



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**  
**FACULDADE DE GEOLOGIA**

---

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – TCC**

**GEOLOGIA E PETROGRAFIA DO EMBASAMENTO TTG DAS  
ÁREAS DE TUCUMÃ E OURILÂNDIA DO NORTE, PROVÍNCIA  
CARAJÁS - PA**

**Trabalho de conclusão de curso apresentado por:**

**ANA CAROLINA MENDES DA SILVA**

**Orientador: Prof. Dr. Davis Carvalho de Oliveira (IG/UFPA)**

---

**BELÉM, PARÁ**  
**FEVEREIRO/2023**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**  
**FACULDADE DE GEOLOGIA**

---

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – TCC**

**GEOLOGIA E PETROGRAFIA DO EMBASAMENTO TTG DAS  
ÁREAS DE TUCUMÃ E OURILÂNDIA DO NORTE, PROVÍNCIA  
CARAJÁS - PA**

**Trabalho de conclusão de curso apresentado por:**

**ANA CAROLINA MENDES DA SILVA**

**Orientador: Prof. Dr. Davis Carvalho de Oliveira (IG/UFPA)**

---

**BELÉM, PA**  
**FEVEREIRO/2023**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará**

Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

S586g Silva, Ana Carolina Mendes da.  
Geologia e petrografia do embasamento TTG das áreas de  
Tucumã e Ourilândia do Norte, Província Carajás - PA. / Ana  
Carolina Mendes da Silva. — 2023.  
xv, 48 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Davis Carvalho de Oliveira Trabalho de  
Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade  
Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia,  
Belém, 2023.

1. Rochas Ígneas. 2. TTG. 3. Mesoarqueano. 4. Sapucaia.  
5. Província Carajás. I. Título.

CDD 552.1

---



**Universidade Federal do Pará  
Instituto de Geociências  
Faculdade de Geologia**

**GEOLOGIA E PETROGRAFIA DO EMBASAMENTO TTG DAS  
ÁREAS DE TUCUMÃ E OURILÂNDIA DO NORTE, PROVÍNCIA  
CARAJÁS - PA**

**Trabalho de conclusão de curso apresentado por**

**ANA CAROLINA MENDES DA SILVA**

**Como requisito para obtenção do Grau de Bacharel em Geologia, linha de pesquisa  
Petrologia**

**Data de aprovação: 24/02/2023**

Banca Examinadora

---

Prof. Dr. Davis Carvalho de Oliveira  
(Orientador – UFPA)

---

Prof. Dr. Bhrenno Marangoanha  
(Avaliador – UFPA)

---

Msc. Luana Camile Silva  
(Avaliador Externo)

*Dedico este trabalho às pessoas  
mais especiais que a vida poderia me dar,  
minha família.*

## AGRADECIMENTOS

Início meus agradecimentos aos meus familiares, que desempenharam um papel extremamente importante me apoiando e incentivando em todos os momentos e dificuldades. Graças ao apoio e todo o amor investidos a mim ao longo dos anos, estou podendo finalizar mais esse ciclo.

Agradeço, em especial, aos meus pais Silvia Mendes e Walter Silva por todo o apoio, educação e incentivo ao longo dos anos, além de todo o amor e carinho, principalmente nos momentos difíceis.

À minha avó (Flaviana Mendes), que desde o princípio não mediu esforços para me ajudar a chegar até o fim, sempre me mimando nas visitas à sua casa, mesmo quando, durante o cursinho e a graduação, elas ficaram menos frequentes.

Aos meus tios, que sempre estiveram presentes, mesmo quando a distância se fez como obstáculo. Agradeço em especial aos meus tios/padrinhos Dinho (José Mendes), Baia (Maura Mendes) e Tia Lu (Luciana Reis), que impulsionaram meu aprendizado e confiaram todos os seus votos no meu sucesso acadêmico e ainda continuam acreditando no meu potencial profissional.

Aos meus primos, pelos momentos de descontração. Em especial à Dodó (Isadora Reis) e ao Junior (Otávio Mendes), pelo apoio, fofocas e carinho.

Aos meus amigos de infância que sempre acreditaram em mim, particularmente às minhas melhores amigas Alana, Bárbara e Débora por não desistirem da nossa amizade mesmo quando eu fiquei distante.

Aos meus amigos da graduação, por todo o companheirismo e ajuda ao longo desses anos, em especial ao meu trio Sara Braga e Mayara Raiol, pelo apoio e amizade durante o campo que me permitiu a realização desse trabalho e aos meus amigos Sarah Miranda e Heron Bezerra, que dividiram comigo as angústias dessa reta final. Em especial, também, ao meu amigo/namorado, Marcos Saldanha que dividiu comigo, desde o início da graduação, os anseios, realizações, além dos momentos de alegria e tristeza, sempre com muito amor.

À Universidade Federal do Pará (UFPA, ao Instituto de Geociências (IG) e à Faculdade de Geologia (FAGEO) pela oportunidade e infraestrutura oferecidas ao longo da graduação.

Ao meu orientador Prof<sup>o</sup> Davis Carvalho de Oliveira pela oportunidade de realizar esse trabalho, pelos ensinamentos e orientações e, principalmente, pela paciência.

Ao Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitoides (GPPG), do IG/UFGA, pelo suporte, discussões e concessão de dados para a realização desta pesquisa. Em especial ao Mestrando Yury Reis, por todo o apoio, ajuda e tempo dedicados à elaboração desse trabalho.

Por fim, concluo os agradecimentos sendo grata a todos que me ajudaram de maneira direta e indireta. Sem o amparo de vocês, nada disso seria possível.

*“Sempre vai ser uma batalha difícil e às vezes eu vou ter que perder. Não é sobre o quão rápido eu chego lá, nem sobre o que está esperando do outro lado. É sobre a escalada.”*

*(The Climb - Miley Cyrus)*

## RESUMO

A Província Carajás vem sendo alvo de diversos estudos que buscam entender sua configuração atual. A proposta desse trabalho não é diferente, e tem como objetivo a individualização de granitoides de afinidade TTG, inicialmente inseridos no contexto geológico do Complexo Xingu, a partir da elaboração de um mapa geológico em escala de semidetalhe de uma área localizada a norte das cidades de Tucumã e Ourilândia, porção centro-oeste da província. Os dados obtidos durante o mapeamento geológico, aliado aos estudos petrográficos, permitiram identificar a ocorrência de três variedades de granitoides: ( $\pm$ anfíbólio)-biotita-tonalito, biotita-trondhjemitito e biotita-granodiorito. Os aspectos estruturais da área aflorante deste granitoides são coincidentes com o *trend* regional, predominantemente NE-SW com inflexões para E-W, como resultado da instalação de zonas de cisalhamento do Cinturão Itacaiúnas. O epidoto magmático é um mineral acessório bastante frequentes nestas rochas, em especial nas variedades tonalíticas portadoras de anfíbólio, seguido por zircão allanita e minerais opacos. Estes granitoides preservam ainda a textura granular hipidiomórfica original e alguns aspectos deformacionais que apontam que essas rochas atingiram temperaturas de deformação acima de 600°C, como feições de *bulging* (BLG) até a redução da área do contorno de grão (GBAR). Em geral, tais granitoides mostram afinidades composicionais e texturais com outras importantes litologias já estudadas na província: Tonalito Arco Verde, Trondhjemitito Mogno, Tonalito Mariazinha, Tonalito Caracol, Trondhjemitito Água Fria, Tonalito São Carlos e os TTGs de Água Azul do Norte. Além disso, dados geocronológicos disponíveis na literatura apontam que as rochas estudadas representam o magmatismo TTG ocorrido entre 2,97 e 3,0 Ga, e que as evidências de migmatização (metamorfismo da fácies anfíbólito) nas mesmas sugerem que esta porção da província represente a extensão para oeste do que fora definido para o Terreno Sapucaia.

**Palavras-chave:** rochas ígneas; TTG; Mesoarqueano; Sapucaia; Província Carajás.

## ABSTRACT

The Carajás Province has been the target of several studies that seek to understand its current configuration. The purpose of this work is no different, and aims at the individualization of TTG affinity granitoids, initially inserted in the geological context of the Xingu Complex, based on the elaboration of a semi-detail scale geological map of an area located in the north of the Tucumã and Ourilândia cities, in the center-west portion of the province. The data obtained during geological mapping, combined with petrographic studies and modal analysis data, allowed identifying the occurrence of three types of granitoids:  $\pm$ amphibole-biotite-tonalite, biotite-trondhjemite and biotite-granodiorite. The structural aspects of the outcropping area of these granitoids coincide with the regional trend, which is predominantly NE-SW with inflections towards E-W, as a result of the installation of shear zones in the Itacaiúnas Belt. The magmatic epidote is a very frequent accessory mineral in these rocks, especially in the amphibole-bearing tonalite variety, followed by zircon, allanite and opaque minerals. These granitoids still preserve the original hypidiomorphic granular texture and some deformational aspects that indicate that these rocks reached deformation temperatures above 600°C, such as bulging features (BLG) until the reduction of the grain boundary area (GBAR). In general, such granitoids show compositional and textural affinities with other important lithologies already studied in the province: Arco Verde, Mariazinha, São Carlos and Caracol tonalites, Mogno and Água Fria trondhjemites, and the TTGs from Água Azul do Norte. In addition, geochronological data available in the literature indicate that the studied rocks represent the TTG magmatism that occurred between 2.97 and 3.0 Ga, and that their evidence of migmatization (metamorphism of the amphibolite facies) suggest that this portion of the province represents the westward extension of what had been defined for the Sapucaia Terrain.

**Keywords:** igneous rocks; TTG; Mesoarchean; Sapucaia; Carajás Province.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo, com as principais vias de acesso. .... 3
- Figura 2 - Mapa de pontos da área de estudo, indicando os pontos amostrados e com lâmina. 7
- Figura 3 - Províncias Minerais do Cráton Amazônico. (A) Cráton Amazônico destacado na Plataforma Sul-Americana. (B) Localização e limites das províncias do Cráton Amazônico. Adaptado de Santos (2003). .... 8
- Figura 4 - Mapa Geológico regional da Província Carajás, nova redefinição dos domínios (Oliveira *et al.* 2022). .... 9
- Figura 5 - Mapa Geológico da área de estudo, localizada na porção norte das cidades de Tucumã e Ourilândia do Norte (Adaptado de Reis – em preparação). (a) Mapa geológico das rochas de afinidade TTG da área de estudo mostrando sua interação com as outras rochas identificadas. (b-d) Imagens aerogeofísicas da área de estudo com suas respectivas interpretações, sendo em (b) a primeira derivada (1Dz), em (c) a composição ternária (KThU) e em (d) o canal do tório (eTh) (e) Estereogramas de polos das foliações magmáticas obtidas. Datações obtidas pelos métodos de Pb-Pb TIMS em zircão (Avelar *et al.* 1999) e U-Pb SHRIMP em zircão para 3046 Ma e LA-MC-ICPMS em zircão para a idade de 3037 Ma (Reis em preparação)..... 25
- Figura 6 – Visão geral dos afloramentos estudados. Forma em lajedos de grandes extensões, cortados por granitos mais novos, veios pegmatíticos quarto feldspáticos e variações de fácies de Ep-Bt-Tonalito de granulação média a grossa e Bt-Trondhjemitico fino. .... 27
- Figura 7 - Mosaico de imagens evidenciando algumas relações de campo identificadas. (a) Contato entre duas variedades de TTGs descritas; (b) Contato de duas variedades de TTG em contato com leucomonzogranito; (c) Enclave de TTG em um bloco de Leucomonzogranito, indicando que essa rocha é posterior e veio pegmatítico mais novo, cortando o leucomonzogranito; (d) Variação tonalítica cortada por veio leucogranítico; (e) Tonalitos sendo cortados por veios pegmatíticos mais novos. .... 28
- Figura 8 - Exemplos de feições estruturais identificadas em campo. (a) Bloco apresentando dobras poliharmônicas, evidenciadas pelo bandamento composicional. (b) Dobras desarmônicas, também destacadas pelo bandamento composicional. (c) Afloramento em lajedado apresentando bandamento composicional - gnáissico. (d) Visão de detalhe em dobras harmônicas. (e) Bandamento composicional e fraturas. (f,g) Destaque para evidências de migmatização das rochas onde em (f) observa-se o leucossoma e o melanossoma e em (g) destaca-se o paleossoma..... 29

- Figura 9 – Diagrama de análises modais Q-A-P (Le Maitre 2002) e Q-A+P-M com os granitoides estudados da região de Tucumã e Ourilândia do Norte. Legenda: Q - quartzo; A – álcali feldspato; P – plagioclásio; M – minerais máficos..... 33
- Figura 10 - Aspectos texturais macroscópicos das rochas estudadas. **Bt-Trondhjemitos**: (a) Rocha cinza, granulação média a fina, e uma faixa de minerais félsicos, indicando possível bandamento composicional. (b) Rocha cinza escuro, granulação fina, com microveio pegmatítico. (c) Rocha de granulação grossa em vista de detalhe para o arranjo mineralógico. **Bt±Anf -Tonalitos**: (d) Rocha cinza escuro de granulação grossa, evidenciando porções mais máficas. (e) Rocha cinza claro de granulação grossa, com uma faixa de minerais félsicos. (f) Rocha cinza claro com leve orientação dos minerais. (g) Aspecto geral da disposição dos minerais em uma rocha de granulação grossa. (h) Minerais levemente orientados. (i) Rocha cinza claro com pequenas porções mais máficas. **Bt-Granodiorito**: (j) Rocha cinza claro de granulação fina (visão geral). (k) Rocha de granulação grossa onde observa-se uma maior presença de minerais máficos. (l) Detalhe para a disposição dos minerais nessa fácies. .... 34
- Figura 11 – Aspectos texturais microscópicos das rochas estudadas. **Bt-Trondhjemito**: Rochas de granulação fina, onde destaca-se a presença de Bt1 e Ep1 (a) e o Plg1 sendo bordejado por Bt2 (b). **Bt±Anf -Tonalitos**: (c) Rocha equigranular em que observa-se a presença de Bt2, Qtz1, Plg1 e o Kf, em menor quantidade. (d) Rocha porfirítica, onde tem-se o Plg1 como pórfiros, por vezes rodeados pela Bt2. Em (e,f) destaca-se a presença da hornblenda em ambas as imagens, além da saussuritização do Plg (e) e da presença de Ep1 (f). **Bt-Granodiorito**: (g,h) Rochas de granulação grossa, sendo marcadas pela presença de Kf e Bt1 e 2. .... 35
- Figura 12 - Mosaico mostrando aspectos deformacionais gerais dos granitoides deste estudo com relação ao aumento de temperatura correlacionando com a taxa de deformação (*strain*), destacando as características de recristalização dinâmica observadas em cristais de quartzo, bem como cristais de feldspato (Plagioclásio e K-feldspato). a) predomina recristalização dinâmica BLG; b) predomina recristalização SGR pouca ocorrência de BLG; c) Predomina recristalização GBM; e) ocorre GBM e GBAR..... 38

- Figura 13 - Principais mecanismos e estruturas de recristalização (Passchier & Trouw 2005, Fossen 2012). (a) Os três principais tipos de recristalização dinâmica. A substância de um dos dois grandes cristais que recristalizaram é indicada por sombreamento, antes e durante a recristalização; (b) sob baixa temperatura, *bulging* se desenvolve quando dois cristais vizinhos têm densidades diferentes de deslocamento; (c) ilustração esquemática da evolução dos mecanismos de recuperação e recristalização por rotação de subgrãos; (d) ilustração esquemática do processo de redução da área dos contatos de cristais (Grain Boundary Area Reduction – GBAR) através do ajuste dos contatos e crescimento de cristais; (e) Relação entre temperatura dos mecanismos de deformação para diferentes fases minerais. As barras indicam as zonas de transição e o campo cinza representa o domínio de operação da deformação dúctil do cristal. .... 39
- Figura 14 – Aspectos microestruturais das rochas estudadas. (a) Evidências de deformação do tipo BLG e SGR em grãos de quartzo na fácies Bt-Granodiorito. (b) Matriz de quartzo com características de deformações do tipo SGR e BLG em Tonalitos. (c) Matriz com deformação SGR em Bt-Trondhjemitito. (d) Presença de quartzo com contatos interlobados (deformação GBM). (e,f) Destaque para microfraturas preenchidas por material da matriz. .... 40
- Figura 15 - Diagrama de análises modais Q-A-P (Le Maitre 2002) e Q-A+P-M com os granitoides estudados da região de Tucumã e Ourilândia do Norte em comparação com os TTGs da Província Carajás (Gabriel et al. 2010, Ronaib & Oliveira 2013, Silva et al. 2014, Santos et al. 2018, Machado et al. 2021). Legenda: Q - quartzo; A – álcali feldspato; P – plagioclásio; M – minerais máficos. .... 42

## SUMÁRIO

DEDICATÓRIA .....	iv
AGRADECIMENTOS.....	v
EPÍGRAFE.....	vii
RESUMO .....	viii
ABSTRACT .....	ix
LISTA DE ILUSTRAÇÕES .....	x
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 APRESENTAÇÃO.....	1
1.2 LOCALIZAÇÃO.....	3
1.3 JUSTIFICATIVA.....	3
1.4 OBJETIVOS .....	4
<b>2 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>5</b>
2.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.2 SENSORIAMENTO REMOTO E ANÁLISE AEROGEOFÍSICA .....	5
2.3 MAPEAMENTO GEOLÓGICO E GEOLOGIA ESTRUTURAL .....	6
2.4 PETROGRAFIA E MICROESTRUTURAL.....	6
<b>3 GEOLOGIA REGIONAL .....</b>	<b>8</b>
3.1 ESTRUTURAÇÃO DA PROVÍNCIA CARAJÁS.....	8
3.2 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS DO MESOARQUEANO .....	11
<b>3.2.1 Domínio Rio Maria .....</b>	<b>11</b>
3.2.1.1 Greenstones Belts .....	11
3.2.1.2 Magmatismo Máfico-ultramáfico.....	11
3.2.1.3 Magmatismo sódico.....	12
3.2.1.3.1 <i>Suíte Tonalito-Trondhjemítica Mogno</i> .....	12
3.2.1.3.2 <i>Suíte Granodiorítica Nova Canadá</i> .....	13
3.2.1.4 Magmatismo cálcico-alcálico .....	13

3.2.1.4.1	<i>Suíte Sanukitóide Rio Maria</i> .....	13
3.2.1.4.2	<i>Suíte Granodiorito-Granítica Guarantã</i> .....	14
3.2.1.4.3	<i>Suíte Granodiorito-Granítica Tucumã</i> .....	14
3.2.1.4.4	<i>Suíte Granítica Xinguara</i> .....	14
<b>3.2.2</b>	<b>Terreno Canaã dos Carajás</b> .....	<b>15</b>
3.2.2.1	Greenstone Belts.....	15
3.2.2.2	Magmatismo Sódico .....	15
3.2.2.2.1	<i>Complexo Xingu</i> .....	15
3.2.2.2.2	<i>Suíte Granulítica Chicrim-Cateté</i> .....	16
3.2.2.2.3	<i>Suíte Tonalítica São Carlos</i> .....	16
3.2.2.2.4	<i>Suíte Migmatítica Caracol</i> .....	17
3.2.2.2.5	<i>Suíte Trondhemítica Rio Verde</i> .....	17
3.2.2.2.6	<i>Suíte Sanukitóide Ourilândia</i> .....	17
3.2.2.2.7	<i>Suíte Granítica Canaã dos Carajás</i> .....	18
<b>3.2.3</b>	<b>Terreno Sapucaia</b> .....	<b>19</b>
3.2.3.1	Greenstone Belts.....	19
3.2.3.2	Magmatismo máfico-ultramáfico .....	19
3.2.3.3	Magmatismo sódico.....	20
3.2.3.3.1	<i>Suíte Tonalítica São Carlos</i> .....	20
3.2.3.3.2	<i>Suíte Migmatítica Caracol</i> .....	20
3.2.3.3.3	<i>Suíte Trondhemítica Rio Verde</i> .....	20
3.2.3.3.4	<i>Suíte Granodiorítica Nova Canadá</i> .....	20
3.2.3.3.5	<i>Suíte Sanukitóide Água Limpa</i> .....	21
3.2.3.3.6	<i>Suíte Granítica Xinguara</i> .....	21
<b>4</b>	<b>GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<b>22</b>
4.1	ASPECTOS GERAIS .....	22
<b>5</b>	<b>PETROGRAFIA</b> .....	<b>30</b>

5.1	CLASSIFICAÇÃO E ASPECTOS TEXTURAIS .....	30
<b>6</b>	<b>DISCUSSÕES.....</b>	<b>36</b>
6.1	ASPECTOS DEFORMACIONAIS E MICROESTRUTURAL .....	36
6.2	COMPARAÇÕES COM OUTROS TTG's DA PROVÍNCIA CARAJÁS .....	41
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>43</b>
	REFERÊNCIAS .....	44

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 APRESENTAÇÃO

A Plataforma Sul-Americana ocupa a maior parte do continente, a qual é composta por rochas cristalinas e por coberturas sedimentares e vulcano-sedimentares fanerozóicas. O embasamento da plataforma é exposto em três escudos principais: Guianas, Brasil Central e o Atlântico (Almeida *et al.* 1976). Na porção norte da Plataforma, identifica-se o Cráton Amazônico, constituído pelos escudos pré-cambrianos das Guianas e Brasil Central (Almeida *et al.* 1976) compreendendo uma área de cerca de 4.400.000 km<sup>2</sup> que é parcialmente coberta por diversas bacias fanerozóicas e abriga a Província Carajás que representa seu principal núcleo arqueano (Santos 2003). Existem diversas propostas para a compartimentação do Cráton Amazônico e, neste trabalho, destaca-se a de Tassinari & Macambira (2004) que divide o cráton em seis províncias geocronológicas onde a região de Carajás é definida como um bloco arqueano inserido na Província Amazônia Central (2,5 Ga), e a de Santos (2003) que divide o cráton em sete províncias geocronológicas, e inclui a região de Carajás como uma província independente (Província Carajás - 3,0 a 2,5 Ga). Este último utiliza, ainda, a divisão da província em domínios Rio Maria e Carajás, que posteriormente Dall’Agnol *et al.* (2013) a subdividiu em três subdomínios caracterizados por diferentes litologias e delimitados por lineamentos regionais facilmente identificados em imagens aerogeofísicas. Neste trabalho, optou-se por utilizar a proposta de Santos (2003) em conjunto com a proposta de Dall’Agnol *et al.* (2013), a partir da reavaliação proposta por Oliveira *et al.* (2022).

A Província Carajás, considerada o maior núcleo arqueano preservado no Cráton Amazônico (Almeida *et al.* 1981), vem sendo alvo de diversas pesquisas nas últimas décadas devido ao seu enorme potencial metalogenético, e ocorrências de depósitos minerais (Araújo & Maia 1991, DOCEGEO 1988, Macambira & Vale 1997, Vasquez *et al.* 2008). Apesar da intensa atividade de pesquisa mineral, a província ainda permanece, em sua maior parte, com conhecimento geológico limitado a trabalhos de escala regional onde as unidades litoestratigráficas dominantes ainda estão associadas ao Complexo Xingu. Neste contexto, a porção centro-oeste da província está inserida na Folha São Felix do Xingu (SB.22-Y-B), que foi mapeada em escala de 1:250.000 pelo Serviço Geológico do Brasil durante a execução do relatório do Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (Macambira & Vale 1997). Mais recentemente Favacho (2021), atualizou o mapa geológico da Folha Rio Branco (1:100.000), que abrange as áreas de Tucumã e Ourilândia, onde identificou a ocorrência

expressiva de leucogranitos, tonalitos-trondhjemitos e gnaisses migmatizados do Complexo Xingu e rochas supracrustais do Grupo Tucumã, além de granitos lenticulares da Suíte Plaquê.

As informações litoestratigráficas integralizadas por Favacho (2021) sobre a geologia da Folha Rio Branco, a partir daquelas adquiridas durante a realização de atividades ligadas à Faculdade de Geologia e ao Programa de Pós-Graduação de Geologia e Geoquímica do IG-UFPA, mostram a existência de um domínio de ocorrência de rochas de afinidade TTG, e que haveria a necessidade de um estudo mais aprofundado sobre estas rochas. Neste trabalho, além de uma classificação petrográfica precisa, será dada ênfase aos seus aspectos texturais e deformacionais e o arcabouço estrutural a partir de um mapa geológico em escala de semidetalhe para a área, permitindo, assim, discutir o significado deste “núcleo” TTG no contexto tectônico da Província Carajás.

A presente proposta de trabalho encontra-se vinculada aos objetivos propostos pelo projeto “Origem e História Tectônica dos Granitoides Arqueanos do Domínio Carajás, SE do Cráton Amazônico” (CNPq No 28/2018 – processo 435552/2018-0) vinculado às atividades acadêmicas e de pesquisa desenvolvidas pelo Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitoides (PPGG) da UFPA. As rochas estudadas são alvo de investigação da dissertação do mestrando Yury Harrison da Costa Reis, que também encontra-se relacionado ao desenvolvimento da disciplina Mapeamento Geológico II da Faculdade de Geologia da UFPA, que permitiu a geração de um acervo significativo de dados geológicos nas áreas dos municípios de Tucumã e Ourilândia do Norte.

## 1.2 LOCALIZAÇÃO

A área de estudo (Figura 1) está localizada na porção sudeste do estado do Pará, apresentando aproximadamente 170 km<sup>2</sup> e abrange os municípios de Tucumã e Ourilândia do Norte. Esses municípios ficam a cerca de 900 Km da capital do estado, Belém e são limitados pelos municípios de São Félix do Xingu, Parauapebas, Água Azul do Norte, Bannach e Cumaru do Norte. A principal via de acesso à área de estudo se dá pela rodovia PA-279, e em seguida pelas estradas Vicinal Calça Amarela e Vicinal do Picadão.

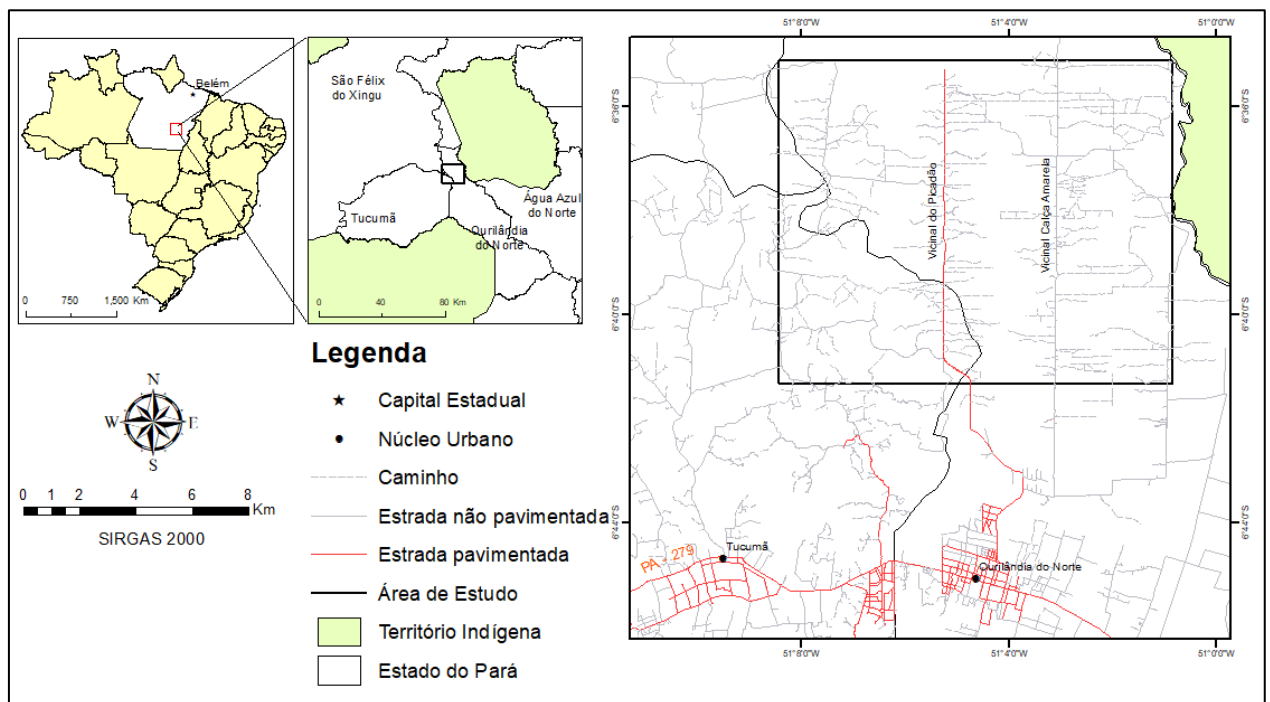


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo, com as principais vias de acesso.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

Os granitoides de afinidade TTG (tonalito-trondhjemito-granodiorito) são os principais componentes da crosta arqueana, e o estudo dessas rochas torna-se fundamental para o entendimento do regime tectônico e dos processos magmáticos atuantes no início da formação da crosta continental. A área de Tucumã – Ourilândia do Norte está localizada na porção centro-oeste da Província Carajás, e ainda é amplamente dominada por granitoides indiferenciados do Complexo Xingu. Dados recentemente obtidos em estudos de mapeamento geológico mostraram que as rochas deste complexo são passíveis de individualização (Favacho 2021), sendo que ainda existem pouca informação sobre os aspectos petrográficos e composicionais destas rochas, assim como sobre do padrão estrutural da área. Dessa forma, este trabalho, em cooperação com a disciplina de Mapeamento Geológico II da Faculdade de Geologia da Universidade Federal do Pará, visa contribuir para o avanço do conhecimento na Província

Carajás através da caracterização e individualização das rochas do tipo TTG da área de Tucumã - Ourilândia do Norte, a partir da elaboração de um mapa geológico de escala de semidetalhe (1:50.000), e a partir de uma discussão sobre os principais aspectos petrográficos destes granitoides e levantamento de dados estruturais da área.

#### 1.4 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo geral, contribuir para avanço do conhecimento da área de estudo, através da integração de dados coletados em trabalhos anteriores de mapeamento geológico e individualização dos corpos de afinidade TTG, até então mapeados como unidades indiferenciadas pertencentes ao Complexo Xingu. Para isso, é necessário atingir os seguintes objetivos específicos:

- Organizar o banco de dados pertencentes ao GPPG e integrar com aquele gerado na disciplina Mapeamento Geológico II da FAGEO-IG;
- Identificar e caracterizar as principais litologias de afinidade TTG inseridas no contexto geológico do Complexo Xingu;
- Reconhecer e levantar os principais contrastes estruturais das unidades estratigráficas que constituem a área selecionada para o estudo;
- Descrever, discutir e interpretar os dados geológicos obtidos a partir das etapas de campo;
- Elaborar um mapa geológico em escala de semidetalhe (1:50.000);

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo foi elaborado por meio de diversas etapas para a obtenção do produto final. A pesquisa bibliográfica foi realizada durante todo o desenvolvimento do trabalho e a petrografia em duas etapas; inicialmente com amostras provenientes do projeto PTU-2019 e, posterior ao mapeamento ocorrido em conjunto com o projeto PTU-2022. Paralelamente a isto foram utilizados dados de sensoriamento remoto.

### 2.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

A pesquisa bibliográfica serviu de base para a fundamentação teórica acerca do conhecimento geológico regional da Província Carajás. Esta abrangeu tanto trabalhos de escala regional desenvolvidos em áreas adjacentes à área de estudo, assim como artigos e livros que abordam temas relevantes para esta pesquisa. Esta etapa se deu de forma contínua ao longo das fases do desenvolvimento disciplina, onde também foram consultados trabalhos de conclusão de curso, dissertações, teses, e relatórios técnicos desenvolvidos na região de Tucumã e Ourilândia do Norte.

### 2.2 SENSORIAMENTO REMOTO E ANÁLISE AEROGEOFÍSICA

A aplicação de técnicas de sensoriamento remoto foi necessária no presente trabalho para auxiliar na interpretação litológica e, principalmente, estrutural da área. Foi necessário realizar extração de feições que foram aplicadas nos produtos cartográficos. O modelo digital de elevação que foi utilizado para fins de extração de drenagem e curvas de nível, foi adquirido a partir do satélite Advanced Land Observing Satellite - ALOS através do sensor Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar - PALSAR, no formato Hi-Res Terrain Corrected disponível no site da Alaska Satellite Facility.

Foram utilizadas imagens aerogeofísicas com o intuito de realizar uma fotoleitura para fins de extração de feições de lineamento e contornos estruturais. Tais imagens foram obtidas a partir da base de dados do Projeto aerogeofísico Oeste de Carajás (CPRM 2015), disponível no site do GeoSGB. Os levantamentos aerogeofísicos utilizados neste trabalho compreendem um espaçamento de linhas de voo de 500 m, e altura de voo de 100 m, sendo os dados coletados ao longo de linhas de direção N-S e E-W. Foram utilizados dados aerogamaespectrométricos e aeromagnetométricos, a partir dos quais foram obtidas imagens de MAG, KThU, K, eU, eTh, ASA, 1Dz, na escala de 1:150.000, onde foi realizada a interpretação individual de cada uma dessas imagens.

### 2.3 MAPEAMENTO GEOLÓGICO E GEOLOGIA ESTRUTURAL

A maioria das amostras usadas neste estudo pertencem ao acervo de rochas do GPPG (DJS-03, BRM-01A, NDA-11B, NDA-11A, LDW-102, NDP-58, BRM-25) provenientes do mapeamento de campo referente ao projeto PTU-2019 da disciplina de Mapeamento Geológico II (IG-UFPA) ocorrido em 2019. Um novo mapeamento foi realizado entre maio e junho de 2022, ainda vinculado à disciplina de MGII (PTU-22), no entorno dos municípios de Tucumã e Ourilândia do Norte, na escala de 1:50.000, para obtenção de novos dados e amostras.

Essa etapa permitiu a coleta de novos dados de campo e amostras de mão das unidades estudadas para estudos petrográficos e comparação com as amostras já estudadas, resultando no estudo de 64 afloramentos (Figura 2). Além disso, foi realizada a coleta de dados estruturais a fim de enriquecer o banco de dados e sanar algumas dúvidas ainda existentes. Para isso, buscou-se identificar as feições presentes em cada afloramento, como foliações, falhas, lineações e/ou dobras.

### 2.4 PETROGRAFIA E MICROESTRUTURAL

O estudo petrográfico consistiu em três etapas, iniciadas com a descrição das amostras de mão que permitiu uma classificação preliminar e separação das mesmas por litologia. Posteriormente, realizou-se a descrição de lâminas delgadas através de um microscópio petrográfico para a identificação mineralógica e textural, que foi utilizada para o refinamento da classificação e algumas observações microestruturais baseadas nos livros de Passchier & Trouw (2005) e Fossen (2012). Por fim, realizou-se análises modais em 35 lâminas, cada uma com contagem de 2.000 pontos distribuídos em uma malha de 0,4 mm de espaçamento, a partir de um contador automático Hardledge da marca Endeeper que permitiu a classificação final das amostras a partir dos critérios estabelecidos pela IUGS e ilustrados nos diagramas QAP e QAP-M (Le Maitre 2002).

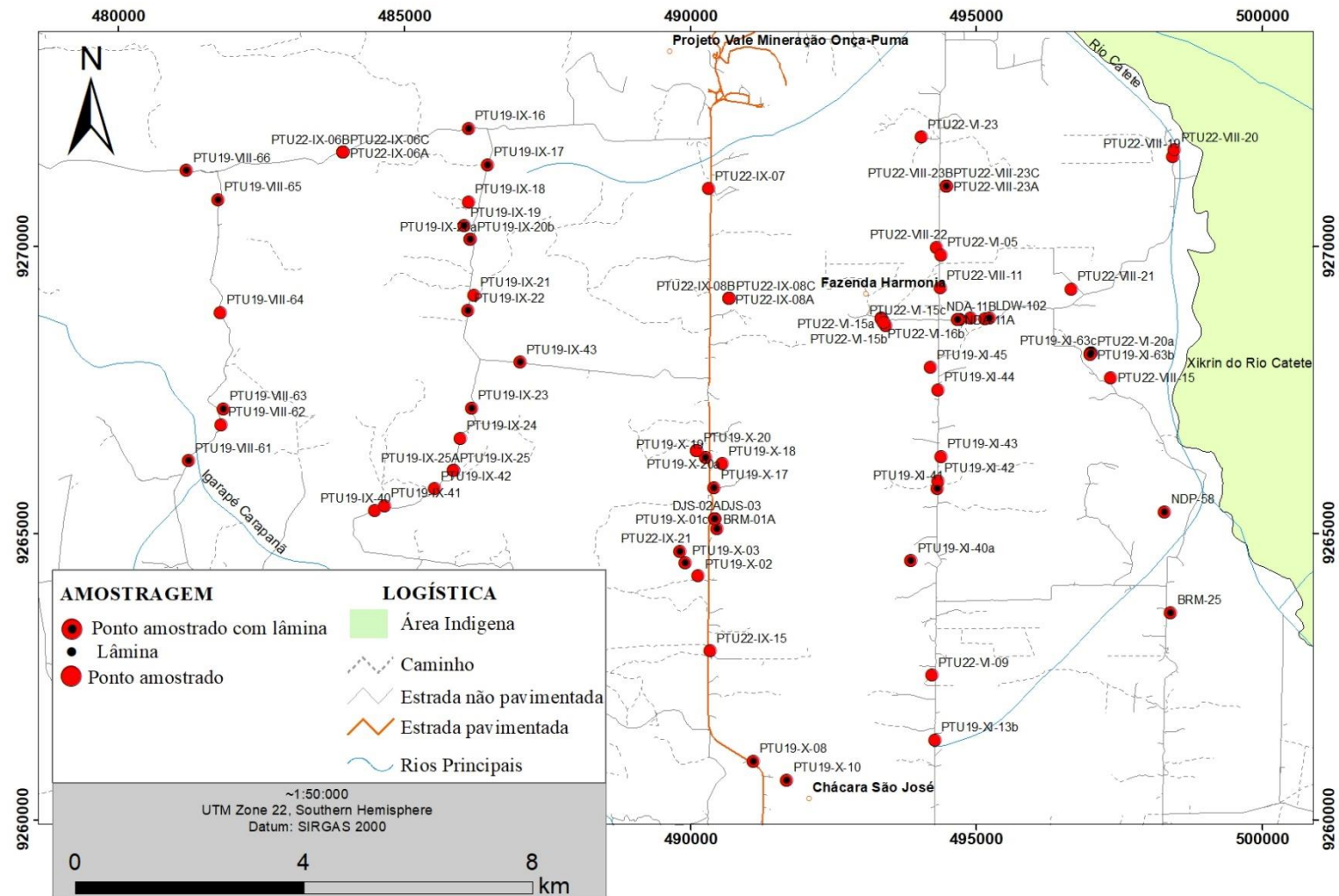


Figura 2 - Mapa de pontos da área de estudo, indicando os pontos amostrados e com lâmina.

### 3 GEOLOGIA REGIONAL

#### 3.1 ESTRUTURAÇÃO DA PROVÍNCIA CARAJÁS

A Província Carajás vem sendo alvo ao longo das últimas décadas de estudos que objetivam entender como essa porção do Cráton Amazônico atingiu sua configuração atual. Neste sentido, Santos *et al.* (2000) propuseram a separação da Província Carajás da Província Amazônia Central, com base em dados U-Pb em zircão que apontaram para uma idade mais antiga para a Província Carajás (3,02-2,55 Ga) em relação àquela da Província Amazônia Central (1,88-1,76 Ga). Essa proposta foi refinada, posteriormente, por Santos (2003) que propôs a divisão da Província Carajás em dois domínios distintos: à sul o Domínio Rio Maria (DRM) representando a porção mais antiga da referida província, com rochas datadas do mesoarqueano e ao norte, o Domínio Carajás (DC) formado por rochas meso- a neoarqueanas (Figura 3). Tassinari & Macambira (2004), por sua vez, apresentam a Província Carajás como o segmento crustal mais antigo da Província Amazônica Central. Nessa proposta, a Província Carajás é subdividida em 3 domínios tectônicos: ao norte tem-se o Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas, no centro o Terreno Granito-*Greenstone* Rio Maria e ao sul o Terreno Granito *Greenstone* de Inajá ou Cinturão de Cisalhamento Pau D'Arco (Costa *et al.* 1995). Mais recentemente, Dall'Agnol *et al.* (2013) mostraram que o Domínio Carajás não representaria uma crosta tectonicamente homogênea e, por isso, propuseram a subdivisão deste domínio em dois novos subdomínios: o Subdomínio Canaã dos Carajás (SDC) ao norte e oeste, e o Domínio Sapucaia (SDS) a sul/sudeste, ou Terreno Canaã dos Carajás e Terreno Sapucaia (Figura 4), segundo a proposta de Oliveira *et al.* (2022).

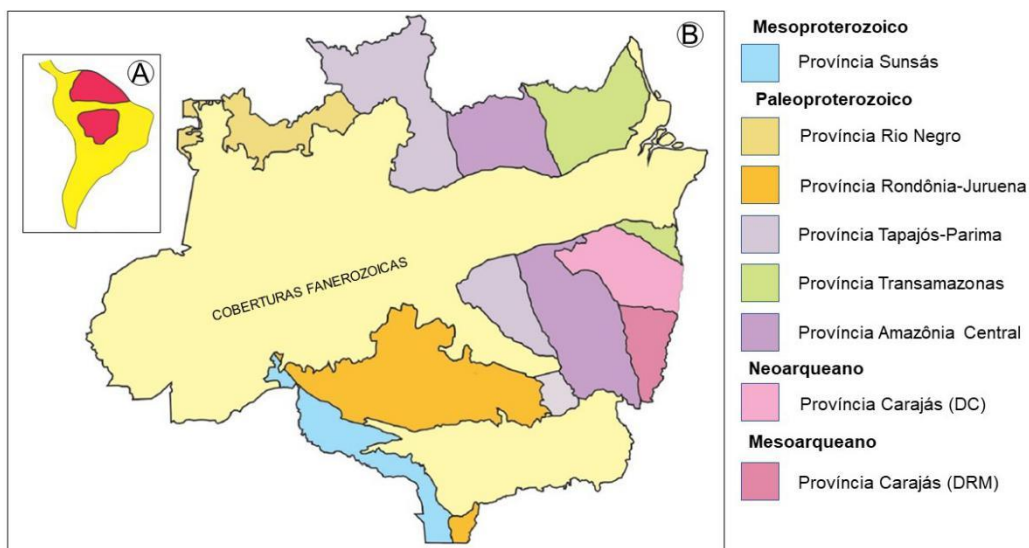


Figura 3 - Províncias Minerais do Cráton Amazônico. (A) Cráton Amazônico destacado na Plataforma Sul-Americana. (B) Localização e limites das províncias do Cráton Amazônico. Adaptado de Santos (2003).

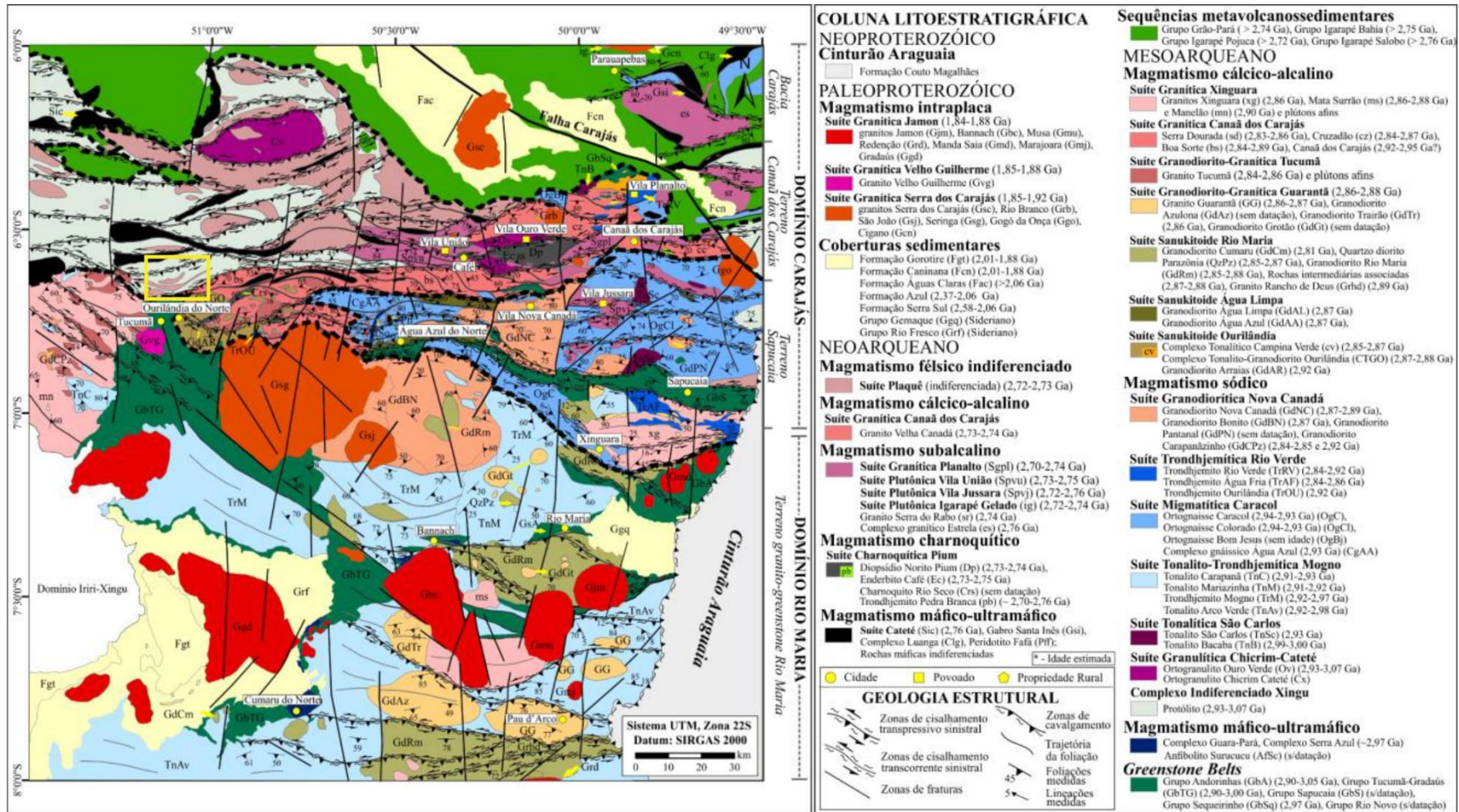


Figura 4 - Mapa Geológico regional da Província Carajás, nova redefinição dos domínios (Oliveira *et al.* 2022).

O DRM é caracterizado por uma crosta juvenil mesoarqueana composta por sequências tipo *greenstone belts*, granitoides tipos TTG ortognaisses que foram afetados por um magmatismo do tipo A ocorrido durante o Orosiriano (Costa *et al.* 2020). Já o DC é caracterizado por uma crosta continental que possui rochas tanto measo- quanto neoarqueanas, sendo composta por sequências metavulcanossedimentares, granitoides de alto K (Vasquez *et al.* 2008), rochas metamórficas de baixo a alto grau e intrusões bimodais que foram recobertas por bacias sedimentares proterozóicas (Costa *et al.* 2020) e, posteriormente, afetadas pelo mesmo magmatismo granítico tipo A orosiriano que afetou o DRM (Vasquez *et al.* 2008).

Dentro desse contexto, ressalta-se que as principais diferenças entre os domínios estão relacionadas aos seus eventos magmáticos. O DRM, por exemplo, não apresenta magmatismo neoarqueano, apenas magmatismo arqueano, até 2,87 Ga (Silva & Oliveira 2019), bem como não é observado a presença de granulitos. Outra diferença entre os domínios está relacionada ao embasamento onde, no DRM, a associação TTG não está associada ao processo de migmatização e por isso suas rochas não apresentam metamorfismo. Enquanto o DC é caracterizado por um embasamento migmatizado, composto por anfibolitos e núcleos granulíticos. O Terreno Sapucaia destaca-se por ser composto, essencialmente, por suítes TTG semelhantes ao DRM, entretanto apresenta feições de migmatização do final do mesoarqueano e é afetado por magmatismo sintectônico do neoarqueano (Oliveira *et al.* 2022).

Na porção do DC ocorrem, ainda, rochas vulcano-sedimentares depositadas no fim do neoarqueano e início do paleoproterozoico que compõem a Bacia Carajás (BC) distribuídas, do mais antigo para o mais novo, da seguinte forma: Grupo Grão Pará, Formação Serra Azul, Formação Azul, Formação Águas Claras, Formação Gorotire, Diques e Granito Carajás (Araújo 2020). A região da bacia é, ainda, cortada por diversos diques gabróicos e granitos anorogênicos tipo-A datados em 1.88 Ga (Machado *et al.* 1991, Teixeira *et al.* 2019), sendo o principal, o Granito Carajás que aflora no centro da bacia.

## 3.2 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS DO MESOARQUEANO

### 3.2.1 Domínio Rio Maria

#### 3.2.1.1 Greenstones Belts

Os *greenstone belts* da Província Carajás foram formados entre 3046 Ma e 2960 Ma e representam as litologias mais antigas do Cráton Amazônico. No Domínio Rio Maria essa unidade é representada pelos Grupos Andorinhas e Tucumã-Gradaús (Oliveira *et al.* 2022). As litologias que perfazem essas unidades possuem características geológicas, geoquímicas e geocronológicas similares, sendo constituídos por sequências máfica-ultramáficas na base, e metassedimentares do topo (CPRM 2021).

O **Grupo Andorinhas** é constituído pelas Formações Babaçu e Lagoa Seca, as unidades em questão ocorrem em faixas alongadas, que são orientadas para E-W a WNW-ESSE, e foram metamorfizadas em fácies xisto verde. A Formação Babaçu representa a porção basal do grupo, composta predominantemente por metabasaltos, enquanto a Formação Lagoa Seca compõe a porção superior da sequência, sendo constituída por rochas metassedimentares intercaladas com rochas metavulcânicas félsicas e máficas. De acordo com Souza *et al.* (2001), a unidade Babaçu apresenta idade Sm-Nd de  $3046 \pm 32$  Ma. Com base nos resultados de datações U-Pb em zircão realizadas em rochas metavulcânicas ácidas, foi atribuída uma idade de para a unidade Lagoa Seca (Pimentel & Machado 1994). O **Grupo Tucumã-Gradaús** é composto pelas Formações Igarapé do Cuca, Igarapé Abelha e Igarapé da Pista, suas litologias ocorrem como faixas orientadas nas direções WNW-ESSE e NE-SW (CPRM 2021). A Formação Igarapé do Cuca é predominantemente formada por rochas metamáficas, a unidade Abelha constitui-se de metatufos líticos, metadacitos, e a Formação Igarapé Pista é composta predominantemente por Filitos, biotita xistos, clorita-quartzo xistos, biotita-muscovita xistos, metarenitos líticos, metarcóseos, BIF, metagrauvacas, metaconglomerados (Macambira & Vale 1997). Avelar *et al.* (1999) dataram a unidade, pelo método Pb-Pb em zircão, e obtiveram uma idade de  $2868 \pm 8$  Ma.

#### 3.2.1.2 Magmatismo Máfico-ultramáfico

O **Complexo Serra Azul** ocorre na porção basal do flanco leste da estrutura de Gradaús, este é constituído litologicamente por dunitos cumulados, piroxenitos, peridotitos, gabros e anortositos (DOCEGEO 1988). De acordo com Pimentel & Machado (1994), esse corpo intrusivo apresenta uma idade de cristalização de  $2970 \pm 7$  Ma, obtida através do método U-Pb em zircão. Já o **Complexo Guara-Pará** é representado por intrusões que ocorrem no flanco

sudeste da Serra dos Gradaús. Essa unidade compreende principalmente olivina gabros, tendo diques de diabásio e microgabros como prováveis correspondentes hipoabissais que ocorrem na região dos garimpos do Cumaru e Macedônia. As litologias ultramáficas representantes dessa unidade compreendem dunitos e peridotitos serpentinizados (Santos & Leonardos 1995). A unidade em questão é correlacionável ao Complexo Serra Azul, logo, admite-se para a mesma uma idade de cristalização de  $2970 \pm 7$  Ma.

### 3.2.1.3 Magmatismo sódico

#### 3.2.1.3.1 *Suíte Tonalito-Trondhjemítica Mogno*

As rochas aflorantes do **Trondhjemito Mogno** geralmente apresentam-se bastante deformadas e fortemente bandadas, onde seus bandamentos e foliações são orientados nas direções E-W e NW-SE, que coincide com as direções dominantes no Terreno granito-greenstone de Rio Maria. Almeida *et al.* (2011) datou essas rochas pelo método U-Pb LA-ICP-MS e por Pb-Pb TIMS em zircões, obtendo  $2961 \pm 16$  Ma e  $2959 \pm 5$  Ma, respectivamente. O **Tonalito Mariazinha** caracteriza-se como uma associação TTG moderadamente deformada, com bandamento composicional representado pela alternância de níveis enriquecidos em quartzo e plagioclásio, e níveis ricos em biotita. As foliações presentes nessa unidade são orientadas nas direções NE-SW e N-S, sendo esse padrão estrutural a principal característica que distingue essa unidade do Trondhjemito Mogno (Guimarães *et al.* 2010). A idade dessa associação também foi apresentada por Almeida *et al.* (2011) pelos métodos U-Pb LA-ICP-MS e Pb-Pb TIMS em zircões, onde obteve-se como resultado as idades de  $2917 \pm 2$  Ma em ambos os métodos.

O **Complexo Arco Verde** é composto por litologias que possuem textura isotrópica a fortemente foliadas, sendo a foliação definida a partir da alternância de bandas trondhjemíticas e tonalíticas e por enclaves máficos achatados. Em domínios de alta deformação o bandamento composicional relaciona-se com a xistosidade subvertical, enquanto em zonas de baixa deformação as feições magmáticas são parcialmente preservadas (Althoff *et al.* 2000). Essa unidade foi datada por diversos autores, porém a mais recente é de Almeida *et al.* (2011) que utilizou dois métodos para datação, o U-Pb LA-ICP-MS e Pb-Pb TIMS em zircões, resultando em  $2948 \pm 4$  Ma e  $2948 \pm 7$  Ma, respectivamente. O **Tonalito Carapanã** ocorre à sudeste da cidade de Tucumã e são constituídos, no geral, por biotita tonalitos e/ou trondhjemitos. Essa litologia foi datada por Souza (2018) pelo método U-Pb SHRIMP em zircão, resultando em uma idade de  $2,92 - 2,93$  Ga.

### 3.2.1.3.2 *Suíte Granodiorítica Nova Canadá*

O **Granodiorito Bonito** forma um batólito com mais de 610 km<sup>2</sup> intrusivo no Grupo Sapucaia e Ortognaisse Caracol, situado ao sul de Água Azul do Norte e, também, foi individualizado a partir do Complexo Xingu. Datação por U-Pb SHRIMP em zircão resultou em uma idade de 2,87 Ga (Leite-Santos & Oliveira 2016). O **Granodiorito Carapanãzinho** foi proposto por Silva (2022) para referir-se a pequenos stocks granodioríticos presentes nos arredores de Tucumã. Este foi datado por Souza (2018) em 2,84-2,58 Ga, através do método U-Pb SHRIMP em zircão. De modo geral, essas unidades são compostas por granodioritos e monzogranitos com textura heterogranular ou porfirítica, moderadamente deformadas com foliações marcadas por biotita e feldspato que seguem o *trend* regional.

### 3.2.1.4 Magmatismo cálcico-alcálico

#### 3.2.1.4.1 *Suíte Sanukitóide Rio Maria*

O **Granodiorito Cumarú** ocorre como pequenos corpos intrusivos no Grupo Gradaús, sendo recobertos por rochas do Grupo Rio Fresco. São rochas faneríticas de granulação média e pouco foliadas (Vasquez *et al.* 2008). Oliveira *et al.* (2009) comenta que essa litologia tem afinidade com o Granodiorito Rio Maria. Esta unidade apresenta, ainda, uma idade de 2,82 Ga obtida através de evaporação de Pb (Lafon & Scheeller 1994). O **Quartzo-Diorito Parazônia** corresponde a corpos em forma de stocks de composição quartzo-dioríticas a granodioríticas, com boa exposição na área da Fazenda Parazônia, sendo intrusivos no Tonalito Mariazinha (Guimarães 2009). Pimentel & Machado (1994), obtiveram uma idade de 2858 Ma com base no método U-Pb ID-TIMS em titanita.

O **Granodiorito Rio Maria** é representado por domos granitoides arrasados, que truncam biotita-gnaisses, migmatitos e sequências de *greenstone belts*. Essa unidade ocorre próxima ao maciço granítico da Serra da Seringa. Relações de contato discordantes são mantidas entre o granodiorito Rio Maria e o Grupo Tucumã, além de ser intrudido pelo Granito Serra da Seringa. As variedades litológicas são representadas essencialmente por granodioritos e tonalitos, ocorrendo, raramente, uma foliação de caráter milonítico nas mesmas (Araújo & Maia 1991). O Granodiorito Rio Maria apresenta uma granulação média a grossa, epidotização generalizada, foliação magmática moderada, e detém uma grande abundância de enclaves máficos de composição monzonítica e quartzo-diorítica (Santos 2015). Dados geocronológicos obtidos por Avelar *et al.* (1999) através do método Pb-Pb TIMS em zircão indicam idade de  $2852 \pm 16$  Ma para essa unidade.

O **Granito Rancho de Deus** corresponde um corpo elipsoidal alongado em E-W que faz contato com a Suíte Sanukitóide Rio Maria e o Granito Guarantã. As rochas são fortemente deformadas, seguindo o *trend* E-W da foliação (Almeida *et al.* 2013). Os corpos são predominantemente constituídos por leucomonzogranitos e granodioritos, subordinadamente, foliações estão presentes nessas litologias, sendo estas marcadas por estruturas de fluxo, bandamento magmático e xistosidade (Vasquez *et al.* 2008). Esse granito foi datado, ainda, por Almeida *et al.* (2013), pelo método U-Pb LA-ICP-MS em zircão, resultando em uma idade de  $2898 \pm 61$  Ma.

#### 3.2.1.4.2 Suíte Granodiorito-Granítica Guarantã

Essa unidade abriga os batólitos Granito Guarantã, Granodiorito Azulona, Granodiorito Trairão e Granodiorito Grotão que foram descritos como leucogranodioritos-granitos cálcico-alcalinos alto Ba-Sr (Almeida *et al.* 2010). Os corpos são alongados em E-W ou NW-SE e relacionados a zonas de cisalhamento transpressivas subverticais que seguem o mesmo *trend* (Silva 2022). Esses granitoides podem apresentar, ainda, uma trama definida por foliação milonítica subvertical WNW-ESSE, ressaltada pela orientação dos cristais (Althoff *et al.* 2000). Apresentam textura porfirítica ou equigranular e biotita como principal fase máfica, tendo sido datadas em 2,87-2,86 Ga (Almeida *et al.* 2013).

#### 3.2.1.4.3 Suíte Granodiorito-Granítica Tucumã

O **Granito Tucumã** foi localizado nos arredores do município de Tucumã, e no município de Ourilândia do Norte, ocorre como stocks de formato amendoado e alongado, associado a zonas de cisalhamento transpressivas sinistrais com direção NW-SE, com mergulho subvertical (Silva-Silva *et al.* 2020). Esta unidade é composta por granodioritos e monzogranitos contendo textura heterogranular, com biotita e titanita caracterizando as principais fases máficas, além da presença marcante de enclaves máficos e graníticos, que se encontram orientados de acordo com a foliação, definindo então, relações de com a rocha hospedeira. O Granito Tucumã, foi datado a partir do método U-Pb SHRIMP em zircão, obtendo idades de 2,84-2,86 Ga. (Souza 2018).

#### 3.2.1.4.4 Suíte Granítica Xinguara

O **Granito Mata Surrão** é representado por corpos graníticos situados nas proximidades da Vila de Marajoara e a 70 km oeste do município de Redenção (Althoff *et al.* 2000). Essa unidade é constituída por biotita leucomonzogranitos, com variações locais para

granodioritos representados na forma de um stock de rochas relativamente homogêneas e pouco deformadas, que secciona o Tonalito Arco Verde (Duarte & Dall'Agnol 1996). Datações de Pb-Pb TIMS em rocha total resultaram em uma idade de  $2881 \pm 2$  Ma (Rolando & Macambira 2003).

O **Granito Manelão** (Oliveira *et al.* 2022) corresponde as rochas graníticas cálcico alcalinas potássicas identificadas recentemente na área de Tucumã (Silva-Silva *et al.* 2020), além de ser intrudido pelo Granodiorito Carapanãzinho com feições indicadoras de baixo contraste de viscosidade entre estas unidades (Souza 2018, Silva-Silva *et al.* 2020). Essas rochas correspondem a leucomonzogranitos com textura equigranular homogênea e foram datadas em  $2905 \pm 12$  Ma por U-Pb SHRIMP em zircão (Souza 2018).

### 3.2.2 Terreno Canaã dos Carajás

#### 3.2.2.1 Greenstone Belts

O **Grupo Sequeirinho** está disposto ao longo da Zona de Cisalhamento Itacaiúnas definindo um contato entre unidades metavulcanossedimentares da Bacia Carajás e gnáissico-migmatíticas do Complexo Xingu (Pinheiro & Holdsworth 2000). Esse grupo é composto por rochas metavulcânicas máfico-ultramáficas interdigitadas com metavulcânicas intermediárias à ácidas, BIF's, metacherts, biotita-xistos, quartzo-xistos e paragneisses (Costa *et al.* 2016). Essa unidade foi datada pelo método U-Pb SHHRIMP em zircões de rochas metavulcânicas félsicas do Corpo Pista do Depósito Sossego, resultando em uma idade de cristalização de  $2968 \pm 15$  Ma (Silva 2014). O **Grupo Rio Novo** representa uma sequência metavulcanossedimentar que aflora na região de Serra Pelada sendo constituída por metamafitos, metaultramafitos, metaquartzitos, BIF's, xistos micáceos e metapelitos submetidos a metamorfismo de fácies xisto-verde. Essa unidade não possui datação, porém, Costa *et al.* (2016) posiciona esta unidade no mesoarqueano, junto ao Grupo Sequeirinho.

#### 3.2.2.2 Magmatismo Sódico

##### 3.2.2.2.1 Complexo Xingu

Essa unidade é litologicamente constituída por ortogneisses e migmatitos associados, onde se tem um predomínio de composições tonalíticas e subordinadamente trondhjemiticas e granodioríticas (Vasquez *et al.* 2008). As estruturas migmatíticas diversas que ocorrem no complexo são relativamente constantes e indicam estágios de mobilização variando de diatexitos a metatexitos. De maneira subordinada, na unidade ocorrem granitos e trondhjemitos granodioritos, também exibindo variadas taxas de migmatização. As rochas que perfazem o

Complexo Xingu exibem diferentes graus de anisotropia estrutural, resultantes de taxas variadas de deformação superimpostas (Araújo & Maia 1991). A partir da datação Pb-Pb TIMS em zircões de ortognaisses granodioríticos da unidade, Avelar *et al.* (1999) sugeriu uma idade de  $2974 \pm 15$  Ma para o Complexo Xingu, mais tarde, Marangoanha *et al.* (2019) obteve as idades de  $2950 \pm 8,4$  Ma e  $2946 \pm 19$  Ma a partir da datação U-Pb SHRIMP em zircões de granulitos félsicos, ambas as datações indicam idades de cristalização do protólito. Machado *et al.* (1991), através do método U-Pb TIMS em zircões de leucossoma granítico, obteve a idade de  $2859 \pm 2$  Ma para o metamorfismo.

#### 3.2.2.2.2 *Suíte Granulítica Chicrim-Cateté*

O **Ortogramulito Chicrim-Cateté** encontra-se situado na Aldeia Indígena Chicrim-Cateté, sendo inserido no contexto do Domínio Canaã dos Carajás (Araújo & Maia 1991). Este representa o único embasamento granulítico de Carajás, sendo formado por ortogramulitos charnockíticos a enderbíticos com corpos pequenos de granulitos máficos associados. Essa unidade detém uma idade de cristalização do seu protólito de  $3002 \pm 14$  Ma obtida a partir de uma datação U-Pb SHRIMP em zircão (Pigdeon *et al.* 2000), e uma idade de metamorfismo de  $2859 \pm 9$  Ma obtida pelo método U-Pb SHRIMP em zircões (Machado *et al.* 1991). O **Ortogramulito Ouro Verde** é representado por dois corpos alongados em E-W compostos por granulitos félsicos de composições tonalíticas e trondhjemiticas contendo diversos enclaves de granulitos máficos. Ressalta-se que esses corpos se encontram no centro do Domínio Carajás e fazem contato com plútons leucograníticos, que indicam uma grande anomalia térmica durante esse magmatismo (Marangoanha *et al.* 2019). Datações pelo método U-Pb SHRIMP em zircão indicaram 3,05-2,93 Ga como idade de cristalização do protólito e 2,89-2,84 Ga como idade do metamorfismo (Marangoanha *et al.* 2019).

#### 3.2.2.2.3 *Suíte Tonalítica São Carlos*

O **Tonalito Bacaba** ocorre na borda sul da Bacia Carajás e está exposto à oeste do depósito de cobre homônimo. Corresponde a um batólito alongado em E-W fazendo contato com o Trondhjemitito Rio Verde e com os granitos Serra Dourada e Cruzadão. Esse corpo é composto por tonalitos contendo hornblenda de granulação média a fina, deformado e alterados por hidrotermalismo. É possível, ainda, identificar enclaves de anfibolitos deformados e algumas pequenas intrusões de gabro (Feio *et al.* 2013). Essa unidade foi datada por Moreto *et al.* (2011) resultando em 3,0 Ga através do método LA-ICP-MS U-Pb em zircão.

#### 3.2.2.2.4 *Suíte Migmatítica Caracol*

O **Ortognaisse Bom Jesus** é composto por rochas de composições granodioríticas a tonalíticas contendo diversos enclaves anfibolíticos. Apresenta-se fortemente bandado com uma forte xistosidade e estratificação composicional marcada pela biotita. Observa-se, ainda, bolsões leucossomáticos concordantes a oblíquos ao bandamento, de composição granodiorítica a granítica com aspecto migmatítico. Essa unidade foi correlacionada à litotipos do Complexo Xingu e por isso está inserida no contexto Mesoarqueano (Tavares 2015).

#### 3.2.2.2.5 *Suíte Trondhjemítica Rio Verde*

O **Trondhjemito Rio Verde** ocorre próximo à Vila Planalto e é representado por rochas bandadas, de direção E-W, que alternam em níveis trondhjemíticos e tonalíticos com presença de enclaves de anfibolitos que podem estar associados aos *greenstone belts* da região. Essas rochas foram datadas pelo método de evaporação de Pb e U-Pb LA-ICP-MS em zircão que indicam uma idade de 2,92-2,84 Ga (Feio *et al.* 2013). O **Trondhjemito Ourilândia** apresenta contatos com rochas da Suíte Sanukitóide Ourilândia, Granito Boa Sorte e Granito Seringa. Esse corpo é levemente deformado, apresentando textura porfirítica com fenocristais euédricos de plagioclásios saussuritizados e enclaves máficos. Silva (2022) datou essas rochas pelo método U-Pb SHRIMP em zircão, resultando em uma idade de 2,92 Ga.

#### 3.2.2.2.6 *Suíte Sanukitóide Ourilândia*

O **Complexo Tonalítico Campina Verde** ocorre no norte da Vila Planalto e está em contato com o Supergrupo Itacaiúnas (norte), Granito Vila Serra Dourada (sul) e Trondhjemito Rio Verde (sudoeste). Ocorre como um corpo alongado em E-W composto por tonalitos, granodioritos, dioritos e monzogranitos que se apresentam deformados e hidrotermalizados (Feio *et al.* 2013). Essas rochas foram datadas pelo método U-Pb LA-ICP-MS e evaporação de Pb em zircão resultando em uma idade de 2,88-2,85 Ga (Feio *et al.* 2013).

O **Complexo Tonalito-Granodiorito Ourilândia** corresponde a um batólito cônico alongado em ENE-WSW aflorante na região de Ourilândia do Norte composto por granodioritos e tonalitos contendo stocks e/ou lentes de quartzo-monzodioritos, quartzo-dioritos e dioritos. No geral, essas rochas possuem textura equigranular, hornblenda varietal e enclaves máficos. A datação dessas rochas foi feita por Silva (2022) através do método U-Pb SHRIMP em zircão, resultando em uma idade de  $2886 \pm 14$  Ma. O **Granodiorito Arrais** se refere a dois stocks com formato cônico alongados em E-W aflorantes à sudeste da cidade de

Ourilândia do Norte. Esses corpos são compostos por granodioritos e alguns poucos monzogranitos e quartzo monzodioritos. A datação dessas rochas foi feita por Silva (2022) pelo método U-Pb SHRIMP em zircão, resultando em  $2924,3 \pm 8,2$  Ma.

#### 3.2.2.2.7 *Suíte Granítica Canaã dos Carajás*

O **Granito Serra Dourada** está localizado na Vila de mesmo nome, na região nordeste do município de Canaã dos Carajás, apresentando um formato subcircular (Feio & Dall'Agnol 2012), intrusivo no Complexo tonalítico Campina Verde e no Tonalito Bacaba, além de incluir remanescente de *greenstone belts* e ser intrudido por pequenos corpos da Suíte Planalto (Silva 2022). É composto essencialmente por monzogranitos com textura equigranular homogênea com granulação variando de fina a grossa, com raros fenocristais de feldspatos (Silva 2022). Foi datado em  $2860 \pm 22$  Ma (Moreto *et al.* 2011) e  $2831 \pm 6$  Ma (Feio *et al.* 2013), ambos a partir do método U-Pb LA-ICP-MS em zircão. O **Granito Cruzadão** foi o nome definido por Feio & Dall'Agnol (2012), para as rochas aflorantes na porção noroeste da cidade de Canaã dos Carajás. Ocorrem de forma intrusiva no Tonalito Bacaba, estando relacionado com o Trondhjemitó Rio Verde, ocorrendo intercalados na forma de camadas, além de serem cortados por stocks neoarqueanos de granitos da Suíte Planalto e do Trondhjemitó Pedra Branca (Silva 2022). Apresentam intensa deformação dúctil, responsável por seu aspecto gnáissico e forte milonitização (Feio *et al.* 2013), com rochas definidas como monzogranitos e sienogranitos, com textura seriada a porfiroclástica e matriz variando de granulação média a fina (Silva 2022). Forneceu idades de cristalização em  $2857 \pm 8$  Ma pelo método U-Pb LA-ICP-MS e  $2833 \pm 6$  Ma através do método U-Pb SHRIMP (Feio *et al.* 2013).

O **Granito Boa Sorte** foi encontrado no extremo norte de Vila Canadá, como um batólito alongado na direção E-W, concordante com a estruturação regional (Rodrigues *et al.* 2014). O Granito Boa Sorte faz contato ao sul com o Granodiorito Água Limpa, é intrusivo em ortognaisses, migmatitos e *greenstone belts*, além de ser intrudido por plútons de composição máfica a intermediária do Diopsídio Norito Pium, pelos granitos da Suíte Planalto e por diques máficos (Rodrigues *et al.* 2014, Leite-Santos & Oliveira 2016). São compostos essencialmente por monzogranito subordinados a sienogranitos na área tipo, e granodioritos na região de Ourilândia do Norte, apresentando textura equigranular homogênea que varia de granulação fina a grossa (Silva 2022). O Granito Boa Sorte forneceu em sua área tipo, idades de cristalização em  $2857 \pm 2$  Ma e  $2895 \pm 4$  Ma por evaporação de Pb em zircão (Rodrigues *et al.* 2014) e  $2885 \pm 26$  Ma por U-Pb LA-ICP-MS em zircão (Rodrigues *et al.* 2014) e  $2847 \pm 3,5$  Ma por U-Pb SHRIMP em zircão (Leite-Santos & Oliveira 2016), enquanto na área de

Ourilândia do Norte forneceu idade de cristalização em  $2881 \pm 10$  Ma por U-Pb SHRIMP em zircão (Silva 2022).

O **Granito Canaã dos Carajás** foi descrito na porção sudeste da cidade homônima, onde foi sugerida a colocação de uma extensa zona de cisalhamento E-W a NE-SW, que seria o contato deste granito com as sequências metavulcanossedimentares da Bacia Carajás (Feio & Dall'Agnol 2012, Feio *et al.* 2013). Assim como o Granito Cruzadão, são caracterizados por uma intensa deformação dúctil, responsável pelo aspecto gnáissico e sua forte milonitização (Feio *et al.* 2013). São formados por monzogranitos com granodiorito subordinado, apresentando textura seriada a porfiroclástica e matriz variando de granulação média a fina, sendo rochas hololeucocráticas, com a biotita como principal fase máfica, além de minerais acessórios primários são representados por titanita, apatita, allanita, zircão, magnetita e ilmenita. Os minerais secundários são compostos por sericita, muscovita, epidoto, clorita, titanita, clinozoisita, escapolita, carbonato, martita, pirita e calcopirita (Feio *et al.* 2013, Rodrigues *et al.* 2014, Silva *et al.* 2018, Silva 2022). A obtenção de duas idades distintas, a primeira de  $3030 \pm 15$  Ma, a segunda de  $2864 \pm 12$  Ma em zircões do Granito, ambas obtidas por U-Pb LA-ICP-MS, foram associadas à presença de cristais herdados e a abertura do sistema U-Pb, respectivamente (Feio *et al.* 2013). Isto implica dizer, que não se pode descartar uma idade mais jovem para o Granito Canaã dos Carajás (Silva 2022).

### 3.2.3 Terreno Sapucaia

#### 3.2.3.1 Greenstone Belts

O **Grupo Sapucaia** é formado por litologias que ocorrem ao longo de faixas alongadas e lenticularizadas, orientadas preferencialmente na direção E-W (Araújo & Maia, 1991). A porção inferior da sequência *greenstone belts* de Sapucaia é constituída na base por rochas máfica-ultramáfica, enquanto na parte superior é composta por rochas metassedimentares clásticas (CPRM 2021).

#### 3.2.3.2 Magmatismo máfico-ultramáfico

O **Anfibolito Surucucu** que se refere a um corpo em forma de arco de cerca de 20 km de comprimento orientado em N-S (Souza *et al.* 2017). O principal corpo dessa litologia é composto por actinolita anfibolito e outros corpos lenticulares menores são classificados como diopsídio anfibolito.

### 3.2.3.3 Magmatismo sódico

#### 3.2.3.3.1 *Suíte Tonalítica São Carlos*

O **Tonalito São Carlos** localiza-se nas proximidades da Vila Jussara e é composto três stocks alongados em NE-SW. As rochas são homogêneas com fraco bandamento composicional e exibem foliações que seguem o mesmo *trend* com poucas variações. Apresentam, ainda, enclaves máficos e seus contatos são marcados por lineamentos expressivos (Silva *et al.* 2014). Datações pelo método Pb-Pb em zircão por evaporação, resultaram em uma idade de  $2934 \pm 8,6$  Ma (Silva *et al.* 2014).

#### 3.2.3.3.2 *Suíte Migmatítica Caracol*

O **Ortognaisse Caracol** apresenta composições tonalíticas que possuem um bandamento composicional muito regular, caracterizada pela alternância de bandas de quartzo e plagioclásio intercaladas com bandas constituídas principalmente por biotita e minerais acessórios. Essa unidade é bastante deformada, e em seu principal domínio de ocorrência apresenta orientação NW-SE (Guimarães *et al.* 2010). Já o **Ortognaisse Colorado** apresenta litologias predominantemente trondhjemiticas e possui bandamento composicional concordante ao *trend* regional E-W. Essas rochas apresentam xenólitos de *greenstone belts* e anfibolitos orientados de acordo com a foliação, além de veios quartzo-feldspáticos (Silva 2022). O **Complexo Gnáissico Água Azul** refere-se aos gnaisses trondhjêmíticos/tonalíticos de afinidade TTG e xenólitos gnáissicos de composição tonalítica a diorítica que ocorrem na região de Água Azul do Norte (Silva 2022).

#### 3.2.3.3.3 *Suíte Trondhjemitica Rio Verde*

O **Trondhjemito Água Fria** localiza-se próximo a Xinguara e aparece intrudindo o Grupo Sapucaia e o Ortognaisse Caracol, fato evidenciado pela presença de xenólitos do último. Essa unidade apresenta rochas com bandamento composicional de direção E-W, com mergulhos subverticais (Leite 2001). Essa litologia foi datada em 2,84 Ga pelo método U-Pb LA-ICP-MS em zircão (Almeida *et al.* 2011).

#### 3.2.3.3.4 *Suíte Granodiorítica Nova Canadá*

O **Granodiorito Nova Canadá** está situado na porção norte do Domínio Rio Maria, especificamente na região da Vila Nova Canadá, representando uma individualização na região, que anteriormente era considerada como área de ocorrência do Complexo Xingu. A unidade

em questão é constituída por leucogranodioritos e leucomonzogranitos, sendo suas litologias fraca a moderadamente deformadas, apresentam textura seriada marcada por uma matriz de granulação média a grossa e fenocristais feldspato alcalino. É atribuída uma idade de  $2871 \pm 4$  Ma para o Granodiorito Nova Canadá obtida através do método U-Pb SHRIMP em zircão (Leite-Santos & Oliveira 2016). O **Granodiorito Pantanal** foi identificado à sul da Vila Jussara de forma intrusiva no Ortognaisse Colorado e intrudido pela Suíte Vila Jussara e não possui datação (Teixeira *et al.* 2013) e podem apresentar granodioritos a monzogranitos moderadamente deformados com foliações que seguem o *trend* regional.

#### 3.2.3.3.5 Suíte Sanukitóide Água Limpa

O **Granodiorito Água Limpa** possui cerca de 40 km de comprimento, é intrusivo no Complexo Gnáissico Água Azul e é cortado pelo Granito Boa Sorte. Já o **Granodiorito Água Azul** possui aproximadamente 20 km de comprimento e intrude o Grupo Sapucaia e o Complexo Gnáissico Água Azul. Ambos os corpos apresentam composição tonalítica e monzogranítica, podem apresentar textura porfirítica com fenocristais de feldspatos euédricos que seguem um *trend* E-W (Gabriel & Oliveira, 2014). Idades de cristalização obtidas pelo método U-Pb SHRIMP em zircão resultaram em  $2870,2 \pm 3,6$  Ma e  $2871,3 \pm 3,9$  Ma para o Granodiorito Água Limpa e  $2872 \pm 4,6$  Ma e  $2869,8 \pm 4,2$  Ma para o Granodiorito Água Azul (Gabriel 2014).

#### 3.2.3.3.6 Suíte Granítica Xinguara

O **Granito Xinguara** é dos corpos graníticos arqueanos mais expressivos do Terreno granito-greenstone de Rio Maria, ele é representado por um maciço granítico situado na região do município de Xinguara, na porção nordeste do TGRM, que é intrusivo em granitoides e gnaisses TTG e no Granodiorito Rio Maria (Leite 2001). A unidade é constituída por leucomonzogranitos, granitos pegmatoides e leucosienogranitos, sendo a primeira variedade petrográfica citada a mais abundante. O granito Xinguara se apresenta predominantemente isotrópico, e possui uma marcante homogeneidade textural e composicional, sendo equigranular, hololeucocrático, e detém de uma granulação média. A partir do método Pb-Pb TIMS em zircão foi obtida uma idade de cristalização de  $2865 \pm 1$  Ma para esta unidade (Leite *et al.* 2004).

## 4 GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO

### 4.1 ASPECTOS GERAIS

O mapeamento geológico realizado na área a norte das cidades de Tucumã e Ourilândia do Norte permitiu a individualização de um grupo de rochas de afinidade TTG. Assim, as relações de campo observadas entre estes granitoides e aqueles de caráter intrusivo, assim como os dados petrográficos e a análise dos dados estruturais obtidos durante o mapeamento, permitiram elaborar um mapa geológico da área, em escala de semidetalhe (1:50.000), onde foram individualizados as seguintes litologias: tonalitos e trondhjemitos (TTG), sequencia *greenstone belts* do Grupo Tucumã, leucomonzogranitos, granitoides da Suíte Sanukitóide Ourilândia, granitoides miloníticos indiferenciados, granitoides charnockíticos, rochas máfico-ultramáficas da Suíte Cateté e alguns diques orientados, em maioria para NW-SE (Figura 5). Em contraste ao mapa geológico de escala regional (1:250.000) publicado pelo Serviço Geológico Brasileiro (Macambira & Vale 1997), nota-se que a área de ocorrência das rochas do Complexo Xingu correspondem ao que aqui foi atribuído ao domínio dos granitoides tipo TTG, e que os corpos anteriormente atribuídos a Suíte Plaquê, e intrusivos no embasamento gnáissico, seriam agora considerados como um grupo de granitoides indiferenciados que formam uma faixa contínua e que seus contatos e geometria são desenhados pelas principais zonas de cisalhamento do Cinturão Itacaiúnas (Figura 6). No mapa de Favacho (2021) já destacam-se rochas milonitizadas em uma faixa alongada E-W e rochas trondhjemíticas e leucogranodioríticas na área dos TTGs aqui individualizados (Figura 6). Dados geocronológicos apontam para uma idade mesoarqueana para o embasamento TGG (2,97 Ga – 3,04 Ga) e neoarqueana para os granitoides miloníticos e rochas máficas da Suíte Cateté (Avelar *et al.* 1999, Reis em preparação).

As cotas da área de estudo variam de 173 a 712 metros de altitude, onde as serras e morros representam as cotas mais altas ( $\geq 400$  m) nas porções sul e norte onde há maior controle estrutural da área. Este tipo de relevo é sustentado por rochas supracrustais das sequencias *greenstones belts* e granitos milonitizados indiferenciados. Por outro lado, as cotas mais baixas encontram-se na porção central da área que é formada por morrotes típicos de relevo dissecado, que em geral, são coincidentes com o domínio de ocorrência dos granitoides TTG. Além da análise do padrão geomorfológico da área, as análises de imagens aerogeofísicas foram fundamentais para auxiliar na construção do arcabouço do mapa geológico. A interpretação das anomalias gamaespectrométricas (eU, K, eTh, KThU) e magnetométrica (1Dz e ASA)

permitiram delimitar os domínios de ocorrências de diferentes tipos de rochas, bem como seus possíveis contatos e padrão de distribuição das estruturas regionais. O uso destas imagens na área de estudo permitiu destacar diversas feições sigmoidais e um forte *trend* E-W/NE-SW, sobretudo na porção central da área (Figura 5). No interior destes sigmoides nota-se domínios aerogeofísicos com anomalias radiométricas (alto Th) e magnetométricas (1Dz), que são coincidentes as áreas de ocorrência dos granitoides miloníticos indiferenciados, enquanto destaca-se uma clara correlação dos baixos radiométricos e magnéticos com a área de ocorrência dos granitoides TGG, ao norte da área.

Os granitoides TTG foram agrupados em uma única unidade no mapa geológico, no entanto, os mesmos são formados predominantemente pela variedade epidoto±anfibólio-biotita-tonalito, seguido de rochas de composição biotita-trondhjemitó, com menores proporções de biotita-granodiorito. Essas rochas ocorrem sob a forma de blocos *in situ* em porções da área onde o relevo é arrasado e raramente colinoso (Figura 7), configurando a faixa alongada de direção NE-SW. Estas variedades foram separadas, inicialmente, com base no contraste de suas proporções de minerais máficos, nas diferentes concentrações de epidoto magmático, no grau de saussuritização do plagioclásio e na intensidade de deformação e recristalização de seus cristais de plagioclásio e quartzo.

As relações de campo mostram que o embasamento TTG é seccionado por intrusões leucograníticas, por vezes pegmatitos, orientadas seguindo o *trend* regional E-W (Figura 8). Os leucogranitos destacam-se pela textura inequigranular grossa a média, onde há registro da atuação de uma deformação heterogênea com variados graus de recristalização. A anisotropia da rocha é marcada por uma foliação bem desenvolvida, definida pela orientação das biotitas e minerais félsicos. A foliação proeminente é do tipo espaçada (bandamento composicional), comumente transposta por uma foliação contínua tardia. Além disso, próximo ao contato com os granitoides TTG, os plútons intrusivos de leucogranitos preservam a estruturação da rocha encaixante e feições de migmatização são frequentes (Figura 9).

Os dados estruturais obtidos na área de estudo mostram que o padrão da deformação dúctil interna da crosta TTG é heterogênea, variando desde estruturas formadas em níveis crustais mais profundos, com desenvolvimento foliações miloníticas, lineações, dobras, bandamentos e zonas de cisalhamento de direção NW-SE transpostas ou obliteradas para a direção NE-SW (Figura 9). Em condições mais rasas a deformação condiciona a colocação de

líquidos leucogranitos e veios pegmatíticos quartzo-feldspáticos, que estão relacionados às manifestações magmáticas mais jovens.

A foliação milonítica nos granitoides TTG são subverticais ( $\sim 88^\circ$ ) com direção principal N-S, com inflexões para NW-SE e E-W. Esse padrão é, também, identificado em outras rochas mais antigas do Domínio Rio Maria (Almeida *et al.* 2011). Já a foliação do tipo espaçada, composicional e bandada, é definida pela alternância de bandas quartzo-feldspáticas com níveis mais enriquecidos em minerais máficos (Figura 9c,e), comumente sobrepostas por uma foliação contínua marcada pela orientação de micas e agregados quartzo-feldspáticos. O bandamento composicional frequentemente é perturbado por dobras centimétricas, sendo comuns as assimétricas (dobras de arrasto) relacionadas às bandas de cisalhamento. Dobras de alta complexidade (desharmônico e poliharmônico - Figura 9a,b,d) ocorrem próximo às zonas de contato com as intrusões leucograníticas, sempre associadas à feições de migmatização (Figura 9f,g) e ocorrências de veios pegmatíticos (Figura 9e).

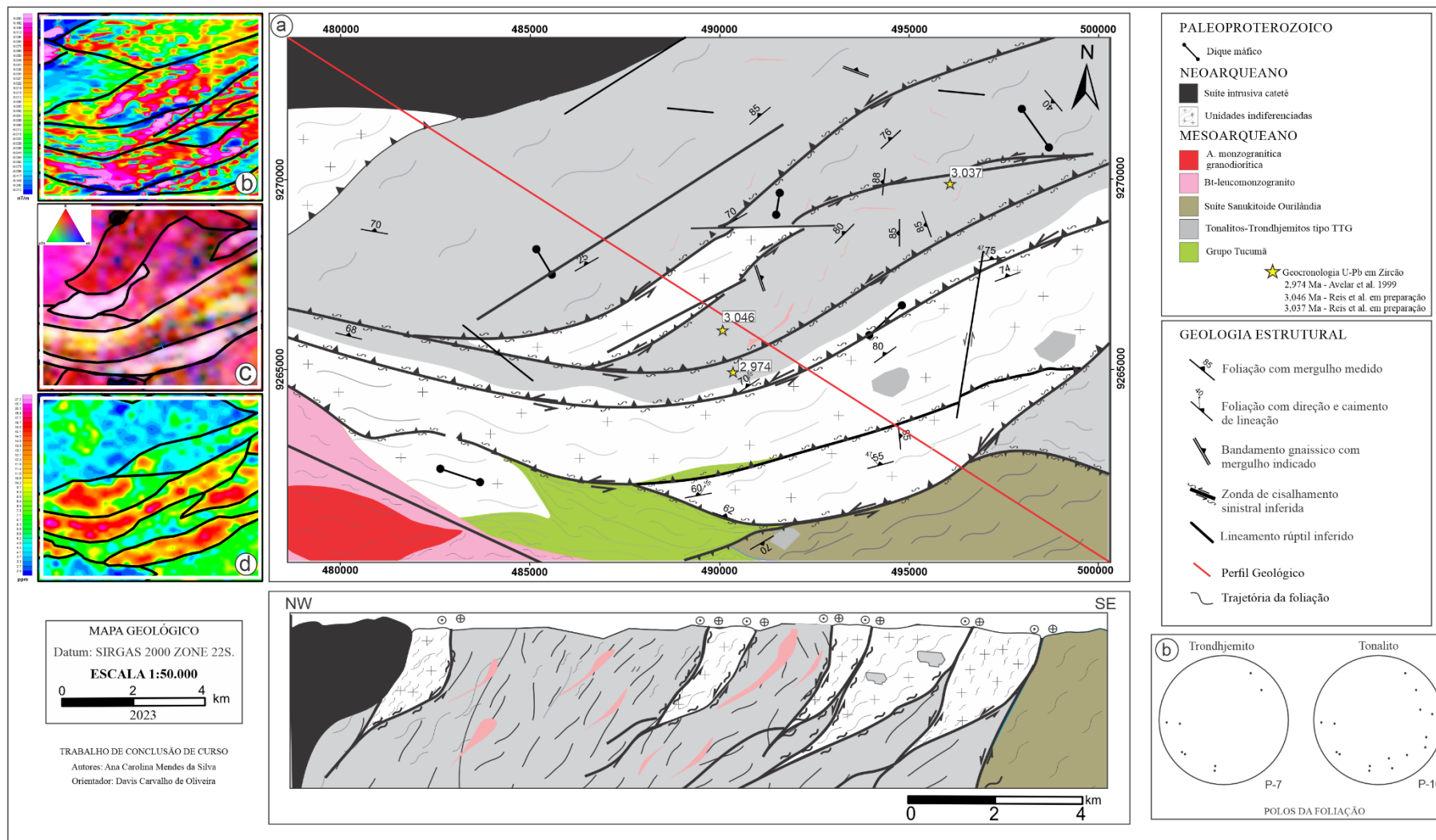


Figura 5 - Mapa Geológico da área de estudo, localizada na porção norte das cidades de Tucumã e Ourilândia do Norte (Adaptado de Reis – em preparação). (a) Mapa geológico das rochas de afinidade TTG da área de estudo mostrando sua interação com as outras rochas identificadas. (b-d) Imagens aerogeofísicas da área de estudo com suas respectivas interpretações, sendo em (b) a primeira derivada (1Dz), em (c) a composição ternária (KThU) e em (d) o canal do tório (eTh) (e) Estereogramas de polos das foliações magmáticas obtidas. Datações obtidas pelos métodos de Pb-Pb TIMS em zircão (Avelar *et al.* 1999) e U-Pb SHRIMP em zircão para 3046 Ma e LA-MC-ICPMS em zircão para a idade de 3037 Ma (Reis em preparação).

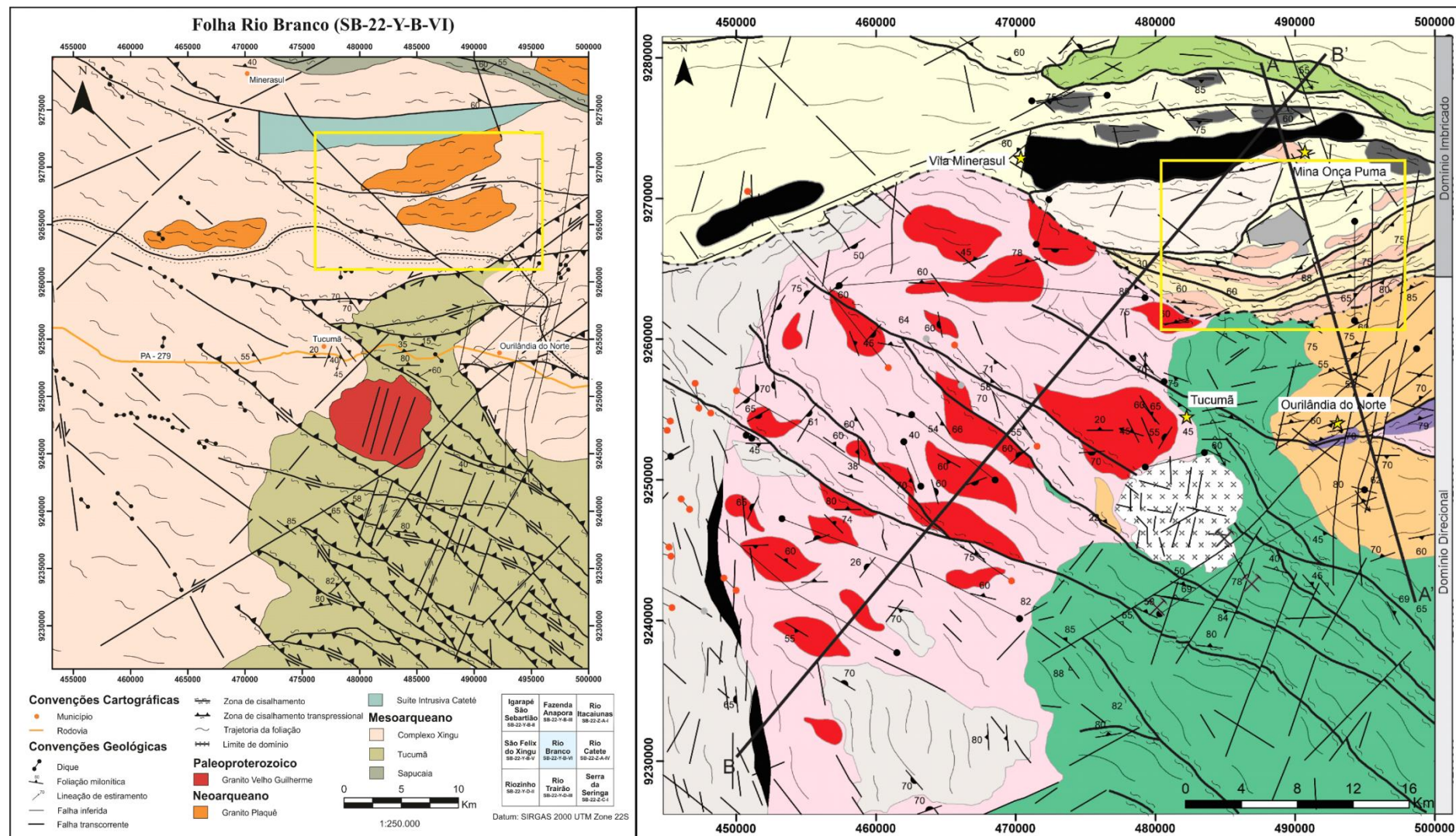


Figura 6 - Mapas regionais de estudos anteriores com destaque para a área estudada (Macambira & Vale 1991, Favacho 2021).



Figura 7 – Visão geral dos afloramentos estudados. Forma em lajedos de grandes extensões, cortados por granitos mais novos, veios pegmatíticos quartzo feldspáticos e variações de fácies de Bt Tonalito de granulação média a grossa e Bt Trondhjemitito fino.

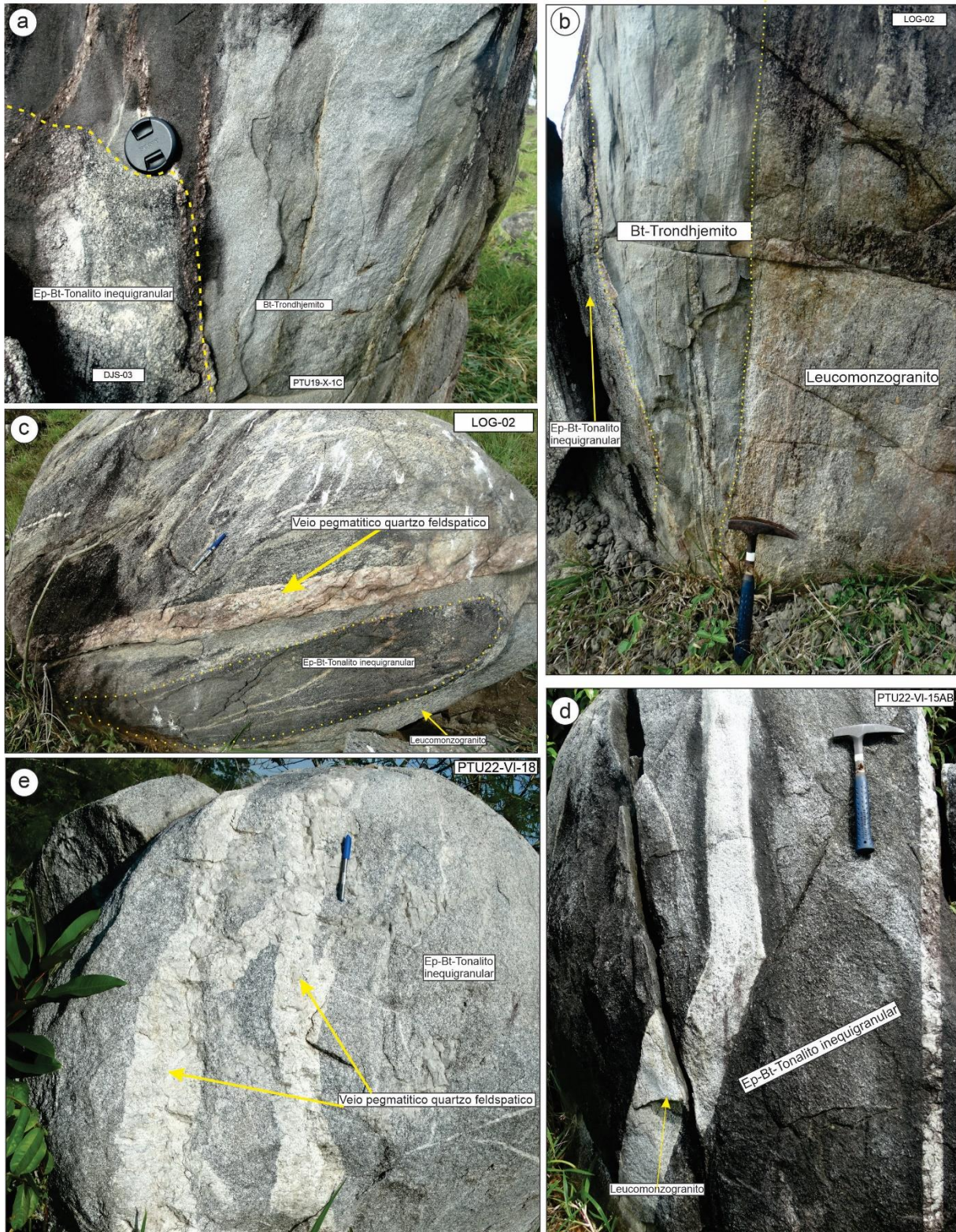


Figura 8 - Mosaico de imagens evidenciando algumas relações de campo identificadas. (a) Contato entre duas variedades de TTGs descritas; (b) Contato de duas variedades de TTG em contato com leucomonzogranito; (c) Enclave de TTG em um bloco de Leucomonzogranito, indicando que essa rocha é posterior e veio pegmatítico mais novo, cortando o leucomonzogranito; (d) Variação tonalítica cortada por veio leucocrático; (e) Tonalitos sendo cortados por veios pegmatíticos mais novos.

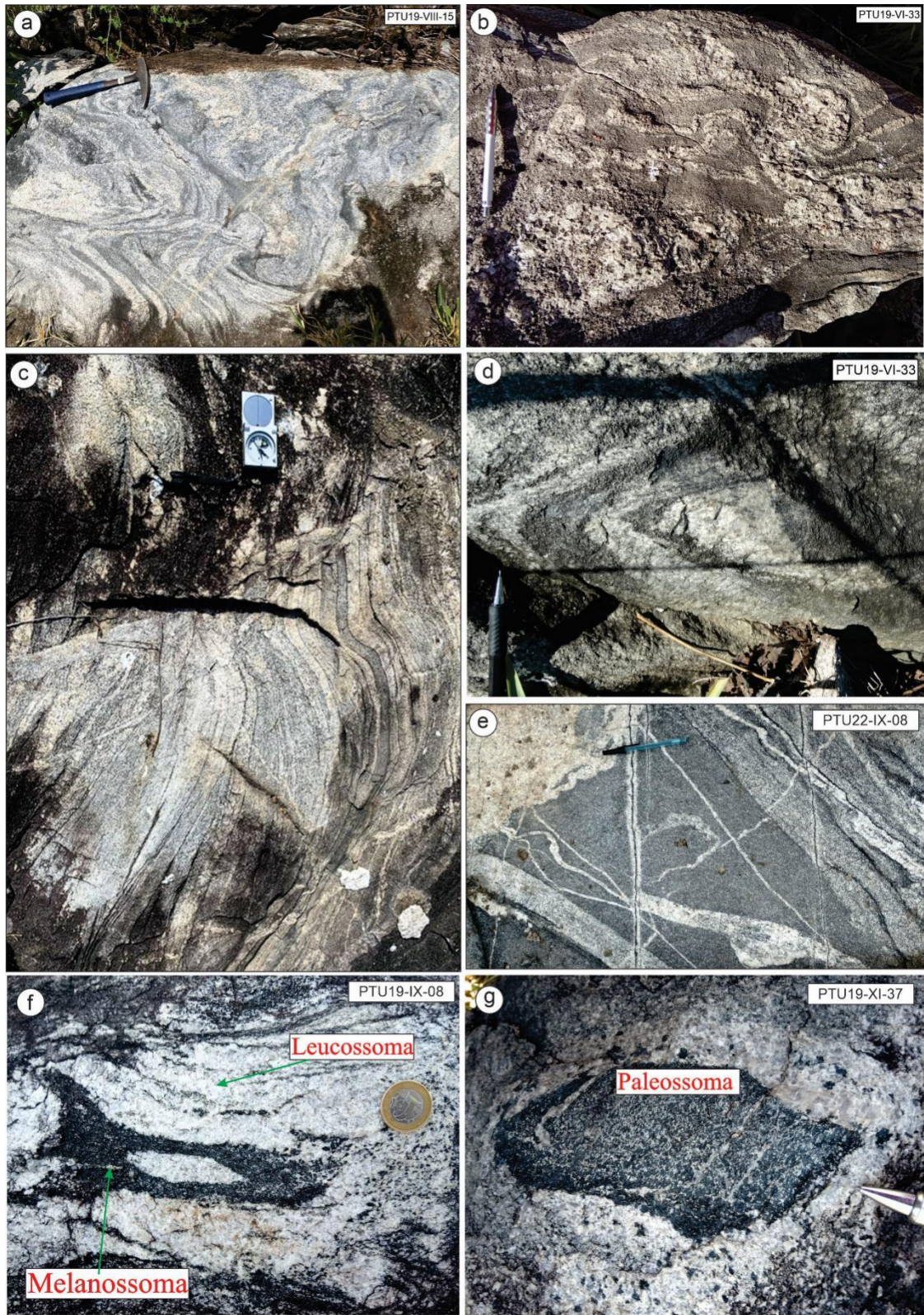


Figura 9 - Exemplos de feições estruturais identificadas em campo. (a) Bloco apresentando dobras poliharmônicas, evidenciadas pelo bandamento composicional. (b) Dobras desarmônicas, também destacadas pelo bandamento composicional. (c) Afloramento em lajedo apresentando bandamento composicional - gnáissico. (d) Visão de detalhe em dobras harmônicas. (e) Bandamento composicional e fraturas. (f,g) Destaque para evidências de migmatização das rochas onde em (f) observa-se o leucossoma e o melanossoma e em (g) destaca-se o paleossoma.

## 5 PETROGRAFIA

### 5.1 CLASSIFICAÇÃO E ASPECTOS TEXTURAIS

Os granitoides estudados apresentam afinidades texturais e mineralógicas com contrastes composicionais observados nos diferentes conteúdos de minerais máficos (M) e nas variações da relação plagioclásio/ K-feldspato. Os dados obtidos a partir de análises modais em de trinta e cinco amostras mostrou que estes granitoides são predominantemente tonalitos ( $M > 10\%$ ), onde a biotita ( $\geq 10\%$ ) e epidoto magmático ( $\geq 1,5\%$ ) são fases minerais frequentes e o anfibólio é raro (até 2,5%). Trondhjemitos ( $M < 10\%$ ) e um tipo mais enriquecido em K-feldspato (granodiorito), ocorrem como variedades subordinadas, como pode ser observado na Tabela 1 e nos diagramas QAP e Q(A+P)M (Figura 10). Nota-se, também, que as rochas tonalíticas apresentam um intervalo mais amplo do conteúdo modal de quartzo (50,4 – 27,4%) em relação as demais variedades, e que o conteúdo de K-feldspato é restrito nos tonalitos, tendo uma maior variação nos trondhjemitos ( $< 1,5\%$ ) e granodioríticos (8 – 21%), que apresentam restrições no conteúdo modal de quartzo (38,7 – 20,9%). A biotita é a principal fase ferromagnésiana presente nessas rochas e o anfibólio é raro e restrito à variedade tonalítica. Os minerais acessórios primários mais comuns são o epidoto magmático e em menores proporções, ocorrem os minerais opacos, titanita, zircão, apatita e allanita. Já as fases secundárias são provenientes da saussuritização do plagioclásio, que resulta na formação do epidoto secundário, muscovita e sericita, e da transformação da biotita para clorita.

Em geral, os granitoides estudados apresentam textura ígnea bem preservada, caracterizada pela preservação do caráter granular hipidiomórfico e agregado de minerais máficos pouco orientados (Figura 11a-c, Figura 11j-l, Figura 12a-b, Figura 12d-f). Estas rochas são equigranulares de granulação média, e raramente, fina (Figura 11g-i). No entanto, estas rochas foram submetidas a esforços resultantes da instalação das extensas zonas de cisalhamento associadas ao Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas, onde a textura, nesses casos, assume caráter heterogranular alotriomórfico desenvolvendo feições deformacionais nos minerais, sobretudo no quartzo. Sob tais aspectos, o quartzo pode ocorrer com três formas distintas: (i) como cristais alongados, com extinção ondulante e contatos interlobados entre si, com dimensões variando entre 0,5 mm e 1,4 mm e apresentam contatos retos a irregulares com outros minerais (Qtz1). Este tipo aparece mais desenvolvido nas variedades tonalítica e granodioríticas onde pode atingir até 6,0 mm (Figura 12f-h); (ii) cristais que são provenientes de recristalização, ocorrendo na forma de agregados policristalinos com locais presenças de contatos tríplice e leve extinção ondulante (Qtz2; Figura 12b); (iii) cristais anédricos que

aparecem preenchendo espaços entre cristais, com bordas cominuídas e dispostos em uma matriz mais fina, associados à Plg2 e Bt2 (Qtz3; Figura 15e-f). Este tipo é mais comum na variedade trondhjemítica.

O plagioclásio destes granitoides apresenta-se de duas formas principais. O tipo dominante nas rochas menos deformadas exhibe hábito subautomórfico e pode atingir até 4 mm, ou raramente 8 mm (Plg1). Apresenta maclamento do tipo albíta, albíta-periclina e mais raramente, do tipo Carlsbad. O núcleo desses cristais apresenta leve saussuritização indicado pela presença de muscovita, epídoto e sericita (Figura 12e). Nos tonalitos a descalcificação do plagioclásio é mais intensa, podendo chegar a formar carbonato. Suas bordas apresentam-se cominuídas indicando recristalização e, no geral, apresentam contatos irregulares com outros minerais, podendo, ainda, aparecer circundados ou com inclusões de cristais de biotita e quartzo (Figura 12b,d,f). O Plg2 aparece como cristais menores (0,7 mm a 1,9 mm), subédricos, sem maclamento, e apresentam contatos retos com outros minerais. Alguns cristais encontram-se saussuritizados, com formação de muscovita, sericita e epídoto. Em algumas amostras foi possível, ainda, a identificação do Plg3 que corresponde à cristais de plagioclásio neoformados, com tamanhos de 0,1 mm a 1 mm, que aparecem preenchendo espaços entre os minerais principais.

Os cristais de K-feldspato são finos ou intersticiais e de ocorrência restrita nos tonalitos e trondhjemitos (0,25 mm a 2,9 mm; Figura 14c), e tornam-se mais expressivos e com maiores dimensões nos granodioritos, atingindo dimensões de até 6 mm (Figura 12g,h). Estes aparecem levemente alterados para argilominerais onde ainda é bem evidente o maclamento xadrez, e localmente, textura granofírica (Figura 14h).

A biotita é o principal mineral ferromagnésiano e ocorre na forma de cristais lamelares (Bt1) ou como finas palhetas bordejando os cristais de Plg1 (Bt2). Estão sempre associadas aos agregados de minerais acessórios primários e apresentam-se levemente cloritizadas com coloração marrom a marrom esverdeado ou verde. As biotitas não alteradas apresentam forte pleocroísmo de marrom escuro à creme. O anfibólio, do tipo hornblenda, quando ocorre, apresenta macla simples e em algumas amostras é possível identificar a seção basal com clivagem oblíqua (Figura 12e) e está associado aos agregados máficos (Figura 12f). Associam-se, no geral, à cristais de epídoto (Figura 12a,d), minerais opacos, apatita e titanita. Nestes agregados a titanita é euédrica e a allanita apresenta-se metamíctica. Fluorita também ocorre nos agregados máficos como mineral incolor a levemente violeta.

Tabela 1 - Análises modais de 35 lâminas dos granitoides de afinidade TTG da área estudada. Estimativa obtida através da contagem de 2000 pontos por amostra.

Fácies		±Anf -Bt Tonalito																	
Amostra	PTU19	PTU19	PTU19	PTU19	PTU19	PTU19	PTU19	PTU19	PTU19	PTU19	PTU19	PTU19	PTU19	DJS	PTU19	PTU19	PTU19	PTU19	LDW
Mineral (%)	VII-44	VIII-61	VIII-72A	VIII-77A	IX-43	IX-45	IX-45A	IX-45C	X-01A	X-01B	X-03	X-10	XI-63C	03	VI-33	X-17	XI-13B	XI-40A	102
Quartzo	36.0	30.7	31.1	43.4	31.3	36.8	32.0	36.2	33.6	27.4	43.6	31.0	40.3	36.0	32.6	34.8	38.6	50.4	33.8
Plagioclásio	51.7	55.9	54.1	46.1	57.4	48.1	52.1	53.2	50.0	50.9	41.2	43.3	45.2	45.2	56.7	47.8	48.8	38.2	44.3
Alcalis	0.1	1.1	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.5	0.3	0.0	0.9	0.8	0.0	0.0	0.0	0.7	0.3	2.8
Hornblenda	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	1.6	2.2	0.4	0.6
Biotita	8.9	6.4	12.0	6.5	8.9	14.2	12.7	9.8	14.0	15.3	12.8	16.5	12.6	16.8	4.0	13.6	9.8	9.5	16.8
Muscovita	0.4	0.2	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0
Epidoto	1.0	4.9	1.5	2.3	2.4	0.0	1.6	0.3	1.2	5.3	1.2	7.2	0.4	1.6	2.3	1.7	0.0	0.0	1.8
Allanita	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.2
Zircão	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Titanita	1.2	0.4	0.7	1.0	0.0	0.1	0.4	0.1	0.5	0.5	0.9	0.7	0.2	0.3	0.6	0.3	0.0	0.1	0.0
Apatita	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Opacos	0.9	0.4	0.1	0.7	0.2	0.9	1.1	0.3	0.4	0.5	0.5	0.1	0.2	1.2	0.1	0.0	0.0	1.2	0.0
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Máficos (M')	11.8	12.2	14.2	10.4	11.4	15.2	15.9	10.5	16.0	21.5	15.3	24.8	13.8	18.9	10.8	17.3	12.0	11.2	19.3
A+P	51.8	57.0	54.8	46.1	57.4	48.1	52.1	53.3	50.5	51.2	41.2	44.2	46.0	45.2	56.7	47.8	49.5	38.5	47.0
A+P+Q	87.8	87.7	85.9	89.4	88.7	84.9	84.1	89.5	84.1	78.6	84.7	75.2	86.3	81.2	89.2	82.6	88.0	88.9	80.8
QAP (100%)																			
Q	41.0	35.0	36.2	48.5	35.3	43.3	38.0	40.4	39.9	34.9	51.4	41.2	46.7	44.3	36.5	42.1	43.8	56.7	41.8
A	0.1	1.3	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.6	0.4	0.0	1.2	0.9	0.0	0.0	0.0	0.8	0.3	3.4
P	58.9	63.7	63.0	51.5	64.7	56.7	62.0	59.5	59.5	64.7	48.6	57.6	52.3	55.7	63.5	57.9	55.4	43.0	54.8
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Fácies		Bt Trondhjemito												Bt Granodiorito					
Amostra	PTU19	PTU19	PTU19	PTU19	PTU19	PTU19	PTU19	PTU19	PTU19	PTU19	PTU19	PTU19	PTU19	PTU19	PTU19	PTU19	PTU19	PTU19	BRM
Mineral (%)	VIII-72B	IX-16	IX-19	IX-20A	IX-20B	IX-22	IX-23	X-01C	X-08	X-19	XI-41	XI-63B	VIII-63	VIII-66	VIII-71	25			
Quartzo	32.2	31.3	37.7	28.9	33.8	29.6	37.6	36.2	38.7	33.1	34.8	34.2	27.3	25.9	28.4	20.9			
Plagioclásio	63.2	61.0	49.5	60.1	58.1	55.6	54.0	54.3	53.2	58.5	53.2	57.6	57.1	50.5	52.8	46.1			
Alcalis	0.1	0.0	5.1	1.9	1.3	5.5	0.0	0.0	0.0	0.2	3.1	0.5	8.1	14.8	7.9	21.2			
Hornblenda	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			
Biotita	4.0	6.9	5.3	7.4	4.2	8.6	5.8	8.3	5.6	7.0	7.9	5.0	7.1	7.4	9.3	6.7			
Muscovita	0.0	0.0	0.9	0.1	0.0	0.2	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	1.6	0.0	0.0	0.1	0.0			
Epidoto	0.2	0.3	1.3	0.8	1.7	0.5	1.7	0.6	2.3	1.2	0.0	0.4	0.4	0.3	0.7	3.6			
Allanita	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0			
Zircão	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0			
Titanita	0.1	0.2	0.3	0.8	0.9	0.1	0.1	0.2	0.0	0.1	0.0	0.3	0.0	0.1	0.0	0.5			
Apatita	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			
Opacos	0.3	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.9	0.5	0.2	0.1	0.7	0.2	0.2	1.2	0.9	1.0			
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0			
Máficos (M')	4.5	7.8	7.0	9.1	6.8	9.3	8.5	9.4	8.1	8.3	9.0	6.2	7.6	8.9	10.9	11.8			
A+P	63.3	61.0	54.6	62.0	59.4	61.1	54.0	54.3	53.2	58.6	56.3	58.1	65.2	65.3	60.7	67.3			
A+P+Q	95.5	92.3	92.2	90.8	93.2	90.6	91.5	90.5	91.9	91.7	91.0	92.2	92.4	91.1	89.1	88.2			
QAP (100%)																			
Q	33.7	33.9	40.8	31.8	36.3	32.6	41.0	40.0	42.1	36.1	38.2	37.0	29.5	28.4	31.9	23.7			
A	0.1	0.0	5.5	2.0	1.4	6.0	0.0	0.0	0.0	0.2	3.4	0.5	8.7	16.2	8.8	24.0			
P	66.2	66.1	53.7	66.2	62.3	61.4	59.0	60.0	57.9	63.7	58.5	62.4	61.8	55.4	59.3	52.3			
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0			

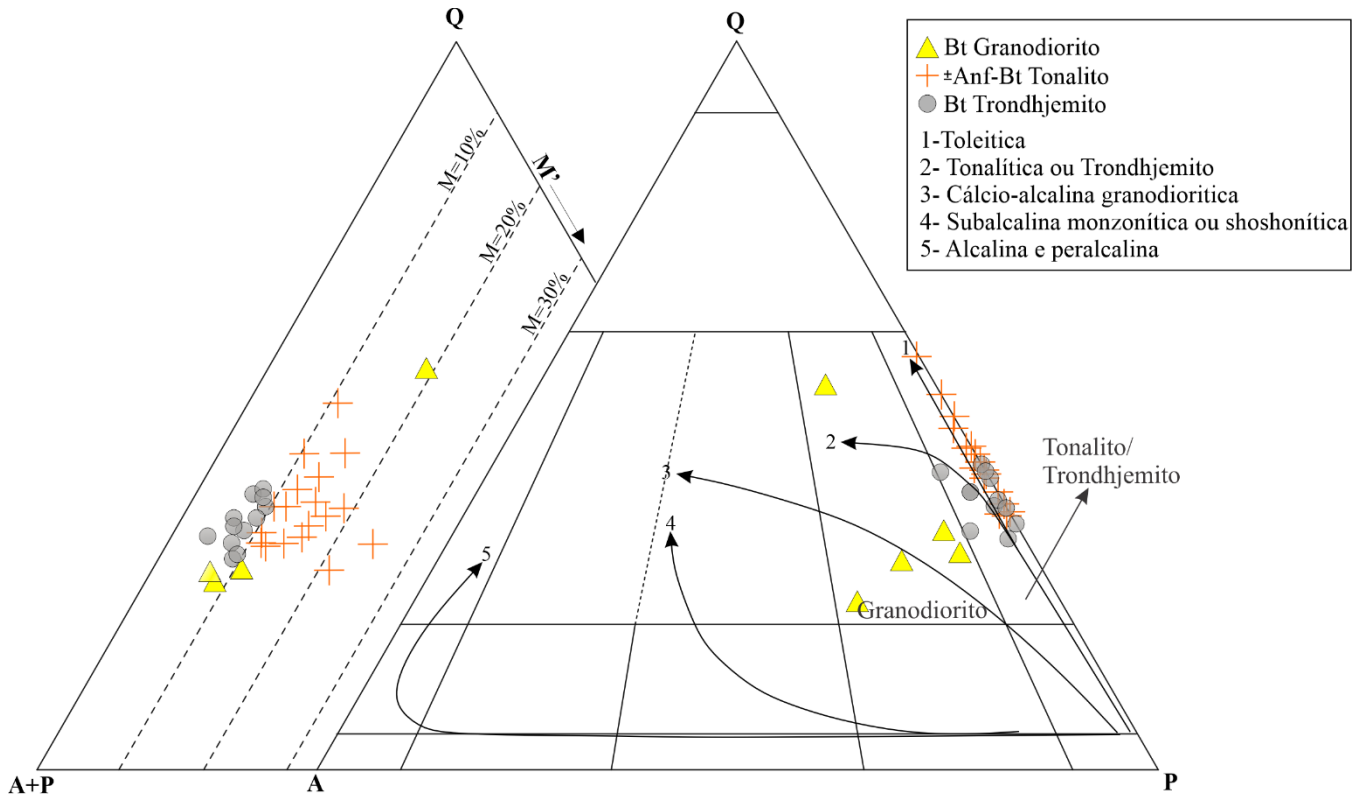


Figura 10 – Diagrama de análises modais Q-A-P (Le Maitre 2002) e Q-A+P-M com os granitoides estudados da região de Tucumã e Ourilândia do Norte. Legenda: Q - quartzo; A – álcali feldspato; P – plagioclásio; M – minerais máficos.

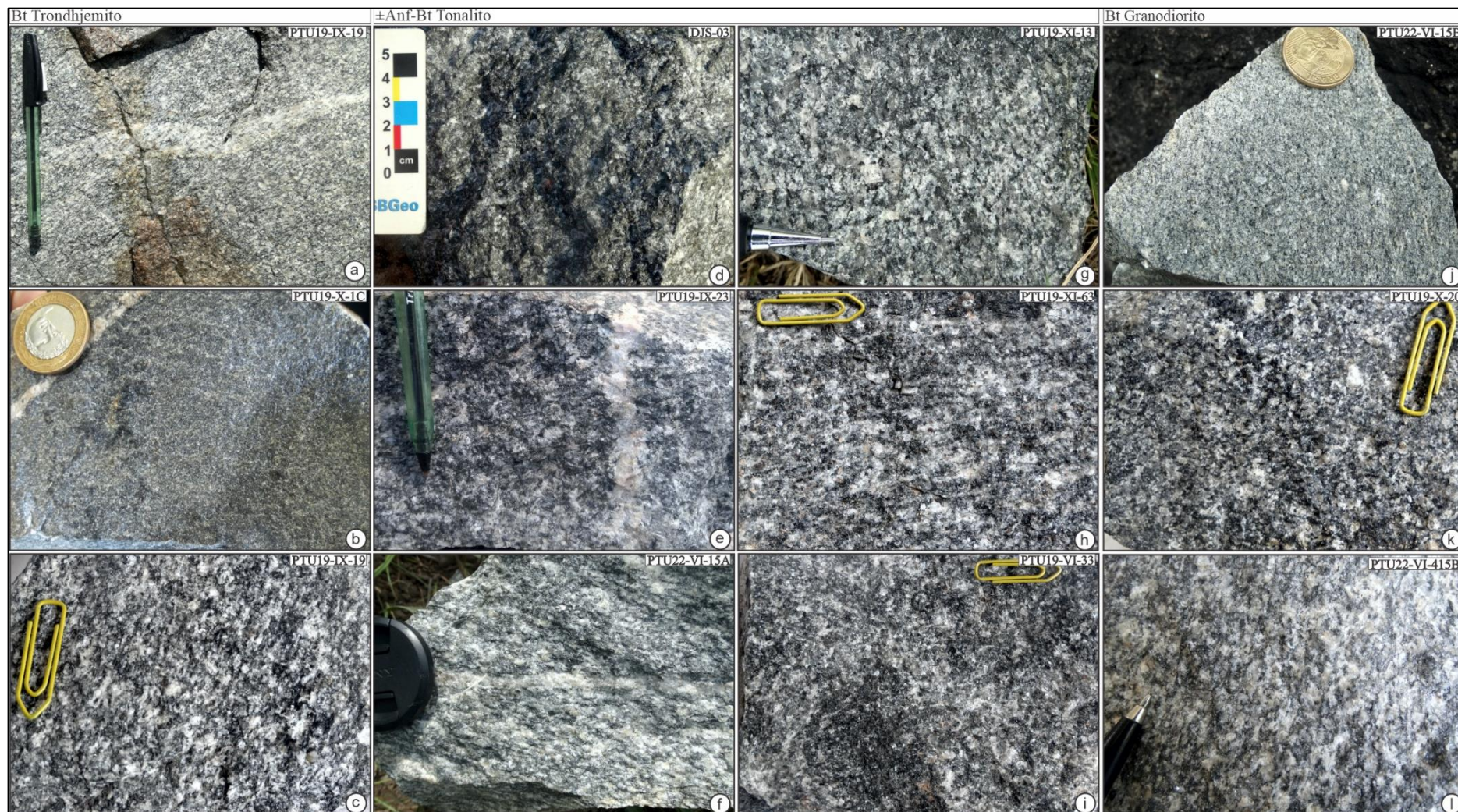


Figura 11 - Aspectos texturais macroscópicos das rochas estudadas. **Bt Trondhjemitos:** (a) Rocha cinza, granulação média a fina, e uma faixa de minerais félsicos, indicando possível bandamento composicional. (b) Rocha cinza escuro, granulação fina, com microveio pegmatítico. (c) Rocha de granulação grossa em vista de detalhe para o arranjo mineralógico. **±Anf – Bt Tonalitos:** (d) Rocha cinza escuro de granulação grossa, evidenciando porções mais máficas. (e) Rocha cinza claro de granulação grossa, com uma faixa de minerais félsicos. (f) Rocha cinza claro com leve orientação dos minerais. (g) Aspecto geral da disposição dos minerais em uma rocha de granulação grossa. (h) Minerais levemente orientados. (i) Rocha cinza claro com pequenas porções mais máficas. **Bt Granodiorito:** (j) Rocha cinza claro de granulação fina (visão geral). (k) Rocha de granulação grossa onde observa-se uma maior presença de minerais máficos. (l) Detalhe para a disposição dos minerais nessa fácies.

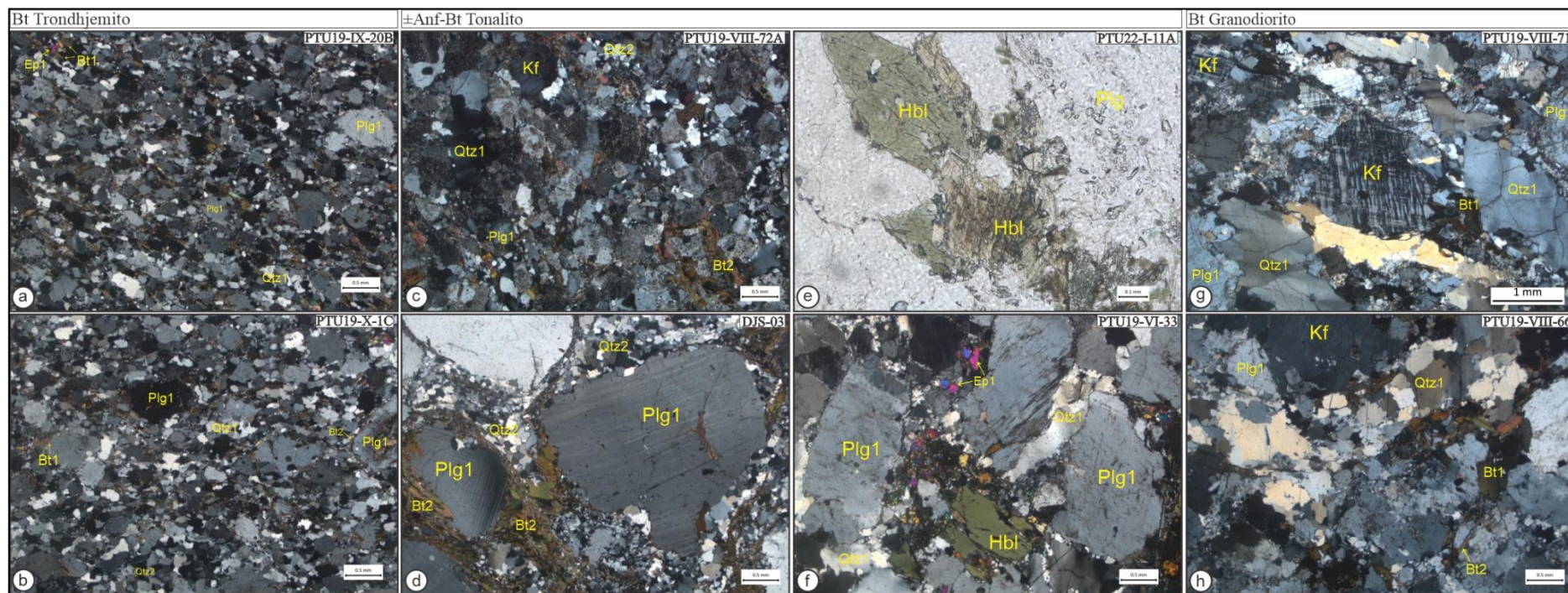


Figura 12 – Aspectos texturais microscópicos das rochas estudadas. **Bt Trondhjemito:** Rochas de granulação fina, onde destaca-se a presença de Bt1 e Ep1 (a) e o Plg1 sendo bordado por Bt2 (b). **±Anf –Bt Tonalitos:** (c) Rocha equigranular em que observa-se a presença de Bt2, Qtz1, Plg1 e o Kf, em menor quantidade. (d) Rocha porfírica, onde tem-se o Plg1 como pórfiros, por vezes rodeados pela Bt2. Em (e,f) destaca-se a presença da hornblenda em ambas as imagens, além da saussuritização do Plg (e) e da presença de Ep1 (f). **Bt Granodiorito:** (g,h) Rochas de granulação grossa, sendo marcadas pela presença de Kf e Bt1 e 2.

## 6 DISCUSSÕES

### 6.1 ASPECTOS DEFORMACIONAIS E MICROESTRUTURAL

Os granitoides de afinidade TTG que afloram na área de Tucumã-Ourilândia foram submetidos a esforços deformacionais regionais como consequência direta da atuação de extensa zona de cisalhamento do Cinturão Itacaiúnas, as quais possibilitaram o alojamento dos granitos indiferenciados e rochas afins ao longo da Província Carajás (Araújo & Maia 1991, Marangoanha *et al.* 2019). A Figura 13 mostra uma visão geral dos principais aspectos microestruturais dos granitoides estudados, a qual permite estimar os efeitos da temperatura e da taxa de deformação (*strain*) através da fluência e mecanismos de deformação intracristalina. Já a Figura 14 permite discutir as evidências deixadas pelos diferentes tipos de recristalização dinâmica que consistem em *bulging* (BLG), rotação de subgrão (SGR), migração de borda de grão (GBM) e a redução da área do contorno de grão (GBAR; Passchier & Trouw 2005, Fossen 2012).

O quartzo apresenta microestruturas definidas por novos cristais, com contatos suturados e granulação grossa, que indica atuação de mecanismos GBM e SGR sob condições de baixa taxa de deformação e tensão diferencial em temperatura superior a 500 °C (Figura 14c,d). Em torno de 300 °C, o quartzo pode apresentar cristais com densidades diferentes de deslocamentos, de modo que a fronteira do cristal menos deformado invade o cristal mais deformado (com a maior densidade de deslocamentos), formando *bulges* que podem evoluir para novos grãos (Figura 14a,b e Figura 15a,b). O comportamento deformacional dos feldspatos é fortemente dependente da temperatura e atua de forma semelhante tanto para plagioclásio quanto para feldspatos alcalinos (Figura 14e). Dessa forma, os granitoides estudados apresentam em sua maioria a granulação fina nos mantos de feldspatos, sugerindo recristalização dinâmica via BLG+SGR (Figura 13a,b). A recristalização do tipo BLG, em feldspatos, pode se desenvolver em cerca de 450 – 600°C, enquanto a recristalização dinâmica SGR ocorre em temperaturas acima de 600°C (próximas ao solidus) onde os cristais de feldspato tendem a apresentar um comportamento dúctil (ou são recristalizados por BLG±SGR), diferentemente do quartzo, que tende a se recristalizar por GBM±SGR. Já os minerais ferromagnesianos apresentam um comportamento deformacional diferente em temperaturas acima de 250°C. A biotita tem comportamento dúctil e frequentemente recristaliza para cristais mais finos, sendo comumente encontrada como agregados de cristais recristalizados (Figura 15e).

No domínio de baixa deformação, é comum a presença de microfraturas intragranulares em fenocristais de feldspatos preenchidas por minerais da matriz, indicando deformação na presença de líquido (Figura 15e,f). Diante disso, as microestruturas revelam uma história deformacional nos granitoides envolvendo resfriamento progressivo na presença de uma fase rica em voláteis, do estado (sub)magmático ao sólido (Blenkinsop 2000). Além disso, as feições ígneas bem preservadas (textura granular hipidiomórfica) indicam a cristalização sincinética do magma TTG e atuação das alterações tardi- a pósmagmáticas durante resfriamento assistido por deformação.

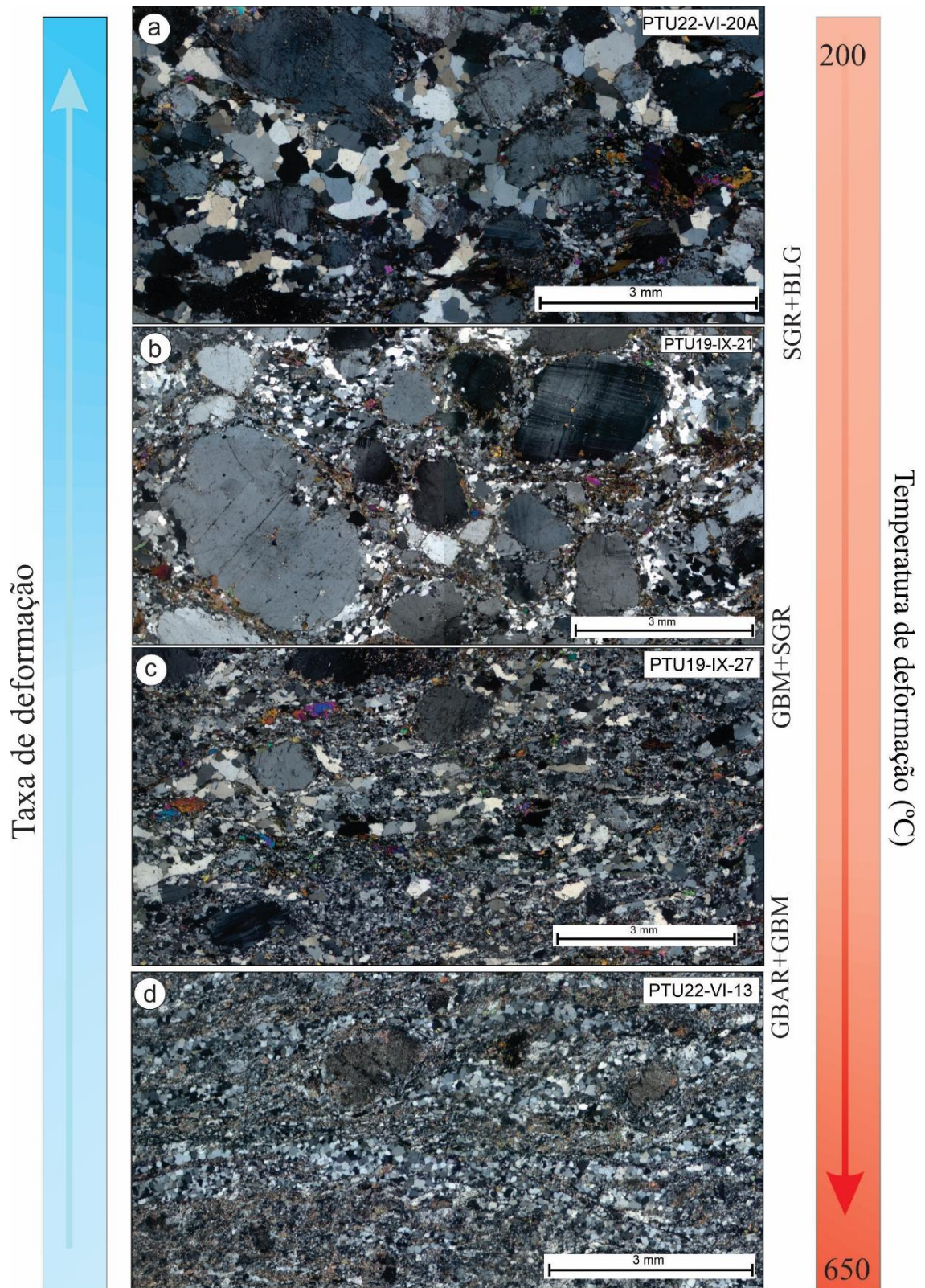


Figura 13 - Mosaico mostrando aspectos deformacionais gerais dos granitoides deste estudo com relação ao aumento de temperatura correlacionando com a taxa de deformação (*strain*), destacando as características de recristalização dinâmica observadas em cristais de quartzo, bem como cristais de feldspato (Plagioclásio e K-feldspato). a) predomina recristalização dinâmica BLG; b) predomina recristalização SGR pouca ocorrência de BLG; c) Predomina recristalização GBM; e) ocorre GBM e GBAR.

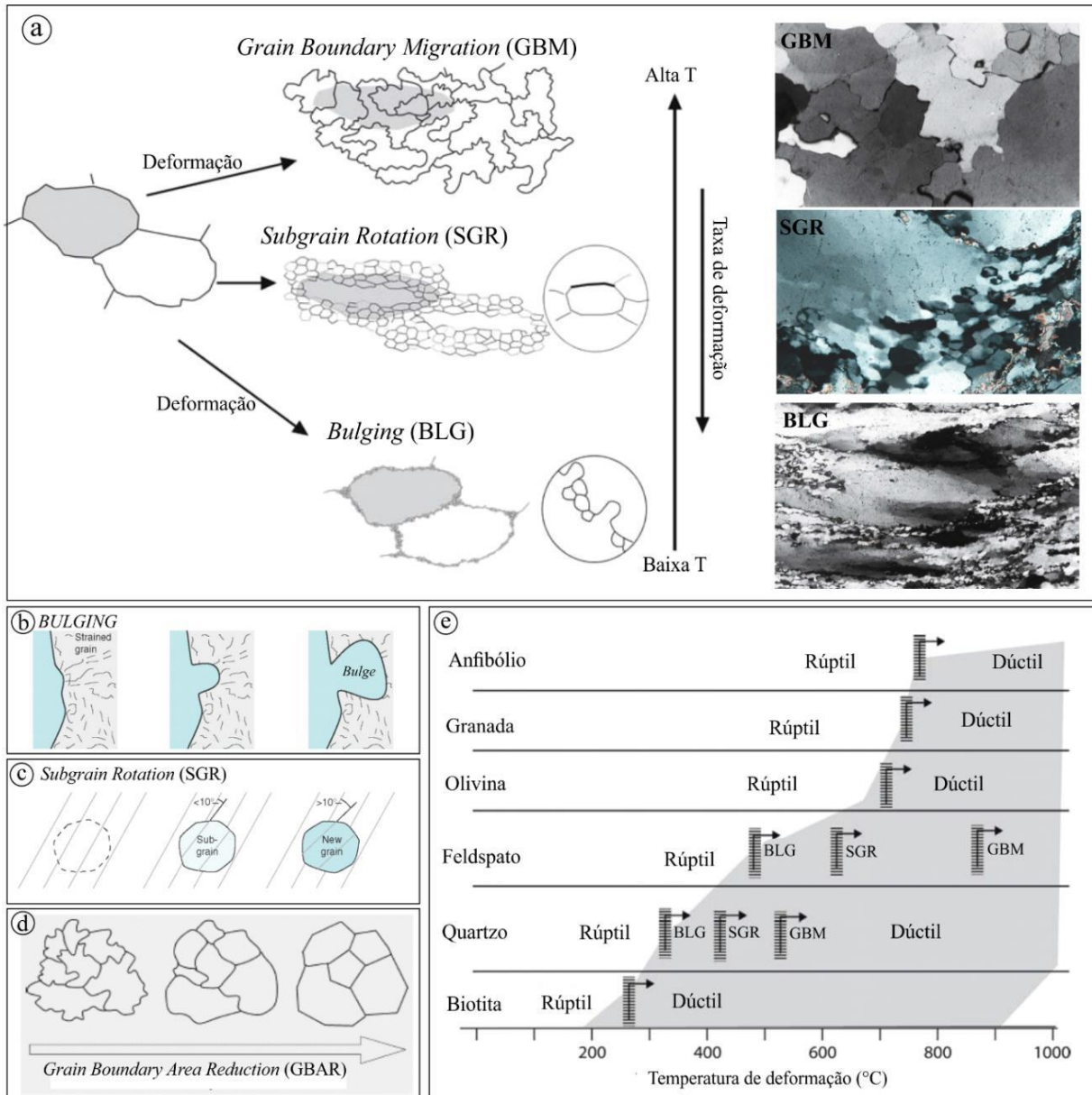


Figura 14 - Principais mecanismos e estruturas de recristalização (Passchier & Trouw 2005, Fossen 2012). (a) Os três principais tipos de recristalização dinâmica. A substância de um dos dois grandes cristais que recristalizaram é indicada por sombreamento, antes e durante a recristalização; (b) sob baixa temperatura, *bulging* se desenvolve quando dois cristais vizinhos têm densidades diferentes de deslocamento; (c) ilustração esquemática da evolução dos mecanismos de recuperação e recristalização por rotação de subgrãos; (d) ilustração esquemática do processo de redução da área dos contatos de cristais (Grain Boundary Area Reduction – GBAR) através do ajuste dos contatos e crescimento de cristais; (e) Relação entre temperatura dos mecanismos de deformação para diferentes fases minerais. As barras indicam as zonas de transição e o campo cinza representa o domínio de operação da deformação dúctil do cristal.

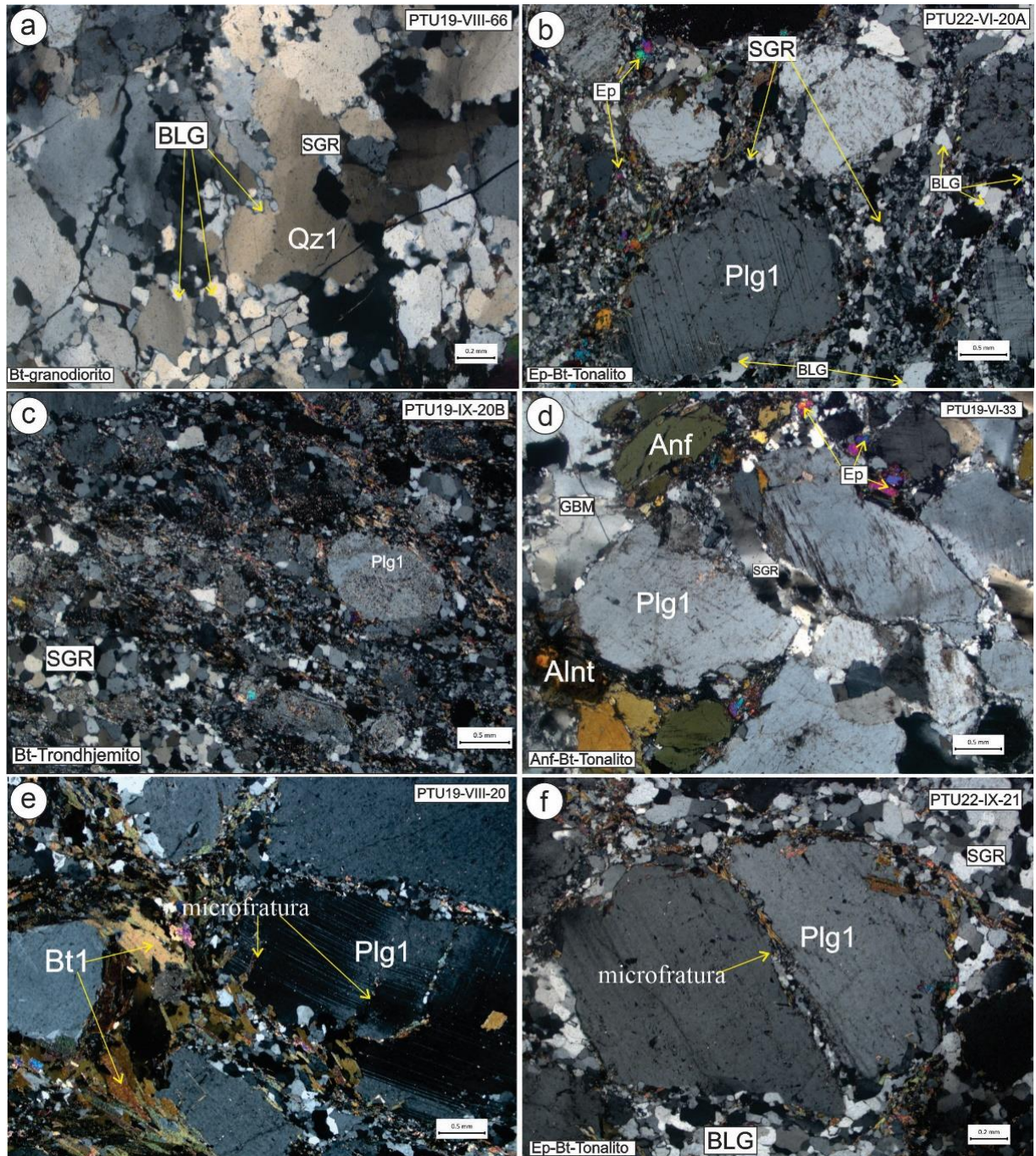


Figura 15 – Aspectos microestruturais das rochas estudadas. (a) Evidências de deformação do tipo BLG e SGR em grãos de quartzo na fácies Bt-Granodiorito. (b) Matriz de quartzo com características de deformações do tipo SGR e BLG em Tonalitos. (c) Matriz com deformação SGR em Bt-Trondhjemito. (d) Presença de quartzo com contatos interlobados (deformação GBM). (e,f) Destaque para microfraturas preenchidas por material da matriz.

## 6.2 COMPARAÇÕES COM OUTROS TTG's DA PROVÍNCIA CARAJÁS

Os dados petrográficos e os aspectos de campo mostram que os granitoides estudados correspondem a uma associação TTG formada predominantemente por tonalitos, com trondhjemitos e granodioritos subordinados. Em termos de conteúdos modais de minerais félsicos essenciais e de minerais máficos, as rochas tonalíticas estudadas se aproximam daquelas dos Tonalitos Mariazinha, Caracol e São Carlos, enquanto a variedade trondhjemítica mostra afinidade com o Trondhjemito Mogno, porém, com conteúdo de quartzo mais restrito. Além disso, nota-se uma forte similaridade composicional dos granitoides TTG de Água Azul do Norte com as variedades estudadas (Figura 16). Tais rochas apresentam moderadamente deformadas com desenvolvimento de bandamento composicional, com frequentes injeções de veios leucograníticos, por vezes associados à feições de migmatização (Figura 9f,g). As estruturas observadas nestes granitoides são comumente descritas em rochas análogas de outras porções da Província Carajás, por outro lado, feições de migmatização são documentadas apenas em rochas TTG do Terreno Sapucaia, mais especificamente aquelas que afloram nas áreas de Água Azul do Norte e Xinguara (Santos *et al.* 2018, Oliveira *et al.* 2022).

O padrão estrutural dominante observado nos granitoides TTG da área Tucumã-Ourilândia é marcado por foliações de direção principal N-S (com variações para a configuração de um padrão concêntrico), que em geral, divergem do padrão E-W comumente descrito no embasamento TTG de áreas adjacentes (Almeida *et al.* 2011, Santos *et al.* 2018). No entanto, o padrão de foliação N-S identificado na área pode ser observado no Tonalito Mariazinha que ocorre na porção do Domínio Rio Maria (Almeida *et al.* 2011) e nas rochas do Tonalito São Carlos, que afloram em Canaã dos Carajás (Silva *et al.* 2014). Além da mineralogia típica de granitoides TTG, a variedade tonalítica estudada apresenta ocasionalmente cristais de anfibólio bem preservados e epidoto magmático como a fase acessória mais comum. Apesar do epidoto magmático ser frequente nos principais corpos de composição tonalítica na Província Carajás, a ocorrência de anfibólio é notada apenas nos corpos do Tonalito São Carlos, e nos enclaves tonalíticos da área de Água Azul do Norte (Santos *et al.* 2018).

Os dados geológicos obtidos neste trabalho revelaram que a porção centro-oeste da Província Carajás (sul do Domínio Carajás) possui uma evolução complexa, ainda não totalmente esclarecida. No entanto, a existência de uma expressiva crosta TTG na área Tucumã-Ourilândia, distinta daquela do Domínio Rio Maria, aliado a um complexo padrão deformacional que quase sempre está associado a processos de migmatização, sugerem que ao

menos esta porção do Domínio Carajás, estaria em conformidade com a redefinição desta área como parte do Terreno Sapucaia, como proposto por Oliveira *et al.* (2022). Além disso, a intensa deformação e metamorfismo, provavelmente na fácies anfibolito, indicam um nível de exposição crustal mais profundo para as rochas da área de Tucumã-Ourilândia em relação àquele até então identificado no DRM. Além disso, as observações petrográficas feitas neste trabalho, aliado aos dados geocronológicos disponíveis para a área Tucumã-Ourilândia (Figura 5), mostram que as rochas estudadas possam ser correlacionadas ao magmatismo tonalítico formado entre 2,97 e 3.0 Ga identificado na Província Carajás.

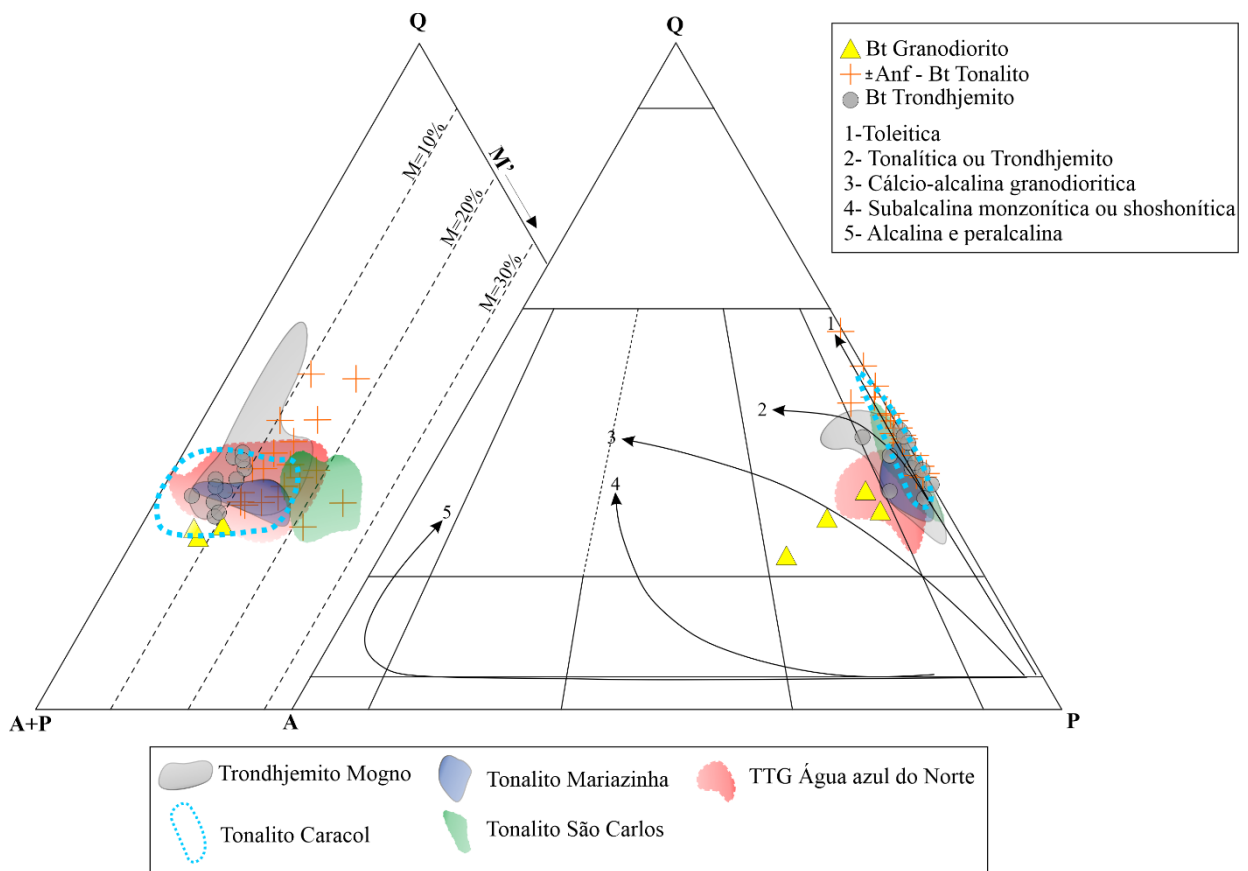


Figura 16 - Diagrama de análises modais Q-A-P (Le Maitre 2002) e Q-A+P-M com os granitoides estudados da região de Tucumã e Ourilândia do Norte em comparação com os TTGs da Província Carajás (Gabriel *et al.* 2010, Ronaib & Oliveira 2013, Silva *et al.* 2014, Santos *et al.* 2018, Machado *et al.* 2021). Legenda: Q - quartzo; A - álcali feldspato; P - plagioclásio; M - minerais máficos.

## 7 CONCLUSÕES

A partir dos dados obtidos, bem como as análises e comparações feitas nas rochas estudadas, foi possível associá-las às rochas do tipo TTG, caracterizando-as como o embasamento da região estudada. Essa redefinição do Complexo Xingu foi possível a partir das seguintes conclusões:

- O mapa geológico, bem como as relações de campo identificadas na área de estudo, mostra que a estruturação N-S mais antiga ainda está preservada, e as inflexões para E-W provavelmente representam a transposição das estruturas pretéritas por zonas de cisalhamento posteriores. Além disso, os granitoides estudados ainda apresentam suas feições magmáticas preservadas, em especial no centro do corpo;
- As análises petrográficas mostraram que as rochas estudadas apresentam muitas similaridades entre si, tanto mineralógicas como texturais, mas ainda assim, a partir de suas peculiaridades, foi possível mostrar que a área é formada predominantemente por ( $\pm$ anfíbólio)biotita tonalito, e subordinadamente por biotita trondhjemitico e biotita granodiorítico;
- Os aspectos microestruturais mostraram evidências de deformação do tipo BLG ao tipo GBAR, indicando que a deformação ocorreu em diferentes níveis crustais, tanto dúcteis como rúpteis, na presença de *melt* (microfraturas preenchidas);
- Por fim, as afinidades composicionais e texturais mostrada com outros granitoides TTG de áreas adjacentes, bem como os dados geocronológicos disponíveis nos granitoides da área de estudo, são fortes indicativos de que os mesmos representem uma associação TTG (mais antiga), que permitem associá-las ao magmatismo tonalítico ocorrido de 2,97 a 3,0 Ga na Província Carajás. Além disso, o complexo padrão deformacional associado a processos de migmatização, sugerem que esta porção da província represente a extensão lateral do que foi definido para o Terreno Sapucaia. Sendo assim, metamorfismo na fácies anfíbolito indicam um nível de exposição crustal mais profundo para as rochas da área de Tucumã-Ourilândia em relação àquele do DRM.

Destaca-se, ainda, que este trabalho é apenas um estudo inicial para a caracterização dessas rochas. Estudos mais profundos serão apresentados na dissertação do discente Yury Harrison da Costa Reis, que apresentará dados geoquímicos e geocronológicos inéditos, permitindo, assim, que se defina a afinidade petrológica destes granitoides e evidências do(s) mecanismo(s) de formação.

## REFERÊNCIAS

- Almeida F.F.M., Hasui Y., Brito Neves B.B. 1976. The Upper Precambrian of South America. *Boletim IG, Instituto de Geociências, USP*, **7**:45-80.
- Almeida F.F.M., Hasui Y., Brito Neves B.B., Fuck R.A. 1981. Brazilian Structural Provinces: an introduction. *Earth Science Review*, **17**(1-2):1-29.
- Almeida J.A.C., Dall'Agnol R., Dias S.B., Althoff F.J. 2010. Origin of the Archean leucogranodiorite-granite suites: evidence from the Rio Maria terrane and implications for the granite magmatism in the Archean. *Lithos*, **120**(3-4):235-257.
- Almeida J.A.C., Dall'Agnol R., Leite A.A.S. 2013. Geochemistry and zircon geochronology of the Archean granite suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane, Carajás Province, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **42**:103-126.
- Almeida J.A.C., Dall'Agnol R., Oliveira M.A., Macambira M.J.B., Pimentel M.M., Rämö O.T., Guimarães F.V., Leite A.A.S. 2011. Zircon geochronology, geochemistry and origin of the TTG suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane: implications for the growth of the Archean crust of the Carajás Province, Brazil. *Precambrian Research*, **187**(1-2):201-221.
- Althoff F.J., Barbey P., Boullier A.M. 2000. 2.8-3.0 Ga plutonism and deformation in the SE Amazonian craton: the Archean granitoids of Marajoara (Carajás Mineral Province, Brazil). *Precambrian Research*, **104**:187-206.
- Araújo O.J.B. & Maia R.G.N. 1991. *Serra dos Carajás, Folha SB.22-Z-A, Estado do Pará, escala 1:250.000*. Brasília, DF, CPRM- Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB), Projeto Especial Mapas de Recursos Minerais, de Solos e de Vegetação para a Área do Programa Grande Carajás, 135 p.
- Araújo R.N. 2020. *Estratigrafia e eventos da transição Neoarqueano-Paleoproterozoico da Bacia de Carajás, sudeste do Cráton Amazônico*. PhD Theses, Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, xxvi, 187p.
- Avelar V.G., Lafon J.M., Correia JR, F.C., Macambira E.M.B. 1999. O Magmatismo Arqueano da região de Tucumã – Província Mineral de Carajás: novos resultados geocronológicos. *Revista Brasileira de Geociências*, **29**(4):453-460.
- Blenkinsop T.G. 2000. *Deformation microstructures and mechanisms in minerals and rocks*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 150 p.
- Costa F.G., Santos, P.A., Serafim I.C.C.O., Costa I.S.L., Roopnarain S. 2020. From Mesoarchean drips to modern-style tectonics in the Carajás Province, Amazonian Craton. *Journal of South American Earth Sciences*, **104**: 102817.
- Costa J.B.S., Araújo O.J.B., Santos A., Jorge João X.S., Macambira M.J.B. Lafon J.M. 1995. A Província Mineral de Carajás: aspectos tectono-estruturais, estratigráficos e geocronológicos. *Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi. Série Ciências da terra*, **7**:199-235.
- Costa U.A.P., Paula R.R., Silva D.P.B., Tavares F.M., Oliveira J.K.M., Justo A.P. 2016. Mapa geológico-geofísico ARIM Carajás. Belém, CPRM. Escala 1:250.000. Programa Geologia do Brasil (PGB) – Projeto Evolução Crustal e Metalogenia da Província Mineral de Carajás - ARIM Carajás.

Dall’Agnol R., Oliveira D.C., Guimarães F.V., Gabriel E.O., Feio G.R.L., Lamarão C.N., Althoff F.J., Santos P.A., Teixeira M.F.B., Silva A.C., Rodrigues D.S., Santos M.J.P., Silva C.R.P., Santos R.D., Santos P.J.L. 2013. Geologia do Subdomínio de Transição do Domínio Carajás – Implicações para a Evolução Arqueana da Província Carajás – Pará. *In: 13° Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém, Anais[...]*, CD-ROM.

Docegeo. 1988. Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás. *In: SBG, 35° Congresso Brasileiro de Geologia. Província Mineral de Carajás: litoestratigrafia e principais depósitos minerais. [Anexo]*, p.10–54.

Duarte K.D. & Dall’Agnol R. 1996. Geologia e geoquímica do leucogranito arqueano potássico Mata Surrão, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, Pará. *Boletim do Instituto de Geociências da USP, São Paulo, 18:113–115 (Série Publicações Especiais)*.

Favacho G.G. 2021. *Geologia da Folha Rio Branco (SB-22-Y-B-VI), Província Carajás: mapeamento e integração de dados geológicos*. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 110p.

Feio G.R.L. & Dall’Agnol R. 2012. Geochemistry and petrogenesis of the Mesoarchean granites from the Canaã dos Carajás area, Carajás Province, Brazil: implications for the origin of Archean granites. *Lithos, 154:33–52*.

Feio G.R.L., Dall’Agnol R., Dantas E.L., Macambira M.J.B., Santos J.O.S., Althoff F.J., Soares J.E.B. 2013. Archean granitoid magmatism in the Canaã dos Carajás area: Implications for crustal evolution of the Carajás province, Amazonian craton, Brazil. *Precambrian Research, 227:157–185*.

Fossen H. 2012. *Geologia estrutural*. Tradução: Andrade R.D.F. São Paulo, Editora Oficina de Textos, 584p.

Gabriel E.O. & Oliveira D.C. 2014. Geologia, petrografia e geoquímica dos granitoides arqueanos de alto magnésio da região de Água Azul do Norte, porção sul do Domínio Carajás, Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi-Ciências Naturais, 9(3):533–564*.

Gabriel E.O. 2014. *Petrogênese e Evolução Estrutural dos granitoides arqueanos da região de Água Azul do Norte – PA, Província Carajás*. Qualificação de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 77 p.

Gabriel E.O., Oliveira D.C., Galarza M.A. 2010. Geologia, petrografia e geocronologia de granitoides do Complexo Xingu da região nordeste de Água Azul do Norte – PA, Província Mineral de Carajás. *In: SBG, 45° Congresso Brasileiro de Geologia, SBG, Belém, Anais[...]*, CD-ROM.

Guimarães F.V. 2009. *Geologia, petrografia e geoquímica do Trondhjemitó Mogno e rochas arqueanas associadas, terreno granito-greenstone de Rio Maria – SE do Pará*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 102 p.

Guimarães F.V.G., Dall’Agnol R., Almeida J.A.C., Oliveira M.A. 2010. Caracterização geológica, petrográfica e geoquímica do trondhjemitó Mogno e Tonalito Mariazinha, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, SE do Pará. *Revista Brasileira de Geociências, 40(2):196–211*.

Lafon J.M. & Scheller T. 1994. Geocronologia Pb/Pb em zircão do Granodiorito Cumaru, Serra dos Gradaús, PA. *In: SBG–Núcleo Norte, 4° Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém, Resumos expandidos[...]*, p. 321–323.

- Le Maitre R.W. 2002. *A classification of igneous rocks and glossary of terms*. 2nd Edition, London, 193 p.
- Leite A.A.S. 2001. *Geoquímica, petrogênese e evolução estrutural dos granitoides arqueanos da região de Xinguara, SE do Cráton Amazônico*. Phd Thesis. Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, 330 p.
- Leite A.A.S., Dall'Agnol R., Macambira M.J.B., Althoff F.J. 2004. Geologia e geocronologia dos granitoides arqueanos da região de Xinguara (PA) e suas implicações na evolução do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria. *Revista Brasileira de Geociências*, 34:447–458.
- Leite-Santos P.J. & Oliveira D.C. 2016. Geologia, petrografia e geoquímica das associações leucogranítica arqueanas da área de Nova Canadá: Província Carajás. *Geologia USP-Série Científica*, 16(2):37–66.
- Macambira E.M.B. & Vale A.G. 1997. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. São Félix do Xingu: folha SB.22-Y-B - estado do Pará. CPRM, Brasília, 344 p.
- Machado J.R.M., Oliveira D.C., Almeida J.A.C. 2021. Geologia, geoquímica e afinidades tectonomagmáticas dos granitoides de Bannach do Domínio Rio Maria, Província Carajás, Brasil. *Geologia USP-Série científica*, 21(2):5–90.
- Machado N., Lindenmayer Z., Krogh T.E., Lindenmayer D. 1991. U/Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás Área, Amazon Shield, Brazil. *Precambrian Research*, 49:329–354.
- Marangoanha B., Oliveira D.C., Dall'Agnol R. 2019. The Archean granulite-enderbite complex of the northern Carajás province, Amazonian craton (Brazil): origin and implications for crustal growth and cratonization. *Lithos*, 350–351:105275.
- Moreto C.P.N., Monteiro L.V.S., Xavier R.P., Amaral W.S., Santos T.J.S., Juliani C., Souza Filho C.R. 2011. Mesoarchean (3.0 and 2.86 Ga) host rocks of the iron oxide – Cu–Au Bacaba deposit, Carajás Mineral Province: U–Pb geochronology and metallogenetic implications. *Mineralium Deposita*, 46:789–811.
- Oliveira D.C., Dall'Agnol R., Barros C.E.M., Oliveira M.A. 2009. Geology, geochemistry and magmatic evolution of the Paleoproterozoic, anorogenic oxidized A-type Redenção granite of the Jamon Suite, eastern Amazon Craton, Brazil. *Canadian Mineralogist*, 47(6):1441–1468.
- Oliveira D.C., Silva L.R., Nascimento A.C., Marangoanha, B. 2022. Geologia Regional da Província Mineral de Carajás, Sudeste do Cráton Amazônico: Proposta Litoestratigráfica e Implicações para sua Compartimentação Tectônica. II Congresso Amazônico de Mineração, Metalurgia e Materiais – COAMA, Marabá-PA.
- Passchier C.W. & Trouw R.A.J (eds.). 2005. *Microtectonics*. Germany, Springer, 366 p.
- Pidgeon R.T., Macambira M.J.B., Lafon J.M. 2000. Th-U-Pb isotopic systems and internal structures of complex zircons from an enderbite from the Pium Complex, Carajás Province, Brazil: evidence for the ages of granulites facies metamorphism and the protolith of the enderbite. *Chemical Geology*, 166:159–171.
- Pimentel M.M. & Machado N. 1994. Geocronologia U-Pb do Terrenos Granito-Greenstone de Rio Maria, Pará. In: SBG, 38º Congresso Brasileiro de Geologia. Camboriú, *Resumos Expandidos[...]*, p. 390–391.

- Pinheiro R.V.L. & Holdsworth R.E. 2000. Evolução tectonoestratigráfica dos Sistemas Transcorrentes Carajás e Cinzento, Cinturão Itacaiúnas, na borda leste do Cráton Amazônico, Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(4):597–606.
- Reis Y.H.C. *Geologia, geocronologia U-Pb e afinidade petrológica do embasamento Mesoarqueano de afinidade TTG de Ourilândia do Norte-Tucumã (PA) Província Carajás*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, (Em preparação).
- Rodrigues D.S., Oliveira D.C., Macambira M.J.B. 2014. Geologia, geoquímica e geocronologia do Granito Mesoarqueano Boa Sorte, município de Água Azul do Norte, Pará – Província Carajás. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi-Ciências Naturais*, 9(3), 597–633.
- Rolando A.P. & Macambira M.J.B. 2003. Archean crust formation in Inajá range area, SSE of Amazonian Craton, Brazil, based on zircon ages and Nd isotopes. *In: South American Symposium on Isotope Geology*. Salvador, *Expanded Abstracts* [...], 1 CDrom.
- Ronaib C.P.S. & Oliveira D.C. 2013. Geologia, petrografia e geoquímica das associações TTG e leucogranodioritos do extremo norte do Domínio Rio Maria, Província Carajás. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Ciências Naturais* 8(3): 383-415.
- Santos J.O.S, Hartmann L.A., Gaudette H.E., Groves D.I., Mcnaughton N.J., Fletcher I.R. 2000. A new Understanding of the Provinces of the Amazon Craton based on Integration of field Mapping and U-Pb and Sm-Nd Geochronology. *Gondwana Research*, 3(4):453-488.
- Santos J.O.S. 2003. Geotectônica do Escudo das Guianas e Brasil-Central. *In: Bizzi L.A. et al.* (ed.). *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: Texto, Mapas e SIG*. Brasília,DF, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, p. 169–226.
- Santos M.D. & Leonardos O.H. 1995. Sistema de fluidos e modelo genético do depósito aurífero do Cumaru, SE do Estado do Pará. *Boletim Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências da Terra*, 7:237–262
- Santos M.N.S. 2015. *Granodiorito Rio Maria e Rochas Associadas de Ourilândia do Norte. Província Carajás: Geologia e Afinidades Petrológicas*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 68 p.
- Santos M.S., Oliveira D.C., Gabriel E.O. 2018. Granitoides TTG de Água Azul do Norte (PA): implicações tectônicas para a Província Carajás. *Geologia USP-Série científica*, 8:119–148.
- Silva A.C., Dall’Agnol R., Guimarães F.V., Oliveira D.C. 2014. Geologia, petrografia e geoquímica de Associações Tonalíticas e Trondhjemiticas Arqueanas de Vila Jussara, Província Carajás, Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi-Ciências Naturais*, 9(1):13–46.
- Serviço Geológico do Brasil-CPRM. 2015. *Projeto Aerogeofísico Oeste de Carajás: relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos*. Rio de Janeiro, Lasa Prospecções. (Programa Geologia Do Brasil – PGB).
- Serviço Geológico do Brasil-CPRM. 2021. *Projeto integração geológica-geofísica-metalogenética das sequências de Greenstone Belts do Domínio Rio Maria – Novas Fronteiras Rio Maria*. Organização Regina Célia dos Santos Silva, André Menezes Sabóia, Hugo José de Oliveira Polo. Belém, CPRM. 1 recurso eletrônico: PDF; il. Escalas 1.250.000 e 1:100.000.
- Silva L.R. & Oliveira D.C. 2019. Magmatismo Mesoarqueano de Ourilândia do Norte-PA: afinidades petrológicas e implicações tectônicas para a Província Carajás. *In: Teixeira S.G. & Chaves C.L.* (eds.). *Contribuições à geologia da Amazônia*, Manaus, SBG-Núcleo Norte, 11:147–180.

Silva L.R. 2022. *Petrogênese e história tectônica dos granitoides mesoarqueanos de Ourilândia do Norte (PA) – Província Carajás*. PhD Theses, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 318 p.

Silva L.R., Oliveira D.C., Santos M.N.S. 2018. Diversity, origin and tectonic significance of the Mesoarchean granitoids of Ourilândia do Norte, Carajás province (Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*, **82**:33–61.

Silva M.A.D. 2014. *Metatexitos e diatexitos do Complexo Xingu na região de Canaã dos Carajás: implicações para a evolução mesoarqueana do Domínio Carajás*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas. 106p.

Silva-Silva L.C., Oliveira D.C., Souza D.B. 2020. Geology and geochemical constraints on the origin of the Mesoarchean granitoids from Carajás province, Amazonian craton. *Journal of South American Earth Sciences*, **100**:102–568.

Souza D.B. 2018. *Geologia e petrologia dos granitoides Arqueanos da Área de Tucumã: implicações para a evolução crustal da Província Carajás*. Exame de qualificação, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 84 p.

Souza D.B., Oliveira D.C., Monteiro L.V.S., Gabriel E.O. Marangoanha B. 2017. Colocação, metamorfismo e natureza dos anfíbolitos de Água Azul do Norte, Província Carajás. *Geologia USP-Série Científica*, **17**:98–123.

Souza Z.S., Potrel A., Lafon J.M., Althoff F.J., Pimentel M.M., Dall'Agnol R., Oliveira C.G. 2001. Nd, Pb and Sr isotopes in the Identidade Belt, an Archean greenstone belt of Rio Maria region (Carajás Province, Brazil): implications for the geodynamic evolution of the Amazonian craton. *Precambrian Research*, **109**(3–4):293–315.

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

Tavares F.M. 2015. *Evolução geotectônica do nordeste da Província Carajás*. PhD Theses, IGEO, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 115 p.

Teixeira M.F.B., Dall'Agnol R., Santos J.O.S., Kemp A., Evans N. 2019. Petrogenesis of the Paleoproterozoic (Orosirian) A-type granites of Carajás Province, Amazon Craton, Brazil: combined in situ Hf-O isotope of zircon. *Lithos*, **332–333**:1–22.

Teixeira M.F.B., Dall'Agnol R., Silva A.C., Santos P.A. 2013. Geologia, petrografia e geoquímica do Leucogranodiorito Pantanal e dos leucogranitos arqueanos da área a norte de Sapucaia, Província Carajás, Pará: implicações petrogenéticas. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi-Ciências Naturais*, **8**(3):291–323.

Vasquez M.L. & Rosa-Costa L.T., 2008. *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. CPRM, Belém, 329p.