

Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Graduação em Geologia

MODELAGEM TERMODINÂMICA ITERATIVA DA UNIDADE SANTO ANTÔNIO  
NA REGIÃO DE CAMPANHA - MG

Emily Amanda Salvioni

Profa. Dra. Regiane Andrade Fumes (Orientadora)

Msc. Geól. João Victor Grella (Coorientador)

Rio Claro (SP)

2024

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

EMILY AMANDA SALVIONI

MODELAGEM TERMODINÂMICA ITERATIVA DA  
UNIDADE SANTO ANTÔNIO NA REGIÃO DE CAMPANHA  
- MG

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

Rio Claro - SP

2024

S185m

Salvioni, Emily Amanda

Modelagem Termodinâmica Iterativa da Unidade Santo Antônio na região de Campanha-MG / Emily Amanda Salvioni. -- Rio Claro, 2024

56 f. : 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: João Victor Grella

1. Petrologia Metamórfica. 2. Bingo-Antidote. 3. XMapTools. I. Título.

EMILY AMANDA SALVIONI

MODELAGEM TERMODINÂMICA ITERATIVA DA  
UNIDADE SANTO ANTÔNIO NA REGIÃO DE CAMPANHA  
- MG

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

Comissão Examinadora

Profa. Dra. Regiane Andrade Fumes

Prof. Dr. Rodrigo Prudente de Melo

Prof. Dr. George Luiz Luvizotto

Rio Claro, 27 de novembro de 2024.



Assinatura do(a) aluno(a)

assinatura do(a) orientador(a)

Dedico este trabalho à minha família, e a Antônio Galves (*in memoriam*) sem o seu apoio nada disso teria acontecido.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus e aos meus guias espirituais por sempre estarem comigo nessa caminhada, e que estiveram comigo nos momentos mais árduos e felizes dessa caminhada.

Agradeço a minha família que esteve comigo nesses cinco anos de graduação, em especial a minha mãe, meu irmão e meu pai, Keli, Murilo e Vagner, que sempre estiveram do meu lado me apoiando e não deixando que a peteca caísse nos momentos turbulentos da graduação. Obrigada por sempre estarem presentes na minha vida acadêmica e acreditando onde posso chegar. Sou grata a vocês.

Agradeço à Profa. Dra. Regiane Andrade Fumes, por ter depositado sua confiança, conversas, risadas, paciência e ter me orientado com tanta dedicação ao longo desse ano, esse trabalho se tornou mais leve tendo você como orientadora.

Ao Ms. Geol. João Victor Grella, por sempre estar presente no meu trabalho, por sempre estar à disposição para as minhas dúvidas e por bater cabeça comigo em alguns pontos que surgiram ao longo desse trabalho.

Ao meu namorado Leandro Luís Lino dos Santos, pelo companheirismo, paciência, amor incondicional, pelos abraços, choros, risadas, sorrisos e alegrias ao longo desses três anos em Rio Claro, a vida foi mais leve com você ao meu lado.

Agradeço à família Galves, por todos os incentivos, puxões de orelha, conversas, almoços e muito mais.

Agradeço aos mestrandos Vitória Regina Silva Machado e Otávio Passo Vieira, pelas conversas, risadas e trocas científicas ao longo deste trabalho.

Agradeço a todas as colegas de república que passaram com esses anos, em especial a minha veterana Isabela Dall'Acqua, obrigada por ter sido meu porto seguro, minha irmã de coração e minha fiel companheira de maluquices. Sempre irei me lembrar de você.

Agradeço a todos que de alguma forma, direto e indiretamente, contribuíram a minha ida para o 51º Congresso Brasileiro de Geologia, sem vocês isso nunca teria acontecido.

A autora agradece ao apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) no processo 102985/2024-3, vinculado ao projeto 405653/2022-0 - Instituto Geoatlântico.

*“Mudanças dão medo, mas o mundo é assim mesmo. E agora percebo que isso nos ajuda a ser quem devemos ser, mesmo que nos leve a novos lugares. A única coisa que não muda é o amor que compartilhamos.”*

*– A Era do Gelo: As Aventuras de Buck*

## RESUMO

Em estudos da petrologia metamórfica, a análise da química mineral é fundamental, com o objetivo de caracterizar as condições de pressão e temperatura, contribuindo com estudos de evolução geológica de uma determinada área. As metagrauvas são comuns em ambientes orogênicos, no qual ocorrem em diversos domínios da Faixa Brasília Meridional, estando associada a eventos colisionais ocorridos durante a formação do Gondwana Ocidental. O estudo tem como foco metagrauvas inseridas no contexto da Unidade Santo Antônio, na Nappe Andrelândia, com objetivo de determinar as condições de pressão e temperatura. Foram realizadas análises pontuais quantitativas utilizando a microsonda eletrônica (EMPA), e mapas composicionais e quantitativos foram gerados a partir dos dados obtidos, processados no software XMapTools. Através dos mapas quantitativos, pode-se determinar as condições metamórficas de pressão e temperatura, além da influência da deformação associada a Zona de Cisalhamento Três Corações através da modelagem termodinâmica iterativa. As rochas estudadas são o biotita-quartzo xisto feldspático com granada e cianita e o milonito de biotita-quartzo xisto feldspático com cianita e granada. Com base na modelagem termodinâmica iterativa utilizando o software Bingo-Antidote nos mapas quantitativos, foi definido as condições P-T com valores de 633°C e 0,67 GPa para a amostra não deformada, e 667 °C e 0,74 GPa para a deformada pela Zona de Cisalhamento Três Corações, sendo esses valores correspondentes ao pico metamórfico. Os resultados obtidos correspondem ao metamorfismo da Unidade Santo Antônio em fácies anfíbolito, concordantes com estudos anteriores. Afirma-se que o software Bingo-Antidote é uma possibilidade para a otimização de caracterização das condições P-T.

**Palavras-chaves:** XMapTools, Bingo-Antidote, Petrologia Metamórfica, Zona de Cisalhamento

## ABSTRACT

In studies of metamorphic petrology, the analysis of mineral chemistry is fundamental, to characterize pressure and temperature conditions, contributing to studies of the geological evolution of a given area. Metagraywackes are common in orogenic environments, in which they occur in various domains of the Southern Brasília Belt and are associated with collisional events that happened during the formation of Western Gondwana. This study focuses on metagraywackes within the context of the Santo Antônio Unit, in the Andrelândia Nappe, to determine the pressure and temperature conditions. Quantitative point analyses were carried out using the electron microprobe (EMPA), and compositional and quantitative maps were generated from the data obtained and processed in the XMapTools software. Through the quantitative maps, the metamorphic conditions of pressure and temperature can be determined, as well as the influence of deformation associated with the Três Corações Shear Zone through iterative thermodynamic modeling. The rocks studied are feldspathic biotite-quartz schist with garnet and kyanite and feldspathic biotite-quartz schist mylonite with kyanite and garnet. Based on iterative thermodynamic modeling using the Bingo-Antidote software in the quantitative maps, P-T conditions were defined with values of 633°C and 0.67 GPa for the undeformed sample, and 667°C and 0.74 GPa for the one deformed by the Três Corações Shear Zone, these values corresponding to the metamorphic peak. The results obtained correspond to the metamorphism of the Santo Antônio Unit in amphibolite facies, which is in agrees with previous studies. The Bingo-Antidote software can be used to optimize the characterization of P-T conditions.

**Keywords:** XMapTools; Bingo-Antidote; Metamorphic Petrology; Shear Zone.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1-</b> Mapa de localização da área de estudo.....	14
<b>Figura 2 -</b> Fluxograma relacionado aso Materiais e Métodos deste trabalho.....	16
<b>Figura 3-</b> Mapa esquemático da configuração paleogeográfica no neoproterozoico devido a Orogênese Brasileira com a localização da porção da Faixa Brasília Meridional.....	21
<b>Figura 4 -</b> Principais unidades da Faixa Brasília com destaque para a área de estudo (vermelho) na porção sul da Faixa Brasília Meridional. ....	23
<b>Figura 5 -</b> Mapa geológico da porção sul da Faixa Brasília Meridional com a localização da área de estudo. ....	25
<b>Figura 6 -</b> Mapa Geológico da região de estudo com a localização das amostras estudadas (JV11 e JV12).....	29
<b>Figura 7 -</b> Amostras coletadas e utilizadas da Unidade Santo Antônio.....	30
<b>Figura 8 -</b> Microfotografias feitas no microscópio óptico de luz transmitida da amostra JV11.. ..	31
<b>Figura 9 -</b> Microfotografias feitas no microscópio óptico de luz transmitida da amostra JV12. ....	33
<b>Figura 10 -</b> Mapa de fases minerais.....	35
<b>Figura 11 -</b> Mapas quantitativos das granadas da amostra JV11, com zoneamento químico..	36
<b>Figura 12 -</b> Mapas quantitativos dos porfiroblastos de granada da amostra JV12.....	37
<b>Figura 13 -</b> Química mineral da Granada da amostra JV12. À esquerda, gráfico ilustrando a composição química em relação aos membros finais da granada. À direita, a imagem dos elétrons retroespalhados (BSE) do porfiroblasto de granada. Grs = grossulária; Prp = piropo; Alm = almandina; e Sps = espessartita. ....	38
<b>Figura 14 -</b> Mapas quantitativos das amostras JV11 e JV12.....	39
<b>Figura 15 -</b> Mapa de fases minerais com os pontos correspondentes a área selecionada de cada mineral utilizado na modelagem.. ....	40
<b>Figura 16 -</b> Gráfico de setores comparando os dados obtidos da composição observada e da composição modelada para o pico metamórfico. ....	42
<b>Figura 17 -</b> Gráfico de diagrama de fases de $Al_2SiO_5$ com os resultados deste trabalho e dados de bibliografias anteriores. ....	44

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Diferentes nomenclaturas e empilhamento sobre as unidades do Grupo Andrelândia conforme diversos autores.....	27
<b>Tabela 2</b> - Composição química em óxidos das amostras JV11 e JV12.....	34
<b>Tabela 3</b> - Variação do teor do núcleo para a borda dos cristais de granada da amostra JV11. .....	36
<b>Tabela 4</b> - Variação de teor do núcleo para a borda dos cristais de granada para a amostra JV12. .....	37
<b>Tabela 5</b> - Valores de qualidade da análise gerados pelo antidote para a paragênese mineral do pico metamórfico da amostra JV11. ....	41
<b>Tabela 6</b> - Valores de qualidade da análise gerados pelo antidote para a paragênese mineral do pico metamórfico da amostra JV12. ....	41

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1. Apresentação .....	13
1.2. Objetivos.....	13
1.3. Localização da área de estudo .....	14
<b>2. MATERIAS E MÉTODOS .....</b>	<b>16</b>
2.1. Materiais .....	16
2.1.1. XMapTools v. 4.3.....	16
2.1.2. Bingo – Antidote .....	17
2.1.2.1. Bingo.....	18
2.1.2.2. Antidote.....	18
2.2. Métodos .....	18
2.2.1. Etapa Inicial.....	18
2.2.2. Etapa de Execução e Análise de dados.....	19
2.2.3. Etapa Final.....	19
<b>3. GEOLOGIA REGIONAL.....</b>	<b>21</b>
3.1. Província Tocantins .....	21
3.1.1. Faixa Brasília.....	22
3.1.1.1. Faixa Brasília Meridional.....	23
3.1.1.1.1. Sistema de <i>Nappes</i> Andrelândia.....	24
3.2. Contextualização Geológica da Área de Estudo.....	26
3.2.1. Grupo Andrelândia .....	26
3.2.2. Unidade Santo Antônio .....	27
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>29</b>
4.1. Descrição petrográfica.....	29
4.1.1. Biotita-quartzo xisto feldspático com cianita e granada (JV11).....	30
4.1.1. Milonito de biotita-quartzo xisto feldspático com cianita e granada (JV12)	
	32
4.2. Mapa de Fases Minerais .....	34

4.3. Composição química mineral .....	35
4.3.1. Granada.....	36
4.3.2. Biotita .....	38
4.3.3. Muscovita .....	38
4.3.4. Plagioclásio.....	39
4.3.5. Clorita.....	39
4.4. Bingo – Antidote .....	40
<b>5. DISCUSSÃO .....</b>	<b>43</b>
5.1. Evidências do metamorfismo a partir da petrografia.....	43
5.2. Fatores de qualidade e resultados gerados pelo Bingo-Antidote.....	43
5.3. Relação dos resultados com bibliografias anteriores da unidade .....	43
<b>6. CONCLUSÃO .....</b>	<b>45</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>46</b>
<b>APÊNDICE I – Descrição das Lâminas Petrográficas.....</b>	<b>49</b>
<b>APÊNDICE II – Análises Químicas dos Minerais Metamórficas.....</b>	<b>53</b>

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Apresentação

Dentro do ramo da geologia, a petrologia metamórfica é a que estuda as transformações geradas nas rochas a partir de processos metamórficos, que ocorrem por alteração nas condições de pressão (P), de temperatura (T) e fluidos. Esses processos metamórficos podem gerar e modificar estruturas e texturas e alterar a composição química e mineralógicas. A partir desses processos, visa estabelecer a reação de causa e efeito entre os processos metamórficos, a fim de determinar temporalmente, quimicamente e termodinamicamente a natureza dos eventos associados (Winge, 1996).

A utilização de *softwares* voltados para petrologia metamórfica aperfeiçoou o conhecimento das condições metamórficas e apresentam modelagens estratégicas para entender melhor os principais processos metamórficos (Duesterhoeft; Lanari, 2020).

Um dos modelos eficientes de analisar as condições de uma transformação metamórfica a partir de P e T e composição modal (X) é pelo modelo de Energia de Minimização de Gibbs (GEM) para um sistema fechado (Duesterhoeft; Lanari, 2020). Tal cálculo descreve o comportamento de sistemas metamórficos naturais, que convergem para um equilíbrio dinâmico. Desta maneira, a investigação quantitativa de rochas metamórficas necessita regularmente de modelos de aplicações petrográficas baseados no conceito de equilíbrio termodinâmico.

Modelos termodinâmicos iterativos são caracterizados como sendo modelos híbridos, produzidos a partir de uma simulação direta (GEM) e posteriormente ligado a uma otimização interativa, que aprimora os fatores de pressão e temperatura (Duesterhoeft; Lanari, 2020).

As metagrauvas são de um tipo de rocha comumente encontradas em ambientes orogênicos, associadas a eventos colisionais. Considerando a Faixa Brasília, as metagrauvas estão relacionadas à formação do Gondwana Ocidental durante o Neoproterozoico. Tais rochas possuem alto potencial para estudos metamórficos e trajetória metamórfica P-T-t (Fumes et al., 2021).

### 1.2. Objetivos

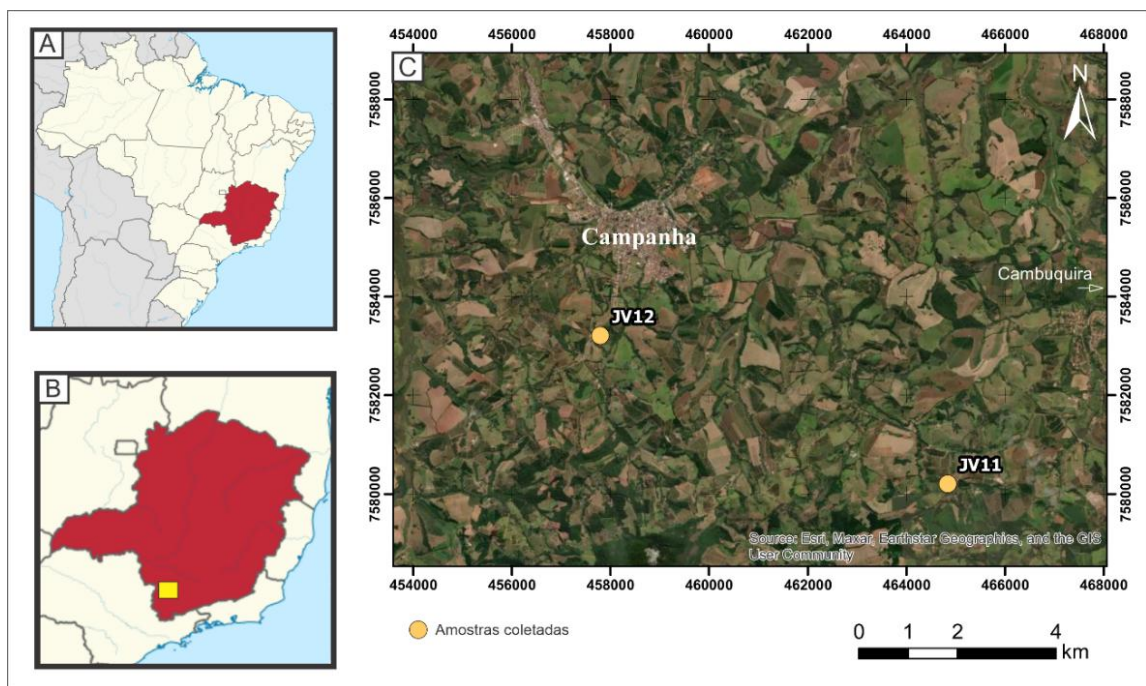
Este trabalho tem como objeto de estudo metagrauvas da Unidade Santo Antônio, inseridas no contexto da *Nappe* Andrelândia, localizada na região de Campanha -MG, e visa a

quantificação das condições de pressão e temperatura a partir da modelagem termodinâmica iterativa e a influência da Zona de Cisalhamento Três Corações na modelagem, com o uso do *software* Bingo-Antidote (Duesterhoeft; Lanari, 2020). A partir dos resultados obtidos, foi feita uma comparação com publicações anteriores, contribuindo com os dados geológicos na região da área de estudo.

### 1.3. Localização da área de estudo

O município de Campanha se encontra localizado na porção sul do Estado de Minas Gerais, na região de Varginha e Três Corações (Figura 1). O município possui uma extensão de 335.587 km<sup>2</sup>, fazendo fronteiras com os municípios de São Gonçalo do Sapucaí, Lambari, Cambuquira, Monsenhor Paulo, Varginha e Três Corações. O município de encontra inserido na Folha Varginha (SF-23-V-D) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

**Figura 1-** Mapa de localização da área de estudo. A) Mapa do Brasil com o Estado de Minas Gerais em destaque; B) Mapa do estado de Minas Gerais com a área de estudo destacado em amarelo; C) Localização das amostras estudadas na região de Campanha -MG.



Fonte: Elaborado pela autora.

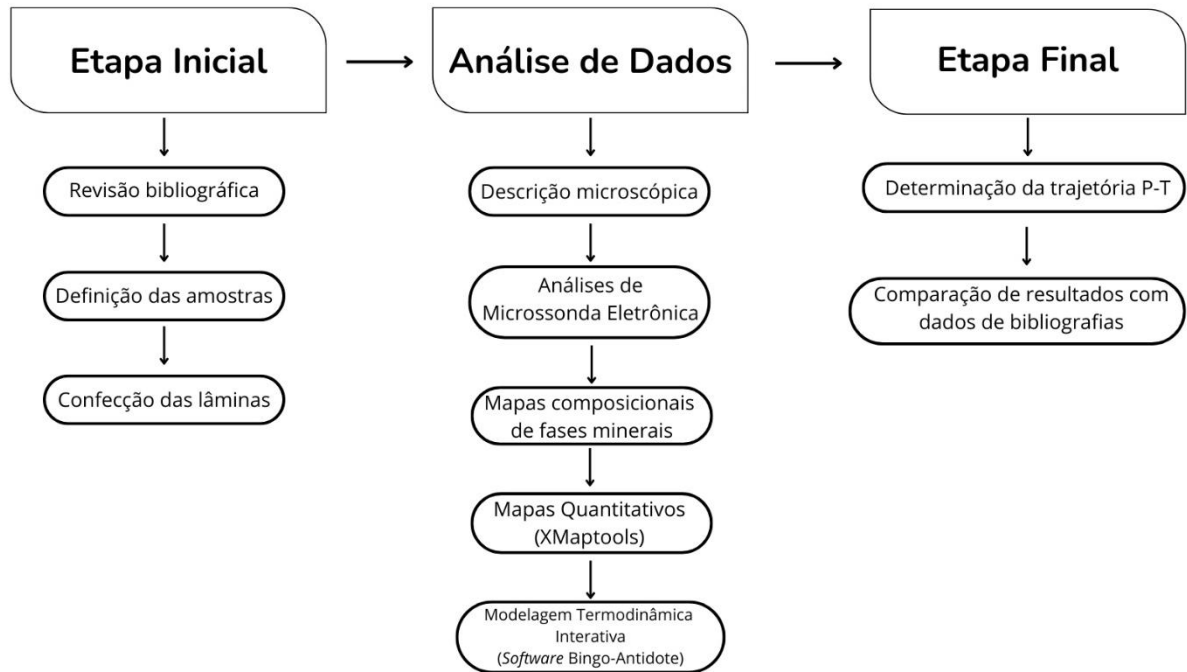
As estradas para acessar a região de Campanha apresentam direção sudoeste e nordeste, partindo de Rio Claro, a primeira via de acesso utilizada é a BR-364 (Rodovia Washington Luís) sentido Campinas/São Paulo onde chegando na rotatória do município de Cordeirópolis, deve-se seguir na saída da BR-050 (Rodovia Anhanguera) no sentido Campinas/São Paulo; segue-se até chegar na rotatória da cidade de Limeira, onde deve-se pegar

a BR-373 até chegar no município de Itapira e posteriormente pegar a SP-352, que atravessando a fronteira dos Estados de São Paulo e Minas Gerais, passa a ser denominada MG-290, e segue-se até o município de Pouso Alegre, onde deve-se seguir a rampa de acesso com sentido para Belo Horizonte na BR-381 (Rodovia Fernão Dias) até a rampa de acesso à rodovia BR-267 com sentido a Campanha-MG. Este trajeto possui um tempo de viagem de aproximadamente 4 horas e 30 minutos.

## 2. MATERIAS E MÉTODOS

O fluxograma abaixo (Figura 2) demonstra as principais etapas de realização deste trabalho.

**Figura 2** - Fluxograma relacionado aso Materiais e Métodos deste trabalho.



Fonte: Elaborado pela autora.

### 2.1. Materiais

#### 2.1.1. XMapTools v. 4.3

O programa XMapTools utiliza uma interface gráfica denominada XMapTools.fig, que foi desenvolvido utilizando ferramentas do *software* MATLAB v. 7.5 para o processamento de mapas de microsonda eletrônica de raio-x, onde foram implementados cálculos de vários geotermômetros e geobarômetros baseadas em calibrações empíricas e semiempíricas. Com isso, é utilizado para determinar as condições de pressão-temperatura de cristalização dos minerais presentes em rochas metamórficas (Lanari et al., 2014).

De acordo com Lanari et al. (2014) o programa está estruturado em três etapas diferentes, sendo elas: *Xray*, *Quanti* e *Results*. Na primeira etapa (*Xray*), é feito o carregamento do mapa de raio-x qualitativo obtidos na análise por Microsonda Eletrônica (EPMA). A partir de análise estatística da composição dos pixels, estes são agrupados em fases minerais,

eventualmente fraturas e vazios, gerando máscaras correspondentes. Dentro desta etapa, compreende a função *mask creating*, no qual cada máscara corresponde a uma matriz lógica de números indexados na composição do mapa, onde o 1 é concedido aos pixels pertencentes a fase mineral em questão o valor 1, e para os outros pixels 0. Com isso, no final desta etapa é realizado a padronização destes mapas (Lanari et al., 2014).

A segunda etapa (*Quanti*) consiste na transformação dos mapas padronizados em mapas de fórmulas estruturais e em mapas de P-T, através da ferramenta *structural formulae functions*, utilizada para calcular o número de moles de elementos por unidade de fórmula para cada pixel e *thermobarometry functions* no qual utiliza-se diversas funções termobarométricas baseadas em calibrações empíricas e semiempíricas. E a terceira e última etapa (*Results*) permite que o usuário crie diagramas químicos binários e ternários (Lanari et al., 2014; Lanari et al., 2019).

### 2.1.2. Bingo – Antidote

O programa Bingo-Antidote é utilizado para cálculos de equilíbrio termodinâmicos em equilíbrio baseados em modelos termodinâmicos iterativos. O software é integrado ao módulo XThermoTools que trabalha com mapas quantitativos gerados no XMapTools (Duesterhoeft; Lanari, 2020). Este programa descreve uma estratégia híbrida que combina a Energia de Minimização de Gibbs (GEM) e modelos de termobarometria inversa com base na comparação entre a assembleia mineral modelada e observada, modas e composições (Lanari et al., 2014; Lanari et al., 2018; Duesterhoeft ; Lanari, 2020).

De maneira geral, a metodologia se baseia em mapas composicionais quantitativos adquiridos por microsonda eletrônica para obtenção de um conjunto mutuamente consistente de dados observados, como rochas e composições mineralógicas, deste modo, sendo possível investigar rochas metamórficas em microescala (Duesterhoeft; Lanari, 2020). O método facilita o reconhecimento de paragêneses em equilíbrio, localizando os campos de estabilidades entre as fases (Connoly; Kerrick, 1982). Dentro do XThermoTools existem algumas opções de bancos de dados termodinâmicos, dentre esses foi utilizado o banco de dados tcc55 (White et al., 2014).

O programa Bingo-Antidote é dividido em duas funções a serem ditas a diante: Bingo e Antidote.

### 2.1.2.1. Bingo

A função Bingo é uma técnica de pontuação que visa comparar quantitativamente a assembleia mineral modelada e observada (LANARI et al., 2018). A partir de um banco de dados definido, é possível estabelecer os elementos químicos que serão utilizados na modelagem, posteriormente sendo feita a caracterização de um domínio para estimar as proporções e composição mineral (*local bulk composition*), sendo necessário a definição das fases, escolhendo áreas de cada mineral que será usado na modelagem.

De acordo com Lanari et al. (2018) e Duesterhoeft; Lanari (2020) em qualquer condição de P e T, a função é capaz de determinar a qualidade estatística do modelo a partir de três fatores que avaliam a qualidade da combinação entre o observado e o modelado, sendo eles: assembleia mineral ( $Q_{asm}$ ), moda mineral ( $Q_{vol}$ ) e composição química ( $Q_{cmp}$ ) e a partir diste é feito o cálculo da avaliação global ( $Q_{total}$ ).

### 2.1.2.2. Antidote

A função Antidote é um método de pesquisa heurístico que visa inverter o modelo e determinar as condições de P-T ideais (Lanari et al., 2018). Dentro do programa existe várias funções, chamadas *recipes*, determinada a investigar como as condições de qualidade do modelo avaliados anteriormente pelo Bingo mudam dentro da faixa P-T-X do modelo (Duesterhoeft; Lanari, 2020).

## 2.2. Métodos

### 2.2.1. Etapa Inicial

A primeira fase consistiu na definição da área de estudo sendo definida a região da *Nappe* Andrelândia com foco na Unidade Santo Antônio na região de Campanha – MG, o objeto de estudo. Esta área havia sido visitada pelos orientadores em atividades de campo anteriores onde foram coletadas as amostras no trabalho de Grella (2024) , onde apenas 2 foram selecionadas para a execução deste presente trabalho.

A partir da área de estudo definida, foi elaborado o levantamento bibliográfico sobre a geologia regional e local da região, com o intuito de se ter um melhor conhecimento geológico e um suporte essencial para a realização e conclusão deste trabalho, onde foram gerados os capítulos de Geologia Regional enfatizando a Faixa Brasília Meridional, Sistema de Nappes Andrelândia e a Unidade Santo Antônio, levando em consideração as condições metamórficas e estruturais da região.

### 2.2.2. Etapa de Execução e Análise de dados

Com as amostras de estudo selecionadas, foram preparadas lâminas delgadas para petrografia, sendo um total de seis lâminas. Inicialmente, foi feita a análise das lâminas em microscópio petrográfico, com o intuito de elaborar uma caracterização mineralógica e metamórfica inicial. Foi utilizado o microscópio petrográfico Carl Zeiss do Laboratório de Microscopia do Departamento de Geologia da UNESP, campus de Rio Claro. As fotomicrografias foram feitas no Microscópio Axio Imager.A2 Zeiss com câmera do Laboratório de Microscopia Óptica e Fotomicrografia (LMOF) do UNESPetro - Centro de Ciências Naturais Aplicadas.

Após a descrição de lâminas delgadas polidas, foram utilizados mapas qualitativos gerados por Grella (2024) utilizando a microsonda eletrônica. Para isso, foi utilizado o laboratório de Microsonda Eletrônica modelo JEOL JXA – 8230 (EPMA), equipado com cinco detectores de espectrometria dispersiva de comprimento de onda (WDS) do Departamento de Geologia - UNESP de Rio Claro. A correção da matriz foi realizada pelo método ZAF.

As condições estabelecidas para as análises pontuais quantitativas foram as mesmas de Fumes et al., (2021) e Grella, (2024), no qual foram elaboradas análises pontuais para os elementos Al, Ca, Cr, Fe, K, Mg, Mn, Si, Ti, e Zr, obtidos utilizando o modo dispersivo de comprimento de onda no EMPA, onde as análises foram realizadas utilizando um feixe focalizado utilizando a tensão e a corrente do feixe de elétrons, respectivamente, 15 keV e 20nA. Os tempos de contagem foram de 30s e 20s, para elementos menores e maiores, respectivamente, distribuídos igualmente nas posições de pico e fundo. Além disso, foram utilizados minerais naturais de referência e óxidos sintéticos como padrões. Este caso, não houve nenhuma amostra com teores significativos de Cr, no qual foi retirado na análise dos dados (Grella, 2024).

Os mapas composicionais foram obtidos na espectrometria dispersiva de comprimento de onda. Para os mapas, a tensão de aceleração foi de 15keV e corrente de 100 nA, com o tamanho do pixel e o tamanho do feixe de 10  $\mu$ m.

### 2.2.3. Etapa Final

Os resultados gerados na microsonda eletrônica foram processados no *software* XMapTools v. 4.3.(Lanari et al., 2018). Para gerar dados de mapa quantitativos da microsonda eletrônica, este *software* utiliza uma abordagem *casting*. Dentro da área do mapa foram

utilizadas análises quantitativas de pontos para a calibração dos mapas de raio-x, elaborando os mapas quantitativos e os mapas de fases minerais.

Em seguida, foram elaboradas as modelagens termodinâmicas iterativa, utilizando o *software* Bingo-Antidote (Duesterhoeft; Lanari, 2020), tendo como base de dados os mapas quantificados efetuados pelo *software* XMapTools.

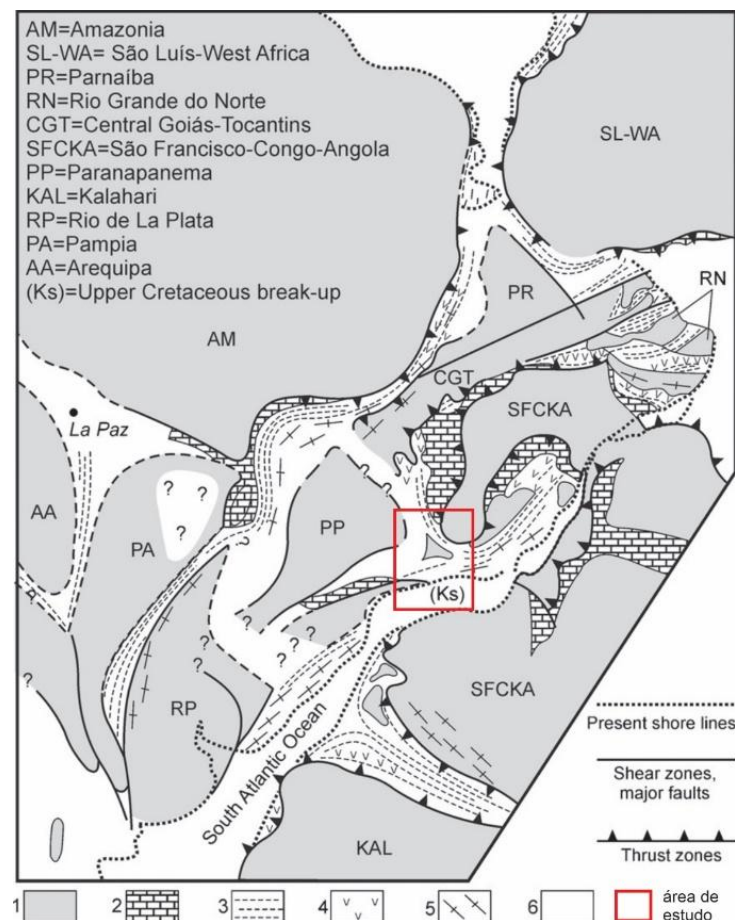
### 3. GEOLOGIA REGIONAL

A região de Campanha se encontra localizada na porção sudoeste do estado de Minas Gerais, inseridas dentro do contexto da Província Tocantins, na porção meridional da Faixa Brasília e se encontra na zona interna, onde suas características são discutidas brevemente abaixo (Valeriano et al., 2004, 2008; Cordani et al., 2000; Dardenne, 2000; Araújo Filho, 2000 e suas referências).

#### 3.1. Província Tocantins

A Província Tocantins se encontra localizada na porção central do território brasileiro, relacionado a um evento orogênico resultante da colisão entre os crátons São Francisco, Paranapanema e Amazônico durante o Ciclo Orogrênico Brasileiro, durante o neoproterozoico (Almeida et al., 1977; Cordani et al., 2000). De acordo com Valeriano et al. (2004) os eventos colisionais resultaram uma amalgamação da porção oeste do supercontinente Gondwana (Figura 3).

**Figura 3-** Mapa esquemático da configuração paleogeográfica no neoproterozoico devido a Orogrênese Brasileira com a localização da porção da Faixa Brasília Meridional.



Fonte: Retirado e modificado de Fuck et al., 2008.

A Província Tocantins é dividida entre três grandes orógenos, sendo elas: Faixa Paraguai, Faixa Araguaia, que contornam o Cráton Amazônico com uma vergência para leste, e a Faixa Brasília, que contorna o cráton São Francisco e possui uma vergência contrária em direção à margem oeste do cráton (Valeriano et al., 2008; Araújo Filho, 2000; Dardenne, 2000).

### **3.1.1. Faixa Brasília**

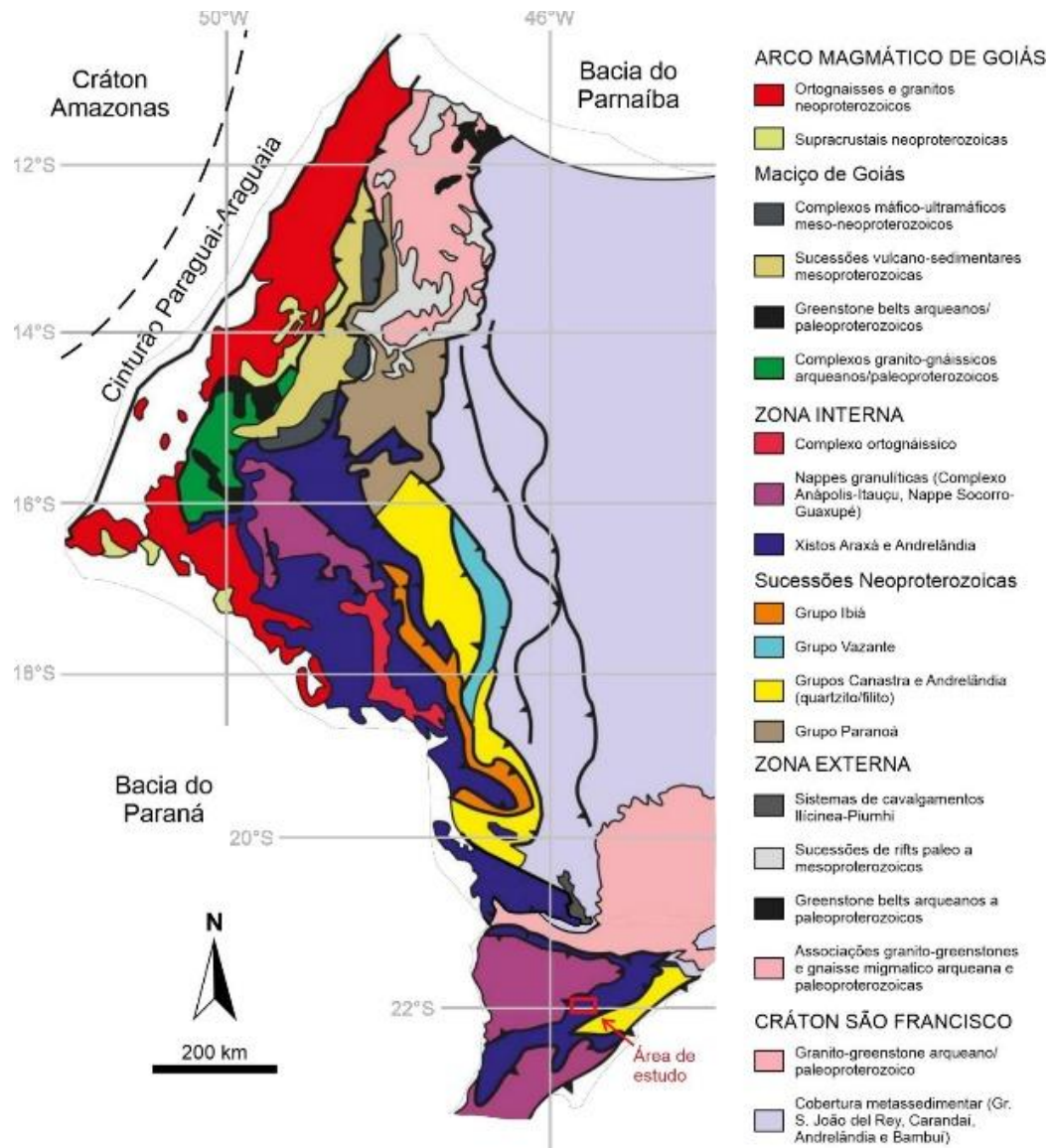
A Faixa Brasília (Figura 4) está situada na porção leste da Província Tocantins, reconhecida por um cinturão de dobramentos e empurrões de idade neoproterozoica geradas no Ciclo Orogênico Brasileiro (Uhlein et al., 2012; Valeriano et al., 2004 e suas referências). Possui uma orientação aproximada NW – SE, com uma extensão de aproximadamente 1200 km, que ocorre na borda ocidental do cráton São Francisco e ocorre nos estados de Minas Gerais, Goiás e Tocantins (Uhlein et al., 2012).

A Faixa Brasília dispõe de uma evolução complexa e com aspectos de diacronia, onde a porção meridional é a consequência da interação entre os crátons São Francisco e Paranapanema. E em contrapartida sua porção setentrional registra a interação entre os crátons do São Francisco e Amazônico, e outras unidades tectônicas menores, como o Maciço de Goiás, arcos magmáticos e sequências sedimentares meso-neoproterozoicas (Pimentel et al., 2004; Uhlein et al., 2012).

De acordo com Valeriano et al (2004, 2017) e Fuck et al., (1994), as condições de metamorfismo aumentam progressivamente em direção a oeste da Faixa Brasília e possuem duas direções distintas na sua evolução estrutural, sendo uma na direção NE relacionado a porção setentrional, e uma com direção NW relacionada a porção meridional, que são divididas por um importante estrutura E-W na porção central, denominada Inflexão dos Pirineus.

Segundo Fuck et al. (1994), a faixa Brasília é dividida entre três domínios estruturais principais: unidade cratônica, formada principalmente pelo grupo Bambuí e Vazante (domínio autóctone; zona externa, composta por unidades metassedimentares do mesoproterozóico e porções do embasamento arqueano-paleoproterozóico (Dardenne, 2000); e a zona interna, sendo composta pelas unidades alóctones, como por exemplo metassedimentos do Grupo Araxá, o Complexo Anápolis-Itaçu, e porções do embasamento envolvidos no ciclo brasileiro, sendo um representante o Arco Mágmató de Goiás, possuindo elementos estruturais como xistosidades, clivagem de crenulação e conjuntos de lineações (Pimentel et al., 2004).

**Figura 4** - Principais unidades da Faixa Brasília com destaque para a área de estudo (vermelho) na porção sul da Faixa Brasília Meridional.



Fonte: Extraído e modificado de Dardenne, 2000; Pimentel, 2016; Valeriano et al., 2004b e suas referências.

### 3.1.1.1. Faixa Brasília Meridional

A Faixa Brasília Meridional é reconhecida por dispor um estilo tectônico caracterizado pelo empilhamento de extensas *Nappes* de cavalgamento sub-horizontais, que foram empurradas em direção ao cráton São Francisco cerca de 640 milhões de anos (Valeriano et al., 2004).

A Faixa Brasília Meridional possui uma extensão de aproximadamente 800 km ao longo da borda sudoeste do cráton São Francisco, composta predominantemente por rochas metassedimentares, no qual o grau metamórfico e a intensidade de deformação aumentam de maneira significativa para oeste nesta porção da Faixa Brasília, grande parte desse pacote está

relacionado a seções estratigráficas da margem passiva do cratón São Francisco, deformadas no neoproterozoico, durante o Ciclo Brasileiro (Valeriano et al., 2017; Valeriano *et al.*, 2004; Fuck et al., 1994).

Em sua porção extremo sul, a Faixa Brasília Meridional está em contato com a Faixa Ribeira. Em relação à essa região, na literatura são encontradas diferentes interpretações para essa relação de contato. A primeira interpretação é de que se trata de uma zona de interferência entre as duas faixas, com superposições de estruturas e características metamórficas associadas à colisão nas duas faixas (Peternel et al., 2005; Trouw et al., 2000; Heilbron et al., 2017). Já uma outra interpretação considera toda a região como produto da deformação e do metamorfismo ao Orógeno Brasília (Campos Neto et al., 2004, 2011).

#### **3.1.1.1.1. Sistema de *Nappes* Andrelândia**

A porção sul da Faixa Brasília Meridional é constituída por diversas *Nappes* sin-metamórficas, sendo caracterizada por uma pilha de *nappes* relacionadas à colisão neoproterozóica entre os crátons São Francisco e Parapanema (Campos Neto et al., 2010). Dentro deste contexto, Campos Neto et al. (2010) subdividiu os diferentes ambientes tectônicos, sendo eles (Figura 5): 1) *Nappe* Socorro-Guaxupé sendo representada por unidades granulito-granito-migmatíticas profunda provenientes da raiz do arco magmático; 2) Sistema de *Nappes* Andrelândia que é caracterizado por rochas metassedimentares de alta pressão, empilhadas da base para o topo, a *klippe* de Pouso Alto, a *Nappe* de Liberdade, onde a área de estudo se encontra inserida e a *Nappe* de Andrelândia; e 3) o Sistema *Nappes* Carrancas, sendo o mais externo e onde está incluso também a *Nappe* de Lima Duarte (Campos Neto et al., 2010).

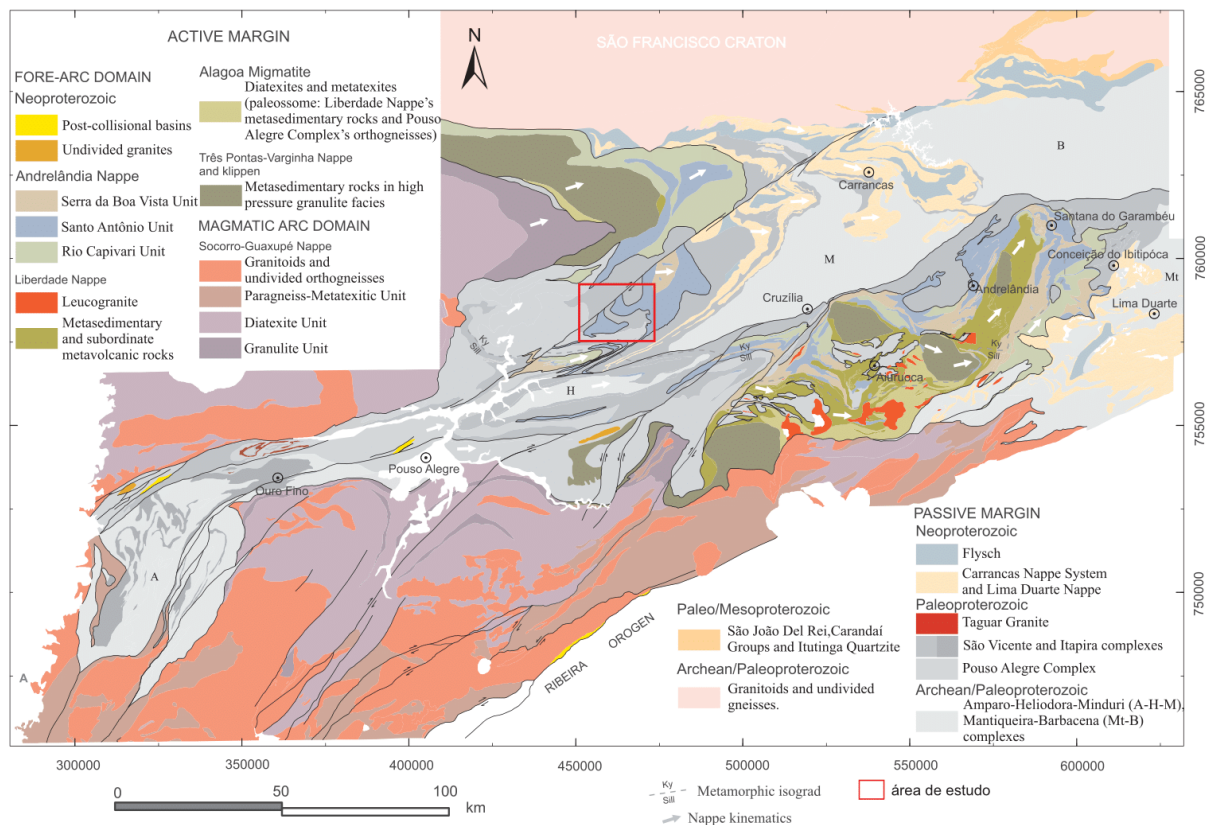
De acordo com Campos Neto et al. (2007) o Sistema de *Nappes* Andrelândia é formado por três domínios alóctones principais, sendo eles da base para o topo: *Nappe* Andrelândia, *Nappe* Liberdade, *Nappe* Três Pontas – Varginha e as *klippe* Pouso Alto, Aiuruoca, Carvalhos e Serra da Natureza, sendo o contato da base desse sistema com a *Nappe* Socorro-Guaxupé. Estas *nappes* registram metamorfismo de alta pressão, tanto em fácies anfíbolito quanto em fácies granulito. Tal sistema possui no segmento oriental uma espessura de aproximadamente 4,5 km, com estruturação geral sub-horizontal, articulando as três *nappes* por meio da foliação metamórfica S<sub>2</sub>, com deformação de cisalhamento dúctil penetrativa ao longo de toda a unidade (Campos Neto et al., 2004; Batista, 2015).

### 3.1.1.1.1. Nappe Andrelândia

A Nappe Andrelândia é reconhecida por um padrão metamórfico invertido, onde predominam metapelitos na base, denominado Xisto Rio Capivari, sobreposto por metagrauvacas, nomeada de Xisto Santo Antônio e uma sequência metapelito-psimítica no topo, denominada Xisto Serra da Boa Vista (Campos Neto et al., 2007). Também é caracterizada por condições de fusão parcial e geração de leucossoma trondjemítico (Trow et al., 2000a; Campos Neto et al., 2007).

De acordo com Santos (2004), o pico metamórfico da nappe possui temperatura de 680°C e pressões de 12 kbar, aproximadamente. Resultados de U-Pb em monazita em granada-biotita xisto da Unidade Santo Antônio indicam idades de fechamento para o pico metamórfico de  $606 \pm 2$  Ma.

**Figura 5** - Mapa geológico da porção sul da Faixa Brasília Meridional com a localização da área de estudo.



Fonte: Extraído e modificado de Frugis et al., 2018.

## **3.2. Contextualização Geológica da Área de Estudo**

### **3.2.1. Grupo Andrelândia**

As metagrauvas estudadas neste trabalho estão inseridas no contexto do Grupo Andrelândia.

O Grupo Andrelândia, em sua porção basal, se encontra em um contato discordante com o embasamento, com idades de metamorfismo entre 632 e 683 Ma. (Westin; Campos Neto, 2013). Ocorrem sucessões proterozoica, deformadas e modificadas pelo metamorfismo gerados durante o Ciclo Brasileiro.

De acordo com Paciullo et al., (2000), o Grupo Andrelândia é dividido em duas sequências deposicionais: a sequência basal que consiste em paragnaisses, metapelitos, quartzitos micáceos, metagrauvas, rochas calcossilicatadas, rochas metamáficas e metaultramáficas, e a sequência superior composta por intercalações de biotita xistos e metagrauvas. As rochas que compõem essas sequências são subdividas nas seguintes unidades estratigráficas: Complexo Gnáissico São Vicente, Grupo Carrancas composto por quartzitos e metapelitos na porção basal do Grupo Andrelândia, e as unidades Santo Antônio, Rio Capivari e Serra da Boa Vista que compõem a porção superior do grupo (Campos Neto et al., 2007; Kuster et al., 2020). A Tabela 1 mostra o empilhamento dessas unidades e nomenclatura de acordo com diversos autores.

**Tabela 1** - Diferentes nomenclaturas e empilhamento sobre as unidades do Grupo Andrelândia conforme diversos autores.

<b>Grupo Andrelândia e Correspondentes</b>				
<b>Associações Litológicas</b>	Kuster et al. 2020	Paciullo et al. (2003a, 2003b)	Campos Neto et al. 2007; Frugis et al. (2018)	Coutinho (2012); Westin et al. 2019
<b>Megassequência Andrelândia</b>				
-	<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, anfíbolito, 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, anfíbolitos, calciossilicatadas e rochas meta-ultramáficas.	Unidade A3	Unidade São Tomé das Letras		Unidade Inferior
Paragneisses, anfíbolitos, rochas meta-ultramáficas, e intercalações menores de xistos e quartzitos	Unidades A1 e A2	Unidade São Vicente		Complexo São Vicente

Fonte: Retirado de Kuster et al., 2020 e modificado por Jesus, 2021.

### 3.2.2. Unidade Santo Antônio

Este trabalho se restringe a Unidade Santo Antônio. Esta unidade é caracterizada por um xisto de coloração cinza, correspondente a uma metagrauvaca com intercalações esparsas e pouco espessas de rochas metapsamíticas e metamáficas (Campos Neto et al., 2007). O litotipo dominante é um granada-biotita-plagioclásio-quartzito xisto homogêneo, com textura granoblástica e granulação que varia de fina a média, que possui assinatura geoquímica de grauvacas de margem ativa (Campos Neto et al., 2007). Na área da Serra de Santo Antônio, a unidade apresenta espessura média de 850 metros e ocorre em janelas estruturas sob a *Nappe* Liberdade (Campos Neto et al., 2007; Campos Neto et al., 2004)

Análises de cristais de zircão detríticos foram realizadas por Campos Neto et al. (2007), no qual obteve-se idade máxima de deposição de  $673 \pm 25$  Ma, com um período de sedimentação de 20 Ma de idade Ediacarana, com metamorfismo em aproximadamente 610 Ma.

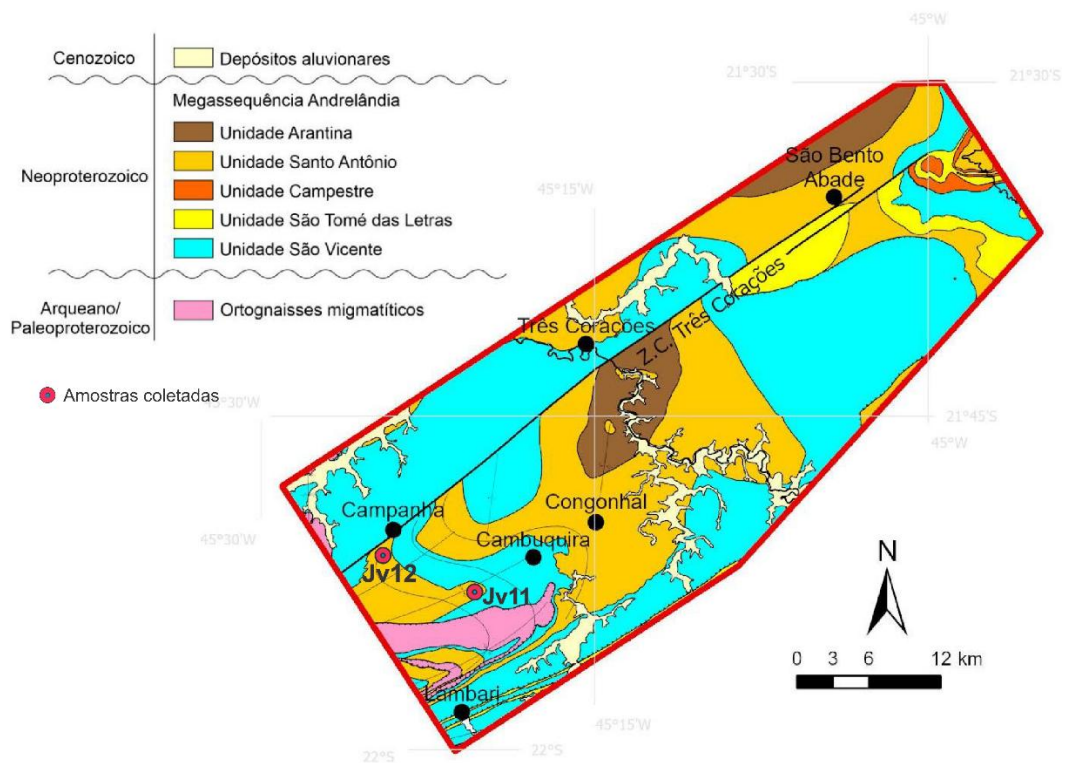
Batista (2015), realizou estudos de amostras coletadas da Unidade Santo Antônio entre os municípios de Lambari, Cambuquira e Três Corações (a nordeste da área estudada no presente trabalho), a partir de modelagem de pseudosseções e cálculos das condições P-T de pico metamórfico a partir de geotermômetros tradicionais (e.g. termômetro de granada + biotita, barômetro GASP) e termômetro de Zr em rutilo, onde obteve o pico metamórfico entre 750 e 850°C, da base para o topo da unidade, e com aproximadamente 11,5 kbar, caracterizando um metamorfismo invertido na região, que atinge fácies granulito.

Segundo Fumes et al. (2021), a metagrauvaca da Unidade Santo Antônio na região da *Nappe* de Luminárias apresenta granadas zonadas, indicando condições de P-T de 540 °C e 0,9 GPa posteriormente sofrendo um aquecimento até o pico metamórfico a 630°C e 1,0 GPa. Seguente ao pico metamórfico, possui estágios de resfriamento e descompressão, com cristalização de clorita em temperaturas de 580 °C e pressão de 0,7 GPa.

## 4. RESULTADOS

A localização dos afloramentos estudados é apresentada na (Figura 6). Entre as amostras coletadas, foram analisadas apenas as amostras JV11 que está distal da zona de cisalhamento, e a JV12 que se encontra próxima a zona de cisalhamento. Ambas forma as mais favoráveis em relação ao grau de preservação e importância no estudo.

**Figura 6** - Mapa Geológico da região de estudo com a localização das amostras estudadas (JV11 e JV12).

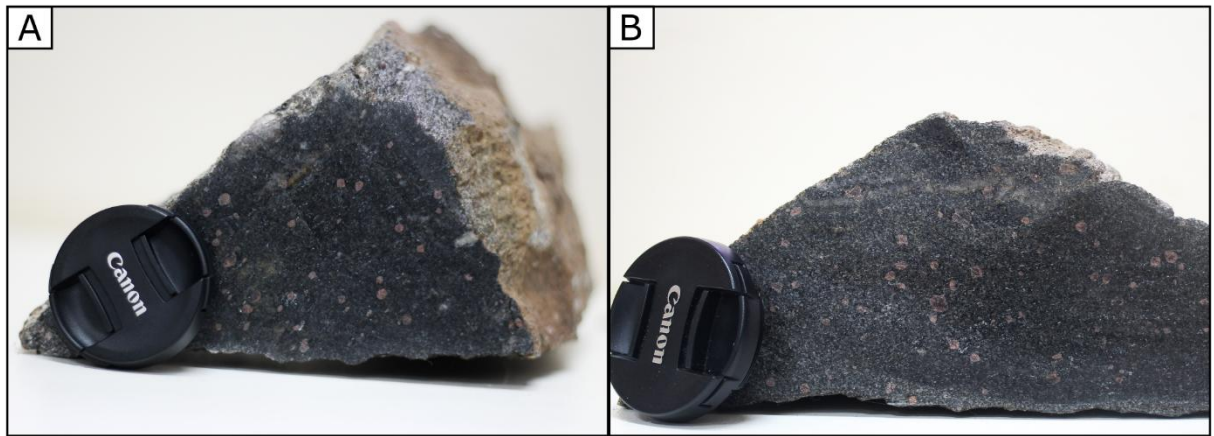


Fonte: Retirado e modificado de Grella, 2024; Trouw, Nunes, Castro, 2008.

### 4.1. Descrição petrográfica

Foi feita a descrição macroscópica dessas rochas. Ambas as rochas possuem uma cor cinza a esverdeada, com granulação fina a média. No caso a JV11 possui uma foliação classificada como xistosidade, principalmente, por minerais micáceos e bandas quartzosas, e porfiroblastos de granada. Na amostra JV12, é possível observar uma foliação milonítica, sendo bem clara em microscopia, e com porfiroblastos de granadas distribuídos ao longo da amostra.

**Figura 7** - Amostras coletadas e utilizadas da Unidade Santo Antônio. A) Amostra JV11A; B) Amostra JV12A.



Fonte: Elaborado pela autora.

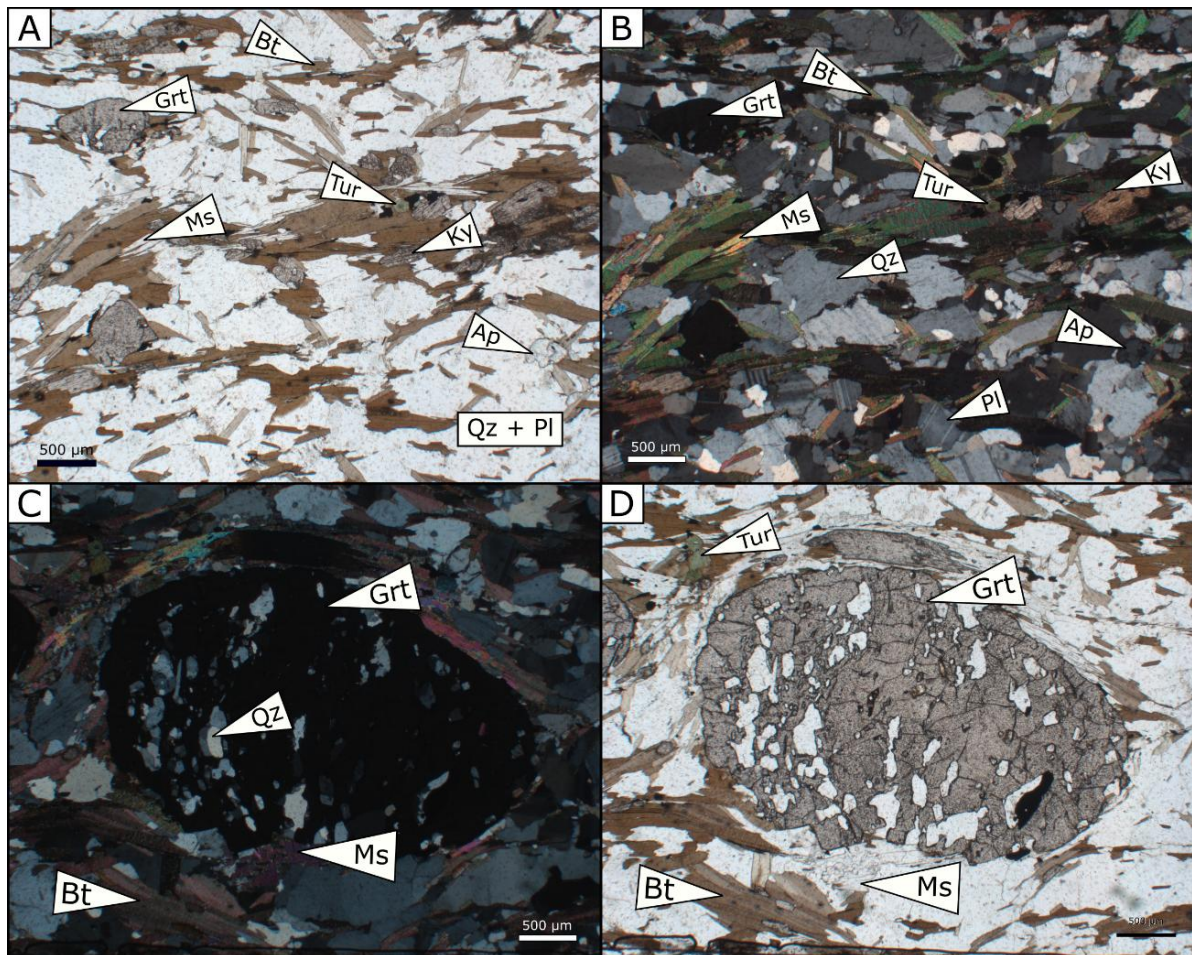
#### 4.1.1. Biotita-quartzo xisto feldspático com cianita e granada (JV11)

O biotita-quartzo xisto feldspático com cianita e granada apresenta textura lepdoblástica, com maior quantidade de minerais micáceos, com foliação do tipo xistosidade, marcada pelos porfiroblastos de muscovita e biotita, principalmente, e textura porfiroblástica caracterizada dos cristais de granada. Grande parte dos contatos entre os grãos ocorre de maneira serrilhada e lobular. Ao todo foram observados oito minerais na lâmina, sendo eles: biotita (30%), muscovita (5%), quartzo (35-40%), plagioclásio (15%), granada (4%), cianita (3%), e minerais acessórios, como ilmenita e apatita que se encontram ao longo da matriz e inclusos em cristais de granada (Figura 8).

Os cristais de biotita ocorrem com formas subedral a anedrais entre 0,3 e 2 mm, com hábito tabular, de coloração amarronzada, sendo marcados com um pleocroísmo marrom avermelhado, marrom amarelado e marrom alaranjado, e em algumas porções da lâmina se apresenta esverdeado. De modo geral, a biotita possui uma orientação preferencial, seguindo a estrutura xistosa da lâmina. Em grande parte, apresenta contato retilíneo, e em outras seções da lâmina possui contato serrilhado, principalmente em relação ao quartzo.

A muscovita, possui tamanhos variam até 0,7 mm, se encontra, principalmente, ao redor dos porfiroblastos de granada e apresenta contato retilíneo em relação a biotita, e serrilhado e retilíneo em relação aos cristais de quartzo e granada.

**Figura 8** - Microfotografias feitas no microscópio óptico de luz transmitida da amostra JV11. A) Matriz da rocha com predominância de Qzt, Bt e Pl, com grãos de Ap, Ky e Tur de tamanhos variados (polarizador descruzados); B) Matriz da rocha com predominância de Qzt e Pl (polarizadores cruzados); C) Porfiroblasto de Grt com inclusões de Qzt, e cristais de Bt e Ms (polarizadores cruzados); D) Porfiroblasto de granada com polarizadores descruzados. Ap – apatita; Bt -Biotita; Grt – Granada; Ky – Cianita; Ms – Muscovita; Qzt – Quartzo; Pl – Plagioclásio; Tur – Turmalina (Abreviações segundo Kretz, 1983).



Fonte: Elaborado pela autora.

Os quartzos possuem formas anedrais ao longo de toda a lâmina, ocorrem como agregados, com tamanhos entre 0,1 e 0,7 mm, possui uma forte extinção ondulante. Em grande parte da lâmina, possui contato irregular a serrilhado com os cristais de plagioclásio, e contato retilíneo a serrilhado com os minerais micáceos, além de possui contatos interlobados por conta da recristalização do quartzo.

Os cristais de plagioclásio ocorrem com formas anedrais, com tamanhos que variam de 0,3 a 0,7 mm, sendo incolores em lâmina. Em grande parte, se encontram recristalizados assim como o quartzo, com contatos retilíneo a lobulares, e ocorrem também em algumas inclusões na granada, apresentando geminação do tipo lei da albíta.

Os porfiroblastos de granada ocorrem por toda a lâmina, com cristais subedrais, com tamanhos que variam, no máximo, até 2 mm. Possui textura porfiroblástica e poiquilítica, em alguns cristais ocorrem as inclusões de quartzo, plagioclásio e apatita. Estes cristais, em sua maioria, são rodeados por cristais de muscovita e biotita.

A cianita ocorre com cristais subedrais a anedrais, que variam de tamanho até 0,5 mm, apresenta um contato serrilhado a lobular com os cristais de plagioclásio e quartzo, e um contato retilíneo em relação aos minerais micáceos.

Além disso, ocorrem minerais traços, como ilmenita, apatita, rutilo e turmalina, estando dispersos na matriz e inclusos nos porfiroblastos de granada e cristais de quartzo e plagioclásio.

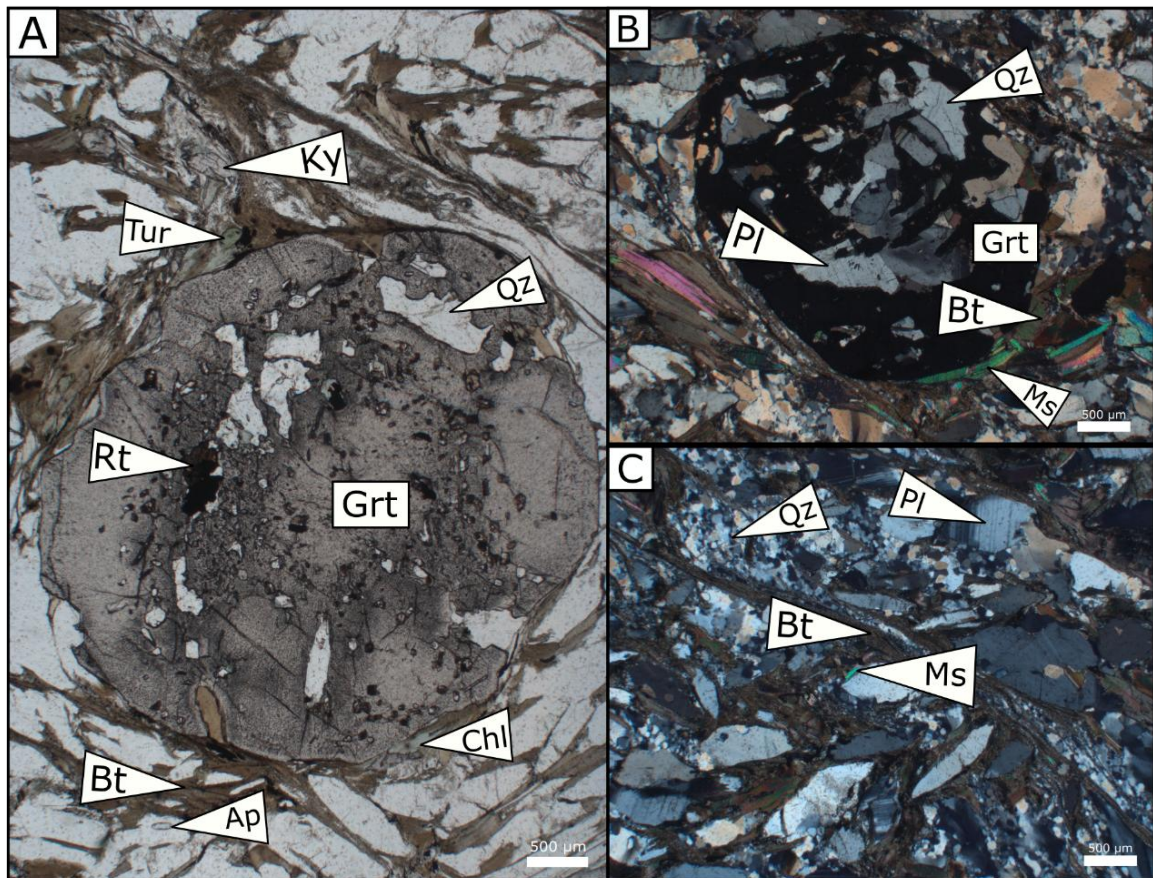
#### **4.1.1. Milonito de biotita-quartzo xisto feldspático com cianita e granada (JV12)**

A rocha possui uma foliação milonítica, sendo marcada, principalmente, pelos cristais de biotita e muscovita. Além disso, apresenta textura lepdoblástica. Tal rocha é composta por biotita (30-35%), muscovita (5%), quartzo (35%), plagioclásio (15-20%), granada (4%), cianita (3%), clorita (1%) e minerais acessórios, como ilmenita, apatita e rutilo, encontrados na matriz e inclusos em cristais de granada (Figura 9).

Os cristais de biotita apresentam formas anedrais a subedrais, com hábito tabular, com tamanhos que variam entre 0,3 e 2 mm, sendo todos bem orientados de acordo com cada seguimento da lâmina. São fortemente marcados por um pleocroísmo de cor marrom escuro, marrom amarelado e esverdeado em algumas porções, e na maior parte apresenta contato retilíneo e em contato com o quartzo ocorre de modo serrilhado. No caso da muscovita, os cristais apresentam tamanhos entre 0,2 e 0,7 mm, sendo incolores e sem pleocroísmo. Os contatos da muscovita com os demais minerais são de modo semelhantes ao da biotita, porém, existe uma maior concentração de muscovita ao redor dos cristais de granada e em porções de dobramentos na lâmina.

Os cristais de quartzo possuem tamanhos que variam entre 0,1 e 1 mm, apresentam formas anedrais. Possui contato irregular a serrilhado entre si e com os cristais de plagioclásio, e contato retilíneo a serrilhado com os cristais de muscovita e biotita. Ao longo de toda lâmina, é possível observar uma extinção ondulante bem-marcada.

**Figura 9** - Microfotografias feitas no microscópio óptico de luz transmitida da amostra JV12. A) Porfiroblasto de Grt com inclusões de Rt, Qzt e Bt (polarizadores descruzados); B) Porfiroblasto de Grt com inclusões de Qzt e Pl, rodeado por cristais de Bt (polarizadores cruzados); C) Matriz da amostra JV12 com uma intensa foliação milonítica expressa pelos cristais de Bt e recristalização por rotação de subgrão de cristais de Qzt e Pl (polarizadores cruzados). Bt -Biotita; Grt – Granada; Ky – Cianita; Ms – Muscovita; Qzt – Quartzo; Pl – Plagioclásio; Rt – Rutilo; Tur – Turmalina; Chl - Clorita (Abreviações segundo Kretz, 1983).



Fonte: Elaborado pela autora.

Plagioclásio ocorre como cristais anedrais, com tamanhos que variam de 0,5 a 2 mm, e apresentam uma borda de deformação, sendo rodeado por cristais de biotita e muscovita, com contatos irregulares e serrilhados na maior parte dos cristais, e apresentam Lei da Albita.

Os cristais de granada ocorrem ao longo de toda a lâmina na forma de porfiroblastos, variam de subedrais a anedrais e com tamanho de 0,5 a 3 mm, com inclusões, principalmente, de quartzo e plagioclásio.

Os cristais de cianita possuem forma subedrais, com tamanhos que variam de 0,3 a 0,7 mm, é possível observar duas direções de clivagem principais em seu interior, e apresenta um

contato serrilhado a lobular com os cristais de plagioclásio e quartzo, e um contato retilíneo em relação aos minerais micáceos.

Além disso, ocorrem minerais traços, como ilmenita, apatita, rutilo, turmalina e clorita estando dispersos na matriz e inclusos nos porfiroblastos de granada e cristais de quartzo e plagioclásio.

#### 4.2. Mapa de Fases Mineraias

A partir dos mapas de intensidade e com as análises microscópicas feitas, foram confeccionados mapas de fases mineraias para cada amostra estudada gerados pelo *software* XMapTools (Lanari et al., 2014, 2017).

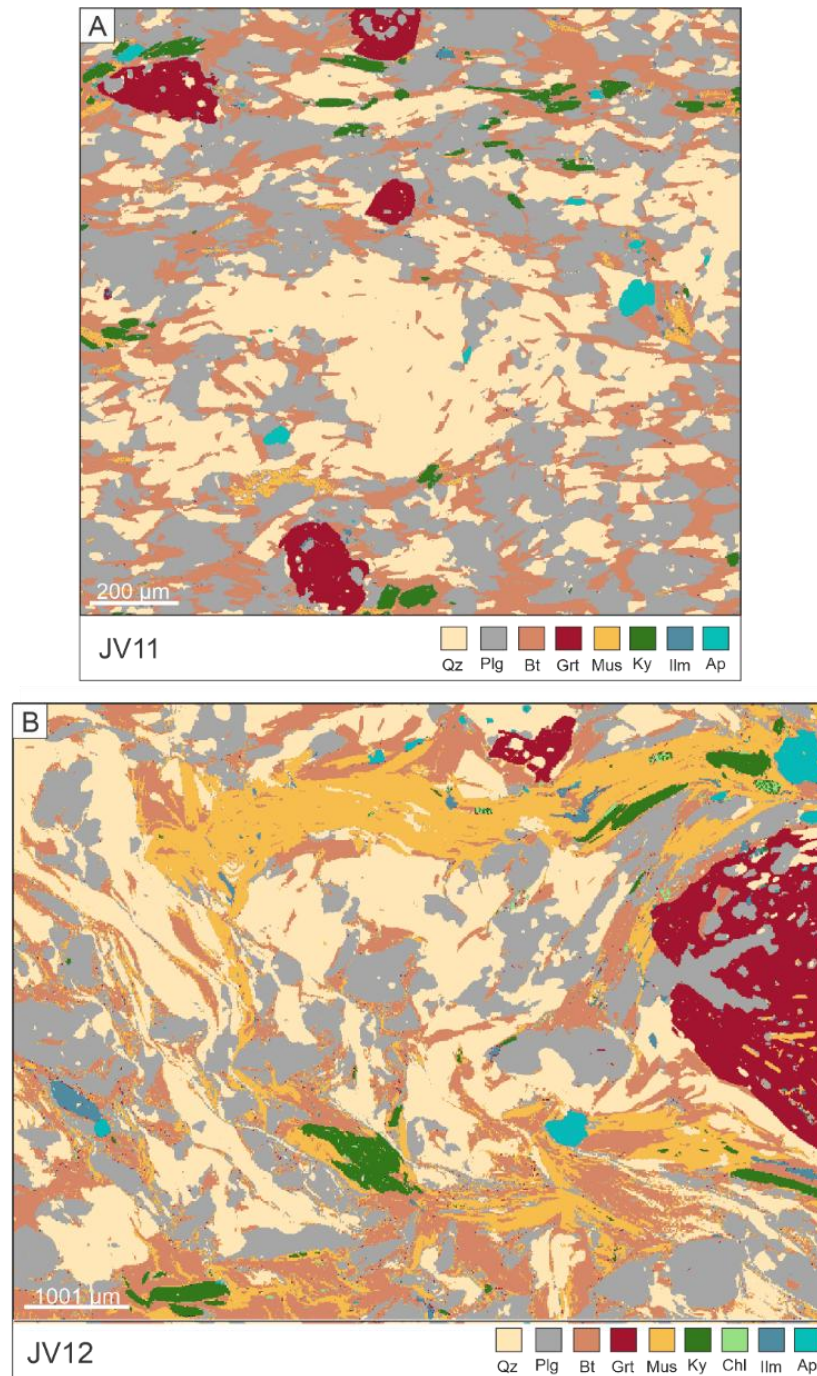
Realizada a padronização para cada mineral existente nos mapas de intensidade em conjunto com as análises químicas pontuais, gerou-se os mapas quantitativos (Figura 10). Com isso, os mapas possibilitaram a caracterização e a quantificação da composição mineralógica de cada mineral. Com os mapas quantificados, foi feito um agrupamento e combinação destes mapas, resultando no Merged-Map, no qual foi obtido a composição química em óxidos para as amostras JV11 e JV12, sendo a base para a modelagem no Bingo-Antidote (Tabela 2).

**Tabela 2** - Composição química em óxidos das amostras JV11 e JV12.

<b>JV11</b>		<b>JV12</b>	
<b>Óxidos</b>	<b>%</b>	<b>Óxidos</b>	<b>%</b>
SiO <sub>2</sub>	68.6016	SiO <sub>2</sub>	62.9296
CaO	2.3378	CaO	2.3264
FeO	5.9700	FeO	7.7897
K <sub>2</sub> O	2.1870	K <sub>2</sub> O	3.2000
MgO	2.9904	MgO	3.0983
MnO	1.7493	MnO	0.4433
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.5763	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.0000
TiO <sub>2</sub>	0.9133	TiO <sub>2</sub>	0.9133

Fonte: Elaborado pela autora

**Figura 10** - Mapa de fases minerais. A) Mapa da amostra JV11; B) Mapa da amostra JV12. Bt - Biotita; Grt - Granada; Ky - Cianita; Ms - Muscovita; Qzt - Quartzo; Pl - Palgioclásio; Rt - Rutilo; Tur - Turmalina; Chl - Clorita (Abreviações segundo Kretz, 1983).



Fonte: Elaborado pela autora.

### 4.3. Composição química mineral

A composição química das amostras estudadas (JV11 e JV12) são similares, e com base nos mapas quantitativos, foi possível definir algumas características a respeito de cada mineral a seguir. As análises químicas de cada mineral se encontram no Apêndice II.

### 4.3.1. Granada

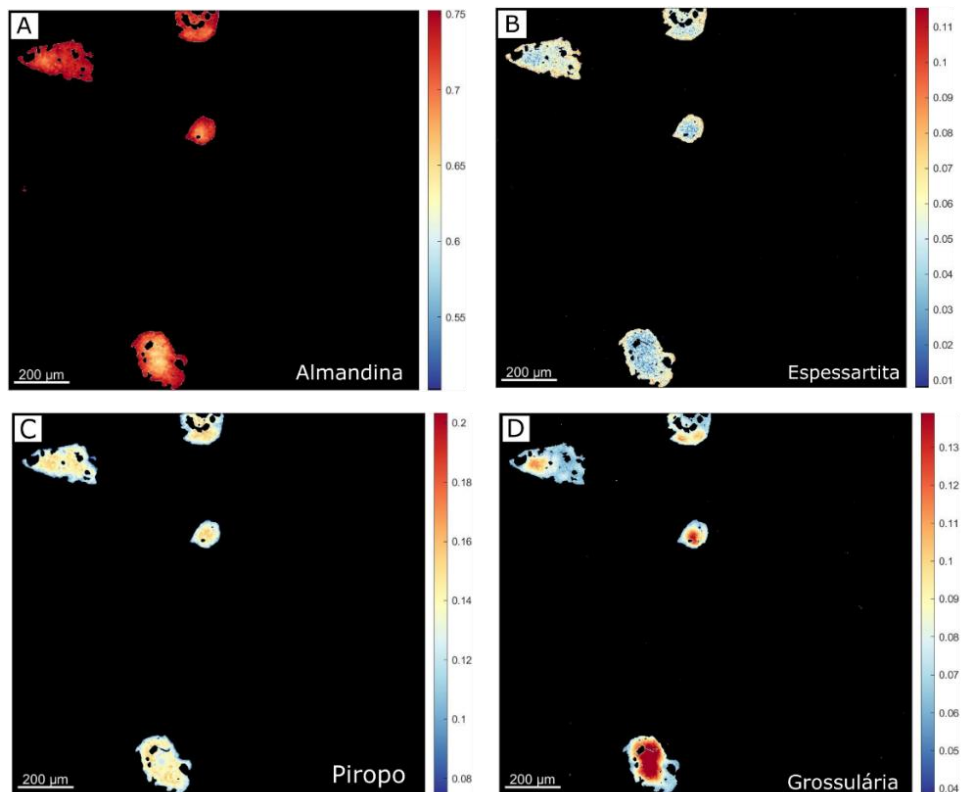
Com a análise dos mapas composicionais, é nítido um zoneamento químico, concêntrico dos porfiroblastos de granada, sendo mais nítido nos cristais da amostra JV11. De maneira geral, os cristais da amostra JV11 (Figura 11) apresentam núcleos de baixo teor de almandina e espessartita, e alto teor em grossulária e piropo, enquanto na borda apresentam alto teor em almandina e espessartita e baixo teor em grossulária e piropo. A Tabela 3 apresenta a variação do teor do núcleo e borda para a amostra JV11.

**Tabela 3** - Variação do teor do núcleo para a borda dos cristais de granada da amostra JV11.

Amostra JV11	Núcleo	Borda
Almandina	0.63 - 0.67	0.65 - 0.75
Espessartita	0.01 - 0.05	0.05 - 0.07
Piropo	0.12 - 0.17	0.08 - 0.12
Grossulária	0.09 - 0.13	0.06 - 0.09

Fonte: Elaborado pela autora.

**Figura 11** - Mapas quantitativos das granadas da amostra JV11, com zoneamento químico. A) Almandina; B) Espessartita; C) Piropo; D) Grossulária.



Fonte: Elaborado pela autora.

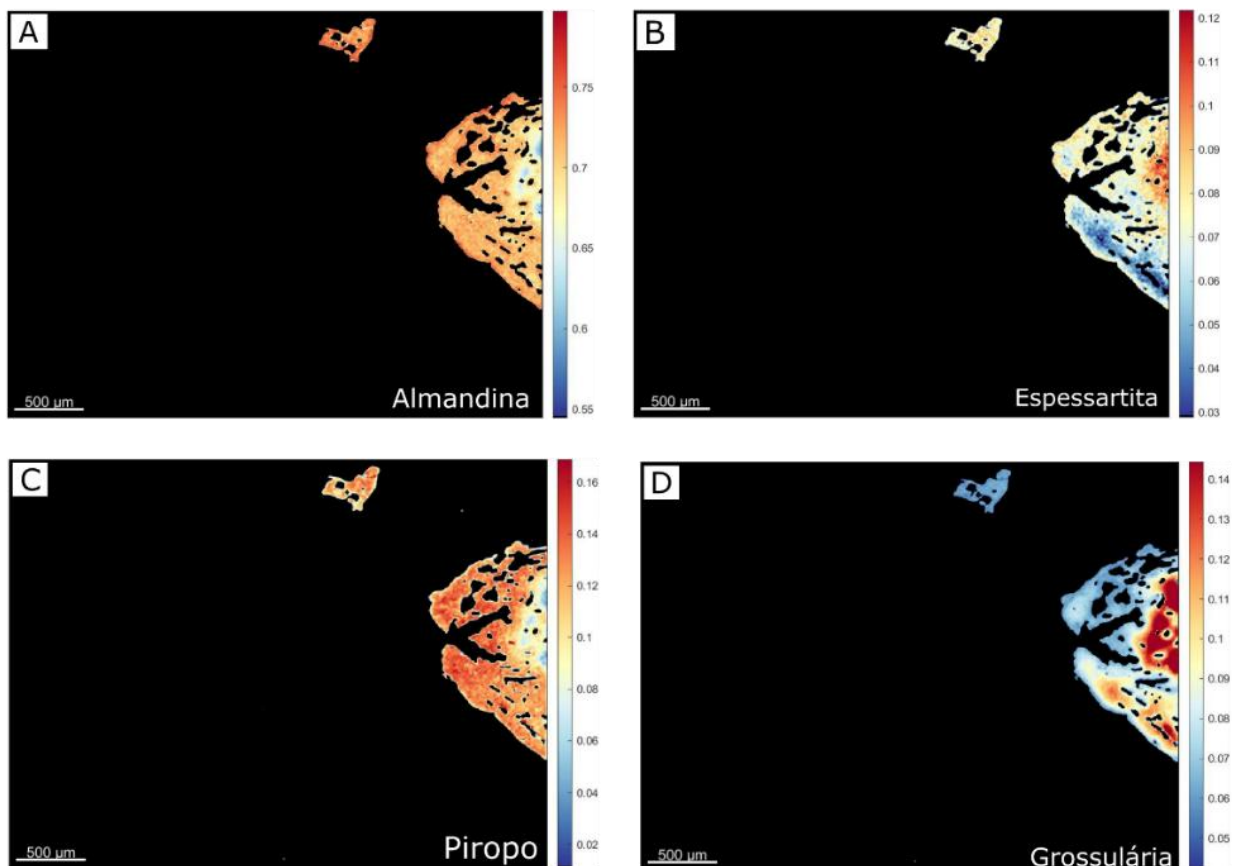
Já na amostra JV12 (Figura 12), os cristais de granada apresentam núcleos com alto teor de espessartita e grossulária e baixo teor de piropo e almandina, e nas bordas apresenta altos teores de almandina e piropo, ao contrário do que ocorrem nos núcleos. A Tabela 4 apresenta variação do teor do núcleo e borda para a amostra JV12.

**Tabela 4** - Variação de teor do núcleo para a borda dos cristais de granada para a amostra JV12.

Amostra JV12	Núcleo	Borda
Almandina	0.55 - 0.65	0.67 - 0.73
Espessartita	0.08 - 0.12	0.03 - 0.07
Piropo	0.04 - 0.07	0.1 - 0.16
Grossulária	0.11 - 0.14	0.07 - 0.1

Fonte: Elaborado pela autora.

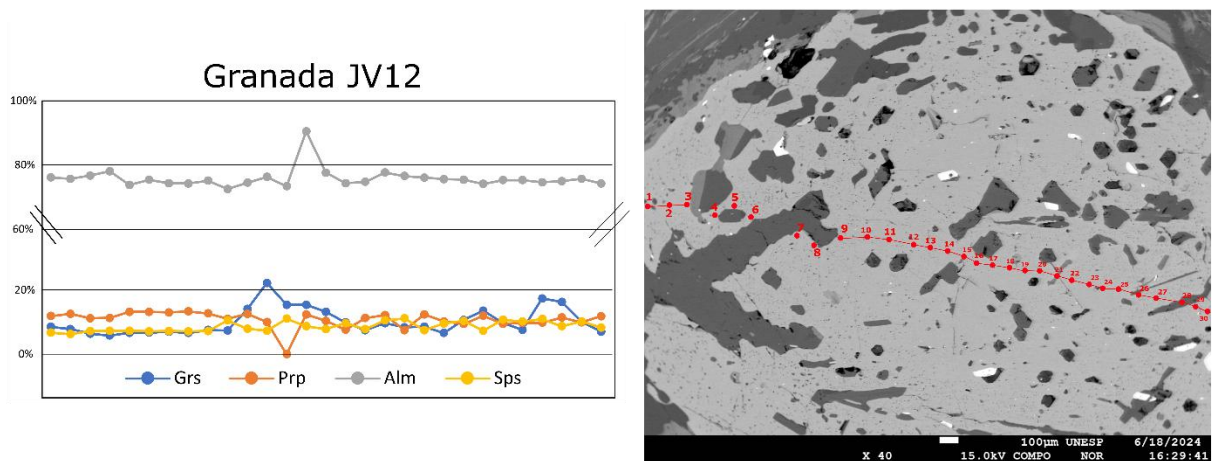
**Figura 12** - Mapas quantitativos dos porfiroblastos de granada da amostra JV12. A) Almandina; B) Espessartita; C) Piropo; D) Grossulária.



Fonte: Elaborado pela autora.

Foi elaborado um perfil no porfiroblasto de granada do mapa na JV12 (Figura 13), onde é possível observar que nas bordas e no centro, o membro almandina é o principal, chegando a 90%. Nas bordas, apenas o teor de grossulária possui variações significativas, entre 5 e 18%, e os outros membros são constantes na borda. No núcleo, é possível observar um aumento nos membros grossulária, que varia entre 10 e 22% e almandina com teor máximo de 90%. O membro piropo é constante nas bordas com pouca variação, e no núcleo é possível observar um zoneamento, variando de 0 a 15% no núcleo. A espessartita possui pouca variação em relação aos demais membros finais da granada, tendo certa homogeneidade ao longo do perfil.

**Figura 13** - Química mineral da Granada da amostra JV12. À esquerda, gráfico ilustrando a composição química em relação aos membros finais da granada. À direita, a imagem dos elétrons retroespalhados (BSE) do porfiroblasto de granada. Grs = grossulária; Prp = piropo; Alm = almandina; e Sps = espessartita.



Fonte: Elaborado pela autora.

#### 4.3.2. Biotita

A biotita, em sua grande parte, é homogênea, como visto nos mapas quantitativos (Figura 14 B e E), com valores de  $X_{Fe}$  entre 0.45 e 0.40 em ambas as amostras.

#### 4.3.3. Muscovita

A muscovita apresenta uma certa variação entre as duas amostras, sendo observado no mapa quantitativo da amostra JV12 uma maior concentração de  $X_{Fe}$  nas bordas dos cristais. Os valores de  $X_{Fe}$  variam entre 0.02 nos núcleos e 0.08 a 0.1 nas bordas na amostra JV12, e de 0.02 a 0.12 na amostra JV11 (Figura 14 A e D).

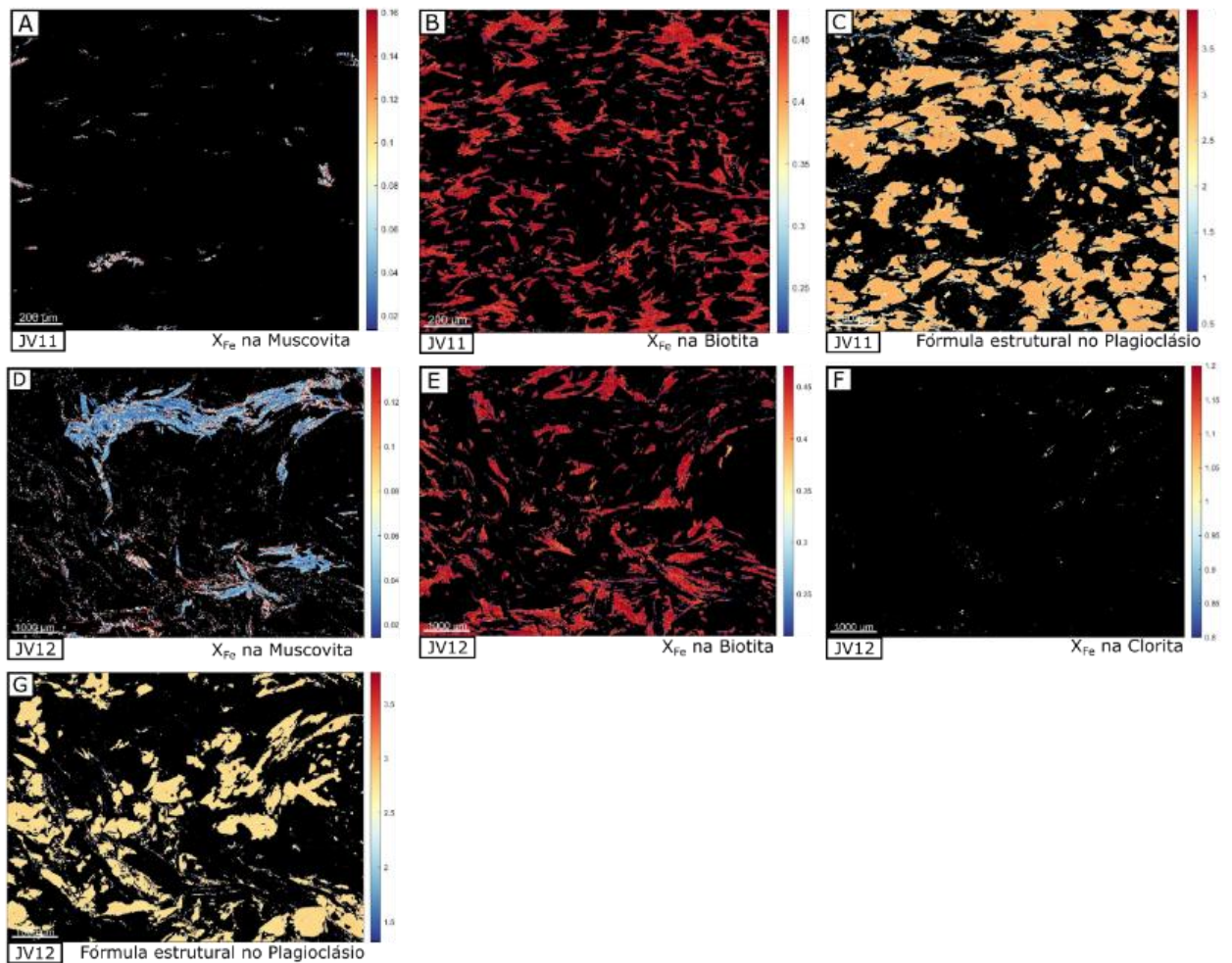
#### 4.3.4. Plagioclásio

O plagioclásio, em ambas as amostras, se apresenta de forma homogênea, porém, apresentam valores diferentes. Os valores da fórmula estrutural (proporção de Albita - Anortita) na amostra JV11 variam entre 2.5 e 3.0, e na amostra JV12 variam entre 2.5 e 2.7, sendo mais rico em Anortita (Figura 14 C e G).

#### 4.3.5. Clorita

A clorita ocorre apenas na amostra JV12 e possui menor ocorrência ao longo da seção estudada. De modo geral, ocorre de forma homogênea, e apresenta valores de  $X_{Fe}$  entre 0.95 e 1 (Figura 14 F).

**Figura 14** - Mapas quantitativos das amostras JV11 e JV12. A)  $X_{Fe}$  na muscovita da amostra JV11; B)  $X_{Fe}$  na biotita da amostra JV11; C) Fórmula estrutural no plagioclásio da amostra JV11; D)  $X_{Fe}$  na muscovita da amostra JV12; E)  $X_{Fe}$  na biotita da amostra JV12; F)  $X_{Fe}$  na clorita da amostra JV12; G) Fórmula estrutural no plagioclásio na amostra JV12.  $X_{Fe} = Fe/Mg+Fe$ ;



Fonte: Elaborado pela autora.

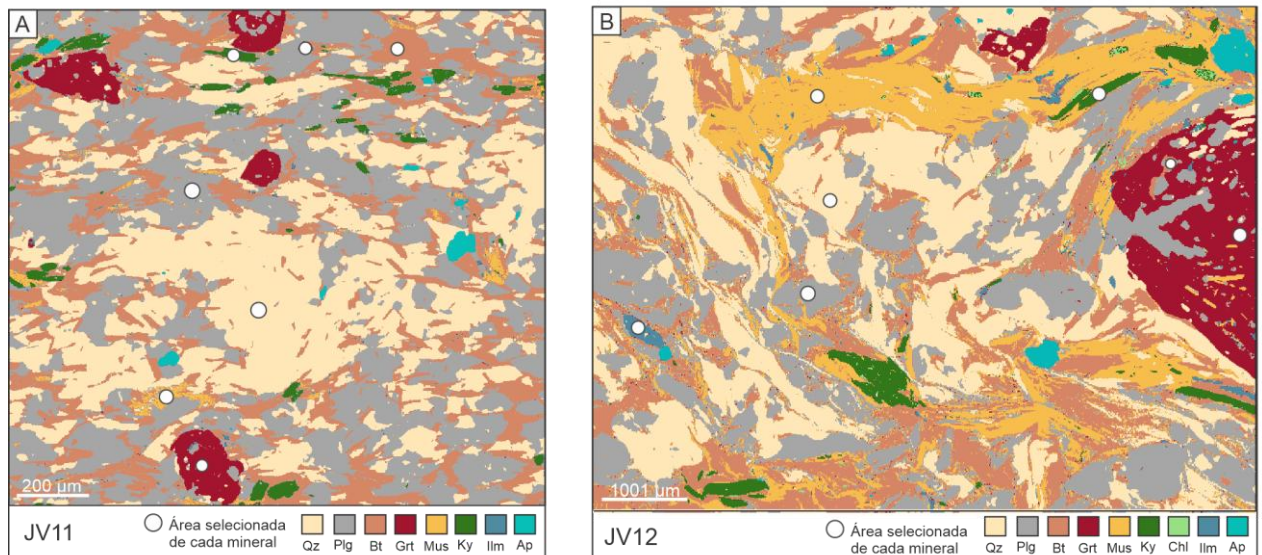
#### 4.4. Bingo – Antidote

A partir do *merge-map*, foi possível utilizar o software Bingo-Antidote, no qual realiza a modelagem utilizando o TheriakDomino (Captain; Brown, 1987). Para a modelagem de ambas as amostras, foi utilizado o banco de dados tc55 (White et al., 2007) e os elementos Al, Ca, Fe, Mn, Mg, Na, Si e Ti consistem no sistema químico escolhido.

Posteriormente foi definida a área total do mapa para representar a composição química total da amostra (*Bulk Composition*), e posteriormente, pontos específicos de cada mineral (Figura 15). Por mais que a granada se apresenta zonada, foi escolhido apenas o centro do mineral para a análise do pico metamórfico.

Foram obtidos resultados satisfatórios na modelagem apenas para o pico metamórfico nas duas amostras, pois os fatores de qualidade gerados pela Bingo ( $Q_{asm}$ ,  $Q_{vol}$ ,  $Q_{cmp}$  e  $Q_{total}$ ), em ambas as modelagens, para o retrometamorfismo foram abaixo de 40%.

**Figura 15** - Mapa de fases minerais com os pontos correspondentes a área selecionada de cada mineral utilizado na modelagem. A) JV11; B) JV12. Bt -Biotita; Grt – Granada; Ky – Cianita; Ms – Muscovita; Qzt – Quartzo; Pl – Plagioclásio; Rt – Rutilo; Tur – Turmalina; Chl - Clorita (Abreviações segundo Kretz, 1983).



Fonte: Elaborada pela autora.

Abaixo é apresentado os resultados das duas modelagens correspondentes a associação mineralógica do pico metamórfico, sendo composto por granada + muscovita + biotita + plagioclásio + quartzo + ilmenita + cianita em ambas as amostras.

Com relação a modelagem termodinâmica iterativa, foi selecionado a área geral no programa Antidote para uma otimização global das condições de P e T, a partir do modelo analisado pelo Bingo.

Para a amostra JV11, os resultados obtidos de P e T após a modelagem no *antidote* foram de 633°C e 0,67 GPa na análise, utilizando a associação granada + muscovita + biotita + plagioclásio + quartzo + ilmenita + cianita, caracterizando o pico metamórfico da unidade da região de estudo. A Tabela 5 mostra os respectivos valores gerados para os fatores  $Q_{asm}$ ,  $Q_{vol}$ ,  $Q_{cmp}$  e  $Q_{total}$ .

**Tabela 5** - Valores de qualidade da análise gerados pelo antidote para a paragênese mineral do pico metamórfico da amostra JV11.

$Q_{asm}$	100%
$Q_{vol}$	73.51%
$Q_{cmp}$	73.22%
$Q_{total}$	79,79%

Fonte: Elaborado pela autora

Já para a amostra JV12, os valores obtidos de P e T após a modelagem pelo *antidote* foram de 667°C e 0,74 GPa, com a mesma paragênese utilizada na amostra JV11, correspondendo ao pico metamórfico, com respectivos valores de  $Q_{asm}$ ,  $Q_{vol}$ ,  $Q_{cmp}$  e  $Q_{total}$  apresentados na Tabela 6.

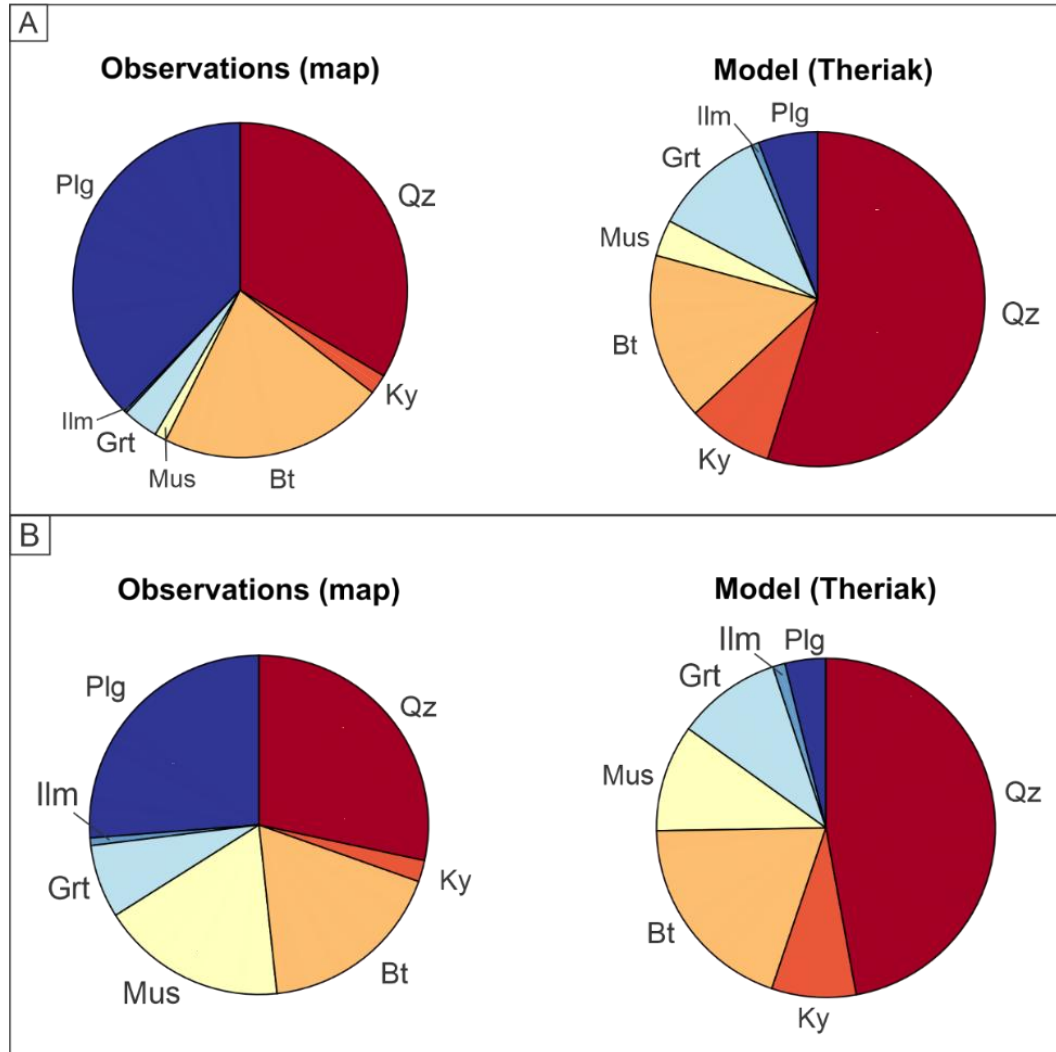
**Tabela 6** - Valores de qualidade da análise gerados pelo antidote para a paragênese mineral do pico metamórfico da amostra JV12.

$Q_{asm}$	100%
$Q_{vol}$	73.51%
$Q_{cmp}$	70,71%
$Q_{total}$	81,41%

Fonte: Elaborada pela autora.

Os gráficos de setores demonstram a comparação entre os resultados da composição obtidos na modelagem e os dados da composição observada da amostra, em ambas as amostras estudadas (Figura 16).

**Figura 16** - Gráfico de setores comparando os dados obtidos da composição observada e da composição modelada para o pico metamórfico. A) Dados obtidos da amostra JV11; B) Dados obtidos da amostra JV12.



Fonte: Elaborado a partir do software Bingo-Antidote.

## 5. DISCUSSÃO

### 5.1. Evidências do metamorfismo a partir da petrografia

Os cristais de granada possuem grandes inclusões de quartzo e plagioclásio, em continuidade com a foliação externa e apresenta sombra de deformação, sendo caracterizado um crescimento sin-tectônico a fases D1. Os cristais de quartzo, em sua grande parte ocorre uma extinção ondulante, com mecanismos de recristalização do tipo rotação de subgrão (SGR) e do tipo migração de limite de grão em alta temperatura (GBM) (Passchier; Trouw, 2005; Hirth; Tullis, 1992).

Em relação ao metamorfismo, a cianita associada a biotita, muscovita, quartzo, plagioclásio, ilmenita e granada correspondem a associação mineralógica do pico metamórfico. As cloritas presentes na amostra JV12, sugerem ser resultado da alteração da granada e da biotita, sendo associada ao retrometamorfismo.

### 5.2. Fatores de qualidade e resultados gerados pelo Bingo-Antidote

Considerando primeiramente os fatores de qualidade, nota-se que a relação entre o observado no mapa e o resultado modelado referente a associação mineralógica ( $Q_{asm}$ ) foi de 100% em ambas as amostras, referente ao pico metamórfico.

Os valores obtidos dos demais fatores de qualidade ( $Q_{vol}$ ,  $Q_{emp}$  e  $Q_{total}$ ) foram positivos, sendo acima de 70%. Essas análises obteve os melhores valores ao longo das modelagens realizadas.

Sobre os valores de P e T para a amostra JV11, a paragênese granada + cianita + muscovita + biotita + ilmenita + plagioclásio + quartzo associadas ao pico metamórfico obteve-se 633°C e 0,67 GPa. Já os valores de P e T obtidos para a amostra JV12, utilizando a mesma paragênese mineral, obteve-se 667°C e 0,74 GPa. A partir dos resultados obtidos, conclui-se que o metamorfismo que atuou na Unidade Santo Antônio alcançou a fácies anfíbolito.

### 5.3. Relação dos resultados com bibliografias anteriores da unidade

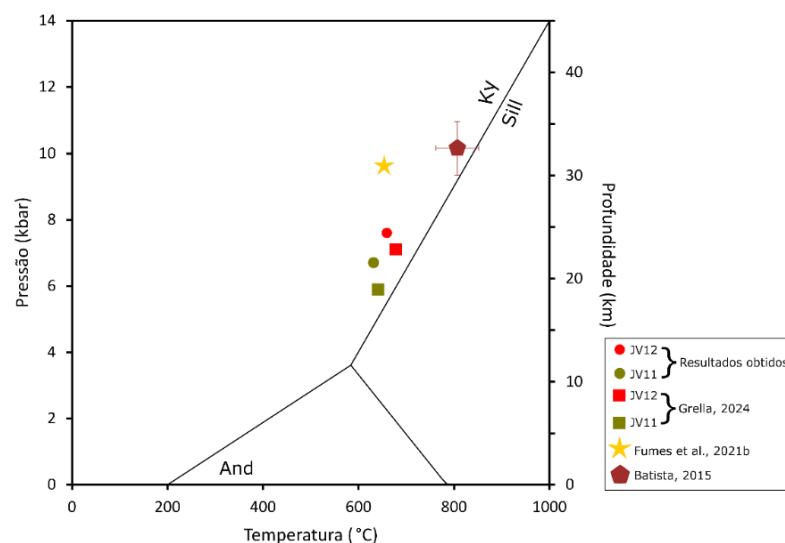
Fumes et al. (2021) realizou estudos na *Nappe* de Luminárias, localizada a nordeste da área de estudo, e define o pico metamórfico pela associação biotita + plagioclásio + granada + muscovita + ilmenita + quartzo com rutilo presente no metamorfismo progressivo, substituído pela ilmenita, e clorita no retrometamorfismo, substituindo a biotita e a granada. Classifica o pico metamórfico estável entre 570 e 650°C e pressões entre 0,7 e 1,5 GPa, acalando fácies anfíbolito (Fumes et al., 2021). Grella (2024) realizou estudos nesta região utilizando

geotermômetros de Ti-no-quartzo e ângulo de abertura do eixo-c do quartzo, obteve temperatura e pressão para a JV11 de 641°C e 0,59 GPa, e para a JV12 de 695°C e 0,69 GPa, classificando como fácies anfíbolito.

Batista (2015) realizou estudos nas proximidades deste trabalho e de Grella (2024), na Zona de Cisalhamento Três Corações, no qual caracteriza esta unidade por rutilo + cianita + granada + biotita + plagioclásio + ilmenita + quartzo + muscovita + leucossoma tonalítico, onde obteve condições de 750°C a 850°C no pico metamórfico e pressões de até 11,5 kbar chegando à fácies granulito. Os valores obtidos neste trabalho foram inferiores aos obtidos por Batista (2015), caracterizando como fácies anfíbolito. Além disso, não foi encontrada evidências de fusão parcial nas amostras deste estudo. Logo há uma suposição de um gradiente metamórfico entre a área pesquisada por Batista (2015) e área desse presente trabalho, indicando um aumento para NE da área de estudo.

De acordo com Grella (2024), essa diferença de temperatura entre as amostras pode ser explicada devido à proximidade da amostra JV12 com a Zona de Cisalhamento Três Corações, que, devido a percolação de fluidos e descompressão, caracterizado pela presença de clorita na matriz somente nesta amostra, pode influenciar na estrutura cristalina dos minerais, e consequentemente, influencia no aumento da temperatura nos geotermômetros e na modelagem termodinâmica iterativa. A Figura 17 ilustra os resultados deste trabalho com os dados das publicações citadas anteriormente.

**Figura 17** - Gráfico de diagrama de fases de  $Al_2SiO_5$  com os resultados deste trabalho e dados de bibliografias anteriores.



Fonte: Elaborado pela autora

## 6. CONCLUSÃO

A partir da modelagem termodinâmica iterativa utilizando o software Bingo-Antidote, foi possível obter as condições de P-T para o pico metamórfico do biotita-quartzo xisto feldspático com cianita e granada (amostra JV11) e do milonito de biotita-quartzo xisto feldspático com cianita e granada (amostra JV12) da Unidade Santo Antônio, na região de Campanha – MG.

Os dados de P-T adquiridos para o pico metamórfico para a amostra JV11 foi de 0,67 GPa e 633°C, respectivamente, e para a amostra JV12 que se encontra próxima a Zona de Cisalhamento Três Corações foi de 0,74 GPa e 667°C. No geral, os dados da modelagem termodinâmica iterativa obtidos são condicentes quando comparados com bibliografias anteriores para a mesma unidade geológica (Fumes et al., 2021; Grella, 2024), classificando o pico metamórfico da região em fácies anfíbolito.

Além disso, a presença de clorita na amostra JV12 deve estar associada a entrada de água no sistema, porém, é necessário estudos mais detalhados a respeito.

Por fim, conclui-se que a modelagem termodinâmica iterativa utilizando o software Bingo-Antidote é uma possibilidade viável para a determinação das condições P-T, além de ser um potencial para a termodinâmica aplicada na petrologia.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B.; FUCK, R. A. Províncias estruturais brasileiras. **VIII Simpósio de Geologia do Nordeste**, p. 363–391, 1977.
- ARAÚJO FILHO, J.O. 2000. The Pirineus Sintaxis: an example of the intersection of two brasileiro fold-thrust belts in central Brazil and its implications for the tectonic evolution of Western Gondwana. **Rev. Bras. Geociências**, 30(1):144-148.
- BATISTA, L. A. **Geração e transporte de fundidos em semi-pelitos: modelagem com dados de campo e pseudosseções**. 2015. 2758 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Mineralogia e Petrologia, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.
- BATISTA, L. A. **Petrocronologia de zircão e monazita em migmatitos: controles estruturais, texturais e geoquímicos na transição anfíbolito-granulito**. 2022. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 2022.
- BRITO NEVES, B. B. O Proterozóico Médio no Brasil: ensaio do conhecimento e seus problemas. **Revista Brasileira de Geologia**, v. 22, n. 4, p. 449 – 461, 1992.
- CAMPOS NETO, M. C. 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, M. C.; JANASI, V. A.; BASEI, M. A.; SIGA JR, O. Sistema de *Nappes* Andrelândia, setor oriental: litoestratigrafia e posição estratigráfica. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 37, n. 4, 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, M. C. 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.
- CORDANI, U. G.; SATO, K.; TEIXEIRA, W.; TASSINARI, C. C. G.; BASEI, M. A. S. Crustal Evolution of the South American Platform. In: CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D. A. (Ed.). **Tectonic Evolution of South America**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2000. p. 19-40.
- CONNOLLY, J.A.D.; KERRICK, D.M.. An algorithm and computer program for calculating composition phase diagrams. **Calphad**, [S.L.], v. 11, n. 1, p. 1-55, jan. 1987. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0364-5916\(87\)90018-6](http://dx.doi.org/10.1016/0364-5916(87)90018-6).
- DARDENNE M.A. The Brasília Fold Belt. In: U.G. Cordani, E.J. Milani, A. Thomaz Filho e D.A. Campos. 2000. Tectonic evolution of South America. **31 st International Geological Congress**, Rio de Janeiro, SBG, 2014, p. 231-263.

DUESTERHOEFT, E.; LANARI, P. 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, jun. 2020. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/jmg.12538>.

FRUGIS, G. L.; CAMPOS NETO, M. C.; LIMA, R. B. 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.

FUCK R.A.; PIMENTEL M.M.; D'EL - Rey Silva L.J. 1994. Compartimentação Tectônica na porção oriental da Província Tocantins. In: **Congresso Brasileiro de Geologia**, 38, Camboriú (SC), Anais, p.215-216.

FUMES, R. A.; LUVIZOTTO, G. L.; MORAES, R.; PATTO, L.A. 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. b.

FUMES, R. A.; LUVIZOTTO, G. L.; MORAES, R.; ... Petrochronology of high-pressure granulite facies rocks from Southern Brasília Orogen, SE Brazil: combining quantitative compositional mapping, single-elements thermometry and geochronology. **Journal of Metamorphic Geology**, v. 40, n. 3, p. 517-552, 2021. a.

FUMES, R. A.; LUVIZOTTO, G. L.; MORAES, R.; HEILBRON, M.; VLACH, S. R. F. Metamorphic modeling and petrochronology of metapelitic rocks from Luminárias Nappe, southern Brasília belt (SE Brazil). **Brazilian Journal of Geology**, v. 49, n. 2, p. 1–25, 2019.

GRELLA, João Victor. **Análise da Deformação do Quartzo pelos Geotermômetros de Ti no Quartzo e Ângulo de Abertura do Eixo-C em Zonas de Cisalhamento nos Orógenos Ribeira e Brasília**. 2014. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geociências e Meio Ambiente, Geologia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Rio Claro, 2024.

HEILBRON, M.; CORDANI, U. G.; ALKMIM, F. F. **São Francisco Craton, eastern Brazil: tectonic genealogy of a miniature continent**. [S.I.]: Springer, 2017. 326 p.

KUSTER, K. 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. I.], v. 102, n. May, p. 102666, 2020.

LANARI, P. 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, P.; DUESTERHOEFT, E. Modeling Metamorphic Rocks Using Equilibrium Thermodynamics and Internally Consistent Databases: past achievements, problems and perspectives. **Journal Of Petrology**, [S.L.], v. 60, n. 1, p. 19-56, 19 nov. 2018. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1093/petrology/egy105>

MOTTA, R. G.; MORAES, R.; TROUW, R. A. J.; CAMPOS NETO, M. C. Reconstrução e comparação de trajetórias P-T no Sistema de *Nappes* Andrelândia, sul da Faixa Brasília, MG. **Geologia Usp. Série Científica**, [S.L.], v. 10, n. 3, p. 79-96, 1 out. 2010. Universidade

de Sao Paulo, Agência USP de Gestao da Informacao Academica (AGUIA).  
<http://dx.doi.org/10.5327/z1519-874x2010000300006>.

PETERNEL, R.; TROUW, R. A. J.; SCHMITT, R. S. 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, 1 set. 2005. Sociedade Brasileira de Geologia. <http://dx.doi.org/10.25249/0375-7536.2007353297310>.

PIMENTEL, M. M.; JOST, H.; FUCK, R. A. O embasamento da Faixa Brasília e o arco Magmático de Goiás. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. DAL RÉ; BRITO-NEVES, B. B. (org.). **Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Beca, 2004, p. 355-368.

PIMENTEL, M. M. The tectonic evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil: a geochronological and isotopic approach. **Brazilian Journal Of Geology**, [S.L.], v. 46, n. 1, p. 67-82, jun. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2317-4889201620150004>.

RIBEIRO, A. 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.

RIBEIRO, A.; PACIULLO, F. V. P.; ANDREIS, R. R.; TROUW, R. A. J.; HEILBRON, M. 1990. Evolução policíclica proterozóica no sul do Cráton do São Francisco: análise da região de São João dei Rei e Andrelândia, MG. In: **CONGR. BRAS. GEOL**, 36., Natal, 1990. Anais..., SBG, 6: 2605-2614.

TROUW, R. A. J.; HEILBRON, M.; RIBEIRO, A.; PACIULLO, F. V. P.; VALERIANO, C. M.; ALMEIDA, J. C. H.; TUPINAMBÁ, M.; ANDREIS, R. R.; 2000. The Central Segment of the Ribeira Belt. In: U. G. Cordani, E. J. Milani, A. Thomaz Filho, D. A. Campos (eds.) *Tectonic Evolution os South America*. Rio de Janeiro. **31º International Geological Congress**, pp. 287 – 310.

UHLEIN, A.; FONSECA, M. A.; SEER, H. J.; DARDENNE, M. A. Tectônica da Faixa de Dobramentos Brasília - Setores Setentrional e Meridional. **Geonomos**, Belo Horizonte, v. 20, n. 2, p. 1-14, ago. 2012.

VALERIANO, C.M.; DARDENNE, M.A.; FONSECA, M.A.; SIMÕES, L.S.A.; SEER, H.J. 2004. A evolução tectônica da Faixa Brasília. In: V. MANTESSO-NETO, A. BARTORELLI, C.D.R. CARNEIRO, B.B. BRITO NEVES (eds). **Geologia do Continente Sul-Americano: evolução e obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**, Beca, p.:575-593.

VALERIANO, C. M.; PIMENTEL, M. M.; HEILBRON, M.; ALMEIDA, J. C. H.; TROUW, R. A. J. (2008). Tectonic evolution of the Brasília Belt, Central Brazil, and early assembly of Gondwana. **Geological Society**, London, Special Publications, 294(1), 197–210.

VALERIANO, Claudio de Morisson. The Southern Brasília Belt. In: HEILBRON, Monica. **São Francisco Craton, Eastern Brazil**. [S.I.]: Springer, 2017. p. 189-203.

## APÊNDICE I – Descrição das Lâminas Petrográficas

### AMOSTRA JV 11

**Nome da rocha:** Biotita xisto feldspático com cianita e granada

#### DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA

Rocha de coloração cinza a cinza escuro, com cristais de quartzo com granulação média a grossa e bandas bem-marcadas. Os minerais de granulação mais fina possuem certa orientação preferencial. Contém uma foliação contínua do tipo xistosidade bem-marcada. Além disso, se observa porfiroblastos de granada distribuídos ao longo de toda a amostra.

#### DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA

**Estrutura:** a lâmina possui uma foliação contínua do tipo xistosidade marcada pelos minerais micáceos (muscovita e biotita). Já os cristais de quartzo e plagioclásio se encontram pouco orientados em comparação a biotita e a muscovita.

**Textura:** Lepidoblástica, com grande predomínio de minerais micáceos ao longo da lâmina, e textura porfiroblástica e poiquilítica marcada pelos cristais de granada.

#### Composição modal:

Biotita – 35%	Quartzo – 25%	Muscovita – 20%	Traços – 1%
Plagioclásio – 16%	Granada – 4%	Cianita – 4%	

#### Descrição dos minerais

Biotita – os cristais apresentam formas subedrais a anedrais em sua maioria, com tamanhos que variam de 0,3 a 1 mm, de hábito tabular e todos bem orientados. São bem-marcados pelo pleocroísmo de cor marrom amarelado, esverdeado e marrom acastanhado. Possui contato retilíneo em grande parte da lâmina, e em algumas porções apresenta contato serrilhado com cristais de quartzo e plagioclásio. É presente em toda a lâmina e está incluso nos porfiroblastos de granada.

Muscovita – apresentam formas subedrais a anedrais, com tamanhos que variam de 0,3 a 0,7 mm, de hábito tabular, e sendo bem orientada em sua maior parte. São incolores em lâmina e pleocroísmo ausente. Se encontra, principalmente, ao redor dos porfiroblastos de granada.

Quartzo – apresenta cristais anedrais, com contatos lobulares, serrilhados e irregulares com os cristais de plagioclásio e retilíneos com os minerais micáceos. Possuem tamanho entre 0,2 e 0,7 mm, sendo incolores com polarizadores descruzados, e apresenta uma forte extinção ondulante com polarizadores cruzados. É presente ao longo de toda a lâmina e está incluso nos porfiroblastos de granada.

Plagioclásio – em sua maior parte apresenta cristais subedrais a anedrais, com tamanhos que variam entre 0,3 e 0,7 mm. São incolores em lâmina, possuem contatos retilíneos com os cristais de biotita e muscovita, e contatos serrilhados a irregulares com os cristais de quartzo, e está incluso em alguns porfiroblastos de granada.

Granada – possui cristais subedrais, com tamanhos que variam de 0,5 a 2 mm. É incolor em lâmina, possui relevo médio positivo, sendo caracterizada como porfiroblastica. Apresenta inclusões de quartzo, plagioclásio e biotita, sendo rodeado principalmente por cristais de biotita, muscovita e cianita. Não possui uma foliação bem-marcada em seu interior.

Cianita – ocorre em menor porção na lâmina, com formas subedrais a anedrais, com um relevo alto positivo, incolor e possui tamanhos de 0,2 a 0,5 mm. Possui contatos serrilhados a irregulares com cristais de quartzo e plagioclásio, e contatos retilíneos com os minerais micáceos.

Ilmenita – mineral opaco encontrado em algumas porções da lâmina.

Apatita – apresenta cristais subedrais, incolores, com tamanhos entre 0,2 e 0,5 mm, ocorre presente na matriz e inclusos nos porfiroblastos de granada.

## **AMOSTRA JV12**

**Nome da rocha:** Milonito de Biotita xisto feldspático com cianita e granada

### **DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA**

Rocha de coloração acinzentada, com cristais de quartzo com granulação média a grossa e bandas bem-marcadas. Possui porfiroblastos de granada ao longo da foliação milonítica bem-marcada. Essa amostra possui um leve grau de alteração.

### **DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA**

**Estruturas:** a lâmina possui uma foliação milonítica bem evidente, com porções orientadas e outras totalmente “moídas” pelas forças cisalhantes, caracterizando uma

deformação bem intensa. Os porfiroblastos de granada não possuem evidências/registros de foliação.

**Texturas:** Lepdoblástica, com grande predomínio de minerais micáceos ao longo da lâmina, e textura porfiroblástica e poiquilítica marcada pelos cristais de granada.

### **Composição Modal**

Biotita – 30%	Muscovita – 20%	Quartzo – 25%	Clorita – 2%
Plagioclásio – 16%	Granada – 4%	Cianita – 4%	Traços – 1%

### **Descrição dos minerais**

**Biotita** - os cristais apresentam formas subedrais a anedrais em sua maioria, com tamanhos que variam de 1 a 3 mm, de hábito tabular e todos bem orientados. São bem-marcados pelo pleocroísmo de cor marrom amarelado, esverdeado e marrom acastanhado. Possui contato retilíneo em grande parte da lâmina, e em algumas porções apresenta contato serrilhado com cristais de quartzo e plagioclásio. É presente em toda a lâmina e está incluso nos porfiroblastos de granada.

**Muscovita** - apresentam formas subedrais a anedrais, com tamanhos que variam de 0,3 a 0,7 mm, de hábito tabular, e sendo bem orientada em sua maior parte. São incolores em lâmina e pleocroísmo ausente. Se encontra, principalmente, ao redor dos porfiroblastos de granada.

**Quartzo** - apresenta cristais anedrais, com contato lobular, serrilhado e irregular com os cristais de plagioclásio e retilíneo com os minerais micáceos. Possuem tamanho entre 0,2 e 0,7 mm, sendo incolores com polarizadores descruzados, e apresenta uma forte extinção ondulante com polarizadores cruzados. É presente ao longo de toda a lâmina e está incluso nos porfiroblastos de granada. Em sua maior parte, é possível observar uma recristalização do tipo SGR (rotação de subgrão).

**Plagioclásio** – em sua maior parte apresenta cristais subedrais a anedrais, com tamanhos que variam entre 0,3 e 0,7 mm. São incolores em lâmina, possuem contato retilíneo com os cristais de biotita e muscovita, e contato serrilhado a irregular com os cristais de quartzo, e está incluso em alguns porfiroblastos de granada.

**Granada** – possui cristais subedrais, com tamanhos que variam de 1 a 3 mm. É incolor em lâmina, possui relevo médio positivo, sendo caracterizada como porfiroblástica. Apresenta

inclusões de quartzo, plagioclásio e biotita, sendo rodeado principalmente por cristais de biotita, muscovita e cianita. Não possui uma foliação bem-marcada em seu interior.

Cianita – ocorre em menor porção na lâmina, com formas subedrais a anedrais, com um relevo alto positivo, incolor e possui tamanhos de 0,2 a 0,5 mm. Possui contato serrilhado a irregular com cristais de quartzo e plagioclásio, e contato retilíneo com os minerais micáceos.

Clorita – ocorre em menor porção na lâmina, com formas anedrais, tamanhos entre 0,1 e 0,3 mm, com contato irregular com os cristais de plagioclásio e quartzo. Em grande parte, se encontra ao redor dos porfiroblastos de granada.

**APÊNDICE II – Análises Químicas dos Minerais Metamórficas**

Pontos	SiO <sub>2</sub> (Mass%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Mass%)	Na <sub>2</sub> O(Mass%)	MgO(Mass%)	CaO(Mass%)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Mass%)	K <sub>2</sub> O(Mass%)	TiO <sub>2</sub> (Mass%)	FeO(Mass%)	MnO(Mass%)	Total(Mass%)
JV12A_grt_Line 001	37.0523	21.1541	0.0092	3.5203	2.161	0.007	0.0012	0.0118	32.7325	3.1347	99.7633
JV12A_grt_Line 002	88.1147	1.6779	0.0102	0.2458	0.2696	0.0007	0.002	5.1148	3.6313	0.3887	99.4503
JV12A_grt_Line 003	36.7317	21.1111	0.0076	3.4401	2.6659	0.0231	0.0022	0.0054	32.1889	3.3449	99.5165
JV12A_grt_Line 004	37.0013	21.2361	0.0198	3.3171	2.8313	0.0287	0.0125	0.0182	32.3545	3.322	100.0769
JV12A_grt_Line 005	36.6089	21.0111	0.0137	2.7644	4.3539	0.0051	0.0089	0.0227	31.5861	3.5964	99.9712
JV12A_grt_Line 006	36.8769	21.1097	0.0274	2.2434	5.6941	0.0152	0.0184	0.0441	30.8359	3.5171	100.3518
JV12A_grt_Line 007	36.7009	21.1044	0.0137	2.112	5.8941	0.0136	0.0081	0.0445	30.3077	3.7439	99.8995
JV12A_grt_Line 008	36.9031	21.0725	0.003	2.0268	6.3679	0.0282	0.0012	0.0385	29.7815	3.7256	99.9459
JV12A_grt_Line 009	36.9304	21.051	0.0303	2.0324	5.8017	0.0052	0.0036	0.0552	30.009	4.1543	100.0659
JV12A_grt_Line 010	36.9347	21.1218	0.0061	2.5233	4.0168	0.0013	0.0077	0.0211	31.1072	4.611	100.351
JV12A_grt_Line 011	36.7221	21.0278	0.0091	2.36	4.5448	0.0037	0.0117	0.0483	30.7896	4.4512	99.9267
JV12A_grt_Line 012	36.7983	21.0555	0.0213	2.3487	4.5283	0.0188	0.0067	0.0397	30.9374	4.2484	99.9521
JV12A_grt_Line 013	37.2253	21.4505	0.0137	2.9865	2.844	0.0145	0.0065	0.0251	32.3019	3.8585	100.6991
JV12A_grt_Line 014	36.7036	21.1693	0.0136	2.3201	5.2318	0.0032	0.0024	0.0573	30.6571	4.0557	100.2141
JV12A_grt_Line 015	36.8958	21.0796	0.0046	2.2268	4.9396	0.0207	0.0043	0.0407	31.3006	3.9815	100.4764
JV12A_grt_Line 016	37.0934	21.3092	0.0273	2.1731	5.2846	0.0117	0.0031	0.0326	30.7448	3.5778	100.2514
JV12A_grt_Line 017	36.8432	21.2353	0.0166	1.814	7.347	0.0032	0.0019	0.0732	29.7528	3.1464	100.2298
JV12A_grt_Line 018	36.481	21.0849	0.0532	2.7287	4.202	0.0053	0.0084	0.0302	31.6399	3.28	99.5136
JV12A_grt_Line 019	36.6897	21.1311	0.0228	3.084	3.0244	0.029	0.0045	0.0311	32.5549	3.3623	99.9338
JV12A_grt_Line 020	37.052	21.2283	0	3.3295	2.8591	0.0005	0.005	0.0182	32.7894	3.3706	100.6416
JV12A_grt_Line 021	45.091	35.6406	1.1207	0.6745	0.004	0.0217	9.0984	0.7693	1.6999	0.042	94.1541
JV12A_grt_Line 022	36.9478	21.213	0.0076	3.147	3.3984	0.0042	0.0038	0.0045	32.2976	2.9008	99.9171
JV12A_grt_Line 023	37.0294	21.0037	0.0137	3.2056	3.4817	0.0075	0.0036	0.0098	32.5646	2.7314	100.0438
JV12A_grt_Line 024	36.9325	20.9469	0.0152	3.0163	3.4374	0.0289	0.0046	0.0014	32.9816	2.7569	100.0913
JV12A_grt_Line 025	37.0257	21.1452	0.0046	3.116	3.4887	0.0528	0.0029	0.0038	32.9772	2.4808	100.2977
JV12A_grt_Line 026	37.2932	21.2967	0.0273	2.9767	4.63	0.0549	0.007	0.0083	32.4881	2.0265	100.7541
JV12A_grt_Line 027	37.3862	21.4684	0.0226	2.7518	5.6329	0.0003	0.0053	0.0324	31.7953	1.4682	100.5076
JV12A_grt_Line 028	38.3819	21.609	0.0105	3.3804	4.5733	0.036	0.0079	0.0083	31.9446	1.3628	101.3147
JV12A_grt_Line 029	36.8257	21.2652	0.003	3.2634	4.0698	0.0247	0	0.002	32.7684	1.6446	99.8568
JV12A_grt_Line 030	37.1372	21.3006	0.0091	3.1499	3.1157	0.0518	0.0012	0.0189	32.9725	2.8363	100.5554
JV12A_mus_1	45.1874	35.0599	1.2041	0.7664	0.0315	0.0633	8.9787	0.8288	1.2101	0.006	93.2732
JV12A_mus_2	45.2091	35.9734	1.2925	0.6745	0.0079	0.0559	9.0026	0.6658	1.0853	0.0088	93.96
JV12A_mus_3	44.8374	35.6396	1.2138	0.6621	0.0062	0.0318	9.0749	0.6587	1.0857	0.0166	93.1936
JV12A_mus_4	45.1447	35.7949	1.2418	0.651	0.0186	0.0094	9.0751	0.6595	1.0743	0.0166	93.6155
JV12A_mus_5	44.9356	35.853	1.3192	0.6196	0.0116	0.035	8.9137	0.6247	1.0541	0.0175	93.3258
JV12A_mus_6	45.4773	35.0264	1.1057	0.8409	0.0189	0.0311	9.1252	0.7257	1.1751	0.0064	93.5199
JV12A_mus_7	45.6513	35.6336	1.2684	0.7186	0.0277	0.0239	8.9581	0.4612	1.0836	0.0101	93.7131
JV12A_mus_8	44.997	35.2365	1.2853	0.7425	0.0136	0.0191	8.9277	0.8387	1.1557	0.0051	93.2212
JV12A_mus_9	45.4417	34.7269	1.1184	0.9075	0.011	0.0295	9.2037	0.8102	1.2534	0.0152	93.4955
JV12A_mus_10	46.0594	34.14	1.0711	1.0705	0.0151	0.067	9.181	0.6749	1.3222	0.0023	93.5733
JV12A_mus_11	45.4937	35.2149	1.0705	0.785	0.0272	0.0403	9.2946	0.7567	1.1104	0.0023	93.7366
JV12A_mus_12	45.3711	34.7893	1.1987	0.8778	0.0193	0.0736	8.9567	0.7449	1.2151	0.0074	93.2539
JV12A_mus_13	45.3848	34.7222	1.2005	0.9168	0.0064	0.0172	9.1098	0.7692	1.301	0.0193	93.4086
JV12A_mus_14	45.4567	35.313	1.1687	0.7793	0.0115	0.041	9.0118	0.6601	1.1362	0.0014	93.5797
JV12A_mus_15	45.2849	35.9192	1.3898	0.6431	0.0082	0.0337	8.991	0.5677	1.0763	0.0156	93.9131
JV12A_bio_1	35.7911	19.2878	0.2252	11.33	0.0184	0.0299	8.8336	1.685	17.2761	0.0506	94.4909
JV12A_bio_2	35.8338	19.4491	0.286	11.2885	0.0308	0.0564	8.6964	1.6732	17.5022	0.0388	94.7936
JV12A_bio_3	35.6042	19.4801	0.2107	11.2016	0.0253	0.0664	8.7011	1.5677	17.4659	0.0371	94.3095
JV12A_bio_4	35.1037	19.1533	0.2191	10.9836	0.0004	0.0013	8.707	1.6876	17.5129	0.023	93.3885

Pontos	SiO2(Mass%)	Al2O3(Mass%)	Na2O(Mass%)	MgO(Mass%)	CaO(Mass%)	Cr2O3(Mass%)	K2O(Mass%)	TiO2(Mass%)	FeO(Mass%)	MnO(Mass%)	Total(Mass%)
JV12A_bio_5	35.674	19.0365	0.1929	11.5444	0.0374	0.0759	8.894	1.5204	17.5899	0.0208	94.5114
JV12A_bio_6	35.6577	19.287	0.2456	11.4222	0.0275	0.0758	8.8058	1.6217	17.5915	0.0226	94.7024
JV12A_bio_7	35.5881	19.1472	0.2349	11.57	0.0144	0.0312	8.8011	1.5917	17.6985	0.0424	94.6907
JV12A_bio_8	35.6526	18.6883	0.1641	11.2519	0.0197	0.027	8.8498	1.7189	18.0799	0.042	94.4548
JV12A_bio_9	35.5408	18.8496	0.1929	11.0553	0.0187	0.0622	8.8385	1.8381	18.2096	0.0456	94.6139
JV12A_bio_10	35.5527	19.0418	0.2038	11.4716	0.0013	0.0516	8.78	1.7214	17.5725	0.0293	94.4234
JV12A_bio_11	35.4486	19.1704	0.2057	11.1075	0.0121	0.0167	8.7809	1.7756	17.6685	0.0424	94.2042
JV12A_bio_12	35.5838	18.7773	0.2181	11.0691	0.0238	0.0464	8.8657	1.8406	17.794	0.0338	94.205
JV12A_bio_13	35.3341	19.1523	0.2596	11.0399	0.0329	0.0253	8.8458	1.5887	17.695	0.0334	93.9412
JV12A_bio_14	35.6148	19.2201	0.199	11.3522	0.0397	0.0534	8.7854	1.6654	17.9999	0.0505	94.901
JV12A_bio_15	35.0862	19.2246	0.2072	11.2778	0.0202	0.047	8.7442	1.6861	17.8334	0.0433	94.1296
JV12A_plg_1	59.9206	25.1812	8.016	0.0041	6.374	0.0162	0.0738	0.0079	0.0176	0.0088	99.5638
JV12A_plg_2	60.2892	25.1731	7.9721	0.003	6.3327	0.0163	0.0644	0.0069	0.0088	0.0277	99.844
JV12A_plg_3	60.5735	25.0063	8.1608	0.0071	5.9768	0.0033	0.065	0.008	0.0255	0.0074	99.8029
JV12A_plg_4	60.5766	24.9094	8.08	0.0154	6.0981	0.0247	0.0632	0.0129	0.0079	0.0106	99.7236
JV12A_plg_5	60.6436	24.6379	8.0801	0.0131	6.0757	0.0139	0.0625	0.0081	0.0413	0.0106	99.5494
JV12A_plg_6	60.2888	25.4335	7.8326	0.0041	6.3871	0.0547	0.0607	0.009	0.037	0.0129	99.9848
JV12A_plg_7	60.0195	25.1858	7.8018	0.0045	6.2829	0.0005	0.1725	0.0087	0.0238	0.0005	99.4821
JV12A_plg_8	60.8192	25.2007	8.0513	0.006	5.9696	0.0265	0.0669	0.0027	0.0281	0.0041	100.1101
JV12A_plg_9	60.533	24.9666	8.1392	0.0169	6.1117	0.0384	0.0484	0	0.0414	0.0101	99.7951
JV12A_plg_10	60.5828	25.0509	8.3382	0.0011	6.0893	0.0083	0.0506	0.0017	0.1073	0.0051	100.2085
JV12A_plg_11	59.8613	25.4089	7.6839	0.0075	6.6023	0.012	0.0663	0.0007	0.0615	0.017	99.681
JV12A_plg_12	60.3587	24.8697	8.0698	0.0128	5.9789	0.0018	0.0686	0.0083	0.0431	0.0014	99.3673
JV12A_plg_13	60.9029	24.5864	8.2595	0.0056	5.784	0.0086	0.0699	0.0099	0.0167	0.0069	99.6056
JV12A_plg_14	60.0563	24.7585	8.0553	0.0135	6.046	0.0262	0.0691	0.0204	0.0703	0.029	99.0768
JV12A_plg_15	60.0495	25.4564	7.8509	0.0026	6.4993	0.001	0.0542	0.0037	0.0158	0.006	99.9254
JV11A_grt_1_Line 001	36.8607	20.7811	0.0213	3.2342	2.3647	0.0343	0.0052	0.0083	33.7502	2.7052	99.7652
JV11A_grt_1_Line 002	37.1706	21.3306	0.0181	3.5663	2.4654	0.02	0.0002	0.0046	33.2449	2.5838	100.4045
JV11A_grt_1_Line 003	37.0661	21.0538	0.0226	3.8123	2.498	0.0001	0.0021	0.0008	32.6704	2.4328	99.5574
JV11A_grt_1_Line 004	37.0042	21.1368	0.012	3.8533	3.1024	0.008	0.0088	0.0151	32.1631	2.2274	99.4975
JV11A_grt_1_Line 005	37.2941	20.8618	0.027	3.8624	3.9894	0.0895	0.005	0.0109	31.6163	2.0305	99.7651
JV11A_grt_1_Line 006	37.4234	21.4572	0.0268	3.6737	5.2188	0.0084	0.004	0.0171	30.7504	1.8819	100.4617
JV11A_grt_1_Line 007	37.2473	21.0255	0.0015	3.5082	5.8691	0.0032	0.0014	0.0113	29.9941	1.8765	99.5317
JV11A_grt_1_Line 008	37.3376	21.3199	0.058	3.4077	5.8646	0.0153	0.0136	0.0289	30.2244	1.8523	100.0917
JV11A_grt_1_Line 009	37.1705	21.2569	0.0283	3.4501	5.7824	0.006	0.0026	0.0181	30.2198	1.8148	99.7323
JV11A_grt_1_Line 010	37.2534	21.1325	0.0015	3.5398	5.5848	0.0096	0.001	0.0229	30.7083	1.694	99.9286
JV11A_grt_1_Line 011	37.1103	21.126	0.003	3.5959	5.116	0.0281	0.004	0.0216	31.0567	1.686	99.6834
JV11A_grt_1_Line 012	37.163	21.2006	0.0134	3.7895	4.5041	0.0385	0.0055	0.0056	31.5379	1.745	99.9151
JV11A_grt_1_Line 013	37.0764	21.2697	0.0359	3.8356	3.8758	0.0035	0.0036	0.0476	31.9911	1.7944	99.9266
JV11A_grt_1_Line 014	37.1471	21.2772	0.006	3.6981	3.3617	0.0666	0.0024	0.0093	32.4162	2.1453	100.1251
JV11A_grt_1_Line 015	36.8583	21.074	0.003	3.1902	2.3631	0.0198	0.0133	0.0163	33.7644	2.8096	100.0724
JV11A_grt_2_Line 001	36.7174	20.8097	0.0121	3.3364	2.1889	0.0181	0.006	0.0013	33.6088	2.8712	99.5579
JV11A_grt_2_Line 002	36.5815	20.7585	0.0167	3.2661	2.1223	0.0904	0.0076	0.0084	33.3977	2.7823	99.0163
JV11A_grt_2_Line 003	36.938	21.1591	0	3.5984	2.5784	0.0097	0.01	0.0107	33.0849	2.5341	99.9033
JV11A_grt_2_Line 004	36.9368	20.9053	0.0091	3.6819	2.257	0.0533	0.0014	0.0068	33.3808	2.5542	99.7838
JV11A_grt_2_Line 005	37.2019	21.0877	0.015	3.7132	3.0048	0.004	0.0098	0.001	32.5538	2.358	99.9216
JV11A_grt_2_Line 006	37.0016	21.1806	0.0377	3.4916	2.9802	0.0068	0.0017	0.0676	32.8101	2.3129	99.8772
JV11A_grt_2_Line 007	37.5377	21.0574	0.015	3.8735	3.9398	0.0388	0.0093	0.0199	31.7406	1.8691	100.0525
JV11A_grt_2_Line 008	37.0741	21.0034	0.0165	3.7908	3.7747	0.0228	0.0031	0.0083	31.8324	2.0049	99.4918

Pontos	SiO2(Mass%)	Al2O3(Mass%)	Na2O(Mass%)	MgO(Mass%)	CaO(Mass%)	Cr2O3(Mass%)	K2O(Mass%)	TiO2(Mass%)	FeO(Mass%)	MnO(Mass%)	Total(Mass%)
JV11A_grt_2_Line 009	36.8041	21.0373	0.0302	3.6646	2.2073	0.0024	0.0067	0.0066	33.2129	2.4898	99.4619
JV11A_grt_2_Line 010	36.7984	20.8307	0.0076	2.7538	2.1651	0.0273	0.0017	0.0102	33.8674	3.1243	99.5831
JV11A_mus_1	45.1541	34.8665	0.9481	0.786	0.007	0.0223	9.4772	0.8001	1.1954	0.0046	93.2521
JV11A_mus_2	45.0806	35.086	0.9542	0.65	0.0148	0.018	9.4081	0.6817	1.1238	0.0115	93.0287
JV11A_mus_3	44.9044	35.1801	0.9132	0.6506	0.0037	0.0098	9.4586	0.7292	1.1648	0.0082	93.0062
JV11A_mus_4	44.9114	34.9848	0.9423	0.6659	0.009	0.0114	9.4087	0.6905	0.9815	0.0009	92.5884
JV11A_mus_5	44.7168	35.2228	0.9779	0.6966	0.0004	0.0104	9.3394	0.6728	1.0003	0.0073	92.6447
JV11A_mus_6	44.1971	35.2062	0.9386	0.5916	0.0017	0.0383	9.426	0.7355	1.0643	0.0151	92.2144
JV11A_mus_7	44.8812	34.971	0.9005	0.6895	0.024	0.0275	9.4649	0.6663	1.0557	0.0037	92.6289
JV11A_mus_8	44.5964	35.1497	0.9284	0.7166	0.0089	0.0343	9.5315	0.6641	1.0163	0.0018	92.6302
JV11A_mus_9	44.8204	35.226	0.9315	0.7011	0.0165	0.0344	9.4709	0.7949	1.1546	0.0183	93.0668
JV11A_mus_10	45.063	34.9136	0.8718	0.7868	0.0248	0.0189	9.4536	0.7148	1.1245	0.0027	92.8817
JV11A_mus_11	45.5101	35.0089	0.9042	0.7532	0.0196	0.0198	9.4149	0.7613	1.1507	0.0179	93.521
JV11A_mus_12	45.1091	34.6107	0.9041	0.743	0.0038	0.0381	9.4557	1.0253	0.9691	0.0174	92.8687
JV11A_mus_13	45.2587	34.6919	0.8866	0.762	0.0224	0.0434	9.493	1.128	1.1235	0.0174	93.3473
JV11A_mus_14	45.4232	34.3808	0.8253	0.7937	0.0083	0.0485	9.5428	1.0329	1.0992	0.0114	93.1661
JV11A_mus_15	45.8496	34.8866	0.9408	0.864	0.0214	0.0748	9.4834	0.5071	1.1452	0.0147	93.7876
JV11A_bio_1	35.5269	19.6792	0.2392	12.0772	0.0168	0.0674	8.7763	1.3588	16.9717	0.0243	94.7042
JV11A_bio_2	35.7715	19.3508	0.1645	11.6456	0.0233	0.0732	8.9561	1.6736	16.6146	0.0252	94.2518
JV11A_bio_3	35.6983	19.4195	0.2146	11.3438	0.0102	0.0146	9.0164	2.1389	16.894	0.0315	94.7614
JV11A_bio_4	35.7727	19.8103	0.1712	11.8578	0.0006	0.0351	8.7806	1.3544	16.9573	0.0478	94.7878
JV11A_bio_5	35.5093	19.4666	0.1709	11.8366	0.0279	0.0274	8.8807	1.3225	16.5747	0.0334	93.7942
JV11A_bio_6	35.4347	19.6023	0.1764	12.0143	0.0031	0.0098	8.8271	1.5703	16.5286	0.0573	94.2239
JV11A_bio_7	35.6335	19.3802	0.193	11.4442	0.0211	0.0225	8.9896	1.8626	16.6526	0.0474	94.2045
JV11A_bio_8	35.6046	19.725	0.2272	11.3957	0.01	0.0241	8.852	1.6191	16.3695	0.0429	93.8701
JV11A_bio_9	35.9372	19.5354	0.2062	11.5216	0.0434	0.0486	8.9104	1.6368	16.8061	0.0559	94.6148
JV11A_bio_10	35.8248	19.6633	0.2216	11.6354	0.0499	0.0241	8.9081	1.6879	16.3855	0.0302	94.331
JV11A_bio_11	35.7565	19.2208	0.2376	11.5793	0.0027	0.0481	8.9209	2.0761	16.9694	0.0559	94.8673
JV11A_bio_12	35.5782	19.4989	0.2445	11.669	0.0248	0.0655	8.9593	1.5881	16.4784	0.0275	94.0846
JV11A_bio_13	35.6921	19.4311	0.1967	11.627	0.0121	0.022	8.9068	2.0316	16.681	0.0212	94.5974
JV11A_bio_14	35.5182	19.8236	0.2066	11.817	0.0245	0.0504	8.8969	1.5305	16.3802	0.0185	94.2174
JV11A_bio_15	35.7076	19.6747	0.1805	11.655	0.0029	0.0335	9.0145	1.5224	16.7522	0.0437	94.587
JV11A_plg_1	61.3297	24.5613	8.4408	0.0011	5.594	0.0157	0.0607	0.0039	0.0377	0.0018	100.0017
JV11A_plg_2	61.2769	24.4393	8.2821	0.0124	5.3643	0.018	0.0632	0.005	0.0149	0.0124	99.3979
JV11A_plg_3	60.5722	25.3284	7.8954	0.0052	6.42	0.034	0.0564	0.0203	0.0281	0.0143	100.2777
JV11A_plg_4	60.3656	24.9108	8.1285	0.009	5.9664	0.0258	0.0594	0.0006	0.022	0.0087	99.4794
JV11A_plg_5	61.6232	24.293	8.6088	0.0045	5.1511	0.0043	0.0826	0.0109	0.0035	0.0032	99.7569
JV11A_plg_6	61.0497	24.2676	8.3631	0.0019	5.525	0.0211	0.0696	0.0065	0.0377	0.0087	99.3297
JV11A_plg_7	60.3122	24.9965	7.9184	0.015	6.199	0.0316	0.0836	0.0041	0.0351	0.0014	99.4927
JV11A_plg_8	61.0747	24.7239	8.5211	0.0113	5.7467	0.0097	0.095	0.0022	0.0211	0.0193	100.14
JV11A_plg_9	61.0459	24.4554	8.1841	0.0064	5.8022	0.0012	0.0669	0.0014	0.0439	0.0023	99.5999
JV11A_plg_10	60.3475	24.9176	8.1634	0.0015	6.1597	0.0083	0.0433	0.012	0.0843	0.0087	99.7259
JV11A_plg_11	60.9054	24.8456	8.0244	0.0127	5.9859	0.0026	0.0868	0.0075	0.036	0.0115	99.8878
JV11A_plg_12	60.5749	24.8031	8.1829	0.0075	5.8154	0.0033	0.071	0.0026	0.0167	0.0032	99.4258
JV11A_plg_13	60.9883	24.411	8.3153	0.0049	5.2578	0.021	0.0805	0.0029	0.0728	0.0253	99.128
JV11A_plg_14	59.9532	25.366	7.8854	0.0187	6.44	0.01	0.0662	0.0032	0.0421	0.0198	99.7408
JV11A_plg_15	60.5376	24.8272	7.9929	0.0157	6.0344	0.0031	0.0766	0.0166	0.0675	0.0138	99.5208

Pontos	SiO2(Mass%)	Al2O3(Mass%)	Na2O(Mass%)	MgO(Mass%)	CaO(Mass%)	K2O(Mass%)	BaO(Mass%)	Cl(Mass%)	TiO2(Mass%)	MnO(Mass%)	FeO(Mass%)	Total(Mass%)
JV12_chl_1	24,9044	22,6889	0,0008	16,8693	0,0113	0,0602	0,0585	0,0077	0,1094	0,0777	22,2435	87,0317
JV12_chl_2	26,5638	22,0055	0,0141	15,9108	0,0064	1,4273	0,0367	0,0082	0,2936	0,0723	21,4569	87,7956
JV12_chl_3	24,9079	23,1099	0,0106	16,1678	0	0,1519	0,0247	0	0,0739	0,1227	22,6145	87,1839
JV12_chl_4	24,4177	23,27	0	16,4526	0	0,0281	0,011	0,006	0,0469	0,0782	22,5364	86,8469
JV12_chl_5	24,5712	22,9694	0	16,4984	0,0071	0,0027	0,0009	0	0,0521	0,0904	22,3851	86,5773
JV12_chl_6	40,3407	32,6398	0,6417	4,5492	0,0137	7,0428	0,3817	0,0016	0,4488	0,0088	6,8943	92,9631
JV12_chl_7	24,1381	23,0153	0,0487	15,8012	0,036	0,1718	0,0046	0,015	0,0744	0,0804	22,5456	85,9311
JV12_chl_8	24,7426	22,5276	0	16,8362	0	0,013	0	0,0028	0,1158	0,066	22,523	86,827
JV12_chl_9	23,9557	23,6352	0	15,6618	0,0084	0,0431	0,0073	0	0,039	0,0532	22,423	85,8267
JV12_chl_10	24,1606	23,9753	0,0139	15,9104	0	0,0527	0,0366	0,0077	0,043	0,07	22,534	86,8042
JV12_chl_11	23,7521	23,3985	0,0075	15,3597	0,0101	0,0301	0,0348	0,0112	0,0516	0,0641	22,2751	84,9948
JV12_chl_12	24,2096	23,529	0,0095	15,4241	0,0313	0,1233	0	0,0061	0,061	0,0728	22,0284	85,4951
JV12_chl_13	29,2855	26,8676	0,2506	11,5931	0,0112	2,1326	0,132	0,0127	0,1318	0,07	16,9441	87,4312
JV12_chl_14	25,2664	22,9159	0,0436	16,495	0,0572	0,5607	0	0,0079	0,1285	0,0579	21,0922	86,6253
JV12_chl_15	35,5587	23,0132	2,3918	11,8593	1,6367	0,0456	0,0187	0,0089	0,0419	0,0703	16,1138	90,7589
JV12_chl_16	24,5984	22,1575	0	16,9915	0,033	0,0329	0,0174	0,0033	0,0527	0,106	22,0731	86,0658
JV12_chl_17	24,6049	22,9816	0	14,6963	0,0005	0,0699	0,0083	0,0133	0,0722	0,0746	19,1776	81,6992
JV12_chl_18	45,3455	37,7198	1,1716	0,2779	0,0329	8,8075	0,8345	0,0104	0,0775	0,0023	1,0646	95,3445
JV12_chl_19	24,7233	24,4963	0,0049	16,2661	0,0179	0,1452	0,0091	0,0113	0,0774	0,0652	22,87	88,6867
JV12_chl_20	24,6131	23,4599	0,0275	16,4292	0,001	0,1445	0,0474	0,0082	0,0591	0,0561	22,3116	87,1576
JV12_chl_21	24,9253	23,4422	0	16,7666	0	0,0341	0	0,0049	0,0895	0,0743	22,1223	87,4592
JV12_chl_22	24,7952	23,1646	0,0259	16,5129	0,0203	0,1335	0	0,0007	0,0693	0,0869	22,5688	87,3781
JV12_grd_1_Line 001	36,7848	21,5995	0,0212	2,9298	2,1544	0,002	2,9298	0	0,0033	0,0031	3,2306	101,1802
JV12_grd_1_Line 002	36,8167	21,2295	0,0007	3,0432	2,9281	0	0	0,0046	0	2,8646	33,64	100,5274
JV12_grd_1_Line 003	37,1176	21,1044	0	3,297	2,709	0	0	0,0034	0,0164	2,7011	34,0568	101,0057
JV12_grd_1_Line 004	36,914	21,0156	0,0142	2,9182	2,2035	0,0101	0	0	0,0046	3,1675	34,3746	100,6223
JV12_grd_1_Line 005	37,3208	21,3469	0,0154	2,9987	2,0119	0,0195	0	0,0021	0,0228	3,2381	34,071	101,0472
JV12_grd_1_Line 006	36,8414	21,2179	0,0192	3,4822	2,2795	0,0242	0	0,0077	0,0043	3,1963	33,2777	100,3504
JV12_grd_1_Line 007	37,3618	21,1266	0,005	3,5563	2,3343	0,0108	0,0171	0	0	3,1495	33,0648	100,6262
JV12_grd_1_Line 008	37,1621	21,3453	0,0159	3,4637	2,4295	0	0	0,0062	0,0153	3,1755	33,4674	101,0809
JV12_grd_1_Line 009	37,0644	21,1091	0	3,5635	2,2918	0,0007	0,0108	0,0071	0	3,1362	33,3516	100,5352
JV12_grd_1_Line 010	37,0131	21,085	0,0219	3,3276	2,5937	0,0155	0,0305	0	0,0018	3,1285	33,074	100,2916
JV12_grd_1_Line 011	37,4321	20,7997	0,012	3,3288	2,5784	0,0349	0,0099	0	0,0274	3,199	32,9568	100,379
JV12_grd_1_Line 012	37,2671	20,9632	0	2,498	4,8864	0	0,0741	0	0,0301	3,2275	31,725	100,6714
JV12_grd_1_Line 013	37,2604	21,0932	0,0252	1,6025	7,6903	0,0114	0,0009	0	0,0961	4,0075	28,7776	100,5651
JV12_grd_1_Line 014	37,036	20,9612	0,0048	2,4605	4,3035	0	0,0126	0,0124	0,0248	4,0533	31,5627	100,4318
JV12_grd_1_Line 015	37,4437	20,8512	0,0218	2,2152	5,3521	0,0033	0	0,006	0,0697	4,4891	30,4656	100,9177
JV12_grd_1_Line 016	36,9422	20,671	0	2,3285	4,5528	0,0047	0	0	0,0476	4,6543	30,6642	99,8653
JV12_grd_1_Line 017	37,0679	20,981	0,0194	2,4626	3,4088	0,0349	0	0,0041	0,0199	4,4708	31,8603	100,3297
JV12_grd_1_Line 018	36,9453	21,1234	0,0213	2,739	3,675	0,0013	0,0441	0,0041	0,0295	4,5702	31,6868	100,84
JV12_grd_1_Line 019	36,8941	20,855	0,0065	2,3759	4,6538	0,004	0,0505	0,0046	0,0539	4,6752	30,7844	100,3579
JV12_grd_1_Line 020	37,4544	20,9984	0,004	2,8737	3,405	0	0	0	0,0355	4,252	32,2825	101,3055
JV12_grd_1_Line 021	36,5478	20,6356	0,019	1,8184	2,5812	0,0174	0,0161	0	0,0128	4,9969	33,4516	100,0968
JV12_grd_1_Line 022	37,3318	21,049	0,0252	2,155	6,0427	0,0007	0	0,0009	0,0575	4,2122	29,9845	100,8595
JV12_grd_1_Line 023	36,9052	20,9417	0,0448	2,2185	5,5758	0,0134	0	0,0139	0,043	4,0967	29,9882	99,8412
JV12_grd_1_Line 024	36,9899	21,2994	0	2,8738	3,5035	0	0	0	0,0264	3,7413	32,235	100,6693
JV12_grd_1_Line 025	37,1814	20,9172	0,1727	3,0495	2,4009	0,0242	0,0135	0,1022	0,0252	3,6085	33,2597	100,755
JV12_grd_1_Line 026	36,7929	21,1826	0	3,2186	2,566	0	0,0242	0,0022	0	3,4674	32,9915	100,2454
JV12_grd_1_Line 027	59,1786	26,1336	7,1751	0	7,5182	0,0668	0	0	0	0,0387	0,338	100,449
JV12_grd_1_Line 028	37,0776	21,4147	0,0336	3,1517	2,8947	0	0,0539	0,0007	0,007	3,3789	33,0284	101,0412
JV12_grd_1_Line 029	37,1351	21,1908	0,0294	3,2121	2,9494	0	0,0198	0,0172	0,0143	3,238	32,4153	100,2214
JV12_grd_1_Line 030	36,3077	21,4413	0,0123	3,0915	2,232	0,0067	0	0,0055	0,0123	3,1362	34,2219	100,4674