



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
*CAMPUS* MONTE CARMELO  
INSTITUTO DE GEOGRAFIA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA



LUCAS SOARES SILVA

**CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA DA INTRUSÃO SÃO FÉLIX – 04, NO  
MUNICÍPIO DE MONTE CARMELO (MG)**

MONTE CARMELO

JANEIRO/2024

LUCAS SOARES SILVA

**CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA DA INTRUSÃO SÃO FÉLIX – 04, NO  
MUNICÍPIO DE MONTE CARMELO (MG)**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Geologia da  
Universidade Federal de Uberlândia,  
como parte dos requisitos necessários  
para a obtenção do título de Bacharel  
em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Felix Nannini.

Coorientador: Prof. Dr. Otávio  
Augusto Ruiz Paccola Vieira.

MONTE CARMELO

JANEIRO/2024

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU  
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

S586 2024	<p>Silva, Lucas Soares, 1998- Caracterização petrográfica da intrusão São Félix - 04, no município de Monte Carmelo (MG) [recurso eletrônico] / Lucas Soares Silva. - 2024.</p> <p>Orientador: Felix Nannini. Coorientador: Otávio Augusto Ruiz Paccola Vieira. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Uberlândia, Graduação em Geologia. Modo de acesso: Internet. Inclui bibliografia.</p> <p>1. Geologia. I. Nannini, Felix ,1987-, (Orient.). II. Vieira, Otávio Augusto Ruiz Paccola,1992-, (Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia. Graduação em Geologia. IV. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 551</p>
--------------	--

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:  
Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091  
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

LUCAS SOARES SILVA

CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA DA INTRUSÃO SÃO FÉLIX – 04, NO  
MUNICÍPIO DE MONTE CARMELO (MG)

Trabalho de Conclusão de Curso  
aprovado para a obtenção do título de do  
grau de Bacharel em Geologia pela  
Universidade Federal de Uberlândia  
(UFU).

Monte Carmelo, 01 de fevereiro de 2024.

**Banca Examinadora**

---

Prof. Dr. Felix Nannini

Universidade Federal de Uberlândia

---

Geólogo Dr. Ítalo Lopes de Oliveira

Universidade Federal de Uberlândia

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Cassandra Terra Barbosa

Universidade Federal de Ouro Preto

*Dedico esse trabalho aos meus pais e meus tios,  
que sempre me apoiaram ao longo da  
graduação. Serei eternamente grato a vocês.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e ao universo pela dádiva em trilhar uma jornada que apesar dos desafios, me mostrou a importância de manter a chama da esperança acesa e acreditar em dias melhores.

Agradeço aos meus pais, minhas irmãs, minha avó e meus tios que sempre estiveram comigo ao longo de todos estes anos. O apoio imensurável e a paciência de vocês para comigo foram fundamentais nos momentos de grande dificuldade.

Ao meu professor e orientador, Felix Nannini, por sua presença e apoio durante a realização deste trabalho. Sua orientação excepcional, bem como os momentos de descontração foram essenciais para que eu realizasse o projeto com maestria e tranquilidade, mesmo diante das dificuldades. Deixo aqui expresso o meu carinho e a minha profunda admiração por você.

Ao meu coorientador, Otávio Vieira, pelo auxílio na etapa de campo, pelas orientações durante a elaboração dos mapas, e pelas correções e considerações realizadas durante a confecção do presente trabalho.

Agradeço também ao técnico Ítalo, pelos materiais indicados, por todo suporte concedido ao longo da etapa de preparação das lâminas e por me convencer de que, apesar da complexidade, os kamaflutitos são rochas fascinantes.

Agradeço aos meus *roommates*, em especial Alice, Camila e João Paulo, que me acolheram em 2018 e que se fazem presente em minha vida desde então. A amizade de vocês é um privilégio, e as experiências, as conversas e histórias compartilhadas estarão para sempre guardadas em minha memória. Sempre serei grato por estabelecer laços fortes e por conhecer um pouco da vida de vocês.

Aos meus amigos de turma, Lívia, Marco Antônio, Patrícia e Robson, que estiveram ao meu lado nos momentos de alegria e de provação. Obrigado pela confiança, pelo companheirismo e pelos momentos incríveis que nos acompanharam nesses anos. Ter vocês ao meu lado me fez lembrar que a vida pode ser mais leve quando se tem amigos verdadeiros.

Agradeço também os meus amigos de longa data, Heverton, Gabriel e Tawany, que apesar da distância geográfica, sempre estiveram ao meu lado e torcendo pelo meu melhor.

Agradeço aos amigos e amigas que conheci e me aproximei nos últimos anos, Andressa, Amanda, João Victor e Susana. Vocês fizeram parte de momentos incríveis e que guardarei com muito carinho.

A minha psicóloga e amiga, Izis, que se fez presente nos momentos de grande turbulência, trazendo de volta a confiança necessária para enfrentar os percalços da vida. A amorosidade presente ao longo as seções foram essenciais para que eu pudesse me tratar com carinho e enxergar a vida com mais leveza.

A Universidade Federal de Uberlândia e todos os docentes, técnicos, funcionários que realizaram um papel fundamental na minha formação. Agradeço também ao meu supervisor de estágio, Marco Antônio, pelos conhecimentos extracurriculares adquiridos ao longo dos meses, onde eu aprendi a desenvolver valores pessoais e profissionais imensuráveis.

Aos componentes da banca, por aceitarem o convite e pelas considerações feitas, visando o aprimoramento do trabalho.

E por fim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização desse sonho. Sou grato por cada momento vivido ao longo da graduação e por todas as pessoas que, de alguma forma, moldaram a pessoa que sou atualmente.

Muito obrigado!

*“Estou convencido de que Ele (Deus)  
não joga dados com o universo.”*  
(Albert Einstein)

## RESUMO

As rochas ígneas de natureza alcalina da plataforma Sul-americana são conhecidas pela expressiva distribuição territorial, bem como pela elevada heterogeneidade petrográfica e diversidade na idade de colocação. Embora sejam comumente identificadas em regiões de intra-placa, tais rochas podem estar associadas a ambientes convergentes, situação esta exemplificada pela Província Ígnea do Alto Paranaíba, que compreende complexos carbonatíticos, intrusões máficas/ultramáficas e rochas do Grupo Mata da Corda. O presente estudo teve por objetivo principal realizar a caracterização petrográfica da intrusão São Felix – 04, visando compreender os principais eventos relativos ao magmatismo alcalino presente na mesorregião do Triângulo Mineiro. A evolução teórica associada às diversas litologias encontradas na Província Ígnea do Alto Paranaíba teve como ponto de partida a utilização de termos genéticos, de modo que, atualmente, as informações descritivas precedem as interpretações subsequentes. Dessa forma, visando atingir os objetivos propostos, o estudo em questão foi baseado no mapeamento sistemático do corpo São Félix – 04, seguido pelas análises descritivas das amostras coletadas em campo, através do microscópio óptico e do Microscópio Eletrônico de Varredura. Os resultados permitiram classificar as rochas estudadas como olivina leucitito. As análises microscópicas evidenciaram a presença de minerais secundários gerados através da alteração da olivina. Além disso, foram encontrados componentes relativos ao sistema magmático aberto, expressos pela ocorrência de enclaves e xenocristais de olivina, que necessitam de estudos mais pormenorizados para a compreensão detalhada das texturas e estruturas.

**Palavras-chave:** kamafugitos; magmatismo alcalino; petrografia; Província Ígnea do Alto Paranaíba.

## ABSTRACT

The alkaline igneous rocks of the South American platform are known for their significant territorial distribution, as well as their petrographic heterogeneity and diversity in age of emplacement. Although they are commonly identified in intraplate regions, such rocks can be associated with convergent environments, a situation exemplified by the Alto Paranaíba Igneous Province, which comprises carbonatite complexes, mafic/ultramafic intrusions and rocks from the Mata da Corda Group. The main objective of this study was to perform the petrographic characterization of the São Felix – 04 intrusion, aiming to understand the main events related to the alkaline magmatism present in the Triângulo Mineiro mesoregion. The theoretical evolution associated with the different lithologies found in the Alto Paranaíba Igneous Province had as its starting point the use of genetic terms, so that, currently, descriptive information precedes subsequent interpretations. Thus, in order to achieve the proposed objectives, the study in question was based on the systematic mapping of the São Félix – 04 body, followed by descriptive analyses of the samples collected in the field, using both optical microscopy and Scanning Electron Microscopy. The results made it possible to classify the studied rocks as olivine leucitite. Microscopic analyzes showed the presence of secondary minerals generated through the alteration of olivine. Additionally, components related to the open magmatic system were found, as indicated by the occurrence of enclaves and olivine xenocrysts, which require more detailed studies for a comprehensive understanding of the textures and structures.

**Keywords:** kamafugites; alkaline magmatism; petrography; Alto Paranaíba Igneous Province.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Contexto geológico das principais expressões do magmatismo alcalino nos continentes brasileiro e paraguaio. Nota-se a presença da Província Ígnea do Alto Paranaíba, em vermelho, região que abrange o objeto de estudo. O mapa no canto superior direito ilustra as principais províncias envolvidas nesse cenário. .... 19
- Figura 2:** Mapa indicando a localização e o trajeto da área de estudo a partir de Monte Carmelo, seguindo pela rodovia LMG-746 e cobrindo uma distância de 11 km. .... 21
- Figura 3:** Fluxograma das etapas desenvolvidas durante a pesquisa. .... 22
- Figura 4:** Informações qualitativas e semi-quantitativas adquirida através do sistema EDS, acoplado ao MEV. A) Imagem obtida da lâmina SFX-L-02-A através de elétrons retroespalhados, onde o contraste indica variações no número atômico. B) Mapa composicional da amostra em que as regiões em amarelo compreendem a presença do elemento Mg. C) Espectro referente à região indicada em A. Nesse contexto, a correta identificação da olivina foi realizada comparando o espectro “desconhecido” com aqueles disponíveis na literatura. .... 25
- Figura 5:** Contexto tectônico dos principais componentes envolvidos na formação da Província Tocantins, localizada predominantemente no Brasil Central. .... 29
- Figura 6:** Setorização da Faixa de Dobramentos Brasília. .... 30
- Figura 7:** Mapa esquemático detalhado da localização geográfica e dos principais elementos da Província Ígnea do Alto Paranaíba. Em destaque, a área de estudo em vermelho. .... 32
- Figura 8:** Contexto geológico local da região de Monte Carmelo. .... 35
- Figura 9:** A) Contato intrusivo do granitoide com o corpo, identificado através da mudança abrupta na coloração do solo. B) Blocos e matacões arredondados encontrados próximo a intrusão São Félix – 04. C) Amostra SFX-L-12: granitoide de coloração acinzentada, equigranular, de granulação média. D) Amostra SFX-L-11: granitoide de coloração acinzentada, equigranular, com anisotropia expressa pela orientação da biotita. .... 38
- Figura 10:** A e B) Amostra SFX-L-06 e SFX-L-04: exemplar de coloração escura/acinzentada, estrutura maciça e textura inequigranular. C) Amostra SFX-L-05: rocha inequigranular com presença de macrocristais anédricos de olivina com a influência de óxidos ou hidróxido de manganês. Nota-se porções evidenciando a capa de alteração. D) SFX-L-07: rocha de estrutura maciça com sinais avançados de alteração nas boras, evidenciado através da coloração avermelhada e presença de macrocristais amarelados. .... 39
- Figura 11:** A) Amostra SFX-L-02: rocha de tonalidade escura com textura inequigranular, composta por macrocristais de olivina imersos em uma matriz muito fina. B) Amostra SFX-L-13: amostra de coloração predominantemente escura e com presença de macrocristais euédricos de olivina. C) Amostra: SFX-L-14 exemplar de coloração escura, parcialmente alterada, onde cristais de olivina coexistem com enclaves de pequenas dimensões e de brilho vítreo. D) Amostra SFX-L-08: rocha de coloração escura, estrutura maciça e com presença de xenólitos crustais. Alguns deles apresentam uma fina camada de argilominerais, aspecto típico da caulinitização. .... 40
- Figura 12:** Lâmina SFX-L-02-B: A e B - Nas fotomicrografias, evidencia-se o macrocristal de olivina (Ol), de formato subédrico e tabular. À nicóis descruzados é possível identificar o contato retilíneo entre o macrocristal e a matriz. A – Nicóis descruzados e B – Nicóis cruzados. Lâmina SFX-L-02-A: C e D - Fotomicrografias do macrocristais de olivina (Ol) de formatos euédricos e subédricos, hábito tabular e levemente fraturado. Contato retilíneo evidenciado à nicóis paralelos. C – Nicóis descruzados e D – Nicóis cruzados. Lâmina SFX-L-02-B: E e F - Fotomicrografias do macrocristal de olivina (Ol), subédrico, coexistindo com outros macrocristais de hábito prismático, imersos na matriz muito fina. E – Nicóis descruzados e F – Nicóis cruzados. .... 41
- Figura 13:** Lâmina SFX-L-02-A: A e B - Fotomicrografias do macrocristal de olivina (Ol), xenomórfico, fortemente fraturado, com estruturas irregulares preenchidas por saponita (Sap) e minerais opacos (Op). Contato serrilhado melhor observado à nicóis descruzados. A – Nicóis descruzados e B – Nicóis cruzados. Lâmina SFX-L-04-A: C e D - As fotomicrografias destacam o macrocristal de olivina

(Ol) fraturado, com presença de kink-bands, de formato irregular e com estruturas preenchidas por saponita (Sap). C – Nicóis descruzados e D – Nicóis cruzados. Lâmina SFX-L-02-A: E e F - Fotomicrografias do macrocristal de olivina (Ol), xenomórfico, levemente fraturado, coexistindo com enclaves e macrocristais euédricos. O contato serrilhado é evidenciado à nicóis descruzados. E – Nicóis descruzados e F – Nicóis cruzados.....	42
<b>Figura 14:</b> Lâmina SFX-L-02-A: A e B – Fotomicrografia do enclave onde é possível observar a presença de leucita de formato euédrico, por vezes arredondado, com alteração para zeólita. Lâmina SFX-L-01: C e D - Fotomicrografias indicando o enclave de coloração esbranquiçada, preservado e com textura granular, coexistindo com microcristais de olivina e nódulos alterados. C – Nicóis descruzados e D – Nicóis cruzados. Lâmina SFX-L-02-A: E e F - Fotomicrografias do enclave, esbranquiçado e de formato arredondado. Observa-se a fina borda de reação e a mudança abrupta na textura, aspectos utilizados na identificação do componente. E – Nicóis descruzados e F – Nicóis cruzados.....	43
<b>Figura 15:</b> Lâmina SFX-L-02-B: A, B e C - As fotomicrografias evidenciam estruturas de tons amarelados, formato alongado e em estágios avançados de alteração, onde a ausência da textura granular dificulta a sua delimitação. A e C– Nicóis descruzados e B – Nicóis cruzados. Lâmina SFX-L-04-A: D: Fotomicrografia do bolsão contendo diopsídio (Di) no interior de uma matriz composta por vidro vulcânico (Vv). Nota-se a ocorrência da flogopita (Phl) euédrica e de minerais opacos restrita a parte externa. D – Nicóis descruzados. ....	44
<b>Figura 16:</b> A: Imagem adquirida através dos elétrons retroespalhados projetados na lâmina SFX-L-02-B. B: Mapa composicional para o elemento Mg, onde em amarelo compreende as manifestações dos micro e macrocristais de olivina.....	45
<b>Figura 17:</b> Lâmina SFX-L-02-B: Fotomicrografia dos microcristais euédricos a subédricos de olivina, de hábito tabular. Exemplares de macrocristais e enclaves são encontrados nas porções adjacentes...	45
<b>Figura 18:</b> Lâmina SFX-L-01: Fotomicrografia de microcristais de olivina, xenomórficos, de dimensões inferiores a 1mm e hábito granular, coexistindo com nódulos em diferentes estágios de preservação. A presença de fraturas e inclusões ficam restritas a alguns cristais. ....	45
<b>Figura 19:</b> A: Imagem obtida a partir dos elétrons retroespalhados projetados na lâmina SFX-L-02-A. B: Representação composicional do elemento Ca. C: Espectro da região indicada pela seta em vermelho, que compreende o mineral perovskita, identificado nas outras lâminas a partir do seu hábito característico. ....	46
<b>Figura 20:</b> Lâmina SFX-L-02-A: Fotomicrografia da perovskita, formato euédrico, com contatos retilíneos.....	46
<b>Figura 21:</b> Lâmina SFX-L-04-A: Fotomicrografia evidenciando o cristal anédrico de flogopita, de coloração alaranjada e textura poiquilítica. Percebe-se a presença de olivina e Ti-magnetita adjacente à flogopita. ....	47
<b>Figura 22:</b> Lâmina SFX-L-02-B: Fotomicrografia indicando, no interior do retângulo amarelo, a presença de cristais de diopsídio imersos em uma matriz composta essencialmente por perovskita (região em vermelho), flogopita, Ti-magnetita e leucita. ....	47
<b>Figura 23:</b> A: Imagem adquirida a partir dos elétrons retroespalhados projetados na lâmina SFX-L-02-A. B e C: Representação composicional dos elementos K e Al, respectivamente. As regiões em azul escuro indicam elevada concentração desses elementos, onde nos spectrums 15 e 16 foram identificados a presença da leucita.....	48
<b>Figura 24:</b> Lâmina SFX-L-02-A: - Fotomicrografia referente a região que compreende a presença do mineral leucita, identificados nos spectrums 15 e 16. ....	48
<b>Figura 25:</b> Processo de identificação da Ti-magnetita. A: Imagem obtida através dos elétrons retroespalhados projetados na lâmina SFX-L-02-A. B: Mapa composicional do elemento Ti. C: Espectro referente a região indicada pela seta, que abrange a presença do mineral opaco, revelando um sutil enriquecimento de Ti na magnetita. ....	49
<b>Figura 26:</b> Lâmina SFX-L-04-A: Fotomicrografia evidenciando a presença da Ti-magnetita de dimensões e formas diversas, imersas na matriz afanítica e de coloração escura. ....	49

<b>Figura 27:</b> Lâmina SFX-L-04-A: Fotomicrografia da Ti-magnetita ocorrendo de forma concentrada e com dimensões equivalentes aos microcristais de olivina. ....	49
<b>Figura 28:</b> Diagrama da relação entre os óxidos de CaO e SiO <sub>2</sub> para a intrusão estudada. Observa-se a concentração dos dados semi-quantitativos, obtidos a partir das lâminas analisadas no MEV, na região que segundo Sahama (1974) compreende o domínio dos kamafugitos. ....	52

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Principais componentes mineralógicos encontrados nos kimberlitos, kamafeitos e lamproítos.....	28
<b>Tabela 2:</b> Comparação das análises químicas da intrusão São Félix – 04, obtida através de mapas composicionais localizados, e de kamafeitos documentados por Holmes (1945). .....	52

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Óxido de alumínio
CaO	Óxido de cálcio
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CODEMIG	Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais
Di	Diopsídio
E – W	Leste – Oeste
EDS	Espectrômetro de Energia Dispersiva
FB	Faixa Brasília
K <sub>2</sub> O	Óxido de potássio
km	Quilômetros
km <sup>2</sup>	Quilômetros quadrados
LAMIQ	Laboratório Multiusuário do Instituto de Química
m	Metros
MEV	Microscópio Eletrônico de Varredura
MG	Minas Gerais
MgO	Óxido de magnésio
mm	Milímetros
N – S	Norte – Sul
Na <sub>2</sub> O	Óxido de sódio
NW – SE	Noroeste – Sudeste
Ol	Olivina
Op	Minerais opacos
Phl	Flogopita
PIAP	Província Ígnea do Alto Paranaíba
Prv	Perovskita
Sap	Saponita
SFX-04	São Félix – 04

SiO <sub>2</sub>	Dióxido de silício
Ti-mag	Ti-magnetita
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
Vv	Vidro vulcânico
Z	Número atômico

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	18
1.1. Justificativa .....	20
1.2. Localização .....	20
2. OBJETIVOS.....	21
2.1. Objetivo geral .....	21
2.2. Objetivos específicos .....	21
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
a) Etapa pré-campo: .....	22
b) Etapa de campo:.....	23
c) Etapa pós-campo:.....	23
4. ASPECTOS PETROGRÁFICOS DAS ROCHAS ALCALINAS POTÁSSICAS A ULTRAPOTÁSSICAS .....	25
4.1. Kimberlitos .....	26
4.2. Kamafugitos.....	26
4.3. Lamproítos .....	26
5. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL.....	29
5.1. Província Tocantins.....	29
5.2. Faixa Brasília .....	30
5.3. Província Ígnea do Alto Paranaíba.....	31
6. CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL.....	35
6.1. Grupo Araxá.....	36
6.2. Complexo Monte Carmelo.....	36
6.3. Suíte Estrela do Sul.....	37
7. PETROGRAFIA.....	37
7.1. Caracterização macroscópica.....	38
7.2. Caracterização microscópica .....	40
8. DISCUSSÕES .....	50
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	55
APÊNDICE A.....	61
APÊNDICE B.....	63
APÊNDICE C.....	65

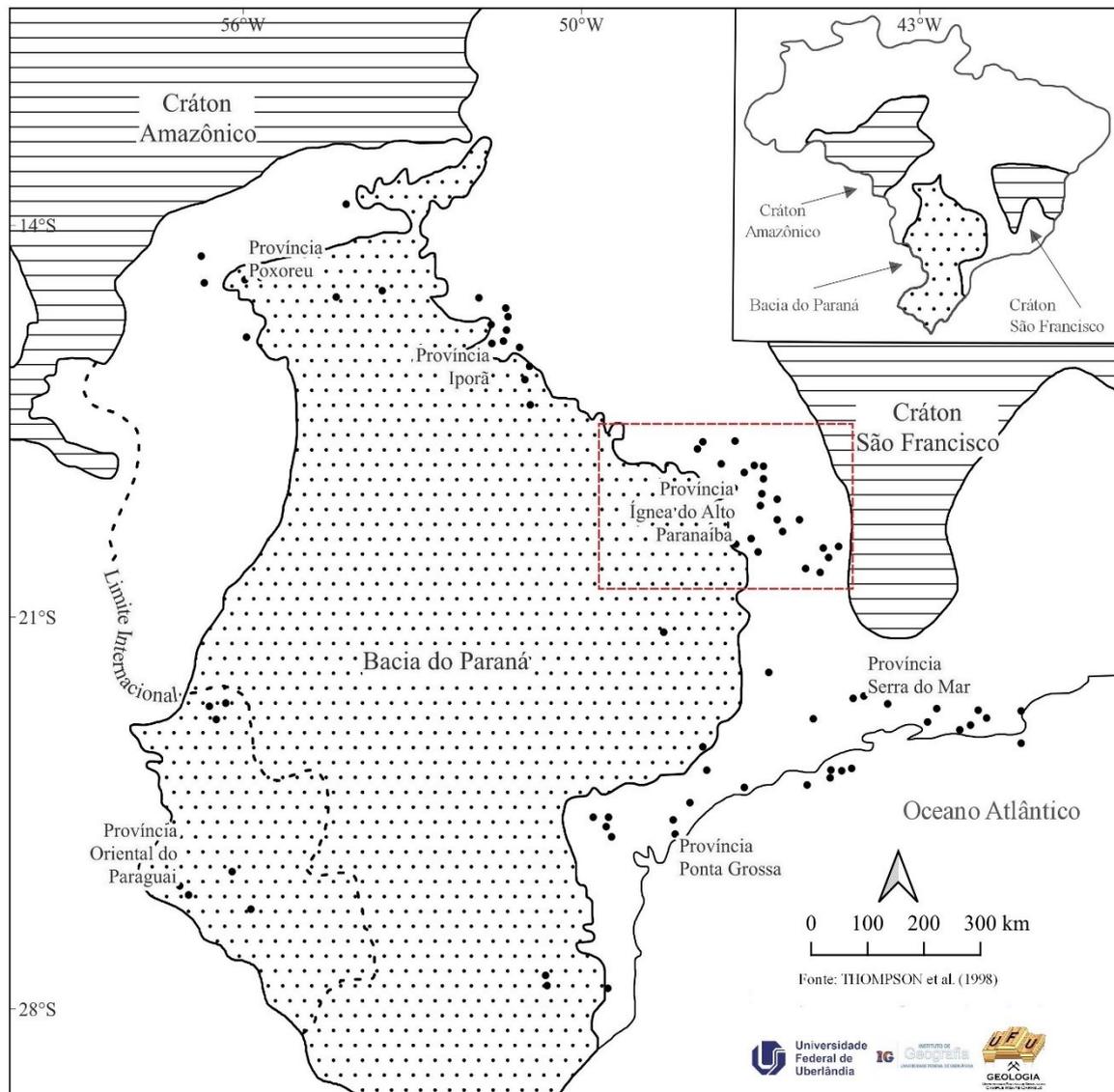
## 1. INTRODUÇÃO

As rochas ígneas de natureza alcalina são conhecidas pela elevada diversidade mineralógica, onde quimicamente são definidas como rochas subsaturadas em sílica ( $\text{SiO}_2$ ), com elevada porcentagem de álcalis ( $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ ) e baixa concentração de alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) (Wernick, 2004). Estabelecida inicialmente por Middlemost (1975) e Foley *et al.* (1987), a série alcalina pode ser compartimentada em três grupos: sódicas ( $\text{K}_2\text{O} / \text{Na}_2\text{O} < 1$ ), potássicas ( $\text{K}_2\text{O} / \text{Na}_2\text{O} > 1$  e  $\text{MgO} > 3\%$ ) e ultrapotássicas ( $\text{K}_2\text{O} / \text{Na}_2\text{O} > 2$ ,  $\text{K}_2\text{O} > 3\%$  e  $\text{MgO} > 3\%$ ).

De acordo com Woolley (1987) e Wilson (1989), a maioria das rochas alcalinas potássicas a ultrapotássicas descritas na literatura são derivadas de ambiente intra-placa, no entanto, alguns exemplares também são encontrados em margens convergentes que afetam a distribuição espacial de tais corpos. Ademais, o processo evolutivo acompanhado pela grande variedade mineralógica possibilita o desenvolvimento de complexos com elevado potencial econômico e de grande apreço para a comunidade científica (Woolley, 1987).

O magmatismo alcalino encontrado na Plataforma Sul-americana abrange quatro países, embora a maior parte das ocorrências das rochas intrusivas e extrusivas estejam concentradas no território brasileiro e paraguaio (Gomes & Comin-Chiaramonti, 2005). Segundo Gomes & Comin-Chiaramonti (2005), os processos de colocação dessas rochas na crosta são influenciados pela tectônica e reativação de estruturas secundárias, onde a localização desses fatores permite estabelecer a união das intrusões na forma de províncias (Figura 1). No Brasil, tais expressões magmáticas podem ser agrupadas em pelo menos 11 províncias, que se diferenciam entre si através das características petrográficas, contexto tectônico, idade de colocação na crosta e estado de preservação (Almeida & Svisero, 1991; Thompson *et al.*, 1998).

**Figura 1:** Contexto geológico das principais expressões do magmatismo alcalino nos continentes brasileiro e paraguaio. Nota-se a presença da Província Ígnea do Alto Paranaíba, em vermelho, região que abrange o objeto de estudo. O mapa no canto superior direito ilustra as principais unidades envolvidas nesse cenário.



**Fonte:** Thompson *et al.* (1998). Modificado por: Silva, L. S. (2023).

Os primeiros estudos relacionados a Província Ígnea do Alto Paranaíba (PIAP) apresentam dados que demonstram sua elevada diversidade geológica, contudo, a carência de descrições detalhadas impossibilita o entendimento da evolução magmática bem como a sucessão dos eventos geológicos envolvidos (Ulbrich & Gomes, 1981). Posteriormente, trabalhos relacionados aos kimberlitos empregam um sistema de classificação genética-textural proposto por Clement (1982), Clement & Skinner (1985) e Mitchell (1995), tendo como referência o depósito tipo localizado na África Austral, composto por três fácies: cratera, diatrema e hipoabissal.

Por fim, Field & Scott Smith (1998) estabelecem um sistema de classificação baseado em análises descritivas, que foram aprimoradas por Cas *et al.* (2008 e 2009) ao distinguir e considerar rochas coesas e intemperizadas. Neste método, a identificação e descrição dos elementos encontrados nos corpos conduzem a uma interpretação genética, que pode apresentar variações devido a atuação de agentes exógenos (Cas *et al.*, 2008).

### **1.1. Justificativa**

Sabe-se que o diamante apresenta elevada importância econômica e social no Brasil desde o século XVIII, época em que a lavra desse mineral ocorria principalmente a partir dos depósitos detríticos no município de Diamantina – MG (Svisero & Chierigati, 1991). Conforme mostra Cabral Neto *et al.* (2017), os primeiros diamantes encontrados em fontes primárias foram descobertos somente no século XX, de tal modo que até 2017 foram levantadas informações preliminares (principalmente sobre a localização) de 775 corpos intrusivos em Minas Gerais, por meio de trabalhos de campo e aquisições geofísicas registrados na folha SE-23 (CPRM, 2004). Embora sejam numerosos os trabalhos sobre rochas alcalinas potássicas/ultrapotássicas (Silva, 2008; Melluso *et al.*, 2008; Almeida, 2009; Nannini, 2011; Guarino *et al.*, 2013; Felgate, 2014), poucos estudos estão relacionados à coleta sistemática de dados petrográficos dos kimberlitos e kamafigitos recém-descobertos.

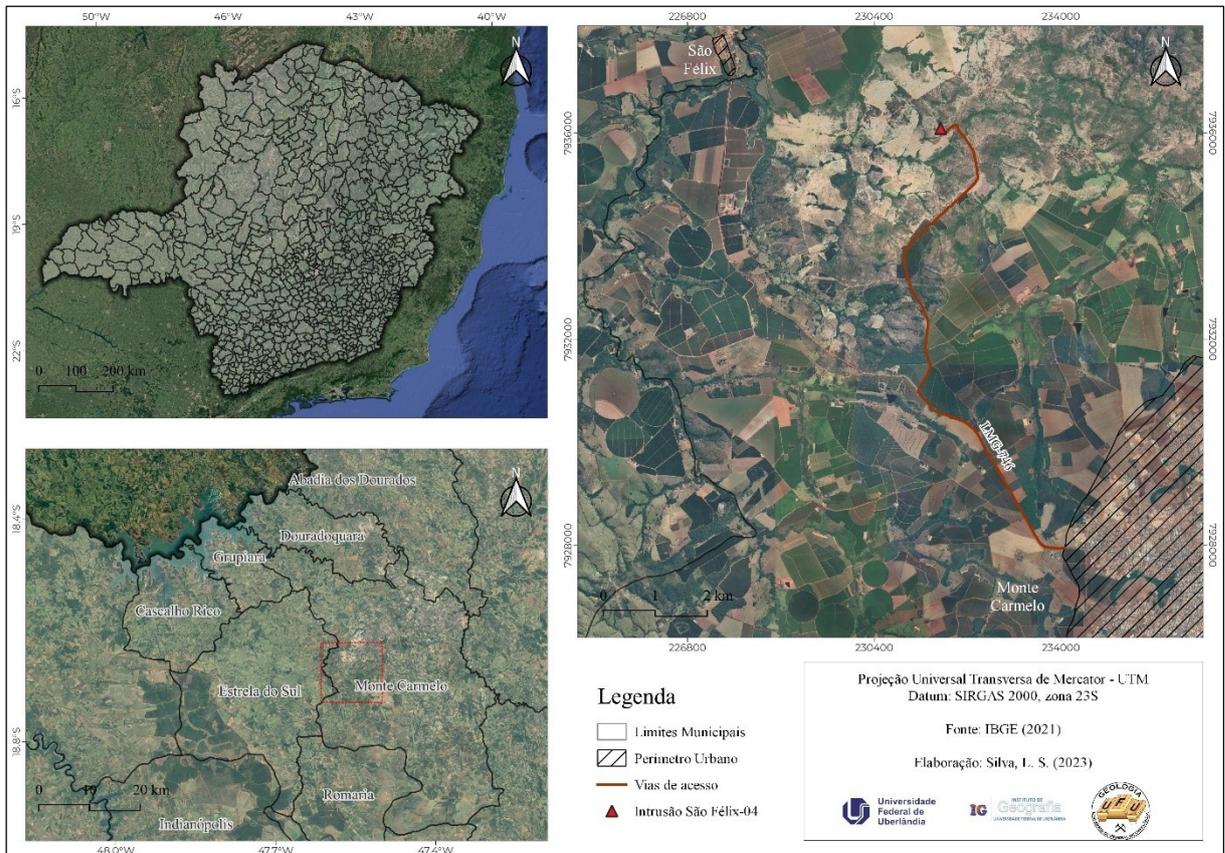
Sendo assim, levando em consideração o atual cenário da PIAP e a importância econômica do diamante no Brasil, o estudo em questão tem por motivação obter informações sobre a ascensão do magmatismo alcalino, representado pela intrusão São Félix – 04, onde os dados coletados podem impactar direta ou indiretamente nas informações contidas na literatura, além de promover a evolução do conhecimento científico.

### **1.2. Localização**

O corpo São Félix - 04 está situado na porção noroeste de Monte Carmelo – MG, município este localizado na mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba. O trajeto principal até a área é feito partindo do *campus* da Universidade Federal de Uberlândia – UFU em Monte Carmelo através da rodovia LMG-746, de modo que o restante do trajeto é realizado por vias secundárias.

A intrusão ígnea se encontra na zona 23S, com coordenadas (231681, 7936088), e o percurso completo até a área pesquisada pode ser visualizado na figura 2.

**Figura 2:** Mapa indicando a localização e o trajeto da área de estudo a partir de Monte Carmelo, seguindo pela rodovia LMG-746 e cobrindo uma distância de 11 km.



Fonte: O autor.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo geral

O presente trabalho visou a caracterização petrográfica da intrusão São Félix – 04, localizado próximo ao distrito homônimo, a fim de reconhecer os principais processos associados a colocação desse corpo na crosta.

### 2.2. Objetivos específicos

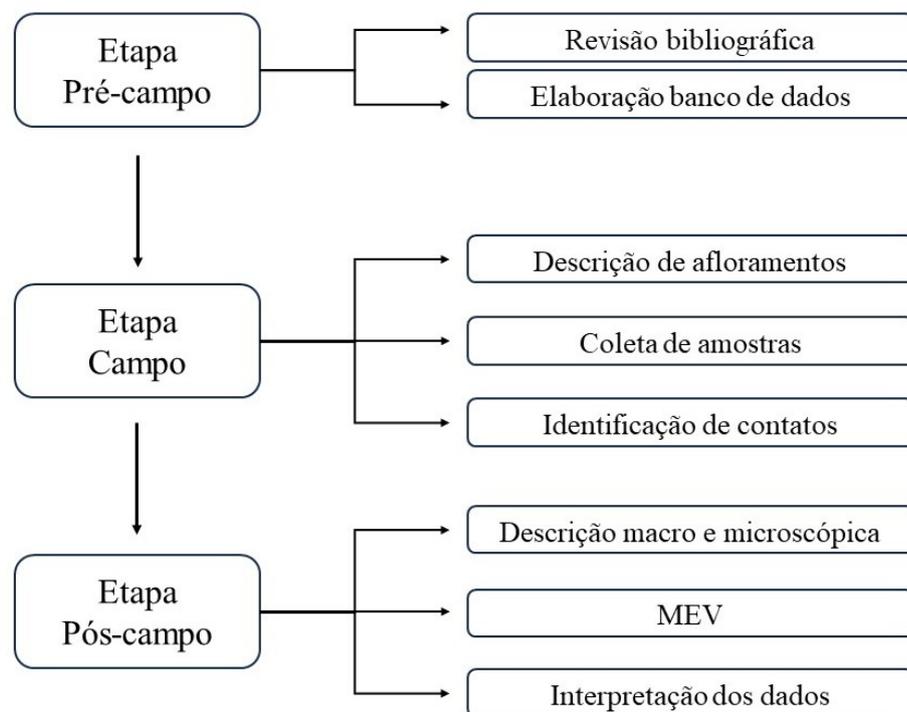
- (i) Mapeamento sistemático de detalhe visando identificar, delimitar e definir as relações espaciais da intrusão com as rochas encaixantes;
- (ii) Descrição petrográfica (macro e microscópica) das amostras focada na identificação de minerais primários e secundários bem como a verificação dos aspectos estruturais associados;

- (iii) Compreensão das relações existentes entre as características petrográficas observadas e os processos geológicos envolvidos.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse capítulo serão apresentados os principais métodos adotados durante a monografia (Figura 3), sendo divididos em: pré-campo, campo e pós-campo.

**Figura 3:** Fluxograma das etapas desenvolvidas durante a pesquisa.



**Fonte:** O autor.

#### a) Etapa pré-campo:

A revisão bibliográfica consistiu em uma das principais etapas da pesquisa, visto que foi possível coletar informações e identificar possíveis lacunas associadas ao objeto de estudo. Desse modo, foi realizada a leitura de artigos científicos, dissertações de mestrado e teses de doutorado com o objetivo de compreender a evolução das diferentes metodologias utilizadas, além de diferenciar os principais aspectos mineralógicos, texturais e estruturais que permeiam as rochas alcalinas.

Ademais, foram realizadas durante essa etapa a confecção da base de dados para a elaboração de mapas, interpretação de imagens de satélite e do mapa geológico da região de

Estrela do Sul (SE.23-Y-A-IV), visando compreender o contexto geológico regional, o empilhamento estratigráfico bem como o comportamento da intrusão ígnea em relação às encaixantes (apêndice A).

A escolha da intrusão São Felix – 04 foi com base nas informações das localizações de corpos “kimberlíticos”, citados em relatório do Projeto Diamante Brasil da CPRM. Essas informações foram importantes para a identificação do corpo, que apresentou blocos preservados de rocha, garantindo a possibilidade de uma caracterização mineralógica, textural e estrutural mais adequada em relação aos corpos com alteração mais avançada.

**b) Etapa de campo:**

A etapa em questão foi realizada numa única saída de campo durante o mês de agosto de 2023, objetivando a coleta de dados do objeto de estudo. As características geológicas descritas nos próximos capítulos foram obtidas durante o levantamento de campo por caminhamento, que possibilitou a coleta de oito pontos (apêndice B), a identificação dos contatos litológicos e o dimensionamento do corpo alcalino. Concomitantemente a esse processo houve descrições detalhadas dos afloramentos acompanhadas pela aquisição de quatorze amostras.

**c) Etapa pós-campo:**

Com o intuito de identificar e compreender as principais características contidas no corpo intrusivo estudado, essa etapa compreende os seguintes processos:

○ **Caracterização petrográfica (macro e microscópica):**

A classificação das diferentes rochas alcalinas por meio de métodos voltados a petrografia se torna viável, já que a heterogeneidade mineralógica e textural refletem diretamente na fonte magmática e no seu processo evolutivo (Carlson *et al.*, 1996). Posto isso, visando alcançar os objetivos propostos, foram realizadas análises descritivas das amostras em diferentes escalas.

A caracterização macroscópica, utilizada durante e após o levantamento de campo, consistiu no reconhecimento e coleta de dados preliminares que serviram como subsídio para a etapa posterior. Desse modo, foram obtidas informações relativas à coloração, textura, estrutura, tamanho dos cristais e grau de alteração.

Em nível microscópico, foram confeccionadas quatro lâminas (SFX-L-01, SFX-L-02-A, SFX-L-02-B e SFX-L-04-A). Tais materiais foram analisados com o auxílio do microscópio petrográfico do Laboratório de Microscopia e Petrografia da Universidade Federal de Uberlândia – *campus* Monte Carmelo (UFU – Monte Carmelo), com o intuito de identificar os aspectos mineralógicos, microestruturais e texturais.

É de suma importância destacar que as informações sobre as populações de olivina foram baseadas em termos descritivos propostos por Scott Smith *et al.* (2013), que diferenciam os macrocristais (dimensões superiores a 1mm) dos microcristais (dimensões inferiores a 1mm).

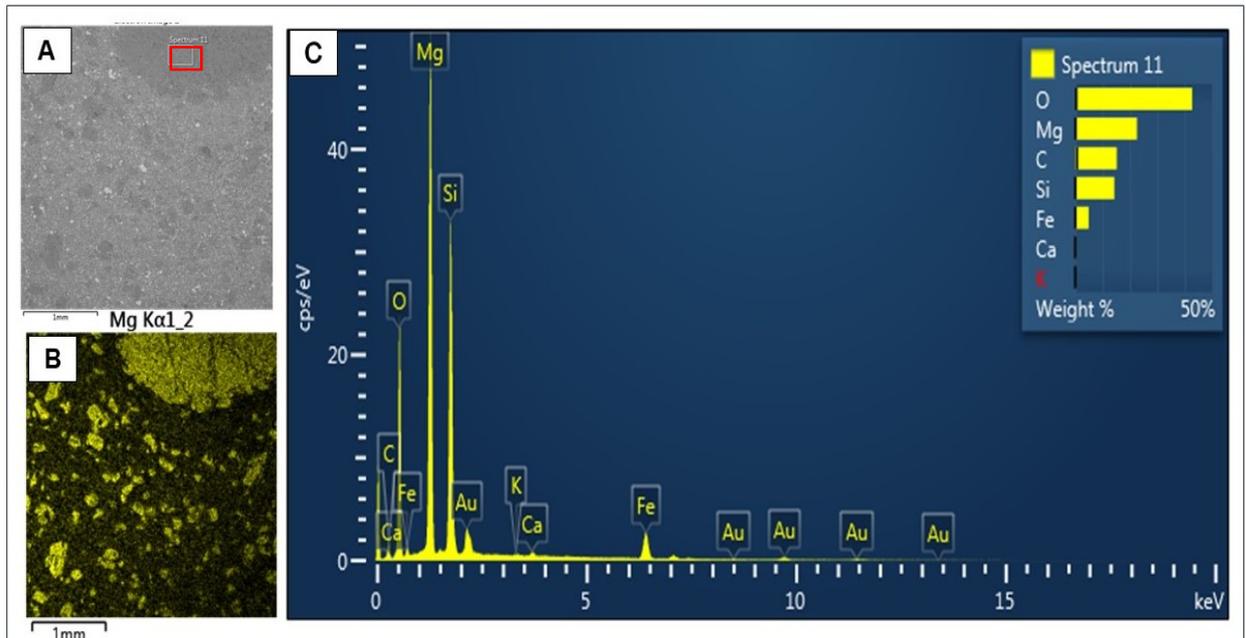
○ **Utilização do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV):**

O Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) possui inúmeras aplicações, e seu uso no âmbito das geociências permite a caracterização litológica através da coleta de dados referente a morfologia e composição mineral, conforme demonstra Reed (2005). O equipamento funciona por meio da incidência do feixe de elétrons na superfície da lâmina delgada, previamente metalizada e seca, que dissipa elétrons secundários e retroespalhados (Duarte *et al.*, 2003; Severin, 2004). As imagens obtidas através dos elétrons secundários expressam informações relacionadas ao contraste topográfico, ao passo que os elétrons retroespalhados permitem a coleta de dados sobre a variação composicional de uma determinada região (Reed, 2005).

O Espectrômetro de Energia Dispersiva (EDS), equipamento este acoplado ao MEV, permite a obtenção de dados qualitativos e semi-quantitativos de acordo com a quantidade de energia emitida em direção a superfície da amostra (Severin, 2004). Segundo Duarte *et al.* (2003), tal ferramenta apresenta diversas aplicações, podendo ser utilizado em amostras brutas ou polidas. No entanto, para que haja a detecção e quantificação dos elementos em estudos que utilizam avaliações pelo número atômico médio ( $Z$ ), os elementos devem ter obrigatoriamente  $Z$  superior a 4, configurando uma das poucas desvantagens do EDS (Duarte *et al.*, 2003).

Sendo assim, os produtos analisados neste estudo foram obtidos a partir do MEV, marca Tescan e modelo VEGA 3 LMU localizado no Laboratório Multiusuário do Instituto de Química (LAMIQ), que possibilitou a identificação dos diferentes minerais contidos nas lâminas SFX-L-02-A, SFX-L-02-B e SFX-L-04-A (Figura 4).

**Figura 4:** Informações qualitativas e semi-quantitativas adquirida através do sistema EDS, acoplado ao MEV. A) Imagem de elétrons retroespalhados obtida da lâmina SFX-L-02-A, onde os tons de cinza indicam variações no número atômico. B) Mapa composicional da amostra em que as regiões em amarelo compreendem a maior concentração do elemento Mg. C) Espectro referente à região indicada em A. Nesse contexto, a correta identificação da olivina foi realizada comparando o espectro “desconhecido” com aqueles disponíveis na literatura.



Fonte: Laboratório Multiusuário do Instituto de Química (LAMIQ).

#### ○ **Integração e interpretação dos dados:**

Essa etapa consistiu na compilação das informações relacionadas ao objeto de estudo a fim de demonstrar o seu comportamento frente aos objetivos propostos, comparando com a bibliografia especializada. O uso dos dados obtidos através das evidências petrográficas permitiram discussões relevantes sobre a classificação do corpo alcalino, bem como a compreensão dos processos geológicos envolvidos durante a sua ascensão.

#### **4. ASPECTOS PETROGRÁFICOS DAS ROCHAS ALCALINAS POTÁSSICAS A ULTRAPOTÁSSICAS**

A elevada relevância econômica, a complexidade textural e a presença de enclaves contidos nas rochas alcalinas potássicas a ultrapotássicas são fatores que justificam a realização

de estudos detalhados referentes a composição mineralógica desses corpos (Tabela 1), visando classificá-los em diferentes níveis (Meyer *et al.*, 1991).

#### **4.1. Kimberlitos**

Com o propósito de compreender os processos magmáticos relacionados aos kimberlitos, Michell (1995) introduziu a classificação de tais rochas em dois grupos distintos: kimberlitos do tipo I e kimberlitos do tipo II. Os kimberlitos do tipo I encontrados inicialmente na África do Sul apresentam elevada concentração de voláteis (CO<sub>2</sub>) e são caracterizados pela textura inequigranular, onde os macrocristais/megacristais de olivina encontram-se imersos em uma matriz composta essencialmente por olivina, flogopita, perovskita, espinélio, apatita, monticellita, serpentina e carbonatos (Michell, 1995; Le Maitre *et al.*, 2002).

Diferenciando-se mineralogicamente e em termos de origem, os kimberlitos do tipo II (ou micáceos) são característicos de magmas com elevado teor de H<sub>2</sub>O, que por sua vez, propicia o desenvolvimento de macrocristais de flogopita imersos em uma matriz abundante em piroxênio, espinélio, perovskita, apatita, rutilo, ilmenita e outros minerais micáceos (Le Maitre *et al.*, 2002). Segundo Woolley *et al.* (1996), embora a presença de macrocristais de olivina seja comum, eles não devem ser considerados na definição desse tipo de kimberlito.

#### **4.2. Kamafugitos**

Os kamafugitos, identificados inicialmente por Holmes (1945), reúnem um grupo de rochas que possuem elevada complexidade mineralógica, sendo subdivididos entre: katungito (olivina + melilita), ugandito (piroxênio + leucita) e mafurito (piroxênio + kalsilita). São rochas ultrapotássicas subsaturadas, que assim como os kimberlitos, apresentam elevada concentração de voláteis (sobretudo CO<sub>2</sub>) e podem ser encontrados na forma de diques, *pipes* e lavas (Felgate, 2014).

Em geral, tais rochas são compostas essencialmente por macrocristais de olivina, piroxênio e flogopita imersos em uma matriz com piroxênio, apatita, flogopita, perovskita, Ti-magnetita, kalsilita, leucita, melilita e carbonatos (Le Maitre *et al.*, 2002; Felgate, 2014).

#### **4.3. Lamproítos**

Em contraste aos demais exemplares magmáticos, os lamproítos são rochas que se diferenciam através dos componentes texturais e mineralógicos. Segundo Streckeisen (1979),

os lamproitos são rochas mesocráticas a melanocráticas, inequigranulares, encontrados comumente associados as rochas plutônicas de composições químicas contrastantes.

Os lamproitos apresentam olivina, piroxênio, sanidina e flogopita como principais constituintes, sendo o último encontrado na forma de macrocristais (Le Maitre *et al.*, 2002). A presença de leucita fica restrita a matriz fina, que também pode conter piroxênio e biotita, ambos derivados da atividade hidrotermal (Streckeisen, 1979). Conforme mencionado por Le Maitre *et al.* (2002), a definição de lamproíto não se deve através da presença de todos os componentes minerais primários, mas sim pela ocorrência de dois ou três destes minerais.

**Tabela 1:** Principais componentes mineralógicos encontrados nos kimberlitos, kamafeugitos e lamproitos.

✓ = presença

• = ausência

<i>Minerais</i>	<i>Kimberlitos tipo I</i>	<i>Kimberlitos tipo II</i>	<i>Kamafeugitos</i>	<i>Lamproitos</i>
Apatita	✓	•	✓	•
Carbonatos	✓	•	✓	•
Espinélio	✓	✓	•	•
Flogopita	✓	✓	✓	✓
Ilmenita	•	✓	•	•
Kalsilita	•	•	✓	•
Leucita	•	•	✓	✓
Melilita	•	•	✓	•
Monticellita	✓	•	•	•
Olivina	✓	•	✓	✓
Perovskita	✓	•	✓	•
Diopsídio	•	✓	✓	✓
Rutilo	•	✓	•	•
Sanidina	•	•	•	✓
Serpentina	✓	•	•	•
Ti-magnetita	✓	•	✓	•

Fonte: Holmes (1945); Streckeisen, (1979); Michell (1995); Woolley *et al.* (1996); Le Maitre *et al.* (2002); Felgate (2014).

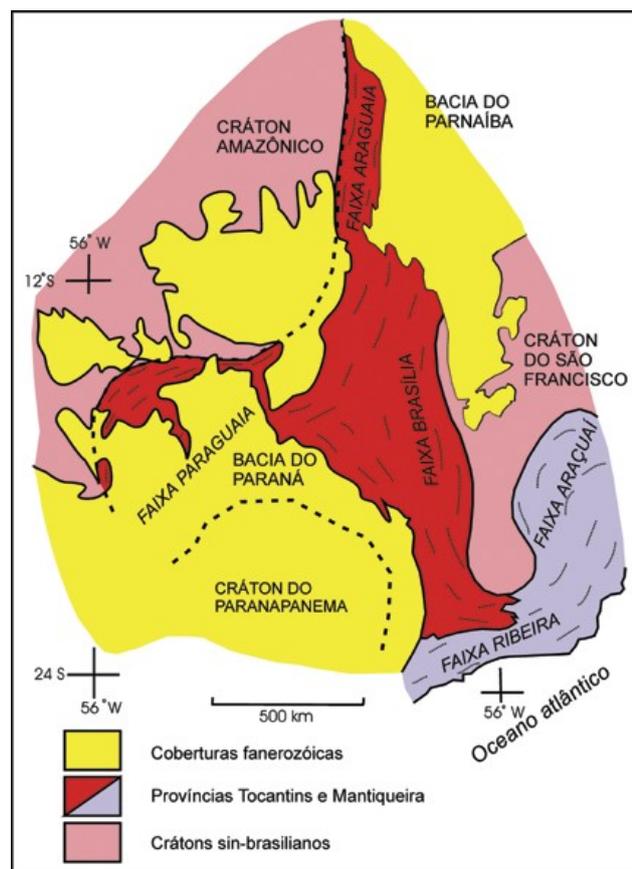
## 5. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

### 5.1. Província Tocantins

A Província Tocantins (Figura 5) representa uma unidade geotectônica desenvolvida através da aglutinação entre os crátons São Francisco, Paranapanema e Amazônico (Pimentel *et al.*, 2000). Seu regime estrutural é marcado por lineamentos de direção N-S concentrados na região norte, ao passo que na porção sul tais feições apresentam direção NW-SE (Strieder & Suita, 1999).

De acordo com Valeriano *et al.* (2004), o estudo da Província Tocantins remonta processos de abertura e fechamento de oceanos, de modo que a elevada complexidade estrutural somada às peculiaridades litológicas possibilita a sua compartimentação em três faixas: Araguaia, Paraguai e Brasília.

**Figura 5.** Contexto tectônico dos principais componentes envolvidos na formação da Província Tocantins, localizada no Brasil Central.

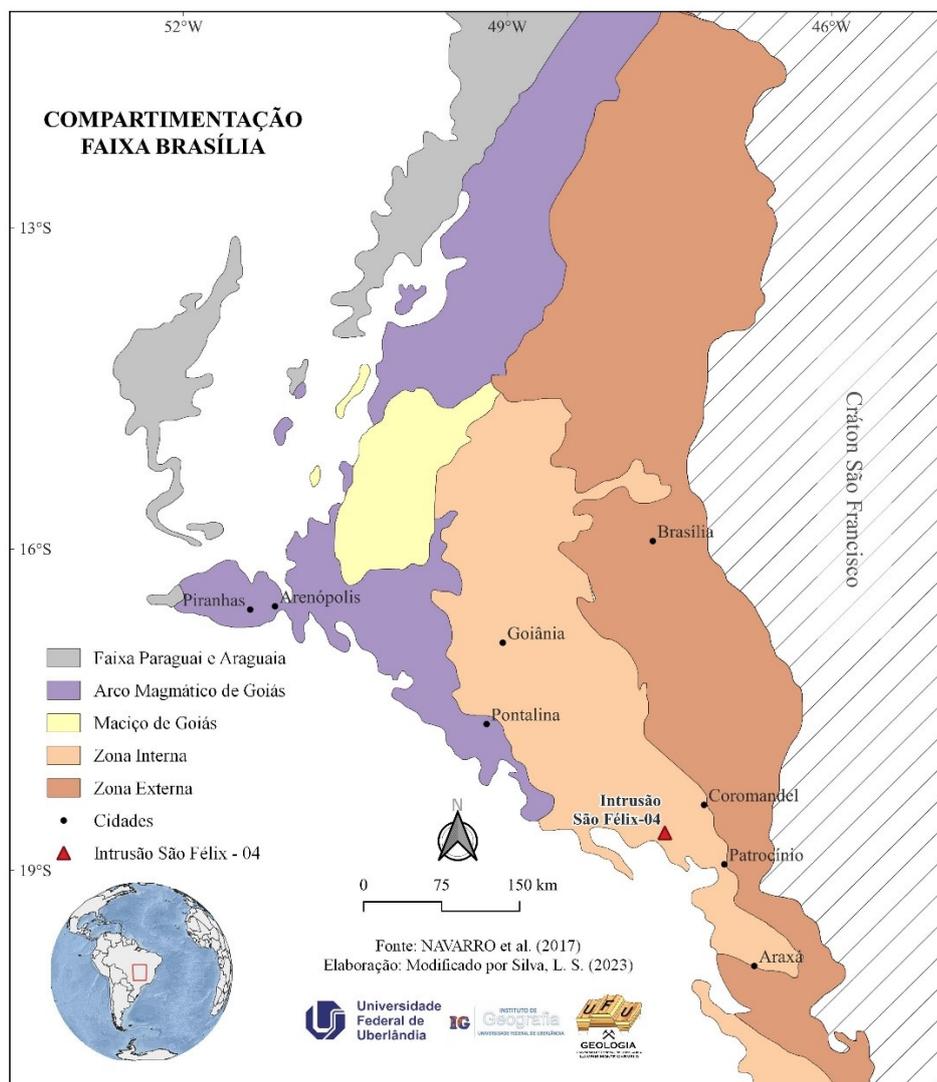


**Fonte:** Valeriano *et al.* (2004).

## 5.2. Faixa Brasília

A Faixa Brasília (FB), situada a oeste do Cráton São Francisco e representada na figura 6, configura uma das principais unidades da Província Tocantins e possui seu desenvolvimento associado ao ciclo Brasileiro (Almeida *et al.*, 1977). Ela consiste em um sistema de dobramentos Neoproterozoico de 1200 km de comprimento e 300 km de largura, onde as diferentes características litológicas e estruturais advêm da colisão entre terrenos tectonicamente estáveis (Uhlein *et al.*, 2012).

**Figura 6:** Setorização da Faixa de Dobramentos Brasília.



**Fonte:** Navarro *et al.* (2017). Modificado por: Silva, L. S. (2023).

Segundo Fuck (1994), a FB engloba (a) rochas autóctones e seqüências metassedimentares; (b) porções alóctones de idade arqueana denominado de maçiço de Goiás

e (c) exemplares vulcânicos/plutônicos representantes do arco magmático de Goiás. Dessa forma, as características aqui apresentadas são baseadas em estudos conduzidos por Valeriano *et al.* (2004) na porção sul da FB, que estabelecem a compartimentação dessa unidade em zona cratônica, externa e interna.

A zona cratônica, composta por rochas do embasamento de idade arqueanas eventualmente retrabalhadas durante processos orogênicos, detém dobras suaves e abertas que evoluem gradativamente para estruturas mais apertadas à medida que se aproximam da margem oeste (Fuck, 1994; Valeriano *et al.*, 2004). Embora o limite dessa zona seja indicado a partir da ocorrência de falhas de empurrão, vale ressaltar que tal definição é desafiadora devido à complexidade geológica e às incertezas associadas ao cráton (Fuck, 1994).

A zona externa é caracterizada pela presença de rochas metassedimentares inseridas em contextos tectônicos dominados por falhas transcorrentes de direção preferencial WNW (Valeriano *et al.*, 2004). Conforme mencionado por Fuck (1994), nessa região, é observado o predomínio de rochas metamórficas dos grupos Paranoá e Canastra desenvolvidos em fácies xisto verde, de modo que localmente é possível encontrar afloramentos do embasamento.

Já a zona interna, é representada essencialmente por metapelitos do Grupo Araxá desenvolvidos através do metamorfismo de sedimentos marinhos distais, com ocorrência de intrusões graníticas e corpos máficos-ultramáficos (Klein, 2008). Segundo Pimentel *et al.* (1999), a unidade em questão é caracterizada pela presença de foliações de baixo ângulo e lineamentos de direção E-W, de modo que a deformação diminui em direção a região cratônica.

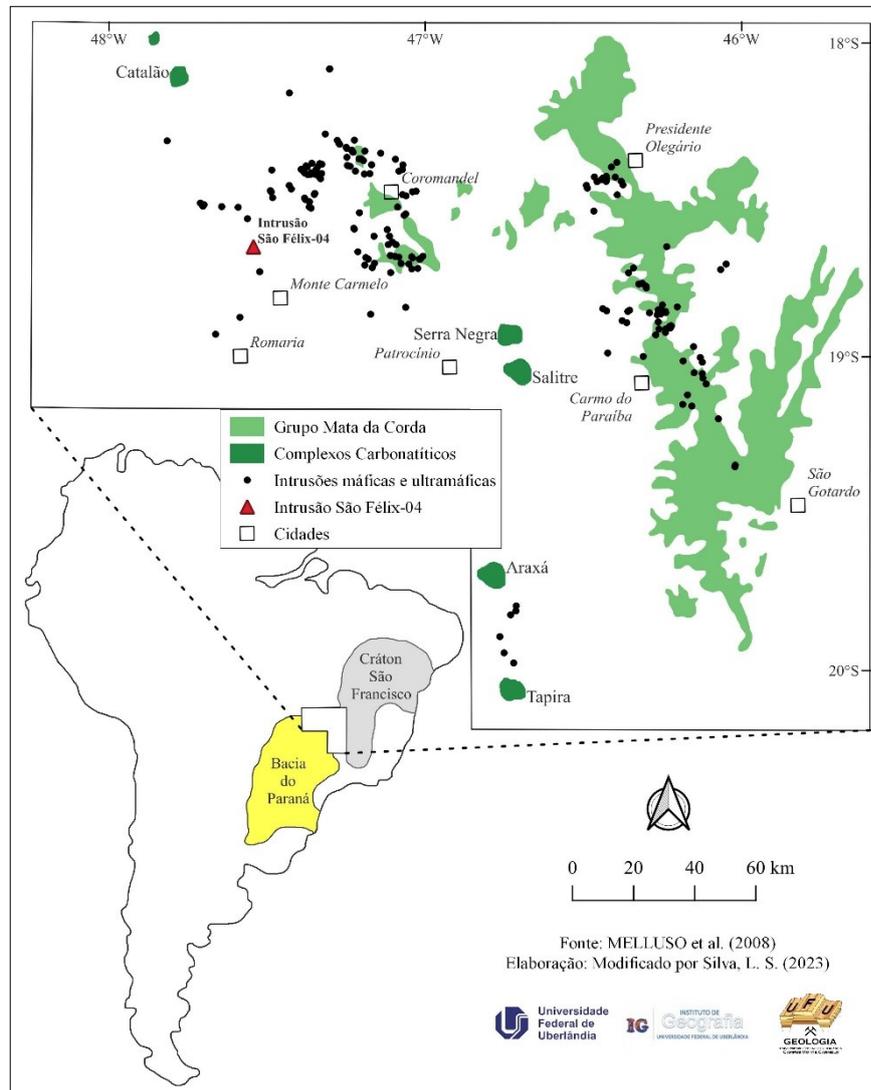
### **5.3. Província Ígnea do Alto Paranaíba**

A Província Ígnea do Alto Paranaíba (PIAP), nomeada inicialmente por Gibson *et al.* (1995), se encontra no interior da FB e entre duas unidades geotectônicas de idades distintas: Bacia do Paraná e o Cráton São Francisco (Figura 7). Diferenciada das demais através das características petrográficas e geocronológicas (Herz, 1977), a província em questão compreende complexos carbonatíticos, intrusões máficas/ultramáficas e rochas vulcânicas do Grupo Mata da Corda que se estendem entre os estados de Goiás e Minas Gerais (Gomes & Comin-Chiaramonti, 2005).

O desenvolvimento geológico da PIAP ocorreu no Cretáceo Superior e contemplou processos referentes à geodinâmica interna da Terra bem como a influência de rochas metassedimentares, que resultaram na formação de um alto estrutural. Segundo Guarino *et al.*

(2013), sua evolução está associada à influência indireta de plumas mantélicas, que causaram o aquecimento e, posteriormente, a descompressão do manto litosférico situado abaixo da região que compõe tal província. Sendo assim, o alívio de pressão gerado pelas plumas, combinado com a existência de zonas de fraquezas, possibilitou a ascensão do material alcalino sobre as rochas metamórficas da FB e o desenvolvimento de feições topograficamente elevadas (Hasui, 1975).

**Figura 7:** Mapa esquemático detalhado da localização geográfica e dos principais elementos da Província Ígnea do Alto Paranaíba. Em destaque, a área de estudo em vermelho.



**Fonte:** Melluso *et al.* (2008). Modificado por: Silva, L. S. (2023).

A província representa um dos maiores exemplares do magmatismo potássico/ultrapotássico do mundo, se estende ao longo de 2.000 km na margem da Bacia do

Paraná, cobre cerca de 20.000 km<sup>2</sup> e compartilha território com faixas móveis que apresentam estruturas com orientação preferencial NW-SE (Gibson *et al.*, 1995; Guarino *et al.*, 2013). Conforme mencionado por Guarino *et al.* (2013), as estruturas tectônicas estabelecem um papel significativo tanto na disposição de intrusões quanto na formação de depósitos, visto que tais feições facilitam a passagem de fluidos magmáticos e mineralizantes.

### 5.3.1. Complexos Carbonatíticos

Os complexos carbonatíticos da PIAP, concentrados na porção centro-oeste do território brasileiro, ocorrem associados às estruturas secundárias da FB que viabilizaram a ascensão do material magmático e a formação de corpos intrusivos com elevada concentração de minerais carbonáticos (Gomes *et al.*, 2020). Segundo Brod *et al.* (2000), tal região é composta por complexos que, individualmente, podem atingir 65 km<sup>2</sup> e incluem expressões como: Serra Negra, Salitre, Catalão I, Catalão II, Araxá e Tapira, sendo os quatro últimos os representantes com maior potencial econômico.

Quando se trata de rochas associadas aos complexos carbonatíticos, é comum observar uma afinidade potássica semelhante àquela encontrada nos kimberlitos da PIAP, exemplificado pelos corpos Indaiá, Limeira (I e II), Vargem, Jacapenga, Pantano, Cedro, Grotão, Santa Clara, entre outros (Meyer & Svisero, 1991; Brod *et al.*, 2000; Svisero *et al.*, 2010; Nannini, 2011).

### 5.3.2. Intrusões máficas e ultramáficas

Localizada no município de Monte Carmelo e separadas por aproximadamente 1,5 km, as intrusões Limeira e Indaiá dividem semelhança nas assinaturas isotópicas, apesar da divergência nos aspectos petrográficos e químicos (Meyer & Svisero, 1991). De acordo com Meyer & Svisero (1991), o kimberlito Limeira consiste em um corpo alongado, de dimensões superiores a 200 m, que estabelece contato intrusivo com os granitoides da região. Em geral, os exemplares rochosos dessa intrusão exibem textura inequigranular característica, gerada pela presença de macrocristais de olivina, ilmenita, flogopita, perovskita, apatita e minerais opacos imersos na matriz afanítica (Nannini & Ulbrich, 2007). Segundo Svisero & Ulbrich (1992), a matriz é composta por grãos de espinélio, perovskita e ilmenita intercalados com cristais prismáticos de piroxênio. Fragmentos de calcita compartilham ambiente com xenólitos mantélicos de composição dunítica e harzburgítica (Svisero & Ulbrich, 1992; Nannini & Ulbrich, 2007).

O corpo Indaiá apresenta afinidade kimberlítica e dimensões semelhantes às aquelas observadas na intrusão Limeira, onde a presença de xenólitos mantélicos ocorre ao longo da intrusão (Meyer & Svisero, 1991). O solo derivado de tal rocha possui coloração avermelhada e favorece o desenvolvimento de uma vegetação densa, que contrasta com o solo esbranquiçado e raso gerado pela rocha encaixante (Nannini, 2011). Petrograficamente, o kimberlito Indaiá apresenta textura inequigranular definida pela ocorrência de macrocristais de olivina, flogopita e ilmenita, que por sua vez estão imersos em matriz muito fina e de coloração escura composta por serpentina, calcita, perovskita e apatita (Meyer & Svisero, 1991). Segundo Nannini (2011), o corpo em questão contempla ainda a presença de xenólitos crustais e mantélicos, autólitos, e clastos de composição carbonáticas situados no interior de uma matriz composta por olivina, flogopita, monticellita, perovskita, serpentina e espinélio.

Embora a maioria das pesquisas tenham classificado grande parte das intrusões da PIAP como kimberlitos, análises realizadas por Gibson *et al.* (1995) demonstram semelhanças nos aspectos químicos e mineralógicos de algumas dessas intrusões com os kamafugitos encontrados na África Oriental. Estudos petrográficos realizados por Sgarbi *et al.* (2000) na margem da Bacia do Paraná corroboram com tal proposição através da identificação de rochas subsaturadas em sílica e livres de feldspatos. Tais corpos apresentam textura porfirítica, os macrocristais não excedem 3% da composição modal, sendo a matriz composta por olivina, flogopita, Ti-magnetita, perovskita, apatita e leucita (Sgarbi *et al.*, 2000).

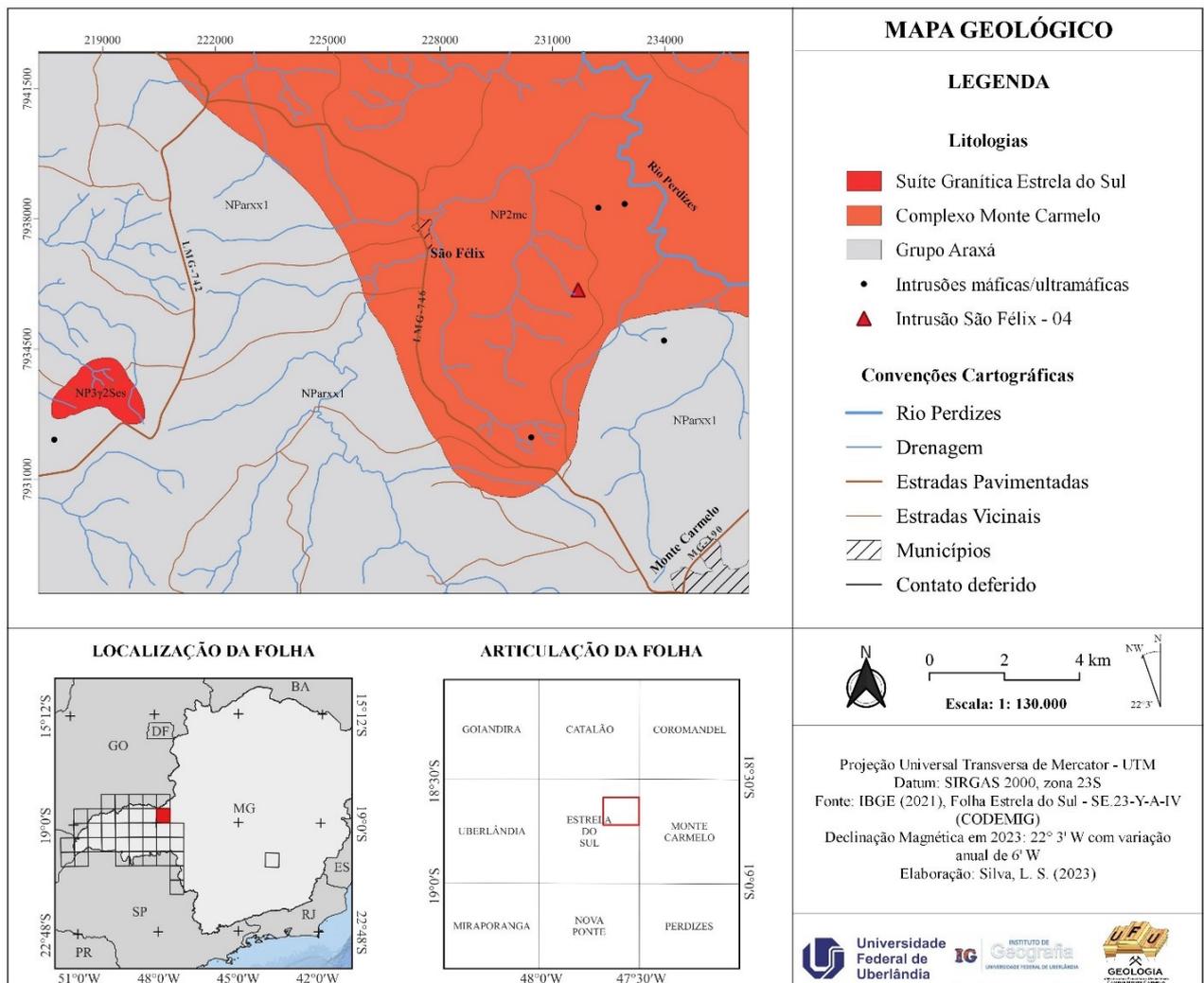
### 5.3.3. Grupo Mata da Corda

Concomitante às intrusões, houve ainda a deposição de rochas vulcânicas pertencentes ao Grupo Mata da Corda, encontradas na forma de lavas e depósitos piroclásticos pobres em sílica (Bizzi *et al.*, 1995). O conteúdo vulcânico possui espessuras que variam entre 100 e 200m e representa cerca de 40% de todo material ígneo encontrado na PIAP (Guarino *et al.*, 2013). A utilização de métodos isotópicos realizados por Bizzi *et al.* (1995) possibilitou a identificação de algumas semelhanças expressas pela influência do manto litosférico na formação dos kimberlitos e das rochas vulcânicas, ao passo que as variações isotópicas indicaram a consolidação dos kimberlitos em regiões profundas e com baixa interferência da fusão parcial, enquanto o vulcanismo do Grupo Mata da Corda foi característico de porções elevadas e com participação da fusão do material adjacente.

## 6. CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL

O corpo São Félix – 04 está inserido no contexto geotectônico da Faixa Brasília, que de acordo com o mapeamento realizado pela Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (CODEMIG) na região de Monte Carmelo, é marcada pelo predomínio de unidades metassedimentares do Grupo Araxá, associado a presença de intrusões ígneas do Complexo Monte Carmelo e Suíte Estrela do Sul (Figura 8).

**Figura 8:** Contexto geológico local da região de Monte Carmelo.



Fonte: O autor.

### 6.1. Grupo Araxá

O Grupo Araxá, definido inicialmente por Barbosa (1955) como Formação Araxá, é constituído por rochas metassedimentares e intercalações de anfibolitos que se encontram inseridos na zona interna da FB (Barbosa *et al.*, 1970; Navarro *et al.*, 2019). Os metapelitos, representados essencialmente pelo mica xisto, são caracterizados pelo predomínio de muscovita de dimensões milimétricas, de tal modo que, em algumas circunstâncias é possível observar a ocorrência desse mineral em tamanhos centimétricos (Barbosa *et al.*, 1970). Seer & Moraes (2013) pontuam que a presença de granada em alguns exemplares do Grupo Araxá possibilita inferir que tais rochas foram metamorfizadas em condições médias de temperatura e pressão. Adicionalmente, foram descritos por Navarro *et al.* (2019) intercalações de rochas metamáficas e metaultramáficas provenientes do metamorfismo em fácies anfibolito de fragmentos do assoalho oceânico com características ofiolíticas.

Embora exista avanço no reconhecimento das características petrográficas, a falta de dados litoestratigráficos e geocronológicos impede a delimitação temporal precisa do Grupo Araxá, sendo considerada contemporânea ao desenvolvimento das demais unidades dessa faixa móvel (Navarro *et al.*, 2019). De acordo com Fuck *et al.* (1994), os mica xistos são derivados de sedimentos distais em contexto de margem passiva com idade máxima de sedimentação de  $1260 \pm 12$  Ma (U/Pb), que por sua vez, foram deformados junto a zona externa da FB.

### 6.2. Complexo Monte Carmelo

O Complexo Monte Carmelo, encontrado entre os municípios de Monte Carmelo e Abadia dos Dourados, corresponde a uma unidade composta por intrusões ígneas e pegmatitos de composição sienita tonalítica, além de associações de lentes de anfibolitos (Féboli *et al.*, 2017; Seer & Moraes, 2013).

Estudos conduzidos por Seer & Moraes (2013) identificaram, através de métodos geoquímicos e geocronológicos, a ocorrência de três eventos de granitogênese na porção meridional da FB. Desse modo, o Complexo Monte Carmelo é pertencente ao segundo evento (790 Ma), que por sua vez, foi responsável pelo desenvolvimento de corpos graníticos metaluminosos a peraluminosos em contexto de arco magmático (Seer & Moraes, 2013).

Segundo os mesmos autores, as intrusões representantes desse complexo apresentam coloração cinza esbranquiçado, granulação fina a média, onde localmente é possível observar a presença de bandamento gnáissico. Possuem em sua mineralogia básica a presença de quartzo,

feldspato e biotita, de modo que a ocorrência de sericita sugere fortes evidências da atividade hidrotermal (Féboli *et al.*, 2017; Seer & Moraes, 2013).

### 6.3. Suíte Estrela do Sul

Identificada por Barbosa *et al.* (1970) no município homônimo, a suíte em questão compreende granitoides que por sua vez compartilham ambientes com as rochas metassedimentares do Grupo Araxá. Sua evolução está atrelada ao terceiro evento magmático da FB (630 Ma), onde o ambiente colisional somado a influência de corpos graníticos mais antigos possibilitaram a formação de pequenas intrusões de composição peraluminosa (Seer & Moraes, 2013).

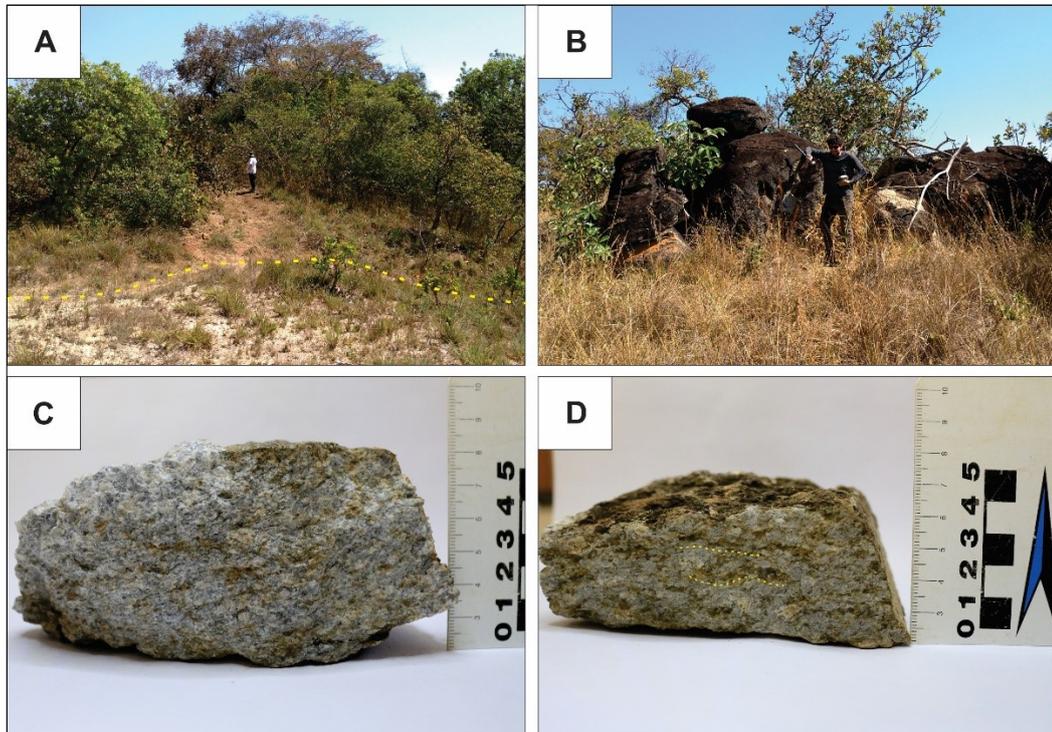
Estudos recentes realizados por Santos (2019) demonstram que os granitoides pertencentes a essa suíte se apresentam preservados na região interna e parcialmente deformado nas bordas. De modo geral, tais rochas possuem coloração acinzentada, granulação fina a média, textura equigranular, com presença de quartzo, feldspato (alcalino e plagioclásio), biotita e muscovita, sendo classificados como granitos de composição alcalina, sienogranitos ou monzogranitos (Seer & Moraes, 2013; Santos, 2019).

## 7. PETROGRAFIA

A intrusão São Félix – 04 está localizada na porção central da área (apêndice C), onde os afloramentos são encontrados nos morrotes e aparecem com baixa frequência.

Os granitoides, que estabelecem contato com o objeto de estudo (Figura 9: A), afloram no formato de blocos e matacões subarredondados a arredondados (Figura 9: B). São rochas branco/acinzentadas, leucocráticas, faneríticas, equigranulares, isotrópicas, holocristalinas, com granulação média (Figura 9: C). Alguns exemplares podem apresentar, além das características citadas anteriormente, uma estrutura levemente anisotrópica, marcada pela orientação preferencial dos minerais placoides (Figura 9: D). Tais rochas possuem como composição mineralógica a presença de feldspatos (55%), quartzo (30%) e biotita (15%).

**Figura 9:** A) Contato intrusivo do corpo com o granitoide, identificado através da mudança abrupta na coloração do solo. B) Blocos e matacões arredondados encontrados próximo a intrusão São Félix – 04. C) Amostra SFX-L-12: granitoide de coloração acinzentada, equigranular, de granulação média. D) Amostra SFX-L-11: granitoide de coloração acinzentada, equigranular, com anisotropia expressa pela orientação da biotita.



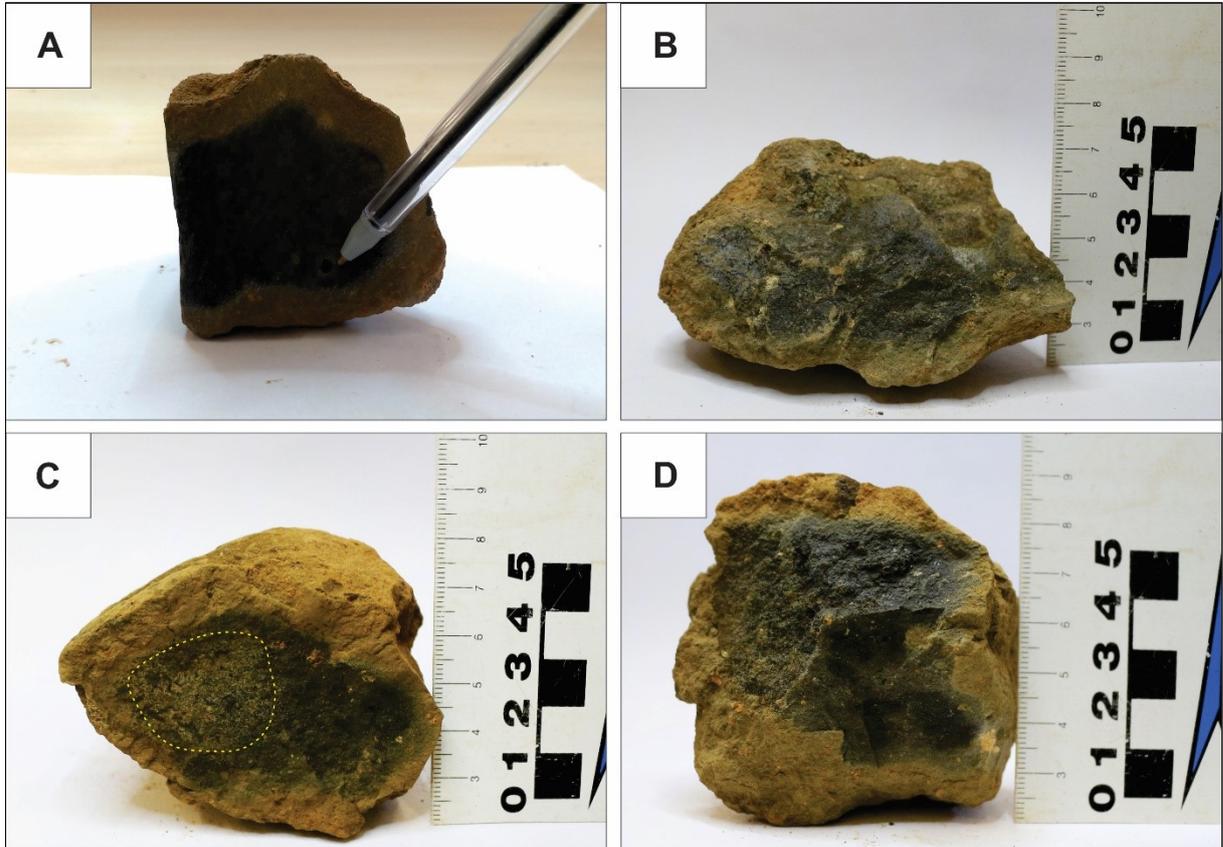
Fonte: O autor.

### 7.1. Caracterização macroscópica

Em nível macroscópico, as amostras do corpo São Félix – 04 foram submetidas a análises que levaram em consideração diversos aspectos, tais como: coloração, estrutura, grau de alteração, textura e forma dos cristais.

As rochas da intrusão estudada geralmente exibem coloração escura/acinzentada e estrutura maciça (Figura 10: A e B). Localmente é possível observar, na superfície das amostras, a presença de uma fina camada de material escuro que consiste em óxido ou hidróxido de manganês (Figura 10: C). Além disso, capas de alteração nas rochas são observadas em diferentes estágios e formas, evidenciadas pela coloração amarelo/alaranjado e pela alteração dos cristais de olivina (Figura 10: C e D).

**Figura 10:** A e B) Amostra SFX-L-06 e SFX-L-04: exemplar de coloração escura/acinzentada, estrutura maciça e textura inequigranular. C) Amostra SFX-L-05: rocha inequigranular com presença de macrocristais anédricos de olivina com a influência de óxidos ou hidróxido de manganês. Nota-se porções evidenciando a capa de alteração. D) SFX-L-07: rocha de estrutura maciça com sinais avançados de alteração nas bordas, evidenciado através da coloração avermelhada e presença de macrocristais amarelados.



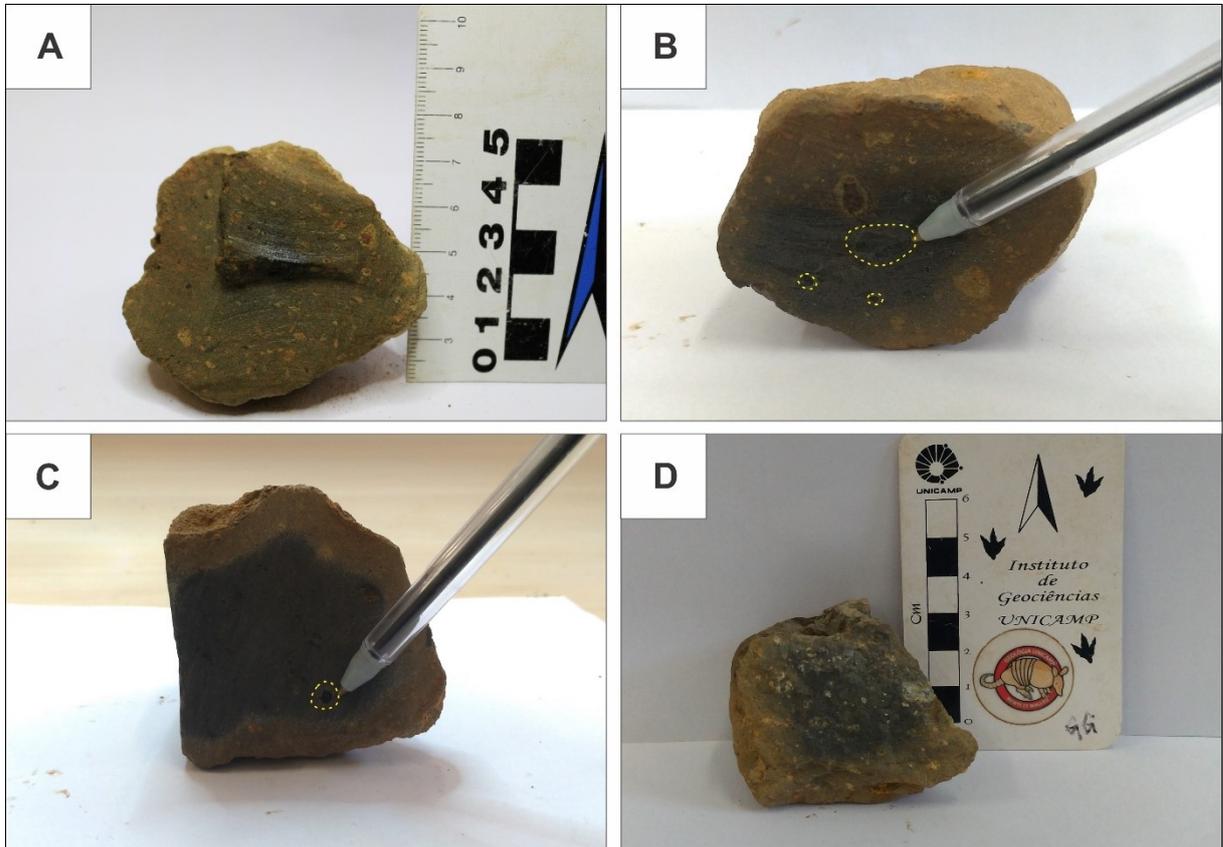
Fonte: O autor.

A textura inequigranular (Figura 11: A) representa uma das principais características das rochas, sendo composta por macrocristais de olivina inseridos em uma matriz afanítica. Quando preservados, os macrocristais de olivina tendem a apresentar coloração escura e hábito tabular, com dimensões entre 1 e 5mm (Figura 11: B).

Os enclaves, por sua vez, exibem características distintas relacionadas à forma e ao tamanho, sendo categorizados como fragmentos de aspecto vítreo e xenólitos crustais. Os fragmentos de aspecto vítreo apresentam em geral, forma alongada, tons escuros, granulação menor do que a observada na matriz e brilho vítreo, que se desenvolve devido ao tamanho dos cristais (Figura 11: C).

Em contrapartida, os xenólitos crustais têm formas arredondadas e granulação fina. Em alguns casos é possível encontrar o processo de caulinitização, uma alteração desenvolvida a partir da alteração de feldspatos (Figura 11: D).

**Figura 11:** A) Amostra SFX-L-02: rocha de tonalidade escura com textura inequigranular, composta por macrocristais de olivina imersos em uma matriz muito fina. B) Amostra SFX-L-13: amostra de coloração predominantemente escura e com presença de macrocristais euédricos de olivina. C) Amostra: SFX-L-14 exemplar de coloração escura, parcialmente alterada, onde cristais de olivina coexistem com enclaves de pequenas dimensões e de brilho vítreo. D) Amostra SFX-L-08: rocha de coloração escura, estrutura maciça e com presença de xenólitos crustais. Alguns deles apresentam uma fina camada de argilominerais, aspecto típico da caulinitização.



Fonte: O autor.

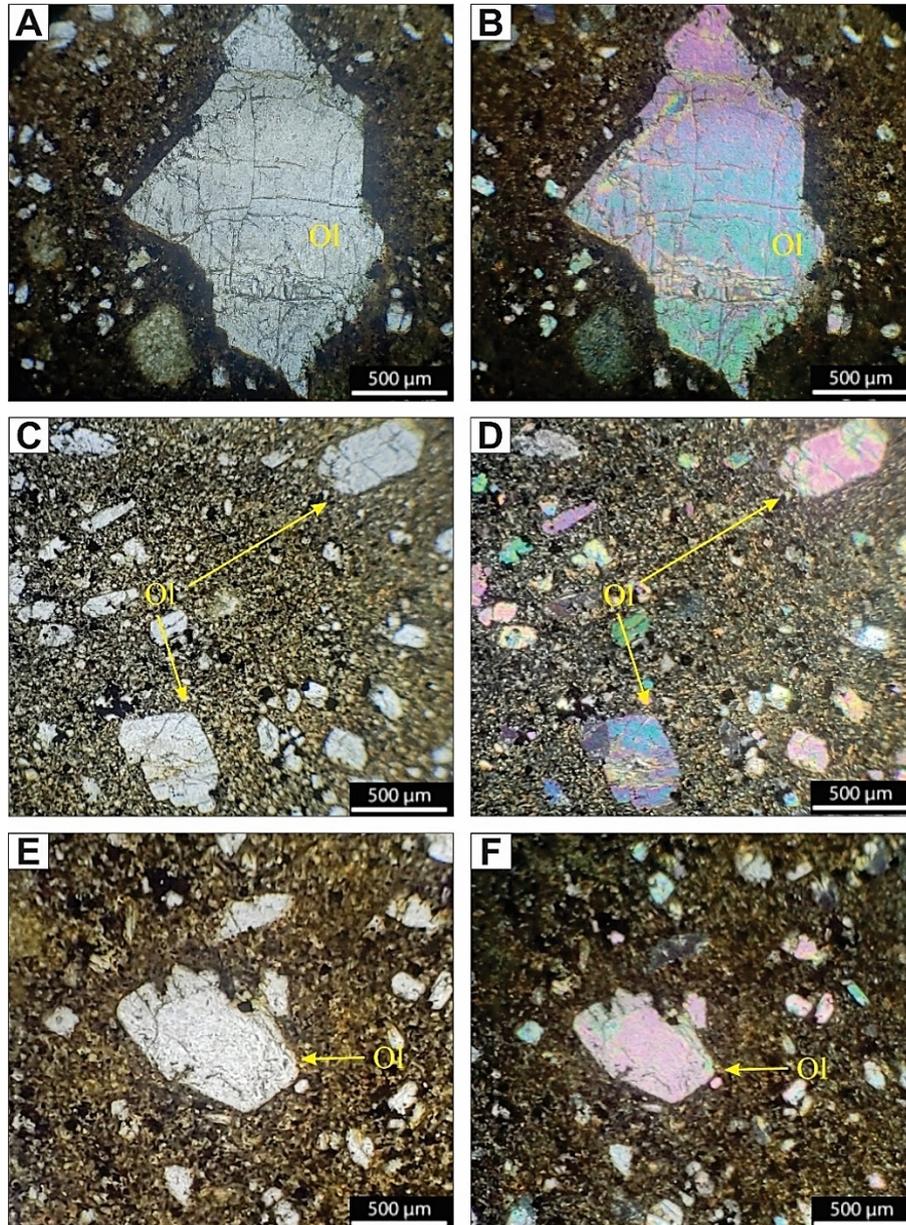
## 7.2. Caracterização microscópica

As análises microscópicas, por sua vez, foram realizadas a partir de quatro lâminas (SFX-L-01, SFX-L-02-A, SFX-L-02-B e SFX-L-04-A), onde os dados de contagem modal levaram em consideração a distinção dos macrocristais de olivina, enclaves e matriz.

### 7.2.1. Macrocristais de olivina

Os macrocristais de olivina apresentam formatos distintos, possuem dimensões máximas de 5mm e perfazem cerca de 2 a 5% das rochas da intrusão. Os cristais euédricos a subédricos apresentam, sob nicóis descruzados, hábito tabular ou prismático. Nesse contexto, é possível observar o contato retilíneo entre os macrocristais e os componentes da matriz, bem como a presença de pequenas fraturas irregulares (Figura 12).

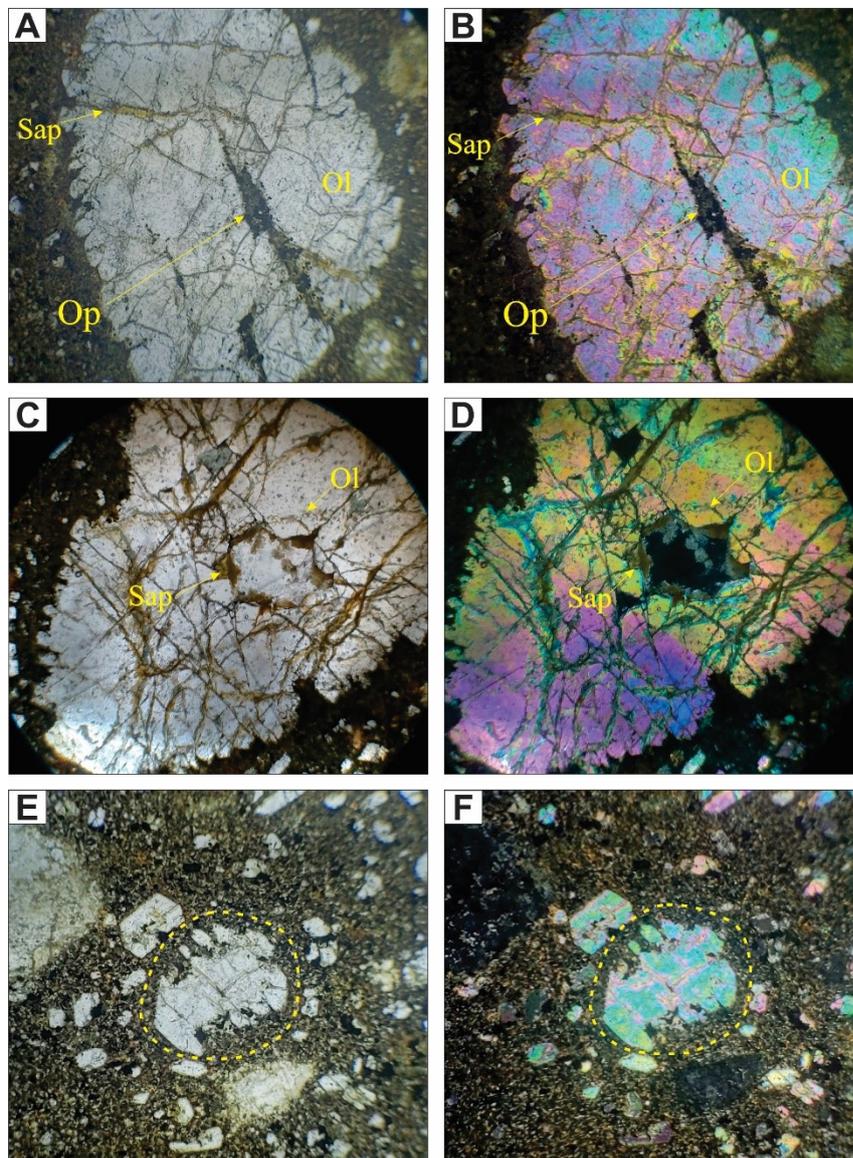
**Figura 12:** Lâmina SFX-L-02-B: A e B - Nas fotomicrografias, evidencia-se o macrocristal de olivina (Ol), de formato subédrico e tabular. À nicóis descruzados é possível identificar o contato retilíneo entre o macrocristal e a matriz. A – Nicóis descruzados e B – Nicóis cruzados. Lâmina SFX-L-02-A: C e D - Fotomicrografias dos macrocristais de olivina (Ol) de formatos euédricos e subédricos, hábito tabular e levemente fraturado. Contato retilíneo evidenciado à nicóis paralelos. C – Nicóis descruzados e D – Nicóis cruzados. Lâmina SFX-L-02-B: E e F - Fotomicrografias do macrocristal de olivina (Ol), subédrico, coexistindo com outros macrocristais de hábito prismático, imersos na matriz muito fina. E – Nicóis descruzados e F – Nicóis cruzados.



Fonte: O autor.

Diferentemente das características supracitadas, alguns cristais de olivina de formato anédrico, tendem a apresentar hábitos diversos, ocorrem fortemente fraturados, onde grande parte dessas estruturas são preenchidas por saponita e minerais opacos (Figura 13: A, B, C e D). O contato serrilhado dos macrocristais com os componentes da matriz são encontrados em contextos em que há o predomínio de olivinas de formatos irregulares (Figura 13).

**Figura 13:** Lâmina SFX-L-02-A: A e B - Fotomicrografias do macrocristal de olivina (Ol), xenomórfico, fortemente fraturado, com estruturas irregulares preenchidas por saponita (Sap) e minerais opacos (Op). Contato serrilhado melhor observado à nicóis descruzados. A – Nicóis descruzados e B – Nicóis cruzados. Lâmina SFX-L-04-A: C e D - As fotomicrografias destacam o macrocristal de olivina (Ol) fraturado, com presença de *kink-bands*, de formato irregular e com estruturas preenchidas por saponita (Sap). C – Nicóis descruzados e D – Nicóis cruzados. Lâmina SFX-L-02-A: E e F - Fotomicrografias do macrocristal de olivina (Ol), xenomórfico, levemente fraturado, coexistindo com enclaves e macrocristais euédricos. O contato serrilhado é evidenciado à nicóis descruzados. E – Nicóis descruzados e F – Nicóis cruzados.

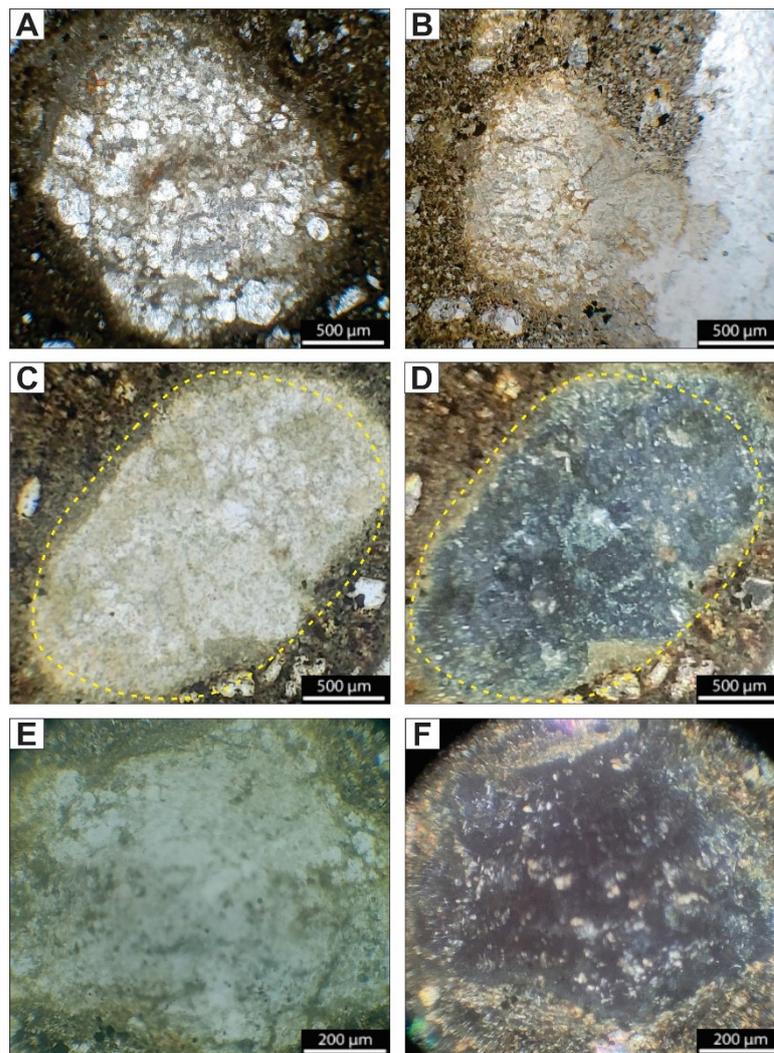


Fonte: O autor.

### 7.2.2. Enclaves

Os enclaves e bordas de reação compõem cerca de 5 a 9% das rochas da intrusão estudada e variam em diferentes estágios de preservação. Quando preservados, os enclaves tendem a possuir coloração esbranquiçada, formas arredondadas a levemente alongadas, dimensões entre 1 e 3mm. Os cristais encontrados no interior dessas estruturas são compostos essencialmente por leucita, acompanhados secundariamente por zeólita (Figura 14). Em tais contextos, a delimitação precisa das estruturas é realizada pela presença de uma fina borda de reação em conjunto com a textura granular (Figura 14: E e F).

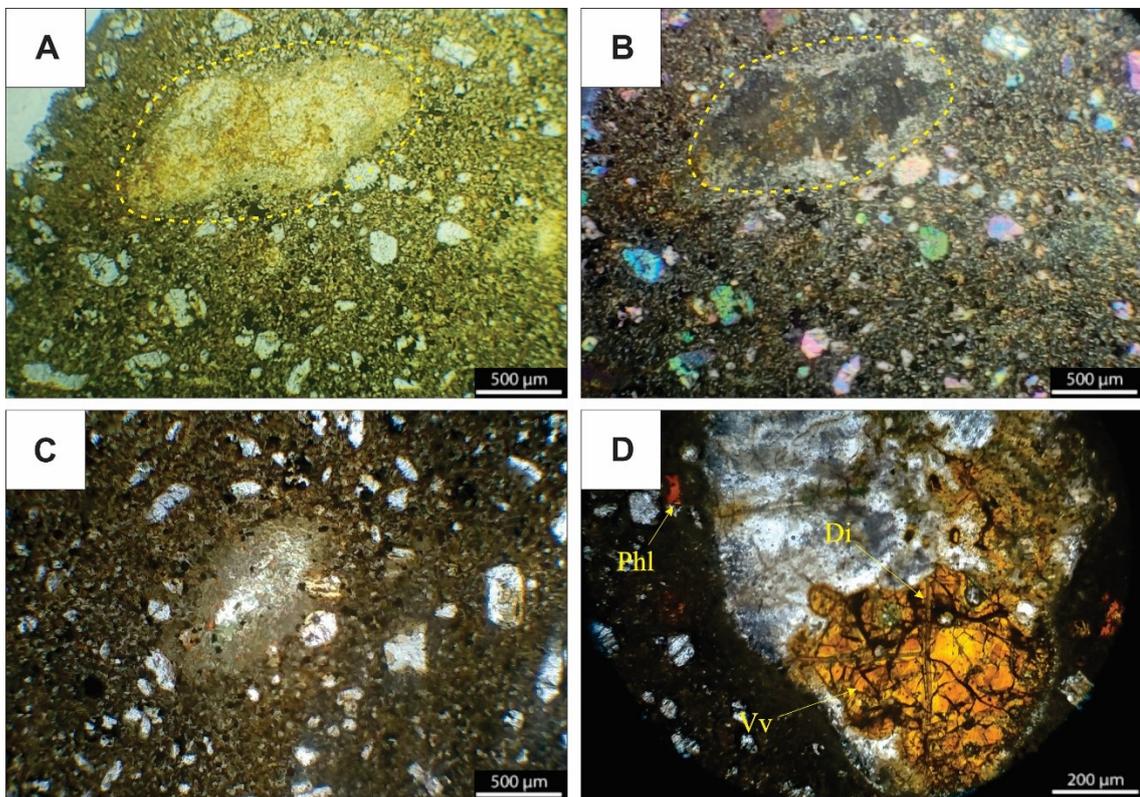
**Figura 14:** Lâmina SFX-L-02-A: A e B – Fotomicrografia do enclave onde é possível observar a presença de leucita de formato euédrico, por vezes arredondado, com alteração para zeólita. Lâmina SFX-L-01: C e D - Fotomicrografias indicando o enclave de coloração esbranquiçada, preservado e com textura granular, coexistindo com microcristais de olivina e nódulos alterados. C – Nicóis descruzados e D – Nicóis cruzados. Lâmina SFX-L-02-A: E e F - Fotomicrografias do enclave, esbranquiçado e de formato arredondado. Observa-se a fina borda de reação e a mudança abrupta na textura, aspectos utilizados na identificação do componente. E – Nicóis descruzados e F – Nicóis cruzados.



Fonte: O autor.

As bordas de reação expressam com maior proeminência a interação do magma com a rocha encaixante, de modo que ocorrem dispersas nas amostras, possuem coloração amarelada e formas irregulares. Em geral, os diferentes estágios de consumo são identificados pela ausência da textura granular que dificulta a delimitação com os componentes da matriz (Figura 15: A, B e C). A heterogeneidade de tal estrutura é expressa pela presença de pequenos bolsões de aspecto arredondado, compostos por vidro vulcânico e cristais prismáticos de diopsídio, de modo que cristais de flogopita e minerais opacos são encontrados externamente (Figura 15: D).

**Figura 15:** Lâmina SFX-L-02-B: A, B e C - As fotomicrografias evidenciam estruturas de tons amarelados, formato alongado e em estágios avançados de alteração, onde a ausência da textura granular dificulta a sua delimitação. A e C – Nicóis descruzados e B – Nicóis cruzados. Lâmina SFX-L-04-A: D: Fotomicrografia do bolsão contendo diopsídio (Di) no interior de uma matriz composta por vidro vulcânico (Vv). Nota-se a ocorrência da flogopita (Phl) euédrica e de minerais opacos restrita à parte externa. D – Nicóis descruzados.



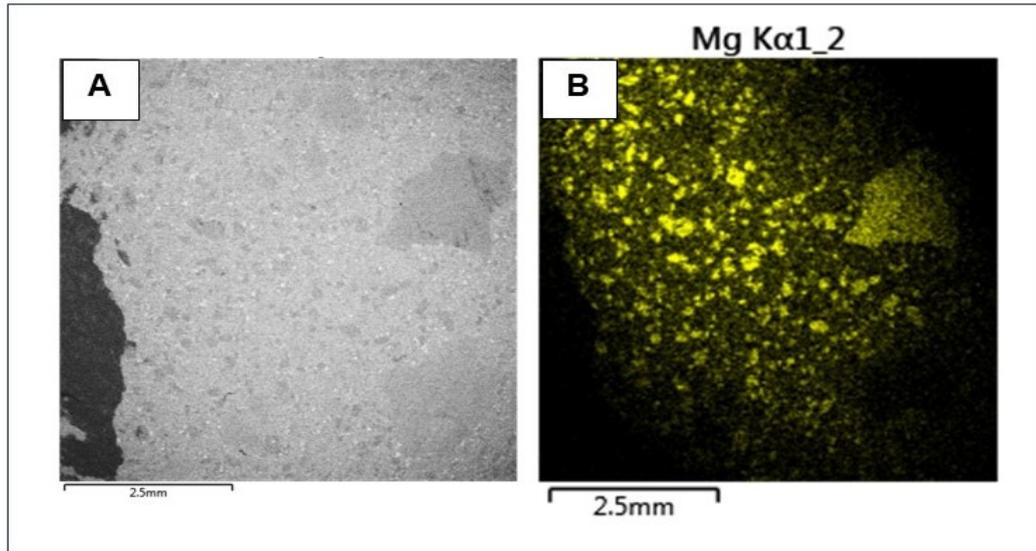
Fonte: O autor.

### 7.2.3. Matriz

A matriz do objeto de estudo tem cristais muito finos, predominantemente representados por olivina, perovskita, flogopita, diopsídio, leucita e minerais opacos. Diferentemente dos macrocristais de olivina, tais minerais foram identificados por meio do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), que, além de permitir a obtenção de informações semi-quantitativas, possibilitou a coleta de dados qualitativos referente à região de interesse.

Os microcristais de olivina, em geral euédricos, prismáticos e secundariamente anédricos, apresentam dimensões inferiores a 1mm. Alguns exemplares possuem inclusões de magnetita, enquanto outros apresentam fraturas assimétricas e sem a presença de minerais compondo tal estrutura (Figuras 16, 17 e 18).

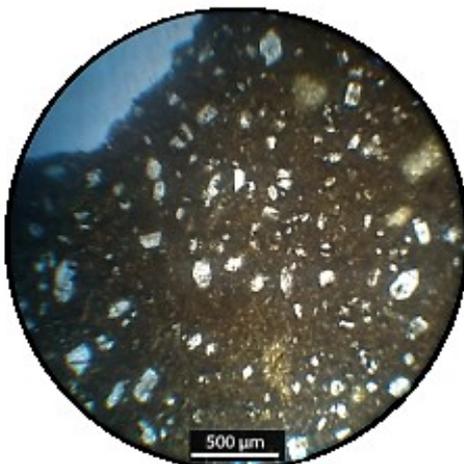
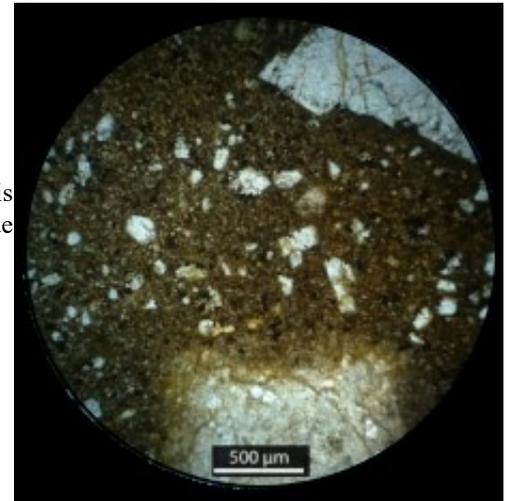
**Figura 16:** A: Imagem adquirida através dos elétrons retroespalhados projetados na lâmina SFX-L-02-B. B: Mapa composicional para o elemento Mg, onde em amarelo compreende as manifestações dos micro e macrocristais de olivina.



**Fonte:** Laboratório Multiusuário do Instituto de Química (LAMIQ).

**Figura 17** :Lâmina SFX-L-02-B: Fotomicrografia dos microcristais euédricos a subédricos de olivina, de hábito prismático. Exemplares de macrocristais e enclaves são encontrados nas porções adjacentes.

**Fonte:** O autor.

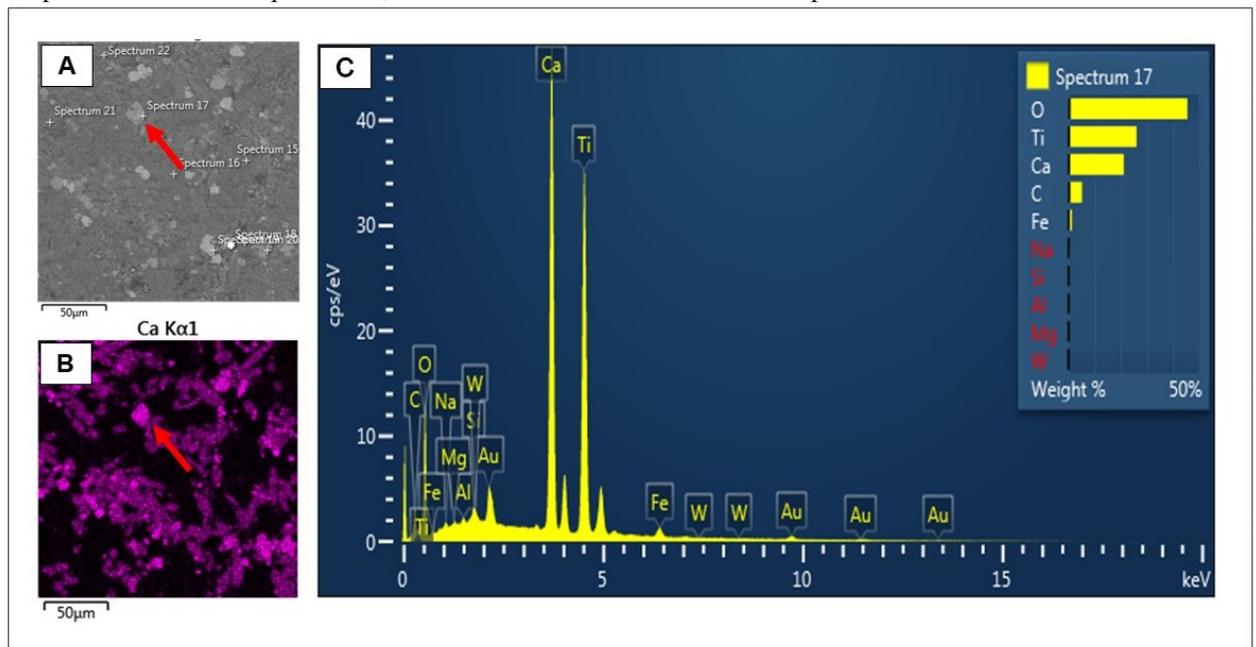


**Figura 18:** Lâmina SFX-L-01: Fotomicrografia de microcristais de olivina, xenomórficos, de dimensões inferiores a 1mm e hábito granular, coexistindo com nódulos em diferentes estágios de preservação. A presença de fraturas e inclusões ficam restritas a alguns cristais.

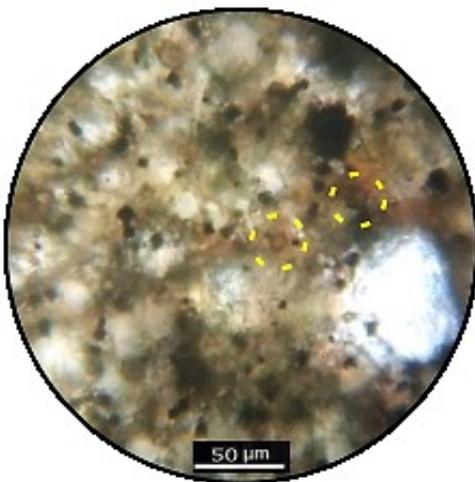
**Fonte:** O autor.

A perovskita se apresenta de forma euédrica, possui tons amarronzados, relevo forte e dimensões menores que os microcristais de olivina (Figura 19 e 20). Quando euédrica, a flogopita tende a possuir tons alaranjados, pleocroísmo nas cores amarelo e laranja, relevo baixo. No entanto, tal mineral é comumente encontrado nos interstícios como cristais anédricos, com textura poiquilítica e dimensões próximas a 0,2mm, podendo, em alguns casos, alcançar 0,5mm (Figura 21).

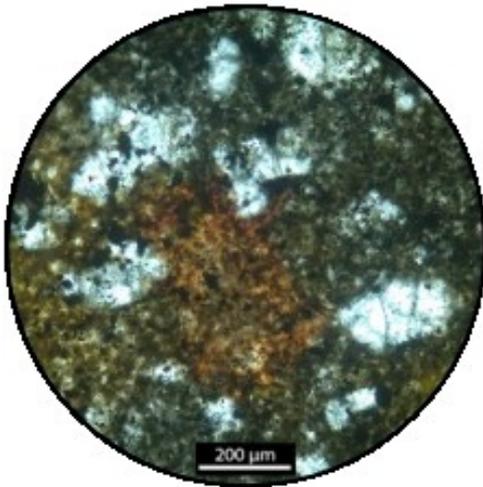
**Figura 19:** A: Imagem obtida a partir dos elétrons retroespalhados projetados na lâmina SFX-L-02-A. B: Representação composicional do elemento Ca. C: Espectro da região indicada pela seta em vermelho, que compreende o mineral perovskita, identificado nas outras lâminas a partir do seu hábito característico.



**Fonte:** Laboratório Multiusuário do Instituto de Química (LAMIQ).



**Figura 20:** Lâmina SFX-L-02-A: Fotomicrografia da perovskita, formato euédrico, com contatos retilíneos.  
**Fonte:** O autor.



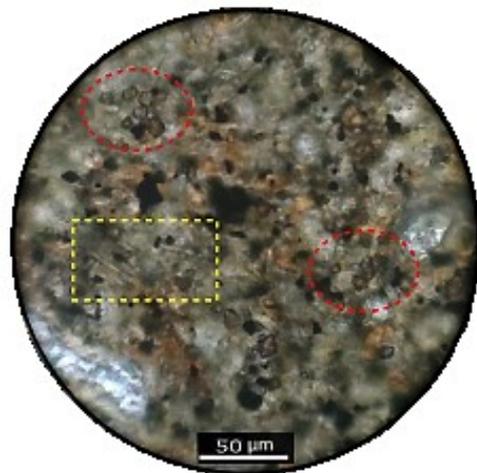
**Figura 21:** Lâmina SFX-L-04-A: Fotomicrografia evidenciando o cristal anédrico de flogopita, de coloração alaranjada e textura poiquilítica. Percebe-se a presença de olivina e Ti-magnetita adjacente à flogopita.

**Fonte:** O autor.

O diopsídio, incolor a levemente esverdeado, apresenta-se como cristal euédrico, de hábito prismático e com dimensões inferiores aos microcristais de olivina (Figura 22). Sob nicóis cruzados, tal mineral mostra cor de interferência amarela e birrefringência superior aos cristais de leucita.

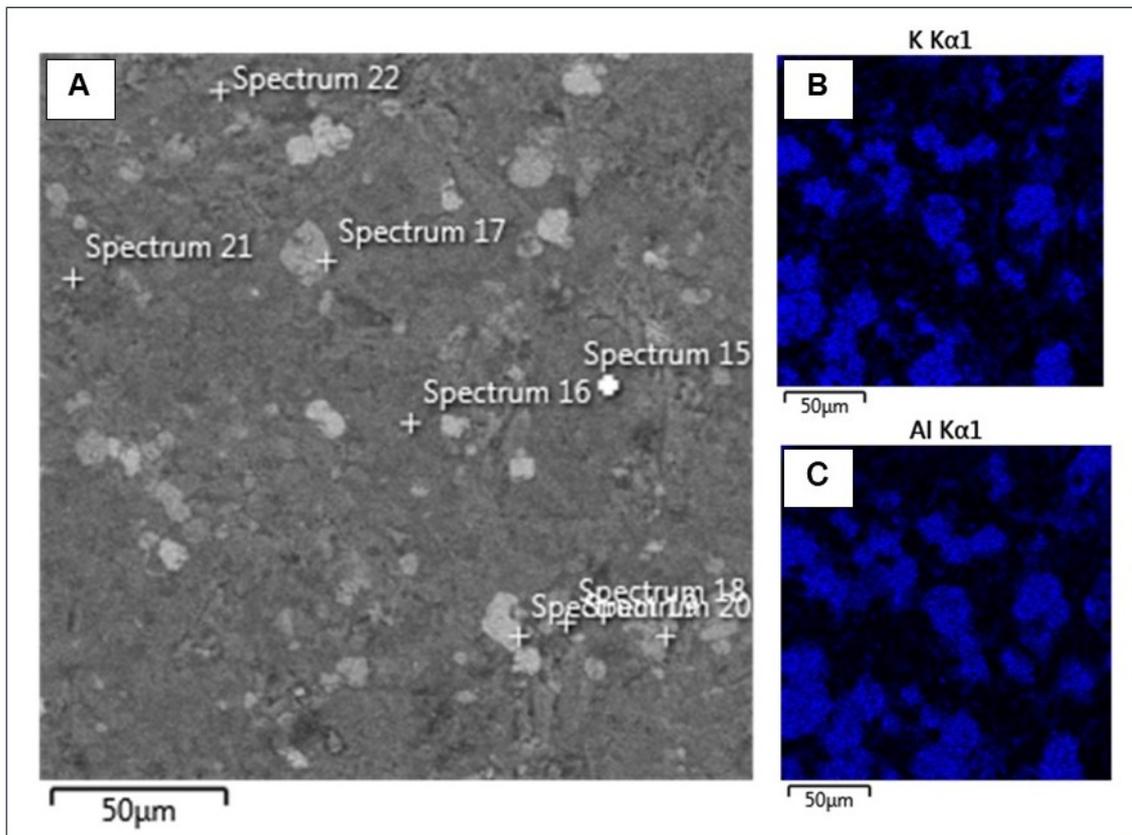
**Figura 22:** Lâmina SFX-L-02-B: Fotomicrografia indicando, no interior do retângulo amarelo, a presença de cristais de diopsídio imersos em uma matriz composta essencialmente por perovskita (região em vermelho), flogopita, Ti-magnetita e leucita.

**Fonte:** O autor.

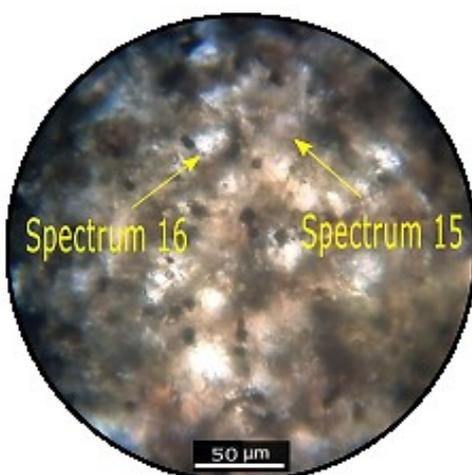


A leucita ocorre na matriz e em todas as lâminas com formato anédrico e de forma intersticial. Esbranquiçado, esse mineral possui relevo baixo, granulação fina, birrefringência baixa e cor de interferência cinza (Figura 23 e 24).

**Figura 23:** A: Imagem adquirida a partir dos elétrons retroespalhados projetados na lâmina SFX-L-02-A. B e C: Representação composicional dos elementos K e Al, respectivamente. As regiões em azul escuro indicam elevada concentração desses elementos, onde nos *spectrums* 15 e 16 foram identificados a presença da leucita.



**Fonte:** Laboratório Multiusuário do Instituto de Química (LAMIQ).

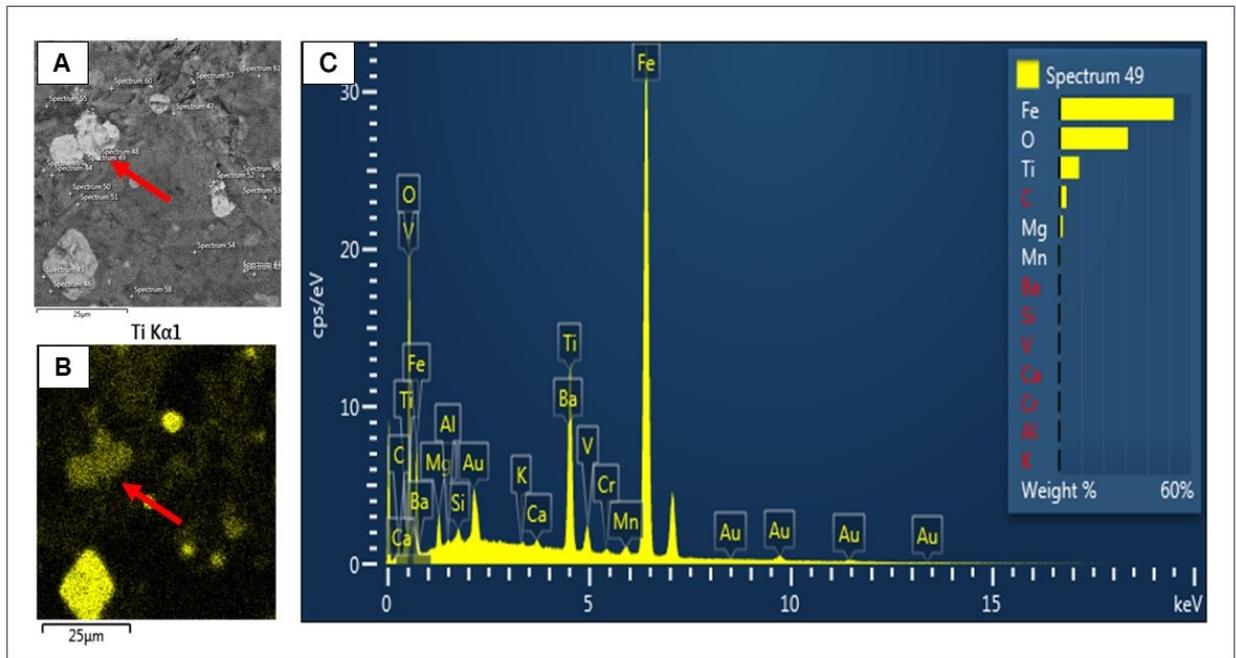


**Figura 24:** Lâmina SFX-L-02-A: - Fotomicrografia referente a região que compreende a presença do mineral leucita, identificados nos *spectrums* 15 e 16.

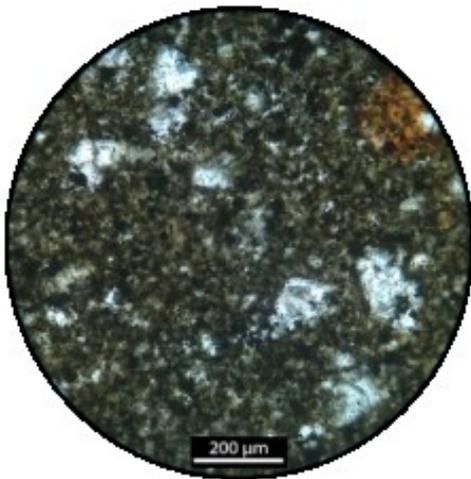
**Fonte:** O autor.

Os minerais opacos encontrados na matriz, de maneira dispersa ou concentrada, são representados pela Ti-magnetita. Esta possui natureza anédrica e formas arredondadas, sendo encontrada com dimensões variadas (Figura 25, 26 e 27).

**Figura 25:** Processo de identificação da Ti-magnetita. A: Imagem obtida através dos elétrons retroespalhados projetados na lâmina SFX-L-02-A. B: Mapa composicional do elemento Ti. C: Espectro referente a região indicada pela seta, que abrange a presença do mineral opaco, revelando um sutil enriquecimento de Ti na magnetita.



**Fonte:** Laboratório Multiusuário do Instituto de Química (LAMIQ).

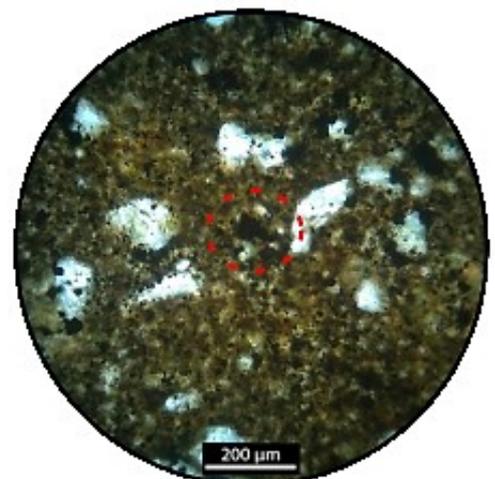


**Figura 26:** Lâmina SFX-L-04-A: Fotomicrografia evidenciando a presença da Ti-magnetita de dimensões e formas diversas, imersas na matriz afanítica e de coloração escura.

**Fonte:** O autor.

**Figura 27:** Lâmina SFX-L-04-A: Fotomicrografia da Ti-magnetita ocorrendo de forma concentrada e com dimensões equivalentes aos microcristais de olivina.

**Fonte:** O autor.



## 8. DISCUSSÕES

Rochas alcalinas como kimberlitos, kamafigitos e lamproítos são conhecidas por terem características macroscópicas similares, o que pode dificultar a classificação e a compreensão dos processos associados a esses corpos. A dificuldade em reconhecer os aspectos mineralógicos, texturais e estruturais durante o processo, leva aos pesquisadores utilizarem termos ígneos genéticos precedidos de dados descritivos, que por sua vez, pode influenciar a interpretação do corpo estudado (Cas *et al.*, 2008). Sendo assim, apesar das limitações, as descrições macro e microscópicas se tornam imprescindíveis na compreensão da origem de tais rochas e, por esse motivo, não devem ser desconsideradas (Meyer *et al.*, 1991).

Segundo Scott Smith *et al.* (2013), a abundância dos cristais de olivina em intrusões de natureza alcalina revela informações referentes ao ambiente de consolidação, onde os exemplares com elevada concentração desse mineral são indicativos de regiões profundas, podendo, conseqüentemente, apresentar um considerável valor econômico. De acordo com esses autores, tais cristais podem oferecer, ainda, interpretações genéticas quando separados entre fenocristais e xenocristais.

As características mineralógicas observadas na intrusão São Felix – 04 demonstram que as rochas estudadas apresentam baixa concentração de macrocristais de olivina, uma vez que a contagem modal para esse componente não ultrapassa 5%. No entanto, apesar da densidade reduzida de macrocristais, o corpo se mostra abundante em olivina (>25%) que, de certa forma, somado à baixa ocorrência de xenólitos, sugere fácies hipoabissal. Ao considerar os termos genéticos a fim de elucidar a origem dos cristais, identifica-se a existência de fenocristais de dimensões variadas, expressos por exemplares de hábito tabular/prismático e contato retilíneo, características estas de olivinas desenvolvidas no interior do líquido magmático. Por outro lado, os xenocristais são identificados através do hábito irregular, por vezes granular, pela ocorrência do contato serrilhado e *kink-bands*, que indicam processos associados a desagregação e transporte desses cristais.

A presença da saponita sugere processo de substituição da olivina ou de minerais ferro-magnesianos, que começa a precipitar no interior das fraturas e estende-se até a zona externa, onde, em alguns casos, pode resultar no consumo completo dos minerais (Delvigne *et al.*, 1979). Estudos geoquímicos realizados por Hannay (1877) evidenciam a elevada diversidade composicional da saponita, onde por vezes, a mudança na cor é reflexo da concentração distinta entre clorita, talco, quartzo, mica e serpentina.

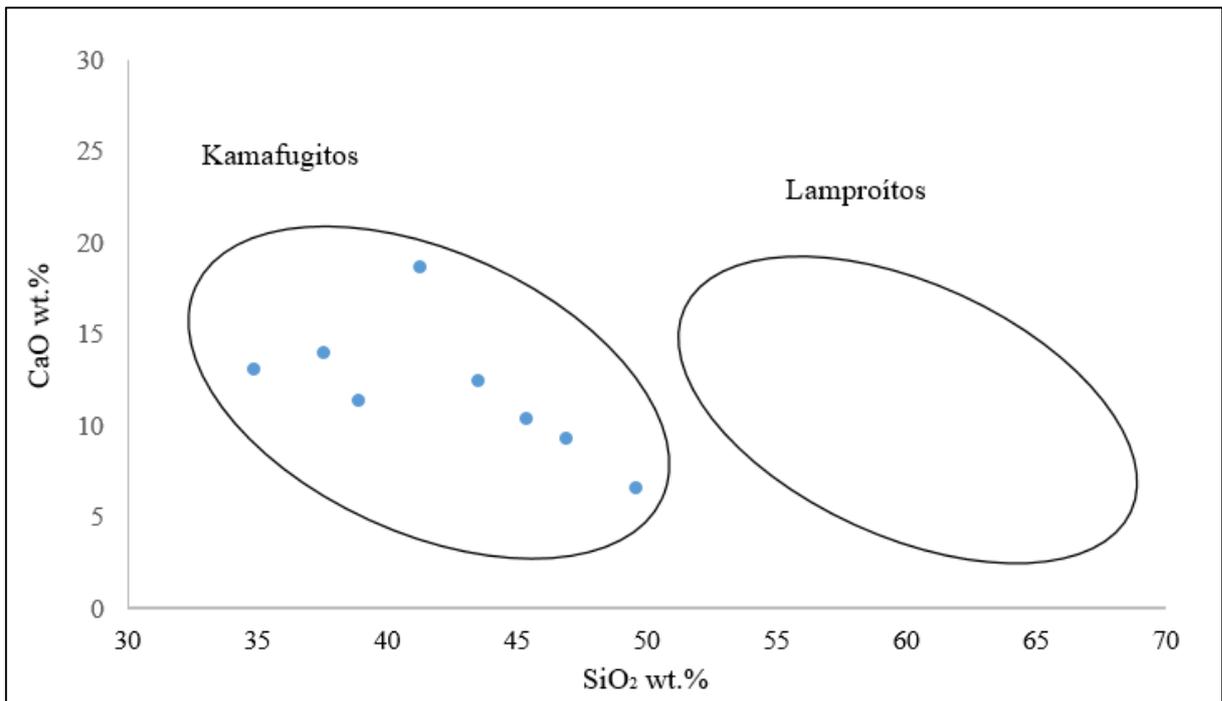
No corpo de estudo, a saponita ocorre essencialmente no interior das fraturas e associadas aos xenocristais de olivina contidos na lâmina SFX-L02-A e SFX-L-04-A, de modo que em alguns exemplares é possível observar a ocorrência de minerais opacos, juntamente. As análises microscópicas realizadas revelam concentrações desse mineral nas porções internas das fraturas irregulares, onde a abundância diminui conforme afasta-se dessas regiões.

Alguns cristais de flogopita se fazem presentes na intrusão São Félix - 04 como fenocristais, no entanto, tal exemplar é facilmente encontrado associado à textura poiquilítica. De acordo com Sgarbi (1991), a textura em questão presume a precipitação da flogopita em etapas posteriores através da alteração de minerais adjacentes, sobretudo a olivina. Como consequência desse processo, o cristal tende a ocorrer de forma intersticial, sem formato definido e com influência de outros minerais.

Conforme Streck (2008) e Lima *et al.* (2020), mudanças mineralógicas e incorporação de materiais externos, eventualmente encontradas nas rochas magmáticas, podem indicar a influência do sistema magmático aberto, caracterizado pela troca de massa e/ou energia durante a fase de diferenciação do líquido magmático. No objeto de estudo, a situação em questão é evidenciada a partir da presença da olivina com *kink-bands* e enclaves/bordas de reação, que revelam etapas de incorporação do material oriundo do manto e interação com o material crustal, respectivamente. São identificados, ainda, semelhanças estruturais do objeto de estudo na intrusão Indaiá II por meio dos bolsões, denominados de microvenulações por Silva (2008), que compartilham assembleia mineralógica e textural, mas que se diferenciam devido a ocorrência de flogopita presente nas porções externas da lâmina SFX-L-04-A.

De acordo com Sahama (1974), embora apresentem aspectos mineralógicos semelhantes, rochas como kamafugitos e lamproítos expressam propriedades químicas distintas, que devem ser consideradas durante o processo de categorização. Segundo o mesmo autor, observa-se nos kamafugitos uma elevada concentração de óxido de cálcio (CaO) acompanhado pela baixa concentração em sílica (SiO<sub>2</sub>), características estas que coincidem com as informações encontrada na intrusão São Félix – 04 (Figura 28).

**Figura 28:** Diagrama da relação entre os óxidos de CaO e SiO<sub>2</sub> para a intrusão estudada. Observa-se a concentração dos dados semi-quantitativos, obtidos a partir das lâminas analisadas no MEV, na região que segundo Sahama (1974) compreende o domínio dos kamafugitos.



**Fonte:** Laboratório Multiusuário do Instituto de Química (LAMIQ).

Além disso, as análises comparativas realizadas entre os dados semi-quantitativos do objeto de estudo e os kamafugitos descritos por Holmes (1945), revelam a baixa saturação em sílica (SiO<sub>2</sub>) e em álcalis (K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O) encontradas nessas rochas (Tabela 2).

**Tabela 2:** Comparação das análises químicas da intrusão São Félix – 04, obtida através de mapas composicionais localizados, e de kamafugitos documentados por Holmes (1945).

	Intrusão São Félix - 04			Kamafugitos (Holmes, 1945) <sup>1</sup>	
	SFX-L-02-A	SFX-L-02-B	SFX-L-04-A	Kachuba	Kazimiro
SiO <sub>2</sub>	38.34	34.88	37.53	40.47	38.62
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.73	3.55	3.72	5.38	6.34
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	---	---	---	4.03	4.60
FeO	15.44	18.27	15.44	6.47	6.00
MnO	0.30	0.33	0.24	0.13	0.09
MgO	19.2	16.1	17.03	24.84	20.06
CaO	12.09	13.02	13.96	8.06	10.45
BaO	----	1.15	1.23	0.27	0.22
Na <sub>2</sub> O	0.71	1.46	0.78	0.68	1.27
K <sub>2</sub> O	3.53	3.39	3.27	3.46	3.66
TiO <sub>2</sub>	6.22	7.15	6.79	3.52	4.44
P <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	0.44	0.71	----	0.29	0.45

1. Dados de rocha total.

Em conformidade com as informações citadas anteriormente, apesar das variações texturais expressas pelas dimensões dos cristais presentes na matriz, a mineralogia da intrusão São Félix – 04 se assemelha à dos kamafugitos estudados por Sgarbi *et al.* (2000), atestado pela ocorrência de macrocristais de olivina imersos em uma matriz composta essencialmente por diopsídio, flogopita, perovskita, Ti-magnetita e leucita. Ademais, a não observação de minerais como melilita e kalsilita corrobora para a classificação da rocha como olivina leucitito.

## 9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A coleta de informações petrográficas referentes ao objeto de estudo possibilitou a compreensão dos principais eventos relacionados a ascensão do magmatismo alcalino da PIAP, que por sua vez, estabelece elevada importância econômica e científica para a região oeste do estado de Minas Gerais.

As descrições macroscópicas, realizadas durante e após a etapa de campo, propiciaram o reconhecimento da textura inequigranular, principal característica da intrusão. Além disso, durante essa fase, foram identificados processos associados a influência de agentes exógenos e endógenos, expressos a partir da presença de capas de alteração e xenólitos crustais, respectivamente.

Apesar das limitações, as análises microscópicas possibilitaram a descrição dos componentes mineralógicos, estruturais e texturais típicos de rochas potássicas a ultrapotássicas. Geneticamente, os fenocristais de olivina são euédricos, apresentam hábito tabular e possuem contato retilíneo com os componentes da matriz. Em contrapartida, os xenocristais são exemplares com formas irregulares, contato serrilhado, onde a presença de *kink-bands* configura uma das principais evidências de fragmentos de origem mantélica.

Minerais secundários, representados pela flogopita e saponita, ocorrem como produto da alteração da olivina e em diferentes níveis de abundância. Nesse contexto, é comum encontrar a saponita no interior das fraturas ao passo que a flogopita está relacionada a textura poiquilítica.

Ainda em nível microscópico, apesar da ausência de características que indiquem a presença de xenólitos crustais, o sistema magmático aberto foi identificado através da existência de enclaves e microvenulações. Essas estruturas, por sua vez, evidenciam processos de interação entre o líquido magmático e o material adjacente.

O microscópio eletrônico de Varredura (MEV) configurou um dos principais aliados no reconhecimento da assembleia mineralógica e na comparação química entre litologias encontradas na literatura, de modo que a intrusão São Félix – 04 foi classificada como olivina leucitito.

Por fim, recomenda-se que em trabalhos futuros sejam realizadas análises de rocha total e de microsonda eletrônica para a coleta de dados referentes à composição química dos macrocristais e dos minerais contidos na matriz, bem como para a investigação sobre a gênese dos enclaves e dos seus constituintes minerais. Tal abordagem visa estabelecer comparações e interpretações frente aos kamafugitos já estudados na região, assim como avaliar possíveis efeitos da contaminação crustal para essas rochas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y; NEVES, B. B. B.; FUCK, R. A. Províncias estruturais brasileiras, paper presented at 2nd Simp. **Geol. Nordeste, Anais Soc. Brás. Geol. Núcleo Nordeste**, p. 242-258, 1977.
- ALMEIDA, F. F. M.; SVISERO, D. P. Structural setting and tectonic control of kimberlite and associated rocks of Brazil. In: **International Kimberlite Conference: Extended Abstracts**. p. 3-5, 1991.
- ALMEIDA, V. V. **Mineralogia e petrologia de xenólitos mantélicos das regiões de Ubatuba (SP) e Monte Carmelo (MG): evidências de fusão parcial e metassomatismo no manto superior do sudeste do Brasil**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- BARBOSA, O. Guia das excursões. 9º Congresso Brasileiro de Geologia. Araxá (MG) - **Sociedade Brasileira de Geologia**, v.3: São Paulo, 1955.
- BARBOSA, O.; BRAUN, O. P. G.; DYER, R. C.; CUNHA, C. A. B. R. **Geologia da região do Triângulo Mineiro**. Divisão de Fomento da Produção Mineral, 1970.
- BIZZI, L. A.; WIT, M. J.; SMITH, C. B.; MCDONALD, I.; ARMSTRONG, R. A. Heterogeneous enriched mantle materials and Dupal-type magmatism along the SW margin of the São Francisco Craton, Brazil. **Journal Of Geodynamic**, v. 20, n. 4, p. 469-491, 1995.
- BROD, J. A.; GIBSON, S. A.; THOMPSON, R. N.; JUNQUEIRA-BROD, T. C.; SEER, H. J.; MORAES, L. C.; BOAVENTURA, G. R. The kamafugite-carbonatite association in the Alto Paranaíba Igneous Province (APIP) southeastern Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, n. 3, p. 408-412, set. 2000.
- CABRAL NETO, I.; NANNINI, F.; SILVEIRA, F. V.; CUNHA, L. M. **Áreas kimberlíticas e diamantíferas do estado de Minas Gerais e regiões adjacentes**. Projeto Diamante Brasil. Informe de recursos minerais. Programa geologia do Brasil. Série pedras preciosas. Brasília: Serviço Geológico do Brasil – CPRM, n. 10, 234p, 2017.
- CARLSON, R. W.; ESPERANCA, S.; SVISERO, D. P. Chemical and O<sub>s</sub> isotopic study of Cretaceous potassic rocks from southern Brazil. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v. 125, n. 4, p. 393-405, 1996.
- CAS, R.A.F.; HAYMAN, P.; PITTARI, A.; PORRITT, L. Some major problems with existing models and terminology associated with kimberlite pipes from a volcanological perspective, and some suggestions. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, v. 174, n. 1-3, p. 209-225, 2008.
- CAS, R.A.F.; PORRITT, L.; PITTARI, A.; HAYMAN, P.C. A practical guide to terminology for kimberlite facies: A systematic progression from descriptive to genetic, including a pocket guide. **Lithos**, v. 112, p. 183-190, 2009.
- CLEMENT, C. R. A comparative geological study of some major kimberlite pipes in the Northern Cape and Orange Free State. Department of Geology University of Cape Town, 1982.

CLEMENT, C. R.; SKINNER, E. M. W. A textural-genetic classification of kimberlites. **South African Journal of Geology**, v. 88, n. 2, p. 403-409, 1985.

CPRM. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo – Folha SE-23. CPRM. Brasília. CD-ROM. 2004.

DELVIGNE, J.; BISDOM, E. B. A.; SLEEMAN, J.; STOOPS, G. **Olivines, their pseudomorphs and secondary products**. 1979.

DUARTE, L. C.; JUCHEM, P. L.; PULZ, G. M.; BRAUM, T. M. M.; CHODUR, N.; LICCARDO, A.; FISCHER, A. C.; ACAUAN, R. B. Aplicações de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Sistema de Energia Dispersiva (EDS) no Estudo de Gemas: exemplos brasileiros. **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v. 30, n. 2, p. 3-15, set. 2003.

FÉBOLI, W. L. Capítulo 4.2 - **Zona Interna da Faixa Brasília**. In: PINHO, J. M. M.; FÉBOLI, W. L.; SIGNORELLI, N.; TULLER, M. P.; BRITO, D. C.; RIBEIRO, J. H.; BAPTISTA, M. C.; SILVA, R. N. Geologia e Recursos Minerais das Folhas Cabeceira Grande, Unaí, Ribeirão Arrojado, Serra da Aldeia, Serra da Tiririca, Paracatu, Guarda-Mor, Arrenegado, Coromandel, Lagamar, Monte Carmelo, Patos de Minas. 1. ed. Belo Horizonte: Serviço Geológico do Brasil (CPRM). p. 41–67, 2017.

FELGATE, M. R. **The Petrogenesis of Brazilian Kimberlites and Kamfugites Intruded Along the 125° Lineament: Improved Geochemical and Geochronological Constraints on Magmatism in Rondonia and the Alto Paranaíba Igneous Province**. 2014. Tese de Doutorado. University of Melbourne, School of Earth Sciences.

FIELD, M.; SMITH, B. H S. Textural and genetic classification schemes for kimberlites: a new perspective. In: **International Kimberlite Conference**. p. 214-216, 1998.

FOLEY, S.F.; VENTURELLI, G.; GREEN, D.H.; TOSCANI, L. The ultrapotassic rocks: characteristics, classification, and constraints for petrogenetic models. **Earth-Science Reviews**, v. 24, n. 2, p. 81-134, 1987.

FUCK, R. A. A Faixa Brasília e a compartimentação tectônica na Província Tocantins. **SBG, Simpósio de Geologia do Centro-Oeste**, v. 4, p. 184-187, 1994.

FUCK, R. A.; PIMENTEL, M. M.; SILVA, L. J. H. D. Compartimentação tectônica da porção oriental da Província Tocantins. In: **Congresso Brasileiro de Geologia**. SBG Balneário Camboriú, p. 215-216, 1994.

GIBSON, S.; THOMPSON, R. N.; LEONARDOS, O. H.; DICKIN, A. P.; MITCHELL, J. G. The Late Cretaceous impact of the Trindade mantle plume: evidence from large-volume, mafic, potassic magmatism in SE Brazil. **Journal of Petrology**, v. 36, n. 1, p. 189-229, 1995.

GOMES, C. B. (org.); BERBERT, C. O. RUBERTI, E.; BETTENCOURT, J. S.; CHMYZ, L.; ROSA, P. A. S.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; AZZONE, R. G.; APS, V.; FERNANDEZ, V. V. **Os Carbonatitos Cretácicos da Plataforma Brasileira e suas Principais Características**. São Paulo, Instituto de Geociências da Usp, 253 p, 2020.

GOMES, C.B.; COMIN-CHIARAMONTI, P. Some notes on the Alto Paranaíba igneous province. In: MESOZOIC TO CENOZOIC ALKALINE MAGMATISM IN THE BRAZILIAN PLATFORM. São Paulo: **Fapesp**, p. 317-340, 2005.

GUARINO, V.; WU, F.; LUSTRINO, M.; MELLUSO, L.; BROTZU, P.; GOMES, C. B.; RUBERTI, E.; TASSINARI, C. C. G.; SVISERO, D. P. U–Pb ages, Sr–Nd- isotope geochemistry, and petrogenesis of kimberlites, kamafugites and phlogopite-picrites of the Alto Paranaíba Igneous Province, Brazil. **Chemical Geology**, v. 353, p. 65-82, 2013.

HANNAY, J. B. III. On Bowlingite, a new Scottish Mineral. **Mineralogical magazine and journal of the Mineralogical Society**, v. 1, n. 5, p. 154-157, 1877.

HASUI, Y.; SADOWSKI, G. R.; SUGUIO, K.; FUCK, G. F. The Phanerozoic tectonic evolution of the western Minas Gerais State. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 47, n. 3-4, p. 431-438, 1975.

HERZ, N. Timing of spreading in the South Atlantic: Information from Brazilian alkalic rocks. **Geological Society Of America Bulletin**, v. 88, n. 1, p. 101-112, 1977.

HOLMES, A. **Leucitized granite xenoliths from the potash-rich lavas of Bunyaruguru, Southwest Uganda**. University of Edinburgh, 1945.

KLEIN, P. B. W. **Geoquímica de rocha total, geocronologia de u-pb e geologia isotópica de sm-nd das rochas ortognáissicas e unidades litológicas associadas da região ipameri-Catalão (Goias)**. Tese de Doutorado. Brasília, 2008.

LE MAITRE, R. W.; STRECKEISEN, A.; ZANETTIN, B.; BAS, M.J. Le; BONIN, B.; BATEMAN, P.; BELLINI, G.; DUDEK, A.; EFREMOVA, S.; KELLER, J; LAMEYRE, L; SABINE, P. A.; SCHMID, R.; SØRENSEN, H.; WOOLLEY, A. R. **Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms**. 2. ed. 2002.

LIMA, N. M.; AZZONE, R. G.; CHMYZ, L.; GUARINO, V.; RUBERTI, E.; SILVA, S.; SVISERO, D. P. Petrographic, geochemical, and isotopic evidence of crustal assimilation processes in the Indaiá-II kimberlite, Alto Paranaíba Province, Southeast Brazil. **The Canadian Mineralogist**, v. 58, n. 5, p. 563-585, 2020.

MELLUSO, L.; LUSTRINO, M.; RUBERTI, E.; BROTZU, P.; GOMES, C. B.; MORBIDELLI, L.; MORRA, V.; SVISERO, D. P.; D'AMELIO, F. Major-and trace-element composition of olivine, perovskite, clinopyroxene, Cr–Fe–Ti oxides, phlogopite and host kamafugites and kimberlites, Alto Paranaíba, Brazil. **The Canadian Mineralogist**, v. 46, n. 1, p. 19-40, 2008.

MEYER, H. O. A.; GARWOOD, B. I.; SVISERO, D. P.; SMITH, C. B. Alkaline ultrabasic intrusions in western Minas Gerais, Brazil. In: **Proceedings of the Fifth International Kimberlite Conference**, p. 140-155, 1991.

MEYER, H. O. A.; SVISERO, DARCY, P. Limeira and Indaiá intrusions, Minas Gerais. **Field Guide Book**, p. 49-55, 1991.

MIDDLEMOST, E. A. K. The basalt clan. **Earth-science reviews**, v. 11, n. 4, p. 337-364, 1975.

MITCHELL, R. H. **Kimberlites, orangeites, and related rocks**. Springer Science & Business Media, 1995.

NANNINI, F. **Petrografia e química mineral de xenólitos mantélicos da intrusão Kimberlítica Indaía, Monte Carmelo, MG**. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências da USP, São Paulo, 2011.

NANNINI, F.; ULBRICH, M. N. C. Petrografia e química mineral da intrusão Limeira I, Município de Coromandel, MG: o kimberlito e os xenólitos do manto. **Anais**. 2007.

NAVARRO, G. R. B.; ZANARDO, A.; MONTIBELLER, C. C.; CONCEIÇÃO, F. T.; VALERIANO, C. M. Petrografia e geoquímica de gnaisses da região de Indiara, porção central do arco magmático de Goiás. **Geologia USP. Série Científica**, v. 17, n. 3, p. 189, 1 set. 2017.

NAVARRO, G. R. B.; ZANARDO, A.; MONTIBELLER, C. C.; LEME, T. G.; CONCEIÇÃO, F.; VALERIANO, C. M. Proveniência das rochas metassedimentares do Grupo Araxá na porção central da Faixa Brasília. **Geosciences= Geociências**, v. 38, n. 3, p. 655-675, 2019.

PIMENTEL, M. M.; FUCK, R. A.; BOTELHO, N. F. Granites and the geodynamic history of the Neoproterozoic Brasília belt, central Brazil: a review. **Lithos**, v. 46, n. 3, p. 463-483, 1999.

PIMENTEL, M. M.; FUCK, R. A.; JOST, H.; FERREIRA FILHO, C. F.; ARAUJO, S. M. The basement of the Brasília fold belt and the Goiás magmatic arc. **Tectonic Evolution of South America**, v. 31, p. 195-229, 2000.

REED, S. J. B. **Electron microprobe analysis and scanning electron microscopy in geology**. 2. ed. Cambridge University Press, 2005.

SAHAMA, Th. G. Potassium-rich alkaline rocks. **Petrography and petrology**, 1974.

SANTOS, B. L. **Petrologia e geologia estrutural da faixa Brasília na região de Estrela do Sul-MG: implicações tectônicas**. Dissertação de Mestrado. Rio Claro, 2019.

SCOTT SMITH, B. H.; NOWICKI, T. E.; RUSSELL, J. K.; WEBB, K. J.; MITCHELL, R. H.; HETMAN, C. M.; HARDER, M.; SKINNER, E. M. W.; ROBEY, Jv. A. Kimberlite terminology and classification. In: **Proceedings of 10th International Kimberlite Conference: Volume 2**. Springer India, p. 1-17, 2013.

SEER, H.; MORAES, L. Within plate, arc, and collisional Neoproterozoic granitic magmatism in the Araxá Group, Southern Brasília belt, Minas Gerais, Brazil. **Brazilian Journal of Geology**, v. 43, n. 2, p. 333-354, 2013.

SEVERIN, K. P. **Energy dispersive spectrometry of common rock forming minerals**. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic, 2004.

SGARBI, P. B. A.; GASPAR, J. C.; VALENCA, J. G. Brazilian kamafugites. **Brazilian Journal of Geology**, v. 30, n. 3, p. 417-420, 2000.

SGARBI, P. B. A. **Petrografia e Geoquímica da Formação Mata da Corda, na região de Carmo do Paranaíba, MG**. 1991. Tese de Doutorado. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

SILVA, S. da. **Petrografia e química mineral das intrusões Indaiá I e Indaiá II, oeste do estado de Minas Gerais**. 2008. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

STRECK, M. J. Mineral textures and zoning as evidence for open system processes. **Reviews in Mineralogy and Geochemistry**, v. 69, n. 1, p. 595-622, 2008.

STRECKEISEN, A. Classification and nomenclature of volcanic rocks, lamprophyres, carbonatites, and melilitic rocks: Recommendations and suggestions of the IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. **Geology**, v. 7, n. 7, p. 331-335, 1979.

STRIEDER, A. J.; SUITA, M. T. F. Neoproterozoic geotectonic evolution of Tocantins structural province, Central Brazil. **Journal of Geodynamics**, v. 28, n. 2-3, p. 267-289, 1999.

SVISERO D.P.; NANNINI F.; VLACH S.R.F.; MANSUETO, M. Composição e origem de minerais resistatos da região de Coromandel e áreas adjacentes, Minas Gerais. Resumo do 5º Simpósio Brasileiro de Geologia do Diamante, Tibagi (PR), p.63, 2010.

SVISERO, D. P.; CHEREGATI, L. A. Contexto geológico de kimberlitos, lamproítos e ocorrências diamantíferas do Brasil. **Boletim IG-USP. Publicação Especial**, n. 9, p. 75-81, 1991.

SVISERO, D. P.; ULBRICH, M. N. C. Mineralogia, petrografia e geologia do Kimberlito Limeira e intrusões associadas, município de Monte Carmelo, Minas Gerais. **Boletim IG-USP. Publicação Especial**, v. 12, p. 127-8, 1992.

THOMPSON, R. N.; GIBSON, S. A.; MITCHELL, J. G.; DICKIN, A. P.; LEONARDOS, O. H.; BROD, J. A.; GREENWOOD, J. C. Migrating cretaceous–eocene magmatism in the serra do mar alkaline province, SE Brazil: melts from the deflected trindade mantle plume? **Journal of Petrology**, v. 39, n. 8, p. 1493-1526, 1998.

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

ULBRICH, H. H. G. J.; GOMES, C.B. Alkaline rocks from continental Brazil. **Earth-Science Reviews**, v. 17, n. 1-2, p. 135-154, abr. 1981.

VALERIANO, C. M.; DARDENNE, M. A.; FONSECA, M. A.; SIMÕES, L. S. A.; SEER, H.; J. A evolução tectônica da Faixa Brasília. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO-NEVES, B. B. (org.). **Geologia do Continente SulAmericano: evolução da obra de Fernando Flávio marques de almeida**. Beca, p. 533- 575, 2004.

VALERIANO, C. M.; MACHADO, N.; SIMONETTI, A.; VALLADARES, C. S.; SEER, H. J.; SIMÕES, L. S. A. U–Pb geochronology of the southern Brasília belt (SE-Brazil): sedimentary provenance, Neoproterozoic orogeny and assembly of West Gondwana. **Precambrian Research**, v. 130, n. 1-4, p. 27-55, 2004.

WERNICK, E. **Rochas magmáticas conceitos fundamentais e classificação modal, química, termodinâmica e tectônica**. UNESP, 2004.

WILSON, M. **Igneous petrogenesis**. Dordrecht: Springer Netherlands, 1989.

WOOLLEY, A. R. **Alkaline rocks and carbonatites of the world**, 1987.

WOOLLEY, A. R.; BERGMAN, S. C.; EDGAR, A. D.; LEBAS, M.; MITCHELL, R. H.; ROCKT, N. M.; SMITH, B. H. S. Classification of lamprophyres, lamproites, kimberlites, and the kalsilitic, melilitic, and leucitic rocks. **The Canadian Mineralogist**, v. 34, n. 2, p. 175-186, 1996.

**APÊNDICE A**

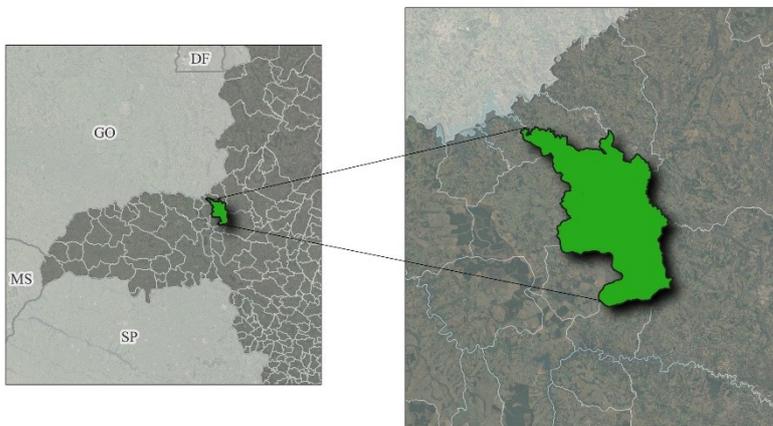
**MAPA E IMAGEM DE SATÉLITE DA INTRUSÃO SÃO FÉLIX – 04**

# INTRUSÃO SÃO FÉLIX - 04

MONTE CARMELO - MG



MAPA DE LOCALIZAÇÃO

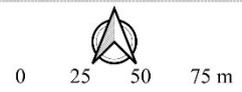


INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Projeção Universal Transversa de Mercator  
 Datum: SIRGAS 2000, zona 23S  
 Fonte: Google Earth (2022)  
 Elaboração: Silva, L. S. (2023)

LEGENDA

- Município Monte Carmelo
- Municípios Minas Gerais
- Intrusão São Félix - 04

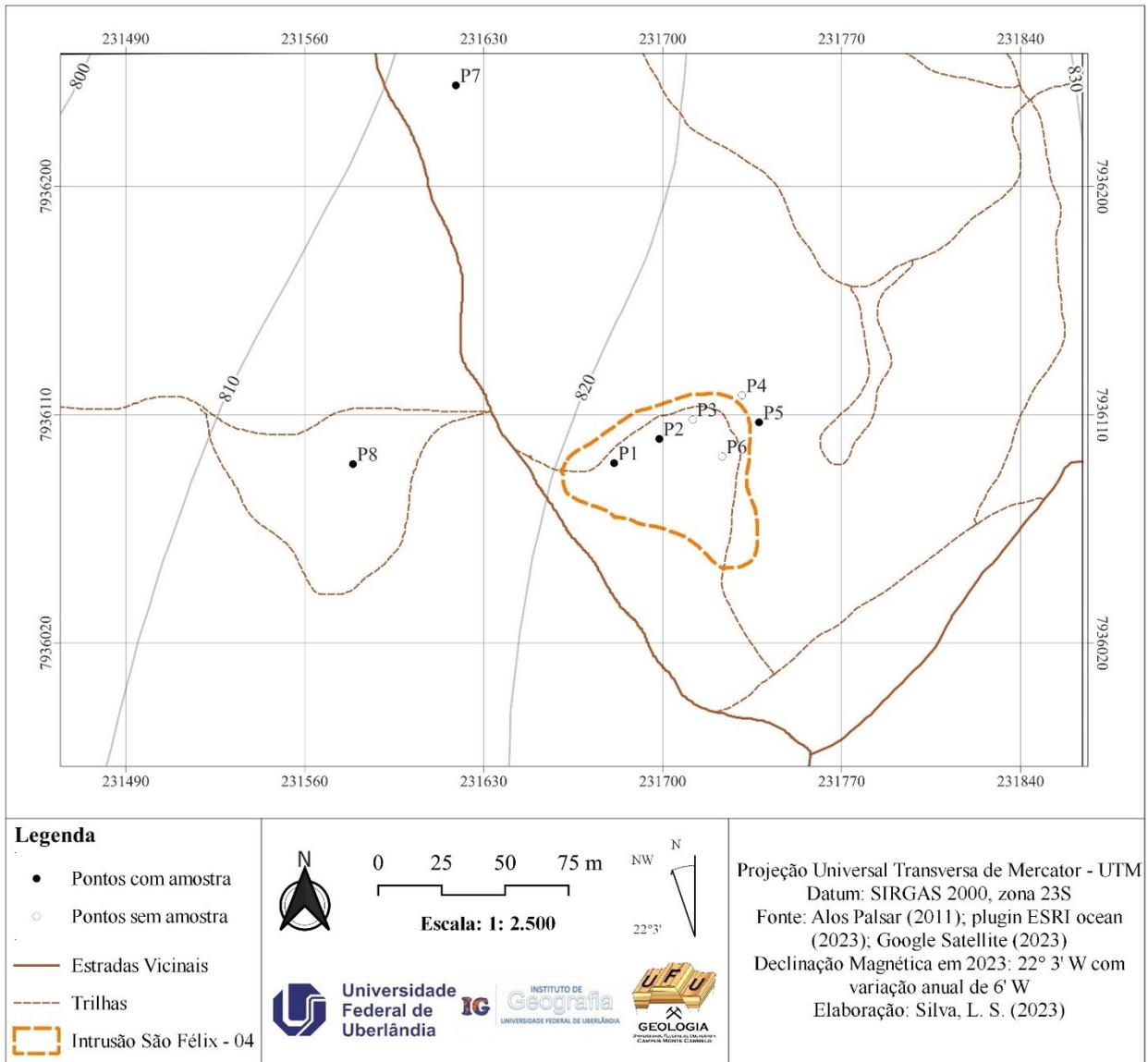


Escala: 1 :2500



## **APÊNDICE B**

### **MAPA DE PONTOS VISITADOS EM CAMPO**



**APÊNDICE C**

**MAPA GEOLÓGICO DA INTRUSÃO SÃO FÉLIX – 04**

