

Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Graduação em Geologia



**MODELAGEM TERMODINÂMICA ITERATIVA A PARTIR DO SOFTWARE
BINGO-ANTIDOTE: UNIDADE SANTO ANTÔNIO, NAPPE DE LUMINÁRIAS –
FAIXA BRASÍLIA MERIDIONAL**

Bruno Giovane Ferreira de Jesus

**Msc. Regiane Andrade Fumes
Prof. Dr. George Luiz Luvizotto**

Rio Claro (SP)

2021

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

BRUNO GIOVANE FERREIRA DE JESUS

MODELAGEM TERMODINÂMICA ITERATIVA A PARTIR
DO SOFTWARE BINGO-ANTIDOTE: UNIDADE SANTO
ANTÔNIO, NAPPE DE LUMINÁRIAS – FAIXA BRASÍLIA
MERIDIONAL

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

Rio Claro - SP

2021

SVE

Class	{ _____ _____
Tombo	_____

J58m Jesus, Bruno Giovane Ferreira de
MODELAGEM TERMODINÂMICA ITERATIVA A PARTIR
DO SOFTWARE BINGO-ANTIDOTE: UNIDADE SANTO
ANTÔNIO, NAPPE DE LUMINÁRIAS – FAIXA BRASÍLIA
MERIDIONAL / Bruno Giovane Ferreira de Jesus. -- Rio Claro,
2021

70 p. : il., tabs., fotos, mapas

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

Orientadora: Regiane Andrade Fumes

Coorientador: George Luiz Luvizotto

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp - Biblioteca do
Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).
1. Petrologia Metamórfica. 2. Bingo-Antidote. 3. XMaptools.
4. Mapas quantitativos. 5. Condições de metamorfismo. I.

Título. Essa ficha não pode ser modificada.

BRUNO GIOVANE FERREIRA DE JESUS

MODELAGEM TERMODINÂMICA ITERATIVA A PARTIR
DO SOFTWARE BINGO-ANTIDOTE: UNIDADE SANTO
ANTÔNIO, NAPPE DE LUMINÁRIAS – FAIXA BRASÍLIA
MERIDIONAL

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

Comissão Examinadora

Msc. Regiane Andrade Fumes

Prof. Dr. George Luiz Luvizotto

MSc. Otávio Augusto Ruiz Paccóla Vieira

Otávio Sant'Anna Gonçalves Silva

Rio Claro, 17 de setembro de 2021.

Bruno Giovane Ferreira de Jesus
Assinatura do(a) aluno(a)

Regiane Fumes
assinatura do(a) orientador(a)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar forças durante todos os obstáculos.

Aos meus pais, Ana Cristina e Celso, por todo suporte e amor dado a mim durante toda a minha vida. Obrigado por terem me proporcionado essa experiência e também por fazerem parte dela. Amo vocês.

Ao Felipe, por todo o apoio, paciência e companheirismo nessa reta final de graduação. Obrigado por tudo, você é incrível.

Agradeço a Luana, por nossa amizade desde a primeira semana de aula lá em 2016. A Aline por ser minha companheira de viagem por todos esses anos. Obrigado as duas por todos os momentos que passamos juntos e por nossas sagradas reuniões na kit que fizeram a graduação ser mais leve.

A Cynthia e Isabella por todos as alegrias e apoio durante as dificuldades encontradas na graduação e na vida. A jornada foi mais feliz junto de vocês, obrigado minhas amigas.

A Juliana por ser minha dupla e companheira desde sempre, foi ótimo trilhar esse caminho com você. A Nicoli e Ana Flávia por todos os momentos incríveis que passamos juntos. Obrigado as três por terem me acolhido na Sinta a Liga e feito dela minha segunda casa em Rio Claro.

Ao Pietro e Pedro pela parceria ao longo da graduação, principalmente em campo, tornando tudo mais leve e divertido. Obrigado a ambos e ao Luís por tornarem a quarentena mais tolerável.

Aos meus orientadores Regiane e George por todo apoio ao longo do desenvolvimento desta pesquisa. Obrigado pelo auxílio e por me guiarem durante a realização deste projeto.

Por fim, agradeço a Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), por toda a estrutura disponibilizada e também a todos os professores e funcionários que contribuíram para o desenvolvimento e conclusão de minha graduação.

Resumo

Para estudos voltados a área da petrologia metamórfica é essencial a realização de análises composicionais de minerais índices para a de determinação acurada das condições de pressão e temperatura e da trajetória P – T registradas pelas diferentes paragêneses, para que desta forma, seja possível reconstruir a história geológica/geodinâmica de uma área. O estudo tem como foco a região da Nappe de Luminárias da Faixa Brasília Meridional, especificamente na Unidade Santo Antônio e conta com descrição microscópica, análises químicas e mapas composicionais a partir da microsonda eletrônica, os quais foram processados no *software* XMapTools para a obtenção de mapas quantitativos. As análises microscópicas permitiram caracterizar a rocha como granada – muscovita – biotita xisto feldspático. A partir da modelagem termodinâmica iterativa com o *software* Bingo-Antidote, com os mapas quantitativos, foi definido as condições de pressão de 0,74 GPa e temperatura de 605°C, correspondente ao pico metamórfico (granada + muscovita + biotita + plagioclásio + quartzo). A modelagem com a *clorita* resultou em condições de retrometamorfismo (granada + muscovita + biotita + plagioclásio + quartzo + clorita + ilmenita), com valores de 554°C e 0,44 GPa. Os valores obtidos caracterizam o metamorfismo da Unidade Santo Antônio em condições de fácies anfibolito, assim como os trabalhos anteriores. Conclui-se que o *software* Bingo-Antidote é uma alternativa viável para a otimização e determinação das condições P – T , além de apresentar grande potencial no campo da termodinâmica.

Palavras chaves: Petrologia Metamórfica. Bingo-Antidote. XMaptools. Mapas quantitativos. Condições de Metamorfismo.

Abstract

For studies focused on metamorphic petrology, it is essential to perform compositional analysis of mineral indices for the accurate determination of pressure and temperature conditions and the P – T trajectory, so that in this way, it is possible to reconstruct the history geological/geodynamics of an area. The study focuses on the Nappe de Luminarias region of the Southern Brasília Belt, specifically in the Santo Antônio Unit, and has microscopic description, chemical analyzes and compositional maps from the electronic microprobe, which were processed in the XMapTools software, obtaining quantitative maps. The microscopic analysis allowed to characterize the rock as a garnet - muscovite – biotite feldspar schist. From the iterative thermodynamic modeling with the Bingo-Antidote software, using quantitative maps, the conditions of pressure of 0.74 GPa and temperature of 605°C were defined, corresponding to the metamorphic peak (garnet + muscovite + biotite + plagioclase+ quartz). The chlorite modeling resulted in retrometamorphism conditions (garnet + muscovite + biotite + plagioclase + quartz + ilmenite), with values of 554°C and 0.44 GPa. The values obtained characterize the metamorphism of the Santo Antônio Unit under amphibolite facies conditions as well as previous authors. It is concluded that the Bingo-Antidote software is a viable alternative for the optimization and determination of P-T conditions, in addition to having great potential in the field of thermodynamics.

Keywords: Metamorphic Petrology. Bingo-Antidote. XMapTools. Quantitative maps. Conditions of Metamorphism.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da cidade de Luminárias - MG e área de estudo.	12
Figura 2 - Fluxograma correspondente aos Materiais e Métodos propostos para este trabalho.	15
Figura 3 - Faixa Brasília Setentrional e Meridional, resultado da colisão do Cratón São Francisco com outros terrenos durante o Ciclo Brasileiro.	18
Figura 4 - Localização da Nappe de Luminárias, próximo a borda do Cratón São Francisco. O Retângulo vermelho delimita a região de estudo. Em Laranja temos a Unidade Santo Antônio.	22
Figura 5 - Mapa com os pontos onde amostras foram coletadas, incluindo a geologia local da Nappe de Luminárias, com a Unidade Santo Antônio em laranja.	24
Figura 6 - Amostras coletadas da Unidade Santo Antônio. Em A amostra LR09, em B amostra LR17, em C amostra LR53 e em D amostra LR54.	25
Figura 7: Foliação do tipo clivagem de crenulação identificada nas amostras. A imagem A corresponde a lâmina da amostra LR54 e a B a lâmina LR53.	26
Figura 8: Porfiroblastos de granadas e os demais minerais descritos. Em A e C temos cristais de granadas sin-tectônicos a nicóis descruzados, com a foliação destacada em vermelho, correspondem às Lâminas LR54 e LR09 respectivamente. Em B e D os mesmos cristais de granada a nicóis cruzados, com os demais minerais destacados, correspondendo também às amostras LR54 e LR09 respectivamente. De acordo com KRETZ (1983) temos como abreviação: Ap – apatita, Bt – biotita, Chl – clorita, Grt – granada, Ms – Muscovita, Pl – plagioclásio e Qtz – Quartzo.	27
Figura 9 - Mapa de fases minerais referente a amostra LR54 a esquerda e da amostra LR09 a direita.	30
Figura 10 - Mapas quantitativos das granadas das amostras LR54 e LR09 apresentando zoneamento químico. a) Almandina, LR54. b) Espessartita, LR54. c) Piropo, LR54. d) Grossulária, LR54. e) Almandina, LR09. f) Espessartita, LR09. g) Piropo, LR09. h) Grossulária, LR09.	31
Figura 11 - Mapas quantitativos. a) X _{Fe} na muscovita da amostra LR54. b) X _{paragonite} na muscovita da amostra LR54. c) teor de Si ⁺⁴ na muscovita da amostra LR54. d) teor de Na ⁺ na muscovita da amostra LR54. e) X _{Fe} na muscovita da amostra LR09. f) X _{paragonite} na muscovita da amostra LR09. g) teor de Si ⁺⁴ na muscovita da amostra LR09. h) teor de Na ⁺ na muscovita da amostra LR09. i) X _{Mg} na biotita da amostra LR54. j) X _{Mg} na clorita da amostra LR54. k) teor de Si ⁺⁴ na clorita da amostra LR54. l) X _{An} no feldspato da amostra LR54. m) X _{Mg} na biotita da amostra LR09. n) X _{Mg} na clorita da amostra LR09. o) teor de Si ⁺⁴ na clorita da amostra LR09. p) X _{An} no feldspato da amostra LR09. X _{Fe} = Fe/Mg+Fe e X _{Mg} = Mg/Mg+Fe.	32
Figura 12 - Mapa de fases minerais com. Os pontos coloridos correspondem a área selecionada de cada mineral utilizado na modelagem.	34
Figura 13 - Gráficos de setores comparando os dados obtidos com a proporção modal observada e a modelada. A) Pico metamórfico. B) Retrometamorfismo.	36
Figura 14 - Diagrama de fase isoquímico de pressão-temperatura (P-T) para amostra LR09. Os resultados da modelagem termodinâmica iterativa realizada no Bingo-Antidote estão plotados, junto com a trajetória P-T.	38

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Fatores de qualidade e avaliação global.....	14
Quadro 2 - Empilhamento e diferentes nomenclaturas a respeito das unidades do Grupo Andrelândia de acordo com diversos autores.	20
Quadro 3 - Composição química em óxidos da amostra LR09.	30
Quadro 4 - Variação de teor do centro para a borda dos porfiroblastos de granada.....	33
Quadro 5 - Valores de qualidade do antídoto para a paragênese do prograde.....	35
Quadro 6 - Valores de qualidade do antídoto para a paragênese de retrometamorfismo.	35

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. Apresentação	10
1.2. Objetivo e Justificativa	10
1.3. Localização da área	11
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1. XMapTools	12
2.2. Bingo – Antidote	13
2.2.1. Bingo	13
2.2.2. Antidote	14
3. MATERIAIS E MÉTODOS	14
3.1. Etapa inicial	15
3.2. Etapa de Execução	16
3.3. Etapa de Tratamento dos Resultados	17
4. GEOLOGIA REGIONAL	17
4.1. Província Tocantins	17
4.1.1. Faixa Brasília	18
4.1.1.1. Faixa Brasília Meridional	19
5. GEOLOGIA NA ÁREA DE ESTUDOS	19
5.1. Grupo Andrelândia	19
5.1.1. Unidade Santo Antônio	20
5.2. Sistema de Nappes Carrancas	21
5.2.1. Nappe de Luminárias	22
6. RESULTADOS	24
6.1. Descrição Microscópica	25
6.1.1. Interpretações da petrografia	28
6.2. Mapas de fases minerais	29
6.3. Composição química mineral	31
6.3.1. Granada	31
6.3.2. Muscovita	33
6.3.3. Biotita	33
6.3.4. Clorita	33
6.3.5. Feldspato	33
6.4. Bingo-Antidote	33
7. DISCUSSÃO	36

8. CONCLUSÃO.....	39
9. REFERÊNCIAS.....	40
APÊNDICE I – Descrição das Lâminas petrográficas	44
APÊNDICE II – Análises Química dos minerais metamórficos.....	55

1. Introdução

1.1. Apresentação

A Petrologia Metamórfica é a área da geologia que estuda as transformações em estado sólido geradas nas rochas pelos processos metamórficos. Tais processos podem modificar tanto a textura e a estrutura, quanto a química e a mineralogia de uma rocha, o qual estabelece uma relação de causa e efeito entre o metamorfismo observado e processos geológicos associados a ele. Objetiva-se, assim, definir de temporal, química e termodinamicamente a natureza dos eventos associados (SiGEP, 2018).

A mineralogia e a composição química dos minerais índices do metamorfismo é um dos principais fatores a serem definidos em estudos metamórficos, pois tratam-se da base para caracterizar uma janela de metamorfismo relacionado a pressão (P) e a temperatura (T). Cada mineral é formado em determinadas condições de P e T , de modo que, a partir da paragênese mineral, é possível definir o grau de metamorfismo atingido pela rocha em questão.

Para estudos voltados a petrologia metamórfica é essencial a realização de análises composicionais para a determinação acurada das condições de pressão, temperatura e da trajetória P - T , para que desta forma, seja reconstruída a história geodinâmica da área de estudo. A definição dessas duas variáveis (P e T) é o foco do presente trabalho, com o objetivo de ajudar a complementar a história metamórfica da região da Nappe de Luminárias.

1.2. Objetivo e Justificativa

O presente trabalho tem como objeto de estudo a Unidade Santo Antônio, aflorante na Nappe de Luminárias, região do município de Luminárias, localizado no sul do Estado de Minas Gerais. Nele será determinado as condições de P e T e sua trajetória metamórfica das rochas desta unidade através da modelagem termodinâmica com o uso do *software* Bingo-Antidote (DUESTERHOEFT & LANARI, 2020). Os resultados obtidos serão comparados com o trabalho de Fumes et al. (2021), o qual classifica o metamorfismo da unidade à fácies anfibolito de alta pressão, com o núcleo da granada com registro de condições de *prograde* de 540°C e 0,9 GPa respectivamente, com pico metamórfico chegando a 630°C e 1 GPa. Fumes et al.

(2021) classifica o retrometamorfismo com a cristalização da clorita em T abaixo de 580°C e P abaixo de 0,75 GPa.

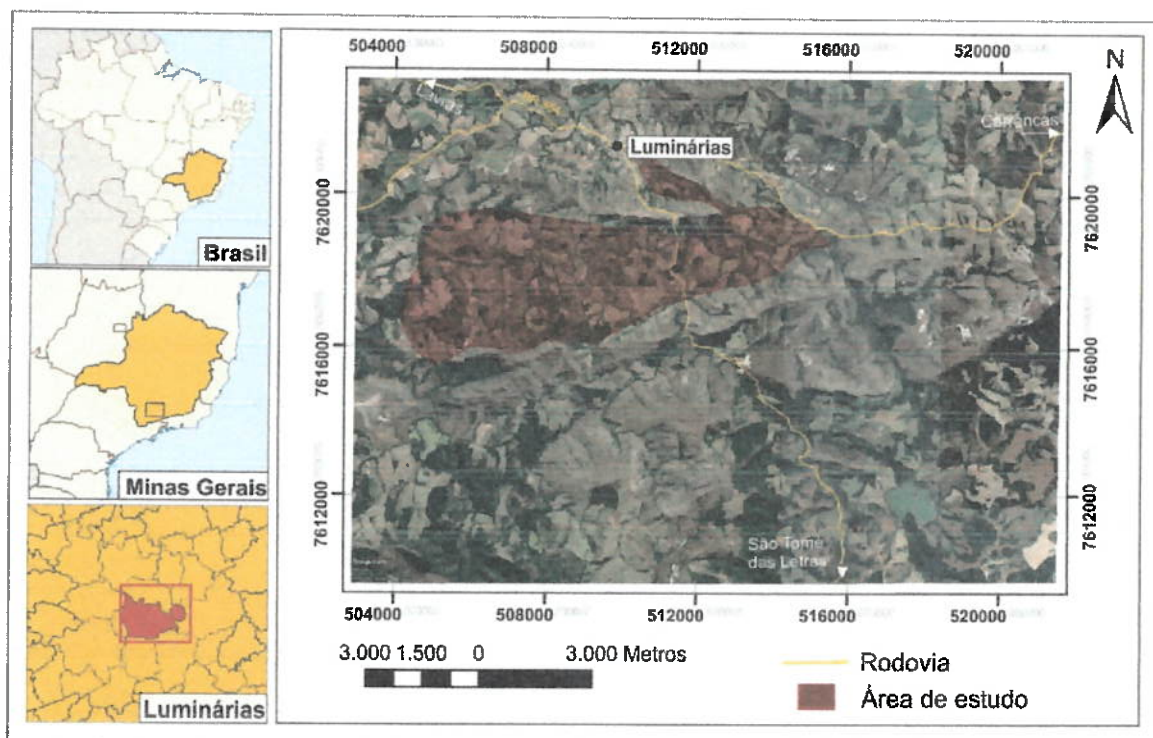
Este trabalho destaca-se pelo uso do *software* recém lançado Bingo-Antidote (DUESTERHOEFT & LANARI, 2020) para a obtenção de valores de P e T , o qual tem como estratégia uma modelagem alternativa baseada em modelos termodinâmicos iterativos, integrados com os mapas composicionais quantitativo adquiridos a partir de análises realizadas com o auxílio da microsonda eletrônica. Portanto, introduzindo uma nova maneira de caracterizar e definir as variáveis determinantes (P e T) do metamorfismo.

1.3. Localização da área

A cidade de Luminária está localizada no sul do Estado de Minas Gerais, na região de Lavras e Varginha (Figura 1), a cerca de 300 km da capital Belo Horizonte e 360 km da cidade de São Paulo – SP. O município apresenta uma extensão territorial de 500,143 km² e se encontra na Folha Topográfica SF-23-X-C-IV-1 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Possui sete municípios limítrofes, sendo eles: Carmo da Cachoeira, Carrancas, Cruzília, Ingaí, Itutinga, São Bento Abade, São Tomé das Letras, Três Corações.

O principal acesso partindo de Belo Horizonte, é pela Rodovia Fernão Dias (BR-381), passando para a Rodovia BR-265 sentido a cidade de Lavras e pôr fim a Rodovia Lavras-Luminárias, o que resulta em uma viagem de aproximadamente 4 horas. A partir da cidade de São Paulo - SP, a melhor rota é a pela Rodovia Fernão Dias (BR-381), mantendo-se na mesma até a altura do município de Três Corações – MG, onde deve-se pegar a rodovia LMG-862 sentido Luminárias – MG, com um tempo de viagem de aproximadamente 5 horas.

Figura 1 - Localização da cidade de Luminárias - MG e área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

2. Fundamentação teórica

2.1. XMapTools

De acordo com LANARI *et al.*, (2014) o programa XMapTools deve ser executado com o auxílio do software MATLAB versão 7.5 ou posterior. É caracterizado por uma interface gráfica, a qual foi construída a partir da ferramenta do MATLAB *Graphical User Interface Development Environment (GUIDE)*.

A estruturação do programa é definida com base nas três diferentes etapas do processo de mapeamento, sendo elas *Xray*, *Quantif* e *Results*. Na etapa inicial (*Xray*) é realizado o carregamento do mapa de raio-X qualitativos obtidos na EPMA. Com uma análise estatística da composição dos pixels, eles são agrupados em fases minerais, além de fraturas e vazios ocasionalmente, gerando as máscaras correspondentes. Na função *mask creating*, cada máscara corresponde a uma matriz lógica de números indexados na composição do mapa, onde o valor 1 é atribuído aos pixels pertencentes a fase mineral em questão, e 0 para os outros pixels. Finalizando esta etapa, é realizado a padronização destes mapas (LANARI *et al.*, 2014).

Na segunda etapa (*Quanti*), os mapas padronizados são transformados em mapas de fórmulas estruturais e em diagramas de fases, através das ferramentas *structural formulae functions* e *thermobarometry functions*. Já a última etapa (*Results*), permite que o usuário produza diagramas químicos binários e ternários com os módulos *Chem2D* e *TriPlot3D* (LANARI *et al.*, 2014).

2.2. Bingo – Antidote

O programa Bingo-Antidote é integrado ao módulo XThermoTools, o qual lida com mapas quantitativos gerados no XMapTools (DUESTERHOEFT : LANARI, 2020).

No XThermoTools, o Bingo-Antidote funciona a partir do software Theriak-Domino (CAPTAIN & BROWN, 1987), o qual utiliza o método de minimização de energia livre de Gibbs (LANARI *et al.* 2018; DUESTERHOEFT : LANARI, 2020). A partir do Theriak-Domino, são confeccionados os Diagramas de Fases Isoquímicos. Este método possibilita o reconhecimento das paragêneses em equilíbrio, com isso, permite localizar os campos de estabilidades entre as fases (CONNOLY : KERRICK, 1987). É essencial a escolha de um banco de dados termodinâmicos, no XThermoTools há algumas opções, dentre as disponíveis foi escolhido o banco de dados *tcds62c* (WHITE *et al.*, 2014), pois este é o mais recente entre as opções apresentadas.

O Bingo-Antidote é dividido nas duas sub-rotinas descritas seguir.

2.2.1. Bingo

A sub-rotina Bingo apresenta uma técnica de pontuação, a qual compara quantitativamente a assembleia mineral modelada e observada (LANARI *et al.*, 2018).

Com o banco de dados definido, é possível definir o sistema químico a ser utilizado na modelagem, seguido da caracterização de um domínio para estimar a composição e as proporções minerais (*local bulk composition*). Após isso é necessário a definição das fases, selecionando pequenas áreas em cada mineral que será utilizado na modelagem. O XThermoTools junto com o Theriak-Domino são os responsáveis pela confecção do modelo.

A partir disso, para qualquer condição de P e T , o Bingo determina a qualidade das previsões do modelo com base em três fatores (Quadro 1) que avaliam a qualidade da combinação entre o observado e o modelado (LANARI *et al.*, 2018), a partir de uma comparação estatística entre o modelo e a amostra observada. A partir

destes três fatores é calculado o Q_{total} (LANARI *et al.*, 2018; DUESTERHOEFT & LANARI, 2020).

Quadro 1 - Fatores de qualidade e avaliação global.

Q_{asm}	Assembleia mineral
Q_{vol}	Moda mineral
Q_{cmp}	Composição química
Q_{total}	Avaliação global

2.2.2. Antidote

A sub-rotina Antidote inclui um método de pesquisa heurística para inverter o modelo e determinar as condições de P – T ideais (LANARI *et al.*, 2018). O programa contém várias rotinas, denominadas *recipes*, para investigar como os fatores de qualidade do modelo avaliados pelo Bingo mudam dentro da faixa P – T – X do modelo (DUESTERHOEFT : LANARI, 2020).

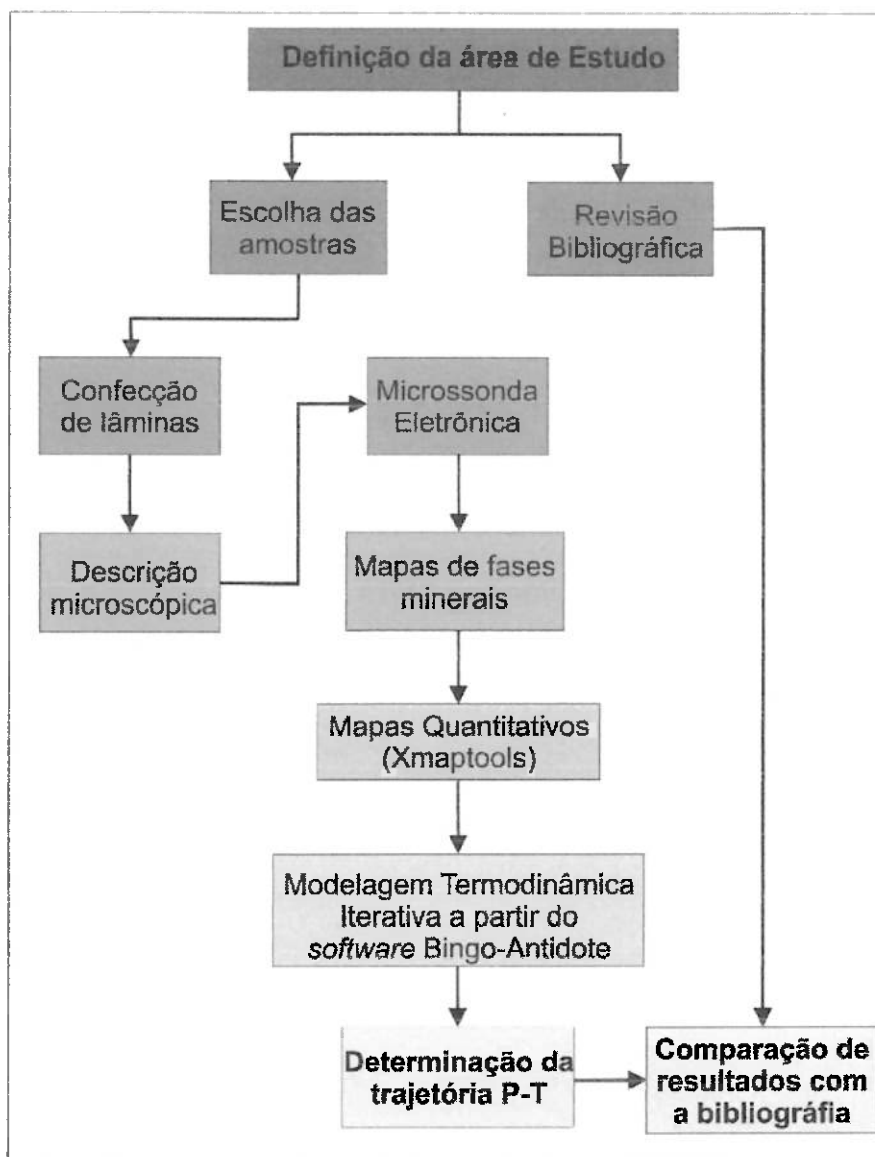
A *recipe #1* utilizada neste trabalho, corresponde a uma otimização global de P , T , junto com alguns componentes da *local bulk composition*, como as quantidades molares de H, C e O (DUESTERHOEFT & LANARI, 2020).

Após a execução da *recipe #1*, os valores de P e T otimizados são obtidos, além de valores atualizados dos fatores de qualidade do Bingo.

3. Materiais e Métodos

O fluxograma abaixo da Figura 2 apresenta as principais etapas do trabalho.

Figura 2 - Fluxograma correspondente aos Materiais e Métodos propostos para este trabalho.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.1. Etapa inicial

A primeira etapa foi a de definição da área de estudo e revisão bibliográfica da região escolhida. A área de trabalho foi escolhida com auxílio dos orientadores, definindo a região da Nappe de Luminárias com enfoque na Unidade Santo Antônio como objeto de estudo, área onde os mesmos já visitaram em atividades de campo previamente e coletaram as amostras utilizadas na execução deste trabalho.

A partir da área designada, foi realizado o levantamento bibliográfico a respeito da geologia regional e local da região, com objetivo de se obter um melhor

entendimento geológico e proporcionar uma base teórica essencial para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho, resultando na elaboração do capítulo de Geologia Regional, com referências desde a Província Tocantins, Faixa Brasília, Grupo Andrelândia, Sistema de Nappes de Carrancas, Nappe de Luminárias até a Unidade Santo Antônio.

3.2. Etapa de Execução

Com o objeto de trabalho definido, pode-se definir o método a ser utilizado. A partir das amostras escolhidas, foram confeccionadas lâminas delgadas polidas para a análise microscópica, correspondendo a um total de 10 lâminas. Primeiramente, foi observado as lâminas no microscópio petrográfico para uma caracterização mineralógica e metamórfica inicial, selecionando as quatro melhores para descrição. O microscópio petrográfico utilizado foi o Carl Zeiss, disponibilizado pela UNESP campus de Rio Claro.

Posteriormente foram confeccionados mapas qualitativos e análises pontuais quantitativas com o uso da microsonda eletrônica em duas das quatro amostras descritas (Amostras LR09 e LR54). Nessa etapa foi utilizado uma microsonda da marca JEOL-JXA – 8230 EP, com 5 detectores WDS, instalada no laboratório de Microsonda Eletrônica do Departamento de Geologia (IGCE/UNESP). A correção da matriz foi feita utilizando o método ZAF. A análise realizada a partir da Microsonda eletrônica é caracterizada a partir dos elementos químicos constituintes do material em questão emitir raio-X específico quando atingidos por um feixe de elétrons. Com isso, cada elemento emite espectros de raio-X com comprimentos de onda e energia únicos.

A química mineral da granada, clorita, biotita, muscovita e plagioclásio foi obtida usando o modo dispersivo de comprimento de onda no EPMA. As análises foram realizadas utilizando um feixe focalizado com 15 kV e 20 nA para a tensão de aceleração da coluna e a corrente do feixe, respectivamente. Os tempos de contagem foram 20s e 30s para elementos maiores e menores, respectivamente, igualmente distribuídos nas posições de pico e fundo. Minerais e óxidos sintéticos foram usados como padrões.

Os mapas composicionais da microsonda também foram adquiridos no modo dispersivo de comprimento de onda. Para todos os mapas, a corrente foi de 100 nA, o tempo de contagem por pixel para 100ms, o tamanho do pixel e o tamanho do feixe foi de 10 μm e a tensão de aceleração foi de 15 kV.

3.3. Etapa de Tratamento dos Resultados

Os dados gerados na microsonda eletrônica foram processados no *software* XMapTools 3.2.1. (LANARI *et al.*, 2014; 2017). Este *software* utiliza uma abordagem Castaing para padronizar dados de mapa de raio-X quantitativos de microsonda eletrônica. Análises quantitativas de pontos dentro da área do mapa foram utilizadas para a calibração dos mapas de raio-X, gerando os mapas de fases minerais e mapas quantitativos. A composição mineral detalhada neste trabalho foi utilizada nas interpretações, tem como base esses mapas e a descrição petrográfica.

Posteriormente foi realizada a modelagem termodinâmica iterativa com o *software* Bingo-Antidote (DUESTERHOEFT : LANARI, 2020), sendo os mapas quantificados gerados pelo XMapTools (LANARI *et al.*, 2014; 2017) a base para esta modelagem. O *software* Bingo-Antidote realiza a modelagem baseada em modelos termodinâmicos iterativos, integrados com os mapas composicionais quantitativo. Com isso, é possível a determinação de pressão e temperatura ao longo da trajetória $P-T$ podendo compará-las com a bibliografia e estudos anteriores.

4. Geologia Regional

4.1. Província Tocantins

A região de Luminárias está localizada no sul do estado de Minas Gerais (MG), dentro da Província Tocantins. De acordo com ALMEIDA *et al.*, (1977), a província está associada a um evento orogênico resultante da colisão entre os crátons Amazônico, São Francisco e Paranapanema durante o Ciclo Brasileiro, no Neoproterozoico, o que resultou uma almagamação da porção Oeste do Gondwana (DARDENNE, 2000; VALERIANO *et al.*, 2008). A Província Tocantins é subdividida em três faixas orogênicas principais que evoluíram diacronicamente (VALERIANO *et*

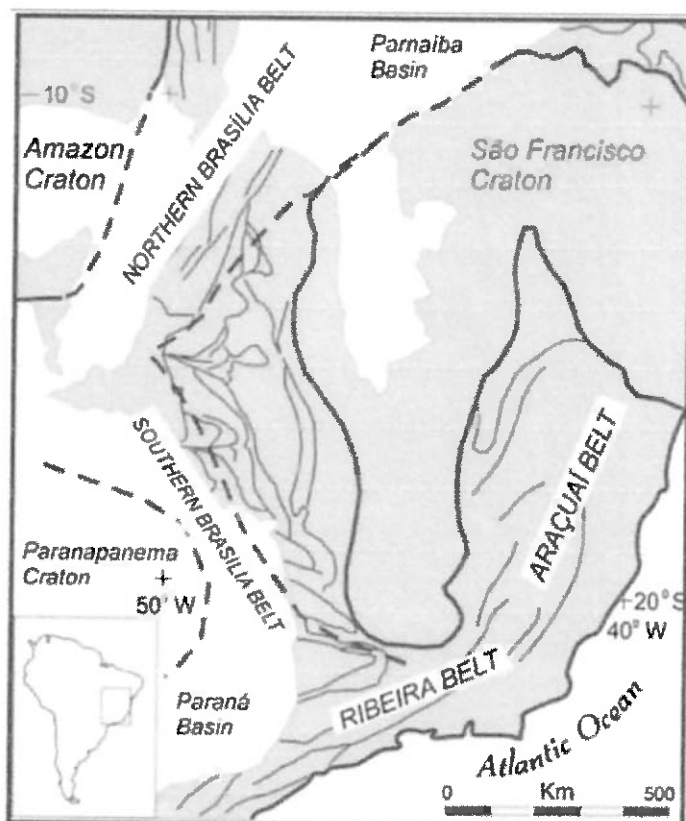
a/, 2004), denominadas Faixa Araguaia, Faixa Paraguai e Faixa Brasília, na última está localizada a área de estudo do trabalho.

4.1.1. Faixa Brasília

A Faixa Brasília (Figura 3) está localizada na porção sudeste da Província Tocantins, é composta principalmente por rochas metassedimentares, além de, rochas ortoderivadas (HASUI; ALMEIDA, 1970; PIMENTEL; JOST; FUCK, 2004) e se estende por aproximadamente de 1200 km na direção Norte – Sul, bordejando a margem oeste do Cráton São Francisco. (DARDENNE, 2000; VALERIANO, C. M. *et al.*, 2017).

É subdividida em Faixa Brasília Setentrional e Faixa Brasília Meridional pela Sintaxe de Pirineus, que corresponde a um lineamento E-W em latitudes próximas a do Distrito Federal, com ambos os segmentos apresentando uma singular história evolutiva, porém com características distintas (ARAÚJO FILHO, 2000; DARDENNE, 2000).

Figura 3 - Faixa Brasília Setentrional e Meridional, resultado da colisão do Cráton São Francisco com outros terrenos durante o Ciclo Brasileiro.



Fonte: Retirado de VALERIANO, *et al.*, 2017.

4.1.1.1. Faixa Brasília Meridional

Com uma extensão de aproximadamente 800 km ao longo da margem Sudoeste do Cratón São Francisco, a Faixa Brasília Meridional é composta essencialmente por rochas metassedimentares cobertas por um sistema metamórfico de nappes sub-horizontais em forma de colher, variando de fácies xisto verde superior a granulito (VALERIANO, *et al.*, 2017). A maior parte dessas rochas corresponde a seções estratigráficas da margem passiva do Cratón São Francisco do Neoproterozoico, deformadas pela Orogenia Brasileira entre 650 – 610 Ma (VALERIANO, *et al.*, 2017).

A Faixa Brasília Meridional, em sua porção sudeste, está em contato com a Faixa Ribeira (HEIBRON *et al.*, 2004). A respeito dessa região, a diferentes interpretações, de acordo com PETERNEL *et al.*, (2005), TROUW *et al.*, 2000; TROUW *et al.*, 2013; HEILBRON *et al.*, 2008; HEILBRON; CORDANI; ALKMIM, 2017; COELHO *et al.*, 2017 esta área se trata de uma zona de interferência entre as Faixas Brasília e Ribeira, com superposições de estruturas e características metamórficas relacionadas a colisão nas duas Faixas. Já a outra hipótese considera exclusivamente a formação e metamorfismo ao Órogeno Brasília (CAMPOS NETO *et al.*, 2004, 2007, 2011).

5. Geologia na área de estudos

5.1. Grupo Andrelândia

A região de estudo está inserida na Faixa Brasília Meridional, associada ao Grupo Andrelândia. Sobreposto ao embasamento (idade superior a 1,8 Ga), são conhecidos quatro ciclos deposicionais denominados Tiradentes, Lenheiro, Carandaí e Andrelândia, a partir destes foram reconhecidas três bacias deposicionais, sendo elas em ordem estratigráfica, Bacia São João Del Rei, Carandaí e Andrelândia, as duas primeiras de caráter intracontinental e a última, onde se insere a área de estudo, corresponde a uma margem passiva associada ao Cratón São Francisco (RIBEIRO *et al.*, 1995).

Paciullo *et al.*, 2000, 2003 divide o Grupo em duas sequências deposicionais, a basal composta por paragneisse, metapelitos, quartzitos micáceos, rochas cálcioossilicatadas, metagrauvaca, metamáficas e metaultramáficas que correspondem

a fácies de águas profundas, enquanto a superior é constituída de uma sequência de biotita xisto e metagrauvaca. As rochas dessas duas sequências são subdivididas nas unidades: Complexo Gnáissico São Vicente, Grupos Carrancas (quartzitos e metapelitos) e as unidades Rio Capivari, Serra da Boa Vista e Santo Antônio (CAMPOS NETO *et al.*, 2007; KUSTER *et al.*, 2020). O Quadro 2 apresenta o empilhamento dessas unidades e nomenclatura conforme diversos autores.

Quadro 2 - Empilhamento e diferentes nomenclaturas a respeito das unidades do Grupo Andrelândia de acordo com diversos autores.

Grupo Andrelândia e Correspondentes				
Associações Litológicas	Kuster et al 2020	Paciullo et al (2003a, 2003b)	Campos Neto et al 2007; Frugis et al. (2018)	Coutinho (2012); Westin et al. 2019
Megassequência Andrelândia				
-	<u>Sequência Superior</u>	<u>Sequência Serra do Turvo</u>	-	-
Biotita Xisto, em locais isolados com seixos.	Unidade A5		Unidade Santo Antônio	Unidade Flysch
-	<u>Sequência Inferior</u>			-
Xisto pelítico e paragneisses com intercalações de quartzito, granada quartzito, anfibolito, calciossilicatadas e rochas ultramáficas. Plagioclásio-piroxênio-granada rocha máfica e Cianita Feldspato K gnaisses na fácies granulito.	Unidade A6	Unidade Arantina	Unidades Serra da Boa Vista e Rio Capivari	
-		<u>Sequência Carrancas</u>	<u>Grupo Carrancas</u>	<u>Grupo Carrancas</u>
Metapelitos (filitos/xistos) e quartzitos.	Unidade A4	Unidade Campestre		Unidades superiores e intermediárias
Paragneisses com intercalações de Mn/Fe-granadas quartzito, anfibolitos, calciossilicatadas e rochas meta-ultramáficas.	Unidade A3	Unidade São Tomé das Letras		Unidade Inferior
Paragneisses, anfibolitos, rochas meta-ultramáficas, e intercalações menores de xistos e quartzitos	Unidades A1 e A2	Unidade São Vicente		Complexo São Vicente

Retirado e modificado de KUSTER *et al.*, 2020

5.1.1. Unidade Santo Antônio

O presente trabalho se concentra na Unidade Santo Antônio, especificamente na região da Nappe de Luminárias. Essa unidade é caracterizada por um xisto de

coloração acinzentada, correspondendo a uma metagrauvaca com intercalações poucos espessas de rocha metapsamíticas e metamáficas. A predominância ao longo da unidade é de um granada-biotita-plâgioclásio-quartzo xisto homogêneo, com textura granoblástica e granulação variando de fina a média (CAMPOS NETO *et al.*, 2007). Os xistos desta formação possuem assinatura química de grauvacas, com área fonte de margem ativa (CAMPOS NETO *et al.*, 2004).

A partir de análise de cristais de zircão detríticos realizada por CAMPOS NETO *et al.*, 2004, obteve-se idade de deposição 673 ± 25 Ma. Com um período de sedimentação de 20 Ma de idade Ediacarana para esta unidade litoestratigráfica, com metamorfismo em aproximadamente 610 Ma (CAMPOS NETO *et al.*, 2007).

5.2. Sistema de Nappes Carrancas

A porção sul da Faixa Brasília é caracterizada por uma série de nappes sinmetamórficas, as quais correspondem a estruturas colisionais ediacaranas que registram a migração diacrônica das nappes no sentido do Cratón São Francisco (CAMPOS NETO *et al.*, 2010). Essa sequência de nappes dos níveis estruturalmente mais altos a oeste aos mais baixos a leste, é subdivida em: Nappe Socorro-Guaxupé, a qual corresponde a unidade superior e também mais interna representando a crosta média e inferior (CAMPOS NETO *et al.*, 2010). Sotoposto com um contato representando uma zona de sutura, tem-se o sistema de Nappe de Andrelândia, o qual consiste de metassedimentos de alta pressão, que correspondem do topo para a base ao klippen de Pouso Alto, a Nappe de Liberdade e a Nappe de Andrelândia (CAMPOS NETO *et al.*, 2010; WESTIN; CAMPOS NETO, 2013). O Sistema de Nappes de Carrancas, é o mais distante a leste e o mais profundo da pilha (CAMPOS NETO *et al.*, 2010), estando a área de estudo associado a esse sistema. Este último é conhecido também como Nappes Inferiores, incluindo a Nappe de Lima Duarte (KUSTER *et al.*, 2020).

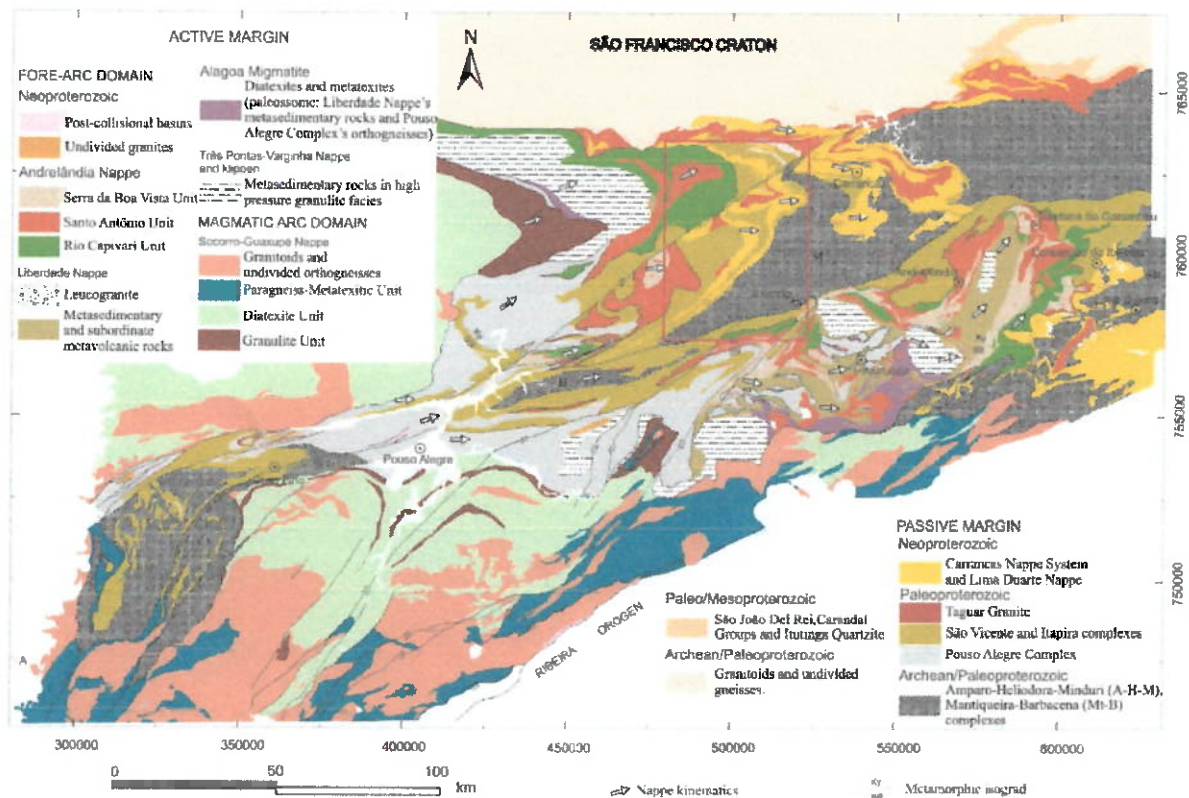
Com transporte em sentido ao cráton, o Sistema de Nappe de Carrancas apresenta estruturas e metamorfismo, com pico em 590 – 575 Ma, caracterizando a propagação e migração da frente orogênica no sentido do cráton, das nappes superior para as inferiores (CAMPOS NETO *et al.*, 2010, 2011). Marimon *et al.* (2021) interpreta que a Unidade Santo Antônio foi depositada em uma bacia sin-colisional com idade máxima de deposição de 650 Ma.

Esse sistema é definido estruturalmente do topo para a base Nappe de São Tomé das Letras, Nappe de Luminárias, Klippe de Carrancas, as quais estão sotoposta a Nappe de Andrelândia e a Nappe Lima de Duarte (CAMPOS NETO *et al.*, 2004; KUSTER *et al.*, 2020; WESTIN; CAMPOS NETO, 2013).

5.2.1. Nappe de Luminárias

A Nappe de Luminárias apresenta 80 km de extensão alongada no trend N-S, próximo à cidade de Luminárias no sudeste de Minas Gerais (Figura 4).

Figura 4 - Localização da Nappe de Luminárias, próximo a borda do Cratón São Francisco. O Retângulo vermelho delimita a região de estudo. Em Laranja temos a Unidade Santo Antônio.



Fonte: Retirado e modificado de FRUGIS; NETO; LIMA, 2018.

Esta nappe ocorre logo acima de rochas do embasamento, este composto por metagranitos, migmatitos, ortognaisses, ultramáficas e máficas (TROUW *et al.*, 1980; PACIULLO *et al.*, 2003). Sobreposto a esse embasamento ocorre um biotita gnaiss intercalado com xistos e quartzitos do Complexo São Vicente, seguido de quartzitos e biotita gnaiss da Formação São Tomé das Letras (TROUW *et al.*, 1980). Logo acima

ocorrem rochas metapelíticas e quartzitos da Formação Campestre (TROUW *et al.*, 1980). Por fim, na porção superior ocorre os granada-biotita-plágioclásio-quartzo xisto correspondente a Unidade Santo Antônio (TROUW *et al.*, 1983; PACIULLO *et al.*, 2003; CAMPOS NETO *et al.*, 2007), objeto de estudo deste projeto.

Na região da Nappe de Luminárias é reconhecido três fases deformacionais sucessivas, sendo elas D_1 , D_2 e D_3 . As duas primeiras são relacionadas e correspondem à foliação plano paralela S_1/S_2 , associadas a dobras isoclinais com eixos aproximadamente E-W. Essas fases (D_1 e D_2) geraram as nappes da região por meio de impulsos para o leste, estes registrados por indicadores cinemáticos como mica assimétricas, micafish, foliação SC e foliação oblíqua (CAMPOS NETO & CABY, 1999; TROUW *et al.*, 2000; TROUW *et al.*, 2008). Localmente D_1 e D_2 podem ser diferenciadas através de estruturas de interferências como redobramentos e clivagens de crenulação, e são interpretadas como deformação progressiva, relacionada à colisão continental, a qual levou ao movimento de massa extrusional para o leste, resultando na formação das nappe (TROUW *et al.*, 2008). A fase D_3 dobrou as estruturas anteriores, com planos axiais W-SW e sub-horizontais para eixos N-S e NE-SW, resultando em dobras suaves á apertadas e geralmente nenhuma clivagem S_3 penetrativa desenvolvida (TROUW *et al.*, 2008).

O *Klippe* de Carrancas trata-se de metassedimentos empurrados sobre o domínio autóctone, de movimento WNW para ESE, associados a D_1 . Este klippe foi dobrado numa sinformal fechada, de eixo variando de W-E até NW-SE, devido a superimposição do movimento W-E, correspondente a D_2 , da Nappe de Luminárias (RIBEIRO *et al.*, 1995).

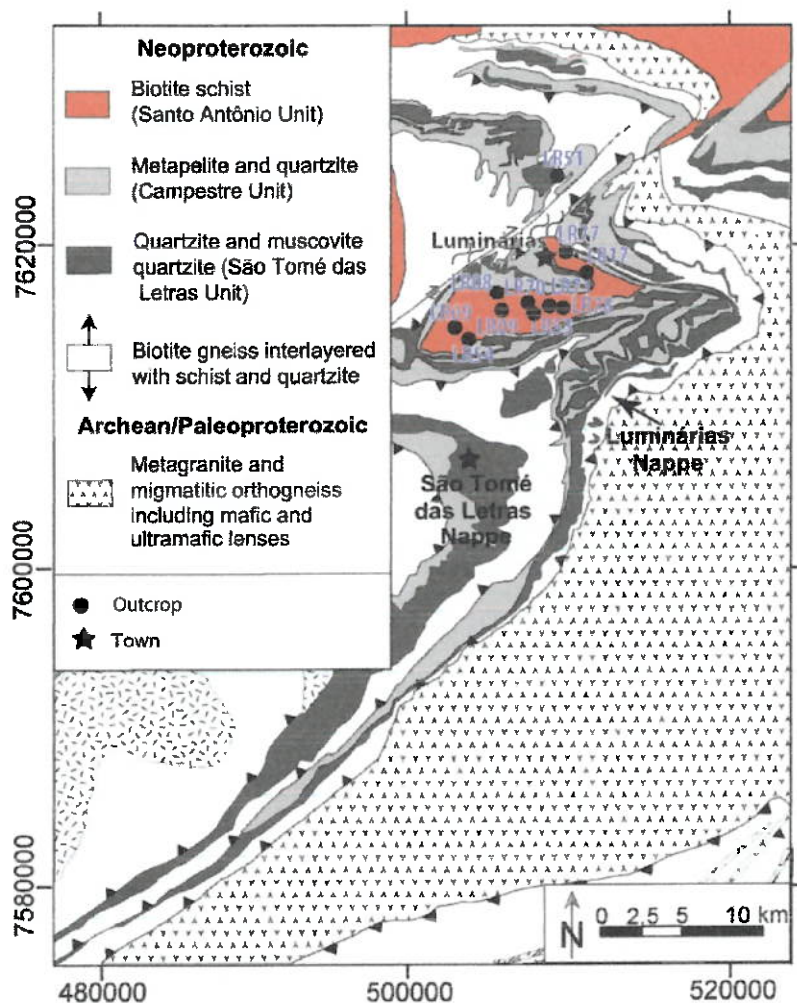
Em relação ao metamorfismo, estudos anteriores em rochas do Grupo Carrancas da Nappe Luminárias mostraram um gradiente metamórfico (TROUW *et al.*, 1980; TROUW *et al.*, 2000). De acordo com SILVA (2010) rochas do Grupo Carrancas presentes no Klippe de Carrancas, apresentam um aumento do gradiente metamórfico para o sudeste, de xisto verde superior até anfibolito de alta pressão e eclogito. O estudo recente de FUMES *et al.* (2019), na Nappe de Luminárias, indica na porção norte um gradiente da fácies anfibolito inferior de alta pressão ($580 \pm 4^\circ\text{C}$ and ca. 0.9 GPa), na área central anfibolito de alta pressão ($600 \pm 15^\circ\text{C}$ and 1.1 ± 0.3 GPa), e na parte sul gradiente de fácies eclogito ($630 \pm 13^\circ\text{C}$ and 1.4 ± 0.6 GPa).

De acordo com FUMES *et al.*, (2021), a metagraúvaca da unidade Santo Antônio, apresenta granada com núcleos registrando condições de $P-T$ de 540°C e 0,9 GPa seguido por um aquecimento até o pico metamórfico a 630°C e 1,0 GPa. O pico metamórfico é seguido por estágios de resfriamento e descompressão, com a cristalização da clorita em temperaturas de 580°C e pressão de 0,7 GPa (FUMES *et al.*, 2021).

6. Resultados

Ao longo da campanha de campo realizada pelos orientadores, foram coletadas 10 amostras da Unidade Santo Antônio nas proximidades do município de Luminárias – MG. A Figura 5 abaixo contém a localização das amostras coletadas e utilizadas no presente trabalho.

Figura 5 - Mapa com os pontos onde amostras foram coletas, incluindo a geologia local da Nappe de Luminárias, com a Unidade Santo Antônio em laranja.

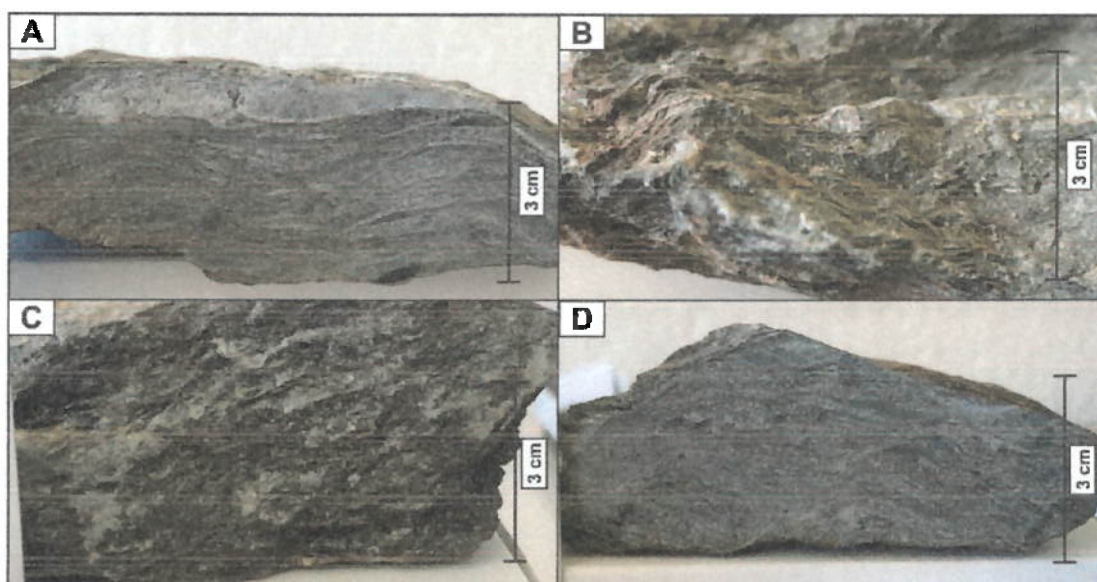


Fonte: Retirado e modificado de FUMES *et al.*, 2019.

6.1. Descrição Microscópica

A partir da análise das amostras, foram escolhidas quatro para serem descritas em detalhe, por apresentarem grau de conservação maior comparada com as demais, sendo elas, a LR09, LR17, LR53 e LR54 (Figura 6). Trata-se de uma rocha de coloração cinza a esverdeada, de granulação fina a média, apresentando uma foliação marcante, com domínio de clivagem (esverdeadas) e domínio de microliton (acinzentadas), sendo a foliação marcada principalmente pela primeira. É constituída também por porfiroblastos de granada e marcada pela presença de no mínimo duas fases deformacionais, pelo fato das camadas da foliação estarem crenuladas.

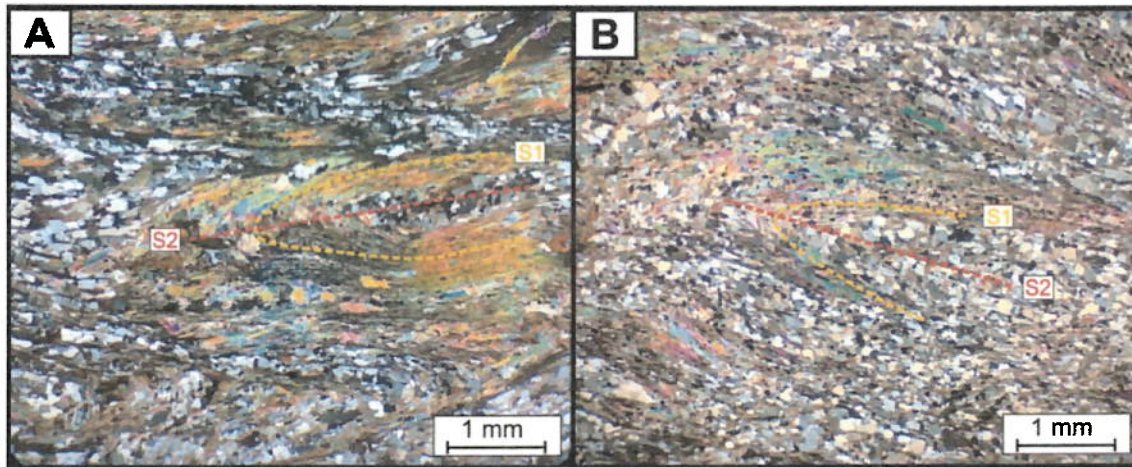
Figura 6 - Amostras coletadas da Unidade Santo Antônio. Em A amostra LR09, em B amostra LR17, em C amostra LR53 e em D amostra LR54.



Fonte: elaborada pelo autor.

Com base nesta análise microscópica, definiu-se o litotipo descrito como um granada – muscovita – biotita xisto feldspático. Em relação a estrutura microscópica, nestas amostras, S2 é uma foliação do tipo clivagem de crenulação espaçada, e S1 (Figura 7) é transposta por S2, nessa relação, ora são configuradas crenulações em S1, ora ocorre forte transposição de S2, de tal forma que S1 fica paralelo a S2. A respeito da textura, temos o predomínio de minerais micáceos, caracterizando-a como lepidoblástica, enquanto os cristais de granada definem uma textura porfiroblástica.

Figura 7: Foliação do tipo clivagem de crenulação identificada nas amostras. A imagem A corresponde a lâmina da amostra LR54 e a B a lâmina LR53.



Fonte: Elaborado pelo o autor.

A rocha é constituída por: quartzo (35%), biotita (25%), muscovita (17%), oligoclásio (14%), Granada (8%), clorita (6%), apatita (1%), ilmenita (1%) e rutilo (traço) (Figura 8).

O quartzo apresenta sob a forma de cristais anedrais, de tamanho máximo de 0,5 mm, em sua maior parte com extinção ondulante. Em relação aos demais minerais, apresenta contato principalmente lobular e serrilhado. Está presente também incluso nas granadas e na forma de cristais recristalizados.

A biotita ocorre como cristais subedrais de até 1 mm com orientação preferencial segundo a foliação. É caracterizada também pelo seu pleocroísmo variando de verde a marrom. Sobre seus contatos, apresenta entre si e com a muscovita o de caráter retilíneo, já com o quartzo e plagioclásio este contato varia de serrilhado a retilíneo.

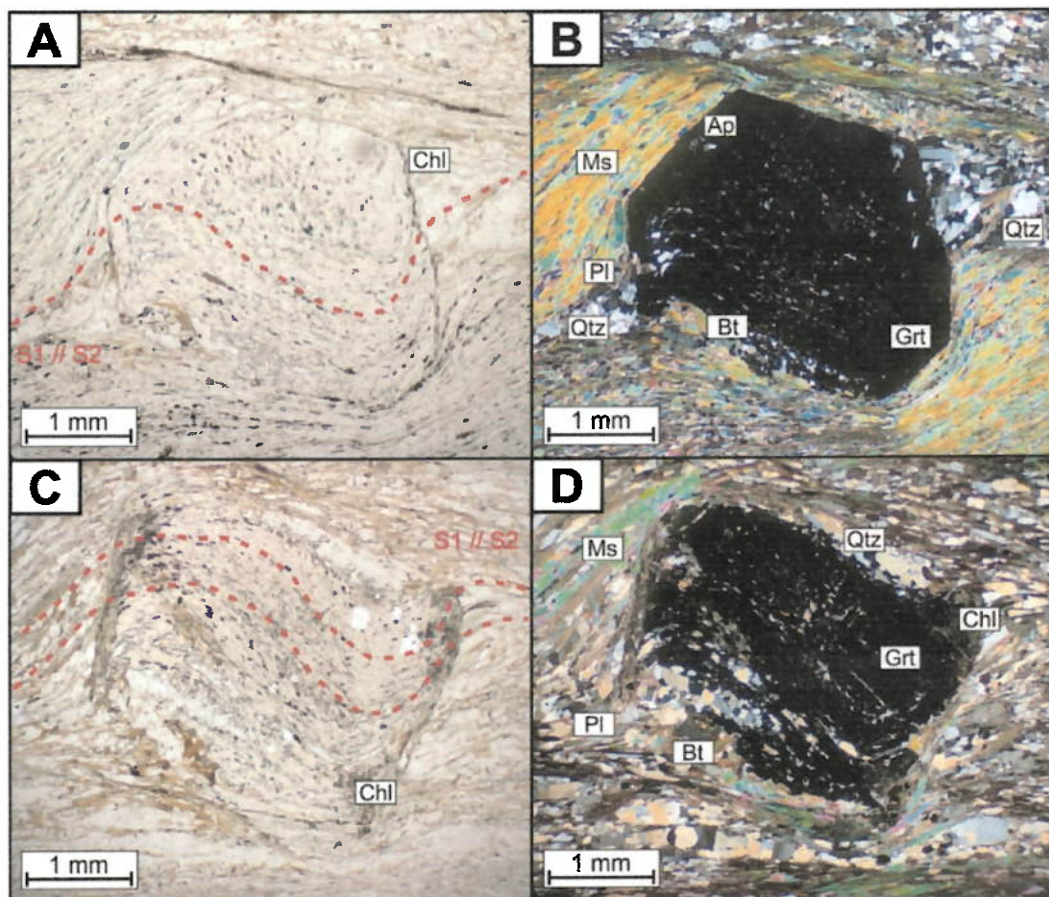
A muscovita, é ocorre como cristais subedrais de até 2 mm no eixo de maior comprimento, com orientação preferencial segundo a foliação $S_1//S_2$. Apresenta contato retilíneo entre si e com a biotita, com o quartzo, plagioclásio e granada é retilíneo e serrilhado.

A granada, ocorre na forma de cristais anedrais e poucos subedrais, de tamanho variando de 0,5 mm a 4 mm. Apresenta textura poiquiloblásticas. As inclusões de quartzo e plagioclásio marcam a foliação dentro do cristal (foliação interna), representando o padrão curvo ocorrendo em continuidade a foliação externa (Figura 8). Em relação as sombras de pressão, em sua composição é encontrado

quartzo, biotita e plagioclásio, além de, em alguns casos, a clorita ocorrer bordeando o porfiroblasto.

O oligoclásio ocorre como cristais anedrais, incolores de tamanho menores que 0,5 mm. Estes mais alterados em comparação ao quartzo, com bordas mais irregulares e algumas fraturas. A respeito dos contatos, apresentam o lobular entre si e com o quartzo, retilíneos com as micas e serrilhados a retilíneos com a granada. Os cristais de plagioclásios ocorrem também como inclusão em alguns dos cristais de granada, apresentando geminação do tipo Lei da Albita.

Figura 8: Porfiroblastos de granadas e os demais minerais descritos. Em A e C temos cristais de granadas sin-tectônicos a nicóis descruzados, com a foliação destacada em vermelho, correspondem às Lâminas LR54 e LR09 respectivamente. Em B e D os mesmos cristais de granada à nicóis cruzados, com os demais minerais destacados, correspondendo também às amostras LR54 e LR09 respectivamente. De acordo com KRETZ (1983) temos como abreviação: Ap – apatita, Bt – biotita, Chl – clorita, Grt – granada, Ms – Muscovita, Pl – plagioclásio e Qtz – Quartzo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Já a clorita, ocorre na forma de cristais tabulares, com pleocroísmo fraco em tons de verde, geralmente de tamanho menor que 0,5 mm. Apresenta contato serrilhado com a granada, lobular com o quartzo e retilíneo com as micas e granada. Em certos pontos das amostras apresenta cristais com orientação semelhante à da biotita, além de ocorrer também bordeando as granadas, em alguns casos destoando da orientação preferencial da foliação.

A apatita é o mineral acessório predominante, ocorrendo na forma de cristais subedrais, incolores, menores que 0,5 mm de. É encontrado como cristais isolados presentes tanto na matriz da rocha quanto inclusos nos porfiroblastos de granada.

A ilmenita, é o mineral opaco predominante com dimensões menores que 0,5 mm e o rutilo, o qual ocorre na forma de cristais amarronzados a avermelhados, com tamanho máximo de 0,1 mm.

6.1.1. Interpretações da petrografia

Com base na análise microscópica realizada, pode-se definir interpretações a respeito do processo evolutivo da Unidade Santo Antônio, principalmente sobre a geologia estrutural e o metamorfismo.

Devido às rochas da unidade apresentarem foliação, a qual foi classificada como clivagem de crenulação, é possível definir no mínimo duas fases deformacionais atuantes sobre a região. Estas fases correspondem a D₁ e D₂, descritas por TROUW *et al.*, (2000) e TROUW *et al.*, (2008), as quais geraram as foliações S₁ e S₂ respectivamente, estas plano paralelas, podendo ser diferenciadas através de redobramentos e clivagem de crenulação, como as encontradas nas amostras da Figura 7.

Os porfiroblastos de granada apresentam inclusões de quartzo, plagioclásio e apatita, definindo um padrão curvo e consequentemente marcando a foliação dentro dos cristais, a qual ocorre em continuidade com a foliação externa, além da ocorrência de sombras de pressão. Com isso, é possível definir que estas granadas cresceram sintectonicamente a fase de deformação D₂, principalmente devido ao padrão curvo das inclusões. Esses cristais de granadas se assemelham aos encontrados em filitos da Unidade Campestre, nos arredores de Itumirim - MG, descritos por TROUW *et al.*,

(2008), unidade que também está inserida na Megassequência de Andrelândia e no Sistema de Nappes de Carrancas.

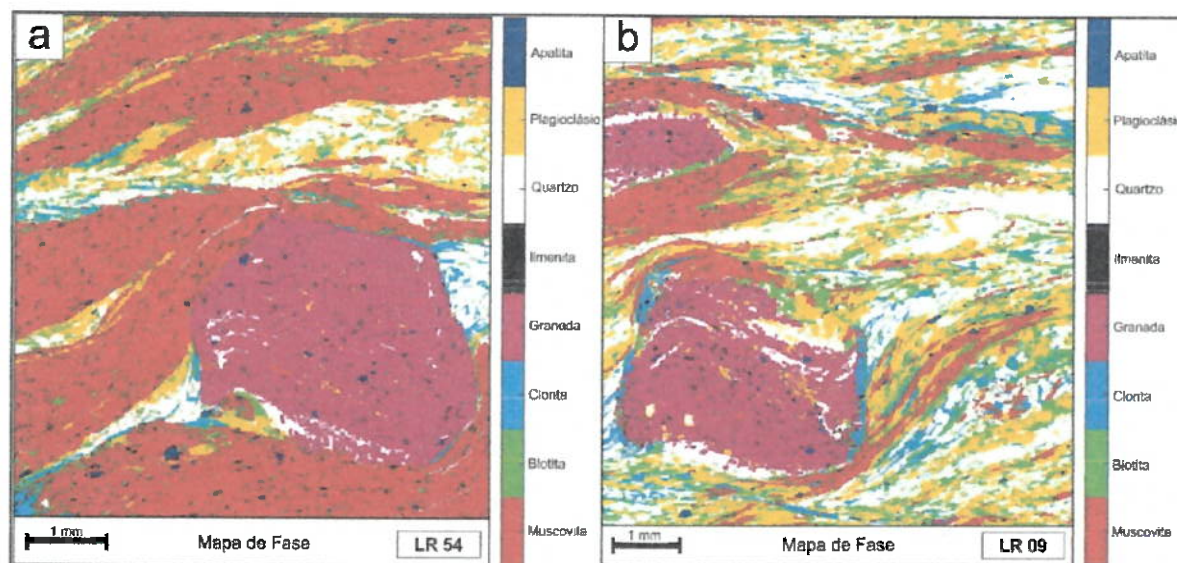
Em relação ao metamorfismo, a granada associada a biotita, quartzo, plagioclásio, muscovita e ilmenita correspondem a assembleia mineral do prograde e pico do metamorfismo. As cloritas resultantes da alteração das biotitas podem ser resultado de alterações correspondentes ao retrometamorfismo.

6.2. Mapas de fases minerais

Os dados obtidos a partir da microsonda eletrônica para as amostras LR54 e LR09 foram processados com o *software* XMapTools (LANARI *et al.*, 2014; 2019). A partir dos mapas de intensidade e com auxílio das análises microscópicas, o *software* XMapTools (LANARI *et al.*, 2014; 2018) permitiu também a confecção dos mapas de fases minerais para cada amostra (Figura 9). Nestes mapas é contido cada mineral presente na seção estudada e são elaborados a partir da observação dos minerais ao longo dos mapas de intensidades dos elementos e das lâminas petrográficas. Para gerá-las basta apenas a definição de uma coordenada para cada mineral presente. Ao comparar a descrição microscópica, os mapas de intensidades de elementos e o de fases minerais, percebe-se que os dois primeiros se completam para geração do mapa de fases minerais, sendo este uma *visão* da lâmina petrográfica de forma digital realizada a partir do XMapTools (LANARI *et al.*, 2014; 2019).

Foi realizada a padronização para cada mineral presente no mapa de intensidade juntamente com as análises químicas pontuais. Os mapas quantitativos gerados (Figura 10 e 11) possibilitaram a identificação e quantificação da composição química de cada mineral. Esses mapas quantificados foram agrupados e combinados, resultando no Merged-Map o qual foi a base para a modelagem no Bingo-Antidote. A partir deste mesmo Merged-Map foi obtido a composição química em óxidos do domínio selecionado para a amostra LR09 (Quadro 3).

Figura 9 - Mapa de fases minerais referente a amostra LR54 a esquerda e da amostra LR09 a direita.

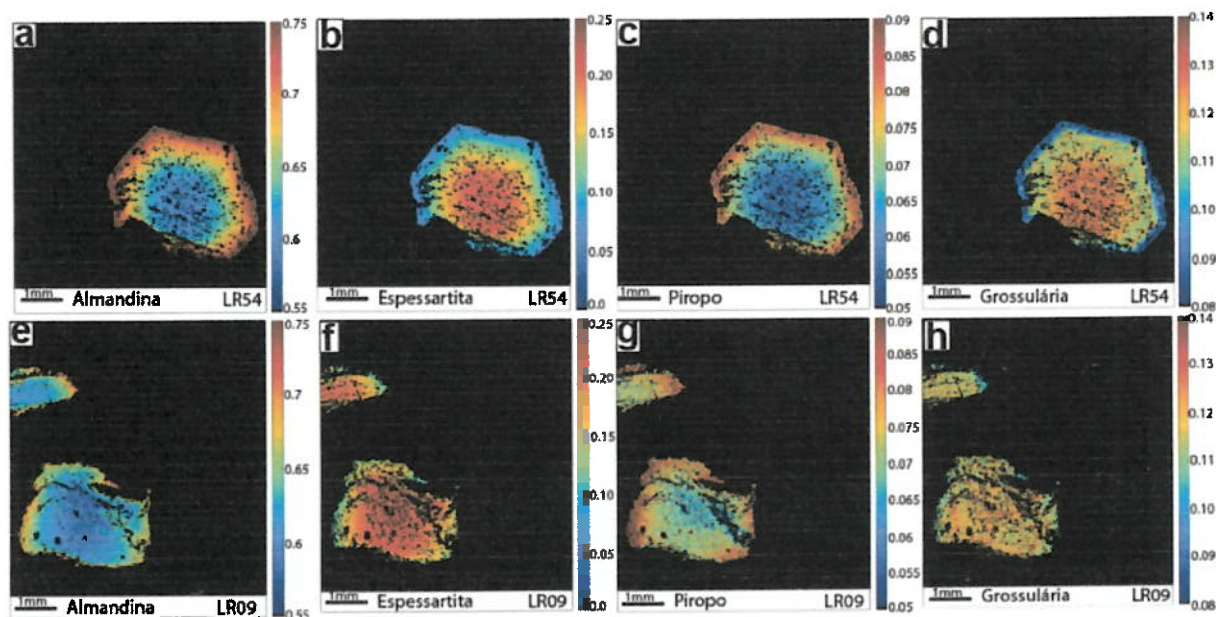


Fonte: elaborada pelo autor.

Quadro 3 - Composição química em óxidos da amostra LR09.

Óxidos	%
SiO ₂	59.1009
Al ₂ SO ₃	18.4454
FeO	7.9855
K ₂ O	2.531
MgO	2.3845
Na ₂ O	2.2065
CaO	1.2871
MnO	1.1375
TiO ₂	0.31879
Cr ₂ O ₃	0.0030613

Figura 10 - Mapas quantitativos das granadas das amostras LR54 e LR09 apresentando zoneamento químico. a) Almandina, LR54. b) Espessartita, LR54. c) Piropo, LR54. d) Grossulária, LR54. e) Almandina, LR09. f) Espessartita, LR09. g) Piropo, LR09. h) Grossulária, LR09.



Fonte: elaborado pelo autor.

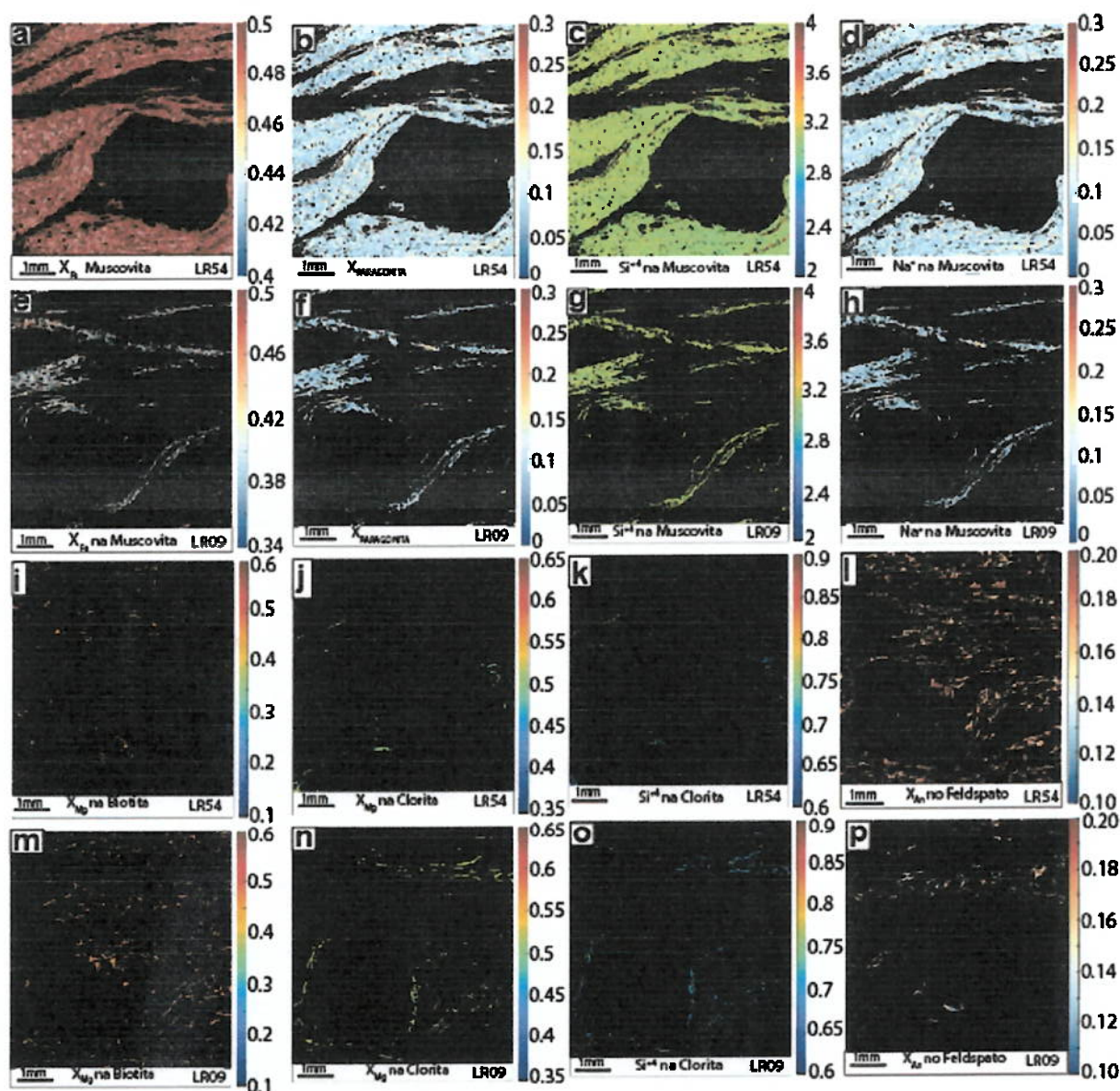
6.3. Composição química mineral

A composição mineral das duas amostras (LR54 e LR09) são semelhantes, e com base nos mapas quantitativos das Figuras 10 e 11 foi possível tirar algumas observações a respeito de cada um dos minerais metamórficos, as quais são destacadas nos itens abaixo. As análises químicas desses minerais se encontram no Anexo II.

6.3.1. Granada

A partir da análise dos mapas composicionais, é perceptível um intenso zoneamento químico, concêntrico dos porfiroblastos de granada em ambas as amostras. O núcleo apresenta baixo teor de piropo e almandina e alto de espessartita e grossulária, enquanto na borda, piropo e almandina apresentam alto teor, e espessartita e grossulária baixo teor (Figura 10). O Quadro 4 apresenta a variação de teor do núcleo para a borda nas granadas.

Figura 11 - Mapas quantitativos. a) XFe na muscovita da amostra LR54. b) Xparagonite na muscovita da amostra LR54. c) teor de Si⁴⁺ na muscovita da amostra LR54. d) teor de Na⁺ na muscovita da amostra LR54. e) XFe na muscovita da amostra LR09. f) Xparagonite na muscovita da amostra LR09. g) teor de Si⁴⁺ na muscovita da amostra LR09. h) teor de Na⁺ na muscovita da amostra LR09. i) X_{Mg} na biotita da amostra LR54. j) X_{Mg} na clorita da amostra LR54. k) teor de Si⁴⁺ na clorita da amostra LR54. l) X_{An} no feldspato da amostra LR54. m) X_{Mg} na biotita da amostra LR09. n) X_{Mg} na clorita da amostra LR09. o) teor de Si⁴⁺ na clorita da amostra LR09. p) X_{An} no feldspato da amostra LR09. X_{Fe} = Fe/Mg+Fe e X_{Mg} = Mg/Mg+Fe.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Quadro 4 - Variação de teor do centro para a borda dos porfiroblastos de granada.

	Núcleo	Borda
Almandina	0.55 – 0.67	0.65 - 0.78
Piropo	0.06 – 0.08	0.08 – 0.11
Espessartita	0.15 – 0.25	0.01 – 0.15
Grossulária	0.11 – 0.14	0.07 – 0.11

6.3.2. Muscovita

A muscovita em sua maior parte é homogênea, conforme observado nos mapas quantitativos (Figura 11a, 11b, 11c, 11d, 11e, 11f, 11g e 11h). O X_{Fe} varia de 0.40 a 0.52, com a amostra LR54 apresentando maiores valores comparado com a LR09. O teor de Si^{+4} é de aproximadamente 3.1 a.p.f.u. e o de Na^{+} varia de 0.1 a 0.2 a.p.f.u.

6.3.3. Biotita

A biotita também é bastante homogênea, com X_{Mg} chegando até 0.52, como visto nas Figuras 11i e 11m. Os maiores valores se encontram nas biotitas mais distantes dos porfiroblastos de granada.

6.3.4. Clorita

Assim como as outras duas micas, a clorita também é homogênea, com valor de X_{Mg} de 0.48 (Figura 11j e 11n). Em relação ao teor de Si^{+4} , apresenta valor próximo de 0.65 a.p.f.u. (Figura 11k e 11o).

6.3.5. Feldspato

O oligoclásio tem variação de X_{An} entre 0.12 e 0.19, conforme observado nas Figura 11l e 11p. Na amostra LR54 é mais cálcico e predomina porções com valores acima de 0.16, enquanto na LR09 há um predomínio dos valores menores.

6.4. Bingo-Antidote

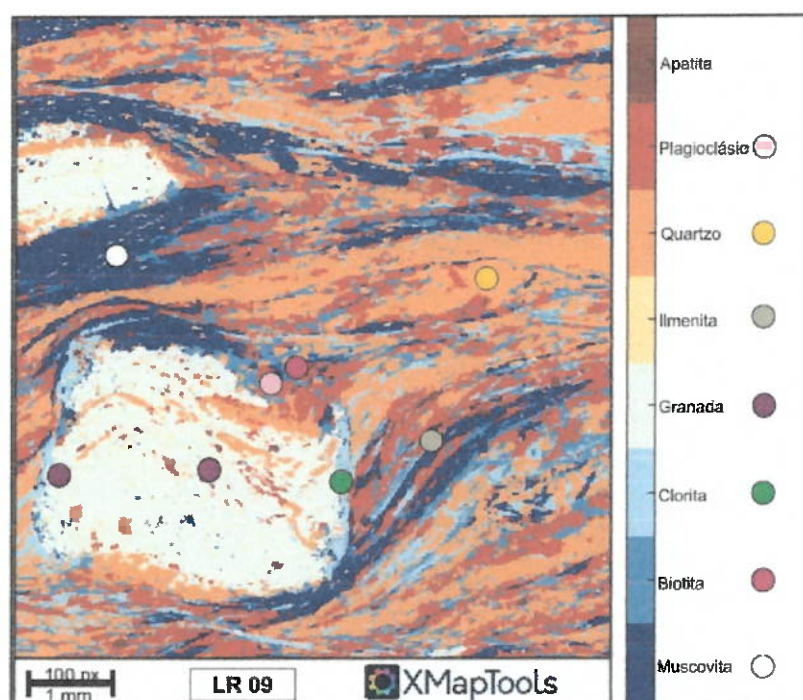
Foram obtidos resultados satisfatórios na modelagem apenas da amostra LR09. Devido a isso, a continuidade dos resultados será focada nesta amostra.

A partir do mapa quantitativo agrupado de todos os minerais (o *merge-map*), foi possível utilizar o Bingo-Antidote, o qual realiza a modelagem através do Theriak

(CAPTAIN & BROWN, 1987). Foi selecionado o banco de dados termodinâmicos *tcds62c* (WHITE et al., 2014) e os elementos Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, Si e Ti compõem o sistema químico escolhido.

Com isso definido, foi selecionada a área do mapa total para caracterizar a composição química local da amostra (local bulk composition) e em seguida pontos específicos para cada mineral (Figura 12). Por se apresentar zonada, na granada foi escolhido um ponto no centro para a análise do pico metamórfico e um ponto em sua borda para a associação com a clorita e definição das condições de retrometamorfismo.

Figura 12 - Mapa de fases minerais com. Os pontos coloridos correspondem a área selecionada de cada mineral utilizado na modelagem.



Fonte: elaborada pelo autor.

Portanto, o resultado de duas modelagens será apresentado a seguir, uma correspondente a assembleia mineral do pico metamórfico composta por granada + muscovita + biotita + plagioclásio + quartzo e outra correspondente ao retrometamorfismo, incluindo a clorita na análise.

Foi selecionado a *Recipe 1* no programa Antidote para uma otimização global das condições de *P* e *T*, a partir do modelo avaliado pelo Bingo. Os valores obtidos

de P e T após modelagem pelo *antidote* foram de 605°C e 0,74 GPa na análise utilizando a paragénese granada + muscovita + biotita + plagioclásio + quartzo, correspondendo ao pico metamórfico. O Quadro 5 respectivos valores para os fatores Q_{asm} , Q_{vol} , Q_{cmp} e Q_{total} .

Quadro 5 - Valores de qualidade do antidote para a paragénese do pico metamórfico.

Q_{asm}	83 %
Q_{vol}	90.30 %
Q_{cmp}	77.32 %
Q_{total}	74.34 %

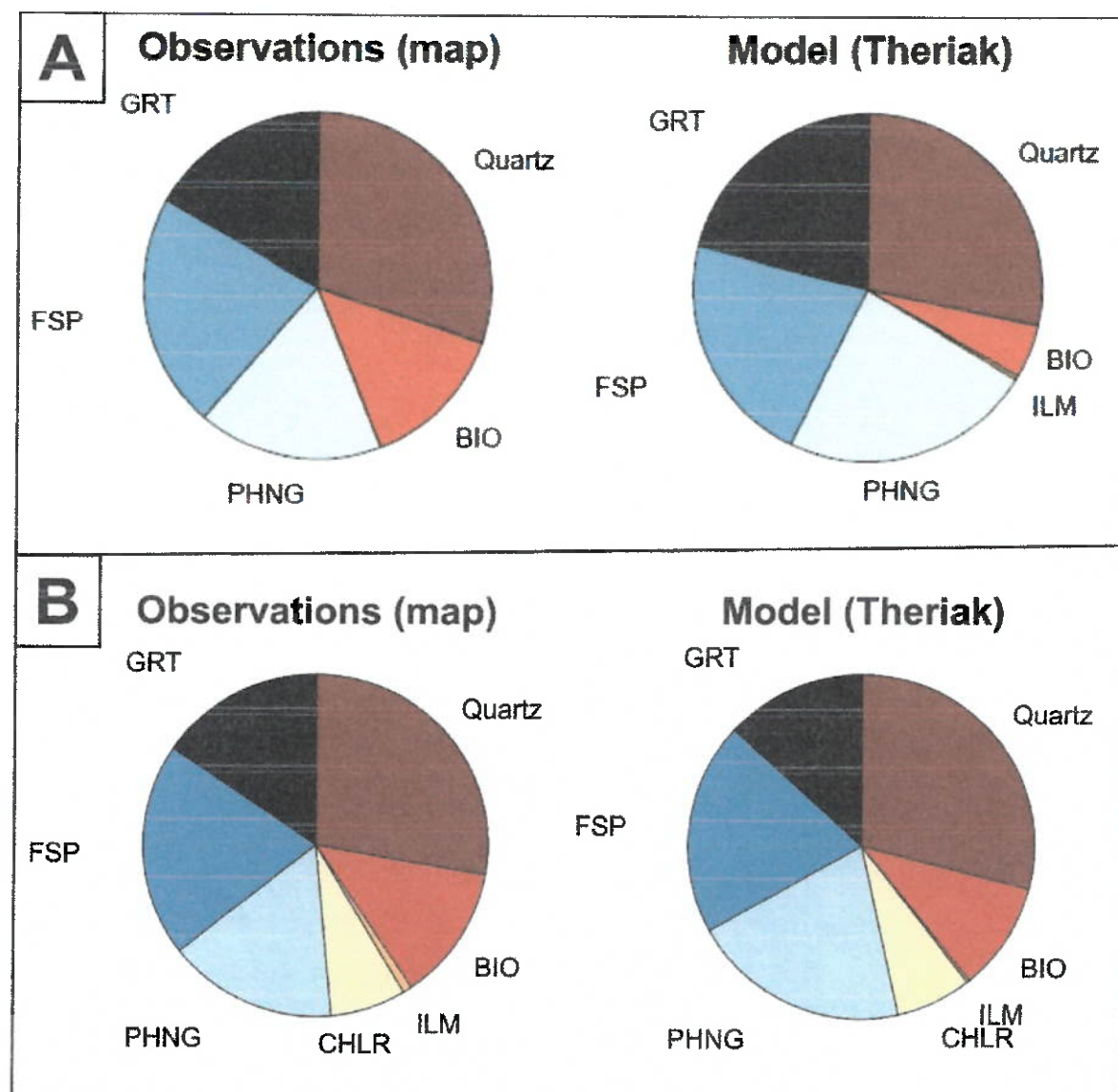
Já para a modelagem incluindo a clorita, apresentando condições de retrometamorfismo, o valor de P e T foram de 554 e 0.44 GPa, com os seguintes valores de Q_{asm} , Q_{vol} , Q_{cmp} e Q_{total} (Quadro 6).

Quadro 6 - Valores de qualidade do antidote para a paragénese de retrometamorfismo.

Q_{asm}	100 %
Q_{vol}	94.48 %
Q_{cmp}	71.20 %
Q_{total}	88.56 %

Os gráficos de setores ilustram a comparação entre os dados obtidos com a proporção modal observada na amostra e a modelada em ambas as modelagens (Figura 13).

Figura 13 - Gráficos de setores comparando os dados obtidos com a proporção modal observada e a modelada. A) Pico metamórfico. B) Retrometamorfismo.



Fonte: Confeccionada a partir do software Bingo-Antidote.

7. Discussão

Analisando primeiramente os fatores qualidade, percebe-se que a compatibilidade entre o observado em mapa e o resultado do modelo foi de 100% no fator de qualidade referente à assembleia mineral (Qasm) para a modelagem referente ao retrometamorfismo. Sendo este o valor procurado durante o período de execução deste trabalho.

Em relação a modelagem para o pico metamórfico, o maior Qasm obtido foi de 83%, na modelagem sem a definição da fase da ilmenita. Esperava-se que ao

considerar a ilmenita o valor também chegasse a 100%, porém, isso não aconteceu e o resultado foi inferior ao anteriormente obtido. Futuramente, novas modelagens com a paragênese mineral do pico metamórfico podem ser feitas com o objetivo de uma compatibilidade ainda maior.

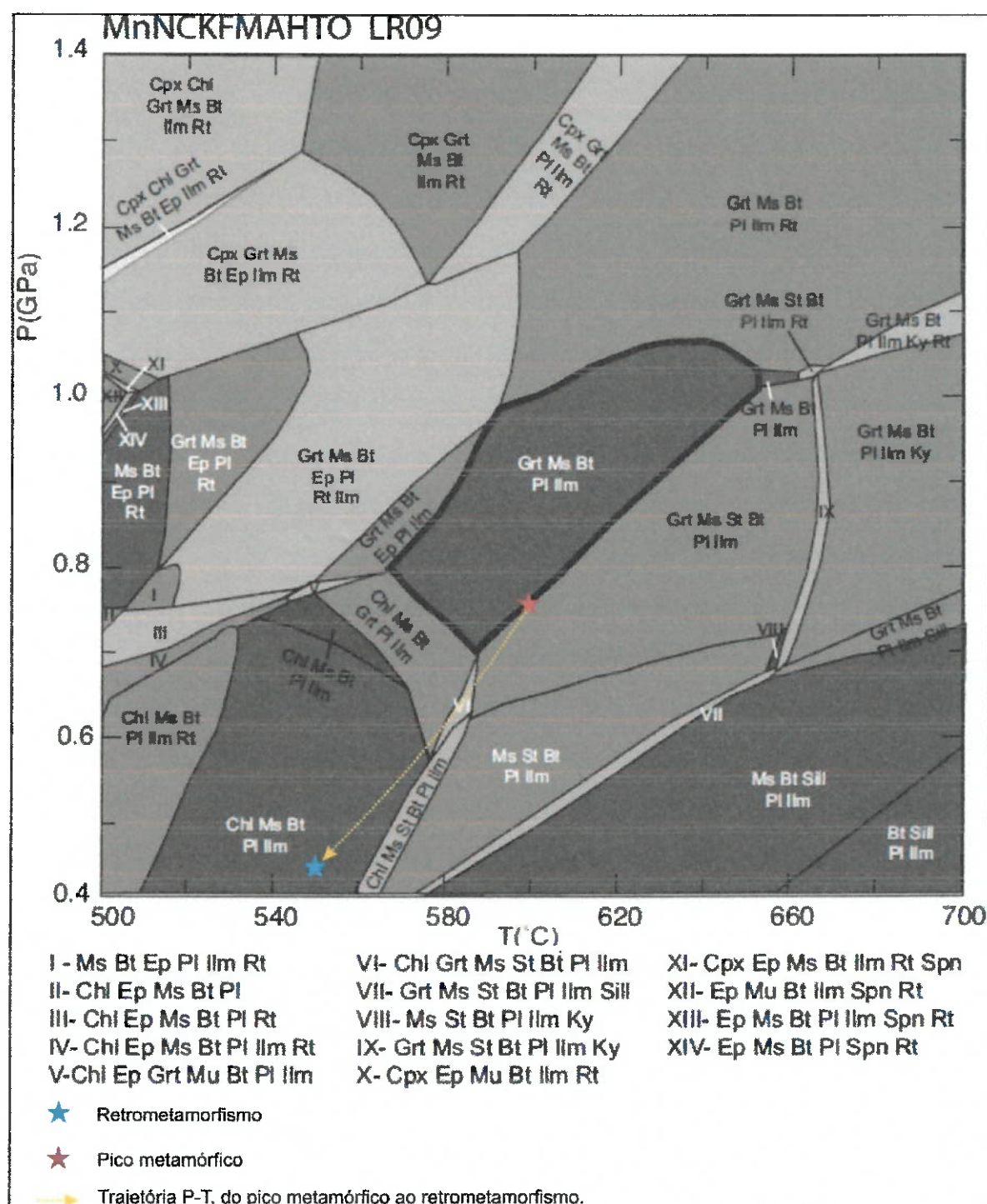
Os valores de Q_{vol} , Q_{cmp} e Q_{total} , também apresentaram foram positivos, todos acima de 74%. É importante destacar que esses foram os melhores valores obtidos ao longo das modelagens realizadas.

A respeito dos valores de P e T para a paragênese granada + muscovita + biotita + plagioclásio, associadas ao pico metamórfico, foi obtido 605°C e 0,74 GPa. Com essas condições, pode-se assumir que o metamorfismo atuante na Unidade Santo Antônio chegou à fácies anfibolito. Fumes et al. (2021) classifica o metamorfismo da unidade à fácies anfibolito de alta pressão, porém, destacando que o núcleo da granada registra condições de *prograde* de 540°C e 0,9 GPa respectivamente, com pico metamórfico chegando a 630°C e 1 GPa. Os valores de P e T obtido nesta modelagem iterativa ficou abaixo do esperado, porém, plotando os valores no diagrama de fase isoquímico de Fumes et al., (2021), percebe-se que este se encontra no limite do campo da assembleia mineral identificada neste trabalho e no dos autores supracitados (Figura 14).

Os valores 554°C e 0,44 GPa obtidos na modelagem com a clorita, correspondem ao retrometamorfismo em fácies anfibolito de baixa pressão. Fumes et al. (2021) classifica o retrometamorfismo com a cristalização da clorita em T abaixo de 580°C e P abaixo de 0,75 GPa. No diagrama de fase isoquímico dos autores supracitados, o resultado obtido nesta modelagem se associa ao campo da paragênese composta por clorita + muscovita + biotita + plagioclásio + Ilmenita. Devido ao resultado desta modelagem não estar inserido no campo com a granada, percebe-se que os valores alcançados estão ligeiramente abaixo do esperado.

A variação entre os resultados obtidos neste trabalho e o de Fumes et al. (2021) podem ser produto das diferentes análises. No de Fumes et al. (2021) foi realizado análise de rocha total, enquanto o no presente trabalho a análise foi local, em um domínio em lâmina polida.

Figura 14 - Diagrama de fase isoquímico de pressão-temperatura (P - T) para amostra LR09. Os resultados da modelagem termodinâmica iterativa realizada no Bingo-Antidote estão plotados, junto com a trajetória P - T .



Fonte: Retirado e modificado de FUMES et al., 2021.

8. Conclusão

O trabalho teve seu objetivo alcançado, encontrando condições de P - T a partir da modelagem termodinâmica iterativa com o software Bingo-Antidote, para o metamorfismo das rochas da Unidade Santo Antônio, na região da Nappe de Luminárias.

Os valores de P - T obtidos para o pico metamórfico foi de 0,74 GPa e 605°C enquanto para o retrometamorfismo foi de 0,44 GPa e 554°C. Apesar dos resultados estarem um pouco abaixo do esperado, pode-se considerá-los satisfatórios, classificando o pico metamórfico da região em fácies anfibolito assim como no trabalho de Fumes et al. (2021).

Futuras modelagens com as amostras aqui apresentadas utilizando o *software* Bingo-Antidote podem resultar em valores mais refinados de P - T .

Por fim, é possível inferir que a modelagem termodinâmica iterativa a partir do *software* Bingo-Antidote é uma alternativa viável para a otimização e determinação das condições P - T , além de apresentar grande potencial no campo da termodinâmica.

9. Referências

- ALMEIDA, F. F. M. et al., 1977. Províncias estruturais brasileiras. Simpósio de Geologia do Nordeste, vol. 8, n. 1977, p. 363-391.
- ARAÚJO FILHO, José de Oswaldo. the Pirineus Syntaxis: an Example of the Intersection of Two Brasiliano Fold-Thrust Belts in Central Brazil and Its Implications for the Tectonic Evolution of Western Gondwana. **Revista Brasileira de Geociências**, [s. l.], v. 30, n. 1, p. 144–148, 2000.
- CAMPOS NETO, Mario da Costa *et al.* Migração de orógenos e superposição de orogêneses: um esboço da colagem brasileira no Sul do Cráton do São Francisco, SE - Brasil. **Geologia USP. Série Científica**, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 13–40, 2004.
- CAMPOS NETO, Mario da Costa *et al.* Orogen migration and tectonic setting of the Andrelândia Nappe system: An Ediacaran western Gondwana collage, south of São Francisco craton. **Journal of South American Earth Sciences**, [s. l.], v. 32, n. 4, p. 393–406, 2011.
- CAMPOS NETO, Mario da Costa *et al.* Sistema de nappes Andrelândia, setor oriental: litoestratigrafia e posição estratigráfica. **Revista Brasileira de Geociências**, [s. l.], v. 37, n. S4, p. 47–60, 2007.
- CAMPOS NETO *et al.* Structural and metamorphic control on the exhumation of high-P granulites: The Carvalhos Klippe example, from the oriental Andrelândia Nappe System, southern portion of the Brasília Orogen, Brazil. **Precambrian Research**, [s. l.], v. 180, n. 3–4, p. 125–142, 2010.
- CAMPOS NETO; CABY, Renaud. Neoproterozoic high-pressure metamorphism and tectonic constraint from the nappe system south of the Sao Francisco Craton, southeast Brazil. **Precambrian Research**, [s. l.], v. 97, n. 1–2, p. 3–26, 1999.
- DARDENNE. **The Sierras Pampeanas of Argentina: Paleozoic building of the southern proto-Andes**. [S. l.: s. n.], 2000.
- DE CAPITANI, Christian; BROWN, Thomas H. The computation of chemical equilibrium in complex systems containing non-ideal solutions. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 51, n. 10, p. 2639-2652, 1987.
- DUESTERHOEFT, Erik; LANARI, Pierre. Iterative thermodynamic modelling—Part 1:

9. Referências

- ALMEIDA, F. F. M. et al., 1977. Províncias estruturais brasileiras. Simpósio de Geologia do Nordeste, vol. 8, n. 1977, p. 363-391.
- ARAÚJO FILHO, José de Oswaldo. the Pirineus Syntaxis: an Example of the Intersection of Two Brasiliano Fold-Thrust Belts in Central Brazil and Its Implications for the Tectonic Evolution of Western Gondwana. **Revista Brasileira de Geociências**, [s. l.], v. 30, n. 1, p. 144–148, 2000.
- CAMPOS NETO, Mario da Costa *et al.* Migração de orógenos e superposição de orogêneses: um esboço da colagem brasileira no Sul do Cráton do São Francisco, SE - Brasil. **Geologia USP. Série Científica**, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 13–40, 2004.
- CAMPOS NETO, Mario da Costa *et al.* Orogen migration and tectonic setting of the Andrelândia Nappe system: An Ediacaran western Gondwana collage, south of São Francisco craton. **Journal of South American Earth Sciences**, [s. l.], v. 32, n. 4, p. 393–406, 2011.
- CAMPOS NETO, Mario da Costa *et al.* Sistema de nappes Andrelândia, setor oriental: litoestratigrafia e posição estratigráfica. **Revista Brasileira de Geociências**, [s. l.], v. 37, n. S4, p. 47–60, 2007.
- CAMPOS NETO *et al.* Structural and metamorphic control on the exhumation of high-P granulites: The Carvalhos Klippe example, from the oriental Andrelândia Nappe System, southern portion of the Brasília Orogen, Brazil. **Precambrian Research**, [s. l.], v. 180, n. 3–4, p. 125–142, 2010.
- CAMPOS NETO; CABY, Renaud. Neoproterozoic high-pressure metamorphism and tectonic constraint from the nappe system south of the Sao Francisco Craton, southeast Brazil. **Precambrian Research**, [s. l.], v. 97, n. 1–2, p. 3–26, 1999.
- DARDENNE. **The Sierras Pampeanas of Argentina: Paleozoic building of the southern proto-Andes**. [S. l.: s. n.], 2000.
- DE CAPITANI, Christian; BROWN, Thomas H. The computation of chemical equilibrium in complex systems containing non-ideal solutions. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 51, n. 10, p. 2639-2652, 1987.
- DUESTERHOEFT, Erik; LANARI, Pierre. Iterative thermodynamic modelling—Part 1:

A theoretical scoring technique and a computer program (Bingo-Antidote). **Journal of Metamorphic Geology**, [s. l.], v. 38, n. 5, p. 527–551, 2020.

FRUGIS, Gabriella Labate; NETO, Mario da Costa Campos; LIMA, Rafael Bittencourt. Eastern Paranapanema and southern São Francisco orogenic margins: Records of enduring Neoproterozoic oceanic convergence and collision in the southern Brasília Orogen. **Precambrian Research**, v. 308, p. 35-57, 2018.

FUMES, Regiane Andrade *et al.* Metamorphic modeling and petrochronology of metapelitic rocks from the Luminárias Nappe, southern Brasília belt (SE Brazil). **Brazilian Journal of Geology**, [s. l.], v. 49, n. 2, 2019.

FUMES, Regiane A. *et al.* The potential for using metagreywacke to study metamorphism of amphibolite facies conditions: a comparison study within the Luminárias Nappe, Southern Brasília Orogen (Southeastern Brazil). **Mineralogy and Petrology**, p. 1-16, 2021.

HASUI, YOCITERU; ALMEIDA, FERNANDO FLAVIO MARQUES DE. Boletim da sociedade brasileira de geologia. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, [s. l.], v. 16, p. 134, 1970.

KRETZ, Ralph. Symbols for rock-forming minerals. **American mineralogist**, v. 68, n. 1-2, p. 277-279, 1983.

KUSTER, Klaus *et al.* The Neoproterozoic Andrelândia group: Evolution from an intraplate continental margin to an early collisional basin south of the São Francisco craton, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, [s. l.], v. 102, n. May, p. 102666, 2020.

LANARI, P., Rolland, Y., Schwartz S., Vidal, O., Guillot, S., Tricart, P., Dumont, T. (2014) P-T-t estimation of syn-kinematic strain in low-grade quartz-feldspar bearing rocks using thermodynamic modeling and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating techniques: example of the Plan-de-Phasy shear zone unit (Briançonnais Zone, Western Alps). **Terra Nova**, 26, 130-138.

LANARI, Pierre *et al.* XMapTools: A MATLAB®-based program for electron microprobe X-ray image processing and geothermobarometry. **Computers & Geosciences**, v. 62, p. 227-240, 2014.

LANARI, Pierre et al. An inverse modeling approach to obtain P–T conditions of metamorphic stages involving garnet growth and resorption. **European Journal of Mineralogy**, v. 29, n. 2, p. 181–199, 2017.

LANARI, Pierre; DUESTERHOEFT, Erik. Modeling metamorphic rocks using equilibrium thermodynamics and internally consistent databases: Past achievements, problems and perspectives. **Journal of petrology**, v. 60, n. 1, p. 19–56, 2019.

MARIMON, Rodrigo S. et al. Provenance of passive-margin and syn-collisional units: Implications for the geodynamic evolution of the Southern Brasília Orogen, West Gondwana. **Sedimentary Geology**, v. 413, p. 105823, 2021.

PACIULLO, F.V.P., Trouw, R.A.J., Ribeiro, A., 2003a. Geologia da Folha Andrelândia. In: In: Pedrosa-Soares, A.C., Noce, C.M., Trouw, R.A.J., Heilbron, M. (Eds.), Geologia e Recursos Minerais do Sudeste Mineiro, vol. 1. Projeto Sul de Minas, pp. 84–120.

PETERNEL, RODRIGO; TROUW, RUDOLPH ALLARD JOHANNES; SCHMITT, RENATA DA SILVA. Interferência entre duas faixas móveis neoproterozóicas: o caso das faixas Brasília e Ribeira no sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, [s. l.], v. 35, n. 3, p. 297–310, 2005.

PIMENTEL, Márcio Martins; JOST, hardy; FUCK, Reinhardt Adolfo. Cap XXI - O EMBASAMENTO DA FAIXA BRASÍLIA E O ARCO MAGMÁTICO DE GOIÁS. **Ufop**, [s. l.], p. 673, 2004.

RIBEIRO, ANDRÉ *et al.* Evolução Das Bacias Proterozóicas E O Termo-Tectonismo Brasileiro Na Margem Sul Do Cráton Do São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, [s. l.], v. 25, n. 4, p. 235–248, 1995.

SILVA, Mauricio. Modelamento metamórfico de rochas das fácies xisto-verde e anfibolito com o uso de pseudoseções: exemplo das rochas da Klippe Carrancas, sul de Minas Gerais. [s. l.], p. 138, 2010.

Trouw RA, Ribeiro A, Paciullo FVP (1980) Evolução Estrutural e Metamórfica de uma área a SE de Lavras - Minas Gerais. In: Anais do XXXI Congresso Brasileiro de Geologia, Balneário de Camboriú, Santa Catarina. Balneário de Camburiú

Trouw RAJ, Ribeiro A, Paciullo FVP (1983) Geologia Estrutural do Grupos São João del Rei, Carrancas e Andrelândia, Sul de Minas Gerais. *An Acad Bras Cienc* 55:71–87

Trouw, R.A.J., Heilbron, M., Ribeiro, A., Paciullo, F., Valeriano, C.M., Almeida, J.C.H., Tupinamba, M., Andreis, R.R., 2000. The central segment of the Ribeira belt, in: Tectonic Evolution of South America. 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro, pp. 287-310.

TROUW, Rudolph A.J.; TAVARES, Felipe M.; ROBYR, Martin. Rotated garnets: a mechanism to explain the high frequency of inclusion trail curvature angles around 90° and 180°. **Journal of Structural Geology**, [s. l.], v. 30, n. 8, p. 1024–1033, 2008.

VALERIANO, C. M. *et al.* **São Francisco Craton, Eastern Brazil**. [S. l.: s. n.], 2017. *E-book*.

VALERIANO, Claudio M. *et al.* Tectonic evolution of the Brasília Belt, Central Brazil, and early assembly of Gondwana. **Geological Society Special Publication**, [s. l.], v. 294, p. 197–210, 2008.

WESTIN, Alice; CAMPOS NETO, Mario Da Costa. Provenance and tectonic setting of the external nappe of the Southern Brasília Orogen. **Journal of South American Earth Sciences**, [s. l.], v. 48, p. 220–239, 2013.

WHITE, R. W. *et al.* New mineral activity–composition relations for thermodynamic calculations in metapelitic systems. **Journal of Metamorphic Geology**, v. 32, n. 3, p. 261-286, 2014.

APÊNDICE I – Descrição das Lâminas petrográficas

Amostra LR54

Nome da rocha: Granada – muscovita – biotita xisto feldspático

DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA

Rocha de coloração cinza a esverdeada, com uma foliação marcante, com bandas micáceas (esverdeadas) e bandas quartzosas (acinzentadas), sendo a foliação marcada principalmente pela primeira. Apresenta porfiroblastos de granada rotacionados. Ao analisar esta amostra de mão é notável a possibilidade da presença de no mínimo duas fases deformacionais, pelo fato, das camadas da foliação estarem crenulada (Figura 6D).

DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA

Estrutura: A rocha apresenta foliação, correspondendo a uma clivagem e crenulação, a qual é marcada principalmente pela biotita e muscovita. Alternando-se entre camadas micáceas e camadas contendo quartzo e plagioclásio.

Textura: Lepdoblástica. Pelo predomínio de minerais micáceos na lâmina pode se definir a textura da rocha como lepdoblástica. Em relação a textura Porfiroblásticas, esta é marcada pelos cristais de granada presentes na lâmina.

Composição modal:

Biotita: 25% Quartzo: 30% Plagioclásio: 14%

Muscovita: 20% Granada: 4% Clorita: 5%

Apatita: 2% Ilmenita: traço

Descrição dos Minerais

Biotita: A biotita apresenta cristais subedrais de tamanho chegando a 1mm e hábito micáceo, com orientação preferencial segundo a foliação. É caracterizada pelo seu pleocroísmo de verde a marrom. Apresenta em sua maior parte contato retilíneo entre si e com a muscovita. Com o quartzo apresenta contato lobular, serrilhado e as vezes retilíneos. Ocorre por toda a lâmina, porém com predomínio em sua porção inferior.

Muscovita: Apresenta cristais subedrais de tamanho menores que 1mm, hábito micáceo com orientação preferencial segundo a foliação. É incolor, com pleocroísmo ausente. Apresenta contato retilíneo entre si e com a biotita, com o quartzo, plagioclásio e granada é retilíneo e serrilhado. Ocorre por toda a Lâmina, com predomínio na porção superior próximo aos porfiroblastos de granada.

Quartzo: Apresenta cristais anedrais de tamanho chegando a no máximo 0,5mm, incolores, com extinção ondulante. Em relação ao contato, entre si e com o plagioclásio é lobular a serrilhado, já com as micas variam de retilíneo e serrilhado. Ocorre por toda a lâmina, incluindo incluso na granada. Há a presença também de quartzos recristalizados.

Granada: A granada apresenta cristais subedrais, de tamanho de 4mm. É incolor, porém, com um relevo alto positivo. É caracterizado como um porfiroblásto rotacionado, com textura poiquiloblásticas, definido como sin-tectônico, pois as inclusões de quartzo, plagioclásio e apatita marcam a foliação dentro do cristal, representando o padrão curvo, ocorrendo em continuidade a foliação externa, com sombras de pressão composta por quartzo, clorita e plagioclásio (Figura 8A e 8B).

Plagioclásio: Apresenta cristais anedrais, incolores de tamanho menores que 0,5mm. Encontram-se mais alterados em comparação ao quartzo, apresentando bordas mais irregulares e algumas fraturas. Com contatos lobular entre si e com o quartzo e retilíneos com as micas. Ocorrendo por toda a lâmina, nas camadas quartzosas.

Clorita: É na forma de cristais tabulares, com pleocroísmo fraco em tons de verde, com cristais menores que 0,5mm. Apresenta contato serrilhado com a granada, lobular com o quartzo e retilíneo com as micas. Em algumas regiões da lâmina apresenta cristais com orientação semelhante a da biotita e muscovita, próximos a granada, nas sombras de pressão e bordejando o porfiroblasto ocorre sem orientação definida.

Apatita: Apresenta cristais subedrais, incolores, menores que 0,5 mm, com relevo moderado. É encontrado ao longo da lâmina como cristais isolados presentes tanto na matriz da rocha quanto no porfiroblasto de granada.

Ilmenita: mineral opaco encontrado por toda a lâmina.

Amostra LR09

Nome da Rocha: Granada – muscovita – biotita xisto feldspático

DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA

A rocha encontra-se foliada, crenulada, marcando ao menos duas fases deformacionais. A foliação é marcada principalmente pela biotita e muscovita. Alternando-se entre camadas micáceas e camadas contendo predomínio de quartzo (Figura 6B).

DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA

Estrutura: A rocha apresenta foliação, correspondendo a uma clivagem e crenulação, a qual é marcada principalmente pela biotita e muscovita. Alternando-se entre camadas micáceas e camadas contendo quartzo e plagioclásio.

Textura: Lepidoblástica. Pelo predomínio de minerais micáceos na lâmina pode se definir a textura da rocha como lepidoblástica. Em relação a textura Porfiroblásticas, esta é marcada pelos cristais de granada presentes na lâmina.

Composição Modal

Biotita: 25% Quartzo: 35% Plagioclásio: 14%

Muscovita: 17% Granada: 8% Clorita: 6%

Apatita: 1% Ilmenita: 1%

Descrição dos Minerais

Biotita: A biotita apresenta cristais subedrais de tamanho chegando a 1mm e hábito micáceo, com orientação preferencial segundo a foliação. É caracterizada pelo seu pleocroísmo em tons de verde e também de verde a marrom. Apresenta em sua maior parte contato retilíneo entre si e com a muscovita. Com o quartzo apresenta contato lobular, serrilhado e as vezes retilíneos. Ocorre homogeneamente por toda a lâmina

Muscovita: Apresenta cristais subedrais de tamanho chegando até 0,5mm, hábito micáceo com orientação preferencial segundo a foliação. É incolor, com

pleocroísmo ausente. Apresenta contato retilíneo entre si e com a biotita, com o quartzo, plagioclásio e granada é retilíneo e serrilhado. Ocorre homogeneamente por toda a lâmina, nas camadas de predomínio micáceo, associado a biotita.

Granada: Apresenta três cristais anedrais, de tamanho de 2 a 4mm. É incolor, porém, com um relevo alto positivo. É caracterizado como um porfiroblásto rotacionado, com textura poiquiloblásticas, definido como sin-tectônico, pois as inclusões de quartzo, plagioclásio e apatita marcam a foliação dentro do cristal, representando o padrão curvo, ocorrendo em continuidade a foliação externa, com sombras de pressão composta por quartzo, clorita, biotita e plagioclásio (Figura 8). Os cristais desta lâmina (LR09), estão mais rotacionados e demarcados pela foliação do que o da Lâmina LR54.

Quartzo: Apresenta cristais anedrais de tamanho variando entre 0,1 a 1mm, incolores, com extinção ondulante. Em relação ao contato, entre si e com o plagioclásio é lobular, já com as micas variam de retilíneo e serrilhado. Ocorre por toda a lâmina, incluindo incluso na granada, e nas sombras de pressão. Há a presença também de quartzos recristalizados. Próximos a biotitas e Ilmenitas apresenta algumas crostas de ferro, resultados da oxidação das mesmas.

Plagioclásio: Apresenta cristais anedrais, incolores de tamanho menores que 0,5mm. Encontram-se mais alterados em comparação ao quartzo, apresentando bordas mais irregulares e algumas fraturas. Com contatos lobular entre si e com o quartzo, retilíneos com as micas e serrilhados a retilíneos com a granada. Ocorrendo por toda a lâmina, nas camadas quartzosas. Ocorre como inclusão em um dos cristais de granada, apresentando geminação (Lei da Albita).

Clorita: É na forma de cristais tabulares, com pleocroísmo fraco em tons de verde, com cristais menores 0,5 mm, porém próximo a granada chegam a 1mm. Apresenta contato serrilhado com a granada, lobular com o quartzo e retilíneo com as micas e granada. Em algumas regiões da lâmina apresenta cristais com orientação semelhante à da biotita, ocorre também bordeando as granadas em algumas destonando da orientação preferencial da foliação, sendo resultado da substituição desses minerais.

Apatita: Apresenta cristais subedrais, incolores, menores que 0,5 mm, com relevo moderado. É encontrado ao longo da lâmina como cristais isolados presentes tanto na matriz da rocha quanto nos porfiroblastos de granada.

Ilmenita: Mineral opaco encontrado por toda a lâmina, menores que 0,5 mm.

Amostra LR53

Nome da Rocha: Granada – muscovita – biotita xisto feldspático

DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA

Rocha de coloração acinzentada, com uma foliação marcante, com bandas micáceas (esverdeadas) e bandas quartzosas (acinzentadas), sendo a foliação marcada principalmente pela primeira. Apresenta cristais de granada de tamanho máximo de 3 mm. Ao analisar esta amostra de mão é notável a possibilidade da presença de no mínimo duas fases deformacionais, pelo fato, das camadas da foliação estarem crenulada.

DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA

Estrutura: A rocha apresenta foliação, correspondendo a uma clivagem e crenulação, a qual é marcada principalmente pela biotita e muscovita. Alternando-se entre camadas micáceas e camadas contendo quartzo e plagioclásio.

Textura: Lepdoblástica. Pelo predomínio de minerais micáceos na lâmina pode se definir a textura da rocha como lepdoblástica. Em relação a textura Porfiroblásticas, esta é marcada pelos cristais de granada presentes na lâmina.

Composição Modal

Biotita: 23% Quartzo: 30% Plagioclásio: 8%

Muscovita: 20% Granada: 8% Clorita: 7%

Ilmenita: 1% Apatita: traço Rutilo: traço

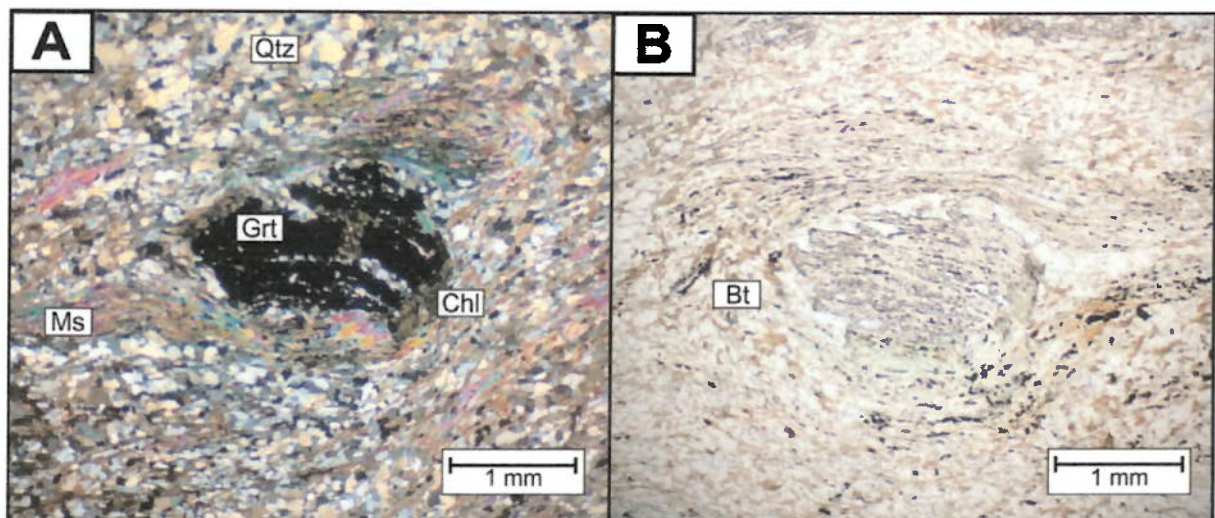
Descrição dos Minerais

Biotita: A biotita apresenta cristais subedrais de tamanho máximo de 0,5mm e hábito micáceo, com orientação preferencial segundo a foliação. É caracterizada pelo seu pleocroísmo de verde a marrom. Apresenta em sua maior parte contato retilíneo entre si e com a muscovita. Com o quartzo apresenta contato lobular, serrilhado e as vezes retilíneos. Ocorre homogeneamente por toda a lâmina

Muscovita: Apresenta cristais subedrais de tamanho chegando até 1 mm, hábito micáceo com orientação preferencial segundo a foliação. É incolor, com pleocroísmo ausente. Apresenta contato retilíneo entre si e com a biotita, com o quartzo, plagioclásio é retilíneo a serrilhado. Ocorre homogeneamente por toda a lâmina, nas camadas de predomínio micáceo, associado a biotita.

Granada: Apresenta cristais anedrais, de tamanho médio de 2mm. Em relação a coloração, os cristais estão róseo, porém, com um relevo alto positivo. É caracterizado como um porfiroblásto rotacionado, com textura poiquiloblásticas, definido como sin-tectônico, pois as inclusões de quartzo, plagioclásio e apatita marcam a foliação dentro do cristal, representando o padrão curvo, ocorrendo em continuidade a foliação externa, com sombras de pressão composta por quartzo, biotita e plagioclásio. As bordas dessas granadas estão marcadas pela substituição por clorita. A Figura abaixo contém um dos porfiroblastos de Granada encontrado na lâmina LR53.

Porfiroblasto de granada rotacionado e demais minerais.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quartzo: Apresenta cristais anedrais de tamanho chegando a 0,5mm, incolores, com extinção ondulante. Em relação ao contato, entre si e com o plagioclásio é lobular, já com as micas variam de retilíneo e serrilhado. Ocorre por toda a lâmina, incluindo incluso na granada, e nas sombras de pressão. Há a presença também de quartzos recristalizados.

Plagioclásio: Apresenta cristais anedrais, incolores, e tamanho médio de 0,2mm. Encontram-se mais alterados em comparação ao quartzo, apresentando bordas mais irregulares e algumas fraturas. Com contatos lobular entre si e com o quartzo, retilíneos com as micas e serrilhados a retilíneos com a granada. Ocorrendo por toda a lâmina, nas camadas quartzosas. Alguns cristais apresenta geminação (Lei da Albita).

Clorita: É na forma de cristais tabulares, com pleocroísmo fraco em tons de verde, com cristais menores que 0,5 mm, porém próximo a granada chegam a 1mm. Apresenta contato serrilhado com a granada, lobular com o quartzo e retilíneo com as micas e granada. Em algumas regiões da lâmina apresenta cristais com orientação semelhante a da biotita, ocorre também bordeando as granadas em algumas destonando da orientação preferencial da foliação, sendo resultado da substituição desses minerais.

Apatita: Apresenta cristais subedrais, incolores, com tamanho médio de 0,1 mm, com relevo moderado. É encontrado ao pontualmente na lâmina como cristais isolados presentes tanto na matriz da rocha quanto nos porfiroblastos de granada.

Rutilo: É encontrado na forma de cristais amarronzados a avermelhados, de relevo alto, com tamanho máximo de 0,1 mm. Ocorre pontualmente na lâmina.

Ilmenita: Mineral opaco encontrado por toda a lâmina, com tamanho médio de 0,5 mm.

Amostra LR17

Nome da Rocha: Granada – muscovita – biotita xisto feldspático

DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA

Rocha de coloração acinzentada, com uma foliação marcante, com bandas micáceas (esverdeadas) e bandas quartzosas (acinzentadas), sendo a foliação marcada principalmente pela primeira. Apresenta cristais de granada de até 3 mm. É possível reconhecer no mínimo duas fases deformacionais, pelo fato das crenulações presentes na rocha.

DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA

Estrutura: A rocha apresenta foliação, correspondendo a uma clivagem e crenulação, a qual é marcada principalmente pela biotita e muscovita. Alternando-se entre camadas micáceas e camadas contendo quartzo e plagioclásio.

Textura: Lepidoblástica. Pelo predomínio de minerais micáceos na lâmina pode se definir a textura da rocha como lepidoblástica. Em relação a textura Porfiroblásticas, esta é marcada pelos cristais de granada presentes na lâmina.

Composição Modal

Biotita: 28% Quartzo: 30% Plagioclásio: 10%

Muscovita: 23% Granada: 6% Clorita: 2%

Ilmenita: 1% Apatita: traço Rutilo: traço

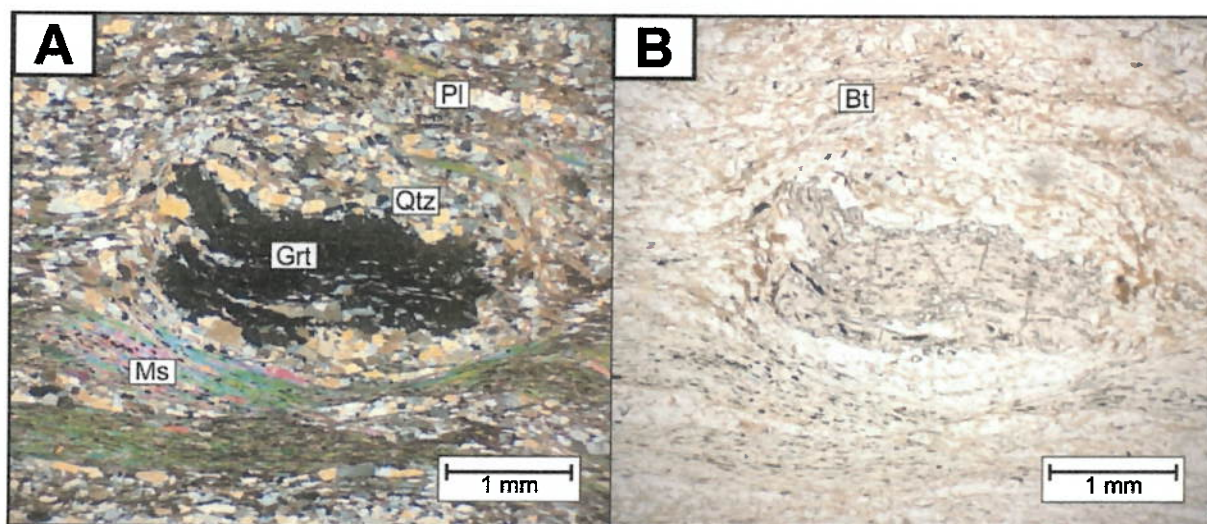
Descrição dos Minerais

Biotita: A biotita apresenta cristais subedrais de tamanho médio de 1mm e hábito micáceo, com orientação preferencial segundo a foliação. É caracterizada pelo seu pleocroísmo de verde claro a marrom. Apresenta em sua maior parte contato retilíneo entre si e com a muscovita. Com o quartzo apresenta contato lobular, as vezes retilíneos. Ocorre homoganeamente por toda a lâmina, inclusive nas sombras de pressão próximos as granadas.

Muscovita: Apresenta cristais subedrais de tamanho chegando até 2 mm em seu eixo maior, de hábito micáceo com orientação preferencial segundo a foliação. É incolor, com pleocroísmo ausente. Apresenta contato retilíneo entre si e com a biotita, com o quartzo, plagioclásio é retilíneo a serrilhado. Ocorre homogeneamente por toda a lâmina, nas camadas de predomínio micáceo, associado a biotita.

Granada: Apresenta cristais anedrais, de tamanho variando de 0,5 mm á 4 mm. Em relação a coloração, os cristais estão róseo, com um relevo alto positivo. É caracterizado como um porfiroblásto rotacionado, com textura poiquiblasticas, definido como sin-tectônico, pois as inclusões de quartzo, plagioclásio marcam a foliação dentro do cristal, representando o padrão curvo, ocorrendo em continuidade a foliação externa, com sombras de pressão composta por quartzo, biotita e plagioclásio, estando a biotita em muito maior concentração nas sombras de pressão desta lâmina do que nas anteriores. Comparado as outras três lâminas, esta apresenta bem menos clorita próxima a granada. A Figura abaixo contém um dos porfiroblastos de granadas encontrados nesta amostra.

Porfiroblasto de granada rotacionado e demais minerais.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quartzo: Apresenta cristais anedrais de tamanho chegando a 1 mm, incolores, com extinção ondulante. Em relação ao contato, entre si e com o plagioclásio é lobular, já com as micas variam de retilíneo e serrilhado. Ocorre por toda a lâmina, incluindo incluso na granada, e nas sombras de pressão. Há grande presença também de quartzos recrystalizados.

Plagioclásio: Apresenta cristais anedrais, incolores, e tamanho médio de 0,2 mm. Encontram-se mais alterados em comparação ao quartzo, apresentando bordas mais irregulares e algumas fraturas. Com contatos lobular entre si e com o quartzo, retilíneos com as micas e serrilhados a retilíneos com a granada. Ocorrendo por toda a lâmina, nas camadas quartzosas. Alguns cristais apresentam a geminação características de plagioclásios (Lei da Albita).

Clorita: É na forma de cristais tabulares, com pleocroísmo fraco em tons de verde, com cristais de 0,2 mm. Ocorre em concentração bem menor que as três lâminas anteriores.

Apatita: Apresenta cristais subedrais, incolores, com tamanho máximo de 0,2 mm, com relevo moderado. É encontrado ao pontualmente na lâmina.

Ilmenita: Mineral opaco encontrado por toda a lâmina, com tamanho médio de 0,5 mm.

Apêndice II - Análises química dos minerais metamórficos.

Amostra	LR09	LR09	LR09	LR09	LR09	LR09	LR09	LR09	LR09	LR09	LR09	LR09	LR09
Mineral	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt
Principais óxidos (wt%)													
SiO ₂	37.44	37.32	37.43	37.71	37.39	36.97	37.1	37.31	37.01	37.38	37.06	37.43	37.3
TiO ₂	0.07	0.07	0.1	0.12	0.11	0.19	0.18	0.18	0.12	0.13	0.16	0.13	0.1
Al ₂ O ₃	21.15	21.32	21.1	21.14	21	20.79	21	20.94	20.99	20.88	20.66	20.91	20.9
Cr ₂ O ₃	0.02	0.02	0.02	0.03	0.01	0.03	0.03	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.03
FeO	30.9	29.55	28.15	27.46	26.53	25.81	25.8	25.85	26.23	26.33	28.33	27.73	28.5
MnO	4.77	5.71	7.13	7.98	8.87	9.49	9.75	9.86	9.29	9.44	8.39	7.84	7.09
MgO	2.13	2.16	1.99	1.87	1.8	1.76	1.69	1.72	1.73	1.69	1.26	1.87	1.97
CaO	3.5	3.86	4.13	4.23	4.11	4.45	4.16	3.97	4.21	4.23	3.79	4.13	4.03
Na ₂ O	0.02	0.02	0.02	0.04	0	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02
K ₂ O	0	0	0	0	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	0.01
Total	100	100	100.1	100.6	99.83	99.52	99.7	99.86	99.61	100.1	99.68	100.1	99.9
Fórmulas minerais calculadas (apfu)													
Si	3.01	3.00	3.01	3.02	3.01	2.99	3.00	3.01	3.00	3.01	3.01	3.01	3.01
Ti	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Al	2.01	2.02	2.00	1.99	2.00	1.98	2.00	1.99	2.00	1.98	1.98	1.98	1.99
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ³	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ²	2.08	1.99	1.89	1.84	1.79	1.75	1.75	1.74	1.78	1.77	1.93	1.87	1.92
Mn	0.33	0.39	0.49	0.54	0.61	0.65	0.67	0.67	0.64	0.64	0.58	0.54	0.48
Mg	0.26	0.26	0.24	0.22	0.22	0.21	0.20	0.21	0.21	0.20	0.15	0.22	0.24
Ca	0.30	0.33	0.36	0.36	0.36	0.39	0.36	0.34	0.37	0.37	0.33	0.36	0.35
Na	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
O (presumido)	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Calculated end-member fractions (mol%)													
X _{Mg}	0.11	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10	0.11	0.11	0.10	0.07	0.11	0.11
X _{alm}	0.70	0.67	0.64	0.62	0.60	0.58	0.59	0.59	0.59	0.59	0.65	0.63	0.64
X _{sps}	0.11	0.13	0.16	0.18	0.20	0.22	0.22	0.23	0.21	0.22	0.19	0.18	0.16
X _{gr}	0.10	0.11	0.12	0.12	0.12	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11	0.12	0.12
X _{prp}	0.09	0.09	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.05	0.08	0.08

Amostra	LR09	LR09	LR09	LR09	LR09	LR09	LR09	LR09	LR09	LR09	LR09	LR54	LR54	LR54	LR54
Mineral	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt
Principais óxidos (wt%)															
SiO ₂	37.5	37.36	36.95	37.15	37	37.34	37.28	36.98	37.19	37.4	37.12	37.35	37.39	37.2	
TiO ₂	0.11	0.11	0.17	0.12	0.09	0.08	0.1	0.13	0.1	0.06	0.01	0.03	0.14	0.12	
Al ₂ O ₃	21	20.94	20.78	21.12	20.8	21.06	21.07	20.98	21.04	21	21.31	21.29	20.8	20.9	
Cr ₂ O ₃	0.01	0.02	0.05	0.02	0.04	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0	0	0.01	0.01	
FeO	28.8	27.97	27.8	27.52	27	27.38	26.54	26.68	27.52	29.7	33.87	33.34	29.3	28	
MnO	6.75	7.48	7.63	7.92	8.21	8.19	8.8	8.44	7.71	5.67	2.65	3.06	6.76	7.87	
MgO	2	1.96	1.92	1.93	1.92	1.92	1.82	1.85	1.97	2.23	2.02	2.25	1.72	1.58	
CaO	3.67	3.9	4.03	3.98	3.89	3.73	3.99	4.11	3.83	3.35	3.04	2.6	3.96	4.09	
Na ₂ O	0.03	0	0.01	0	0.01	0.01	0.04	0.01	0.02	0.03	0.05	0.02	0.02	0	
K ₂ O	0	0.01	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0.02	0	0	
Total	99.9	99.75	99.34	99.76	99	99.73	99.65	99.2	99.39	99.4	100.1	99.96	100.1	99.8	
Fórmulas minerais calculadas (apfu)															
Si	3.02	3.01	3.00	3.00	3.01	3.01	3.01	3.00	3.01	3.02	2.99	3.01	3.01	3.01	
Ti	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	
Al	1.99	1.99	1.99	2.01	2.00	2.00	2.01	2.01	2.01	2.00	2.03	2.02	1.98	2.00	
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Fe ³	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Fe ²	1.94	1.89	1.89	1.86	1.84	1.85	1.79	1.81	1.86	2.00	2.28	2.25	1.98	1.90	
Mn	0.46	0.51	0.53	0.54	0.57	0.56	0.60	0.58	0.53	0.39	0.18	0.21	0.46	0.54	
Mg	0.24	0.24	0.23	0.23	0.23	0.23	0.22	0.22	0.24	0.27	0.24	0.27	0.21	0.19	
Ca	0.32	0.34	0.35	0.34	0.34	0.32	0.35	0.36	0.33	0.29	0.26	0.23	0.34	0.35	
Na	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
O (presumido)	12.00	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
Frações calculadas do membro final (mol%)															
X _{Mg}	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.12	0.10	0.11	0.09	0.09	
X _{alm}	0.66	0.64	0.63	0.62	0.62	0.62	0.61	0.61	0.63	0.68	0.77	0.76	0.66	0.64	
X _{sps}	0.16	0.17	0.18	0.18	0.19	0.19	0.20	0.20	0.18	0.13	0.06	0.07	0.15	0.18	
X _{gr}	0.11	0.11	0.12	0.12	0.11	0.11	0.12	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.11	0.12	
X _{prp}	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.08	0.08	0.09	0.08	0.09	0.07	0.06	
X _{an}															

Amostra	LR54	LR54	LR54	LR54	LR54	LR54	LR09	LR09	LR09	LR09	LR09	LR09	LR09	LR09
Mineral	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp
Principais óxidos (wt%)														
SiO ₂	37.04	37.21	37.1	37.18	37.3	37.1	64.68	63.39	63.09	63.78	63.34	63.78	63.66	62.75
TiO ₂	0.11	0.23	0.18	0.19	0.17	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	20.94	20.78	20.8	20.93	20.9	21.1	22.50	22.66	22.97	22.55	22.58	22.35	22.68	23.13
Cr ₂ O ₃	0.03	0.03	0.02	0.02	0.05	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	27.62	26.29	26.3	26.74	26.86	31.3	0.11	0.09	0.05	0.13	0.12	0.11	0.10	0.04
MnO	8.28	9.09	8.93	8.96	8.75	4.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	1.52	1.5	1.41	1.49	1.54	1.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	4.32	4.14	4.67	4.39	4.55	4.16	2.96	3.41	3.68	3.28	3.35	3.24	3.38	3.98
Na ₂ O	0	0	0.01	0	0	0.01	10.06	9.60	9.28	9.77	9.63	9.85	9.63	9.21
K ₂ O	0.01	0	0	0	0.01	0	0.06	0.06	0.05	0.04	0.07	0.06	0.06	0.06
Total	99.87	99.27	99.5	99.9	100.1	99.9	100.37	99.21	99.12	99.55	99.09	99.39	99.51	99.17
Fórmulas minerais calculadas (apfu)														
Si	3.00	3.02	3.01	3.00	3.01	3.00	2.84	2.82	2.81	2.83	2.82	2.83	2.82	2.79
Ti	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	2.00	1.99	1.99	1.99	1.99	2.01	1.16	1.19	1.20	1.18	1.19	1.17	1.19	1.21
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ³	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ²	1.87	1.78	1.79	1.81	1.81	2.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.57	0.63	0.61	0.61	0.60	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.18	0.18	0.17	0.18	0.19	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.38	0.36	0.41	0.38	0.39	0.36	0.14	0.16	0.18	0.16	0.16	0.15	0.16	0.19
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.86	0.83	0.80	0.84	0.83	0.85	0.83	0.80
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
O (presumido)	12	12	12	12	12	12	8	8	8	8	8	8	8	8
Frações calculadas do membro final (mol%)														
X _{Mg}	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10								
X _{alm}	0.62	0.60	0.60	0.61	0.61	0.71								
X _{sps}	0.19	0.21	0.21	0.21	0.20	0.10								
X _{gr}	0.13	0.12	0.14	0.13	0.13	0.12								
X _{ppp}	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.08								
X _{an}							0.14	0.16	0.18	0.16	0.16	0.15	0.16	0.19

Amostra	LR09	LR09	LR09	LR09	LR09	LR09	LR09	LR09	LR09	LR09	LR09	LR09	LR09
Mineral	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp
Principais óxidos (wt%)													
SiO ₂	63.48	63.62	63.38	64.47	64.16	63.99	62.81	63.91	62.49	62.40	63.51	63.90	63.76
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	22.60	22.42	22.84	21.98	22.44	22.17	23.15	22.37	23.05	23.14	22.77	22.71	22.49
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.08	0.11	0.19	0.14	0.08	0.07	0.14	0.14	0.16	0.21	0.02	0.11	0.09
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	3.49	3.38	3.76	2.75	3.12	2.92	3.90	3.02	4.18	4.02	3.64	3.25	3.28
Na ₂ O	9.65	9.71	9.48	10.12	9.81	10.08	9.25	9.69	9.17	9.28	9.49	9.85	9.80
K ₂ O	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.07	0.05	0.05	0.06
Total	99.351	99.298	99.7	99.51	99.66	99.282	99.3	99.175	99.11	99.12	99.478	99.87	99.48
Fórmulas minerais calculadas (apfu)													
Si	2.82	2.83	2.81	2.85	2.84	2.84	2.79	2.84	2.79	2.78	2.82	2.82	2.83
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	1.18	1.17	1.19	1.15	1.17	1.16	1.21	1.17	1.21	1.22	1.19	1.18	1.18
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ³	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
Fe ²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.17	0.16	0.18	0.13	0.15	0.14	0.19	0.14	0.20	0.19	0.17	0.15	0.16
Na	0.83	0.84	0.81	0.87	0.84	0.87	0.80	0.83	0.79	0.80	0.82	0.84	0.84
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
O (presumido)	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Calculated end-member fractions (mol%)													
X _{Mg}													
X _{alm}													
X _{sps}													
X _{gr}													
X _{ppp}													
X _{an}	0.17	0.16	0.18	0.13	0.15	0.14	0.19	0.15	0.20	0.19	0.17	0.15	0.16

Amostra	LR09	LR09	LR09	LR09	LR09	LR09	LR09	LR09	LR09	LR54	LR54	LR54	LR54
Mineral	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp
Principais óxidos (wt%)													
SiO ₂	63.64	62.92	64.71	63.56	63.45	63.78	63.39	63.51	63.61	65.03	65.71	65.35	65.91
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	22.87	22.98	21.90	22.78	22.79	22.45	22.70	22.79	22.94	21.75	21.19	21.52	21.10
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.04	0.12	0.08	0.04	0.07	0.08	0.12	0.04	0.03	0.06	0.17	0.14	0.23
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	3.51	3.95	2.40	3.54	3.62	3.14	3.54	3.58	3.53	2.20	1.77	2.15	1.72
Na ₂ O	9.41	9.24	10.23	9.66	9.49	9.71	9.58	9.52	9.51	10.22	10.42	10.14	10.52
K ₂ O	0.06	0.07	0.07	0.05	0.06	0.06	0.04	0.05	0.06	0.04	0.06	0.06	0.06
Total	99.53	99.28	99.4	99.626	99.48	99.221	99.367	99.486	99.68	99.303	99.32	99.36	99.54
Fórmulas minerais calculadas (apfu)													
Si	2.82	2.80	2.86	2.82	2.81	2.83	2.82	2.82	2.81	2.88	2.90	2.89	2.91
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	1.19	1.21	1.14	1.19	1.19	1.18	1.19	1.19	1.20	1.13	1.10	1.12	1.10
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ³	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
Fe ²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.17	0.19	0.11	0.17	0.17	0.15	0.17	0.17	0.17	0.10	0.08	0.10	0.08
Na	0.81	0.80	0.88	0.83	0.82	0.84	0.83	0.82	0.82	0.88	0.89	0.87	0.90
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
O (presumido)	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Frações calculadas do membro final (mol%)													
X _{Mg}													
X _{alm}													
X _{sps}													
X _{gr}													
X _{prp}													
X _{an}	0.17	0.19	0.11	0.17	0.17	0.15	0.17	0.17	0.17	0.11	0.09	0.11	0.08

Amostra	LR54	LR54	LR54	LR54	LR54	LR54	LR54	LR54	LR54	LR54	LR54	LR54	LR54	LR54
Mineral	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp
Principais óxidos (wt%)														
SiO ₂	64.16	63.85	63.02	66.98	64.23	64.12	64.35	64.16	66.66	64.68	65.52	64.55	63.63	65.08
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	22.05	22.14	22.97	20.33	22.28	22.42	22.26	22.37	20.80	21.75	21.39	22.02	22.64	21.94
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.06	0.49	0.60	0.43	0.03	0.02	0.03	0.04	0.07	0.02	0.07	0.05	0.05	0.09
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	3.00	3.15	4.02	0.85	3.17	3.10	3.10	3.28	1.11	2.62	2.09	2.91	3.42	2.73
Na ₂ O	9.89	9.62	9.30	10.90	9.67	9.77	9.71	9.64	10.95	10.00	10.27	9.87	9.47	10.07
K ₂ O	0.06	0.07	0.08	0.05	0.05	0.06	0.05	0.05	0.04	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05
Total	99.22	99.3	100	99.5	99.4	99.5	99.5	99.54	99.63	99.1	99.4	99.45	99.3	100
Fórmulas minerais calculadas (apfu)														
Si	2.85	2.84	2.79	2.95	2.84	2.84	2.85	2.84	2.93	2.87	2.89	2.86	2.82	2.86
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	1.15	1.16	1.20	1.05	1.16	1.17	1.16	1.17	1.08	1.14	1.11	1.15	1.19	1.14
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ³	0.00	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.14	0.15	0.19	0.04	0.15	0.15	0.15	0.16	0.05	0.12	0.10	0.14	0.16	0.13
Na	0.85	0.83	0.80	0.93	0.83	0.84	0.83	0.83	0.93	0.86	0.88	0.85	0.82	0.86
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
O (presumido)	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Frações calculadas do membro final (mol%)														
X _{Mg}														
X _{alm}														
X _{sps}														
X _{gr}														
X _{prp}														
X _{an}	0.14	0.15	0.19	0.04	0.15	0.15	0.15	0.16	0.05	0.13	0.10	0.14	0.17	0.13

Amostra	LR54	LR54	LR54	LR54	LR54	LR54	LR54	LR54	LR54	LR54	LR54	LR54	LR54	LR54
Mineral	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp
Principais óxidos (wt%)														
SiO ₂	63.87	64.07	64.64	65.68	63.92	65.95	64.22	64.27	65.21	63.16	64.01	63.76	64.04	64.26
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	22.67	22.44	22.36	21.28	22.19	20.99	22.34	22.28	21.68	22.87	22.44	22.49	21.95	22.37
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.06	0.05	0.01	0.05	0.05	0.04	0.06	0.07	0.20	0.14	0.03	0.02	0.02	0.03
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	3.18	3.33	3.00	1.93	3.12	1.79	3.29	3.07	2.62	3.74	3.29	3.28	3.05	3.02
Na ₂ O	9.93	9.63	9.71	10.51	9.79	10.45	9.69	9.75	9.68	9.34	9.69	9.62	9.75	9.80
K ₂ O	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06
Total	99.8	99.57	99.77	99.5	99.12	99.27	99.65	99.5	99.44	99.3	99.51	99.22	98.86	99.54
Fórmulas minerais calculadas (apfu)														
Si	2.82	2.84	2.85	2.90	2.84	2.91	2.84	2.84	2.88	2.81	2.83	2.83	2.85	2.84
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	1.18	1.17	1.16	1.11	1.16	1.09	1.16	1.16	1.13	1.20	1.17	1.18	1.15	1.17
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ³	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.15	0.16	0.14	0.09	0.15	0.09	0.16	0.15	0.12	0.18	0.16	0.16	0.15	0.14
Na	0.85	0.83	0.83	0.90	0.84	0.90	0.83	0.84	0.83	0.80	0.83	0.83	0.84	0.84
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
O (presumido)	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Frações calculadas do membro final (mol%)														
X _{Mg}														
X _{alm}														
X _{sps}														
X _{gr}														
X _{prp}														
X _{an}	0.15	0.16	0.15	0.09	0.15	0.09	0.16	0.15	0.13	0.18	0.16	0.16	0.15	0.15

Amostra	LR54	LR54	LR54	LR54	LR54	LR54	LR54	LR54	LR54	LR54	LR54	LR54	LR54	LR54	LR54
Mineral	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp	Fsp
Principais óxidos (wt%)															
SiO ₂	64.22	63.93	63.84	64.33	63.89	65.57	65.96	64.44	65.37	65.99	64.58	64.31	64.46	64.32	64.94
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	22.53	22.31	22.74	22.24	22.39	21.20	21.01	22.82	21.51	21.26	22.53	22.43	22.22	22.51	21.65
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.05	0.06	0.08	0.14	0.14	0.07	0.10	0.08	0.08	0.05
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	3.20	3.33	3.63	2.88	3.30	2.02	1.70	3.37	2.27	1.91	3.14	3.24	3.12	3.27	2.52
Na ₂ O	9.74	9.58	9.47	9.86	9.52	10.54	10.66	9.65	10.23	10.40	9.86	9.76	9.74	9.66	10.04
K ₂ O	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	0.06	0.04	0.05	0.06	0.07	0.04	0.05	0.06	0.05	0.04
Total	99.76	99.23	99.7	99.38	99.17	99.4	99.4	100	99.6	99.8	100	99.9	99.7	99.9	99.2
Fórmulas minerais calculadas (apfu)															
Si	2.84	2.84	2.82	2.85	2.84	2.90	2.91	2.83	2.88	2.90	2.84	2.84	2.85	2.84	2.88
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	1.17	1.17	1.19	1.16	1.17	1.10	1.09	1.18	1.12	1.10	1.17	1.17	1.16	1.17	1.13
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ³	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.15	0.16	0.17	0.14	0.16	0.10	0.08	0.16	0.11	0.09	0.15	0.15	0.15	0.15	0.12
Na	0.83	0.83	0.81	0.85	0.82	0.90	0.91	0.82	0.88	0.89	0.84	0.84	0.83	0.83	0.86
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
O (presumid	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Frações calculadas do membro final (mol%)															
X _{Mg}															
X _{alm}															
X _{sps}															
X _{gr}															
X _{prp}															
X _{an}	0.15	0.16	0.17	0.14	0.16	0.10	0.08	0.16	0.11	0.09	0.15	0.15	0.15	0.16	0.12

[illegible]

Amostra	LR54	LR54	LR54	LR54	LR54	LR54	LR54	LR54
Mineral	Ms	Ms	Ms	Ms	Ms	Ms	Ms	Ms
Principais óxidos (wt%)								
SiO ₂	46.56	46.51	46.96	46.42	47.11	46.93	46.94	46.57
TiO ₂	0.30	0.31	0.28	0.28	0.31	0.44	0.32	0.26
Al ₂ O ₃	35.24	34.82	35.47	35.70	35.52	34.41	34.72	35.54
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	1.16	1.20	1.07	1.05	1.12	1.34	1.20	1.12
MnO	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
MgO	0.72	0.80	0.62	0.63	0.71	0.85	0.83	0.65
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	0.88	0.71	0.88	0.89	1.21	1.05	1.12	1.10
K ₂ O	9.21	9.56	9.04	9.50	8.94	9.12	8.96	9.07
	0	94.07	93.92	94.32	94.5	94.93	94.15	94.09
								94.31
Fórmulas minerais calculadas (apfu)								
Si	3.11	3.12	3.12	3.09	3.11	3.14	3.13	3.10
Ti	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01
Al	2.78	2.75	2.78	2.80	2.77	2.71	2.73	2.79
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ³	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ²	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.08	0.07	0.06
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.07	0.08	0.06	0.06	0.07	0.08	0.08	0.07
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.11	0.09	0.11	0.11	0.16	0.14	0.15	0.14
K	0.79	0.82	0.77	0.81	0.75	0.78	0.76	0.77
O (presumido)	11	11	11	11	11	11	11	11
Frações calculadas do membro final (mol%)								
X _{Mg}	0.53	0.54	0.51	0.52	0.53	0.53	0.55	0.51
X _{alm}								
X _{sps}								
X _{gr}								
X _{prp}								

XGrs= proporção de grossulária (Ca/(Ca+Mg+Mn+Fe)), XPy= proporção de piropo (Mg/(Mg+Mg+Mn+Fe)), XAlm= proporção de almandina (Fe/(Fe+Mg+Mn+Fe)), XSps= proporção de espessartita (Mn/(Mn+Mg+Mn+Fe)),