



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ  
INSTITUTO DE ENGENHARIA E GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA CIÊNCIAS DA TERRA  
BACHARELADO EM GEOLOGIA**

**PAULO RICARDO AGUIAR SOUSA**

**PETROGRAFIA E AEROGAMAESPECTROMETRIA DO GRANITO TIPO-A  
INDIFERENCIADO DA REGIÃO DE URUARÁ, SW DO PARÁ**

**SANTARÉM/PA  
2022**

**PAULO RICARDO AGUIAR SOUSA**

**PETROGRAFIA E AEROGAMAESPECTROMETRIA DO GRANITO TIPO-A  
INDIFERENCIADO DA REGIÃO DE URUARÁ, SW DO PARÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Engenharia e Geociências da Universidade Federal do Oeste do Pará, como parte dos pré-requisitos para a obtenção do certificado de Bacharel em Geologia.

Orientador: Me.: Antônio Alessandro de Jesus Braga.

Coorientador: Me.: Jean Ricardo Mesquita Machado.

**SANTARÉM/PA  
2022**

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/ UFOPA**

---

S725p Sousa, Paulo Ricardo Aguiar  
Petrografia e aerogamaespectrometria do granito tipo-A indiferenciado da região de Uruará, SW do Pará./ Paulo Ricardo Aguiar Sousa. – Santarém, 2022.

42 p.: il.  
Inclui bibliografias.

Orientador: Antônio Alessandro de Jesus Braga.

Coorientador: Jean Ricardo Mesquita Machado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Engenharia e Geociências, Curso Bacharelado em Geologia.

1. Granito tipo-A. 2. Domínio Iriri-Xingu. 3. Aerogamaespectrometria. I. Braga, Antônio Alessandro de, *orient.* II. Machado, Jean Ricardo Mesquita, *coorient.* III. Título.

---

CDD: 23 ed. 552.06

Bibliotecária - Documentalista: Renata Ferreira – CRB/2 1440

**PAULO RICARDO AGUIAR SOUSA**

**PETROGRAFIA E AEROGAMAESPECTROMETRIA DO GRANITO TIPO-A  
INDIFERENCIADO DA REGIÃO DE URUARÁ, SW DO PARÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Engenharia e Geociências da Universidade Federal do Oeste do Pará, como parte dos pré-requisitos para a obtenção do certificado de Bacharel em Geologia.

Orientador: Me.: Antônio Alessandro de Jesus Braga.

Coorientador: Me.: Jean Ricardo Mesquita Machado.

Data de aprovação: 24 / 06 / 2022

Conceito: **8,33**

Banca examinadora:

Antonio Alessandro de Jesus Braga

Prof. Me. Antônio Alessandro de Jesus Braga

Orientador - UFOPA

Jean Ricardo Mesquita Machado

Me. Jean Ricardo Mesquita Machado - Doutorando UFPA

Coorientador

Felipe Holanda dos Santos

Prof. Dr. Felipe Holanda dos Santos

Avaliador interno - UFOPA

Williamy Queiroz Felix

Me. Williamy Queiroz Felix

Avaliador externo – Doutorando UFPA

Dedico este trabalho a minha família e a todos os amigos e colegas que ajudaram a concretizar esta pesquisa.

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por ter me dado essa oportunidade, pois sem Ele não poderia ter chegado até aqui e enfrentado os mais difíceis obstáculos;

Ao meu Pai Antônio Ribamar de Sousa que me deu todo apoio e força para concluir esta jornada;

Aos meus tios que sempre me ampararam no decorrer desta graduação;

A Universidade Federal do Oeste do Pará pela infraestrutura e o curso de Geologia na pessoa de todos os professores que contribuíram para minha formação;

Ao Prof. Me. Jean Ricardo Mesquita Machado, que aceitou coorientar, contribuindo com o seu conhecimento para este trabalho;

Ao Prof. Me. Antônio Alessandro de Jesus Braga por aceitar o desafio de orientar-me;

Ao Doutorando da UFPA Yury Reis por contribuir com seu conhecimento geológico;

À Universidade Federal do Pará pela infraestrutura e à Faculdade de Geologia na pessoa de todos os professores que contribuíram para minha formação;

A CPRM de Rondônia por disponibilizar equipamentos para a confecção deste trabalho;

A todos os amigos e amigas que fiz durante todo o decorrer do Curso, aos alunos da turma Geologia 2015, em especial ao Noeverton do Carmo, Valdemir Farias, Alex Lima, Moisés, Laiene, Igor Leal, Edson Rocha, William e Mateus Santos, pelos momentos de descontração e troca de conhecimentos.

“Nunca tenha certeza de nada, por que a sabedoria começa com a dúvida”

Sigmund Freud

## RESUMO

O stock granítico tipo-A indiferenciado, está inserida no Cráton Amazônico, no domínio Iriri-Xingu, ao sul da Província Amazônia Central, está situado no município de Uruará-PA, sendo composto basicamente por monzogranitos e sienogranitos com conteúdo de máficos <6%. Em geral estas rochas, são isotrópicas e tem conteúdo de minerais similares, sendo diferenciado pelo conteúdo de feldspato alcalino. A delimitação do corpo granítico que encontra estas rochas foi interpretada visualmente a partir do mapa ternário, com contribuições dos mapas monocanais K, Th e U, mapa de Contagem Total, mapas de razões radiométricas U/K Th/K e U/Th. A imagem ternária junto a imagem *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) e dados petrográficos. Estes estudos apresentam duas fácies distintas: leucomonzogranito porfirítico (LMGrP) que ocupa a maior parte do corpo e leucosienogranito inequigular (LSGrI) que ocorre em menor quantidade. Além disso, estes dados permitiram uma melhor delimitação deste granito quando comparado a mapas anteriores e uma melhor individualização das fácies litológicas. A correlação destes dados gamaespectrométricos integrados à geologia fora muito eficaz, pois apesar da pouca penetrabilidade, a gamaespectrometria mostrou-se uma ferramenta útil para caracterização dos granitos tipo-A, além de diferenciar de suas encaixantes, delimitando este *stock* granítico com maior precisão. Apesar das já relevantes contribuições deste trabalho, ainda há a necessidade de se aprofundar o conhecimento neste granito, com um mapeamento mais adequado e estudos que possam determinar a natureza do seu magmatismo, com dados de química mineral e dados geocronológicos e isotópicos mais precisos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Granito tipo-A; Domínio Iriri-Xingu; Aerogamaespectrometria; Petrografia.



## ABSTRACT

The undifferentiated granitic stock A, is embedded in the Amazonian Classic, in the Iriri-Xingu, south of the Central Amazon Province, is located in the municipality of Uruará-PA, being basically composed of monzogranite and syenogranite with mafic content <6%. In general, these rocks are isotropic and have similar mineral content, being differentiated by the alkali feldspar content. The delimitation of the granitic body that finds these rocks was visually interpreted from the ternary map, with contributions from the K, Th and U single-channel maps, the Total Count map, maps of radiometric ratios U/K Th/K and U/Th. The ternary image together with the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) image and petrographic data. These studies show two distinct facies: porphyritic leukomonzogranite (LMGrP) that occupy most of the body and inequigranular leukosyenogranite (LSGrI) that occur in smaller amounts. Furthermore, these data allow a better delimitation of this granite when compared to previous maps and a better individualization of the lithological facies. The spectropenetrant gamma proved to be a useful tool for many data integrated to the spectrometric gamma with geology, as the spectropenetrant gamma proved to be a useful tool for the characterization of granites, in addition to differences in their tools, delimiting this granitic stock with precision. Despite the already relevant contributions of this work, there is still a need to deepen knowledge, with more adequate mapping and studies that can determine the nature of chemical magic, with mineral and more accurate geochronological and isotopic data.

**KEYWORDS:** Granite A-type; Iriri-Xingu Domain; Aerogammaspectrometry; Petrography.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.....	10
Figura 2 - Províncias Geocronológicas do Cráton Amazônico. ....	13
Figura 3 - Associações tectônicas e recursos minerais do Domínio Iriri-Xingu. ....	14
Figura 4 - Mapa de pontos. ....	17
Figura 5 - imagens gamaespectrométricas dos canais de Potássio (A), Tório (B), Urânio (C) e Contagem Total (D). ....	23
Figura 6 - Imagens das razões U/K (A), Th/K (B) e U/Th (C). ....	26
Figura 7 - Imagem ternária da composição RGB (K, U, Th). ....	28
Figura 8 - Mapa geológico do Granito tipo-A indiferenciado.....	29
Figura 9 - Granito tipo-A indiferenciado de Vasquez et al., (2008).....	30
Figura 10 - aspectos de campo (A: afloramento em lajedo e blocos métricos, B: serra pertencente ao granito indiferenciado) e aspectos macroscópicos em amostras de mão do granito estudado (C: Leucomonzogranito porfíritico, D: Leucosienogranito inequigranular). ....	31
Figura 11 - Diagramas modais Q-A-P e Q-(A+P)-M' para as rochas analisadas. ....	33
Figura 12 - aspectos mineralógicos do LMGrP e LSGrl. A – cristal de feldspato alcalino com geminação carlsbad e sofrendo alteração para argilominerais; B – feldspato potássico com exsolução peritítica com cristais de Quartzoz3 nas fraturas e Quartzoz4 nas bordas; C – cristal de plagioclásio envolto no feldspato alcalino, caracterizando textura anti-rapakivi; D – anfibólio bordejado por clorita e biotita; E - anfibólio com clivagem em duas direções, Quartzoz1 ao redor e plagioclásio sofrendo alteração saussuritização com geminação Albita; F – textura granofírica.....	36

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>1.1</b>	<b>Apresentação e localização .....</b>	<b>9</b>
<b>1.2</b>	<b>Geologia regional .....</b>	<b>11</b>
1.2.2	Domínio Iriri-Xingu.....	14
<b>1.3</b>	<b>Geologia local.....</b>	<b>15</b>
<b>1.4</b>	<b>Justificativa .....</b>	<b>10</b>
<b>1.5</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>16</b>
<b>1.6</b>	<b>Materiais e métodos.....</b>	<b>16</b>
1.6.1	Pesquisa bibliográfica .....	16
1.6.2	Mapeamento geológico .....	16
1.6.3	Aerogeofísica .....	17
1.6.4	Petrografia.....	18
<b>2</b>	<b>CONCEITOS IMPORTANTES.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1</b>	<b>Granito tipo-A .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2</b>	<b>Aerogamaespectrometria .....</b>	<b>20</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1</b>	<b>Interpretação dos dados aerogamaespectrométricos .....</b>	<b>22</b>
<b>3.2</b>	<b>Geologia do granito tipo-A indiferenciado.....</b>	<b>29</b>
<b>3.3</b>	<b>Petrografia .....</b>	<b>30</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>37</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>38</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Apresentação e localização

O Cráton Amazônico (CA) foi palco de um intenso magmatismo e tectonismo durante o Paleoproterozóico (Almeida *et al.*, 1981). representado por rochas plutônicas e vulcânicas diversas. Domínios tectônicos foram individualizados, seja por meio de geocronologia, litologia, ou por meios de domínios estruturais. Um desses domínios trata-se do Iriri-Xingu, localizado na porção sudeste do CA.

Este Domínio possui uma expressiva extensão da associação vulcano-plutônica de idade orosiriana de caráter intracontinental, representada principalmente pelas rochas vulcânicas e piroclásticas do Grupo Iriri e pelos granitoides de afinidade alcalina (Tipo A) e cálcio-alcálicas de alto K (Tipo I). As rochas do embasamento da Província Amazônia Central (PAC) no Bloco Iricoumé-Xingu são pouco conhecidas e suas exposições são raras, devido às extensas coberturas de rochas vulcânicas e intrusões de granitoides paleoproterozoicos (Tassinari e Macambira, 1999, 2004; Tassinari *et al.*, 2000; Vasquez *et al.*, 2008).

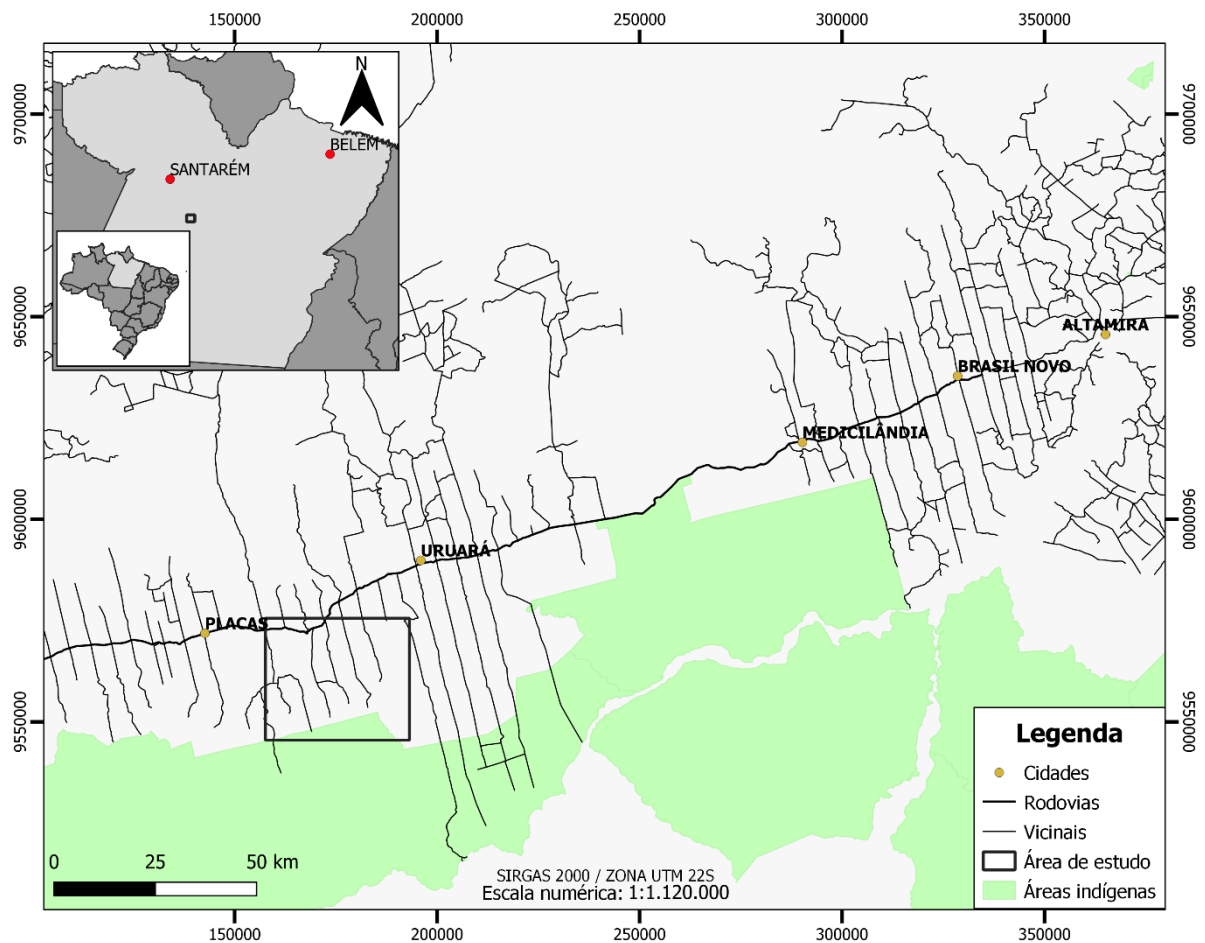
A área de estudo fica no município de Uruará (figura 1), mesoregião sudoeste do Estado do Pará. O município limita-se ao norte com os municípios de Prainha, Mojuí dos Campos e Santarém; a sul com o município de Altamira; a Leste com o município de Medicilândia; e a oeste com o município de Placas. O acesso a área de estudo se deu partindo de Santarém pela rodovia BR-163 em seguida na rodovia BR-230, além de vicinais não pavimentadas que não constam em mapas.

O alvo deste trabalho foi um corpo granítico isotrópico situado no Domínio Iriri-Xingu (Província Amazônia Central), na região de Uruará. Segundo Vasquez (2008) tal episódio pode estar relacionado a uma intrusão granítica com assinatura tipo-A. Estes tipos de granitos são comumente formados em ambiente extensional (BARBARIN, 1999) ou em ambiente pós-orogênico, no intervalo de 10 a 20 Ma depois de cessada a última orogênese, tanto subdução quanto colisão continente-continente (EBY, 1992).

O objetivo principal desta pesquisa foram os delimitar e descrever as fácies existentes a partir de estudos geológicos, petrográficos e aerogamaespectrométricos

deste granitoide. Trabalhos mais recentes delimitaram e caracterizaram este granitoide na escala de detalhes 1: 250.000, sendo ainda uma escala com baixo grau de detalhes. No âmbito da aerogeofísica os mapas aerogeofísicos disponíveis estão na escala 1:500.000. No entanto, esse corpo granítico carece de estudos mais detalhados e mapeamento de semi-detulhe para melhor determinar sua faciologia e delimitação de sua área e contato com rochas encaixantes.

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: autor (2022).

## 1.2 Justificativa

O corpo granítico alvo dessa pesquisa, está localizado na porção sul do Município de Uruará, inserido no contexto geológico da porção Sul do bloco Xingu-Iricoumé, no Domínio Iriri-Xingu. Apesar de alguns estudos avançarem no conhecimento desta área, os corpos graníticos carecem de estudos mais detalhados

no que tange a sua diferença faciológica e até mesmo, na real delimitação destes com as rochas proterozóicas do embasamento

Atualmente o conhecimento sobre este plúton granítico paleoproterozoico do Domínio Iriri-Xingu é escasso, uma vez que as pesquisas realizadas nesta área são de escala regional - 1:1.000.000, focando na evolução estrutural, individualização e limites do Domínio Iriri-Xingu.

Este corpo granítico desprovido de feições deformacionais é muito expressivo no Domínio Iriri-Xingu. Os estudos a respeito deste são análises petrográficas e geocronologia. Contudo, as caracterizações destas rochas são superficiais, carecendo de estudos aprofundados, além de delimitar este corpo com maior escala de detalhe. Portanto, a utilização das técnicas de mapeamento geológico, aerogeofísica na escala de semidetalhe (1:25.000), junto com os estudos petrográficos, definindo suas variações composicionais, são imprescindíveis para contribuir no conhecimento geológico da região.

### **1.3 Geologia regional**

O Cráton Amazônico configura-se como uma das principais unidades tectônicas da Plataforma Sul-Americana, estende-se ao norte pelos escudos das Guianas, e Brasil Central, ao sul, onde os limites são encobertos pela Bacia do Amazonas (HASUI & ALMEIDA, 1985), sendo considerado uma das regiões mais antigas do continente sul-americano, estabilizada há cerca de 1,0 Ga (TASSINARI & MACAMBIRA, 1999).

Os modelos de compartimentação tectônica mais aceitos atualmente para o Cráton Amazônico, são baseados principalmente por dados geocronológicos, considerando o Cráton como resultado de uma sucessão de acreções crustais que ocorreram durante o Paleoproterozoico e Mesoproterozoico em volta de um núcleo Arqueano. Entre as propostas mais discutidas, as que se destacam são os modelos de Santos (2003) e Tassinari & Macambira (2004), que dividem o Cráton Amazônico, porém, com províncias geocronológicas com limites e intervalos distintos.

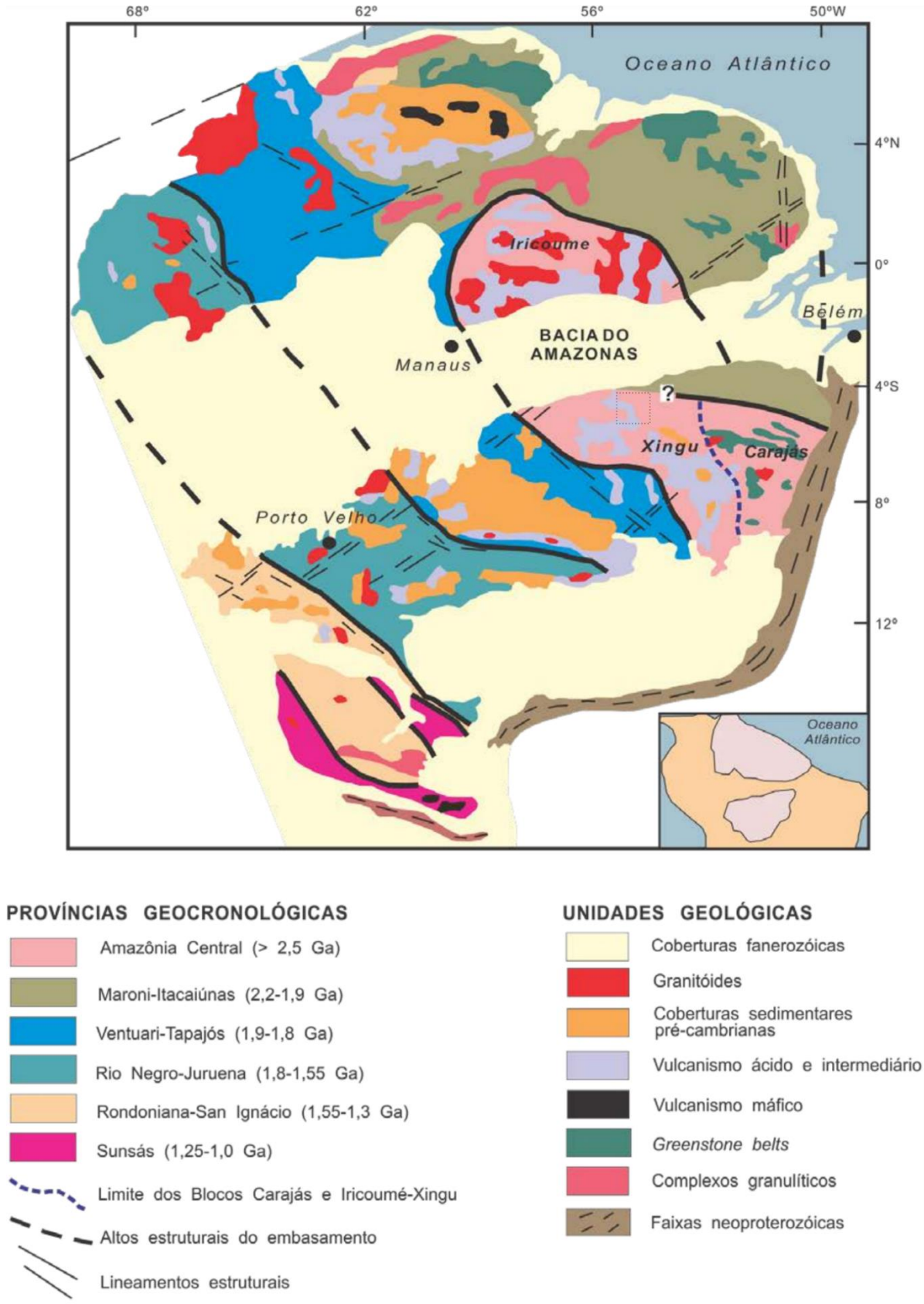
No modelo proposto por Santos (2003), baseia-se em interpretações de dados U-Pb e Sm-Nd da porção ocidental e central do Cráton, e propõe sua compartimentação em sete províncias: Carajás (3,0- 2,5 Ga), Transamazonas (2,26-1,99 Ga), Tapajós-Parima (2,03-1,86 Ga), Amazônia Central (1,90-1,86 Ga),

Rondônia-Juruena (1,85-1,54 Ga), Rio Negro (1,82-1,52 Ga) e Sunsás (1,45-1,00 Ga). Enquanto o modelo de Tassinari & Macambira (2004), no qual este trabalho adotará, é definido a partir de padrões geocronológicos, assembleias litológicas e *trends* estruturais, sendo o Cráton subdividido em seis províncias geocronológicas (Figura 2): Amazônia Central (2,5 Ga), Maroni-Itacaiúnas (2,25-2,0 Ga); Ventuari-Tapajós (1,95-1,80 Ga); Rio Negro-Juruena (1,8-1,55 Ga); Rondoniana-San Ignacio (1,55-1,3 Ga) e Sunsás (1,3-1,0 Ga).

A Província Amazônia Central representa o núcleo mais antigo do Cráton Amazônico com formação anterior a 2,3 Ga, e não afetada por orogêneses do ciclo Transamazônico (2,15 - 1,9 Ga, ALMEIDA *et al.*, 2000). Porém, durante o paleoproterozoico foi cenário de expressivos eventos magmáticos e sedimentares (TASSINARI & MACAMBIRA, 1999; TASSINARI *et al.*, 2000).

O Bloco Xingu-Iricoumé abrange o local de estudo e é um domínio de *trend* NW-SE. Está limitado pelo Bloco Carajás a SE e dividido pelas bacias Solimões e Amazonas. O domínio é pouco estudado e os poucos dados geocronológicos foram obtidos principalmente através dos métodos Rb-Sr e K-Ar (TASSINARI *et al.* 2000). Nesse bloco dominam rochas vulcânicas e granitoides paleoproterozoicos, não metamorfizados e localmente cobertos por sequências sedimentares. O embasamento regional raramente aflora (TASSINARI & MACAMBIRA, 2004; VASQUEZ *et al.*, 2008).

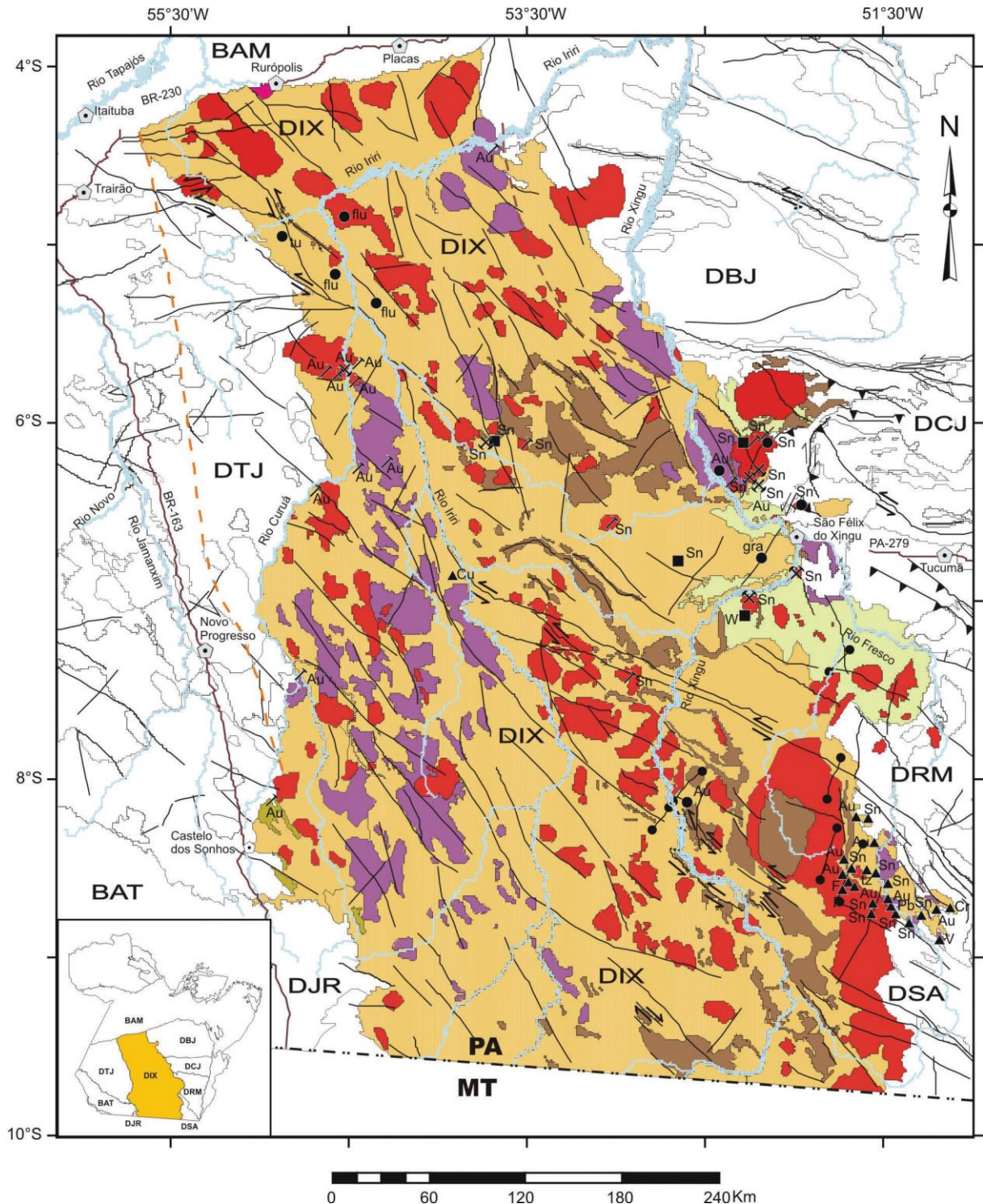
Figura 2 - Províncias Geocronológicas do Cráton Amazônico.



Fonte: Tassinari & Macambira (2004).



Figura 3 - Associações tectônicas e recursos minerais do Domínio Iriri-Xingu.



Fonte: Vasquez *et al.*, (2008).

### 1.2.2 Domínio Iriri-Xingu

O Domínio Iriri-Xingu (DIX), corresponde à porção meridional da Província Amazônica Central. Trata-se de uma parte do Cráton Amazônico pobremente

conhecida, onde domina uma associação vulcano-plutônica orosiriana, além de coberturas sedimentares de rifte continental. De acordo com Vasquez *et al.* (2008), é composto por rochas vulcânicas do Grupo Iriri e da Formação Sobreiro, granitoides Tipo A e Tipo I Indiferenciados, e os granitos da Suíte Intrusiva Velho Guilherme. O Grupo Iriri é a unidade mais expressiva do DIX e a mais abrangente da área de estudo. O Grupo Iriri é constituído essencialmente por rochas vulcânicas e vulcanoclásticas predominantemente félsicas com idades entre 1,89 e 1,87 Ga (SEMBLANO, 2016). Os Granitoides Tipo A Indiferenciados são compostos por leucosienogranitos, mesopertita granitos, sieno e monzogranitos, apresentam idades de 1,88 a 1,86 Ga e uma associação litológica semelhante aos granitos de afinidade alcalina ou do tipo A, típica de ambiente extensional pós-orogênico ou anorogênico (VASQUEZ *et al.*, 2008). Os Granitoides Tipo I Indiferenciados, que são compostos predominantemente por monzogranitos com biotita, carecem de dados geocronológicos e dispõem somente de uma idade isocrônica Rb-Sr de 1,92 Ga, podendo ser correlacionados com os últimos registros de magmatismo cálcio-alcalinos da porção oriental do Cráton Amazônico (ex. Suíte Intrusiva Parauari no Domínio Tapajós) (VASQUEZ, 2008).

#### **1.4 Geologia local**

O *stock* granítico está localizado a sul da cidade de Uruará. As amostras ocorrem principalmente em forma de lajedos, por vezes com blocos e matacões associados, ao longo do travessão 205S. Em campo, observou-se que as feições de relevo nessa área são marcadas por morros e terrenos de planalto. Essa unidade ocorre na forma de um corpo elipsoidal, arredondado e irregular, intrude as rochas vulcânicas do Grupo Iriri. As rochas aqui estudadas são formadas por granitoides predominantemente sienograníticos e monzograníticos de cor rosa avermelhada e rosa acinzentada, respectivamente, hololeucocráticos, de granulação fina a grossa e aspecto isotrópico, fanerítico, variando de inequigranulares a porfiríticos.

Nessa área também são encontradas rochas ígneas plutônicas, como os granitos, monzogranitos, sienogranitos, quartzo-monzonitos e sienitos que são aqui agrupados em dois tipos de granitoides, granitos Tipo A e Tipo I. Ocasionalmente também são encontradas rochas vulcânicas como dacitos e riodacitos que de acordo com Vasquez *et al.*, (2008) pertence ao Grupo Iriri.

## 1.5 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo geral a caracterização geológica, petrográfica e a aerogamaespectrométrica do corpo granítico isotrópico que ocorre na porção sul do município de Uruará. Para tanto segue os seguintes objetivos específicos:

- Delimitar os limites das fácies do corpo através de mapeamento geológico;
- Delimitar o plúton intrusivo, baseando-se nos diferentes níveis de K, Th e U gerando mapas de unidades radiométricas, mapas de razões U/K, Th/K e U/Th, Contagem Total e mapa ternário junto a imagens *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM); e
- Identificar e caracterizar a mineralogia essencial, acessória e secundária presente nas diferentes fácies do Granitos tipo-A com o auxílio de microscopia ótica, e classificar as diferentes fácies, definindo suas variedades com base em análises modais e texturais utilizando-se os diagramas Q-A-P de Streckeisen (1976) e Q-A+P-M de Le Maitre *et al.* (2002).

## 1.6 Materiais e métodos

### 1.6.1 Pesquisa bibliográfica

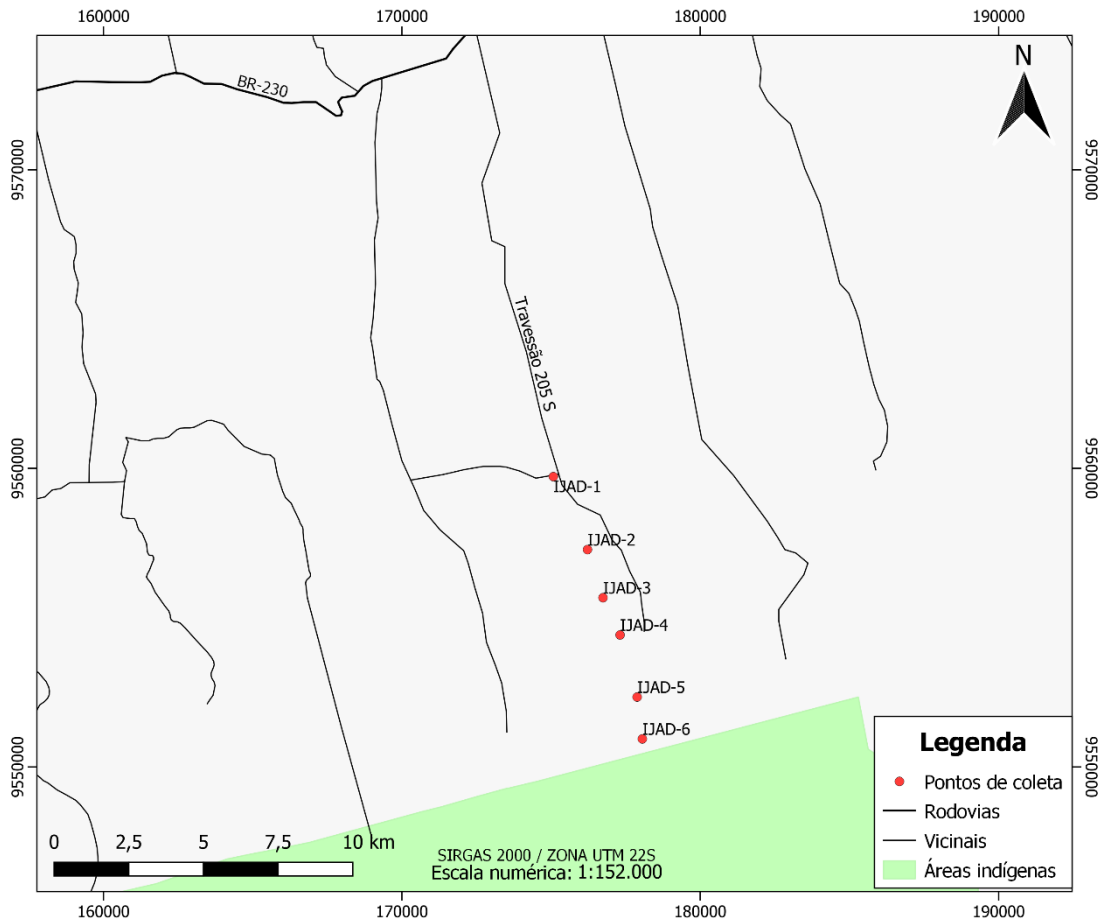
Esta etapa consistiu no levantamento bibliográfico referente à geologia da região, alvo de trabalho deste estudo, temas específicos relacionados à aerogeofísica, petrografia, evolução e origem de granitos anorogênicos, em especial do Paleoproterozoico, na região do Domínio Iriri-Xingu.

### 1.6.2 Mapeamento geológico

Realizou-se a etapa de campo no dia 01/11/2019 na escala de 1:25.000, utilizando métodos convencionais de trabalho de campo, baseando-se em imagens de satélite, interpretações de imagens aéreas e o auxílio do GPS (*Global Position System*), onde coletou-se sistematicamente as amostras para estudos petrográficos em 6 pontos (ver mapa de pontos na figura 3), descrevendo seus afloramentos em seus principais aspectos litológicos e observando suas principais relações de contato.

Por fim, utilizou-se o Software QGis 3.16.14, para a confecção dos mapas apresentados neste trabalho.

Figura 4 - Mapa de pontos.



Fonte: autor (2022).

### 1.6.3 Aerogeofísica

Nesta etapa foram manipuladas imagens gamaespectrométricas, obtidas no Portal Geosgb (CPRM) no formato XYZ, referente ao Projeto Aerogeofísico Rio Bacajá, a fim de identificar anomalias dos radioelementos  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$  e  $^{232}\text{Th}$ , que possam contribuir na delimitação do corpo intrusivo.

O levantamento aéreo é composto pelas linhas de aquisição, nas quais foram utilizados espaçamentos de 500 metros e direção E-W, e linhas perpendiculares, que constituem as linhas de controle, com espaçamento de 10 km metros e direção N-S.

Os dados fornecidos pela Serviço Geológico Brasileiro -CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) foram disponibilizados com as correções de pré-processamento já efetuadas, restando apenas ajustes dos valores negativos antes da interpolação. Os valores negativos no canal de urânio (eU), tório (eTh) e potássio (K%), possivelmente ocorre devido a erros na correção atmosférica e/ou a calibração imprecisa dos instrumentos. Para a correção, optou-se por substituir os valores negativos pela constante 0,001, por ser muito baixo este valor não altera a média dos dados.

Para a geração dos mapas ternário, Contagem Total, razões radiométricas e monocanais de K (%), eTh (ppm) e eU (ppm), os dados foram processados no *software* Oasis Montaj 8.4, aplicando os seguintes procedimentos: gridagem mínima curvatura para os três canais (K%, eTh e eU), razões radiométricas (U/K, Th/K e U/Th) e Contagem Total, utilizando tamanho de células com 1:4 do valor do espaçamento das linhas de voo do levantamento, logo os dados foram interpolados no tamanho de 125x125 metros. O mapa de combinação ternária RGB (R: vermelho, G: verde e B: azul) atribui cada canal a uma cor primária, onde o Potássio foi atribuído a cor vermelho, o tório a cor verde e urânio a cor azul.

#### 1.6.4 Petrografia

Foram descritas 10 amostras de mão e confeccionadas lâminas polidas para estudo petrográfico que envolveu identificação e descrição sistemática dos minerais, interpretação de feições texturais no Microscópio Nikon H550S. Realizou-se análises modais em cinco amostras representativas das diferentes fácies identificadas no corpo. As composições modais obtidas (1800 pontos por lâmina) utilizando um contador de pontos automático do *software* *Hardledge* (fabricante Endeeper) e foram plotadas no diagrama QAP, pelo o qual as rochas foram classificadas, conforme estabelecido pela IUGS (STRECKEISEN, 1976; LE MAITRE *et al.*, 2002).

## 2 CONCEITOS IMPORTANTES

## 2.1 Granito tipo-A

O termo granito do tipo A foi usado pela primeira vez por Loiselle & Wones (1979) para englobar os granitoides de ambiente tectônicos e com características químicas específicas, definindo como granitoides anorogênicos, anidros, reduzidos e enriquecido em elementos incompatíveis, cristalizados a partir de magmas alcalinos que ocorrem ao longo de zonas de riftes e no interior de blocos continentais estáveis e apresentam elevados conteúdos de  $Fe/(Fe+Mg)$ ,  $K_2O$  e  $K_2O/Na_2O$ , REE, Zr, Nb e Ta.

Collins *et al.*, (1982) classificaram como tipo A as suítes graníticas do sudeste da Austrália, sendo estas rochas de baixa fugacidade de oxigênio e baixos conteúdos de  $H_2O$  que são derivados de um magma parental basáltico alcalino com altas razões  $(K_2O+Na_2O)/Al_2O_3$ , Nb, Ga, Y e REE.

Whalen *et al.* (1987) para diferenciar os granitos tipo A dos tipos I e S utilizaram diagramas envolvendo a razão Ga/Al e os elementos Zr, Nb, Ce e Y (HSFE). Anderson e Bender (1989) identificaram a presença de magnetita na maioria dos granitoides do tipo A do sudoeste dos EUA.

Eby (1992) identificou a existência de diferentes tipos de fontes para a geração destes granitoides, tanto química quanto tectônica, então baseado nas relações entre Y, Nb, Ga e Ce, subdividiu os granitos tipo-A em dois grupos quimicamente distintos: A1 caracterizado por concentrações de elementos similares àquelas observadas em basaltos de ilhas oceânicas; e A2 que representa concentrações de elementos químicos que variariam desde aquelas observadas em rochas da crosta continental até basaltos de arcos de ilhas.

Qiu *et al.*, (2005) definiram que de acordo com as características químicas e mineralógicas, um granito tipo-A pode ser subdividido em dois subgrupos, um aluminoso caracterizado pela presença de minerais ricos em alumínio (espessartita e muscovita rica em Mn) e outro peralcalino que contém riebeckita, arfvedsonita e aegirina. Comparando os dois subgrupos descritos por Qiu *et al.*, (2005), os granitos aluminosos têm menores concentrações de Nb, Zr, Ga, elementos terras raras e valores mais baixos das razões  $FeO^*/MgO$  e Ga/Al que os granitos do subgrupo peralcalino.

Dall'Agnol e Oliveira (2007) propuseram diagramas geoquímicos envolvendo óxidos de elementos maiores ( $CaO+Al_2O_3$  ou  $Al_2O_3$  versus  $CaO/(FeO^t$

+MgO+TiO<sub>2</sub>) para distinguir granitos tipo A de granitos cálcico-alcálicos, bem como granitos oxidados (série da magnetita) de granitos reduzidos (série da ilmenita) (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> versus FeO<sup>t</sup>/(FeO<sup>t</sup> +MgO)). Ainda concluem que os granitos tipo A da série da magnetita são mais ferrosos e cristalizam em uma maior fugacidade de oxigênio do que os granitos reduzidos.

Embora não haja consenso dos autores sobre a evolução dos granitos tipo-A como por exemplo, a sua natureza petrogenética, Bonin (2007) fez um levantamento bibliográfico e concluiu que estas rochas são: anorogênicas, anidras, aluminosas e alcalinas, enriquecidas em elementos traços incompatíveis e pobres em elementos traços compatíveis em magmas silicáticos máficos (Co, Sc, Cr, Ni) e feldspatos (Ba, Sr, Eu), no entanto, a nomenclatura para rochas com essas características tem sido aplicadas de forma indiscriminada.

Frost e Frost (2011) propõe trocar a nomenclatura para “*Ferroan*”, tendo em vista que todos os estudos existentes até o momento que apesar de eles serem de diferentes composições e poligenéticos, o Ferro é comum em todos os granitos, e se referindo-se a todos os granitoides anorogênicos, alcalinos, anidros e aluminosos como "tipo-A" ignora a variedade de processos pelos quais os granitoides “*Ferroan*” podem ser formados.

## 2.2 Aerogamaespectrometria

A floresta amazônica impõe diversas dificuldades para os mapeamentos geológicos. As dificuldades logísticas e vegetação densa são os principais empecilhos para o mapeamento *in loco*. Entretanto, algumas alternativas são utilizadas para completar o mapeamento de corpos graníticos em áreas não trafegáveis, como por exemplo a integração de técnicas de sensoriamento remoto de imagens de satélite, *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) e aerogamaespectrometria.

A aerogamaespectrometria é a técnica mais empregada na localização e caracterização de anomalias radioativas ou mesmo para o mapeamento de unidades geológicas por serem muito mais penetrantes e assim podendo ser detectadas a algumas centenas de metros de altura na atmosfera (Aitken, 1985). Cerca de 90% dos raios gama são emanados pela camada superficial do solo ou rocha, compreendida entre 30 e 45 cm de profundidade. A intensidade desta radiação se relaciona com a

mineralogia e a química das rochas ou materiais originais e com o tipo de intemperismo atuante sobre estes (Wilford *et al.* 1997).

Segundo Nobre (2019) as principais fontes de radiação gama detectadas na superfície terrestre provêm da desintegração natural do potássio ( $^{40}\text{K}$ ) e dos elementos das séries do urânio ( $^{238}\text{U}$ ) e do tório ( $^{232}\text{Th}$ ). Os três elementos são litófilos e concentrados preferencialmente em rochas ígneas básicas. Segundo Vasconcellos *et al.* (1994), o Potássio natural (contendo o  $^{40}\text{K}$ ) é o mais abundante dos três radioelementos naturais, e as principais fontes são os k-feldspatos e micas. O Urânio ( $^{238}\text{U}$ ) e o Tório ( $^{232}\text{Th}$ ) podem ser encontrados em quantidades menores em minerais como quartzo e feldspatos e em concentrações maiores em minerais como o zircão, o epidoto e a titanita. Em rochas ígneas, a radioatividade pode variar muito devido às características químicas, mineralógicas, petrográficas e estruturais (SANTOS, 2014).

Para a diferenciação dos diferentes tipos de granitos, é proposto uma classificação baseada nos granitoides da série da ilmenita e magnetita de Chapell & White, (1974) e Ishihara, (1977). Os granitoides da série da ilmenita englobam os leucogranitos a duas micas, peraluminosos, ou os do tipo S. Estes granitos tendem a ter mais urânio que tório e possuem maiores razões U/Th que os demais tipos de granitos. Os granitos da série da magnetita são os granitos tipo I subalcalinos comumente apresentam anomalia magnética. O urânio e tório se correlacionam e a razão U/Th são menores que os granitos tipo S. No caso dos granitos tipo A as razões U/Th também são menores, e apresentam padrões radiométricos semelhantes aos granitos tipo I, porém com enriquecimento absoluto em U e Th.

Os granitos tipo A são ricos em elementos traço incompatíveis, como os elementos litófilos de íons grandes (LILE: por exemplo, Cs, Rb, Na) e elementos de alta intensidade de campo (HFSE: por exemplo, Zr, Nb, REE, Y), no entanto, eles exibem baixos teores de elementos traço compatíveis em silicatos máficos e plagioclásio (Loiselle & Wones 1979, Pearce *et al.*, 1984, Whalen *et al.* 1987, Eby 1992, Bonin 2007, Frost and Frost 2011, Dall'Agnol *et al.*, 2012). Deste modo, espectrometria gama torna-se uma ferramenta importante para a identificação das intrusões da unidade Granito tipo-A indiferenciado, uma vez que utiliza decaimento natural dos elementos U e Th (HFSE) e K (LILE) como parâmetros de diferenciação de litotipos geológicos. Isso é baseado na suposição de que as concentrações absolutas e relativas desses radioelementos variam mensurável e significativamente com a litologia.



### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Interpretação dos dados aerogamaespectrométricos

As imagens gamaespectrométricas geradas neste trabalho tem por objetivo uma interpretação qualitativa, gerando a unidade radiométrica referente ao granito estudado, na tentativa de integrá-las aos dados petrográficos e comparar a cartografia de fácies petrográficas com o domínio radiométrico.

- Potássio

O potássio ocorre, normalmente, nos minerais de ortoclásio, microclina e leucita e possui concentração muito baixa em outros silicatos. Nas rochas ácidas (granitos e sienitos) possui teores elevados e, nas rochas básicas e ultrabásicas (dunitos e Peridotitos) possuem teores baixos a muitos baixos (Dickson e Scott, 1997).

No mapa (Figura 4A) o potássio apresenta maiores quantidades nas porções oeste, sul e leste. Também localmente nas porções sul e sudeste. É percebido na região concentrações altas de potássio nas drenagens, mostrando que esse elemento sofreu lixiviação devido sua alta mobilidade durante o intemperismo e principalmente ambientes de clima tropical a subtropical (Wilford *et al.*, 1997). Diante disso, foi observado um padrão direcional NE-SW.

- Tório

O tório ocorre em minerais pesados, como alanita, monazita, xenotímeo e zircão, ou em quantidades-traço em outros minerais constituintes das rochas (Dickson e Scott, 1997). Diferentemente do potássio e urânio, os minerais que contêm tório possuem maior estabilidade durante o intemperismo.

A análise da imagem de tório (Figura 4C) mostra maiores concentrações na porção oeste e centro, regiões de maiores elevações. Na porção norte, na região de drenagem e localmente leste da área mostra baixas concentrações desse

elemento. Já na porção central os valores são moderados. As concentrações de eTh na área de estudo mostram tendência as direções NE-SW.

- Urânio

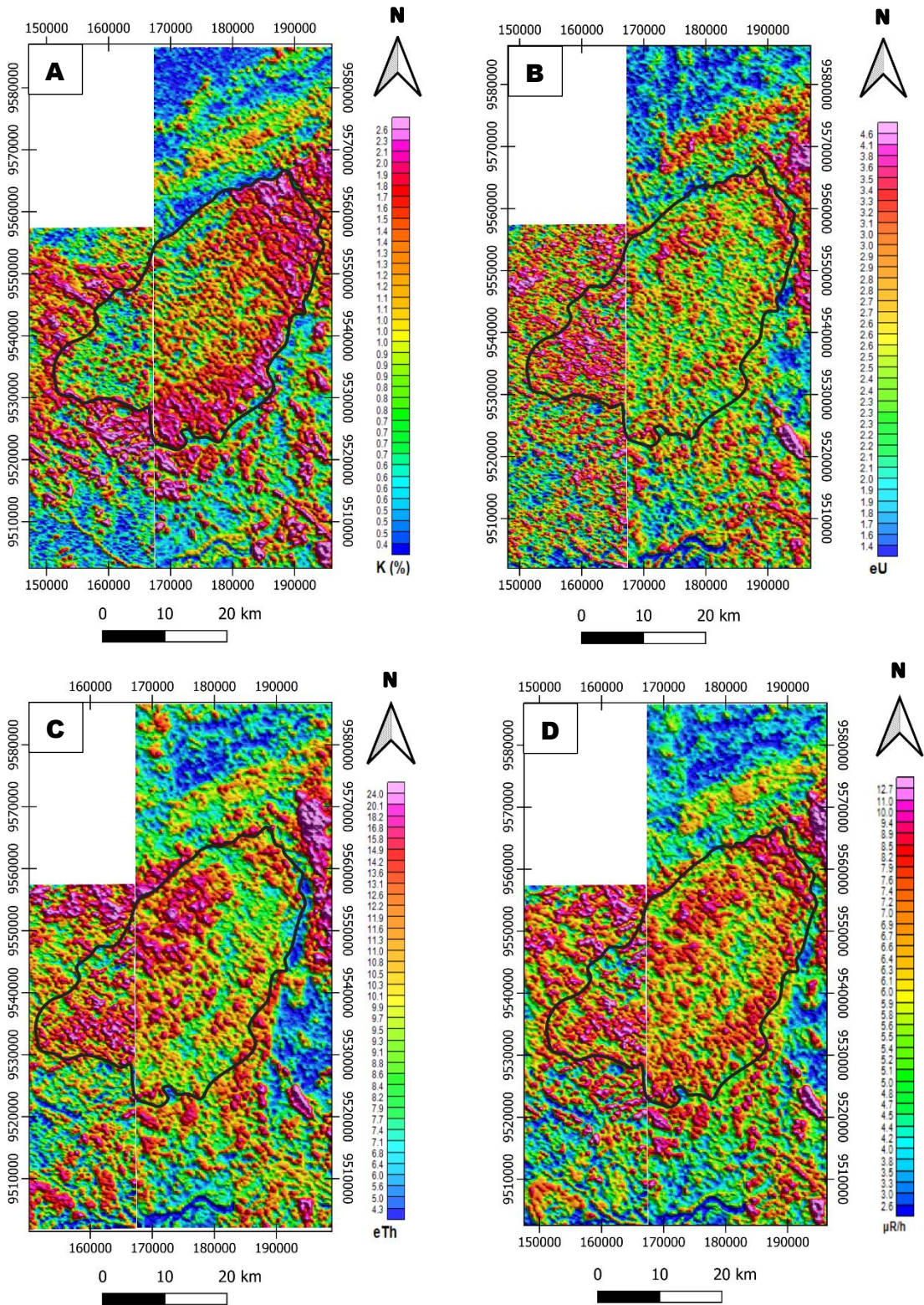
Nas rochas, o urânio ocorre como óxidos e silicatos, uraninita e uranotorita, e, principalmente, em minerais como a monazita, o xenotímeo e o zircão. O clima amazônico propicia a lixiviação do urânio das rochas. Neste tipo de clima, a grande circulação de águas, em geral ácidas, com oxigênio e dióxido de carbono dissolvidos, é determinante para que os minerais contendo U, exceto os refratários, sejam hidrolisados, oxidados e lixiviados (Dickson e Scott, 1997);

Estão localizadas na porção leste, sudeste e extremo nordeste as maiores concentrações desse elemento. Na porção oeste, extremo leste e sudeste apresenta quantidades moderadas a altas, seguindo a direção NW-SE (Figura 4B). Além disso, é possível observar uma moderada concentração de eU aos redores da drenagem.

- Contagem Total

A contagem total exhibe a contribuição de todos os radioelementos presentes no espectro da radiação gama. A interpretação da imagem de contagem total (Figura 4D) em conjunto com as imagens de K (%), eU e eTh (Figura 4 A, B e C), possibilitou a definição das regiões que possuem litotipos com alta, média e baixa radioatividade. Na região oeste, sudeste e extremo leste apresenta alta radioatividade, na porção centro oeste mostra média radioatividade e na porção centro leste, norte e noroeste possuem radioatividade baixa.

Figura 5 - imagens gamaespectrométricas dos canais de Potássio (A), Tório (B), Urânio (C) e Contagem Total (D).



SIRGAS 2000 / ZONA UTM 22S

**Legenda**

Corpo granítico

Fonte: autor (2022).

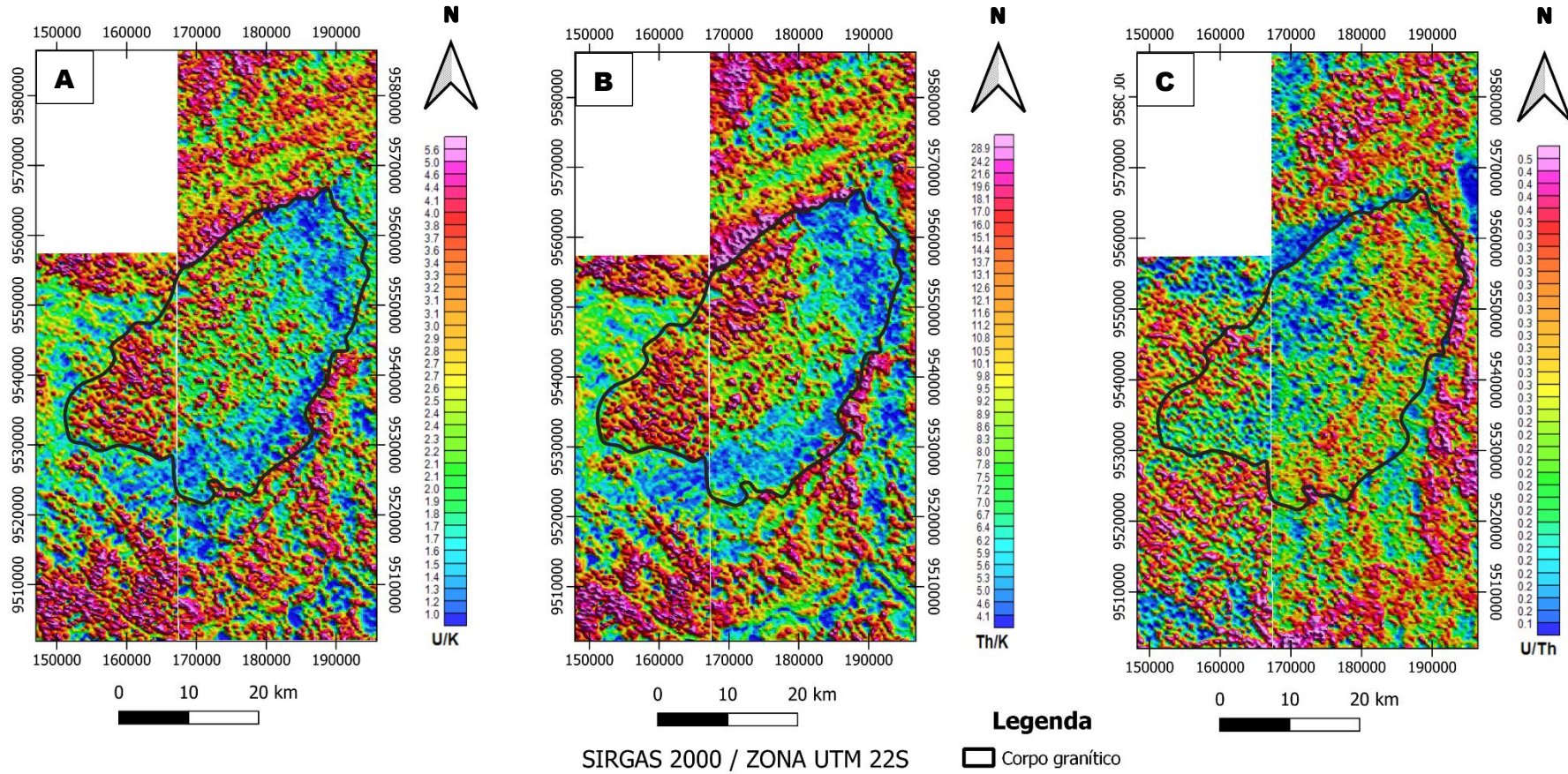
- Razões U/K, U/Th e Th/K

O mapa da razão U/K (Figura 5A) possibilitou uma diferenciação dos litotipos. Áreas com topografias mais baixas, próximas a drenagens mostram valores médios a altos, enquanto áreas mais elevadas apresentam empobrecimento dessa razão. A imagem caracteriza-se por apresentar concentrações variadas dessa razão e bastante disseminadas na região de estudo. As concentrações mais altas desse mapa encontram-se nas porções toda porção norte e sul, e localmente no centro, e os valores mais baixos da razão U/K nas porção leste seguindo para sul da área, as demais regiões apresentam concentrações médias a baixas.

A imagem da razão Th/K (Figura 5B) da área de estudo caracteriza-se por apresentar valores muito altos. A região onde os valores de potássio são elevados na porção leste seguindo para sul apresenta valores mais baixos dessa razão. As áreas de altas razões Th/K encontram-se predominantemente na parte norte, sul e localmente no centro da imagem.

A razão U/Th (Figura 5C) mostra por toda região concentrações baixas. Quando comparada com a imagem ternária (Figura 6), a regiões de baixos valores evidencia enriquecimento absoluto de tório em algumas regiões. As concentrações moderadas a alta são observadas no noroeste, leste e localmente no extremo sudoeste e sul.

Figura 6 - Imagens das razões U/K (A), Th/K (B) e U/Th (C).



Fonte: autor (2022).

- Ternário

A imagem ternária (Figura 6) cada um dos canais gamaespectrométricos K, U, Th foram atribuídos a uma cor primária, onde cada pixel reproduz a tonalidade de cor que reflete os valores relativos à intensidade de radiação gama entre os três canais com gradações das cores variando de acordo com o teor de cada um dos elementos considerados, a cor branca representa altas contagens dos três elementos, enquanto que a cor preta é associada às baixas contagens dos mesmos, comumente ocorrem nas drenagens do mapa.

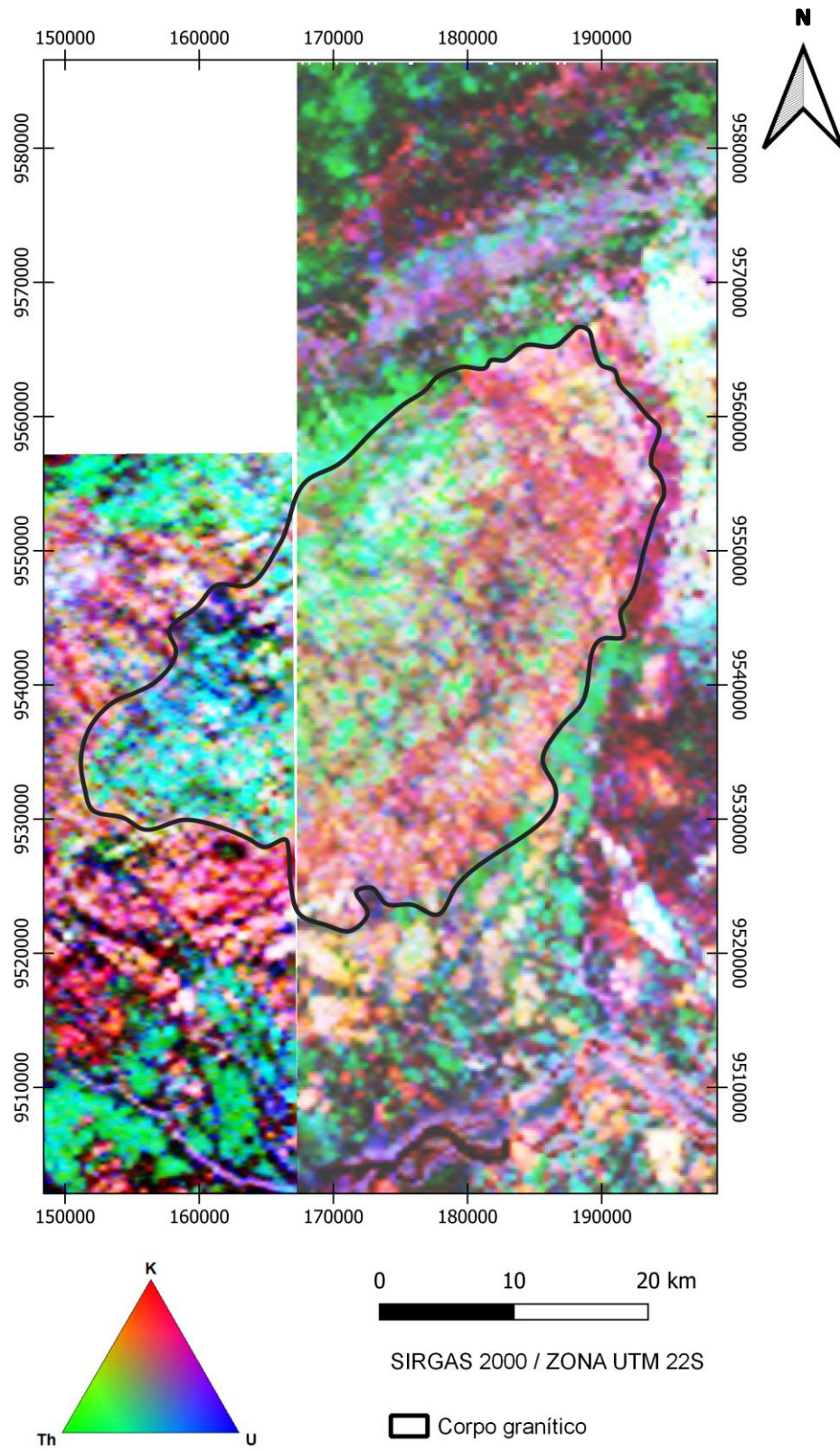
O mapa ternário é utilizado para ressaltar contrastes entre áreas com diferentes concentrações dos três elementos que podem não estar tão evidentes nos primeiros mapas, facilitando assim a interpretação dos dados (Ribeiro *et al*, 2013). A imagem ternária deste trabalho mostrou-se um ótimo discriminador gamaespectrométrico entre as técnicas utilizadas. A combinação dos três elementos que diferentemente do mapa de Contagem Total, permitiu a distinção das variações de respostas radiométricas com alto, médio e baixo valor de cada elemento.

- Delimitação do corpo granítico

O corpo granítico foi interpretado visualmente a partir do mapa ternário (Figura 6), com contribuições dos mapas monocanais K, Th e U (Figura 4A, B e C), mapa de Contagem Total (Figura 4D), mapas de razões radiométricas U/K Th/K e U/Th (Figura 5A, B e C). Além disso, os trabalhos de Shieves *et al.* (1997), Dickson & Scott, (1997), Blum, (1999), entre outros, auxiliaram nos comparativos destes mapas.

A imagem ternária mostra contrastes litológicos significativos, facilitando a delimitação da unidade. O corpo delimitado apresenta concentrações de K (0.7 - 1.8%), Th (9.0 - 24.0 ppm) e U (2.2 - 3.6 ppm).

Figura 7 - Imagem ternária da composição RGB (K, U, Th).

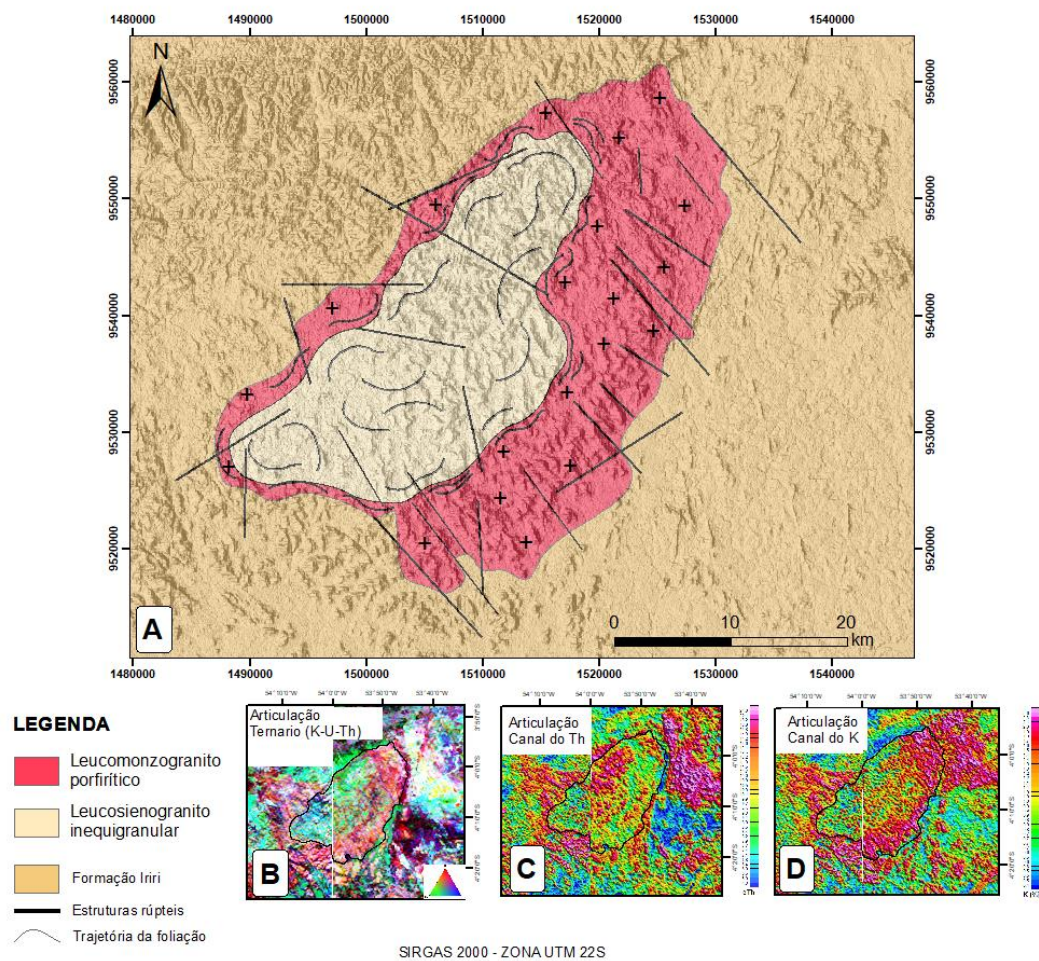


Fonte: autor (2022).

### 3.2 Geologia do granito tipo-A indiferenciado

O Granito tipo A indiferenciado é intrusivo em rochas vulcânicas e vulcanoclásticas pertencentes a Formação Iriri. formado por relevos de encostas suaves (Figura 9B), de 150 a 450 m de elevação.

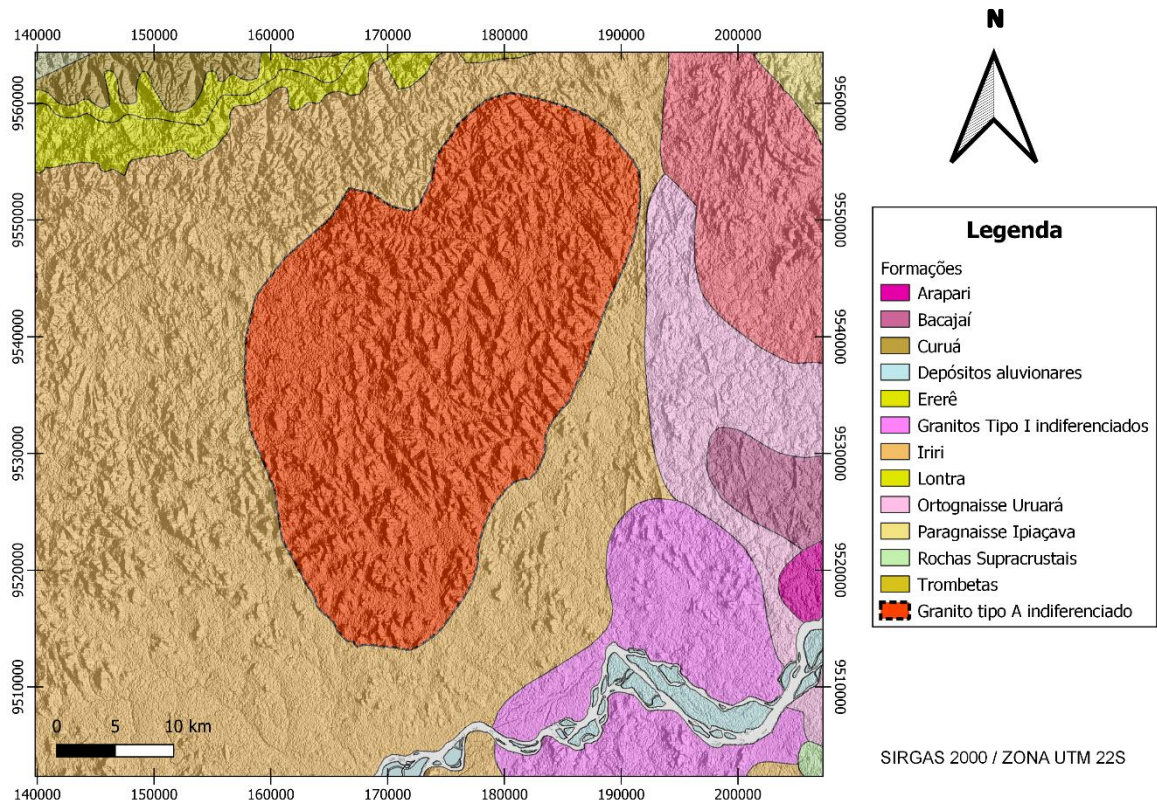
Figura 8 - Mapa geológico do Granito tipo-A indiferenciado.



Fonte: autor (2022).



Figura 9 - Granito tipo-A indiferenciado de Vasquez *et al.*, (2008)



Fonte: Vasquez *et al.*, (2008) (modificado).

A integração dos dados de campo com imagens de radar SRTM possibilitaram diferenciar o *stock* granítico de suas encaixantes, refinando a qualidade de seus limites, e estimar a distribuição geográfica de suas diferentes fácies (Figura 8). O Granito tipo A indiferenciado é formado por rochas monzograníticas a sienograníticas isotrópicas que afloram como lajedos ou blocos métricos (Figura 10A), de granulação fina a grossa, coloração rosada a acinzentada e baixos conteúdos de minerais máficos (Figuras 10C - D), o que permitiu classificá-las como hololeucocráticas.

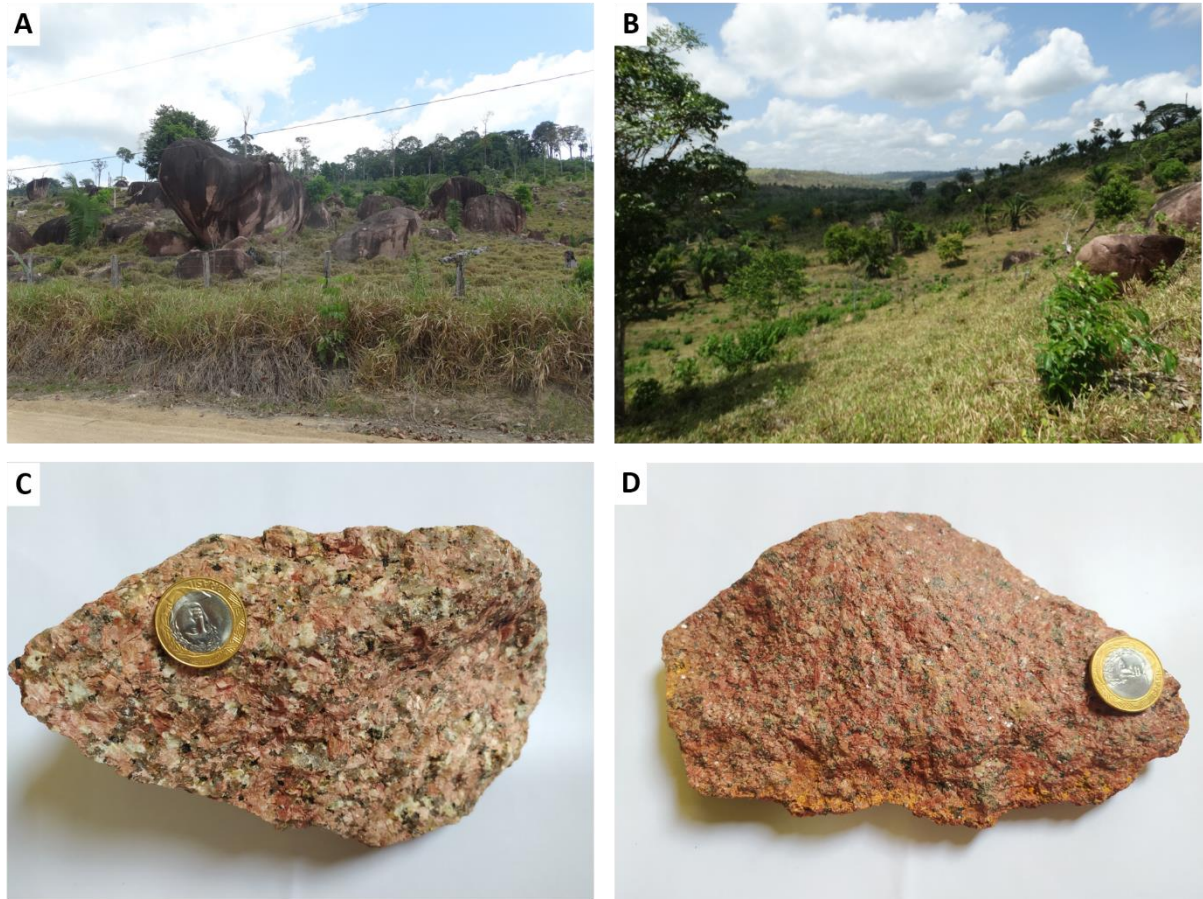
### 3.3 Petrografia

A análise petrográfica permitiu identificar dois tipos diferentes de fácies deste corpo granítico. Estas amostras foram agrupadas em dois litotipos devido, às suas afinidades texturais e composicionais.

Para critério de individualização das duas fácies, foram analisadas 10 lâminas delgadas, cujas composições modais quantitativas estão dispostas nas

Tabelas 1. Os dados modais foram plotados nos diagramas Q-A-P e Q-(A+P)-M (STRECKEISEN, 1976; LE MAITRE, 2002) conforme ilustrado na figura 9, com as mesmas sendo representadas por monzogranitos a sienogranitos hololeucocráticos, com conteúdo de minerais máficos de até 5,95%.

Figura 10 - aspectos de campo (A: afloramento em lajedo e blocos métricos, B: serra pertencente ao granito indiferenciado) e aspectos macroscópicos em amostras de mão do granito estudado (C: Leucomonzogranito porfíritico, D: Leucosienogranito inequigranular).



Fonte: autor (2022).

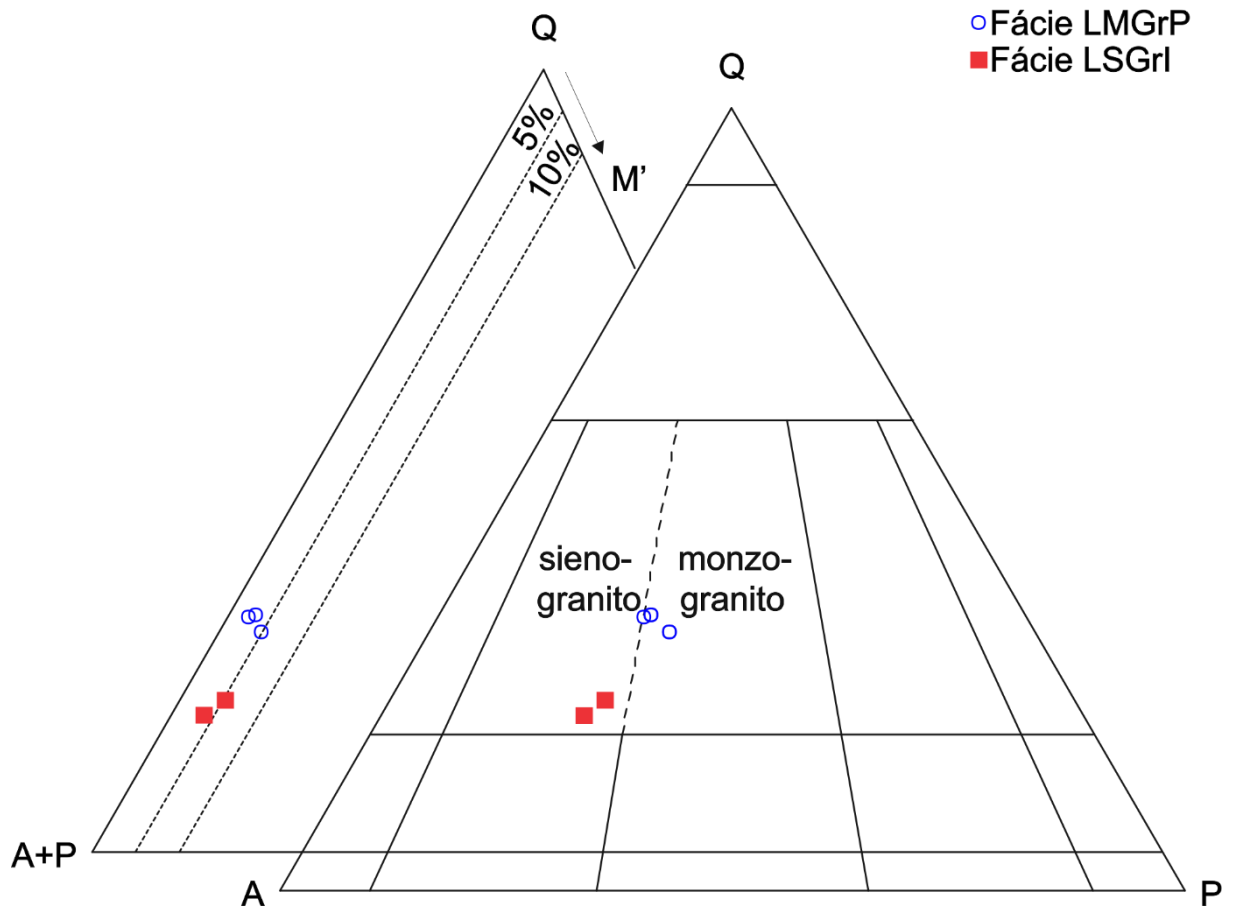
Tabela 1: Composição mineralógica modal das amostras representativas das unidades do *stock* granítico e suas respectivas fácies individualizadas.

Fácies  Amostra/ Mineralogia	LMGrP			LSGrI	
	IJAD-P1- A01	IJAD- P2	IJAD-P4- A05	IJAD-P5- A08	IJAD-P5- A10
Quartzo	33,08	31,77	33,67	23,20	21,14
K-feldspato	40,28	38,81	40,06	49,5	52,5
Plagioclásio	21,03	25,45	21,9	22,62	21,36
Biotita	1,08	1,15	1,18	0,98	1,12
Anfibólio	0,91	0,53	0,86	1,16	0,71
Titanita	0,3	-	0,16	-	0,5
Apatita	0,95	0,59	0,07	0,03	-
Allanita	0,16	0,09	-	-	-
Epidoto	0,06	0,34	0,07	0,6	0,84
Zircão	0,05	0,07	0,09	0,21	0,13
Clorita	0,98	0,97	0,91	0,42	0,84
Fluorita	0,12	-	0,06	-	0,03
Opacos	1,0	0,23	0,97	1,28	0,83
∑ Máficos = m'	5,61	3,97	4,37	4,68	5,95
Pontos	1800	1800	1800	1800	1800

**Síglas** – LMGrP: Leucomonzogranito Porfíritico; LSGrI: Leucosienogranito Inequigranular.

As fácies existentes são inequigranulares a localmente equigranulares, hololeucocráticas ( $M' < 6,0\%$ ) e com granulação fina a grossa. Apresentam assembleia mineralógica essencial similar, embora com proporções variadas: álcali feldspato (38 - 52%), quartzo (21 - 33 %) e plagioclásio (21 - 25%). O mineral máfico mais abundante é a biotita (1,08 - 1,18%). Petrograficamente foram identificadas duas diferentes fácies neste Granito Indiferenciado:

Figura 11 - Diagramas modais Q-A-P e Q-(A+P)-M' para as rochas analisadas.



Fonte: Streckeisen 1976; Le Maitre *et al.* 2002..

- Aspectos texturais e mineralógicos

A fácies Leucomonzogranito porfirítico (LMGrP) ocupa maior parte do corpo ígneo. Em geral, são de granulação média a grossa, são isotrópicos, inequigranulares, mas usualmente são encontrados fenocristais de feldspatos, além disso, são xenomórficos, hololeucocráticas, de coloração rosa acizentada e possuem textura predominantemente porfirítica.

A fácies Leucosienogranito inequigranular (LSGrI) ocorre em menor parte no corpo ígneo. Sua granulação varia de fina a grossa, são isotrópicos, inequigranulares, xenomórficos, hololeucocráticas, coloração rosa avermelhada e possuem textura inequigranular. Ambas as fácies apresentam similaridades mineralógicas, porém com diferenças na quantidade de álcali feldspato.

Conforme o tamanho, forma e associação com outros minerais, foi possível distinguir quatro tipos petrográficos de quartzo: Quartzo<sub>1</sub>, sendo este o mais representativo, forma cristais anédricos a subédricos, de granulação média (2 mm – 4

mm) e, por vezes, grossa (~ 6 mm). Exibe contatos interpenetrativos com os feldspatos alcalinos e plagioclásio (Figura 12A e 12C) e, retos com biotita, anfibólio e opacos. Localmente, apresenta extinção levemente ondulante, com cristais. O Quartzoz<sub>2</sub> são cristais granulares, de granulação variando de fina a média (0,5 mm – 1,5 mm), dispostos, na maioria das vezes, contornando os pórfiros de feldspato alcalino e plagioclásio, bem como, inclusos nestes. Também, apresentam-se em pequenas aglomerações na rocha (Figura 12E). Quartzoz<sub>3</sub>- quartzo de granulação fina preenchendo os interstícios entre os minerais essenciais e fraturas destes (Figura 12A, 12B e 12C). Quartzoz<sub>4</sub>- cristais vermiformes formando intercrescimentos granofíricos com o feldspato alcalino (Figura 12F), predominantemente presente na fácies leucosienogranito (LSGrI).

O feldspato alcalino exhibe cristais subédricos a euédricos de granulação média a grossa (1 mm – 20 mm). Seus contatos com os o quartzo e plagioclásio são retilíneos, mas localmente ocorrem contatos irregulares. Geralmente, apresentam alteração para argilominerais. Apresenta geminação do tipo *carlsbad* (Figura 12A) e albita-periclina, contudo, é pouco evidente em alguns cristais, devido ao avançado processo de alteração destes. Mostra texturas de exsolução representadas por pertitas (Figura 12B). Localmente, encontra-se bordejado por quartzoz<sub>3</sub> (Figura 12E) e alguns fenocristais apresentam-se apresentam texturas do tipo *rapakivi* e anti-*rapakivi* (Figura 12C).

O plagioclásio ocorre como cristais subédricos, de granulação fina a média (1 mm – 7 mm), ocasionalmente exibem granulação grossa. Apresenta contornos retilíneos e contatos regulares ou mais raramente irregulares com os demais minerais. Exibe comumente maclamento do tipo albita (Figura 12E) e, raramente, albita-periclina e albita-carlsbad. Mostra-se também, ora bordejando feldspato alcalino ou bordejado por estes (Figura 12C, 12E) e possui zoneamento do tipo normal e apresenta-se fortemente saussuritizado (Figura 12D, 12E).

A biotita<sub>1</sub>, sob forma lamelar, exhibe pleocroísmo variando de marrom-avermelhado a marrom e, por vezes verdes a amarelo pálido (quando alterada). Forma agregados ou apresenta-se como cristais individuais subédricos a anédricos de granulação fina a média e, comumente está associada a agregados de minerais máficos. Apresenta inclusões de apatita, allanita, epidoto<sub>1</sub>, quartzo, titanita, zircão e opacos, bem como, alteração em suas bordas e ao longo de seus planos de clivagem para os minerais do tipo: clorita, epidoto<sub>2</sub> e opacos. Geralmente, os cristais de biotita

apresentam-se fortemente alterados para clorita (Figura 12D). Comumente, apresentam-se bordejando opacos. Localmente, se tem também biotita<sub>2</sub>, provavelmente, produto de alteração de anfibólios, uma vez que se encontra bordejando cristais de anfibólios (Figura 12D).

O anfibólio, do tipo hornblenda, exhibe formas geralmente subédricas a anédricas, granulação variando de fina a média e pleocroísmo castanho claro a verde. Apresenta-se fortemente alterado para clorita e também para biotita<sub>2</sub> e, exhibe geminação simples. Estão comumente formando agregados máficos, juntamente com biotita, epidoto, allanita, titanita e opacos (Figura 12D).

A titanita ocorre em duas formas distintas: titanita<sub>1</sub>: considerada primária, apresenta-se de forma euédrica e subédrica, em contato retilíneo com minerais adjacentes (Figura 12D) e possui inclusões de opacos. Localmente, mostra-se fraturada e com zoneamento concêntrico; e titanita<sub>2</sub>: representa a fase secundária, exhibe forma anédrica e ocorre também bordejando os minerais opacos.

A apatita apresenta-se de forma euédrica a subédrica, em formato hexagonal e também formato prismático. Usualmente, encontra-se associada aos minerais máficos e/ou inclusa nos feldspatos, biotita e anfibólio.

O epidoto<sub>1</sub> ocorre de forma euédrica a subédrica e está associado aos minerais máficos e opacos. O epidoto<sub>2</sub> são minerais produtos da saussuritização do plagioclásio.

Os cristais de allanita são predominantemente subédricos e localmente euédricos. Apresenta zoneamento concêntrico e estão associados às fases máficas.

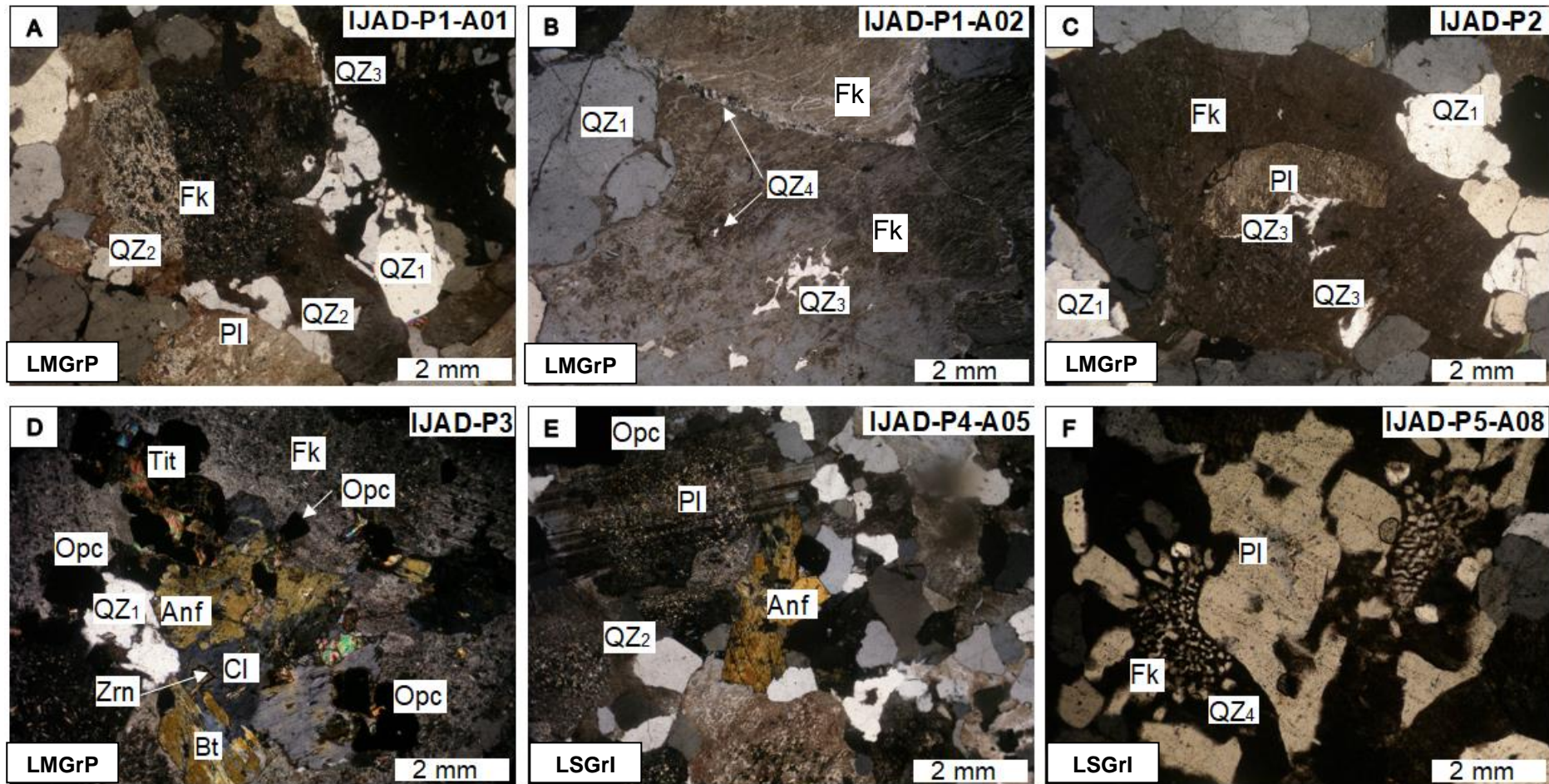
O zircão, sob forma prismática, mostra-se como finos cristais euédricos, com zoneamento concêntrico e, observado predominantemente em associação com os minerais máficos e comumente inclusos na biotita, anfibólio e opacos (Figura 12D).

A fluorita aparece preenchendo os espaços intergranulares, exhibe forma anédrica, possui fraturas e está comumente associada aos minerais máficos.

A clorita ocorre como produto de alteração do anfibólio e biotita. Por vezes são vistos pseudomorfismos dos minerais alterados.

Os opacos exibem, em geral, forma subédrica. Associa-se aos minerais máficos, mas também estão inclusos nos feldspatos ou preenchendo as fraturas destes. Apresentam contatos tipo reto com quartzo, feldspato alcalino e plagioclásio.

Figura 12 - aspectos mineralógicos do LMGrP e LSGrI. A – cristal de feldspato alcalino com geminação carlsbad e sofrendo alteração para argilominerais; B – feldspato potássico com exsolução perítica com cristais de Quartzoz3 nas fraturas e Quartzoz4 nas bordas; C – cristal de plagioclásio envolto no feldspato alcalino, caracterizando textura anti-rapakivi; D – anfibólio bordejado por clorita e biotita; E - anfibólio com clivagem em duas direções, Quartzoz1 ao redor e plagioclásio sofrendo alteração saussuritização com geminação Albita; F – textura granofírica.



Fonte: autor (2022).

## 4 CONCLUSÃO

O Granito Tipo-A Indiferenciado varia de sienogranito a monzogranito, de caráter isotrópico e hololeucocrático (índice de máficos <6 %). Apresenta textura inequigranular (média a grossa) à porfirítica. Foram discriminadas duas diferentes fácies: Leucomonzogranito porfirítico (LMGrP) Leucosienogranito inequigranular (LSGrI), sendo a fácies LMGrP mais representativa quantitativamente.

Em termos de imagens aerogeofísicas, mais precisamente as imagens aerogamaespectrométricas em fusão com imagens SRTM permitiram a abordagem sobre a delimitação do corpo granítico. As imagens geradas possibilitaram verificar as variações das respostas radiométricas com alto, médio e baixo valor de K, Th e U. As rochas apresentaram assinatura composta por altos teores gamaespectrométricos. Como estas rochas possuem um alto teor de álcalis, o K apresentou maior teor e ocorre concentrado no *stock*. Diferentemente do K, U e Th ocorrem no corpo granítico de forma disseminada. Sendo assim, a respostas radiométricas obtidas neste trabalho está diretamente relacionada com a composição química e mineralógica das rochas.

A correlação destes dados gamaespectrométricos integrados à geologia fora muito eficaz, pois apesar da pouca penetrabilidade, a gamaespectrometria mostrou-se uma ferramenta muito útil para caracterização dos granitos indiferenciados tipo-A, além de diferenciar de suas encaixantes, delimitando o *stock* granítico com maior precisão. Nesse sentido, ainda que de forma limitada, dada a quantidade amostrada devido a problemas logísticos e financeiros, foi possível estabelecer uma diferença faciológica dentro do corpo granítico, ainda não observada por trabalhos anteriores. Tal diferença pode estar relacionada a evolução magmática do corpo graníticos ou então a pulsos magmáticos diferente que podem ter contribuído para a formação deste granito. Nesse sentido, apesar das já relevantes contribuições deste trabalho, ainda há a necessidade de se aprofundar o conhecimento neste granito, com um mapeamento mais adequado e estudos que possam determinar a natureza do seu magmatismo, com dados de química mineral, dados geocronológicos mais precisos, dados isotópicos, entre outros.



## REFERÊNCIAS

- AITKEN, M.J. **Thermoluminescence dating**. London, Academic, 1985. 359 p.
- ALMEIDA, F.F.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B.; FUCK, R.A. 1981. Brazilian structural provinces: an introduction. **Earth Science Review**, 17: 1-19.
- ALMEIDA, F. F. M.; BRITO NEVES, B. B.; CARNEIRO, C. D. R. The origin and evolution of the South American Plataform. **Earth Science Reviews**, v. 50, p. 77-111, 2000.
- ANDERSON, J. Lawford; BENDER, E. Erik. Nature and origin of Proterozoic A-type granitic magmatism in the southwestern United States of America. **Lithos**, v. 23, n. 1-2, p. 19-52, 1989.
- BARBARIN, Bernard. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments. **Lithos**, v. 46, n.3, p. 605-626, 1999.
- BONIN, Bernard. A-type granites and related rocks: evolution of a concept, problems and prospects. **Lithos**, v. 97, n. 1-2, p. 1-29, 2007.
- BLUM M.L.B., 1999. **Processamento e Interpretação de Dados de Geofísica Aérea no Brasil Central e sua Aplicação à Geologia Regional e à Prospecção Mineral**. 229 f. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília.
- COLLINS, W.J., Beams, S. D., White, A. J. R., Chappell, B. W. Nature and origin of A-type granites with particular reference to Southeastern Australia. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v.80, n.2, p. 189-200, 1982.
- CHAPPELL, B. W.; WHITE, A. J. R. Two contrasting types of granites. **Pacific Geology**, 8: 113, v. 114, 1974.
- DALL'AGNOL, Roberto; DE OLIVEIRA, Davis Carvalho. Oxidized, magnetite-series, rapakivi-type granites of Carajás, Brazil: implications for classification and petrogenesis of A-type granites. **Lithos**, v. 93, n. 3-4, p. 215-233, 2007.
- DALL'AGNOL, R., Frost, C.D., RĂMÖ, O.T., 2012. IGCP Project 510 "A-type granites and related rocks through time": project vita, results, and contribution to granite research. **Lithos** 151, 1–16.

DICKSON, B. L.; SCOTT, K. M. Interpretation of aerial gamma-ray surveys-adding the geochemical factors. **AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics**, v. 17, n. 2, p. 187-200, 1997.

EBY G. Nelson. Chemical Subdivision of the A-type Granitoids: Petrogenetic and Tectonic Implications. **Geology**, v. 20, n.7, p. 641-644, 1992.

FROST, Carol D.; FROST, B. Ronald. On ferroan (A-type) granitoids: their compositional variability and modes of origin. **Journal of petrology**, v. 52, n. 1, p. 39-53, 2011.

HASUI, Yociteru; ALMEIDA, F.F.M de. The Central Brazil Shield reviewed. **Episodes**, v.8, p. 29-37, 1985.

ISHIHARA, Shunso. The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. **Mining geology**, v. 27, n. 145, p. 293-305, 1977.

LE MAITRE, R. W. **Igneous rocks: a classification and glossary of terms: recommendations of the IUGS, Subcommission on the Systematics of Igneous rocks**. University Press, 2002.

LOISELLE, M. C. & Wones, D.R. Characteristics and origin of anorogenic granites. In: Geological **Society of America Abstracts with Programs**. 1979. v. 11, p. 468.

MARTINS, Ruy Célio; ARAÚJO, Orlando José Barros de. Projeto de integração geológico-geofísica sul do Pará: Relatório Final. Belém. CPRM/DNPM. rochas pré-cambrianas na bacia do médio Rio Xingu – Altamira-PA. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE GEOLOGIA, 7. 1979, Belém. **Anais [...]** SBG, 1979. v.1, p.363-377.

NOBRE, Jeniffer Alves. **Interpretação paleodeposicional das formações Poti e Cabeças com base em dados gamaespectrais, obtidos em amostras de calha de poços da área do Parque dos Gaviões, Bacia do Parnaíba**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geofísica) – Universidade Federal Fluminense, Niterói.

PEARCE, J.A., Harris, N.B.W., Tindle, A.G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. **J. Petrol.** 25, 956–983, 1984.

QIU, Jian-Sheng *et al.* Two subgroups of A-type granites in the coastal area of Zhejiang and Fujian Provinces, SE China: age and geochemical constraints on their petrogenesis. **Geological Society of America Special Papers**, v. 389, p. 227-236, 2005.

RIBEIRO, Vanessa Biondo, MANTOVANI, Marta S.M., LOURO Vinicius Hector Abud. Aerogamaespectrometria e suas aplicações no mapeamento geológico. **Terræ Didática**, v. 10, n. 1, p. 29-51, 2013.

SANTOS, Hans S.; GONÇALVES, Mônica E.; GOMES, Ariana P. Características da Radioatividade Natural do Município de Macaé. **Revista de Engenharias da Faculdade Salesiana**, n. 1, p. 11-20, 2014.

SANTOS, J.O.S. Geotectônica dos Escudos da Guiana e Brasil Central. In: L.A. Bizzi, C. Schobbenhaus, R.M. Vidotti, J.H. Gonçalves (Eds.) **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil. Texto, mapas e SIG**. CPRM - Serviço Geológico do Brasil, v. 4, p. 169-226, 2003.

SANTOS, J.O.S. *et al.*, New understanding of the Amazon Craton provinces, based on field work and radiogenic isotope data. **Gondwana Research**, v. 3, n. 4, p. 453-488, 2000.

SEMBLANO, Flávio Robson Dias *et al.* **Novos dados geológicos e isotópicos para o Domínio Iriri-Xingu, Província Amazônia Central: implicações para a idade do Grupo Iriri**. Geologia USP. Série Científica, v. 16, n. 3, p. 19-38, 2016.

Shieves, R. B. K., Charbonneau, B. W., Ford, K. L., 1997. The detection of potassic alteration by gamma-ray spectrometry-recognition of alteration related to mineralization. In Proceedings of Exploration 97: **Fourth Decennial International Conference on Mineral Exploration**. Edited by A. G. G. Gugins, p.741-752

STRECKEISEN, A. *et al.* To each plutonic rock its proper name. **Earth Science Reviews**, v.12, p. 1-33, 1976.

TASSINARI, Colombo Celso Gaeta. **O mapa geocronológico do Cráton Amazônico no Brasil**: revisão dos dados isotópicos. 1996. 257 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

TASSINARI, C.C.G. & Macambira, M.J.B. Geochronological provinces of the Amazonian Craton. **Episodes**, v.22, p.174-182, 1999.

TASSINARI, C. C. G.; BETTENCOURT, J. S.; GERALDES, M. C.; MACAMBIRA, M. J. B.; LAFON, J. M. The Amazonian cráton. In: CORDANI, U. G.; MILANI,

E. J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D. A. (eds.) **Tectonic evolution of South America**. Rio de Janeiro, s.n. p. 41-95, 2000.

TASSINARI C.C.G. & Macambira M.J.B. **Evolução tectônica do Cráton Amazônico**. In: Mantesso-Neto V., Bartorelli A., Carneiro C.D.R., Brito Neves B.B. (Org.). *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de F.F.M. de Almeida*. São Paulo, BECA. p. 471–486, 2004.

VASCONCELLOS, R.M. *et al.*, **Geofísica em Levantamentos Geológicos**. Rio de Janeiro: CPRM. p 165. 1994

VASQUEZ, M. L.; ROSA-COSTA, L. T.; SILVA, C. M. G.; KLEIN, E. L. **Compartimentação Tectônica**. In: **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará**: Sistema de Informações Geográficas – SIG: texto explicativo dos mapas Geológico e Tectônico e de Recursos Minerais do Estado do Pará. Escala 1:1.000.000. Belém: CPRM, 2008.

WILFORD, J. R; Bierwith, P. N; Craig, M. A. Application of airborne gamma-ray spectrometry in soil/regolith mapping and applied geomorphology. **AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics**. v 17: 201-216, 1997.

WHALEN, Joseph B.; CURRIE, Kenneth L.; CHAPPELL, Bruce W. A-type granites: **geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis**. *Contributions to mineralogy and petrology*, v. 95, n. 4, p. 407-419, 1987.