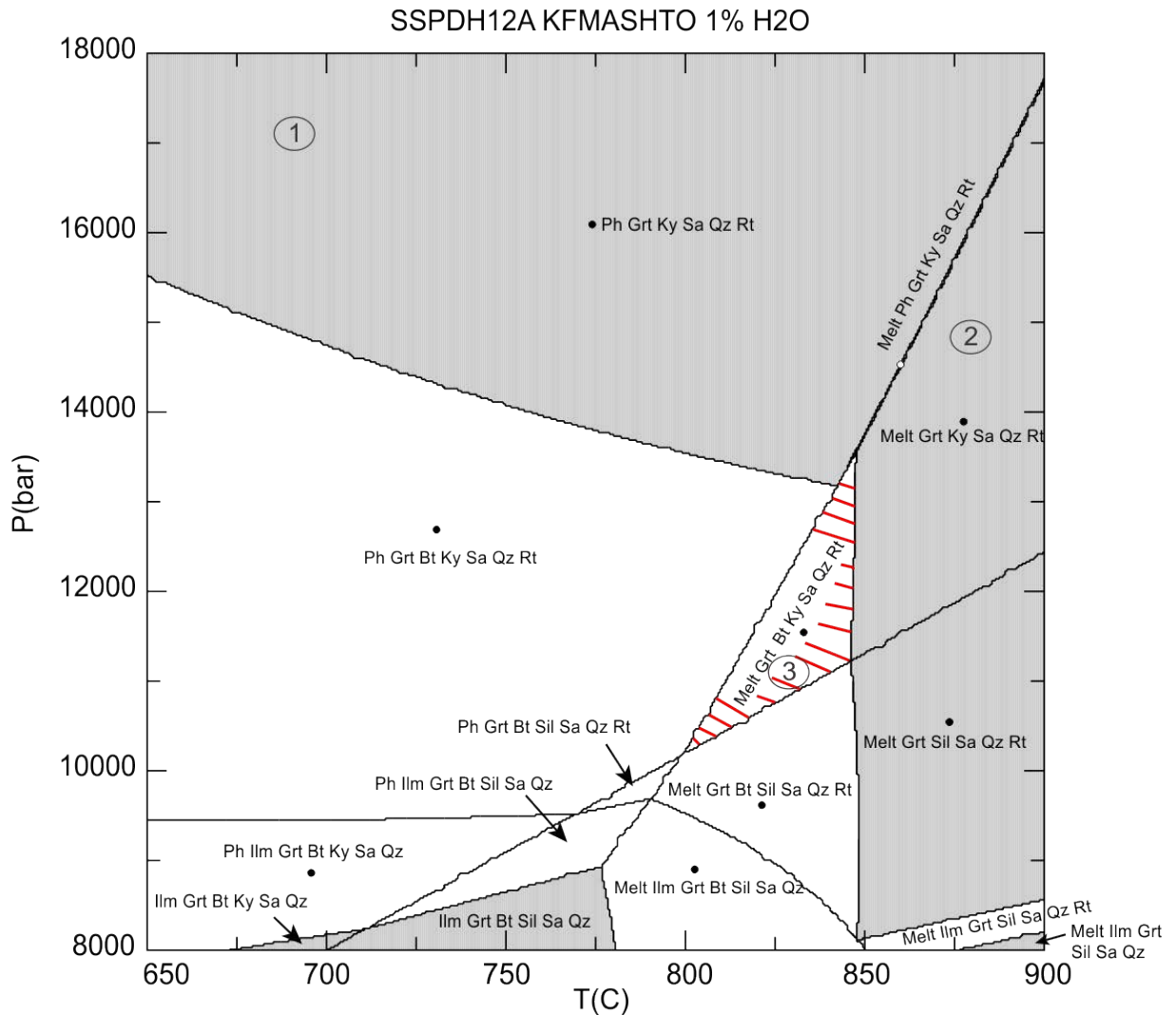


Figura 46: Pseudoseção calculada para a amostra SSP-DH-12A1, no sistema KFMASHTO. A área achurada indica a região do gráfico compatível com a paragénesis observada na amostra.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS:

Neste trabalho pode-se concluir que o mapeamento na região próxima de São Sebastião do Paraíso foi de grande proveito, pois complementou um mapeamento geológico de Luvizotto 2003 na escala de 1:50000 ao noroeste da área de estudo, até então não mapeada (Anexo I). Também coletou amostras para análises de mais alta posição estrutural na Nappe de Passos, onde ocorre as maiores temperaturas de metamorfismo.

Chegou-se a conclusão que inclusões de cristais de rutilo analisados por meio do LA-ICP-MS em granada nas rochas metapelíticas, possuem concentrações maiores de Zr que na matriz, mas não encontrando um padrão sistemático nos cristais de rutilos e granada que pudesse diferenciar da matriz (Anexo II). Para maiores teores de Zr na granada, a única explicação

plausível que confere com a literatura, seria a granada exercer um efeito de escudo para interferências externas, assim preservando a composição dos rutilos. Mesmo assim, existem outros fatores que podem contribuir para que haja esta interferência, como fratura e percolação de fluidos próximos ao rutilo. Na amostra Olaria-2 (retroeclogito), os teores de Zr e Nb em cristais de rutilo deram mais baixos que as rochas metapelíticas, com teores de Zr de 537 ppm alcançando temperaturas de até 708°C nos retroeclogitos. Porém os maiores teores de Zr em cristais de rutilo nesta rocha deram na matriz e não nas granadas como nas outras rochas metapelíticas, demonstrando que a granada não exerceu um efeito escudo para os cristais de rutilos inclusos nela no retrometamorfismo.

As amostras analisadas por meio do XRF no presente trabalho (Tabela 3) e comparando-as com a composição média de sedimentos pelíticos, observa-se que as rochas estudadas representam rochas de composição pelítica. Porém, os teores de Ca e Mn são mais baixos e de Nb e Cr são mais altas que a média global de sedimentos pelíticos..

Os dados obtidos de Zr em rutilo pelo LA-ICP-MS conferem temperaturas mais altas para os níveis estratigráficos superiores H e I da Nappe de Passos do que está descrito na literatura, sendo que a maior temperatura obtida desta análise foi de 834 °C contra 730°C descrita por Luvizotto 2003. Deste modo, as temperaturas e pressões são superiores as obtidos por Simões 1995 e Luvizotto 2003, reafirmam um gradiente metamórfico inverso na Nappe de Passos, variando de 450°C a 6 kbar na base segundo Simões (1995) a 830°C a 12 kbar no topo segundo o presente trabalho.

Outro método utilizado para calcular a temperatura, as pseudoseções, também indicam temperaturas em torno de 800°C a 850°C e pressões de 12 a 15 kbar, com isso fortalecendo que ambos os métodos são verdadeiros e satisfatórios. Segundo a literatura, ocorre ortopiroxênio em rochas metapelíticas em altas temperaturas e pressões. Mas as pseudoseções do presente trabalho mostram que não se cristaliza ortopiroxênio nas rochas estudadas pela paragênese mineral, mesmo que as condições de temperatura e pressão indicarem metamorfismo em fácies granulito. Assim, nas amostras estudadas a ausência de ortopiroxênio não determina que o grau metamórfico não atingiu fácies granulito.

Portanto, todos os resultados obtidos neste trabalho mostram que as rochas das unidades superiores da Nappe de Passos representam granulito de alta pressão.

REFERÊNCIA:

ALMEIDA, F.F.M.; HASUY, Y.; BRITO NEVES, B.B.; FUCK, R.D. Brazilian Structural Provinces: an introduction. **Earth Science Rev.**, v.17, 1981, p. 1-29.

BANNO, S.; SAKAI, C.; HIGASHINO, T. Pressure-Temperature trajectory of the Sambagawa metamorphism deduced from garnet zoning. *Lithos*, v.19, n.1, p.51-63, 1986

BARBOSA, O. Guia das excursões do IX Congresso da Sociedade Brasileira de Geologia, **Notas da Sociedade Brasileira de Geologia.**, São Paulo, 1955. v.3, p.3-5.

CAMPOS NETO, M.C.; CABY, R. Neoproterozoic high-pressure metamorphism and tectonic constraint from the nappe system south of the São Francisco Craton, southeast Brazil. **Precambrian Research**, v. 97, 2005, p. 3-26.

CAVALCANTE, J.C.; CUNHA, H.C. das; CHIEREGATTI, L.A.; KEFFER, L.Q.; ROCHA, J.M. da; DAITX, E.C.; COUTINHO, M.G. da; YAMAMOTO, K.; DRUMOND, J.B.V.; ROSA, D.; RAMALHO, R. Projeto Sapucaí. São Paulo: CPRM-DNPM, 1979. 299p, 4 mapas. Relatório Final

CONNOLLY J.A.D. (2005) Computation of phase equilibria by linear programming: A tool for geodynamic modeling and its application to subduction zone decarbonation. *Earth and Planetary Science Letters* **236**:524-541

DONNA L. WHITNEY, & BERNARD W. EVANS. Abbreviations for names of rock-forming minerals: **American Mineralogist**, Volume 95, pages 185–187, 2010

DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. An Introduction to the Rock Forming Mineral. Longmans, Green and Co., Ltd. London, 1966

DEL LAMA, E.A. Petrologia das rochas metamórficas de alto grau do Complexo Campos Gerais e correlação com as do Complexo Varginha-Guaxupé – estudos termobarométricos. 1993. Dissertação (Mestrado em Geociências), Universidade Estadual Paulista – UNESP, Rio Claro.

EBERT, H.D.; NEVES, M.A.; HASUI, Y.; SZATMARI, P., AIRES, J.R. Evolução dos cinturões de cisalhamento entre os blocos São Paulo, Vitória e Brasília através da tectônica colisional oblíqua: uma modelagem física. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 4, Belo Horizonte, 1993. Resumos... Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia. 1993. p.254-8.

FONSECA, M. A.; DARDENNE, M. A.; UHLEIN, A. Faixa Brasília Setor Setentrional: Estilos Estruturais e Arcabouço Tectônico. **Rev. Bras. de Geociências**. 25 (4): 1995. 267-278.

FEOLA, J.L. Caracterização lito-estrutural e metamórfica do depósito aurífero JS-1 e seu entorno, Fortaleza de Minas (MG). 1999. 155f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – IGCE, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro-SP

FUCK, R.A.; PIMENTEL, M. M.; DEL-REY SILVA, L. J. H. Compartimentação tectônica da porção oriental da Província Tocantins. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38, 1994, Camboriú. **Anais**. Camoriú, SBG, p. 215-216..

GRAY, A.L., **The ICP as an ion source - origins, achievements and prospects**, Spectrochimica Acta, 41B, 10-12, 1985, p.1525-1537.

HARALYI, H.L.E.; HASUI, Y. The gravimetric information and the Archean-Proterozoic structural framework of Eastern Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 12, p. 160-166. 1982.

HARALYI, H.L.E.; HASUI, Y.; MIOTO, J.A.; HAMZA, V.M.; RODRIGUES, C.V. Ensaio sobre a estruturação crustal do Estado de Minas Gerais com base na informação geofísica e geológica. Belo Horizonte: **Sociedade Brasileira de Geologia**. 1985. p. 71-93. **Boletim Especial**: Contribuições à Mineralogia e Petrologia, Volume Dijalma Guimarães

HARLEY, S.L. The origin of granulites: a metamorphic perspective. *Geol. Mag.*, v. 126, p. 215-247. 1989.

HARLEY SL (2008) Refining the P–T records of UHT crustal metamorphism. **Journal of Metamorphic Geology** 26: 125–154

HASUY, Y. The Mantiqueira Province: Archean structure and proterozoic evolution. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 12, p. 167-171. 198

LUVIZOTTO, G. **Caracterização metamórfica das rochas do Grupo Araxá na região de São Sebastião do Paraíso, sudoeste de Minas Gerais**. Tese de Mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista, 2003.

LUVIZOTTO, G.L. ; SIMOES, L. S. A. ; MORAES, R. ; de Souza, D. M. ; CARNEIRO, H. P. . High-Pressure Granulite facies rocks from the Passos Nappe in São Sebastião do Paraíso - MG, Brazil. In: 12 Simpósio de Geologia do Sudeste, 2011, Nova Friburgo. **Anais do 12 Simpósio de Geologia do Sudeste**, 2011

LUVIZOTTO GL, ZACK T (in press) **Nb and Zr behavior in rutile during high-grade metamorphism and retrogression**: An example from the Ivrea-Verbano Zone. *Chemical Geology*

MORALES, N; ZANARDO, A; SIMÕES, L.S.A.; GODOY, A.M. A zona de cisalhamento Campo do Meio na região entre Fortaleza de Minas e Alpinópolis, sul de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 3, 1991, Rio Claro. **Boletim**. Rio Claro: Sociedade Brasileira de Geologia. 1991. p.34-36.

MORALES, N; ZANARDO, A; HASUI, Y; SIMÕES, L.S.A. Evolução Tectônica do Grupo Araxá nas Serras do Chapadão e da Fortaleza, Sudoeste do Estado de Minas Gerais. *Geociências*, São Paulo, v. 15(n.esp.), 1996, p. 41-66.

MORALES N (1993) Evolução tectônica do cinturão de cisalhamento Campo do Meio na sua porção ocidental. Ph.D. thesis, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro

PATTISON, D. R. M., CHACKO, T., FARQUHAR, J. and McFARLANE, C. R. M.: Temperatures of granulite-facies metamorphism: constraints from experimental phase equilibria and thermobarometry corrected for retrograde exchange. **Journal of Petrology**, 44(5), 2003, p. 867-901

PEACOCK, S.M.; NORRIS, P. J. Metamorphic evolution of the Central Metamorphic Belt, Klamath Province, California: an inverted metamorphic gradient beneath the Trinity periodite. *Journal of Metamorphic Geology*, v. 7, p. 191-209. 1989

SATO, K., KAWASHITA K., Espectrometria de Massas em Geologia Isotópica – **Revista do Instituto de Geociências - USP.**; v.2, 2002, p.57-77.

SCHIMIDT, W.; FLEISCHER, R. Estilo Estrutural do pré-cambriano no sudoeste de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, 1978, Recife. *Anais...* Recife: SBG, v.1, p. 431-434. 1978

SEER, H.J. **Evolução tectônica dos grupos Araxá, Ibiá e Canastra na sinforma de Araxá, Araxá, Minas Gerais**. 267f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 1999

SIMÕES, L., VALERIANO, C. Porção meridional da Faixa de Dobramentos Brasília; estágio atual do Conhecimento, 1990

SIMÕES, L. **Evolução tectono-metamórfica da Nappe de Passos, sudoeste de Minas Gerais.** Ph.D. thesis, IG-Universidade de São Paulo, 1995.

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, Anais... Recife: SBG, 1978. v.2, p. 700-710.

TRIEBOLD S, VON EYNATTEN H, LUVIZOTTO GL, ZACK T (2007) Deducing source rock lithology from detrital rutile geochemistry: An example from the Erzgebirge, Germany. **Chemical Geology** 244:421–436

TOMKINS, H. S., POWELL, R. & ELLIS, D. J. THE PRESSURE DEPENDENCE OF THE ZIRCONIUM-INRUTILE THERMOMETER. **Journal Of Metamorphic Geology**, 2007, 25(6), p. 703-713

VALERIANO, C.M.; ALMEIDA, J. C.H.; SIMÕES, L.S.A.; DUATT, B.P.; ROIG, H.; HEILBRON, M. Evolução estrutural do Domínio Externo da Faixa Brasília no sudoeste de Minas Gerais: registros de uma tectônica pré-Brasílica. **Revista Brasileira de Geociências**, 1995, 25(4), p.221-234.

VALERIANO C, SIMÕES L (1997) Geochemistry of Proterozoic mafic rocks from the Passos nappe (Minas Gerais, Brazil): tectonic implications to the evolution of the southern Brasília belt. **Revista Brasileira de Geociências** 27: 99–110

VALERIANO, C., TEIXEIRA, W., HEILBRON, M., SIMÕES, L. Southern Brasília belt (SE Brazil): tectonic discontinuities, K-Ar data and evolution during the Neoproterozoic Brasiliano orogeny. **Revista Brasileira de Geociências**, 2000, 20: p.93–110

WATSON, E.B., WARK, D.A., THOMAS, J.B., 2006. Crystallization thermometers for zircon and rutile. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 151, 413–433

ZACK, T.; VON EYNATTEN, H. & KRONZ, A. Rutile geochemistry and its potential use in quantitative provenance studies. **Sedimentary Geology**, 2004

ZACK, T., STOCKLI, D., LUVIZOTTO, G., BARTH, M., WOLFE, M., HINTON, R., BERNDT-GERDES, J., KOOIJMAN, E., In-situ U/Pb rutile dating by LA-ICP-MS: 208Pb correction and prospects for thermochronological applications. *Contributions to Mineralogy and Petrology* . 2011

ZACK, T., LUVIZOTTO, G.L., 2006. Application of rutile thermometry to eclogites. *Mineralogy and Petrology* 88 (1), 69–85.

ZACK, T., KRONZ, A., FOLEY, S.F., RIVERS, T., 2002. Trace element abundances in rutiles from eclogites and associated garnet mica schists. **Chemical Geology** 184 (1–2), 97–122.

ZACK, T., MORAES, R., KRONZ, A., 2004A. Temperature dependence of Zr in rutile: empirical calibration of a rutile thermometer. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 148, 471–488.

ZANARDO, A. Análise petrográfica, estratigráfica e microestrutural da região de Guaxupé-Passos-Delfinópolis (MG). Ph.D. thesis, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, Brazil, 1992..

ZANARDO, A.; OLIVEIRA, M.A.F.; DEL LAMA, E.A. Geologia do Grupo Araxá na região de Passos – São Sebastião do Paraíso, sul de Minas Gerais. *Geociências*, São Paulo, v. 15, n. 1, 1996, p. 253-27.

ZINGG A (1980) Regional metamorphism in the Ivrea Zone (Southern Alps, N-Italy): Field and microscopic investigations. **Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen** 60: 153–179

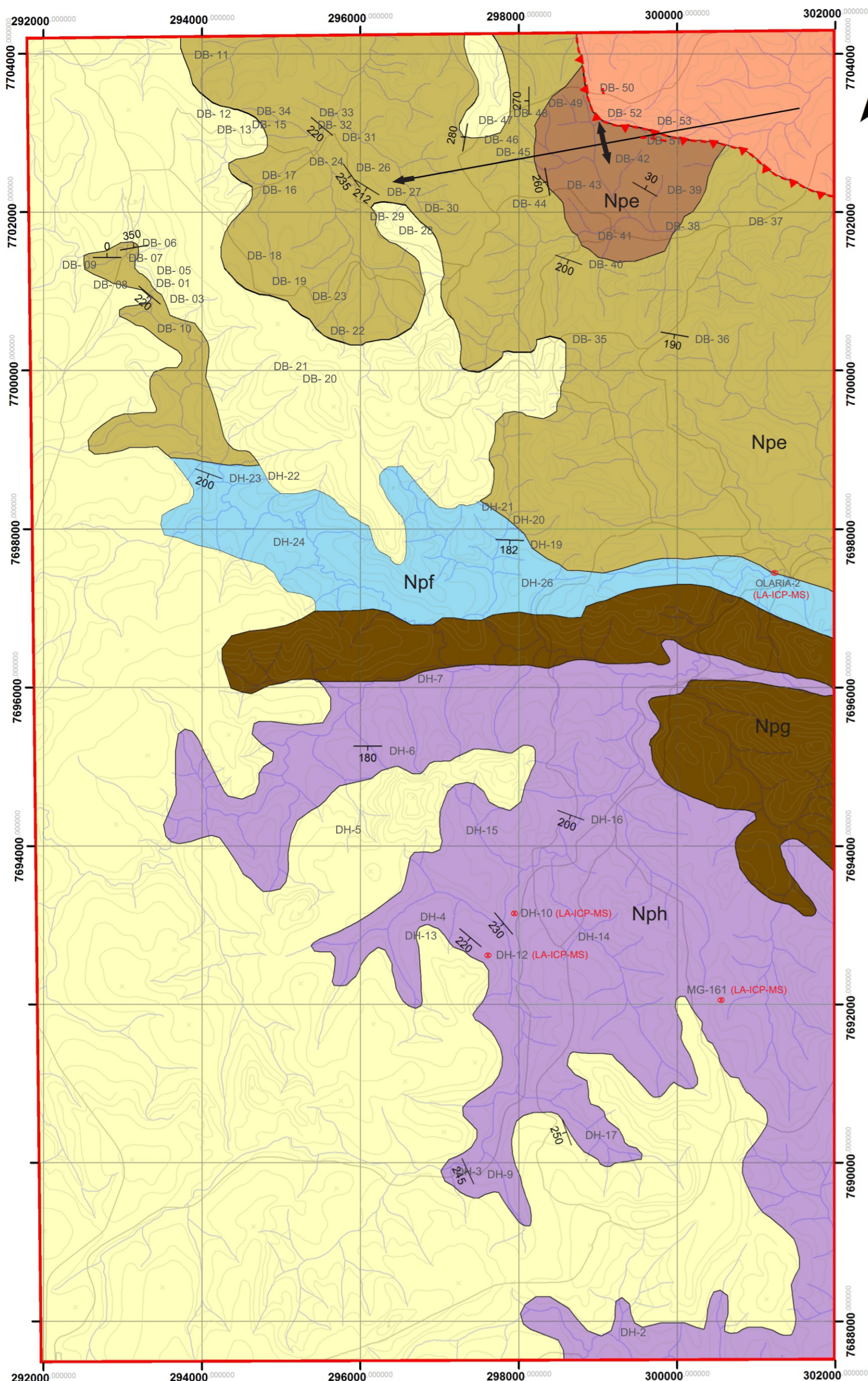
DECLARACAO DO ORIENTADOR

Eu, professor _____, declaro minha concordância em orientar o aluno _____ nas atividades constantes no Projeto de Pesquisa denominado:

_____, encaminhado anexo, a serem desenvolvidas no âmbito da Disciplina Trabalho de Conclusão de Curso – Ano Letivo de 2012 – Modalidade Individual.

Declaro também conhecer as Normas Internas do Trabalho de Conclusão de Curso, Modalidade Individual, do Curso de Geologia da UNESP, Câmpus de Rio Claro.

Orientador



Legenda

Bacia do Paraná
Formação Aquidauana (Permo - Carbonífero)

Rochas sedimentares psamíticas avermelhadas (arenitos e arenitos conglomeráticos, mal selecionados).

Grupo Araxá (Neoproterozóico)

Unidade H (NPh)

Granada-Biotita gnaiss bandado (bandas ricas em biotita e bandas ricas em quartzo/feldspato) e granada-cianita gnaiss quartzoso. Apresentam intercalações métricas ocasionais de cianita-granada-muscovita xisto, quartzito e anfibolito (com ou sem granada). Presença de porções migmatíticas.

Unidade G (NPg)

Granada-biotita-muscovita xisto (frequentemente com cianita) com intercalações decimétricas a métricas de muscovita xisto, quartzito, muscovita quartzito e anfibolito. Ocorrem também intercalações ocasionais de granada biotita gnaisses.

Unidade F (NPF)

Biotita gnaiss com porfiroblasto de feldspato. Apresentam frequentemente granada. Presença de intercalações ocasionais de rochas metabásicas (anfibolitos, granada anfibolito e retroeclogitos). Localmente ocorrem porções migmatíticas.

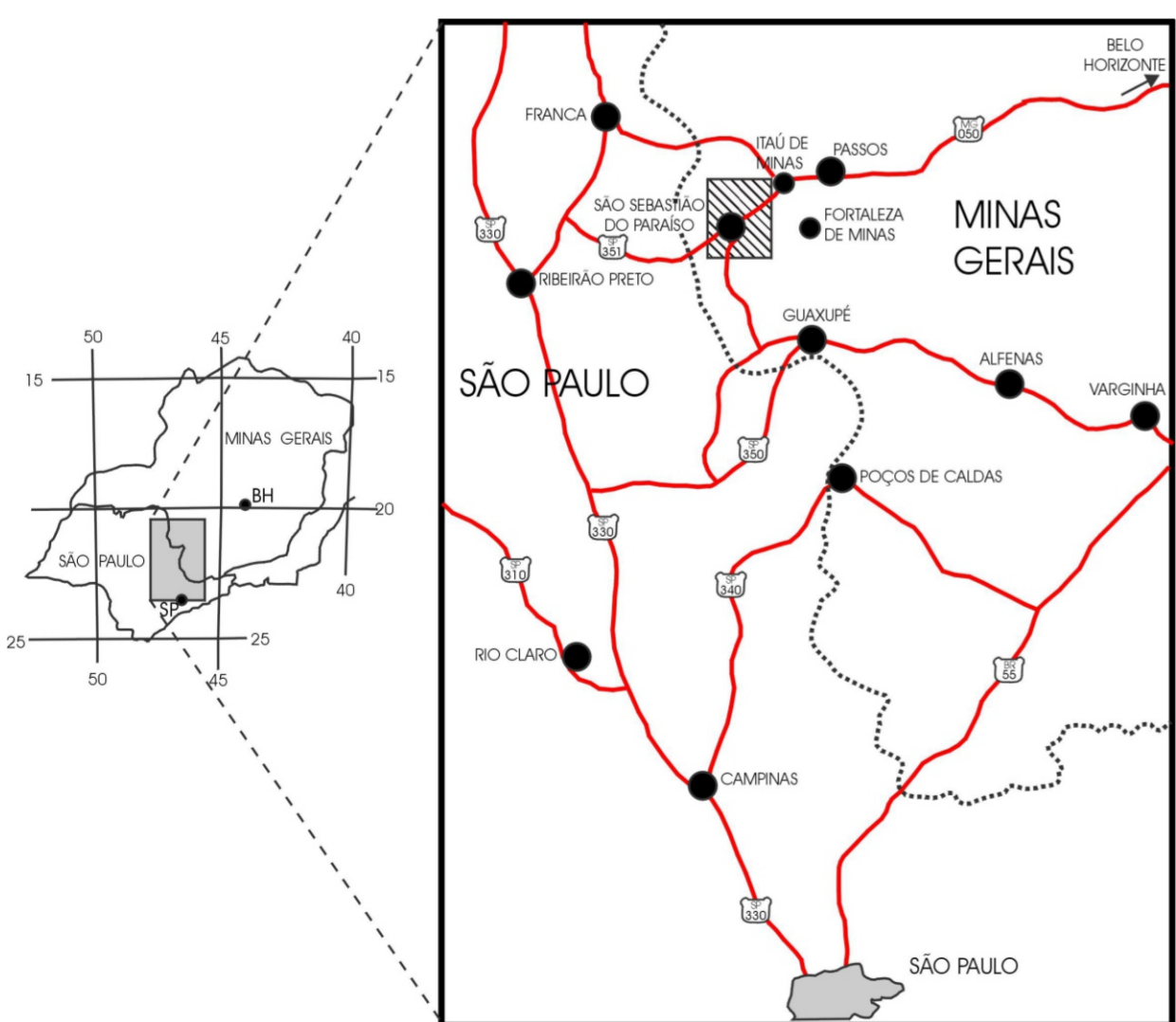
Unidade E (NPe)

Granada-biotita-muscovita com intercalações de granada-muscovita xisto, muscovita xisto, quartzito, biotita +/- granada gnaiss, rocha calcissilicatada e rochas metabásicas (anfibolito, granada anfibolito e retroeclogitos). Os xistos algumas vezes apresentam camadas com cianita.

Biotita gnaiss com intercalação de biotita gnaiss com granada.

Complexo Barbacena (Arqueano)

Biotita-hornblenda gnaiss. Presença de algumas ocorrências, de expressão pontual, de rochas metabásicas.



Articulação das Folhas

		47°00'	46°45'	
Capetinga	Cássia	Passos		
S. Tomás de Aquino	S. Sebastião do Paraíso	Fortaleza de Minas		20°45'
Itamogi	Monte Santo de Minas	Jacuí		21°00'

- Folição Principal
- Superfície de Cavalgamento
- Contatos Geológicos
- Contatos Geológicos por Falha
- Antiformal
- Drenagens
- Estradas/Rodovias
- Amostras analisadas

ESTUDO DO METAMORFISMO EM ROCHAS METAPELÍTICAS DO GRUPO ARAXÁ NA REGIÃO DE SÃO SEBASTIÃO DO PARAÍSO – MG

MAPA DE PONTOS, GEOLÓGICO E ESTRUTURAL
PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
DATUM: CORREGO ALEGRE 23 SUL
Escala 1: 50000

0 1000 2000 3000 4000 m

2013

Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho"
Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Trabalho de conclusão de curso

Anexo I
Mapa de Pontos, Geológico e de Medidas Estruturais
1:50000

Aluno: Daniel Marizek de Souza
Orientador: George Luiz Luvizotto

Novembro 2013

# of LA spots	BSE image		Al ²⁷	V ⁵¹	Cr ⁵³	Fe ⁵⁶	Zr ⁹⁰	Nb ⁹³	Mo ⁹⁵	Sn ¹¹⁸	Sb ¹²¹	Hf ¹⁷⁸	Ta ¹⁸¹	W ¹⁸⁴	Pb ²⁰⁸	Th ²³²	U ²³⁸	T Zack	T Tomkins	T Tomkins	T Tomkins	
	#	# of rt																	@12kbar	@15kbar	@20kbar	
SSP-DH-12A1																						
14	2	4 grt	21	5071	1219	1035	1020	2476	38	75	<0.39	51	219	157	0	0	23	875	770	784	808	
15	2	3 grt	55	4702	1007	1048	1660	3129	40	64	<0.33	62	293	195	0	<0.036	22	938	822	837	862	
16	4	3 grt	204	4418	1170	4243	1349	2425	31	72	<0.49	59	226	182	0	<0.056	20	911	799	814	838	
17	4	1 grt	579	3916	665	1194	1283	2897	34	54	<0.36	51	218	168	0	1	37	905	793	808	833	
18	5	3	39	1761	513	2125	912	2886	52	78	0	45	232	168	0	0	36	861	758	773	796	
19	5	1	72	2413	611	1836	1511	1866	38	73	<0.42	66	105	153	<0.112	<0.051	27	926	811	826	851	
20	9	Rt in Bt	44	1563	184	1955	914	2042	22	112	<0.51	52	143	181	<0.165	0	45	861	758	773	797	
21	11	big rt grt	218	4794	1540	2690	1795	1932	37	77	<0.45	72	208	284	0	<0.052	26	948	830	846	871	
22	12	Rt in Bt	26	2870	632	5187	1612	3828	34	92	1	57	204	280	0	0	21	934	818	833	858	
23	15	contact grt and matrix	95	3027	873	4332	1737	2119	44	92	<0.57	66	80	108	<0.221	<0.080	25	943	827	842	867	
24	15	rt surrounded by zrc e grt	71	3472	417	3105	1786	2278	5	83	<0.52	58	179	116	4	2	47	947	830	845	870	
																	<i>min</i>	861	758	773	796	
																		<i>max</i>	948	830	846	871
																		<i>Média</i>	913	801	816	841
MG-161																						
26	1	3 grt e qtz	13	2056	1764	628	1050	1586	59	154	<0.33	51	126	117	0	0	43	879	772	787	811	
27	1	1 grt	38	2446	468	2004	980	2045	1	134	<0.49	27	161	63	0	0	18	870	765	780	804	
28	1	4 grt qtz	6	2588	625	1109	702	1987	81	152	<0.41	42	163	133	<0.139	<0.056	28	828	733	747	770	
29	1	5 grt	25	2545	495	1175	1742	1734	5	141	<0.42	61	127	58	<0.174	0	22	944	827	842	868	
30	1	7 grt qtz bt	15	2590	465	1134	767	2256	12	166	<0.46	42	161	82	<0.149	<0.054	34	839	741	755	779	
31	1	6 grt zr	17	2455	459	702	470	1894	5	156	1	31	124	90	<0.130	0	35	776	696	710	732	
32	1	8 grt	40	1972	535	1328	793	1747	4	160	<0.51	37	123	87	0	<0.050	23	843	744	759	782	
37	2	2 rim	86	2002	980	5374	1056	2527	75	216	<0.59	59	165	177	12	6	58	880	773	787	812	
38	2	2 interm	90	1971	983	1387	1075	2475	74	213	<0.50	59	151	160	<0.111	<0.041	46	882	775	789	814	
39	2	2 core	54	2065	1016	1419	1175	2497	74	231	3	54	150	177	0	<0.063	49	893	784	799	823	
40	3	3 kf qtz	11	5390	2277	274	1367	2019	78	228	<0.50	61	109	160	<0.23	0	44	913	800	815	840	
41	3	5 dentro de l	21	5249	1233	371	788	1685	71	225	<0.49	37	79	146	<0.156	<0.047	43	842	744	758	781	
42	3	4 qtz e kf e zi	12	4496	1734	423	666	2140	69	190	1	39	180	172	<0.121	0	41	821	728	742	765	
43	3	2 dentro ky	57	5682	1292	202	865	2121	64	213	<0.36	44	130	161	1	0	41	854	753	767	791	
44	3	1 kf e qtz	10	5909	1866	425	856	2140	72	193	1	45	144	187	<0.159	<0.044	45	853	752	766	790	
45	4	2 grt fraturac	51	3471	2253	656	1237	2584	69	210	<0.52	66	205	227	<0.167	<0.071	50	900	789	804	829	
46	4	1 matriz qtz	36	3245	1301	1405	1010	2339	69	220	<0.68	54	169	186	<0.19	0	51	874	768	783	807	
47	7	3 grt qtz zr	14	5292	1447	593	1042	4334	31	202	<0.57	55	196	300	<0.159	<0.072	27	878	772	786	810	
48	7	4 grt	13	7147	2173	278	1641	2519	60	86	1	72	200	224	0	<0.078	25	936	820	835	861	
49	7	2 grt c/zr	184	3983	885	980	1338	1907	43	137	1	54	157	177	2	0	33	910	798	813	837	
50	7	1 grt cont c/t	57	2028	1828	1123	983	2281	67	210	<0.42	50	176	218	<0.177	<0.049	44	871	766	780	804	
51	8	1 grt	219	3559	761	1508	1258	2874	37	212	<0.48	62	183	137	0	0	63	902	791	806	831	

# of LA spots	BSE image																	T Tomkins	T Tomkins	T Tomkins	
	#	# of rt	Al ²⁷	V ⁵¹	Cr ⁵³	Fe ⁵⁶	Zr ⁹⁰	Nb ⁹³	Mo ⁹⁵	Sn ¹¹⁸	Sb ¹²¹	Hf ¹⁷⁸	Ta ¹⁸¹	W ¹⁸⁴	Pb ²⁰⁸	Th ²³²	U ²³⁸	T Zack	@12kbar	@15kbar	@20kbar
52	8	2 grt ilm qtz	148	2572	688	6306	564	2255	38	156	<0.40	38	123	112	5	0	42	800	713	726	749
53	8	-	39	2989	488	728	948	1043	9	172	<0.40	46	76	21	0	<0.061	40	866	762	776	800
54	9	1 borda grt	20	5467	1988	2035	886	2226	64	233	<0.52	43	157	191	2	0	52	857	755	770	793
55	10	outlined by c	188	1278	459	2360	866	2444	57	188	1	47	150	192	<0.168	<0.046	44	854	753	767	791
																	min	776	696	710	732
																	max	944	827	842	868
																	Média	868	764	779	803
Olaria 2																					
64	0	huge Rt	696	2098	879	2931	357	375	5	27	0	13	24	12	0	0	1	741	673	686	708
65	0	huge Rt	108	2048	816	4539	402	407	7	27	<0.41	15	21	11	1	<0.068	1	757	683	696	718
66	1	2	15	1857	1079	1647	524	530	14	34	0	20	18	8	0	<0.054	10	790	706	719	742
67	1	2	26	1775	867	2001	387	260	8	24	0	13	10	7	1	<0.049	9	751	679	693	714
68	3	1	13	1941	826	1719	293	362	14	33	<0.49	13	22	3	1	0	2	716	656	669	691
69	3	2	172	1942	800	2204	292	376	13	32	<0.52	13	23	3	0	<0.067	2	715	656	669	690
70	4		11	2175	677	2007	362	392	17	27	<0.31	17	22	3	0	<0.049	0	743	674	687	709
71	5 overview	-	298	1155	847	3267	417	1481	23	29	<0.42	21	29	29	0	<0.066	1	761	686	699	721
72	5 overview	-	26	891	321	3472	436	494	11	22	<0.42	15	26	6	1	0	1	767	690	703	725
73	5 overview	-	134	1084	701	3138	418	662	12	22	<0.40	12	24	6	1	0	1	761	686	699	721
74	5 overview	-	75	1084	684	3175	401	661	10	21	0	11	26	3	0	<0.052	0	756	682	696	718
75	5 overview	-	119	1095	704	3160	412	645	10	17	<0.39	14	26	3	<0.147	<0.066	1	760	685	698	720
76	5 zoom	2.5pe	57	1936	618	2157	216	408	8	23	1	9	20	2	8	1	0	677	632	645	666
77	6	2.6pe	35	2647	1238	6607	233	347	7	31	<0.43	12	21	2	0	<0.046	1	687	638	651	672
78	6	5	27	1448	781	2123	409	466	11	26	1	18	34	15	1	1	4	759	684	697	720
79	6	5	50	1486	820	3818	537	461	8	23	1	22	31	11	2	0	4	793	708	722	744
80	6	2	27	1022	678	2867	381	437	10	26	<0.59	13	26	4	0	<0.056	2	750	678	691	713
81	6	3	774	1004	641	2930	320	389	7	22	1	11	25	6	<0.20	0	3	727	664	676	698
82	6	1	10	976	916	2032	489	437	12	28	1	16	22	4	1	0	3	781	700	713	736
																	min	677	632	645	666
																	max	793	708	722	744
																	Média	747	677	690	712
SSP-DH-10A2																					
87	1A	1 grt	47	5030	937	1242	1633	2406	9	242	1	69	146	152	1	<0.054	41	935	820	835	860
88	1A	2 grt	47	5248	1533	1343	1361	2408	7	253	<0.56	57	264	118	7	<0.066	41	912	800	814	839
89	1B	2 kf e qtz	11	5633	1977	558	1141	1988	6	266	<0.43	55	79	106	0	<0.071	49	890	781	796	820
90	1B	1 grt e qtz	23	5632	1988	419	1042	2022	8	237	<0.42	54	130	195	0	0	49	878	772	786	810
91	1C	3 grt	28	5249	1394	6806	1847	1810	6	238	<0.36	77	126	150	<0.167	<0.044	37	951	834	849	874
92	1C	2 grt	19	4459	1043	4458	1432	2284	10	267	1	64	204	229	<0.18	<0.053	39	919	805	820	845
93	1C	1 grt	39	4322	1164	909	995	3872	10	235	1	52	295	423	<0.125	0	34	872	767	781	805
94	8pe	1 grt	50	3358	1377	6478	1424	1517	16	193	<0.30	49	45	88	<0.100	<0.039	20	918	805	820	844
95	12pe	1 borda, grt,l	146	2622	534	1896	1282	1659	6	230	<0.40	49	198	213	0	<0.044	40	905	793	808	833
96	13pe	3 grt	23	3793	730	989	1157	2535	6	200	<0.33	36	85	214	0	0	48	891	782	797	821
97	13pe	1 grt	89	2420	634	1650	977	2797	4	143	<0.29	33	111	189	0	<0.028	38	870	765	780	803
98	17B	2 grt qtz	37	3712	638	1885	1280	3070	18	266	0	56	155	158	<0.128	<0.053	50	904	793	808	832
99	17B	4 grt qtz	449	3975	711	2322	910	2861	12	252	<0.31	44	162	147	<0.118	<0.038	51	861	758	772	796
100	24pe	grt	18	5217	1325	456	1610	1450	8	260	<0.40	68	50	68	0	0	61	934	818	833	858

# of LA spots	BSE image		Al ²⁷	V ⁵¹	Cr ⁵³	Fe ⁵⁶	Zr ⁹⁰	Nb ⁹³	Mo ⁹⁵	Sn ¹¹⁸	Sb ¹²¹	Hf ¹⁷⁸	Ta ¹⁸¹	W ¹⁸⁴	Pb ²⁰⁸	Th ²³²	U ²³⁸	T Zack	T Tomkins	T Tomkins	T Tomkins	
	#	# of rt																	@12kbar	@15kbar	@20kbar	
101	31	borda grt	45	1889	585	963	990	1077	11	238	<0.45	49	35	43	<0.166	<0.048	44	872	766	781	805	
102	34	-	44	2123	767	1112	845	1024	23	257	0	37	21	74	<0.126	<0.046	96	851	751	765	788	
103	34C	grt e Qtz e kf	19	3927	1603	779	1356	2211	31	316	<0.37	73	82	204	<0.093	0	132	912	799	814	839	
104	34B	grt	883	2003	417	8186	1834	12289	28	269	1	68	616	418	0	0	60	950	833	848	874	
105	34A	grt e Qtz	22	3747	1152	208	1837	1958	26	295	<0.31	77	81	197	0	<0.063	63	951	833	848	874	
																		min	851	751	765	788
																		max	951	834	849	874
																		Média	904	793	808	833
Padrões																						
NBS610																						
10			10951	477	416	477	472	497	455	459	414	442	461	458	439	471	472	777	697		732	
11			10632	453	436	462	456	471	416	437	403	435	446	444	426	452	460	772	694		729	
33			10078	444	428	451	435	442	399	408	387	422	435	433	417	449	453	766	689		725	
34			10237	448	400	460	449	466	407	435	400	445	456	448	433	464	469	771	692		728	
56			10280	456	419	471	444	461	436	431	386	439	448	446	431	456	467	769	691		727	
57			9804	426	360	431	433	457	399	415	387	429	432	436	412	453	449	766	689		725	
60			9804	421	383	449	426	449	398	412	376	401	416	411	413	431	430	764	688		723	
61			10613	464	418	478	458	471	418	440	407	452	449	455	427	456	466	773	694		730	
83			10664	457	412	456	455	467	431	440	400	443	460	459	433	481	475	772	693		729	
84			9654	420	401	411	417	439	388	401	373	415	425	414	395	426	438	761	686		721	
106			11224	492	436	525	496	503	452	475	435	479	494	499	474	499	508	783	701		737	
107			10547	479	412	469	466	482	440	438	406	452	464	466	443	487	484	775	695		731	
			10374	453	410	462	451	467	420	432	398	438	449	447	429	460	464	771	693		728	
			5%	5%	5%	6%	5%	4%	5%	5%	4%	5%	5%	5%	5%	4%	-397	256			275	
R10																						
12			34	1185	756	4536	852	2766	11	84	3.8	43	448	95	<0.210	<0.076	50	852	751		789	
13			38	1165	727	4594	846	2703	12	87	2.4	43	447	97	<0.166	<0.056	49	851	751		789	
35			52	1150	732	5262	824	2738	12	95	5.3	41	443	114	0	0	50	848	748		786	
36			40	1198	807	4680	865	2852	9	94	2.7	43	477	107	<0.148	<0.075	52	854	753		791	
58			36	1189	739	4517	853	2823	11	86	3.3	42	468	100	0	0	50	853	752		789	
59			61	1168	701	5269	883	2822	10	98	4.4	42	454	113	0	0	52	857	755		793	
62			50	1199	778	5111	892	2969	14	95	2.5	41	483	111	<0.164	<0.043	52	858	756		794	
63			40	1214	681	5104	888	2978	12	96	3.1	43	479	107	<0.203	<0.057	52	858	756		794	
85			54	1190	719	5054	897	2976	12	84	3.2	45	466	117	1	<0.062	54	859	757		795	
86			53	1217	769	5102	917	3010	14	87	2.6	43	489	104	<0.145	<0.064	53	862	759		797	
108			55	1231	720	5232	938	3043	10	84	1.5	46	490	113	0	<0.050	56	865	761		799	
109			50	1221	731	5158	909	2989	13	88	4.3	44	478	106	<0.181	<0.050	53	861	758		796	
			47	1194	738	4968	880	2889	12	90	3.3	43	468	107	0	0	52	857	755		793	
			19%	2%	5%	6%	4%	4%	12%	6%	33%	3%	4%	7%	19%	57%	4%	-429	249		268	

Análises (WR) realizadas em 03/09/2013
 Laboratório de Geoquímica - IGCE - DPM
 LABOGEO
 REF: 15617 a 15619

Amostra	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	LOI	Soma
SSP-DH-10A2	67.17	1.1	14.26	8.18	0.15	2.47	1.53	1.47	3.45	0.18	0.05	100.01
SSP-DH-12A	67.48	1.17	14.51	8.55	0.15	2.51	1.32	0.92	3.19	0.2	0.01	100.01
MG-161	72.75	1.15	13.36	5.4	0.07	1.31	0.84	1.15	3.89	0.07	0.03	100.02
Cálculo com FeO				FeO								Soma com FeO
SSP-DH-10A2	67.73	1.11	14.38	7.36	0.15	2.49	1.54	1.48	3.48	0.18	0.05	99.19
SSP-DH-12A	68.06	1.18	14.64	7.69	0.15	2.53	1.33	0.93	3.22	0.20	0.01	99.15
MG-161	73.15	1.16	13.43	4.86	0.07	1.32	0.84	1.16	3.91	0.07	0.03	99.48
Com 1% H2O												
SSP-DH-10A2	67.12	1.10	14.25	7.29	0.15	2.47	1.53	1.47	3.45	0.18	1.00	100.90
SSP-DH-12A	67.43	1.17	14.50	7.62	0.15	2.51	1.32	0.92	3.19	0.20	1.00	100.93
MG-161	72.45	1.15	13.30	4.81	0.07	1.30	0.84	1.15	3.87	0.07	1.00	100.96
Com 2% H2O												
SSP-DH-10A2	66.46	1.09	14.11	7.22	0.15	2.44	1.51	1.45	3.41	0.18	2.00	101.90
SSP-DH-12A	66.77	1.16	14.36	7.55	0.15	2.48	1.31	0.91	3.16	0.20	2.00	101.93
MG-161	71.74	1.13	13.17	4.77	0.07	1.29	0.83	1.13	3.84	0.07	2.00	101.96
Com 3% H2O												
SSP-DH-10A2	65.82	1.08	13.97	7.15	0.15	2.42	1.50	1.44	3.38	0.18	3.00	102.90
SSP-DH-12A	66.12	1.15	14.22	7.47	0.15	2.46	1.29	0.90	3.13	0.20	3.00	102.93
MG-161	71.04	1.12	13.05	4.72	0.07	1.28	0.82	1.12	3.80	0.07	3.00	102.96
Com 4% H2O												
SSP-DH-10A2	65.18	1.07	13.84	7.08	0.15	2.40	1.48	1.43	3.35	0.17	4.00	103.90
SSP-DH-12A	65.49	1.14	14.08	7.40	0.15	2.44	1.28	0.89	3.10	0.19	4.00	103.93
MG-161	70.36	1.11	12.92	4.67	0.07	1.27	0.81	1.11	3.76	0.07	4.00	103.96
Com 5% H2O												
SSP-DH-10A2	64.56	1.06	13.71	7.02	0.14	2.37	1.47	1.41	3.32	0.17	5.00	104.90
SSP-DH-12A	64.86	1.12	13.95	7.33	0.14	2.41	1.27	0.88	3.07	0.19	5.00	104.93
MG-161	69.69	1.10	12.80	4.63	0.07	1.25	0.80	1.10	3.73	0.07	5.00	104.96
2 e com 5% de H2O (quando elevado para 100%)												Soma oxidos sem correção
SSP-DH-10A2	Sat	3.66	47.40	24.27		8.21			11.47		5.00	28.82
SSP-DH-12A	sat	3.83	47.52	24.98		8.22			10.45		5.00	29.26
MG-161	sat	4.45	51.71	18.71		5.07			15.06		5.00	24.68
		1.11	14.378	7.3604	0	2.49	0	0	3.48	0	1.517	
ado em SiO2 e com % de H2O = LOI												Soma oxidos sem correção
SSP-DH-10A2	Sat	3.84	49.81	25.50		8.63			12.05		0.17	28.87
SSP-DH-12A	sat	4.03	50.00	26.29		8.65			10.99		0.03	29.27
MG-161	sat	4.68	54.37	19.67		5.33			15.83		0.12	24.71
SiO2 e com 1% de H2O (no sistema completo)												Soma oxidos sem correção
SSP-DH-10A2	Sat	3.72	48.21	24.68		8.35			11.66		3.38	29.56
SSP-DH-12A	sat	3.90	48.35	25.42		8.36			10.63		3.33	29.99
MG-161	sat	4.50	52.30	18.92		5.13			15.23		3.93	25.44
SiO2 e com 2% de H2O (no sistema completo)												Soma oxidos sem correção
SSP-DH-10A2	Sat	3.59	46.60	23.86		8.07			11.27		6.61	30.28
SSP-DH-12A	sat	3.77	46.76	24.58		8.09			10.28		6.51	30.70
MG-161	sat	4.33	50.28	18.19		4.93			14.64		7.63	26.20
SiO2 e com 3% de H2O (no sistema completo)												Soma oxidos sem correção
SSP-DH-10A2	Sat	3.48	45.07	23.07		7.81			10.90		9.68	31.00
SSP-DH-12A	sat	3.65	45.25	23.78		7.83			9.95		9.55	31.42

MG-161	sat	4.16	48.38	17.50	4.74	14.09	11.13	26.97
SiO ₂ e com 4% de H ₂ O (no sistema completo)								Soma oxidos sem correção
SSP-DH-10A2	Sat	3.36	43.61	22.32	7.55	10.55	12.60	31.73
SSP-DH-12A	sat	3.53	43.80	23.02	7.58	9.63	12.44	32.15
MG-161	sat	4.01	46.59	16.85	4.57	13.56	14.42	27.74
SiO ₂ e com 5% de H ₂ O (no sistema completo)								Soma oxidos sem correção
SSP-DH-10A2	Sat	3.26	42.21	21.61	7.31	10.21	15.40	32.47
SSP-DH-12A	sat	3.42	42.42	22.30	7.34	9.33	15.21	32.88
MG-161	sat	3.86	44.89	16.24	4.40	13.07	17.54	28.51
HTO (% elevada a 100%)								
SSP-DH-10A2	70.11	1.15	14.89	7.62	2.58	3.60	0.05	96.59
SSP-DH-12A	69.93	1.21	15.04	7.90	2.60	3.31	0.01	97.33
MG-161	74.75	1.18	13.73	4.97	1.35	4.00	0.03	97.85
n 1% de H ₂ O (no sistema completo)								Soma oxidos sem correção
SSP-DH-10A2	69.43	1.14	14.74	7.55	2.55	3.57	1.03	96.68
SSP-DH-12A	69.22	1.20	14.88	7.82	2.57	3.27	1.03	97.42
MG-161	74.01	1.17	13.59	4.92	1.33	3.96	1.02	97.89
n 2% de H ₂ O (no sistema completo)								
SSP-DH-10A2	68.70	1.13	14.59	7.47	2.53	3.53	2.07	96.74
SSP-DH-12A	68.50	1.19	14.73	7.74	2.55	3.24	2.05	97.48
MG-161	73.25	1.16	13.45	4.87	1.32	3.92	2.04	97.94
n 3% de H ₂ O (no sistema completo)								
SSP-DH-10A2	67.98	1.11	14.43	7.39	2.50	3.49	3.10	96.82
SSP-DH-12A	67.79	1.18	14.58	7.66	2.52	3.20	3.08	97.55
MG-161	72.49	1.15	13.31	4.82	1.31	3.88	3.06	98.01
n 4% de H ₂ O (no sistema completo)								
SSP-DH-10A2	67.26	1.10	14.28	7.31	2.47	3.45	4.13	96.92
SSP-DH-12A	67.07	1.16	14.42	7.58	2.49	3.17	4.10	97.64
MG-161	71.73	1.13	13.17	4.76	1.29	3.84	4.08	98.09
n 5% de H ₂ O (no sistema completo)								
SSP-DH-10A2	66.54	1.09	14.13	7.23	2.45	3.42	5.15	97.03
SSP-DH-12A	66.36	1.15	14.27	7.50	2.47	3.14	5.12	97.75
MG-161	70.97	1.12	13.03	4.71	1.28	3.79	5.09	98.20

Amostra	BSE/ FILE/name	Rutilo	mtx/i ncl	mineral hospedeiro	Localização (núcleo ou borda)	tamanho aprox (um)	Fratura (quando tem)	Analizar s ou n
MG-161	MG-101-1	Rt1	Inc	Gr	núcleo	0.4X0.3	sim	sim
		Rt2	Inc	Gr	núcleo	0.3X0.2	não	sim
		Rt3	Inc	Gr	núcleo	0.175X0.2	não	sim
		Rt4	Inc	Gr	núcleo	0.4X0.4	sim	sim
		Rt5	Inc	Gr	núcleo	0.5X0.3	não	sim
		Rt6	Inc	Gr	núcleo	0.5X0.3	sim	sim
		Rt7	Inc	Gr	núcleo	0.3X0.25	não	sim
		Rt8	Inc	Gr	núcleo	0.3X0.3	não	sim
	MG-101-2	Rt1				0.4X0.3	sim	sim
		Rt2				0.4X0.2	não	sim
	MG-101-3	Rt1	Inc	Gr	núcleo	0.4X0.2	sim	sim
		Rt2	Mtx			0.2X0.2	não	sim
		Rt3	Inc	Gr	núcleo	0.4X0.4	não	sim
		Rt4	Mtx			0.3X0.2	não	sim
Rt5		Mtx			0.4X0.2	sim	sim	
MG-101-4	Rt1	Mtx			0.35X0.2	sim	sim	
	Rt2	Inc	Gr	borda	0.35X0.3	sim	sim	
MG-101-5	Rt1	Inc	Gr	núcleo	0.1X0.15	sim	sim	
	Rt2	Inc	Gr	núcleo	0.1X0.2	sim	sim	
	Rt3	Inc	Gr	núcleo	0.1X0.25	sim	sim	
MG-101-7	Rt1	Inc	Gr	núcleo	0.4X0.3	sim	sim	
	Rt2	Inc	Gr	núcleo	0.15X0.15	não	sim	
	Rt3	Inc	Gr	núcleo	0.3X0.2	não	sim	
	Rt4	Inc	Gr	núcleo	0.15X0.2	sim	sim	
MG-101-8	Rt	Inc	Gr	núcleo	0.5X0.2	sim	sim	
MG-101-9	Rt	Inc	Gr	borda	0.1X0.35	não	sim	
MG-101-11	Rt	Inc	Gr	núcleo	0.1X0.35	não	sim	
MG-101-12	Rt1	Inc	Gr	núcleo	0.175X0.1	sim	sim	
	Rt2	Inc	Gr	núcleo	0.1X0.15	sim	sim	
	Rt3	Inc	Gr	núcleo	0.08X0.15	não	sim	
MG-101-12B	Rt1	Inc	Gr	núcleo	200X100 (um)	não	sim	
	Rt2	Inc	Gr	núcleo	200X100 (um)	não	sim	
	Rt2	Inc	Gr	núcleo	100X150(um)	não	sim	
MG-101-13	Rt	Inc	Gr	borda	150X180(um)	sim	sim	
MG-101-14	Rt	Inc	Gr	núcleo	220X50(um)	não	sim	

Amostra	BSE/ FILE/name	Rutilo	mtx/ incl	mineral hospedeiro	Localização (núcleo ou borda)	tamanho aprox (um)	Fratura (quando tem)	obs	Analizar s ou n
Olaria 2	Olaria 2.1pe	Rt1	Inc	Grt	Núcleo	150X70	não		sim
		Rt2	Inc	Grt	Núcleo	50X80	não	rutilo pequeno	talvez
	Olaria 2.3pe	Rt1	Inc	Grt	Núcleo	100X100	Sim		sim
		Rt2	Inc	Grt	Núcleo	70X100	não		sim
		Rt3	Inc	Grt	Núcleo	50X100	não		sim
		Rt4	Inc	Grt	Núcleo	60X50	não	rutilo pequeno	talvez
	Olaria 2.4pe	Rt	Inc	Grt	Núcleo	100X150	Sim		sim
	Olaria 2.5pe	Rt	Inc	Grt	Núcleo	150X250	Sim		sim
	Olaria 2.6gr	Rt1	Inc	Grt	Núcleo	200X50	Sim		sim
		Rt2	Inc	Grt	Núcleo	200X80	não		sim
Rt3		Inc	Grt	Núcleo	170X50	não		sim	
Rt4		Inc	Grt	Núcleo	200X300	Sim		sim	
Rt5		Inc	Grt	Núcleo	200X300	não		sim	
Olaria 2.6pe	Rt1	Inc	Grt	Núcleo	250X200	Sim		sim	
	Rte	Mtx			150X100	Sim		sim	

Amostra	BSE/ FILE/name	Rutilo	mtx/inc l	mineral hospedeiro	Localização (núcleo ou borda)	tamanho aprox(um)	Fatura (quando tem)	Analizar s ou n
SSP-DH-9A1	SSP-DH-9A1.3pe	Rt	Inc	Grt	núcleo	50X400	sim	sim
	SSP-DH-9A1.4pe	Rt	Inc	Grt	núcleo	50X50	sim	sim
	SSP-DH-9A1.5pe	Rt	Mtx			200X250	sim	sim
	SSP-DH-9A1.6pe	Rt1	Inc	Grt	borda	120X200	não	sim
		Rt2	Inc	Grt	borda	100X200	sim	sim
	SSP-DH-9A1.8pe	Rt	Inc	Grt	borda	100X300	sim	sim
	SSP-DH-9A1.9pe	Rt1	Inc	Grt	núcleo	50X300	não	sim
		Rt2	Inc	Grt	núcleo	50X100	não	
	SSP-DH-9A1.10Ape	Rt	Inc	Grt	núcleo	130X300	sim	
	SSP-DH-9A1.11Ape	Rt	Inc	Grt	núcleo	20X80	sim	
	SSP-DH-9A1.13Ape	Rt1	Inc	Grt	núcleo	70X100	sim	sim
		Rt2	Inc	Grt	núcleo	70X80	sim	sim
		Rt3	Inc	Grt	núcleo	80X100	sim	sim
		Rt4	Inc	Grt	núcleo	70x90	não	sim
		Rt5	Inc	Grt	núcleo	100X150	sim	sim
	SSP-DH-9A1.15pe	Rt	Mtx			80X250	sim	sim
	SSP-DH-9A1.16pe	Rt	Inc	Grt	núcleo	100X250	sim	sim
	SSP-DH-9A1.20pe	Rt	Inc	Grt	núcleo	50X400	sim	sim
	SSP-DH-9A1.27pe	Rt	Inc	Grt	núcleo	80X70	sim	sim
	SSP-DH-9A1.28pe							
SSP-DH-9A1.30pe	Rt1	Inc	Grt	borda	250X400	sim	sim	
	Rt2	Inc	Grt	borda	100X150	sim	sim	
SSP-DH-9A1.32pe	Rt	Inc	Grt	borda	150X350	sim	sim	
SSP-DH-9A1.39pe	Rt	Inc	Grt	borda	70X100	sim	sim	

Amostra	imagem de scanner n° campo	SEM/BSE - (S or N)	BSE/ FILE/name	Rutilo	mtx/in cl	mineral hospedeiro	Localização (núcleo ou borda)	tamanho aprox (um)	Fratura (quando tem)	obs	Analisar s ou n
SSP-DH-10A2	1	S	SSP-DH-10A2.1A	Rt1	Inc	Grt	núcleo	150x300	sim	alteração não visível através das fraturas	sim
				Rt2	Inc	Grt	borda	50x40	não		
				Rt3	Mtx			100x200			
		S	SSP-DH-10A2.1B	Rt1	Inc	Grt	borda	400x200	sim		pequeno grão sem fratura Em contato com Grt,Qtz e Zr Borda da granada
				Rt2	Inc	Grt			sim		
		S	SSP-DH-10A2.1C	Rt1	Inc	Grt	borda	200x150	sim		
				Rt2	Inc	Grt	núcleo	150x200	sim		
				Rt3	Inc	Grt	núcleo	100x200	sim		
		2	S	SSP-DH-10A2.2	Rt1	Inc	Grt	núcleo	50x100		não
	Rt2				Inc	Grt	núcleo	100x150	sim		
	Rt3				Inc	Grt	núcleo	120X50			
				SSP-DH-10A2.3	Rt	Inc	Grt	núcleo	150X200	sim	
				SSP-DH-10A2.8pe	Rt	Inc	Grt	núcleo	50X100	não	
				SSP-DH-10A2.12pe	Rt1	?	?	borda	250X300	não	
	Rt2					borda	100X200	sim			
				SSP-DH-10A2.13pe	Rt1	Inc	Grt	núcleo	50X10	não	
	Rt2		Inc		Grt	núcleo	70X50	não			
	Rt3		Inc		Grt	núcleo	40X100	sim			
	Rt4		Inc		Grt	núcleo	30X100	sim			
			SSP-DH-10A2.17A	Rt1	Inc	Grt	núcleo	100X250	sim		
Rt2	Inc	Grt		núcleo	40X350	sim					
		SSP-DH-10A2.17B	Rt1	Inc	Grt	núcleo	150X600	sim	provável alteração ao longo da fratura		
			Rt2	Inc	Grt	núcleo	150x200	sim			
			Rt3	Inc	Grt	núcleo	120X200	não			
			Rt4	Inc	Grt	núcleo	200X400	não			
			Rt5	Inc	Grt	núcleo	120X120	sim			
			Rt6	Inc	Grt	núcleo	100X200	sim			
		SSP-DH-10A2.20	Rt1	Inc	Grt	núcleo	10X100	não			
			Rt2	Inc	Grt	núcleo	50X150	não			
		SSP-DH-10A2.24.pe	Rt	Inc	Grt	núcleo	100X150	sim			
		SSP-DH-10A2.25pe	Rt	Mtx			70X600	sim			

Amostra	imagem de scanner nº campo	SEM/BSE - (S or N)	BSE/ FILE/name	Rutilo	mtx/incl	mineral hospedeiro	Localização (núcleo ou borda)	tamanho aprox (um)	Fratura (quando tem)	obs	Analisar s ou n
			SSP-DH-10A2.26A	Rt	Inc	Grt	núcleo	40X50	sim		
			SSP-DH-10A2.31pe	Rt	Inc	Grt	núcleo	70X150	sim		
			SSP-DH-10A2.33B	Rt1	Inc	Grt	núcleo	150X200	sim		
				Rt2	Inc	Grt	núcleo	50X50	sim		
			SSP-DH-10A2.34A	Rt	Inc	Grt	núcleo	150X250	sim		
			SSP-DH-10A2.34B	Rt	Inc	Grt	núcleo	150X100	não		
			SSP-DH-10A2.34Cpe	Rt1	Inc	Grt	núcleo	150X50	sim		
				Rt2	Mtx			250X150	sim		
			SSP-DH-10A2.35pe	Rt	Inc	Grt	núcleo	100X350	sim		

Amostra	BSE/ FILE/name	Rutilo	mtx/in cl	mineral hospedeiro	Localização (núcleo ou borda)	tamanho aprox (um)	Fratura (quando tem)	obs	Analisar s ou n
SSP-DH-12A1	SSP-DH-12A1.2	Rt1	Inc	Grt	Borda	40X80	não		sim
		Rt2	Inc	Grt	Borda	50X40	não		sim
		Rt3	Inc	Grt	Borda	60X100	não		sim
		Rt4	Inc	Grt	Borda	100X200	sim		sim
	SSP-DH-12A1.4	Rt1	Inc	Grt	Núcleo	100X200	sim	rutilo nao muito bom	talvez
		Rt2	Inc	Grt	Núcleo	30X30	não		sim
		Rt3	Inc	Grt	Borda	200X100	não		sim
	SSP-DH-12A1.5	Rt1	Inc	Grt	Borda	300X100	sim		sim
		Rt2	Inc	Grt	Borda	200X100	não		sim
		Rt3	Inc	Grt	Borda	200X300	não		sim
	SSP-DH-12A1.7	Rt1	Inc	Grt	Borda	220X50	não		sim
		Rt2	Mtx			100X50	não		sim
		Rt3	Mtx			130X50	não		sim
		Rt4	Inc	Grt	Núcleo	100X50	não		sim
	SSP-DH-12A1.8	Rt1	Inc	Grt	Núcleo	200X40	não		sim
	SSP-DH-12A1.9	Rt	Inc	Grt	Núcleo	100X100	não		sim
	SSP-DH-12A1.11	Rt	Inc	Grt	Núcleo	100X50	não		sim
	SSP-DH-12A1.12	Rt	Inc	Grt	Núcleo	50X150	não		sim
	SSP-DH-12A1.14	Rt	Inc	Grt	Núcleo	150X100	não		sim
	SSP-DH-12A1.15	Rt	Mtx			300X300	não		sim
	SSP-DH-12A1.23	Rt1	Inc	Grt	Borda	250X100	não		sim
		Rt2	Mtx			250X150	sim		sim
		Rt3	Mtx			200X80	sim		sim
	SSP-DH-12A1.24	Rt	Inc	Grt	Núcleo	40X80	não	bom, mas pequeno	talvez
	SSP-DH-12A1.26	Rt	Inc	Grt	Núcleo	400X200	sim	rutilo grande	sim