



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza

Instituto de Geociências

Departamento de Geologia

João Vitor de Souza Mussili

**RELAÇÕES ESPACIAIS, GEOMÉTRICAS E TEMPORAIS ENTRE ZONAS DE
CISALHAMENTO E PLÚTONS: PROVÍNCIA MINERAL CARAJÁS,
SUDESTE DO CRÁTON AMAZÔNICO**

Rio de Janeiro, RJ
2024



João Vitor de Souza Mussili

RELAÇÕES ESPACIAIS, GEOMÉTRICAS E TEMPORAIS ENTRE ZONAS DE
CISALHAMENTO E PLÚTONS: PROVÍNCIA MINERAL CARAJÁS,
SUDESTE DO CRÁTON AMAZÔNICO

Trabalho de Conclusão de Curso em
Geologia do Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio de Janeiro -
UFRJ, apresentado como requisito
necessário para obtenção do título de
Bacharel em Geologia.

Orientador(es):

Prof. Dr. Atlas Vasconcelos Corrêa Neto
(Departamento de Geologia, UFRJ)

Dr. Carlos Eduardo Ganade de Araújo
(Serviço Geológico Brasileiro - CPRM)

Rio de Janeiro, RJ

2024

MUSSILI, João Vitor de Souza

Relações espaciais, geométricas e temporais entre zonas de cisalhamento e plútons: Província Mineral Carajás, Sudeste do cráton Amazônico / João Vitor de Souza Mussili

Rio de Janeiro: UFRJ/IGEO, 2024.

86p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2024.

Orientador: Prof. Dr. Atlas Vasconcelos Corrêa Neto

Coorientador: Dr. Carlos Eduardo Ganade de Araújo

1. Geologia. 2. Geologia Regional – Trabalho de Conclusão de Curso. I. Atlas Vasconcelos Corrêa Neto. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. III. Título.

João Vitor de Souza Mussili

**RELAÇÕES ESPACIAIS, GEOMÉTRICAS E TEMPORAIS ENTRE ZONAS DE
CISALHAMENTO E PLÚTONS: PROVÍNCIA MINERAL CARAJÁS,
SUDESTE DO CRÁTON AMAZÔNICO**

Trabalho de Conclusão de Curso em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do título de Bacharel em Geologia.

Orientador(es):

Prof. Dr. Atlas Vasconcelos Corrêa Neto
(Departamento de Geologia, UFRJ)

Dr. Carlos Eduardo Ganade de Araújo
(Serviço Geológico Brasileiro - CPRM)

Aprovado em: 29/07/2024

Orientador: Atlas Vasconcelos Corrêa Neto (UFRJ)

José Carlos Sícoli Seoane (UFRJ)

Leandro Duarte Campos (SGB)

Rio de Janeiro, RJ

2024

Dedicado à minha mãe

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de expressar minha profunda gratidão aos meus orientadores, Atlas Corrêa Neto e Carlos Eduardo Ganade. Suas orientações, paciência e conhecimento foram fundamentais para a realização deste trabalho.

Agradeço também à minha família, especialmente à minha mãe Patrícia, meu pai Luis Felipe e minha irmã Giovanna. Seu apoio incondicional, amor e compreensão foram essenciais para que eu pudesse chegar até aqui.

Sou muito grato aos meus professores do curso de Geologia da UFRJ. Cada um, com sua dedicação e ensinamentos, contribuiu para minha formação acadêmica e profissional, despertando em mim a paixão pela geologia.

Quero também agradecer a todos os geólogos do CGA/CEDES do Serviço Geológico Brasileiro no Rio de Janeiro, onde estagiei no último um ano e meio. Vocês fizeram parte deste período de desenvolvimento do trabalho, criando um ambiente agradável e colaborativo que facilitou meu crescimento pessoal e profissional.

Finalmente, um agradecimento especial aos meus amigos de turma, especialmente ao grupo "Panela das Panelas". O apoio, o companheirismo, as viagens de campo e os bons momentos que compartilhamos foram essenciais para tornar esta jornada mais leve e agradável.

A todos vocês, meu sincero obrigado.

RESUMO

MUSSILI, João V. S. **Relações espaciais, geométricas e temporais entre zonas de cisalhamento e plútons: Província Mineral Carajás, Sudeste do cráton Amazônico**. 2024, p.86, Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Este estudo investiga as potenciais relações entre zonas de cisalhamento e plútons, usando como estudo de caso uma das regiões geologicamente mais importantes do Brasil, a Província Mineral de Carajás. O objetivo foi identificar relações espaciais, geométricas e temporais entre esses elementos, usando uma vasta compilação de dados e a interpretação de imagens aeromagnéticas e radiométricas. A província foi dividida em subdomínios com base na interpretação de imagens geofísicas, e a razão geométrica de cada plúton estudado foi calculada, permitindo a criação de um produto quantitativo da geometria de cada um. Além disso, a distância dos plútons até as zonas de cisalhamento mais próximas foi calculada para analisar a espacialidade e a relação com suas formas. As idades de cristalização magmática dos plútons foram levantadas para mapear os pulsos magmáticos ao longo do tempo geológico. Histogramas gerados a partir do banco de dados ilustram algumas das análises. A discussão detalhou as implicações dos resultados, destacando a influência das zonas de cisalhamento na geometria dos plútons e na evolução tectônica da província. A análise das razões geométricas e idades dos plútons evidenciou significativa deformação neoarqueana e menor deformação paleoproterozóica, confirmando um controle estrutural significativo devido a eventos neoarqueanos confirmados na literatura. Este estudo contribui para a compreensão das relações entre plútons e zonas de cisalhamento, traçando fortes relações entre essas estruturas geológicas na Província Carajás. A integração de métodos geofísicos e geológicos se mostra essencial para desvendar a história tectônica da região, potencialmente melhorando os critérios de exploração mineral.

Palavras-chave: plúton, zona de cisalhamento.

ABSTRACT

MUSSILI, João V. S. **Spatial, geometric, and temporal relationships between shear zones and plutons: Carajás Mineral Province, southeastern Amazonian craton.** 2024, p.86, Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

This study investigates the potential relationships between shear zones and plutons, using as a case study one of the most important regions of Brazil geologically wise, the Carajás Mineral Province. The objective was to identify spatial, geometric and temporal relationships between these elements, using a vast compilation of data and the interpretation of aeromagnetic and radiometric images. The province was divided into subdomains based on the interpretation of geophysical images, and the geometric ratio of each pluton studied was calculated, allowing the creation of a quantitative product of the geometry of each one. In addition, the distance of the plutons to the nearest shear zones was calculated to analyze the spatiality and the relationship with their shapes. The magmatic crystallization ages of the plutons were collected to map the magmatic pulses through geological time. Histograms generated from the database illustrate some of the analyses. The discussion detailed the implications of the results, highlighting the influence of shear zones on the geometry of the plutons and on the tectonic evolution of the province. The analysis of the geometric ratios and ages of the plutons showed significant Neoproterozoic deformation and minor Paleoproterozoic deformation, confirming a significant structural control due to Neoproterozoic events confirmed in the literature. This study contributes to the understanding of the relationships between plutons and shear zones, tracing strong relationships between these geological structures in the Carajás Province. The integration of geophysical and geological methods is essential to unravel the tectonic history of the region, potentially improving mineral exploration criteria.

Keywords: pluton, shear zone.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Contexto geotectônico da província de Carajás desenvolvido por Silva *et al.* (2022): (a) plataforma sul-americana; (b) cráton amazônico com limites tectônicos de Santos (2003); (c) mapa geológico simplificado da província de Carajás. A direita, a subdivisão dos domínios litotectônicos é mostrada esquematicamente, semelhante à proposta por Dall’Agnol *et al.* (2013). Os dados geocronológicos da legenda foram obtidos por U–Pb *in situ* e/ou evaporação de Pb em zircão usando diferentes equipamentos analíticos e procedimentos: Machado *et al.* (1991); Macambira & Lancelot (1996); Avelar *et al.* (1999); Souza *et al.* (2001); Vasquez & Rosa-Costa (2008); Almeida *et al.* (2011, 2013); Feio *et al.* (2013); Tavares *et al.* (2018); Teixeira *et al.* (2019); Marangoanha *et al.* (2019); Silva *et al.* (2021), Santos-Silva *et al.* (2021). Modificado com área do presente estudo.....17
- Figura 2** - Mapa principal da Província Carajás destacando as principais zonas de cisalhamento, plútons e subdomínios interpretados. O mapa autoral foi desenvolvido através da interpretação detalhada de imagens geofísicas. (b) Divisão dos subdomínios e recortes de seus limites, conforme mostrado na Figura 3.....19
- Figura 3** - Limites dos subdomínios separados através da interpretação da imagem radiométrica ternária RGB. A) Limite entre os subdomínios Bacia Carajás (BC) e Sistema de zonas de cisalhamento Cinzento (SZCC). B) Limite entre os subdomínios SZCC e o Domínio Bacajá (DB). C) Limite entre os subdomínios BC e Canaã dos Carajás (CDC). D) Limite entre os subdomínios Sistema de zonas de cisalhamento Itacaiúnas (SZCI) e o Domínio Sapucaia (DS).....29
- Figura 4** - Mapa radiométrico ternário RGB com a delimitação dos subdomínios definidos no trabalho.....34
- Figura 5** - Mapa principal da Província Carajás destacando as principais zonas de cisalhamento, plútons e subdomínios interpretados. O mapa autoral foi desenvolvido através da interpretação detalhada de imagens geofísicas e os plútons divididos de acordo com suas razões geométricas: baixa proporção (0,000 – 0,300), média proporção (0,301 – 0,600) e alta proporção (0,601 – 1,000).....39
- Figura 6** - Correlação entre as cores aparentes na imagem RGB e as unidades litológicas (Rodrigues & Oliveira, 2019).....Apêndice I

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Seleção representativa de exemplos das diferentes assinaturas radiométricas e aeromagnéticas que foram observadas nos plútons da província. a) plúton paleoproterozóico Rio Branco; b) plúton paleoproterozóico Cigano; c) plúton neoarqueano da suíte Plaquê.....30

Tabela 2 - Dados filtrados do banco de dados da Província Carajás levantado pela SGB.....Apêndice III

Tabela 3 - Dados levantados dos plútons neoarqueanos interpretados no trabalhoApêndice III

Tabela 4 - Dados levantados dos plútons paleoproterozóicos interpretados no trabalhoApêndice III

LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 1** - Gráfico comparando as porcentagens de plútons de baixa proporção em relação à totalidade de plútons de cada subdomínio.....40
- Gráfico 2** - Gráfico relacionando a razão geométrica dos plútons neoarqueanos com suas proximidades à zona de cisalhamento mais próxima.....41
- Gráfico 3** - Mapa das idades dos plútons e suas respectivas margens de erro. Algumas idades representam uma suíte inteira de plútons.....42
- Gráfico 4** - Gráfico que ilustra a comparação das razões geométricas entre os plútons neoarqueanos e os plútons paleoproterozóicos.....43

SUMÁRIO

1	Introdução e Objetivos	14
2	Contexto geológico	16
2.1	Província Carajás	16
2.2	Magmatismo Neoarqueano	18
2.2.1	Suíte Planalto	20
2.2.2	Suíte Plaquê	21
2.2.3	Suíte Estrela	21
2.2.4	Suíte Serra do Rabo	22
2.2.5	Suíte Vila União	23
2.2.6	Suíte Vila Jussara	23
2.2.7	Suíte Igarapé Gelado	24
2.3	Histórico tectônico	25
3	Métodos	27
3.1	Compilação dos dados	27
3.2	Interpretação geofísica	28
3.2.1	Subdomínios	28
3.2.2	Plútons	29
3.2.3	Zonas de cisalhamento	31
3.3	Tratamento dos dados	32
4	Resultados	34
4.1	Subdomínios	34
4.1.1	Rio Maria	35
4.1.2	Sapucaia	35
4.1.3	SZC Itacaiúnas	36
4.1.4	Canaã dos Carajás	36
4.1.5	Bacia Carajás	36
4.1.6	SZC Cinzento	37
4.1.7	Bacajá	37
4.2	Relações entre zonas de cisalhamento e plútons	37
4.2.1	Relação espacial e geométrica entre os plútons e as zonas de cisalhamento	38
4.2.2	Relação entre as idades dos plútons e as zonas de cisalhamento	42
4.3	Relação entre idade e geometria dos plútons	43

5	Discussão	45
6	Conclusões	49
	Referências	51

Apêndice I

Apêndice II

Apêndice III

1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Durante anos, muitos pesquisadores buscaram traçar relações entre zonas de cisalhamento e plútons, dada a proximidade comum entre esses fenômenos geológicos (Brown & Solar 1998, Hutton & Reavy 1992, McCaffrey 1992, Pe-Piper *et al.*, 1998, Román-Berdiel *et al.*, 1997, Vauchez *et al.*, 1997, Wagner *et al.*, 2006, Weinberg *et al.*, 2004, Weinberg *et al.*, 2009), porém a natureza dessa relação ainda é debatida. Algumas hipóteses sugerem que as zonas de cisalhamento podem atuar como canais para migração e fornecer espaço para a colocação de plútons (D'Lemos *et al.*, 1992, Guineberteau *et al.*, 1987, Hutton & Reavy 1992, McCaffrey 1992, Pe-Piper *et al.*, 1998), enquanto outras propõem que as zonas de cisalhamento se formam preferencialmente em torno de plútons devido à partição de deformação nos limites reológicos (Cao & Neubauer 2016, Neves & Vauchez 1995, Neves *et al.*, 1996, Neves *et al.*, 2000, Vauchez *et al.*, 1997).

Apesar de existir um amplo consenso de que os plútons ocorrem em proximidades com zonas de cisalhamento, isso não prova a correlação genética entre eles. Paterson & Schmidt (1999) e Schmidt & Paterson (2000) sugerem em seus estudos que os plútons têm uma tendência a ocorrer longe das falhas, indicando que as falhas não canalizam o magma nem controlam sua localização. Ainda propõem que, na melhor das hipóteses, há uma fraca relação geométrica, defendendo que os modelos de colocação de magma relacionados a falhas não são amplamente aplicáveis. Em Paterson & Schmidt (1999), foi argumentado que é necessário investigar pelo menos três relações distintas para comprovar a associação entre plútons e zonas de cisalhamento: a relação espacial, geométrica e temporal. A relação espacial refere-se à proximidade física entre essas feições, a relação geométrica aborda o formato dos corpos em relação às zonas e a relação temporal investiga a sequência geocronológica dos eventos da região.

O presente estudo tem como objetivo, portanto, analisar a distribuição, geometria e idade de famílias de plútons na região da Província Carajás, no intuito de determinar as relações que existem entre zonas de cisalhamento e plútons. Pretende-se assim contribuir para o debate e o melhor conhecimento do assunto.

Além de abrigar cinturões de cisalhamento decorrentes de eventos convergentes neoarqueanos, a região de Carajás é conhecida por suas

mineralizações com forte afiliação a intrusões, caracterizadas como depósitos polimetálicos do tipo IOCG com determinadas faixas de idade (Monteiro *et al.*, 2008; Moreto *et al.*, 2015; Xavier *et al.*, 2017; Melo *et al.*, 2020; Costa *et al.*, 2020). Portanto, a escolha desta região como área de estudo para esta investigação é conveniente, não apenas para a análise da relação entre plútons e zonas de cisalhamento, mas também para aprimorar critérios de pesquisa mineral em uma província de significância exploratória tão relevante.

2 CONTEXTO GEOLÓGICO

2.1 PROVÍNCIA CARAJÁS

A Província Mineral de Carajás (PMC), localizada na porção sudeste do cráton Amazônico, é o principal e mais conservado terreno arqueano de todo continente sulamericano (Figura 1) (Almeida *et al.*, 1981). É considerada uma província geocronologicamente independente por Santos (2003), enquanto Tassinari & Macambira (2004) interpretam como parte da Província Central Amazônica. De acordo com Souza *et al.*, 1996, a PMC compreende dois principais domínios tectônicos: o domínio Mesoarqueano Rio Maria (3.0–2.86 Ga) e o domínio Meso e Neoarqueano Carajás (3.0–2.73 Ga). Em trabalhos posteriores, com o auxílio de um vasto conjunto de novos dados geológicos, Dall’Agnol *et al.* (2013) subdividiram o domínio Carajás em domínio Sapucaia, domínio Canaã dos Carajás e Bacia Carajás.

O domínio Rio Maria consiste em um típico terreno granito-greenstone localizado ao sul da província. É composto por *greenstone belts* (2.97–2.90 Ga; Souza *et al.*, 2001) e diversos granitóides arqueanos: uma série de suítes tonalíticas-trondhjemíticas-granodioríticas (TTG) (2.98–2.92 Ga; Althoff *et al.*, 2000; Almeida *et al.*, 2011), a suíte sanukitóide Rio Maria (2,87 Ga; Oliveira *et al.*, 2009), uma suíte leucogranodiorito cálcio-alcálica de alto Ba-Sr (2,87 Ga; Almeida *et al.*, 2010) e leucogranitos potássicos de afinidade cálcio-alcálica (2.87–2.86 Ga; Althoff *et al.*, 2000; Souza *et al.*, 2001; Leite *et al.*, 2004; Almeida *et al.*, 2010).

As rochas do domínio Rio Maria são pouco deformadas, diferente das rochas do domínio Sapucaia, as quais foram afetadas pelo magmatismo e deformação de idade neoarqueana. O domínio Sapucaia se estabelece na parte central da província e possui fortes similaridades litológicas com o Rio Maria. Seu arcabouço litológico é constituído por associações tonalítico-trondhjemíticas, suítes sanukitóides, leucogranodioritos de alto Ba-Sr e plútons leucograníticos (Santos *et al.*, 2013a; Silva *et al.*, 2014; Teixeira *et al.*, 2013; Leite-Santos & Oliveira, 2016).

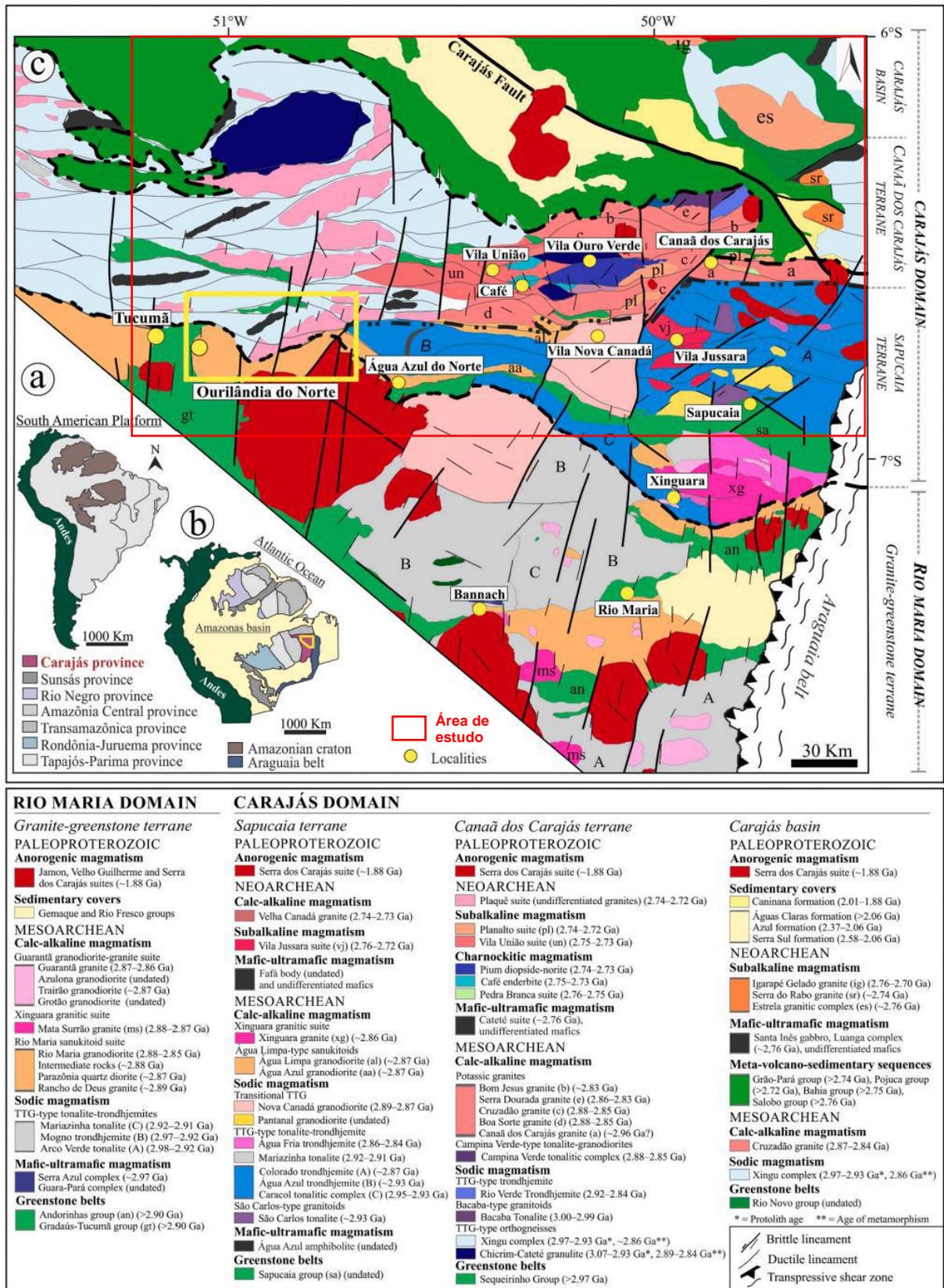


Figura 1 - Contexto geotectônico da província de Carajás desenvolvido por Silva *et al.* (2022): (a) plataforma sul-americana; (b) cráton amazônico com limites tectônicos de Santos (2003); (c) mapa geológico simplificado da província de Carajás. A direita, a subdivisão dos domínios litotectônicos é mostrada esquematicamente, semelhante à proposta por Dall'Agnol *et al.* (2013). Os dados geocronológicos da legenda foram obtidos por U–Pb in situ evaporação de Pb em zircão usando diferentes equipamentos analíticos e procedimentos: Machado *et al.* (1991); Macambira & Lancelot (1996); Avelar *et al.* (1999); Souza *et al.* (2001); Vasquez & Rosa-Costa (2008); Almeida *et al.* (2011, 2013); Feio *et al.* (2013); Tavares *et al.* (2018); Teixeira *et al.* (2019); Marangoanha *et al.* (2019); Silva *et al.* (2021), Santos-Silva *et al.* (2021). Modificado com área do presente estudo.

O domínio Canaã dos Carajás (DCC) é composto predominantemente por produtos de magmatismo granítico mesoarqueano. É englobado por (i) tonalitos com presença de anfibólios, o tonalito Bacaba (3,0 Ga; Moreto *et al.*, 2011) e o complexo tonalítico Campina Verde de 2,87–2,85 Ga; (ii) o trondhjemitó Rio Verde e (iii) o granito Canaã dos Carajás, ambos com ~2,93 Ga (Feio *et al.*, 2013); (iv) granitos cálcio-alcalinos de alto K, Boa Sorte, Bom Jesus, Cruzadão e Serra Dourada (2,83-2,89 Ga; Feio *et al.*, 2013; Rodrigues *et al.*, 2014; Moreto *et al.*, 2011); e (v) granitos subalcalinos formados no Neoarqueano entre ~2,75 Ga (Feio *et al.*, 2012; Santos *et al.*, 2013a; Rodrigues *et al.*, 2014).

O DCC é o embasamento da Bacia de Carajás, que geralmente é interpretada como uma bacia continental relacionada a riftes formada em ~2,76 Ga (Dall'Agnol *et al.*, 2006; Docegeo, 1988; Gibbs *et al.*, 1986; Tavares, 2015) e posteriormente fechada por processos colisionais. A bacia neoarqueana é composta predominantemente por rochas máficas a metavulcânicas intermediárias e formações ferríferas bandadas pertencentes ao Supergrupo Itacaiúnas atravessadas por algumas intrusões granitóides subalcalinos de ~2,76–2,73 Ga (Sardinha *et al.*, 2006; Barros *et al.*, 2009).

Contrastando com o bem preservado domínio Rio Maria, os domínios Sapucaia e Canaã dos Carajás foram significativamente afetados por eventos neoarqueanos, caracterizado por um regime compressivo oblíquo, além de intrusões granitóides deformadas do tipo A (Dall'Agnol *et al.*, 2017). As feições estruturais associadas a este cinturão exibem uma orientação geral W-E, impactando rochas de todas as unidades estratigráficas mesoarqueanas e neoarqueanas em escala regional. Posteriormente, por volta de 1,88 Ga, a província de Carajás sofreu a intrusão de granitos anorogênicos e seus diques associados (Dall'Agnol *et al.*, 2005; Teixeira *et al.*, 2017).

2.2 MAGMATISMO NEOARQUEANO

Os principais corpos plutônicos que registram o magmatismo neoarqueano do domínio Carajás são os granitos Serra do Rabo, Vila União, Igarapé Gelado, as suítes Vila Jussara, Planalto e Plaqué, além do complexo granítico Estrela. Sossego e Curral também representam o evento 2,77–2,70 Ga – com exceção do granito Velho Salobo (2,57 Ga; Machado *et al.*, 1991). Estes corpos são constituídos essencialmente por

monzogranitos, tonalitos subordinados, granodioritos e sienogranitos. Geoquimicamente são classificados como granitos alcalinos, porém algumas rochas apresentam assinaturas cálcio-alcálicas (Vasquez *et al.*, 2008; Dall’Agnol *et al.*, 2017).

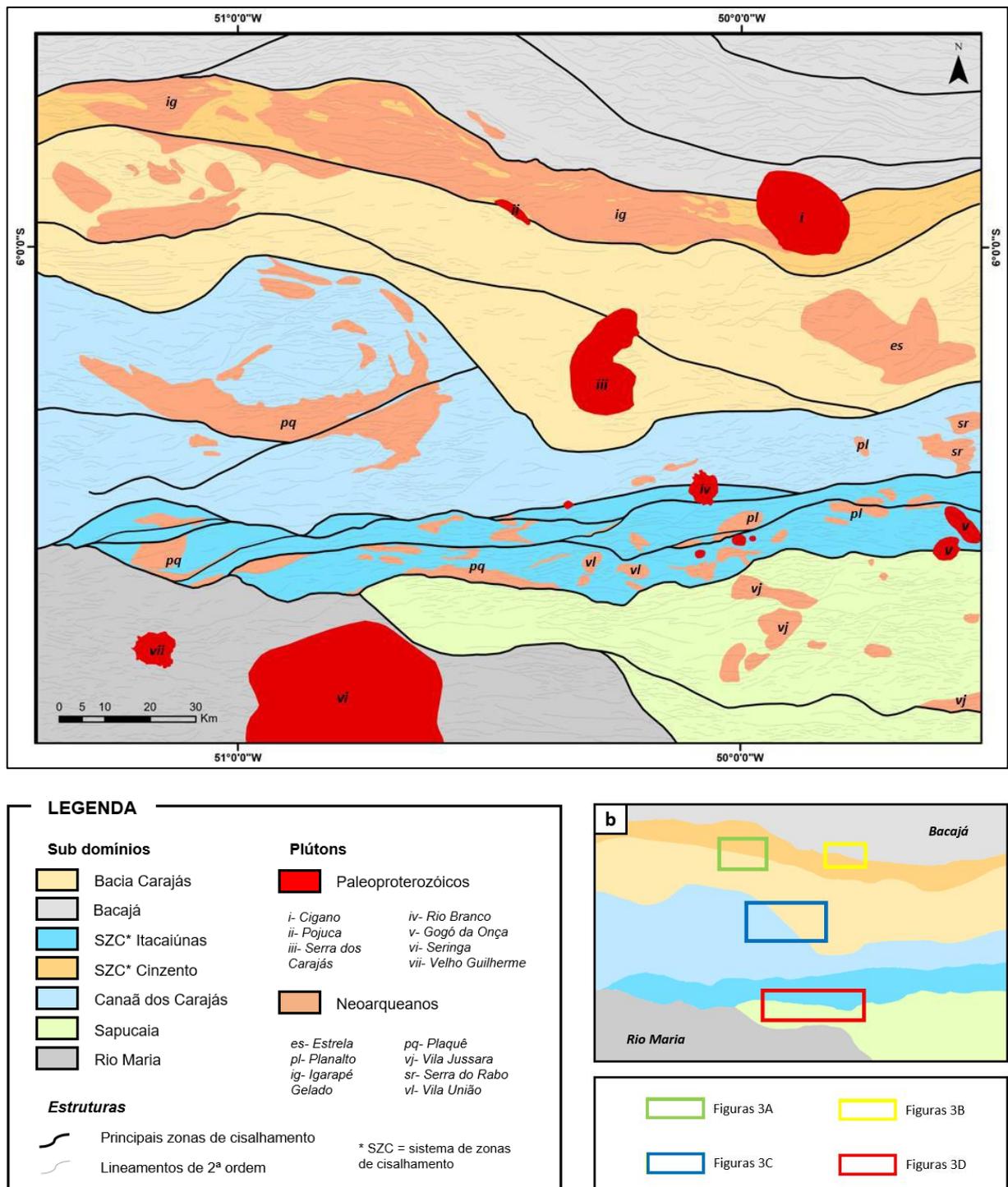


Figura 2 - Mapa principal da Província Carajás destacando as principais zonas de cisalhamento, plútons e subdomínios interpretados. O mapa autoral foi desenvolvido através da interpretação detalhada de imagens geofísicas. (b) Divisão dos subdomínios e recortes de seus limites, conforme mostrado na Figura 3.

Além disso, vale relatar a presença de magmatismo máfico-ultramáfico neoarqueano, representado pelo complexo Luanga, suíte intrusiva Cateté, gabro Santa Inês e basaltos do grupo Grão-Pará, datados de 2,76 Ga. por Machado *et al.* (1991). Estas rochas toleíticas foram geradas em ambiente de rifte continental (Ferreira Filho *et al.*, 2007) ou em arco insular (Suita, 1988). Por último, alinhando-se com a tendência regional W-E, um conjunto estirado de gabronoritos, noritos e quartzo-gabros denominado Pium diopsídio-norito tem idade de cristalização de 2,74 Ga, conforme documentado por Santos *et al.*, 2013b.

Focando agora nos corpos que foram utilizados como objeto de estudo neste trabalho, a atenção será direcionada para os granitos alcalinos neoarqueanos. Serão, portanto, melhor descritos individualmente abaixo.

2.2.1 Suíte Planalto

A suíte Planalto é constituída por vários plútons graníticos lenticulares alongados com menos de 15 km de comprimento cada. São delimitados por zonas de cisalhamento e orientados concordantemente com as estruturas regionais dominantes de orientação EW. Esses corpos são intrusivos em unidades mesoarqueanas, e estão associados às rochas máficas do complexo Pium, às rochas charnockíticas e à suíte Pedra Branca.

Segundo Feio *et al.* (2012), a suíte Planalto é composta por monzogranito a sienogranito com teores variados de hornblenda e biotita. Os principais minerais acessórios são zircão, apatita, allanita e ilmenita. Os granitos menos deformados da suíte são rosados a avermelhados, predominantemente de granulação grossa, equigranulares a porfiríticos, com fenocristais de feldspato alcalino euédricos. Plagioclásio presente nas variedades porfiríticas. O quartzo também é encontrado na forma de fitas e agregados recristalizados nas rochas mais deformadas.

Feio *et al.*, (2012) obtiveram a idade de um hornblenda-biotita sienogranito da Suíte Planalto de 2731 ± 1 Ma, determinado pelo método de evaporação de Pb em zircão. Em trabalho posterior, chegaram na idade de 2730 ± 5 Ma, através do método SHRIMP U-Pb em zircão (Feio *et al.*, 2013).

2.2.2 Suíte Plaquê

A suíte Plaquê possui uma distribuição bem generalizada desde a serra dos Carajás até as proximidades do cinturão Itacaiúnas. É composta por plútons alongados, de comprimento e largura variáveis e orientado no trend regional E-W. Os corpos da suíte Plaquê mantêm relação de contato concordante, principalmente com os litotipos do complexo Xingu, embora haja relações de contato com a sequência granulítica do rio Cateté, com as metavulcânicas do grupo Grão-Pará, e com algumas lentes de supracrustais na porção central da região.

Segundo Araújo & Maia (1991), trata-se de álcali-feldspato granitos e sienogranitos, que são pouco foliados, de granulação predominantemente média, equigranulares a inequigranulares, de coloração rosa-claro a rosa-avermelhado e com índice de coloração hololeucocrática a leucocrática. Há variedades com forte foliação milonítica. A assembleia mineral é dominada por microclina, plagioclásio, quartzo, biotita, muscovita, hornblenda, titanita, clorita, allanita, zircão e opacos.

Avelar et al. (1999), através da análise em zircão, chegaram a uma idade de 2729 ± 29 Ma, interpretada como a idade mínima de cristalização para os granitos da suíte Plaquê.

2.2.3 Suíte Estrela

O complexo granítico Estrela consiste em um batólito elipsoidal que aflora na borda leste do domínio Carajás. Devido à sua composição e fortes anomalias radiométricas positivas, o complexo foi correlacionado com os granitos anorogênicos do Proterozóico (Hirata *et al.*, 1982). Posteriormente, Araújo *et al.* (1988) identificaram estruturas de cisalhamento dúcteis nessas rochas, e Costa *et al.* (1990) assumiram que este complexo foi fortemente deformado pelo cinturão de cisalhamento Itacaiúnas, durante o Neoarqueano.

O complexo Estrela é circundado por rochas supracrustais, metamórficas em condições de médio a alto grau, pertencentes ao Supergrupo Itacaiúnas. Ao norte, as rochas hospedeiras são predominantemente anfíbolitos com ocorrência subordinada de formações ferríferas e lentes menores de quartzo-biotita- plagioclásio hornfels contendo granada e turmalina. Ao sul do maciço, as rochas hospedeiras são

predominantemente anfíbolitos. Grandes xenólitos, semelhantes em textura e mineralogia às rochas hospedeiras, são encontrados dentro do batólito.

O complexo granítico é essencialmente composto por rochas monzograníticas, embora localmente tenham sido encontradas variedades tonalíticas, granodioríticas e sienograníticas. Os monzogranitos compreendem rochas foliadas de granulação fina a média, de cor cinza claro. Hornblenda e biotita são os principais minerais máficos, mas o clinopiroxênio pode ocorrer em níveis ricos em hornblenda. As principais fácies descritas por Barros *et al.* (1991) variam de acordo com a variação no teor hornblenda-biotita. Allanita, zircão, magnetita e apatita ocorrem em quantidades acessórias.

Os granitóides apontam uma forte estrutura plano-linear, localmente milonítica, estabelecida pela orientação preferencial de seus minerais. Em algumas partes, é observada uma foliação bem definida, dispostas por cristais orientados de plagioclásio e anfibólio.

Com o cálculo de idade baseado na datação de cristais de zircão, Barros *et al.* (2009) determinaram 2763 ± 7 Ma como a idade do Complexo Estrela.

2.2.4 Suíte Serra do Rabo

O conjunto Serra do Rabo é composto por dois plútons elípticos e orientados aproximadamente E-W, conforme as estruturas regionais. Trata-se de corpos com foliação penetrativa, contínua, paralela e definida pela orientação preferencial de cristais ferromagnesianos e de feldspato, bem como por grãos de quartzo achatados (Sardinha *et al.*, 2006). Os granitos cortam rochas metavulcanossedimentares compostas por metabasaltos, formações ferríferas bandadas subordinadas e pequenas ocorrências de metapelitos. Em ambos os stocks, faixas escuras de milonitos e ultramilonitos com largura de um metro a decímetro são observadas localmente.

Os plútons são compostos por sienogranitos e álcali-feldspato granitos ricos em microclina. As diversas fácies, definidas por Sardinha *et al.*, (2006), variam de acordo com o conteúdo ferromagnesiano. No *stock* sul, essas rochas são cinza-rosadas, isotrópicas e de granulação média a grossa, enquanto no *stock* norte estão presentes rochas maciças e foliadas. A assembleia de minerais acessórios inclui zircão, apatita, allanita, ilmenita e, localmente, clinopiroxênio.

A idade do zircão U–Pb de $2743 \pm 1,6$ Ma (Sardinha *et al.*, 2006), obtida no corpo não foliado e ligeiramente deformado, é interpretada como a idade de colocação desses *stocks* graníticos.

2.2.5 Suíte Vila União

As rochas neoarqueanas da área de Vila União são compostas por pelo menos dois plútons que cortam rochas mesoarqueanas de 3060 a 2850 Ma (Feio *et al.*, 2013; Delinardo *et al.*, 2014, 2015), representadas por ortogranulitos, TTG e K-leucogranitos, contemporâneas ao diopsídio-norito Pium.

Em geral, essas rochas são foliadas, marcadas pelo estiramento de minerais máficos e félsicos segundo uma direção preferencial. A presença de zonas de cisalhamento, que ocorrem como estruturas generalizadas, parece ser mais marcante a norte dos granitos, onde a ocorrência de milonitos é mais comum.

Segundo Oliveira *et al.* (2018), os granitóides Vila União são de granulação fina a grossa, leucocráticas a hololeucocráticas, e variam de tonalitos, monzogranitos a sienogranitos. Os monzogranitos são prevalecentes e os teores de minerais ferromagnesianos oscilam, definindo os granitóides hololeucocrático e leucocrático da Vila União. Hornblenda e biotita são as principais fases máficas, enquanto clinopiroxênio e ortopiroxênio são raros. Zircão, apatita, titanita, magnetita, epidoto, ilmenita e \pm allanita são os principais minerais acessórios, e os principais minerais secundários são epidoto, escapolita, titanita, biotita e clorita.

2.2.6 Suíte Vila Jussara

A suíte Vila Jussara é composta por diversos plútons graníticos localizados ao sul do domínio Canaã dos Carajás, no domínio Sapucaia. Suas encaixantes consistem em uma crosta mesoarqueana formada predominantemente por TTGs, greenstone belts, sanukitóides e leucogranitos (Gabriel & Oliveira, 2014; Santos *et al.*, 2013a; Teixeira *et al.*, 2013; Silva *et al.*, 2014). Em sua área tipo, a suíte Vila Jussara é definida por quatro plútons principais de granitóides alongados e amalgamados. Esses plútons têm uma forma aproximadamente sigmoidal e seguem levemente a tendência regional E-W.

Zonas de cisalhamento são observadas ao longo dos limites dos plútons, onde manifestam-se rochas estiradas com trama gnáissica, bem como rochas miloníticas parcialmente recristalizadas. Devido à partição geométrica e cinemática da deformação, as porções centrais dos corpos graníticos possuem características de baixa deformação, contrastando com suas margens altamente deformadas. O enquadramento estrutural reconhecido tanto nos domínios de baixa como de alta deformação é concordante com os eixos longos dos granitos e com a foliação tectônica nas rochas.

De acordo com o estudo de Silva *et al.* (2020), os granitóides da suíte Vila Jussara abrangem um amplo espectro composicional, que vai desde tonalito e granodiorito até granito *sensu stricto* (sieno- e monzogranitos). Todos os granitóides da suíte são rochas predominantemente leucocráticas, apresentando cores que variam do cinza avermelhado ao cinza esbranquiçado devido às variações na relação plagioclásio/microclina, com manchas escuras correspondentes a agregados máficos. As rochas têm texturas faneríticas, variando de granulação média a grossa, e equigranulares a porfíricas. Hornblenda e biotita são os principais minerais máficos na maioria dos granitóides, e os minerais acessórios primários são titanita, minerais opacos, apatita, zircão, allanita e epidoto.

O trabalho de Silva *et al.* (2020) também contribuiu com estudos geocronológicos da suíte Vila Jussara, obtendo idades de zircão de 2754 ± 2.2 Ma, 2752 ± 5.7 Ma e 2745 ± 3 Ma através do método de evaporação Pb-Pb.

2.2.7 Suíte Igarapé Gelado

O conjunto dos granitóides da região do Igarapé Gelado são organizados em um arranjo elíptico, com seu maior eixo orientado na direção WNW-ESE/E-W, concordante com o padrão estrutural regional e com os granitos sintectônicos da área. O conjunto é limitado pelas rochas do Supergrupo Itacaiúnas.

O complexo de granitóides da região do Igarapé Gelado têm composições predominantemente monzogranítica e granodiorítica, com ocorrências tonalíticas e sienograníticas subordinadas. A separação em fácies distintas ocorreu a partir da quantidade relativa de minerais máficos presente em cada litotipo.

Por se tratar de um extenso complexo de granitóides, a Suíte Igarapé Gelado possui diversas litologias, com diferentes idades e assinaturas. Todavia, a maioria

possui uma idade semelhante (~ 2.40 Ga) à de outros plútons neoarqueanos da região. Barros et al. (2009), em seus estudos aprofundados sobre os granitos tipo-A da PMC, chegaram na idade de 2731 ± 26 através da análise de zircões com o método de evaporação de Pb (Kober, 1987).

Em menor escala, granitos deformados, como o Granito Old Salobo, possuem idades distintas. São foliados, cinza-rosados, médio a grossos e têm assinatura metaluminosa levemente sódica (Lindenmayer *et al.*, 1994). As idades U-Pb em zircão (Machado *et al.*, 1991) e Pb-Pb em zircão (Souza *et al.*, 1996a), são de 2573 ± 2 Ma e 2525 ± 38 Ma, respectivamente. Os valores obtidos foram considerados como as idades de cristalização.

2.3 HISTÓRICO TECTÔNICO

A história tectônica da Província Carajás é marcada por complexas interações entre diferentes eventos geológicos, que moldaram a estrutura atual da região. A Província Carajás abriga diversas zonas de cisalhamento que evidenciam uma rica história de deformações tectônicas. Entre essas estruturas, destacam-se o sistema de zonas de cisalhamento Itacaiúnas (SZC Itacaiúnas) e o sistema de zonas de cisalhamento Cinzento (SZC Cinzento), que desempenharam papéis cruciais na evolução tectônica da área.

O SZC Itacaiúnas é caracterizado por uma deformação dúctil de alta temperatura, resultando em uma trama milonítica penetrativa (DOCEGEO, 1988; Araújo & Maia, 1991). Trata-se de um sistema que possui mais de 200 km de comprimento e varia entre larguras de 25 a 15 km. As rochas presentes no Itacaiúnas incluem ortognaisses granulíticos, anfibolitos, migmatitos, granodioritos e tonalitos metamorfizados dos Complexos Pium e Xingu, além de granitóides sintectônicos, principalmente os da Suíte Planalto e Plaquê (Araújo & Maia, 1991; Jorge João & Araújo, 1992). Essas rochas foram submetidas a metamorfismo de alto grau, resultando em fácies granulito a anfibolito alto, com uma foliação milonítica e lineação de estiramento mineral predominantemente orientadas W-E (Araújo *et al.*, 1994). A deformação no SZC Itacaiúnas é heterogênea, exibindo variações na orientação e penetratividade da trama deformacional planar e linear. Esse sistema é dominado por

transcorrências dúcteis e cavalgamentos oblíquos, que contribuíram para a formação de blocos sigmoidais e duplexes em diversas escalas (Pinheiro & Holdsworth, 1997).

O SZC Cinzento é parte de um sistema de falhas transcorrentes que inclui o Sistema Transcorrente Carajás (Costa & Siqueira, 1990). Os lineamentos seguem uma orientação geral WNW-ESE, estendendo-se por cerca de 180 km. Esses sistemas são evidentes em sensores remotos e cortam rochas arqueanas dos Complexos Pium e Xingu, além de granitóides, e rochas vulcânicas e sedimentares dos grupos Igarapé Salobo, Igarapé Pojuca, Igarapé Bahia, Grão-Pará e do Grupo Rio Fresco (DOCEGEO, 1988). Sua história tectônica é marcada por eventos de transpressão sinistral, onde a deformação resultou em dobras isoclinais e falhas espaçadas. O SZC Cinzento forma figuras sigmoidais e estruturas de "rabo-de-cavalo", indicando uma história cinemática complexa com múltiplos eventos de reativação tectônica (Siqueira, 1990; Costa & Siqueira, 1990; Siqueira & Costa, 1991).

De acordo com a literatura publicada, alguns episódios tectônicos arqueanos principais são reconhecidos durante o desenvolvimento desses sistemas de cisalhamento (Araújo *et al.*, 1988; Siqueira, 1990; Araújo & Maia, 1991; Macambira *et al.*, 1994; Costa *et al.*, 1995). O primeiro episódio está relacionado a um movimento transtensional dextral, que afetou o embasamento e produziu áreas localizadas de subsidência adjacentes a segmentos deslocados das principais falhas de deslizamento. Araújo *et al.* (1988), seguidos por vários outros autores, sugeriram que uma série de pequenas bacias se desenvolveram, cada uma preenchida por rochas vulcânicas e sedimentares. A inversão tectônica subsequente ocorreu durante pelo menos uma fase posterior do deslocamento transpressional sinistral ao longo das principais zonas de cisalhamento (Araújo *et al.*, 1988; Costa *et al.*, 1990; Siqueira, 1990; Costa & Siqueira, 1990; Siqueira & Costa, 1991; Araújo & Maia, 1991; Costa *et al.*, 1993; Macambira *et al.*, 1994; Costa *et al.*, 1995).

3 MÉTODOS

A fim de investigar possíveis relações espaciais, temporais e geométricas entre as zonas de cisalhamento e os plútons da Província Carajás, alguns procedimentos foram traçados com o intuito de alcançar essas respostas de maneira mais efetiva.

3.1 COMPILAÇÃO DOS DADOS

Foi realizada uma extensa pesquisa em diversas fontes de informações geológicas e geofísicas na região de Carajás. A pesquisa envolveu a consulta de múltiplos artigos científicos, teses de mestrado e doutorado que abordavam temas relacionados à geologia, cinemática e granitogênese regionais. Além disso, foram compilados e explorados dados disponibilizados pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB), incluindo imagens geofísicas levantadas da região, um *shapefile* de litologia, que forneceu informações sobre a distribuição e composição das rochas da província, e um *shapefile* de pontos (Apêndice III), resultado da compilação de diversos estudos, realizados pela organização. O mapa de pontos inclui informações como nome de unidades litológicas e estratigráficas, métodos de datação, referências, idades, entre outras informações significativas para o estudo.

É importante mencionar que, durante a análise dos dados do *shapefile* de pontos, foram identificados alguns corpos que, embora possuam idades e litologias compatíveis com os plútons estudados, não estão representados na cartografia geológica. A falta de dados detalhados sobre a localização e tamanho dos corpos impediu sua utilização eficaz. Sem informações precisas sobre suas dimensões e formas, não foi possível realizar uma análise geométrica adequada. A ausência desses corpos no mapa indica que são muito pequenos para serem mostrados na escala utilizada, explicando por que não foram incluídos na análise.

As informações coletadas foram organizadas e compiladas, garantindo a confiabilidade dos dados utilizados na análise. Essa abordagem abrangente permitiu a obtenção de um conjunto de dados robusto e diversificado.

3.2 INTERPRETAÇÃO GEOFÍSICA

Foi realizada a interpretação das imagens aeromagnetométricas e radiométricas da província Carajás, que são encontradas e detalhadas no Apêndice I. Através destas imagens, foi possível traçar as principais estruturas da área, plútons e zonas de cisalhamento no ArcGIS, assim como foi possível dividir a província em subdomínios.

3.2.1 Subdomínios

A divisão da região em subdomínios tem como objetivo estruturar a área de estudo em unidades menores, facilitando a análise e comparação da localização de cada plúton dentro das subdivisões. Essa abordagem permite examinar detalhadamente como os plútons estão distribuídos em diferentes partes da região e como suas características individuais variam conforme o subdomínio. Em essência, ao dividir a área em subdomínios, podemos comparar e contrastar não apenas a localização espacial dos plútons, mas também entender melhor suas propriedades específicas dentro de contextos geológicos distintos.

Para a divisão dos subdomínios (Figura 4), o método radiométrico revelou-se como a análise mais eficaz. Esta técnica, que se baseia na detecção das variações nas concentrações de elementos radioativos (K, U e Th) nas rochas, mostrou-se precisa para caracterizar diferentes terrenos da província Carajás. Ao observar a imagem radiométrica ternária (Apêndice I), foi possível identificar padrões de distribuição dos elementos radioativos. Essa abordagem não apenas delimitou subdomínios distintos, mas também identificou variações significativas na litologia, estruturas tectônicas como falhas e dobras ao longo da região estudada. Portanto, o método radiométrico desempenhou um papel fundamental não só na delimitação dos subdomínios, mas também na identificação dos plútons.

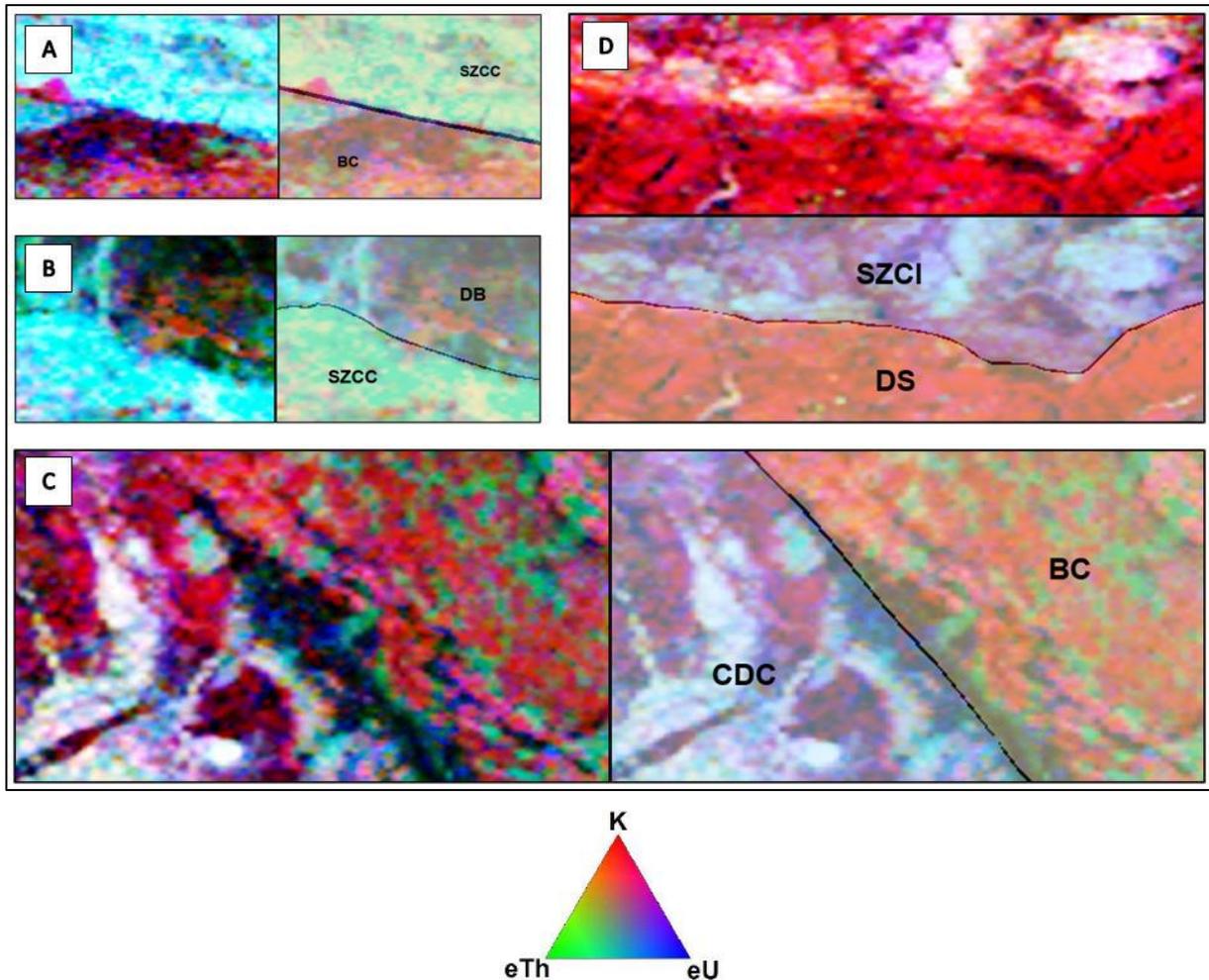


Figura 3 - Limites dos subdomínios separados através da interpretação da imagem radiométrica ternária RGB. A) Limite entre os subdomínios Bacía Carajás (BC) e Sistema de zonas de cisalhamento Cinzento (SZCC). B) Limite entre os subdomínios SZCC e o Domínio Bacajá (DB). C) Limite entre os subdomínios BC e Canaã dos Carajás (CDC). D) Limite entre os subdomínios Sistema de zonas de cisalhamento Itacaiúnas (SZCI) e o Domínio Sapucaia (DS).

3.2.2 Plútons

A identificação e delimitação dos plútons da Província Carajás foi realizada por meio de três principais fontes: o *shapefile* de litologia, o *shapefile* de pontos e as imagens geofísicas. A imagem radiométrica destacou-se como a mais relevante para o mapeamento desses corpos.

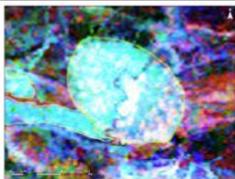
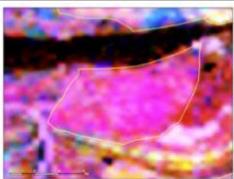
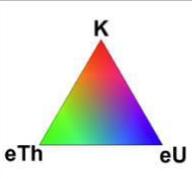
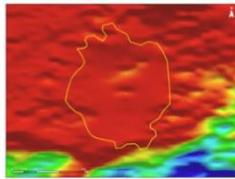
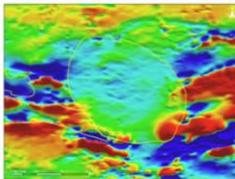
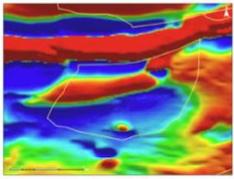
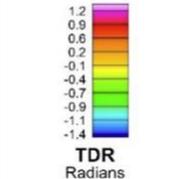
Os plútons analisados neste estudo são, em sua grande maioria, enriquecidos com K, Th e U em uma proporção semelhante entre eles. Quando um corpo rochoso possui proporções equivalentes desses radioelementos, é representado na cor branca

(Tabela 1a), sendo facilmente diferenciado da rocha hospedeira pela sua assinatura na imagem radiométrica RGB ternária. Plútons que revelam outras cores, se manifestam em uma coloração vermelha ou rosada (Tabela 1c), indicando um maior enriquecimento de K, ou com tonalidades de azul e verde (Tabela 1b), indicando alta concentração de Th e U, e baixo K.

As informações obtidas das imagens aeromagnéticas mostraram-se menos eficazes na delimitação dos contornos dos plútons em comparação com as imagens radiométricas. Contudo, em algumas ocasiões, os plútons surgiam com pequenas variações magnéticas de baixa intensidade, apresentando uma textura suave que contrastava consideravelmente com a textura da rocha ao seu redor de acordo com a imagem de Inclinação de Sinal Analítico de Anomalia Magnetométrica. As margens dessas variações sutis foram utilizadas para definir os limites dos corpos.

Esses exemplos fornecem uma visão geral das características comuns encontradas, apesar de haver alguns plútons que não se enquadram nessas categorias. Nestes casos, os plútons só foram incluídos se estivessem presentes em mapas publicados ou no *shapefile* de litologia, do banco de dados da SGB.

Tabela 1 - Seleção representativa de exemplos das diferentes assinaturas radiométricas e aeromagnéticas que foram observadas nos plútons da província. a) plúton paleoproterozóico Rio Branco. b) plúton paleoproterozóico Cigano. c) plúton neoarqueano da suíte Plaquê.

	a)	b)	c)	Legenda
Imagem radiométrica ternária RGB				
Imagem aeromagnética				
Descrição do plúton	<ul style="list-style-type: none"> - Branco - Teores de K, Th e U equilibrados - Elíptico - Alta assinatura magnética 	<ul style="list-style-type: none"> - Tons de verde e azul - Teores altos de Th e U, e pobre em K - Circular - Assinatura magnética fraca 	<ul style="list-style-type: none"> - Rosa - Rico em K e com baixo teor de Th e U - Levemente alongado - Assinatura magnética heterogênea 	

3.2.3 Zonas de cisalhamento

Inicialmente, é preciso esclarecer a definição do termo no contexto deste estudo. Serão atribuídos o termo "zona de cisalhamento", ou ZC, a todas as feições longas e lineares que mostram envolver mecanismos de deformação dúctil e que são facilmente reconhecidas nas imagens geofísicas. Adicionalmente, quando foi identificado um agrupamento dessas zonas, indicando um padrão discernível em uma mesma região, este será referido como um "sistema de zonas de cisalhamento" ou SZC. Com esses termos definidos, a próxima etapa consistirá em explorar o processo empregado para a demarcação das zonas de cisalhamento no mapa.

As zonas de cisalhamento foram traçadas com o auxílio das imagens aeromagnéticas, método geofísico que mapeia variações no campo magnético terrestre. Essas variações são causadas principalmente pela distribuição de minerais magnéticos nas rochas, o que pode tornar essa técnica eficaz na detecção de estruturas. A interpretação das imagens aeromagnéticas permitiu a identificação e marcação das ZCs na região, contudo, a imagem radiométrica também desempenhou um papel importante nessa identificação, confirmando as informações obtidas pelas imagens aeromagnéticas.

As zonas de cisalhamento são responsáveis por grandes deslocamentos das litologias. Para a interpretação, foram observadas litologias contrastantes separadas por uma estrutura linear destacada, ou com grandes mudanças nas razões K, Th e U em ambos os lados. Em outra análise, as litologias foram consideradas contrastantes se houvesse diferenças claras na textura ou na intensidade magnética dos pacotes rochosos. A interpretação também envolveu a observação de corpos graníticos, os plútons, que se apresentavam estirados, reorientados, cortados e/ou arrastados ao longo de características lineares proeminentes.

Essa abordagem integrada, combinando dados de diferentes métodos geofísicos, foi primordial para uma compreensão abrangente da dinâmica estrutural da região.

3.3 TRATAMENTO DOS DADOS

O tratamento dos dados é uma fase que visa preparar e processar as informações coletadas de forma a torná-las adequadas para análise e interpretação. Esta etapa envolve a seleção, organização, padronização e processamento dos dados.

O processamento dos dados consiste na identificação e correção de erros, além da filtragem de informações que possam comprometer a qualidade e confiabilidade das análises posteriores. Durante esse processo, foi necessário realizar uma filtragem cuidadosa para determinar quais informações seriam relevantes para o escopo específico deste trabalho, detalhada no Apêndice III. Dessa forma, análises como Sm-Nd, Ar-Ar e Ar-K foram descartadas, uma vez que não contribuem diretamente para os objetivos deste estudo. As idades interessantes para a obtenção dos objetivos do presente trabalho são as idades de cristalização magmática dos plútons, atingidas através das análises de U-Pb e Pb-Pb. Essas idades de cristalização são cruciais, pois refletem o momento em que os plútons foram formados. Essas foram priorizadas e utilizadas como base para as análises e interpretações realizadas neste trabalho.

Para garantir a consistência e comparabilidade entre diferentes conjuntos de dados, especialmente aqueles provenientes de fontes variadas, foram adotadas várias medidas de padronização. Essas medidas incluem convenções de nomenclatura, unidades de medida e sistemas de coordenadas compatíveis. As convenções de nomenclatura foram estabelecidas para uniformizar os termos utilizados no estudo, exemplificado pela definição de termos como “SZC” e subdomínios definidos para o melhor andamento do trabalho. Houve também uma preocupação em garantir que todas as unidades de medida fossem as mesmas, permitindo assim uma análise mais precisa e consistente dos dados. Além disso, foram utilizados sistemas de coordenadas SIRGAS em coordenadas projetadas para assegurar a compatibilidade espacial dos dados, facilitando a integração e comparação entre diferentes fontes e conjuntos de dados. A padronização desses elementos permitiu a criação de um banco de dados apurado, estruturado em forma de tabelas (Apêndice III). As tabelas foram fundamentais para transformar os dados brutos em resultados ilustrativos, oferecendo uma visão clara e compreensível das informações coletadas e analisadas.

Na etapa de processamento dos dados e desenvolvimento do mapa principal (Figura 2), o software ArcGIS foi utilizado como ferramenta central. Foram realizadas análises espaciais e georreferenciamento das informações coletadas. Além disso, as tabelas com os dados geométricos, de idade, nomes e localização dos corpos também foram criadas através do *software*, permitindo a manipulação e organização eficiente dos dados geológicos e geofísicos.

Posteriormente, as tabelas foram exportadas para o Excel, onde foi realizado uma análise para a preparação e criação de histogramas relacionando geometria, idade e localidade dos plútons. Os histogramas foram essenciais para facilitar a visualização e interpretação no contexto do trabalho, proporcionando *insights* valiosos sobre a distribuição e as tendências dos dados.

Foram selecionados todos os plútons para os quais obteve-se uma idade específica, incluindo a margem de erro associada a cada datação. Essas informações foram plotadas em um gráfico (Gráfico 4), onde cada linha representa um plúton com sua respectiva idade e margem de erro.

Para os corpos sem uma datação específica disponível, foi utilizada a bibliografia existente. Quando um corpo plutônico era identificado como pertencente a uma determinada suíte magmática, a idade atribuída a esse corpo foi a idade obtida em estudos prévios da suíte à qual ele pertence. Dessa maneira, conseguimos atribuir idades a todas as famílias de plútons estudadas, restando alguns poucos sem uma datação precisa, o que não comprometeu a análise geral.

Outra etapa muito importante para a análise da geometria dos plútons inclui o cálculo da razão geométrica dos corpos. O cálculo foi feito usando a medição dos eixos principais de cada plúton, representados por polígonos criados no mapa do ArcGIS. Esse resultado, em conjunto com o cálculo da distância do centróide de cada plúton à zona de cisalhamento mais próxima, ajudou a estabelecer associações espaciais e geométricas entre os plútons e as zonas de cisalhamento. No Apêndice II, são fornecidos mais detalhes sobre como esse método foi implementado, incluindo os procedimentos específicos de medição e cálculo utilizados neste estudo.

4 RESULTADOS

Para uma melhor compreensão e delineamento dos dados deste estudo, os resultados serão apresentados em três seções. Primeiramente, serão expostas as interpretações para a separação e classificação dos subdomínios e plútons através das imagens geofísicas, que deu início ao processo de desenvolvimento do primeiro produto, o mapa principal, encontrado na Figura 2. A segunda seção compara as principais relações entre os plútons e as zonas de cisalhamento levando em consideração aspectos como geometria, idade e proximidade entre eles. Por fim, a terceira investiga a relação das geometrias dos plútons com suas idades.

4.1 SUBDOMÍNIOS

Nesta seção, será explicado brevemente sobre as características observadas de cada um deles através da interpretação dos dados disponíveis. Os subdomínios serão apresentados seguindo a ordem de sua localização geográfica, de sul à norte.

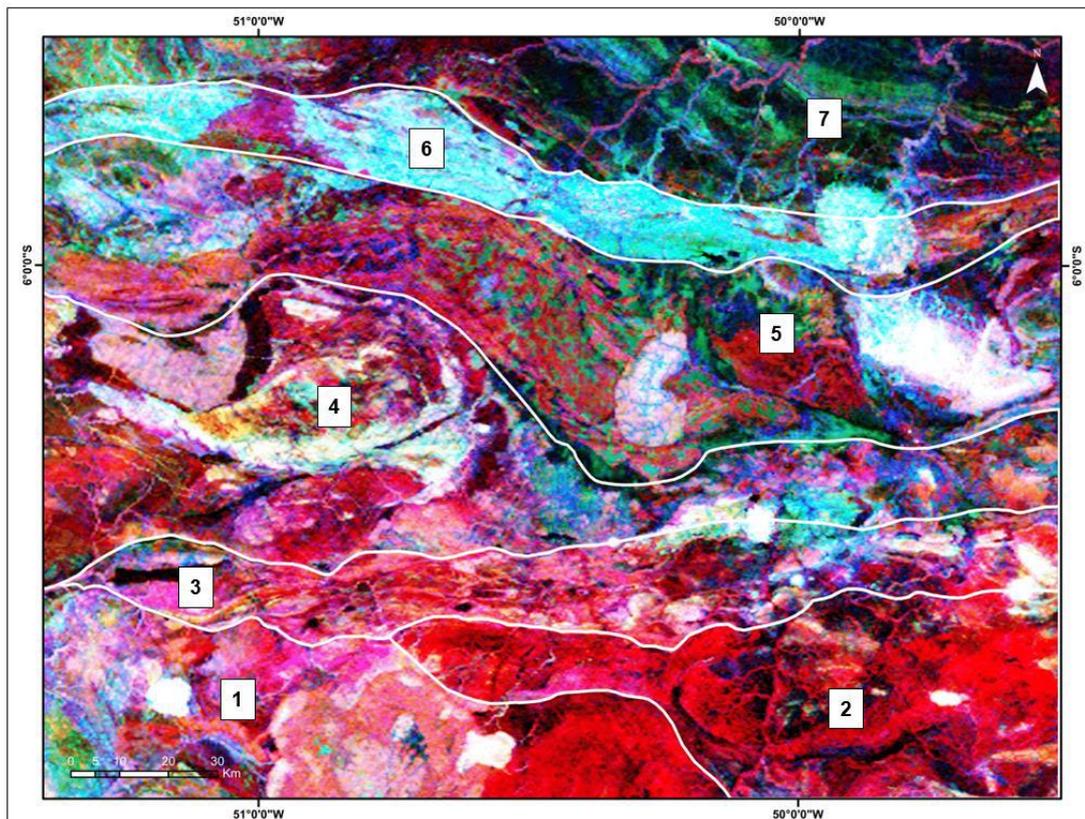


Figura 4 - Mapa radiométrico ternário RGB com a delimitação dos subdomínios definidos. 1- Rio Maria; 2- Sapucaia; 3- SZC Itacaiúnas; 4- Canaã dos Carajás; 5- Bacia Carajás; 6- SZC Cinzento; 7- Bacajá.

4.1.1 Rio Maria

O subdomínio Rio Maria apresenta características radiométricas notáveis, conforme observado na imagem gama. Predominam quatro cores principais: vermelho, rosa, branco e preto. Essas cores indicam uma riqueza significativa em potássio e teores mais baixos de urânio e tório. As porções brancas destacadas na imagem revelam a presença de plútons com composições semelhantes de K, Th e U. Essa assinatura radiométrica é consistente com a geologia típica de um terreno granito-greenstone, caracterizado por faixas metavulcanossedimentares escuras entre domos elipsoidais. As faixas negras ou marrom-escuras indicam rochas máficas e ultramáficas, enquanto os domos vermelhos representam granitos ricos em K. Esse subdomínio pode ser caracterizado por uma variedade de litologias, incluindo granitos, gnaisses e metavulcânicas.

O *shapefile* de pontos fornece dados adicionais sobre as rochas, principalmente suas litologias e idades. Como revela a bibliografia, o subdomínio Rio Maria é composto principalmente por rochas mesoarqueanas, se trata de um terreno antigo e bem preservado. Essa predominância de rochas mesoarqueanas sugere uma história geológica estável para essa região, com implicações significativas para o entendimento da evolução tectônica da província quando comparada com a de outros terrenos.

4.1.2 Sapucaia

O subdomínio Sapucaia, que fazia parte do Rio Maria e foi posteriormente separado (Dall'Agnol et al., 2013), possui assinaturas radiométricas muito semelhantes às do Rio Maria. O terreno é caracterizado por uma predominância de cores vermelhas muito intensas e pretas na imagem radiométrica. Essas cores indicam uma predominância ainda mais elevada de K nas rochas plutônicas do que o observado no Rio Maria, e pobre em Th e U, enquanto as faixas pretas sugerem a presença de *greenstone belts*.

Os pontos levantados na base de dados do mapa de pontos indicam idades mesoarqueanas para as rochas do subdomínio Sapucaia. Apesar disso, há uma pequena presença de plútons neoarqueanos, diferentemente do Rio Maria, onde os plútons são de idades paleoproterozóicas.

4.1.3 SZC Itacaiúnas

Na imagem radiométrica, o SZC Itacaiúnas é predominantemente caracterizado por tons de vermelho e rosa, indicativos de uma assinatura radiométrica rica em potássio. Além disso, destacam-se áreas brancas que representam os plútons estudados neste terreno. Todas as unidades presentes neste subdomínio estão fortemente deformadas em relação aos subdomínios vizinhos, refletindo a intensa atividade tectônica presente na região.

4.1.4 Canaã dos Carajás

O subdomínio Canaã dos Carajás apresenta características radiométricas mais distintas em comparação aos subdomínios anteriores. Trata-se de um terreno mais heterogêneo, com uma composição geológica variada. Na porção oeste do subdomínio, observa-se uma predominância de cores rosa, branco e vermelho na imagem radiométrica, indicando altos teores alcalinos. Entretanto, na porção leste, o terreno é caracterizado por uma predominância de tons azuis, verdes e cores intermediárias entre as duas, apontando altos teores de Th e U nas rochas locais.

Além disso, podem ser observadas áreas de tonalidade preta, sugerindo formações ferríferas bandadas, que são localizadas principalmente no limite com o subdomínio a norte, ajudando a traçar a divisão dos terrenos. Essa variedade de litologias sugere uma complexa história geológica para o subdomínio Canaã dos Carajás, com influências de diferentes eventos tectônicos e magmáticos ao longo do tempo geológico.

4.1.5 Bacia Carajás

De acordo com a imagem radiométrica, a Bacia Carajás exibe uma certa homogeneidade em grande parte de sua área, onde é possível observar uma predominância de cores verdes e vermelhas. Essas tonalidades indicam a presença de rochas com fortes teores de K e Th, e pobres em U. Por outro lado, na porção noroeste do terreno, podemos encontrar unidades ricas em urânio.

Destaca-se também a presença de duas grandes unidades brancas na assinatura radiométrica. Esses corpos são granitos calcioalcalinos, conhecidos como

Serra dos Carajás e Complexo Granítico Estrela (Dall'Agnol *et al.* (2005) e Barros *et al.* (2009) respectivamente).

O mapa de pontos revela a presença de uma variedade de litologias na Bacia Carajás, incluindo principalmente rochas metassedimentares, máficas, meta-vulcânicas e BIFs.

4.1.6 SZC Cinzento

O SZC Cinzento é um sistema de zonas de cisalhamento onde se localiza um conjunto de granitóides neoarqueanos conhecidos coletivamente como Igarapé Gelado. Na imagem radiométrica, este se apresenta como um único conjunto elíptico de coloração azul clara e, ocasionalmente, verde. Essas cores indicam que a grande parte do subdomínio é caracterizada por rochas com altos teores de urânio e tório, e baixos teores de potássio. Há uma exceção na porção mais a oeste da área, que exibe uma coloração de rosa escuro a roxo, indicando altos teores de potássio.

4.1.7 Bacajá

O subdomínio Bacajá é um terreno cujas unidades geológicas seguem uma orientação deformacional. A análise das idades de rochas plotadas nesta região revela que se trata de um terreno proterozóico, diferenciando-se da província arqueana de Carajás.

Na imagem radiométrica, o subdomínio Bacajá é predominantemente verde e preto, indicando um alto teor de Th e muito pouco potássio. As rochas encontradas neste subdomínio são, em sua maioria, granulitos, refletindo o intenso metamorfismo regional sofrido.

4.2 RELAÇÕES ENTRE ZONAS DE CISALHAMENTO E PLÚTONS

Nesta seção, exploraremos as relações entre as zonas de cisalhamento e os plútons identificados na região de estudo. Esses resultados serão divididos em duas partes. Na primeira, será explorada a relação espacial e geométrica entre os plútons e as zonas de cisalhamento. Na segunda, a distribuição dos plútons com diferentes idades será comparada para testar uma relação temporal.

4.2.1 Relação espacial e geométrica entre os plútons e as zonas de cisalhamento

Os plútons neoarqueanos são os principais objetos de estudo do presente trabalho. No entanto, a fim de comparação, também foram analisados os plútons paleoproterozóicos da região para investigar a influência das zonas de cisalhamento nos corpos. Isso é relevante já que os plútons paleoproterozóicos são posteriores ao evento deformacional neoarqueano. Foram analisados 72 plútons neoarqueanos e 12 plútons paleoproterozóicos.

Foram considerados plútons de baixa proporção aqueles que possuem uma razão entre 0 e 0,3; de média proporção aqueles entre 0,3 e 0,6; e de alta proporção os com razão superior a 0,6.

Os plútons de baixa proporção são mais deformados em comparação com os de alta proporção. Isso ocorre porque os plútons com uma razão menor entre seus eixos tendem a apresentar formas mais alongadas e achatadas. Em contraste, os plútons neoarqueanos de alta proporção (7), que possuem maiores razões entre seus eixos, são geralmente menos deformados. Esses corpos magmáticos mantêm formas mais arredondadas, indicando que sofreram menor influência das tensões tectônicas.

Portanto, a proporção dos eixos dos plútons serve como um indicador da intensidade da deformação tectônica que cada corpo magmático experimentou. Os plútons de baixa proporção refletem uma deformação significativa e uma interação mais intensa com as zonas de cisalhamento, enquanto os plútons de alta proporção indicam uma deformação menor e uma menor influência tectônica.

Entre os plútons neoarqueanos, 54,1% são de baixa proporção, 36,1% de média e 9,8% dos plútons são de alta proporção. Baseado neste levantamento, foi produzido um mapa com os plútons separados por suas proporções (Figura 5). De todos os corpos de baixa proporção, 69,2% se encontram nos subdomínios SZC Itacaiúnas ou SZC Cinzento.

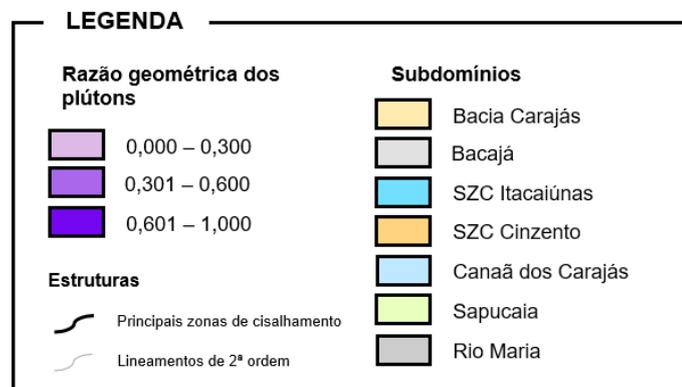
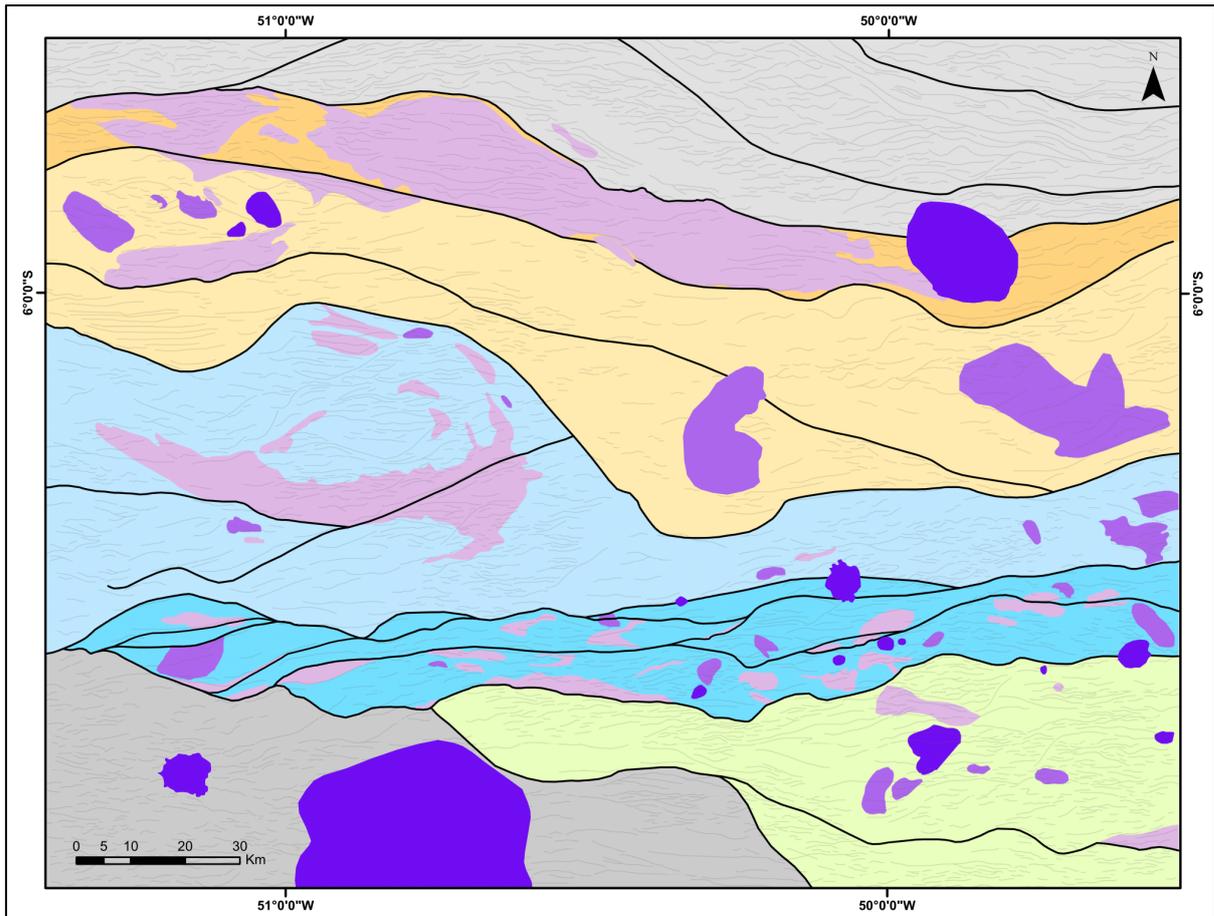


Figura 5 - Mapa principal da Província Carajás destacando as principais zonas de cisalhamento, plútons e subdomínios interpretados. O mapa autoral foi desenvolvido através da interpretação detalhada de imagens geofísicas e os plútons divididos de acordo com suas razões geométricas: baixa proporção (0,000 – 0,300), média proporção (0,301 – 0,600) e alta proporção (0,601 – 1,000).

No entanto, como 52,7% de todos os plútons neoarqueanos se localizam dentro de um SZC, esses números podem ser enganosos. Para obter uma análise mais precisa, foi realizada uma comparação interna dos subdomínios, onde se comparou a porcentagem de plútons de baixa proporção de cada um deles. Essa comparação está ilustrada no Gráfico 1 e revela que, dentro dos subdomínios SZC Itacaiúnas e SZC Cinzento, a porcentagem de plútons de baixa proporção é significativamente maior em comparação com os subdomínios adjacentes.

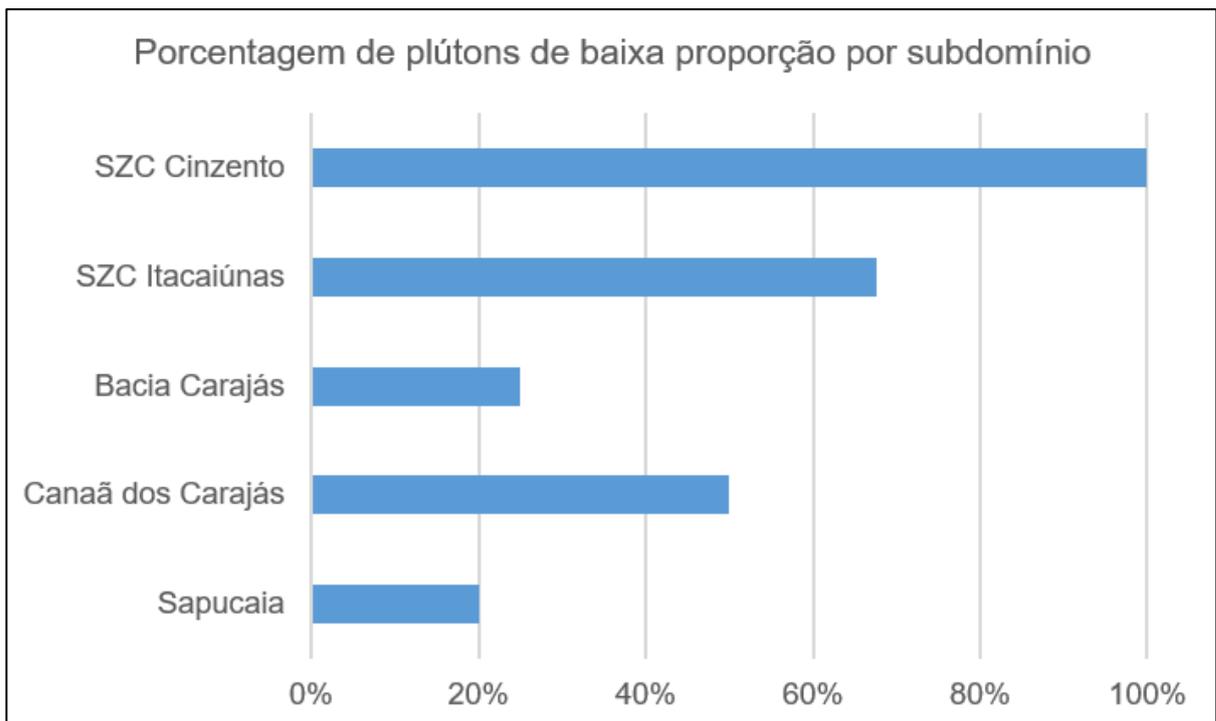


Gráfico 1 - Gráfico comparando as porcentagens de plútons de baixa proporção em relação à totalidade de plútons de cada subdomínio.

Foi realizada uma análise não somente da relação espacial dos plútons com os sistemas de zonas de cisalhamento, mas também com cada zona de cisalhamento específica traçada no mapa (como dissecado no Apêndice 2). Após o cálculo, foi gerado o Gráfico 2, que mostra a correlação entre essas distâncias dos corpos e suas razões geométricas.

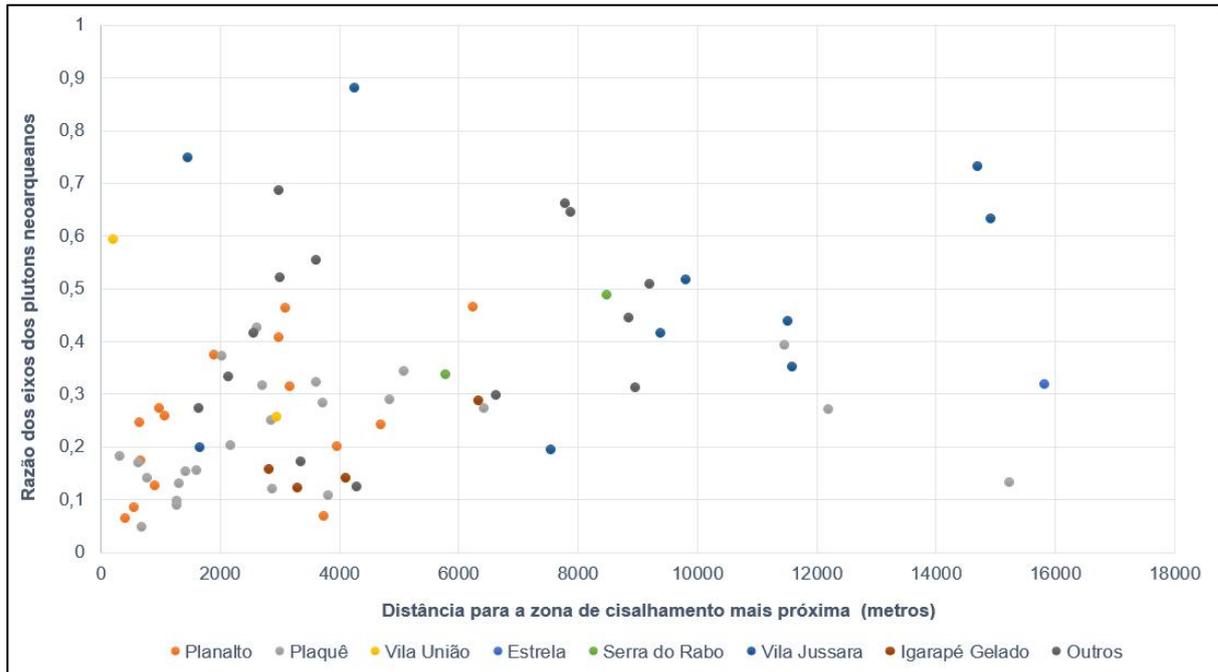


Gráfico 2 - Gráfico relacionando a razão geométrica dos plútons neoarqueanos com suas proximidades à zona de cisalhamento mais próxima.

Da mesma forma, foram analisados os plútons paleoproterozóicos da região, totalizando 12 plútons. A maioria deles, nove plútons, foram classificados como de alta proporção, representando 75% do total. Dos três restantes, dois foram classificados como de média proporção (16,66%) e apenas um como de baixa proporção (8,33%).

Além dessa comparação, também foi observada uma relação espacial significativa. Os plútons neoarqueanos estão majoritariamente localizados nos subdomínios SZC. Em contrapartida, os plútons paleoproterozóicos não seguem um padrão de distribuição claro. Eles estão dispersos por toda a província, sem predominar em nenhum subdomínio específico e sem respeitar algumas das principais estruturas regionais. Os plútons paleoproterozóicos são encontrados até mesmo no Rio Maria, o subdomínio menos afetado pelos eventos do Neoarqueano e sem a presença de plútons neoarqueanos.

4.2.2 Relação entre as idades dos plútons e as zonas de cisalhamento

Com tratamento dos dados compilados nas tabelas, foi possível mapear cronologicamente os pulsos magmáticos da região (Gráfico 3). Foram identificados intervalos sem atividade magmática, conhecidos como *gaps* magmáticos, bem como períodos de magmatismo expressivos. Essa abordagem permitiu distinguir diferentes eventos e verificar quais suítes pertencem a pulsos distintos ou ao mesmo pulso magmático.

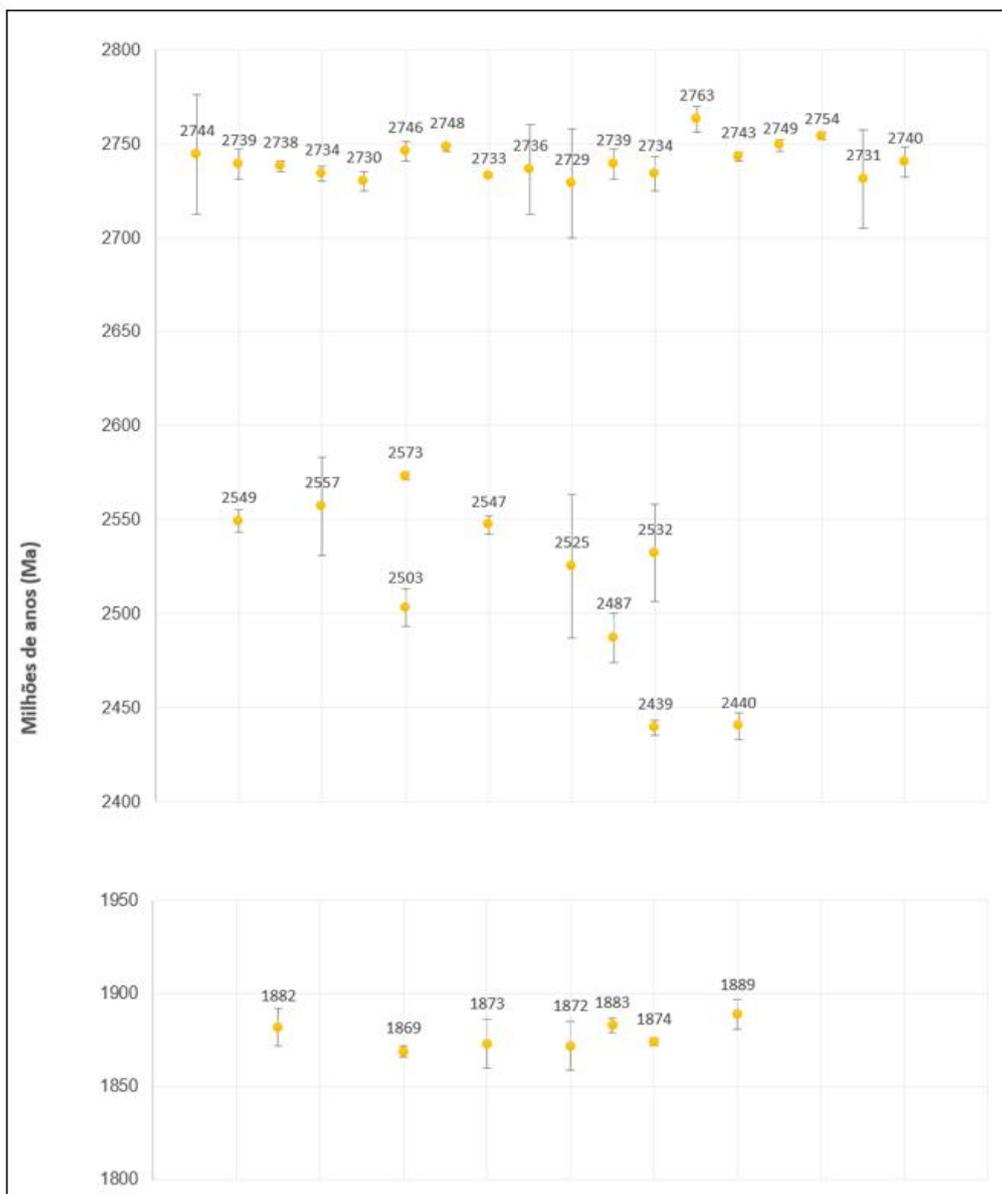


Gráfico 3 - Mapa das idades dos plútons e suas respectivas margens de erro. Algumas idades representam uma suíte inteira de plútons.

Ao associar as idades dos plútons com a idade dos eventos de deformação que afetaram a província, foi possível desenvolver um melhor entendimento geocronológico. A análise mostra que os plútons localizados dentro dos sistemas de zonas de cisalhamento frequentemente apresentam idades que correspondem aos períodos de maior atividade tectônica e magmática, discussão que será desenvolvida mais adiante.

4.3 RELAÇÃO ENTRE IDADE E GEOMETRIA DOS PLÚTONS

Para uma avaliação mais abrangente da relação entre a geometria dos plútons e suas idades, é imprescindível a comparação geométrica dos plútons neoarqueanos e paleoproterozóicos.

A análise foi realizada comparando a média das razões geométricas dos plútons de diferentes idades (Gráfico 4). Nos plútons neoarqueanos, a média das razões de eixos é de 0,315, enquanto nos paleoproterozóicos, a média é de 0,665.

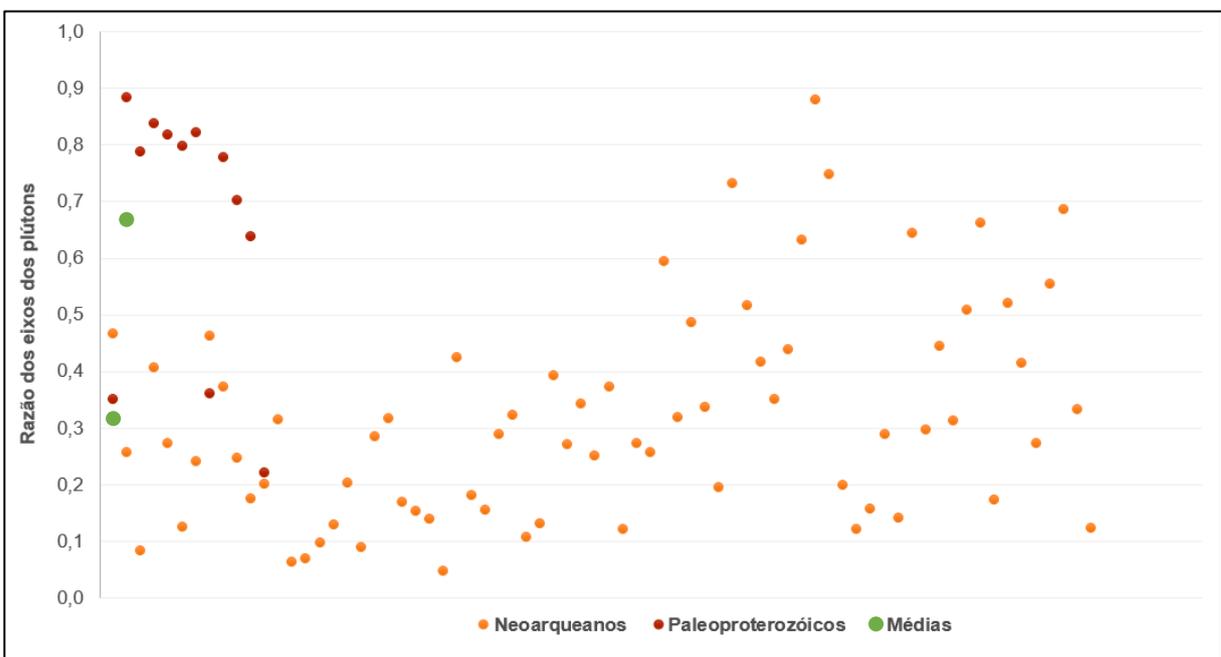


Gráfico 4 - Gráfico que ilustra a comparação das razões geométricas entre os plútons neoarqueanos e os plútons paleoproterozóicos.

Essa distinção entre os plútons de diferentes idades, ilustrada nos gráficos 3 e 4, oferece uma visão clara sobre a influência dos processos tectônicos na geometria dos corpos magmáticos. Ao analisar a diferença das razões geométricas e da distribuição espacial entre eles, podemos inferir não apenas sobre o ambiente tectônico no momento da formação dos plútons, mas também sobre a evolução tectono-magmática da região ao longo do tempo.

Essas investigações fornecem uma base sólida para a próxima etapa de análise e discussão. A seguir, exploraremos mais a fundo as implicações desses resultados.

5 DISCUSSÃO

Nesta seção, será feita uma discussão detalhada dos resultados apresentados anteriormente, destacando as implicações dos dados obtidos e relacionando-os com a literatura existente sobre a Província Carajás. A discussão está estruturada na ordem que reflete a organização dos resultados.

Começando pela interpretação geofísica, que forneceu uma visão abrangente da estruturação interna da Província Carajás. A identificação das zonas de cisalhamento e dos diferentes subdomínios permitiu delimitar áreas com histórias tectônicas e magmáticas distintas. Os sistemas de zonas de cisalhamento Itacaiúnas e Cinzento, ambos de idade Neoarqueana (Araújo & Maia, 1991), são estruturas particularmente bem relevantes na região, que não só influenciam a geometria dos plútons presentes, como também indicam áreas com histórico de atividade tectônica significativa.

As delimitações dos subdomínios estabelecidos neste estudo, principalmente através da interpretação geofísica, correspondem com a definição de Souza *et al.*, (1996). O subdomínio Sapucaia se mostrou distinto em comparação ao Rio Maria na análise radiométrica, alinhando-se com a diferenciação feita por Dall'Agnol *et al.* (2013).

Além disso, a delimitação dos sistemas de zonas de cisalhamento (SZCs) não é comum em mapas e trabalhos anteriores, mas foi identificada e mapeada no presente estudo através de interpretações geofísicas. Esta nova abordagem se mostrou extremamente útil para auxiliar na investigação da relação espacial entre as zonas de cisalhamento e os plútons.

Os plútons mapeados, em sua maioria, correspondem às geometrias apresentadas em mapas da literatura (Machado *et al.*, 1991; Vasquez *et al.*, 2008; Marangoanha *et al.*, 2019; Silva *et al.*, 2020; Teixeira *et al.*, 2018; Dall'Agnol *et al.*, 2017). Outros plútons aqui mapeados não foram identificados na literatura, mas apresentaram forma, sinal magnético e radiométrico semelhantes aos observados para plútons conhecidos na província. O auxílio do *shapefile* da litologia da Província Carajás fornecido pelo SGB também serviu como instrumento para a identificação. Portanto, a maioria dos plútons foi mapeada com um certo grau de confiança e concordância.

O cálculo da razão dos eixos principais de cada plúton provou ser um excelente produto para a investigação dessas relações. Essa abordagem permitiu mapear a localização dos plútons de baixa proporção e correlacioná-los com a proximidade dos sistemas de zonas de cisalhamento. Além disso, foi possível calcular a porcentagem de corpos de baixa proporção presentes em cada subdomínio, revelando uma forte presença de plútons alongados e achatados nas SZCs. Esses dados evidenciam e elucidam a relação espacial e geométrica entre as zonas de cisalhamento e os plútons.

Outro resultado prático foi o Gráfico 2, que ilustra essa associação. No gráfico, é possível observar que 74,3% dos plútons considerados de baixa proporção se encontram na faixa de 0 a 4 km de distância de uma zona de cisalhamento. Ao mesmo tempo, mostra que os plútons com razões geométricas superiores tendem a estar localizados mais distantes das zonas de cisalhamento, onde 54% se encontram a mais de 4 km de distância da zona de cisalhamento mais próxima. Essa distribuição sugere que as zonas de cisalhamento podem influenciar significativamente a geometria dos plútons, deformando-os e contribuindo para a formação de corpos alongados e achatados nas proximidades dessas estruturas.

Portanto, a análise espacial e geométrica demonstrou uma clara influência das ZCs na geometria e na distribuição dos corpos magmáticos. Essas estruturas não apenas deformaram os plútons existentes, mas também influenciaram significativamente a localização e formação de novos plútons, sugerindo que atuaram como canais de fraqueza da crosta, zonas de falhas que servem como caminhos naturais para a migração de magma.

Com base nos resultados apresentados, a análise das razões geométricas revela aspectos distintos entre as idades neoarqueanas e paleoproterozóicas. Os plútons neoarqueanos, com uma média de razões de eixos de 0,315, exibem formas mais alongadas e achatadas, indicando uma maior deformação durante eventos tectônicos intensos desse período. Essa observação também sugere uma influência significativa das condições tectônicas e magmáticas neoarqueanas na geometria dos plútons, corroborando com a ideia de uma deformação de maior expressão nesse contexto, já reconhecida por outros autores (Araújo *et al.*, 1988; Araújo & Maia, 1991; Machado *et al.*, 1991; Barros *et al.*, 2009).

Por outro lado, os plútons paleoproterozóicos, com uma média de razões de eixos de 0,665, apresentam geometrias menos deformadas. Esse fenômeno está em concordância com a menor intensidade das condições de deformação registradas nesse período. Esse evento é considerado anorogênico segundo Silva et al. (1974).

A análise da relação entre a idade dos plútons e as zonas de cisalhamento forneceu *insights* significativos. Os dados das idades e suas margens de erro permitiram a construção do Gráfico 3, que mapeou cronologicamente as atividades magmáticas na província. Este mapeamento foi fundamental para compreender a sequência de eventos tectônicos magmáticos, além de verificar a coerência dos resultados com a literatura existente.

Tavares (2015) defende que o cinturão Itacaiúnas é resultado da superposição de quatro eventos arqueanos, dois compressivos e dois extensionais, começando pela colisão Rio Maria-Carajás entre 2,87 e 2,83 Ga, no Mesoarqueano. A primeira faixa de idade dos plútons estudados (2,77 - 2,70 Ga), chamado de primeiro pulso, bate com o segundo evento descrito por Tavares (2015), a instalação de um sistema extensional por volta de 2,76 Ga levou ao rifteamento e magmatismo bimodal na Bacia Carajás, associado à fusão da base da crosta.

Conforme determinado pelo autor, o terceiro evento refere-se à inversão da Bacia Carajás, marcada por processos compressivos que fecharam a bacia de rift e culminaram numa segunda colisão entre Carajás e Rio Maria. O evento (2,68 - 2,63 Ga) é considerado o principal evento deformacional dos plútons cristalizados em torno de 2,76 Ga.

Entre 2,61 e 2,50 Ga, ocorreu o quarto e último evento arqueano, que Tavares (2015) descreve como um segundo pulso de atividade hidrotermal e magmatismo granítico tipo A, associado à fragmentação do paleocontinente Carajás. Esse evento coincide com a segunda faixa de idade de cristalização magmática dos plútons estudados, e é restrito à região do Cinzento e aos arredores (Tavares, 2015). Essa informação também confere com os dados compilados quando analisados onde os corpos com essa faixa de idade são espacialmente encontrados no mapa.

Já os plútons paleoproterozóicos analisados (idades de 1,9 - 1,86 Ga, segundo os dados coletados), são intrusões resultantes de uma extensão pós-tectônica. Foram formados após um evento compressivo no Orosiriano, chamado de Evento Sereno por Tavares (2015), culminando na colisão de terrenos com o Cráton Amazônico por

volta de 2,00 Ga. Estes estão associados a depósitos tipo IOCG de baixa temperatura e apresentam idades ao redor de 1,88 Ga (Tallarico, 2003; Moreto et al., 2014).

As idades de cristalização e deformação dos plútons analisados coincidem com as idades dos principais eventos tectônicos da PMC. Esta correspondência cronológica fortalece a interpretação de que os processos tectônicos tiveram um papel fundamental na formação e deformação dos plútons. Além disso, explicam a grande diferença geométrica entre os plútons neoarqueanos e paleoproterozóicos. A formação dos plútons nos dois pulsos magmáticos neoarqueanos são resultados de movimentos extensionais na crosta, que foram seguidos por uma inversão de tensores, resultando na deformação dos corpos graníticos. Em contraste, os plútons paleoproterozóicos são pós-tectônicos e não experimentaram nenhuma grande deformação posterior.

Os resultados do presente trabalho são importantes para compreender não apenas a evolução temporal das estruturas magmáticas na região, mas também para interpretar a dinâmica tectônica que influenciou sua formação e evolução ao longo do tempo geológico.

Agora é o momento de comparar os resultados obtidos com os estudos realizados por Paterson & Schmidt (1999) e Schmidt & Paterson (2000), visando identificar semelhanças e divergências nas observações sobre a relação entre plútons e zonas de cisalhamento. Schmidt & Paterson (2000) defendem que não há uma relação espacial significativa entre plútons e zonas de cisalhamento, pois a maioria dos plútons ocorre "a uma distância considerável das falhas", embora sua área de estudo não seja a mesma. Eles também sugerem que, na melhor das hipóteses, existe uma relação geométrica fraca entre essas zonas e os plútons. Paterson & Schmidt (1999) estão corretos ao afirmar que nem todos os plútons se localizam próximos às zonas de cisalhamento. No entanto, observa-se que uma grande maioria (74,3%) dos plútons com baixa razão dos eixos está situada a uma curta distância dessas ZCs (< 4 km), indicando um controle significativo.

A investigação das relações espaciais, geométricas e temporais consideradas necessárias para comprovar a associação entre plútons e zonas de cisalhamento, foram desenvolvidas de forma abrangente no presente trabalho.

6 CONCLUSÕES

Desta forma, este estudo examinou a relação entre a distribuição, geometria e idade dos plútons e as zonas de cisalhamento na região da Província Mineral de Carajás. A análise demonstrou que uma significativa proporção dos plútons com baixa razão geométrica, de idade neoarqueana, está localizada próxima às zonas de cisalhamento, sugerindo um forte controle estrutural.

Os dados obtidos indicam que a deformação neoarqueana teve um impacto considerável na configuração e geometria dos plútons, enquanto o evento paleoproterozóico teve um efeito menos expressivo em suas geometrias devido à ausência de eventos deformacionais significativos posteriores. A correspondência das idades de cristalização e deformação dos plútons com os principais eventos tectônicos da província reforça a interação entre os processos tectônicos e magmáticos na formação dessas estruturas.

Este estudo enfrentou limitações, como a ausência de idades precisas para todos os corpos plutônicos no mapa. A análise foi, portanto, realizada em nível de comparação média entre plútons neoarqueanos e paleoproterozóicos, o que pode ter limitado a precisão de algumas conclusões.

A comparação dos resultados deste estudo com os trabalhos de Paterson & Schmidt (1999) e Schmidt & Paterson (2000) revela divergências na interpretação da relação entre plútons e outras estruturas. Enquanto os autores sugerem uma relação geométrica fraca entre estas estruturas, os resultados deste estudo indicam um controle significativo das zonas de cisalhamento sobre os plútons.

A análise integrada de distribuição, geometria e idade dos plútons permitiu identificar padrões espaciais e temporais que enriquecem o conhecimento sobre a tectônica da PMC. Portanto, este estudo não apenas esclarece a complexa interação entre plútons e zonas de cisalhamento na Província Carajás, mas também estabelece uma base para futuras investigações sobre as dinâmicas tectônicas e magmáticas na região, a fim de aprimorar critérios de pesquisa mineral em uma região de grande significância exploratória para o país.

Para pesquisas futuras, recomenda-se a obtenção de datações mais precisas para um maior número de plútons através da realização de atividades de campo na região e da coleta de amostras para análises geocronológicas. Além disso, a aplicação de técnicas mais avançadas de modelagem geofísica pode aprofundar a

compreensão da relação entre a granitogênese com a trama estrutural da província. Explorar a influência de eventos tectônicos subsequentes também pode proporcionar uma visão mais completa da evolução geológica da Província Mineral de Carajás.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. F. M. et al. Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth-Science Reviews*, v. 17, n. 1-2, p. 1-29, 1981.

ALMEIDA, J. A. C. et al. Origin of the Archean leucogranodiorite–granite suites: evidence from the Rio Maria terrane and implications for granite magmatism in the Archean. *Lithos*, v. 120, n. 3-4, p. 235-257, 2010.

ALMEIDA, J. A. C. et al. 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*, v. 187, n. 1-2, p. 201-221, 2011.

ALMEIDA, J. A. C., DALL'AGNOL, R., Leite, A.A.S. Geochemistry and zircon geochronology of the Archean granite suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane, Carajás Province, Brazil. *J. S. Am. Earth Sci.* 42, 103–126, 2013.

ALTHOFF, F.; BARBEY, P.; BOULLIER, A. M. 2.8–3.0 Ga plutonism and deformation in the SE Amazonian craton: the Archaean granitoids of Marajoara (Carajás Mineral Province, Brazil). *Precambrian Research*, v. 104, n. 3-4, p. 187-206, 2000.

ARAÚJO, O. J. B. et al. A megaestruturação arqueana da folha Serra dos Carajás. In: Congresso Latino-Americano de Geologia. SBG-NO Belém, p. 324-338, 1988.

ARAÚJO, O. J. B.; MAIA, R. G. N. Brazil Geological Basic Survey Program: special project of mineral resources, soils and vegetation maps for the region of Grande Carajás Program-Mineral resources sub project-Serra dos Carajás-Sheet SB. 22-ZA-Pará State; Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: projeto especial mapas de recursos minerais, de solos e de vegetação para a área do Programa Grande Carajás-Subprojeto Recursos Minerais-Serra dos Carajás-Folha SB. 22-ZA-Estado do Pará. 1991.

ARAÚJO, V. A. et al. Projeto Especial Mapas de Recursos Minerais, de Solos e de Vegetação para a Área do Programa Grande Carajás. Subprojeto Recursos Minerais. Araguaína. CPRM, 1994.

AVELAR, V. G. et al. O Magmatismo arqueano da região de Tucumã-Província Mineral de Carajás: novos resultados geocronológicos. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 29, n. 4, p. 453-460, 1999.

BARROS, C. E. M. Evolução Petrológica e Estrutural do Gnaiss Estrela, Curionópolis, PA. Belém, Centro de Geociências/UFPa, 135p. 1991. Tese de Doutorado. Tese de mestrado.

BARROS, C. E. M. et al. Structure, petrology, geochemistry and zircon U/Pb and Pb/Pb geochronology of the synkinematic Archean (2.7 Ga) A-type granites from the Carajás Metallogenic province, northern Brazil. *Canadian Mineralogist*, v. 47, p. 1423-1440, 2009.

BROWN, M.; SOLAR, G. Granite ascent and emplacement during contractional deformation in convergent orogens. *Journal of Structural Geology*, v. 20, n. 9-10, p. 1365-1393, 1998.

CAO, S.; NEUBAUER, F. Deep crustal expressions of exhumed strike-slip fault systems: Shear zone initiation on rheological boundaries. *Earth-Science Reviews*, v. 162, pp. 155-176, 2016.

COSTA, I. S. L. et al. Lithospheric structure of the southern Amazonian Craton from multiple-frequency seismic tomography: Preliminary insights on tectonic and metallogenic implications. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 101, p. 102608, 2020.

COSTA, J. B. S. et al. Os sistemas estruturais transcorrentes do Cinturão Itacaiúnas na região de Curionópolis, leste do Estado do Pará. In: Congresso Brasileiro de Geologia. p. 2345-2357, 1990.

COSTA, J. B. S. et al. Aspectos fundamentais da neotectônica na Amazônia Brasileira. In: Simpósio Internacional do Quaternário da Amazônia. p. 103-105, 1993.

COSTA, J. B. S. et al. A Província Mineral de Carajás: aspectos tectono-estruturais, estratigráficos e geocronológicos. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, 7:199-235, 1995.

COSTA, J. B. S.; SIQUEIRA, J. B. Transtração e transpressão ao longo do Lineamento Cinzento (região da Serra dos Carajás). *Brazilian Journal of Geology*, v. 20, n. 1, p. 234-238, 1990.

DALL'AGNOL, R. et al. Petrogenesis of the Paleoproterozoic rapakivi A-type granites of the Archean Carajás metallogenic province, Brazil. *Lithos*, v. 80, n. 1-4, p. 101-129, 2005.

DALL'AGNOL, R. et al. CEM. Archean and paleoproterozoic granitoids of the Carajás metallogenic province, eastern Amazonian craton. In: Symposium on Magmatism, Crustal Evolution, and Metallogenesis of the Amazonian Craton, Excursion Guide, Belém. p. 99-150, 2006.

DALL'AGNOL, R. et al. Geologia do Subdomínio de Transição do Domínio Carajás – implicações para a evolução arqueana da Província Carajás, Pará. *Simpósio de Geologia da Amazônia*, v. 13, n. 2013, pp. 1082-1085, 2013.

DALL'AGNOL, R. et al. Mineralogy, geochemistry, and petrology of Neoproterozoic ferroan to magnesian granites of Carajás Province, Amazonian Craton: The origin of hydrated granites associated with charnockites. *Lithos*, v. 277, p. 3-32, 2017.

DELINARDO, M. A. S. et al. Complexo Xingu: Uma secção da crosta inferior exumada durante a evolução do Domínio Carajás, Pa. p. 521, 2014.

DELINARDO, M. A. S. et al. Partial melting and magma generation in the Mesoproterozoic (ca. 3.0 Ga) TTG gneisses of the Xingu Complex, Carajás Province, Amazon Craton. In: 8th Hutton Symposium on Granites and Related Rocks. SBG, Florianópolis-SC. p. 28-28, 2015.

D'LEMOES, R. S.; BROWN, M.; STRACHAN, R. A. Granite magma generation, ascent and emplacement within a transpressional orogen. *Journal of the Geological Society*, v. 149, n. 4, pp. 487-490, 1992.

DOCEGEO (Rio Doce Geologia e Mineração - Distrito Amazônia). Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás, Pará. In: Congresso Brasileiro de Geologia 35, Belém. Anexos. Belém, SBG. Vol. Província Mineral de Carajás-Litoestratigrafia e Principais Depósitos Minerais, pp. 11-54, 1988.

FEIO, G. R. L. et al. Geochemistry, geochronology, and origin of the Neoproterozoic Planalto Granite suite, Carajás, Amazonian craton: A-type or hydrated charnockitic granites?. *Lithos*, v. 151, p. 57-73, 2012.

FEIO, G. R. L. et al. Archean granitoid magmatism in the Canaã dos Carajás area: implications for crustal evolution of the Carajás province, Amazonian craton, Brazil. *Precambrian Research*, v. 227, p. 157-185, 2013.

FERREIRA FILHO, C. F. et al. Mineralizações estratiformes de EGP-Ni associadas a complexos acamadados em Carajás: os exemplos de Luanga e Serra da Onça. *Contribuições à Geologia da Amazônia*. Belém: Publitec, p. 1-14, 2007.

GABRIEL, E. O.; **OLIVEIRA**, D. C. 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. Cienc. Nat.*, 9 (3), 533–564, 2014.

GIBBS, A. K. et al. Age and composition of the Grão-Pará group Volcanics, Serra dos Carajás. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 16, p. 201-211, 1986.

GUINEBERTEAU, B.; **BOUCHEZ**, J. L.; **VIGNERESSE**, J. L. The Mortagne granite pluton (France) emplaced by pull-apart along a shear zone: Structural and gravimetric arguments and regional implication. *Geological Society of America Bulletin*, v. 99, n. 6, pp. 763-770, 1987.

HIRATA, W. K. et al. Geologia regional da província mineral de Carajás. *Simpósio de Geologia da Amazônia*, v. 1, n. 1982, p. 100-108, 1982.

HUTTON, D. H. W.; **REAVY**, R. J. Strike-slip tectonics and granite petrogenesis. *Tectonics*, v. 11, n. 5, p. 960-967, 1992.

JORGE JOÃO, X. S.; **ARAÚJO**, J. B. Magmatismo granítico sin-cisalhamento Itacaiúnas no SW do Estado do Pará. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia. 1992. p. 36-38.

KOBER, B. Single grain evaporation combined with Pb emitter bedding $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ investigations using thermal ion mass spectrometry and implications to zirconology. *Contrib. Mineral. Petrol.*, v. 96, p. 63-71, 1987.

LEITE, A. A. S. et al. 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*, v. 34, p. 447-458, 2004.

LEITE-SANTOS, P. J.; **DE OLIVEIRA**, D. C. Geologia, petrografia e geoquímica das associações leucograníticas arqueanas da área de Nova Canadá: Província Carajás. *Geologia USP. Série Científica*, v. 16, n. 2, p. 37-66, 2016.

LINDENMAYER, Z. G.; FYFE, W. S.; BOCALON, V. L. S. Nota preliminar sobre as intrusões granitóides do depósito de cobre do Salobo, Carajás. *Acta Geol. Leopold*, v. 40, n. 7, p. 153-184, 1994.

MACAMBIRA, E. M. B. et al. O quadro geológico da Folha São Félix do Xingu (SB. 22-YB), SE do estado do Pará. In: *Anais 38° Congresso Brasileiro de Geologia*. Balneário Camboriú. p. 111-112, 1994.

MACAMBIRA, M. J. B., LANCELOT, J. Time constraints for the formation of the Archean Rio Maria crust, southeastern Amazonian Craton, Brazil. *Int. Geol. Rev.* 38 (12), 1134–1142, 1996.

MACHADO, N. et al. U-Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás area, Amazon shield, Brazil. *Precambrian Research*, v. 49, n. 3-4, p. 329-354, 1991.

MARANGOANHA, B. et al. Neoproterozoic A-type granitoids from Carajás province (Brazil): New insights from geochemistry, geochronology and microstructural analysis. *Precambrian Research*, v. 324, p. 86-108, 2019b.

MCCAFFREY, K. J. W. Igneous emplacement in a transpressive shear zone: Ox Mountains igneous complex. *Journal of the Geological Society*, v. 149, n. 2, p. 221-235, 1992.

MELO, A. T.; LI, Y.; HITZMAN, M. Is there hidden potential in Carajás? Insights through the geophysical signature of Cristalino deposit. *Ore Geology Reviews*, v. 126, p. 103735, 2020.

MONTEIRO, L. V. S. et al. Spatial and temporal zoning of hydrothermal alteration and mineralization in the Sossego iron oxide-copper-gold deposit, Carajás Mineral Province, Brazil: paragenesis and stable isotope constraints. *Mineralium Deposita*, v. 43, pp. 129-159, 2008.

MORETO, C. P. N. et al. 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*, v. 46, p. 789-811, 2011.

MORETO, C. P. N. et al. Timing of multiple hydrothermal events in the iron oxide copper gold deposits of the Southern Copper Belt, Carajás Province, Brazil. *Mineralium Deposita*, X, p. 1, 2014.

MORETO, C. P. N. et al. Neoproterozoic and Paleoproterozoic Iron Oxide-Copper-Gold Events at the Sossego Deposit, Carajás Province, Brazil: Re-Os and U-Pb Geochronological Evidence. *Economic Geology*, v. 110, pp. 809-835, 2015.

NEVES, S. P.; VAUCHEZ, A. Magma emplacement and shear zone nucleation and development in northeast Brazil (Fazenda Nova and Pernambuco shear zones; State of Pernambuco). *Journal of South American Earth Sciences*, v. 8, n. 3, pp. 289-298, 1995.

NEVES, S.; VAUCHEZ, A.; ARCHANJO, C. Shear zone-controlled magma emplacement or magma-assisted nucleation of shear zones? Insights from northeast Brazil. *Tectonophysics*, v. 262, n. 1, pp. 349-364, 1996.

NEVES, S. P.; VAUCHEZ, A.; FERAUD, G. Tectono-thermal evolution, magma emplacement, and shear zone development in the Caruaru area (Borborema Province, NE Brazil). *Precambrian Research*, v. 99, n. 1, pp. 1-32, 2000.

OLIVEIRA, M.A. et al. Mesoarchean sanukitoid rocks of the Rio Maria granite-greenstone terrane, amazonian craton, Brazil. *J. S. Am. Earth Sci.* 27 (2), 146–160, 2009.

OLIVEIRA, V. E. S. et al. Geology, mineralogy and petrological affinities of the Neoproterozoic granitoids from the central portion of the Canaã dos Carajás domain, Amazonian craton, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 85, p. 135-159, 2018.

PATERSON, S. R.; SCHMIDT, K. L. Is there a close spatial relationship between faults and plutons? *Journal of Structural Geology*, v. 21, n. 8, pp. 1131-1142, 1999.

PE-PIPER, G.; KOUKOUVELAS, I.; PIPER, D. Synkinematic granite emplacement in a shear zone: The Pleasant Hills pluton, Canadian Appalachians. *Geological Society of America Bulletin*, v. 110, n. 4, pp. 523-536, 1998.

PINHEIRO, R. V. L.; HOLDSWORTH, R. E. Reactivation of Archaean strike-slip fault systems, Amazon region, Brazil. *Journal of the Geological Society*, v. 154, n. 1, p. 99-103, 1997.

RODRIGUES, D. S.; DE OLIVEIRA, D. C.; MACAMBIRA, M. J. B. 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*, v. 9, n. 3, p. 597-633, 2014.

ROMÁN-BERDIEL, T.; GAPAIS, D.; BRUN, J. P. Granite intrusion along strike-slip zones in experiments and nature. *American Journal of Science*, v. 297, n. 6, pp. 651-678, 1997.

SANTOS, J. Geotectônica dos escudos das Guianas e Brasil Central. In: CPRM - Serviço Geológico do Brasil (Ed.), *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas e SIG*, Brasília, p. 169-226, 2003.

SANTOS, P. A. et al. Geologia, petrografia e geoquímica da associação tonalitotrondhjemito-granodiorito (TTG) do extremo leste do subdomínio de transição, Província Carajás. 2013a.

SANTOS, R. D.; GALARZA, M. A.; DE OLIVEIRA, D. C. Geologia, geoquímica e geocronologia do Diopsídio-Norito Pium, Província Carajás. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi-Ciências Naturais*, v. 8, n. 3, p. 355-382, 2013b.

SANTOS-SILVA, R. C., SABÓIA, A. M., OLIVEIRA, H. J. Projeto integração geológica-geofísica-metalogenética das sequências de Greenstone Belts do Domínio Rio Maria – Novas Fronteiras Rio Maria. Escalas: 1:250.000 – 1:100.000. CPRM, Belém, p. 274, 2021.

SARDINHA, A. S.; BARROS, C. E.; KRYMSKY, R. Geology, geochemistry, and U–Pb geochronology of the Archean (2.74 Ga) Serra do Rabo granite stocks, Carajás Metallogenic Province, northern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 20, n. 4, p. 327-339, 2006.

SCHMIDT, K. L.; PATERSON, S. R. Analyses fail to find coupling between deformation and magmatism. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, v. 81, n. 18, pp. 197-203, 2000.

SILVA, A. C. et al. Geologia, petrografia e geoquímica de associações tonalíticas e trondjemíticas arqueanas de Vila Jussara, Província Carajás, Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi-Ciências Naturais*, v. 9, n. 1, p. 13-45, 2014.

SILVA, L. R. et al. The Mesoarchean plutonic complex from the Carajás province, Amazonian craton: Petrogenesis, zircon U-Pb SHRIMP geochronology and tectonic implications. *Lithos*, v. 432, p. 106901, 2022.

SILVA, F. F. et al. Lithological and structural controls on the emplacement of a Neoproterozoic plutonic complex in the Carajás province, southeastern Amazonian craton (Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*, v. 102, p. 102696, 2020.

SILVA, G. G. et al. Geologia da Folha SC.22 – Tocantins. DNPM, Rio de Janeiro, 143p, 1974.

SILVA, M. A. D. et al. Mesoarchean migmatites of the Carajás Province: from intra- arc melting to collision. *Lithos* 388–389, 106078, 2021.

SIQUEIRA, J. B. Organização Lito-estrutural do Duplex Salobo-Mirim, Serra dos Carajás. Universidade Federal do Pará, 125p. 1990. Tese de mestrado.

SIQUEIRA, J. B.; COSTA, J. B. S. Evolução geológica do duplex Salobo-Mirim. *Simpósio de Geologia da Amazônia*, v. 3, p. 232-243, 1991.

SOUZA, Z. S. et al. Carajás mineral province: geological, geochronological and tectonic contrasts on the Archean evolution of the Rio Maria Granite-Greenstone Terrain and the Carajás block. In: *Symposium on Archean Terranes of South America Platform, Brasília, Extended abstracts. SBG.* p. 31-32, 1996a.

SOUZA, Z. S. et al. Nd, Pb and Sr isotopes in the Identidade Belt, an Archean greenstone belt of the Rio Maria region (Carajás Province, Brazil): implications for the Archean geodynamic evolution of the Amazonian Craton. *Precambrian Research*, v. 109, n. 3-4, p. 293-315, 2001.

SUITA, M. T. de; STRIEDER, A. J. Cr-spinels from Brazilian mafic-ultramafic complexes: metamorphic modifications. *International Geology Review*, v. 38, n. 3, p. 245-267, 1996.

TALLARICO, F. H. B. O cinturão cupro-aurífero de Carajás, Brasil. Tese de doutorado, Universidade Estadual de Campinas, 229p, 2003.

TASSINARI, C. C. G.; MACAMBIRA, M. J. B. A evolução tectônica do Cráton Amazônico. In: *Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*, 2004.

TAVARES, F. M. Evolução geotectônica do nordeste da Província Carajás. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015. Tese de doutorado.

TAVARES, F. M. et al. The multistage tectonic evolution of the northeastern Carajás Province, Amazonian Craton, Brazil: revealing complex structural patterns. *J. S. Am. Earth Sci.* 88, 238–252, 2018.

TEIXEIRA, M. F. B. et al. 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*, v. 8, n. 3, p. 291-323, 2013.

TEIXEIRA, M. F. B. et al. Geochemistry, geochronology and Nd isotopes of the Gogó da Onça Granite: A new Paleoproterozoic A-type granite of Carajás Province, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 80, p. 47-65, 2017.

TEIXEIRA, M. F. B. et al. Crystallization ages of Paleoproterozoic A-type granites of Carajás province, Amazon craton: Constraints from U-Pb geochronology of zircon and titanite. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 88, p. 312-331, 2018.

TEIXEIRA, M. F. B. et al. Petrogenesis of the Paleoproterozoic (Orosirian) A-type granites of Carajás Province, Amazon Craton, Brazil: combined in situ Hf-O isotopes of zircon. *Lithos* 332–333, 1–22, 2019.

VASQUEZ, M. L.; MACAMBIRA, M. J. B.; ARMSTRONG, R. A. Zircon geochronology of granitoids from the western Bacajá domain, southeastern Amazonian craton, Brazil: Neoproterozoic to Orosirian evolution. *Precambrian Research*, v. 161, n. 3-4, p. 279-302, 2008.

VASQUEZ, M. L.; ROSA-COSTA, L. T. Geologia e recursos minerais do estado do Pará. CPRM, 2008.

VAUCHEZ, A.; NEVES, S.; TOMMASI, A. Transcurrent Shear Zones and Magma Emplacement in Neoproterozoic Belts of Brazil. In *Granite: From Segregation of Melt to Emplacement Fabrics*, pp. 275-293. Dordrecht: Springer Netherlands, 1997.

WAGNER, R. et al. Fracture-driven intrusion and upwelling of a mid-crustal pluton fed from a transpressive shear zone—The Rieserferner Pluton (Eastern Alps). *Geological Society of America Bulletin*, v. 118, n. 1-2, pp. 219-237, 2006.

WEINBERG, R.; SIAL, A.; MARIANO, G. Close spatial relations between plutons and shear zones. *Geology*, v. 32, n. 5, pp. 377-380, 2004.

WEINBERG, R.; MARK, G.; REICHARDT, H. Magma ponding in the Karakoram shear zone, Ladakh, NW India. *Geological Society of America Bulletin*, v. 121, n. 1-2, pp. 278-285, 2009.

XAVIER, R. P. et al. Geology and metallogeny of Neoproterozoic and Paleoproterozoic copper systems of the Carajás Domain, Amazonian Craton, Brazil. In: *SGA BIENNIAL MEETING, 14th. Proceedings [...]. Québec, Canada: Mineral resources to Discover, 2017.* v. 3, pp. 899-902.

APÊNDICE I

Para gerar as imagens geofísicas usadas no presente trabalho, foram utilizados dados provenientes de seis projetos aerogeofísicos: Rio Bacajá (CPRM, 2016), Anapu-Tuerê (CPRM, 2004), Tucuruí (CPRM, 2010), Oeste de Carajás (CPRM, 2015a), Rio Maria (CPRM, 2015b) e Conceição do Araguaia (CPRM, 2012).

Esses projetos envolveram o levantamento de perfis magnetométricos do campo magnético total e gamaespectrométricos de alta densidade. As linhas de voo e os controles foram espaçados a cada 500 m e 10.000 m, com orientações nas direções norte-sul e leste-oeste, respectivamente. A altura de voo foi padronizada em 100 m acima do terreno. A coleta de dados foi realizada por aeronaves equipadas com magnetômetro e gamaespectrômetro, sendo posicionadas com precisão de 1 m pelo sistema de observação via satélite GPS.

O magnetômetro, com sensor de vapor de césio montado na cauda da aeronave (tipo *stinger*), realizou medidas a cada 0,1s, o que corresponde, dependendo da velocidade média da aeronave, a uma amostragem a cada 7,7 m. Por outro lado, o gamaespectrômetro, equipado com detectores de cristais de iodeto de sódio (NaI), permitiu a análise individual e precisa dos fotopicos de potássio, equivalente tório (eTh) e equivalente urânio (eU), com medidas realizadas a cada 1,0s, o que representa uma amostragem média a cada aproximadamente 77,0 m.

MÉTODO MAGNETOMÉTRICO

O método magnetométrico é uma das metodologias geofísicas mais antigas e amplamente utilizadas desde o seu início nos estudos exploratórios de recursos minerais metálicos. A indústria de exploração de petróleo também fez, e ainda faz, uso intensivo dessa metodologia. Na pesquisa de minerais metálicos, especialmente aqueles que contêm ferro, a importância e a relação direta com jazidas são bastante evidentes. Em outras situações, como na exploração de petróleo, a magnetometria possibilita a identificação de estruturas, tais como domos e falhas, que podem influenciar na formação de depósitos.

A magnetometria estuda as anomalias do campo magnético terrestre causadas pelas rochas em subsuperfície. A intensidade do campo magnético terrestre varia entre 70.000 nT nos polos e menos de 25.000 nT nas regiões equatoriais, enquanto as variações geológicas normalmente atingem valores de 10 ou 100 nT. Portanto, para estudar as anomalias magnéticas crustais, é essencial compreender o campo magnético terrestre (Dentith & Mudge, 2014).

O campo magnético gerado pelo núcleo da Terra comporta-se como um ímã, com o Polo Norte localizado no Ártico e o Polo Sul na Antártica. Esses polos não coincidem com os polos geográficos e variam ao longo do tempo. O modelo mais utilizado para representar esse campo é o *International Geomagnetic Reference Field* (IGRF), que define o campo magnético teórico não perturbado em qualquer ponto da superfície da Terra (Isles & Rankin, 2013).

Uma das principais finalidades do uso de dados magnetométricos é a localização e definição da geometria de corpos de minério. Esses dados fornecem contribuições significativas para desvendar a terceira dimensão dos dados geológicos, permitindo inferir feições geológicas em profundidade, como corpos e estruturas, por meio de interpretações e modelagens. As zonas de cisalhamento são alguns dos objetos geológicos mais evidentes em mapas magnetométricos. Portanto, a contribuição desses dados para a delimitação tridimensional de formações vulcânicas, intrusões de rochas básicas e granitóides magnéticos é fundamental.

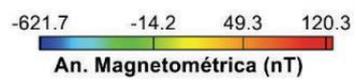
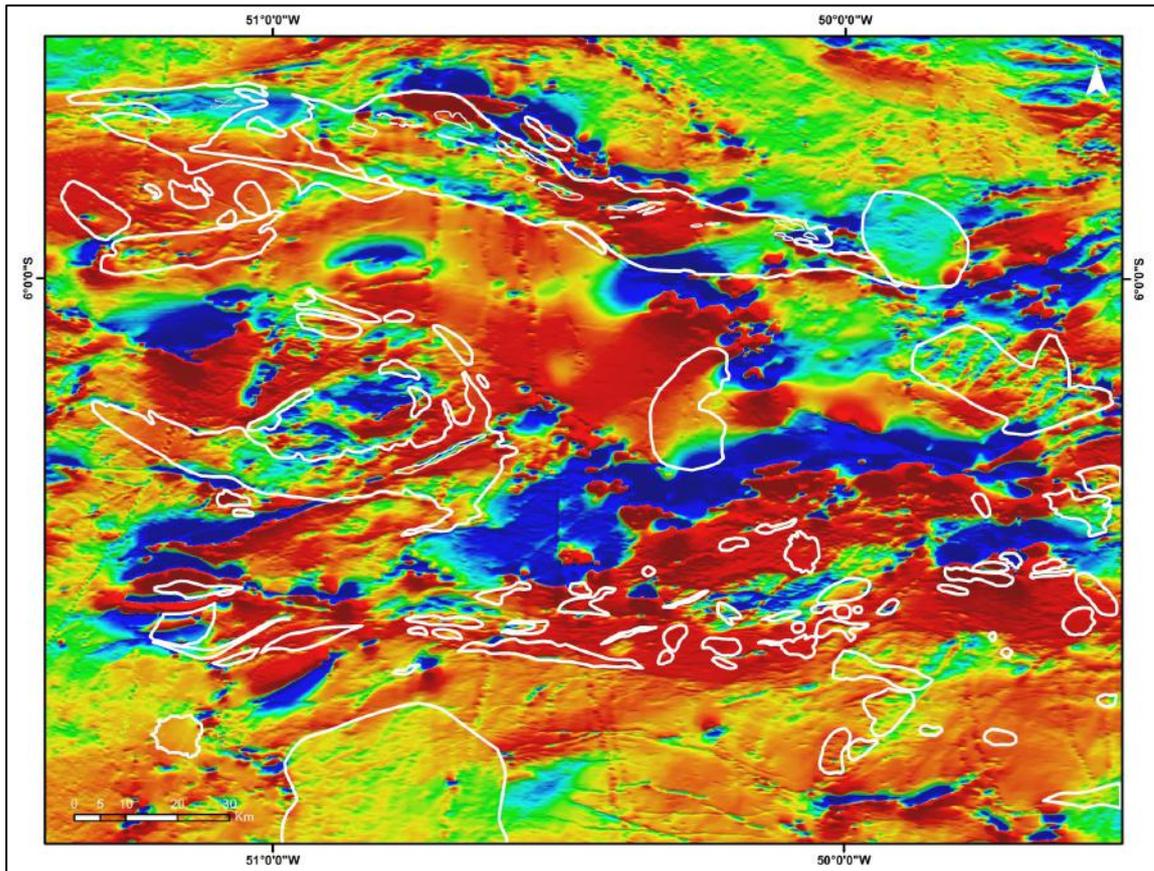
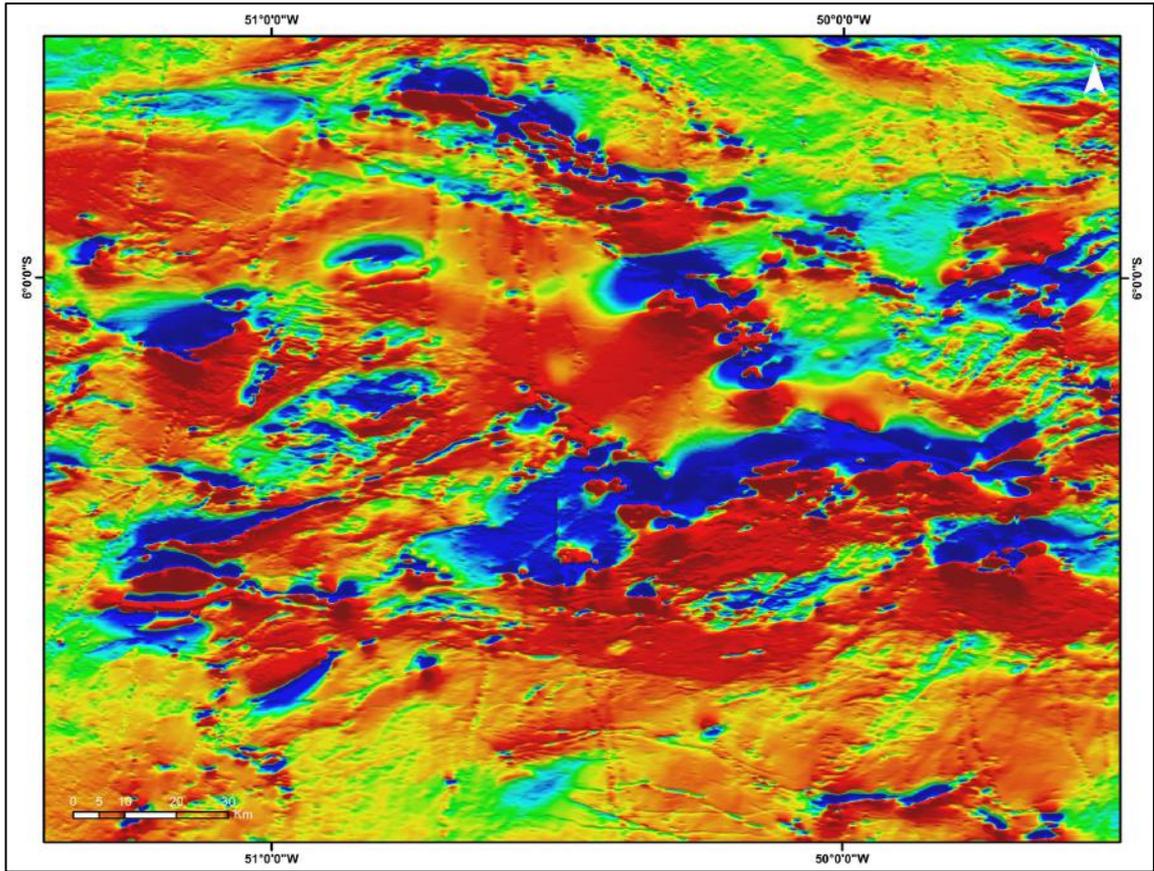
Anomalia Magnetométrica

Para a interpretação de dados magnetométricos regionais e sua aplicação em estudos geológicos, é essencial a remoção de um modelo de campo magnético da Terra. O resíduo resultante dessa remoção é utilizado na interpretação de anomalias, domínios, alinhamentos e modelagens dos dados, permitindo uma integração eficiente com informações geológicas e de recursos minerais.

Nas anomalias magnetométricas, o dado medido é dipolar, semelhante ao campo magnético terrestre. O grau de assimetria dos dipolos positivos e negativos depende da orientação do corpo e de sua posição no campo magnético terrestre (Isles & Rankin, 2013). Nas latitudes magnéticas da área de estudo, as fontes das anomalias magnéticas devem ser procuradas próximas dos centros dos dipolos.

Assim, a relação frequência-amplitude das anomalias magnetométricas possibilita uma interpretação qualitativa em termos de dimensão e profundidade. Nos trabalhos de mapeamento e prospecção, é crucial destacar as anomalias magnéticas cujas relações frequência-amplitude indiquem profundidades rasas. Variações no formato desses dipolos são significativas e podem indicar diferenças quanto à forma, ao sentido de mergulho e à profundidade do corpo magnético, além da presença de magnetismo remanente.

Segundo Isles & Rankin (2013), embora a anomalia magnetométrica sem aplicação de transformações ou filtros não seja a forma de dados mais utilizada na interpretação, esse produto deve sempre ser considerado como o passo inicial na interpretação e um ponto de referência essencial em relação aos dados transformados ou filtrados.

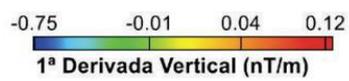
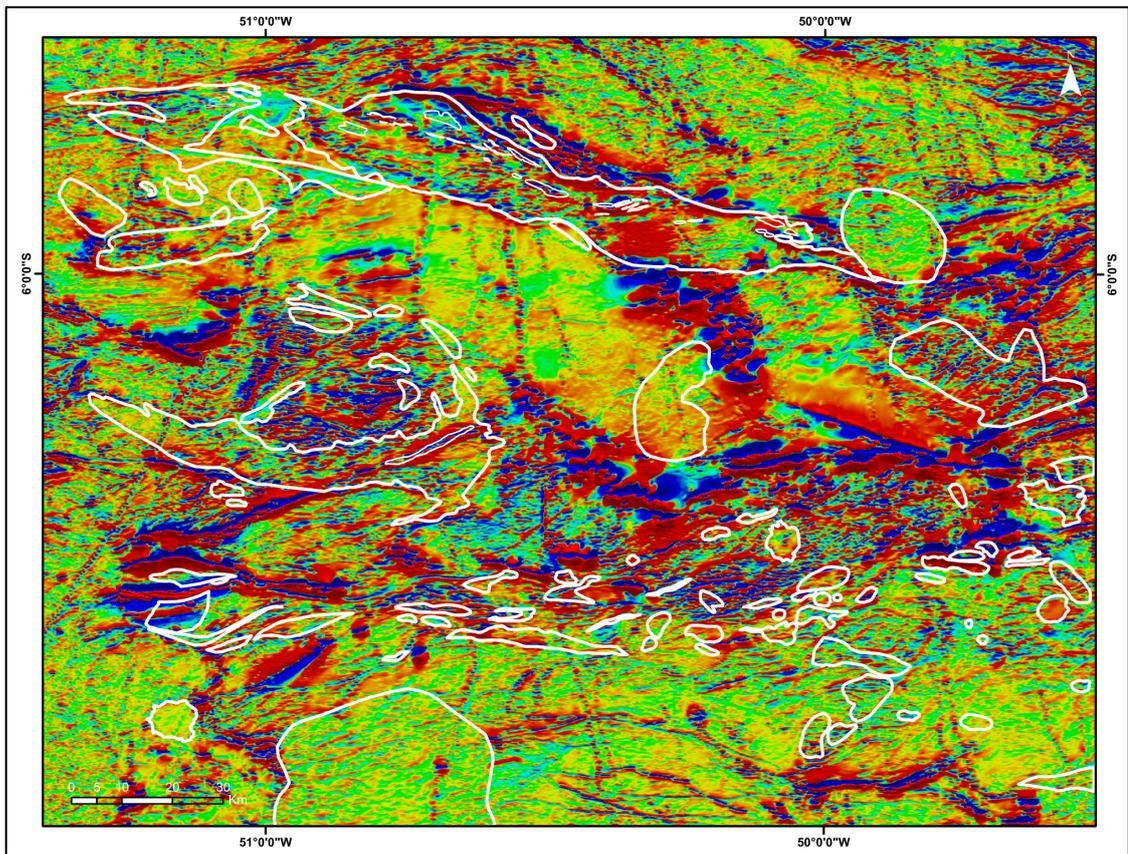
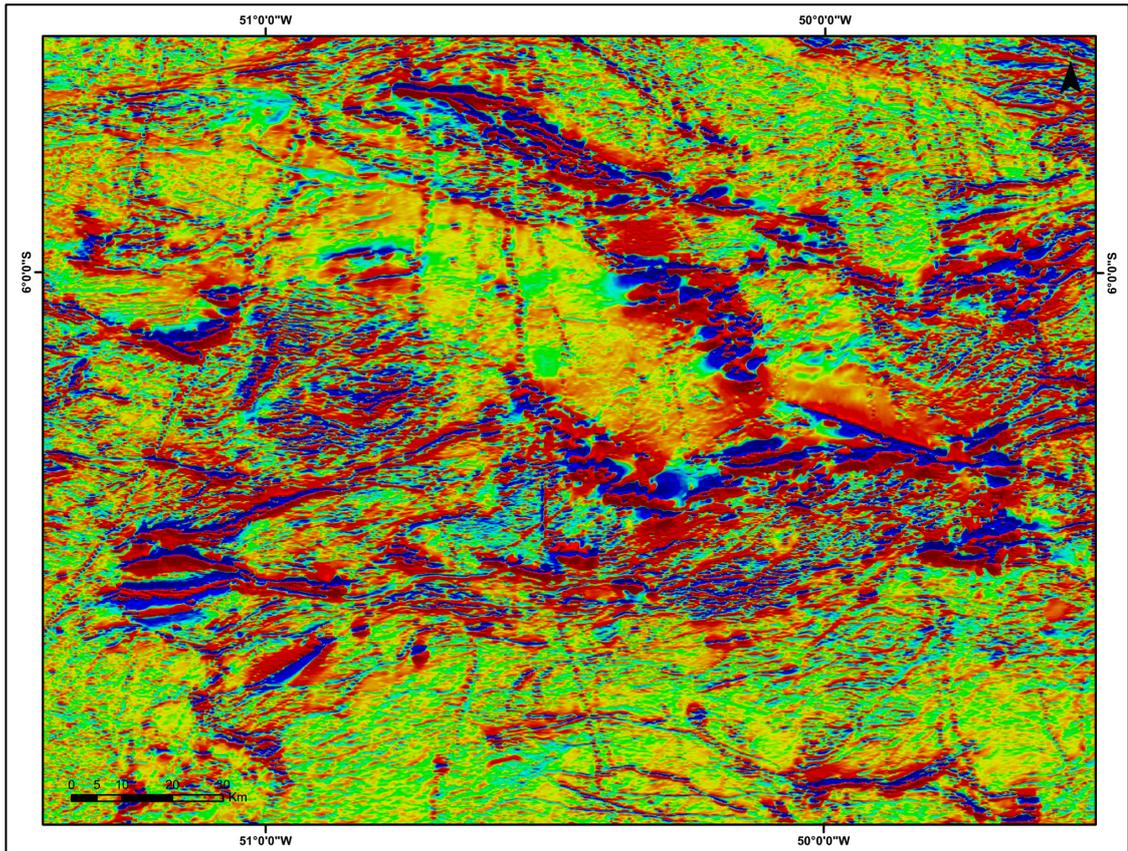


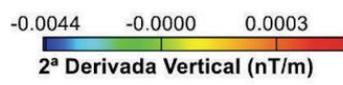
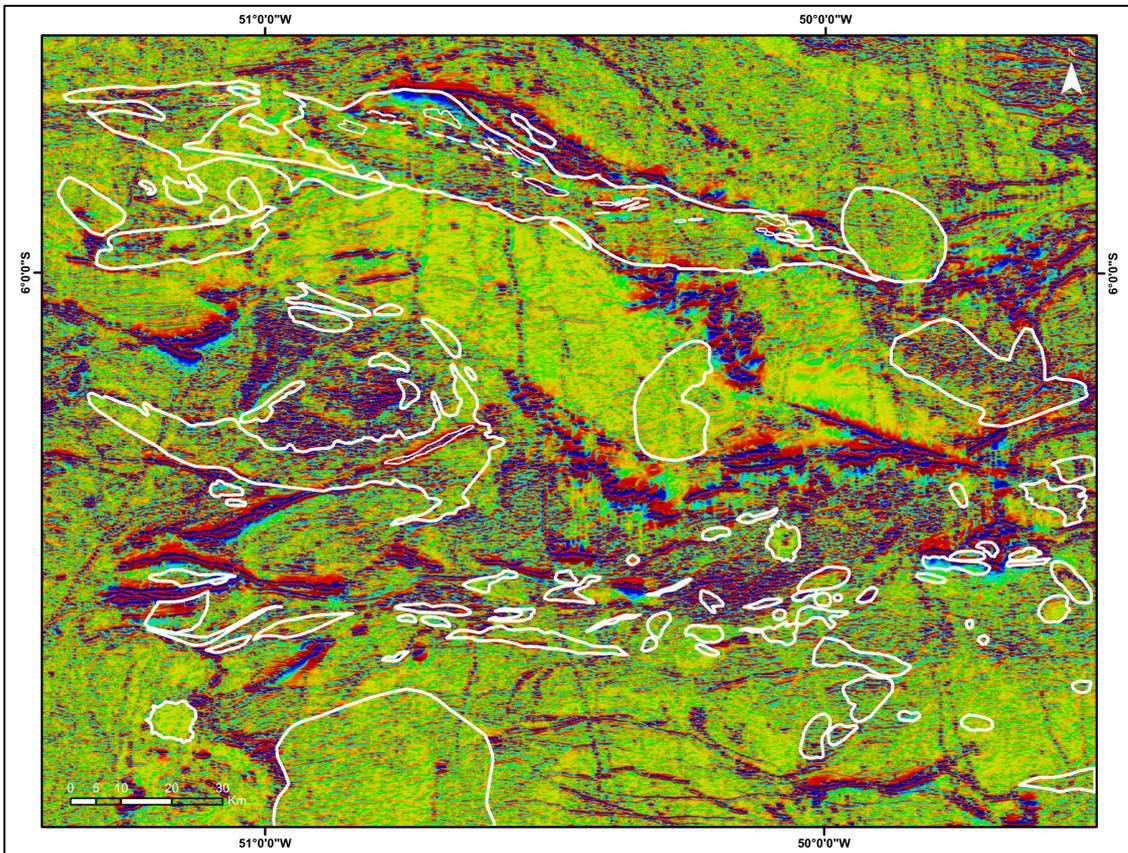
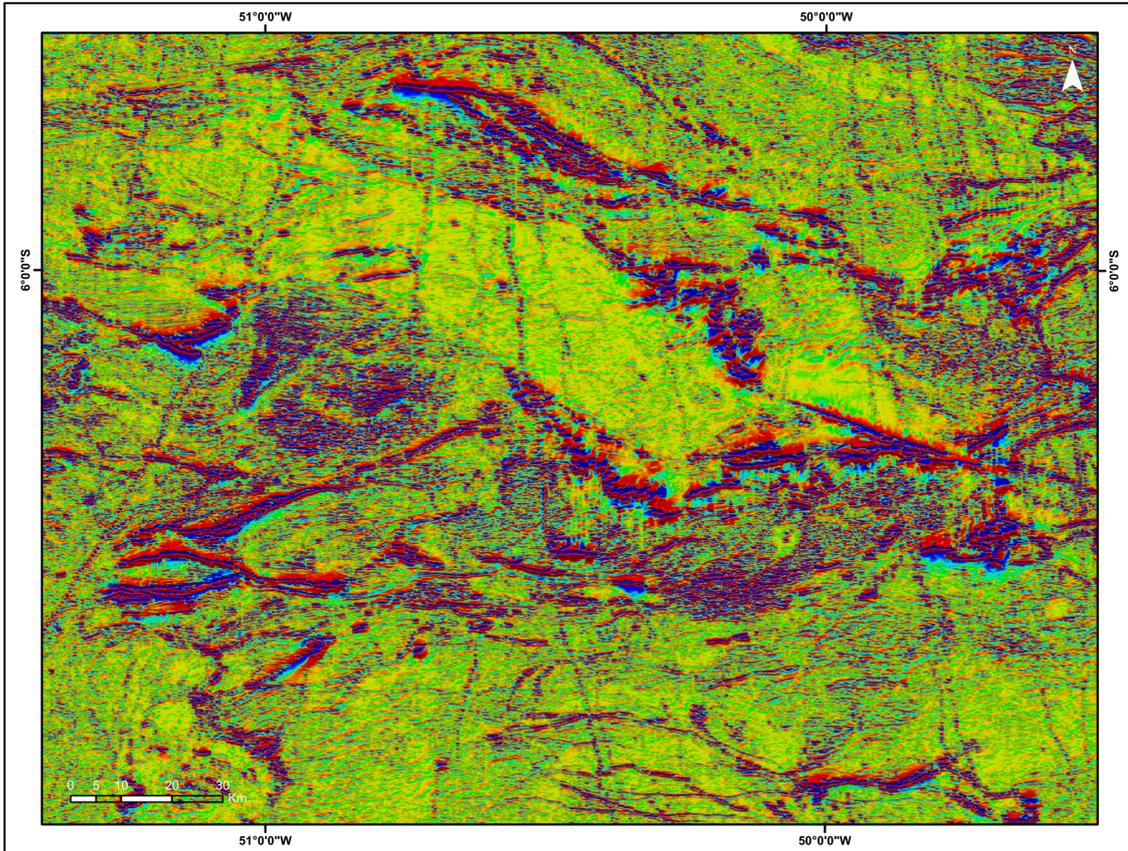
Derivada Vertical da Anomalia Magnetométrica

A derivada vertical (DZ) é um filtro passa alta que destaca os efeitos das fontes de baixo comprimento de onda geradas por anomalias mais próximas à superfície, enquanto atenua as anomalias profundas (Blakely, 1995). A derivada pode ser aplicada até sua n-ésima ordem, resultando na amplificação do efeito do filtro. Neste trabalho, foram analisadas as derivadas de primeira e segunda ordens.

$$L(r) = r^n,$$

onde $n=1$ é a ordem de diferenciação aplicada.



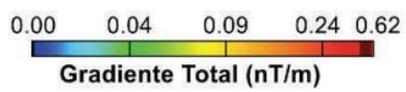
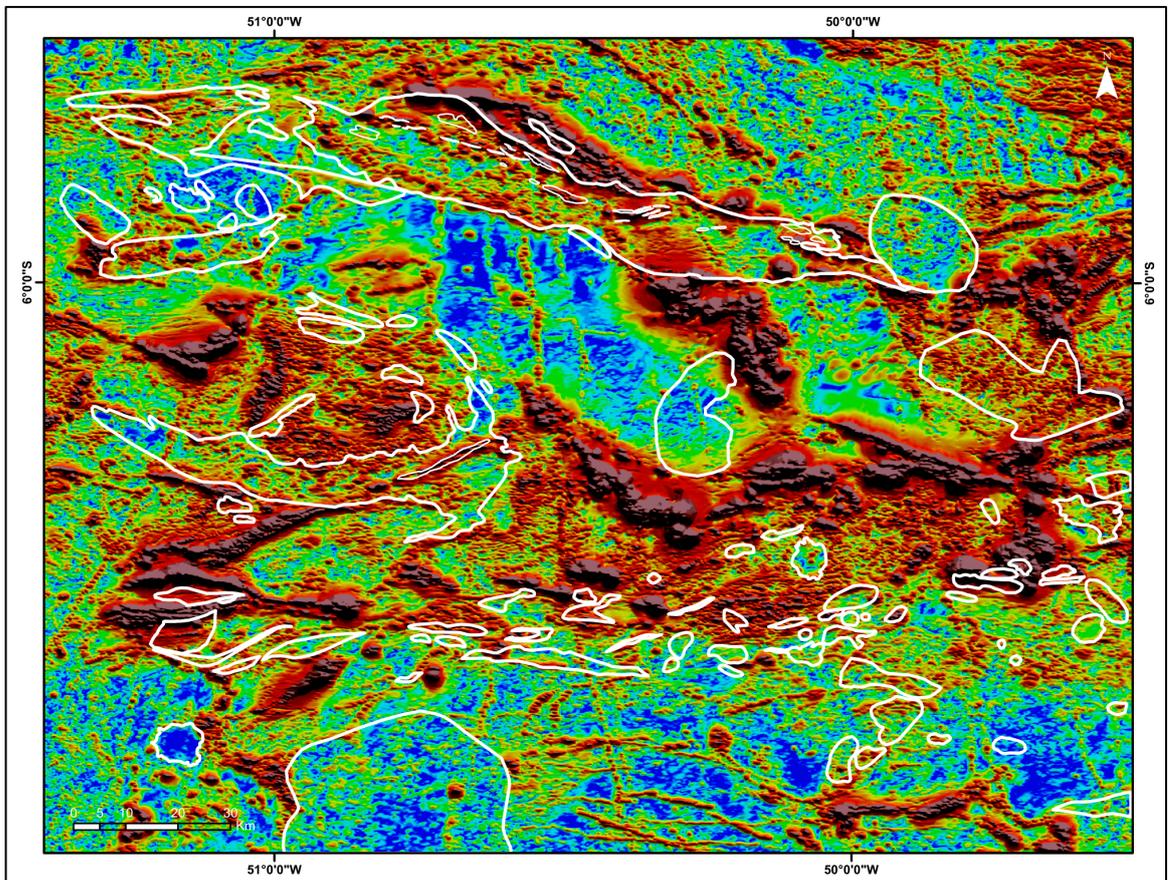
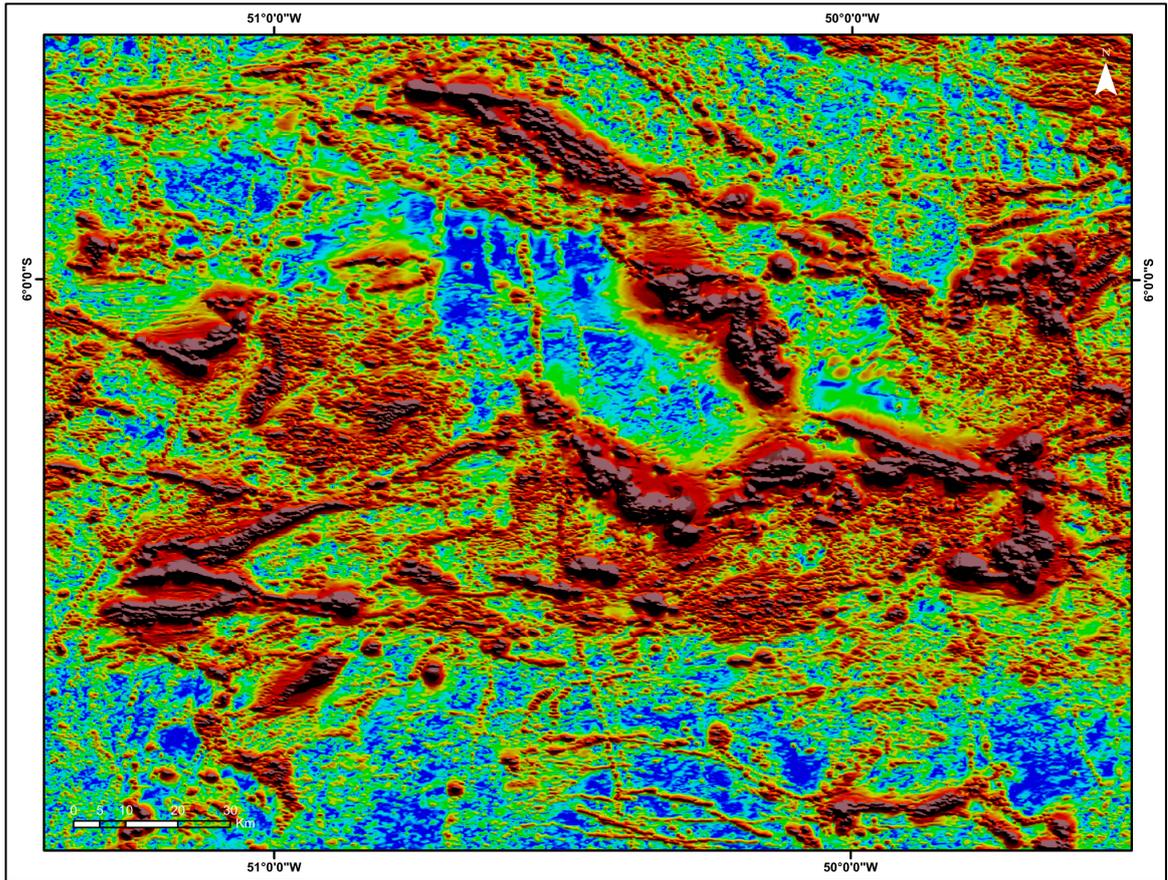


Gradiente Total da Anomalia Magnetométrica

Anteriormente denominado de Amplitude do Sinal Analítico (Macleod *et al.*, 1993), o Gradiente Total é uma técnica de filtragem extremamente eficaz para localizar limites e determinar a profundidade dos corpos. Sua função é expressa por um vetor resultante da adição de duas componentes reais nas direções X e Y, e uma componente imaginária na direção Z. O Gradiente Total oferece uma alternativa à redução ao polo para a localização de fontes magnéticas em baixas latitudes. Devido ao uso de derivadas, este filtro atenua as fontes profundas e define com precisão a localização das fontes rasas, sendo bastante eficiente em estudos de prospecção. O operador matemático do Gradiente Total é definido pela seguinte expressão:

$$GT = \sqrt{\frac{\partial M^2}{\partial x} + \frac{\partial M^2}{\partial y} + \frac{\partial M^2}{\partial z}},$$

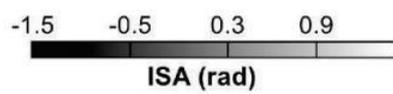
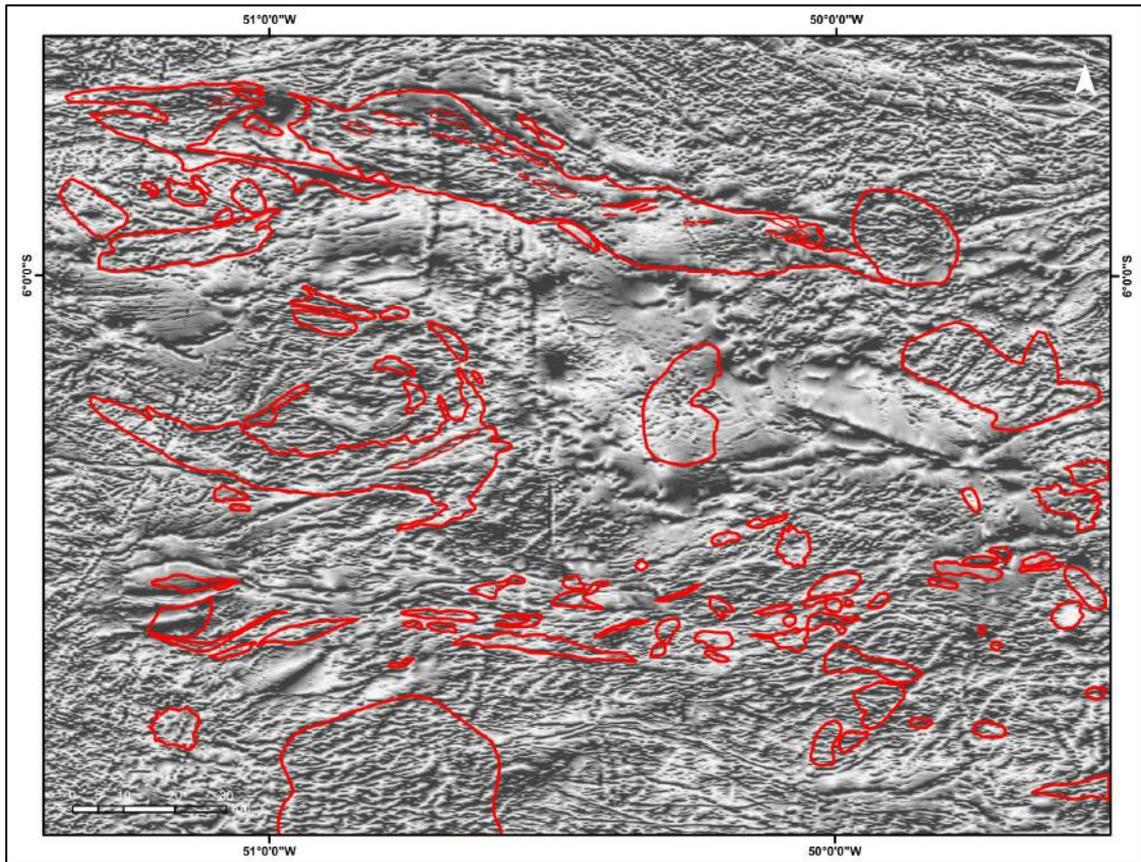
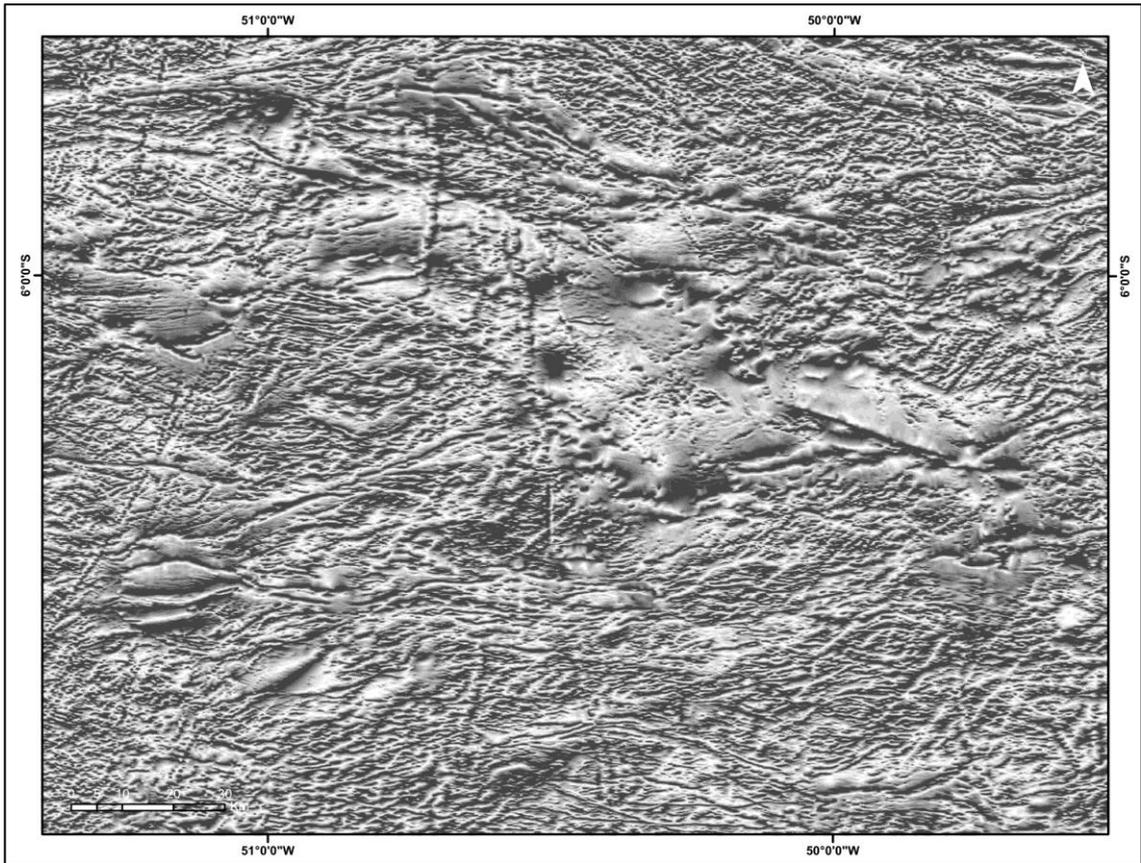
onde M é a Anomalia Magnetométrica e x e y são direções horizontais e z é a direção vertical.



Inclinação do Sinal Analítico da Anomalia Magnetométrica

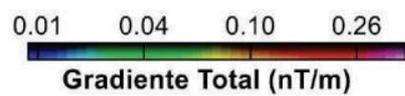
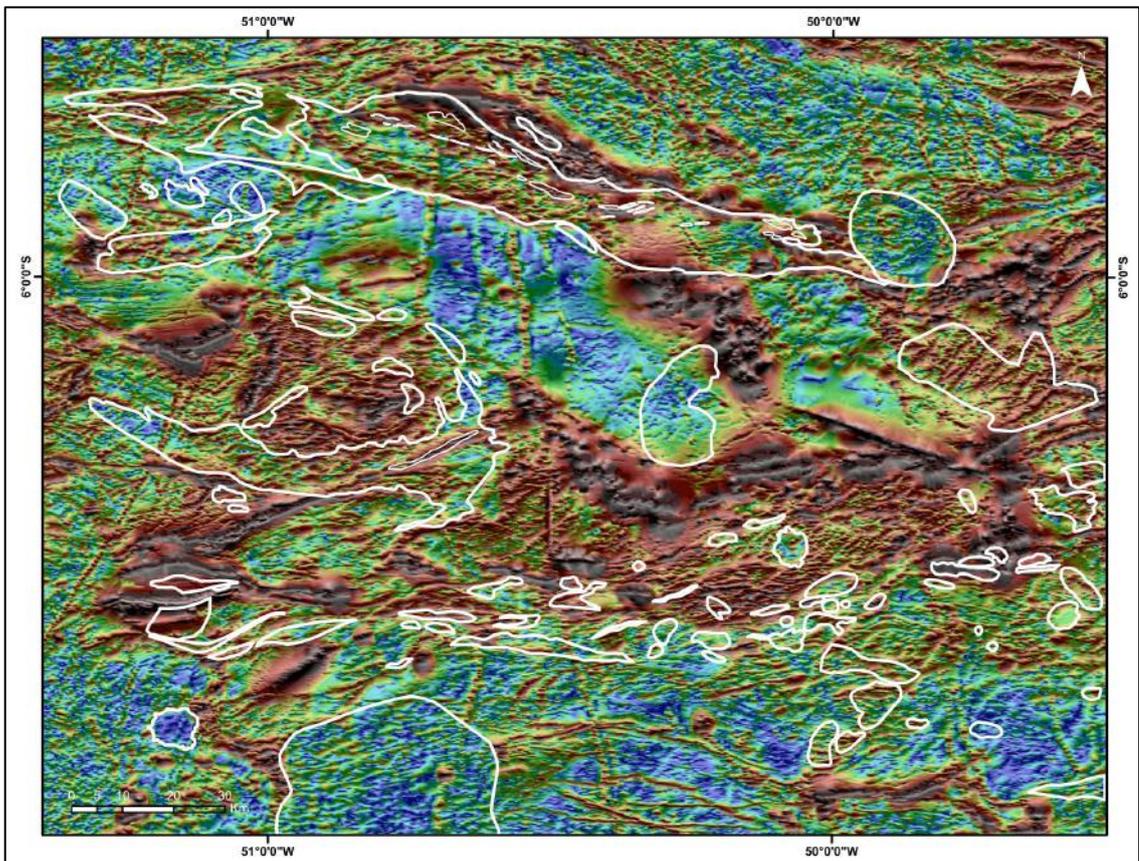
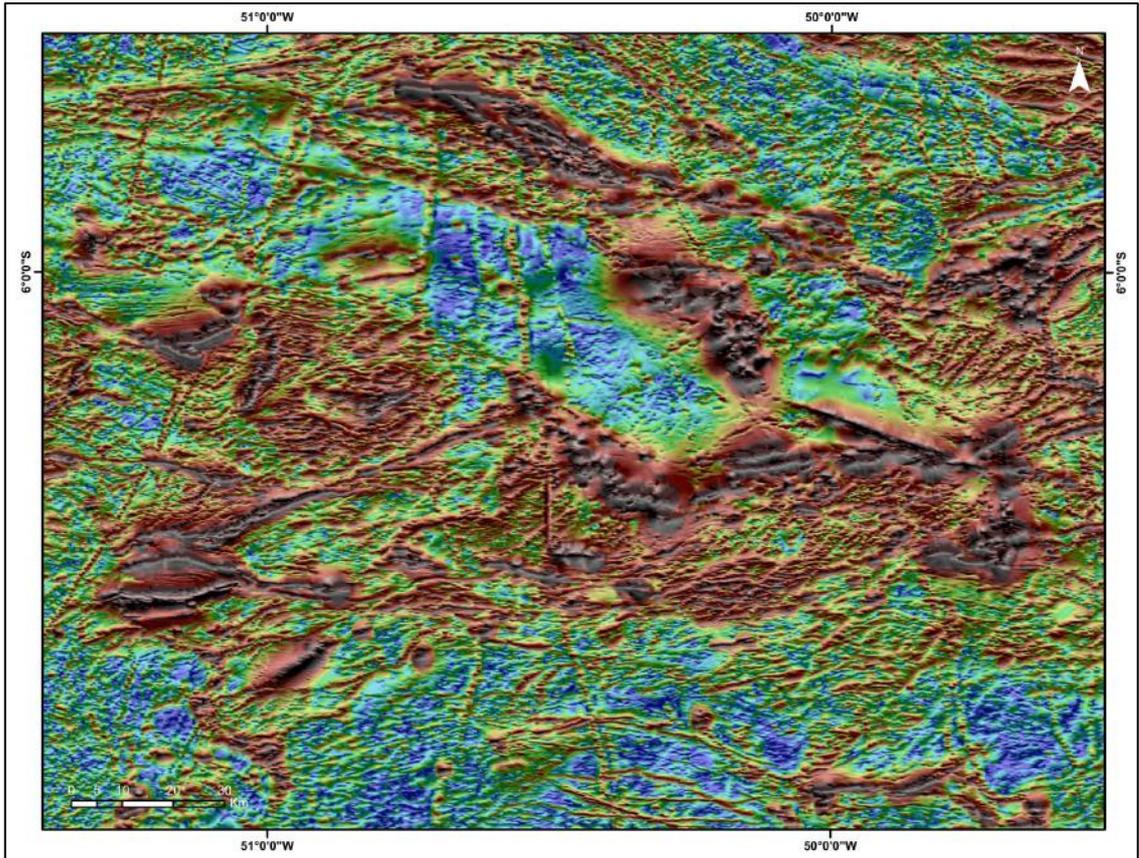
A principal vantagem da Inclinação do Sinal Analítico (ISA) é a equalização de fontes, ou seja, fontes rasas e profundas apresentam, aproximadamente, as mesmas amplitudes (Miller & Singh, 1994; Verduzco *et al.*, 2004). Como as amplitudes da derivada vertical e do Gradiente Total diminuem de maneira semelhante, a razão entre os dois tende a permanecer constante. Assim, a ISA destaca um maior número de estruturas.

$$ISA = \tan^{-1} \left[\frac{\left(\frac{\partial(AM)}{\partial z} \right)}{(GHT)} \right] \quad \text{Onde } GHT = \sqrt{\frac{\partial(AM)}{\partial x}^2 + \frac{\partial(AM)}{\partial y}^2}$$



Gradiente Total da Anomalia Magnetométrica sobreposto à Inclinação do Sinal Analítico da Anomalia Magnetométrica

A sobreposição do Gradiente Total (GT) sobre a Inclinação do Sinal Analítico (ISA) visa destacar os pontos fortes de ambos os filtros. Neste mapa, o GT realça a geologia de superfície, enquanto a ISA fornece informações sobre as fontes profundas e a estruturação magnética. Essa combinação permite ao usuário uma interpretação qualitativa das fontes rasas e profundas.



MÉTODO RADIOMÉTRICO

A gamaespectrometria, ou radiometria, é um método que detecta a emissão natural de raios gama (γ) provenientes de rochas em superfície. Entre as diversas aplicações deste método, destaca-se o mapeamento geológico devido às distintas assinaturas radioativas emitidas pelos diferentes tipos de rochas e seus minerais (Dentith & Mudge, 2014). A emissão de radiação gama ocorre durante o processo de desintegração nuclear ou decaimento radioativo de um átomo instável, denominado radioisótopo, com o objetivo de atingir um estado energético mais estável.

Entre os mais de 50 isótopos radioativos naturais, os principais elementos detectados em levantamentos gamaespectrométricos como fonte de radiação gama são o potássio, o urânio e o tório. Isso ocorre porque a maioria dos radioisótopos é rara ou fracamente radioativa, não emitindo radiação suficiente para ser detectada. O Th e o U não emitem raios gama durante o seu decaimento e são detectados por meio da emissão oriunda do decaimento de seus isótopos-filho. Portanto, são reportados como equivalentes de tório e urânio (eTh e eU) (Dickson & Scott, 1997).

É importante destacar que o método gamaespectrométrico é utilizado para investigar variações superficiais na composição das rochas. Qualquer obstáculo não radioativo sobre a superfície das rochas pode atenuar o sinal detectado. Por exemplo, uma camada de 20 cm de areia quartzosa pode reduzir pela metade a radiação emitida pela rocha. Portanto, é essencial que o intérprete leve em consideração os efeitos causados por coberturas sedimentares estranhas, vegetação densa e corpos d'água presentes na área de estudo.

Em rochas ígneas, as concentrações de potássio, tório e urânio apresentam uma alta correlação com o teor de sílica, devido ao aumento de feldspatos e micas nas rochas félsicas. Em contraste, as concentrações desses elementos em rochas metamórficas são menos previsíveis. Observa-se que rochas da crosta superior, como granitos e granodioritos, geralmente apresentam concentrações mais elevadas em comparação com rochas da crosta inferior, como granulitos, sugerindo que processos metamórficos podem transportar esses elementos para níveis mais rasos na crosta. No entanto, o grau de metamorfismo não é o fator determinante, as concentrações de potássio, tório e urânio em rochas metamórficas são mais influenciadas pela composição do protólito original.

Composição Ternária Gamaespectrométrica RGB

Este mapa é o resultado de uma composição em falsa cor dos canais de potássio (K), tório (eTh) e urânio (eU), onde cada radioelemento é atribuído a uma cor específica. Na Composição Ternária Gamaespectrométrica RGB, as cores são as seguintes: vermelho (*R-red*) para rochas com altas concentrações de K, verde (*G-green*) para rochas com altas concentrações de eTh, e azul (*B-blue*) para rochas com altas concentrações de eU. Quando há uma alta concentração desses três radioelementos, a cor resultante é branca, enquanto uma baixa concentração resulta na cor preta.

A técnica RGB possui a capacidade de diferenciar distintamente unidades geológicas através da análise combinada dos três radioelementos. No entanto, sua interpretação requer cautela devido à ambiguidade associada ao processo de correlação geológica e interpretação dos dados geofísicos. Por exemplo, a cor vermelha, que normalmente indica altas concentrações de K e baixas de eTh e eU, pode estar correlacionada com tipos específicos de rochas como granitos ou sedimentos imaturos. A cor branca pode ser observada em rochas como sienitos ou ígneas ácidas, enquanto a cor preta pode ser associada a rochas ultramáficas ou arenitos quartzosos puros. A cor verde, por sua vez, pode ser atribuída a metassedimentos ou lateritas. Portanto, a interpretação de dados gamaespectrométricos é aprimorada pela inclusão de informações complementares para garantir sua consistência em mapeamentos geológicos e na exploração de recursos minerais.

A Figura 6 ilustra as diversas correlações geológicas possíveis obtidas a partir da composição RGB, destacando não apenas seu potencial, mas também as múltiplas interpretações que podem surgir.

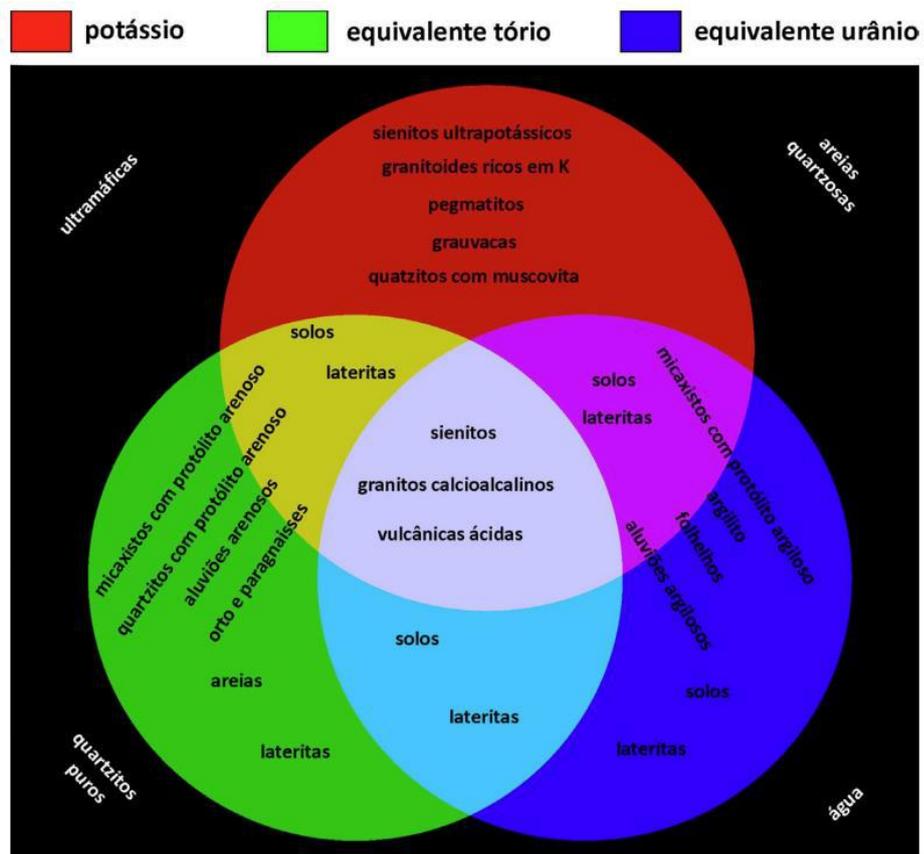
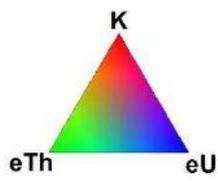
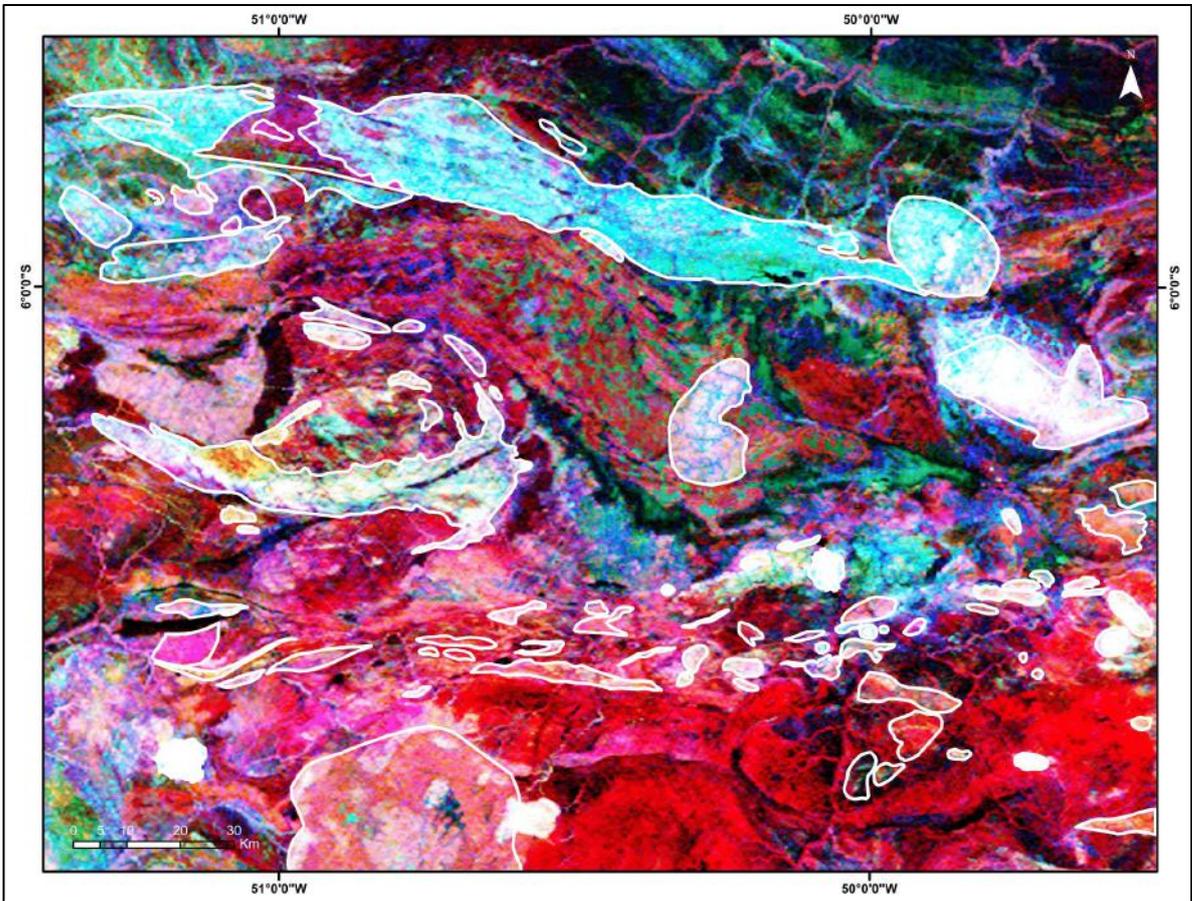
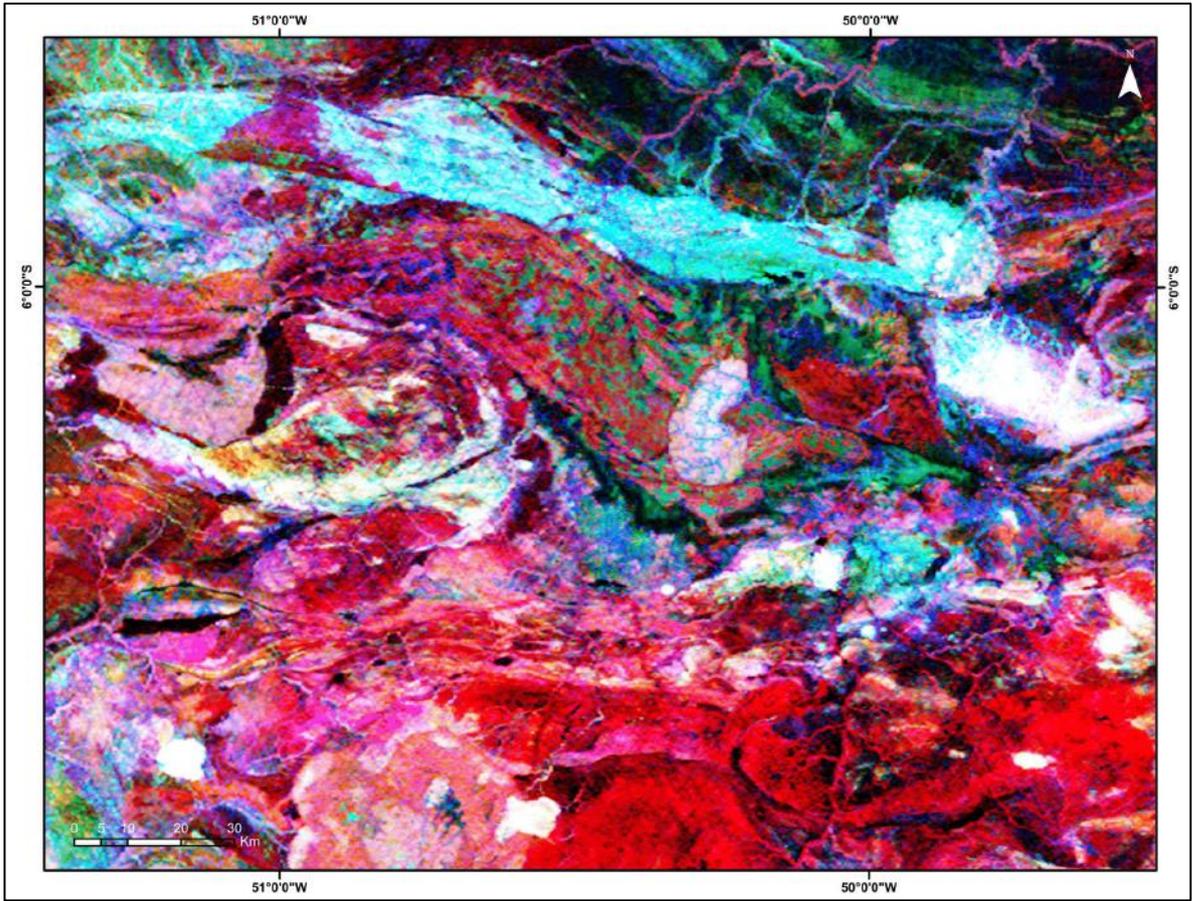


Figura 6 - Correlação entre as cores aparentes na imagem RGB e as unidades litológicas (Rodrigues & Oliveira, 2019).



REFERÊNCIAS

BLAKELY, R. J. Potential theory in gravity and magnetic applications. California: Cambridge University Press, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511549816>. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/books/potential-theory-in-gravity-and-magnetic-applications/348880F23008E16E663D6AD14A41D8DE>. Acesso em: 27 set. 2022.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Projeto aerogeofísico Anapu-Tuerê: relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. Rio de Janeiro: LASA Engenharia e Prospecções S.A, 2004. Programa Geologia do Brasil - PGB. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/4931>. Acesso em: 10 nov. 2022.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Projeto aerogeofísico Conceição do Araguaia: relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. Rio de Janeiro: Lasa Prospecções: Prospectores Aerolevantamentos e Sistemas, 2012. Programa Geologia do Brasil - PGB. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/11454>. Acesso em: 10 nov. 2022.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Projeto aerogeofísico oeste do Carajás: relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. Rio de Janeiro: Lasa Prospecções, 2015a. Programa Geologia do Brasil – PGB. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/21692>. Acesso em: 10 nov. 2022.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Projeto aerogeofísico Rio Bacajá: relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. Rio de Janeiro: Lasa Prospecções, 2016. Programa Geologia do Brasil – PGB. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/21695>. Acesso em: 10 nov. 2022.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Projeto aerogeofísico Rio Maria: relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. Rio de Janeiro: Prospectores Aerolevantamentos e Sistemas, 2015b. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/2170>. Acesso em: 10 nov. 2022.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Projeto aerogeofísico Tucuruí: relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. Rio de Janeiro: Lasa Prospecções, 2010. Programa Geologia do Brasil -PGB. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/10938>. Acesso em: 10 nov. 2022.

DENTITH, M.; **MUDGE**, S. Geophysics for the mineral exploration geoscientist. United Kingdom: Cambridge University Press. 454 p, 2014.

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

ISLES, D. J; **RANKIN**, L. R. Geological Interpretation of aeromagnetic data. Aeromagnetic prospecting - Data processing. Australia: Australian Society of Exploration Geophysicists. 365 p, 2013.

MACLEOD, I. N.; **JONES**, K.; **DAI**, T. F. 3D Analytic signal in the interpretation of total magnetic field data at low magnetic latitudes. *Exploration Geophysics*, v. 24, p. 679-688, 1993.

MILLER, H. G.; **SINGH**, V. Potential field tilt – a new concept for location of potential field sources. *Journal of Applied Geophysics*, v. 32, n. 2-3, p. 213-217, 1994.

RODRIGUES, M. A. C.; **OLIVEIRA**, R. G. (org.). Atlas aerogeofísico do estado de Alagoas. Recife: CPRM, 2019. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/21422>. Acesso em: 20 nov. 2022.

VERDUZCO, B.; **FAIRHEAD**, J. D., **GREEN**, C.M. New insights into magnetic derivatives for structural mapping. *The Leading Edge*, v. 23, n. 2, p. 116-119, 2004.

APÊNDICE II

QUANTIFICAÇÃO DOS ATRIBUTOS ESPACIAIS E GEOMÉTRICOS DOS PLÚTONS

Para determinar as relações espaciais e geométricas entre plútons e zonas de cisalhamento, foram quantificadas as distâncias dos plútons às ZCs e as geometrias dos plútons. O processo foi realizado conforme descrito a seguir:

Distância do Plúton à Zona de Cisalhamento

Todas as distâncias foram medidas como a distância do centróide de um plúton à zona de cisalhamento mais próxima. Para determinar os centróides, foi utilizada a ferramenta *Feature to Point* (*Data Management Tools > Features > Feature to Point*) no ArcGIS, garantindo que os pontos calculados estivessem centralizados nos polígonos dos plútons. Posteriormente, a ferramenta *Near* (*Analysis Tools > Proximity > Near*) foi empregada para calcular as distâncias entre os centróides dos plútons e as zonas de cisalhamento mais próximas, assegurando a precisão dos valores obtidos. A ferramenta é usada para calcular a distância entre cada feição de um *shapefile* e a feição mais próxima de outro *shapefile*.

Geometria do Plúton

Para quantificar a geometria de cada plúton, a razão geométrica de cada um foi calculada e usada como um *proxy* para circularidade. Foi utilizada a ferramenta *Minimum Bounding Geometry* (*Data Management Tools > Features > Minimum Bounding Geometry*) para produzir uma geometria de envoltória mínima orientada em torno de cada plúton, incluindo uma elipse que pode ser utilizada para calcular os eixos.

O maior eixo foi tomado como o eixo longo da elipse, enquanto o menor eixo foi chamado de eixo curto. A denominada “razão geométrica” dos corpos foi calculada (eixo curto/eixo longo), produzindo valores entre 0 e 1. Os valores mais próximos de 1 representam plútons aproximadamente circulares, enquanto valores próximos de 0 indicam diferenças significativas entre os dois eixos. Esses plútons foram classificados

como plútons de “baixa proporção”, pois correspondem não apenas a plútons altamente elípticos, mas também a plútons alongados, sigmoidais ou *tear-shaped*.

APÊNDICE III

O Apêndice III apresenta três tabelas detalhadas, com a Tabela 2 resultando da filtragem do banco de dados do Serviço Geológico Brasileiro. Este banco de dados consiste em um mapa de pontos, onde cada ponto plotado oferece uma vasta gama de informações. O *shapefile* foi aberto no ArcGIS sobre o mapa litológico, todos devidamente georreferenciados. A tabela de atributos deste banco de dados contém 1697 linhas, cada uma plotada em uma posição específica do mapa. Dentre estas, 1148 encontram-se dentro do recorte regional selecionado como área de estudo.

Para obter dados relevantes para o estudo, foram aplicadas peneiras principais. Dos 1148 pontos, amostras de 515 deles foram submetidas a análises U-Pb ou Pb-Pb. Dessas, apenas 418 foram analisadas em zircão, e 205 foram interpretadas como idades de cristalização magmática.

Após essas filtrações, restaram 205 amostras com datações de cristalização magmática U-Pb ou Pb-Pb em zircão. O próximo passo foi selecionar o intervalo de idade de interesse, abrangendo desde o início do Neoarqueano até o fim do Paleoproterozóico (2.8 a 1.6 Ga), resultando em 135 pontos.

A filtragem subsequente envolveu a coluna de ROCHA, excluindo litologias não relevantes para o estudo, como veios, tufos, pegmatitos, máficas, vulcânicas e etc., restando 94 pontos úteis para o trabalho. A tabela a seguir possui 89 desses pontos, uma vez que 5 foram retirados por serem dados internos não publicados da Vale, sem impacto significativo na análise ou nos resultados.

A segunda tabela (Tabela 3) compila os resultados principais das análises, listando os plútons neoarqueanos da região e suas características. Esta tabela foi ampliada ao longo do estudo para incluir informações necessárias para uma interpretação mais precisa, como coordenadas geográficas, medidas dos eixos maiores e menores, razão geométrica, distância do centróide para a zona de cisalhamento mais próxima, idades dos polígonos e nome das suítes e subdomínios que se localizam os plútons. Já a terceira tabela (Tabela 4) apresenta a compilação dos mesmos dados, mas referentes aos plútons paleoproterozóicos.

Tabela 2 - Dados filtrados do banco de dados da Província Carajás levantado pela SGB.

ID	AMOSTRA	UNIDADE	ROCHA	SIST. ISO	IDADE	ERRO	REFERÊNCIA
1696	71	Granito Serra dos Carajás	Granito	U-Pb	1820	49	Barros et al., 2004
1279	PFR-22	Granito Gogó da Onça	Biotita anfibólio monzogranito	U-Pb	1866	10	Teixeira et al., 2015a
466	KA-15	Granito Pojuca	Granito	U-Pb	1874	2	Galarza et al., 2017
1282	AC-59	Granito Seringa Granite	Biotita-hornblenda monzogranito	U-Pb	1875	6	Galarza et al., 2017
1187	UWA-B09A	Granito Breves	Granito	U-Pb	1878	8	Galarza et al., 2017
1189	UWA-B09A (Drill-hole FR61)	Granito Breves	Granito	U-Pb	1878	8	Tallarico, 2003
1274	PFR-18B	Granito Gogó da Onça	Biotita anfibólio granodiorito	U-Pb	1878	9	Lindenmayer et al., 2005
1280	AC-42	Granito Seringa Granite	Sienogranito	U-Pb	1879	18	Toledo et al., 2019
1190	UWA-B30A	Granito Breves	Enderbitito	U-Pb	1880	9	Toledo et al., 2019
1281	AC-45	Granito Seringa Granite	Leucosienogranito	U-Pb	1880	7	Huhn et al., 1999
463	KA-10-88B	Granito Serra dos Carajás	Granodiorito	U-Pb	1880	2	Santos, 2002
410	DIOPZ	Depósito Estrela	Diorito	U-Pb	1881	5	Marangoanha et al., 2019a
1192	UWA-B30A (FR73/351.00-353.00)	Granito Breves	Enderbitito	U-Pb	1882	9	Marangoanha et al., 2019a
1294	ECR-SC-01	Granito Serra dos Carajás	Biotita-hornblenda sienogranito	U-Pb	1882	10	Marangoanha et al., 2019a
1299	L-42	Granito Velho Guilherme	Leucogranito albitizado	U-Pb	1882	6	Marangoanha et al., 2019a
477	KA-9	Granito Cigano	Granito	U-Pb	1883	2	Marangoanha et al., 2019a
1286	CIG-1	Granito Cigano	Biotita monzogranito	U-Pb	1883	4	Trendall et al., 1998
1293	ECR-CG-14A	Granito Cigano	Biotita-hornblenda monzogranito	U-Pb	1884	4	Mougeot, 1996
1283	AC-85	Granito Seringa Granite	Biotita-hornblenda monzogranito	U-Pb	1889	8	Barros et al., 2009
76	Sample 1	Granito Seringa Granite	Granito	Pb-Pb	1892	30	Tallarico et al., 2004
72	ELVS-93F / ELVS-93S	Suíte Jamon	Granito	Pb-Pb	1893	15	Tallarico et al., 2004
826	AC-59	Granito Seringa Granite	Granito	Pb-Pb	1895	1	Tallarico et al., 2004
1500	FD52/134	Depósito GT-46	Granodiorito	U-Pb	2532	26	Machado et al., 1991
696	FD405/119	Granito Velho Salobo	Granito	U-Pb	2547	5	Teixeira et al., 2018
966	BUR-1	Metagranito Buritirama	Metagranito	U-Pb	2549	6	Teixeira et al., 2018
1494	FD44/148	Depósito GT-46	Granito isotrópico	U-Pb	2557	26	Moreto et al., 2015b
223	A11	Grupo Igarapé Pojuca	Quartzo diorito	Pb-Pb	2705	2	Teixeira et al., 2017
155	GRD-77	Suíte Planalto	Biotita sienogranito	U-Pb	2706	5	Teixeira et al., 2017
777	F67	Gabro intrusivo na Fm. Águas Claras	Gabro	U-Pb	2708	37	Moreto et al., 2015b
163	ARC 109	Suíte Planalto	Hornblenda biotita sienogranito	U-Pb	2710	10	Machado et al., 1991
1265	LUSL 20B	Complexo Lago Grande	Leucogabro	U-Pb	2722	53	Avelar, 1996
159	AMR 187B	Suíte Planalto	Biotita hornblenda sienogranito	U-Pb	2729	17	Paiva, 2009
64	PLQ193	Suíte Plaquê	Granito	Pb-Pb	2729	8	Teixeira et al., 2018
71	ELVP-93F / ELVP-93S	Suíte Plaquê	Granitoide	Pb-Pb	2729	29	Teixeira et al., 2018
629	BVD 53	Enderbitito Café	Enderbitito	U-Pb	2730	7	Teixeira et al., 2018
153	ARC-109	Suíte Planalto	Hornblenda biotita sienogranito	U-Pb	2730	5	Teixeira et al., 2018
185	ARC 109	Suíte Planalto	Hornblenda biotita sienogranito	U-Pb	2730	5	Sardinha et al., 2006
382	AP-198A	Supergrupo Itacaiúnas	Dacito	U-Pb	2730	17	Machado et al., 1991
96	JP-10	Gnaiss Igarapé Gelado	Hornblenda monzogranito	Pb-Pb	2731	26	Teixeira et al., 2018
162	ARC 109	Suíte Planalto	Hornblenda biotita sienogranito	Pb-Pb	2731	1	Wirth et al., 1986
255	AMD-02	Complexo Xingu	Biotita monzogranito	Pb-Pb	2732	1	Teixeira et al., 2018
150	AMR 187B	Suíte Planalto	Biotita hornblenda sienogranito	Pb-Pb	2733	2	Melo et al., 2017
259	CMD-01	Suíte Planalto	Biotita hornblenda granodiorito	Pb-Pb	2733	1	Souza et al., 2001
491	BVD 12-B	Suíte Vila União	Quartzo diorito	U-Pb	2734	9	Souza et al., 2001
628	BVD 53	Enderbitito Café	Enderbitito	U-Pb	2735	6	Galarza & Macarimba, 2002a
257	AMD-03	Complexo Xingu	Biotita monzogranito	Pb-Pb	2736	2	Moreto et al., 2015b
69	GPV/GPFV	Plaquê Suíte	Granito	Pb-Pb	2736	24	Salgado et al., 2019
206	GRD-77	Suíte Planalto	Biotita sienogranito	Pb-Pb	2736	3	Santos et al., 2013c
253	AMD-01B	Suíte Planalto	Biotita hornblenda sienogranito	Pb-Pb	2737	4	Santos et al., 2013c
383	AP-251	Supergrupo Itacaiúnas	Dacito	U-Pb	2737	5	Santos et al., 2013c
337	PT-2	Dioritos intrusivos no Granito Planalto	Diorite	Pb-Pb	2738	6	Avelar, 2002
158	AMR 187B	Suíte Planalto	Biotita hornblenda sienogranito	U-Pb	2738	3	Avelar et al., 1999
766	SOS35/30	Granito Curral	Granito	U-Pb	2739	4	Lafon et al., 2000
764	SOS35	Indeterminado	Gabronorito	U-Pb	2739	3	Avelar, 1996
261	CMD-02	Suíte Planalto	Biotita hornblenda granodiorito	Pb-Pb	2739	1	Feio, 2011
490	BVD 12-B	Suíte Vila União	Quartzo diorito	U-Pb	2739	8	Feio, 2011
655	ED 1	Enderbitito Café	Enderbitito	U-Pb	2740	8	Feio, 2011
1505	109799	Formação Carajás	Dolerito	U-Pb	2740	8	Feio et al., 2012
768	SOS35/406.88	Granito granófiro Sossego	Granito	U-Pb	2740	26	Feio et al., 2012
267	TDM-03	Suíte Planalto	Biotita monzogranito	Pb-Pb	2740	1	Feio et al., 2012
270	TDM-13	Suíte Planalto	Biotita hornblenda granodiorito	Pb-Pb	2740	2	Feio et al., 2012
1507	AP-317	Suíte Planalto	Metagranodiorito	U-Pb	2740	8	Feio et al., 2013
251	AMD-01A	Suíte Planalto	Biotita hornblenda tonalito	Pb-Pb	2741	1	Feio et al., 2013
380	0138-FD001-476	Supergrupo Itacaiúnas	Dacito	U-Pb	2741	4	Galarza et al., 2017
264	TDM-01	Complexo Xingu	Biotita monzogranito	Pb-Pb	2742	0	Galarza et al., 2017
65	PLQ395	Plaquê Suíte	Granito	Pb-Pb	2742	1	Galarza et al., 2017
1184	UWA-B30C	Depósito Cento e Dezoito	Tonalito	U-Pb	2743	3	Galarza et al., 2017
654	ED 1	Enderbitito Café	Enderbitito	U-Pb	2743	13	Galarza et al., 2017
1025	AC-30	Granito Serra do Rabo	Sienogranito	U-Pb	2743	2	Galarza et al., 2017
1016	CP-01A	Norito Pium	Gabro	Pb-Pb	2744	1	Huhn et al., 1999
1023	RDM-10	Norito Pium	Gabronorito	Pb-Pb	2744	1	Costa et al., 2016
488	BDE 19-B	Suíte Vila União	Leucogranito	U-Pb	2744	6	Avelar, 2002
489	BDE 19-B	Suíte Vila União	Leucogranito	U-Pb	2744	11	Avelar et al., 1996
1019	RDM-06	Norito Pium	Norito	Pb-Pb	2745	1	Silva et al., 2020
494	AL 62-D	Suíte Vila União	Biotita-hornblenda monzogranito	U-Pb	2745	7	Silva et al., 2020
522	BVD 42-C	Suíte Vila União	Biotita-hornblenda tonalito	U-Pb	2746	5	Silva et al., 2020
523	BVD 42-C	Suíte Vila União	Biotita-hornblenda tonalito	U-Pb	2746	10	Marangoanha et al., 2019b
336	PT-1	Suíte Planalto	Granito	Pb-Pb	2747	2	Marangoanha et al., 2019b

492	RDM 9-C	Suíte Vila União	Biotita-hornblenda monzogranito	Pb-Pb	2747	1	Marangoanha et al., 2019b
1129	R2D2	Granitoides Neoarqueanos	Granito	Pb-Pb	2748	2	Marangoanha et al., 2019b
1130	C3PO	Granitoides Neoarqueanos	Granito	Pb-Pb	2749	3	Marangoanha et al., 2019b
1058	MD-01	Suíte Vila Jussara	Biotita granito	Pb-Pb	2749	3	Marangoanha et al., 2020
1059	MFY40	Suíte Vila Jussara	Biotita hornblenda tonalito	Pb-Pb	2752	6	Marangoanha et al., 2020
653	ED 1	Enderbito Café	Enderbito	Pb-Pb	2754	1	Marangoanha et al., 2020
1057	AMP27	Suíte Vila Jussara	Biotita hornblenda monzogranito	Pb-Pb	2754	2	Marangoanha et al., 2020
493	AL 62-D	Suíte Vila União	Biotita-hornblenda monzogranito	U-Pb	2755	15	Justo et al., 2019
384	ARQU-DH14-54	Supergrupo Itacaiúnas	Metadacito	U-Pb	2760	6	Justo et al., 2019
102	CRN-8	Complexo Granítico Estrela	Hornblenda sienogranito	Pb-Pb	2763	7	Justo et al., 2019
395	Não Descrito	Suíte Cateté	Gabro	U-Pb	2766	6	Justo et al., 2019

Tabela 3 - Dados levantados dos plútons neoarqueanos interpretados no trabalho.

ID	NOME	IDADE (Ma)	ERRO	EIXO MENOR	EIXO MAIOR	RAZÃO	LONG	LAT	SUBDOMÍNIO	DIST. (m)*
1	Planalto	2747	2	2320	4991	0,464837	637098.441745352	9292652.99433192	Canaã dos Carajás	6250
2	Planalto	2744	32	1599	6224	0,256909	650059.303766352	9280756.92661431	SZC Itacaiúnas	1085
3	Planalto	2740	1	721	8667	0,083189	650554.912704743	9279128.59887657	SZC Itacaiúnas	560
4	Planalto	2737	4	1966	4842	0,406031	642988.683019214	9282022.04950339	SZC Itacaiúnas	3002
5	Planalto	2739	1	1871	6857	0,27286	638823.264249269	9280438.1425544	SZC Itacaiúnas	990
6	Planalto	2738	3	1655	13275	0,12467	636468.344216995	9278627.68952187	SZC Itacaiúnas	911
7	Planalto	2734	4	1384	5747	0,240821	631535.179441788	9276059.37912249	SZC Itacaiúnas	4709
8	Planalto			2085	4515	0,461794	619039.247998571	9272586.75808337	SZC Itacaiúnas	3096
9	Planalto	2730	5	3989	10705	0,37263	610609.140176266	9275793.50681611	SZC Itacaiúnas	1917
10	Planalto			1237	5034	0,245729	606430.777841468	9272654.10868168	SZC Itacaiúnas	650
11	Planalto	2746	5	1306	7515	0,173786	598695.959691507	9270971.56667211	SZC Itacaiúnas	679
12	Planalto			2097	10494	0,199828	609154.377105761	9268619.61493332	SZC Itacaiúnas	3975
13	Planalto	2748	2	3382	10770	0,31402	601531.916381822	9265066.15947599	SZC Itacaiúnas	3181
14	Planalto	2733	1	588	9313	0,063138	60181.671802499	9274069.17467142	SZC Itacaiúnas	423
15	Planalto			755	11185	0,067501	568594.382585166	9267463.48691528	SZC Itacaiúnas	3739
16	Plaquê			3452	36059	0,095732	553475.581463947	9263710.51388306	SZC Itacaiúnas	1283
17	Plaquê			1148	8921	0,128685	549777.922127867	9268656.77617111	SZC Itacaiúnas	1313
18	Plaquê			2172	10798	0,201148	544082.562845411	9275339.21429747	SZC Itacaiúnas	2190
19	Plaquê			1306	14893	0,087692	533782.466825022	9269872.9387925	SZC Itacaiúnas	1285
20	Plaquê			1638	5787	0,283048	533703.213370236	9267427.46248439	SZC Itacaiúnas	3723
21	Plaquê			1147	3641	0,315023	528059.903169766	9268013.56134486	SZC Itacaiúnas	2716
22	Plaquê	2736	24	910	5412	0,168145	525787.464264564	9260328.466879	SZC Itacaiúnas	648
23	Plaquê			3063	20258	0,1512	506810.472721027	9266573.48253266	SZC Itacaiúnas	1422
24	Plaquê			1316	9473	0,138921	493034.482862093	9262666.69884091	SZC Itacaiúnas	781
25	Plaquê			1299	28359	0,045806	488214.677988103	9265000.13461689	SZC Itacaiúnas	702
26	Plaquê			6031	14203	0,424629	482896.620354868	9268771.65044691	SZC Itacaiúnas	2630
27	Plaquê			729	4046	0,180178	490886.207636944	9275516.063072	SZC Itacaiúnas	324
28	Plaquê			2612	16956	0,154046	484444.420562852	9276141.47708294	SZC Itacaiúnas	1610
29	Plaquê			1099	3807	0,288679	494133.238303355	9290993.81208646	Canaã dos Carajás	4857
30	Plaquê			2065	6422	0,321551	492003.822276105	9293606.90064595	Canaã dos Carajás	3610
31	Plaquê	2729	29	8021	75710	0,105944	512895.491582397	9300956.03122861	Canaã dos Carajás	3827
32	Plaquê			1909	14626	0,130521	500837.105474602	9310434.06528652	Canaã dos Carajás	15235
33	Plaquê			2763	7060	0,39136	528273.286871424	9312819.42668912	Canaã dos Carajás	11465
34	Plaquê			2266	8423	0,269025	524346.200965534	9318979.3256861	Canaã dos Carajás	12206
35	Plaquê			1004	2932	0,342428	540584.07467953	9316670.87062295	Canaã dos Carajás	5092
36	Plaquê	2742	1	2604	10402	0,250336	535418.135136453	9323807.05634183	Canaã dos Carajás	2857
37	Plaquê			2063	5557	0,371243	524396.5002613	9329217.66086519	Canaã dos Carajás	2031
38	Plaquê			2032	16918	0,120109	512278.349232936	9330761.98127392	Canaã dos Carajás	2888
39	Plaquê			3434	12629	0,271914	510853.468560934	9327434.0789923	Canaã dos Carajás	6437
40	Vila União	2734	9	2977	11668	0,255142	560373.334628529	9273254.90362327	SZC Itacaiúnas	2948
41	Vila União	2739	8	2430	4097	0,593117	559337.602835125	9276157.98229121	SZC Itacaiúnas	214
42	Estrela	2763	7	11259	35483	0,317307	642076.220109019	9316843.56232355	Bacia Carajás	15838
43	Serra do Rabo	2743	2	4270	8780	0,486333	660151.540525921	9297868.97022354	Canaã dos Carajás	8489
44	Serra do Rabo	2743	2	4714	14027	0,336066	656626.543396122	9291650.70152873	Canaã dos Carajás	5790
45	Vila Jussara	2749	3	3663	18895	0,193861	616889.336788911	9260041.78553345	Sapucaia	7551
46	Vila Jussara	2754	2	7497	10250	0,731415	618952.273557193	9252715.29333594	Sapucaia	14702
47	Vila Jussara			3209	6232	0,514923	613556.297601293	9245149.91447617	Sapucaia	9809
48	Vila Jussara			3826	9206	0,415599	608629.157225892	9244464.53838648	Sapucaia	9389
49	Vila Jussara			1462	4171	0,350515	627124.994480827	9248594.39225805	Sapucaia	11607
50	Vila Jussara			2724	6238	0,436678	640583.573386927	9247245.73466093	Sapucaia	11518
51	Vila Jussara			2190	3464	0,632217	661356.262868087	9254516.48540306	Sapucaia	14936
52	Vila Jussara			1727	1965	0,87888	641885.989123051	9263788.81960598	Sapucaia	4266
53	Vila Jussara			1227	1643	0,746805	639172.836732898	9266925.08358957	Sapucaia	1465
54	Vila Jussara			2972	14995	0,198199	658349.67100337	9235582.12566199	Sapucaia	1661
55	Igarapé Gelado			14684	121651	0,120706	555755.033260501	9353829.7891009	SZC Cinzento	3311
56	Igarapé Gelado	2731	26	1582	10181	0,155387	554753.433285637	9363276.26520313	SZC Cinzento	2828
57	Igarapé Gelado			2163	7528	0,287327	498517.627151575	9366147.85733834	SZC Cinzento	6333
58	Igarapé Gelado			8857	62899	0,140813	488167.623255676	9365273.54315947	SZC Cinzento	4118
59	Outro			4815	7488	0,643029	496027.604607332	9352129.29145423	Bacia Carajás	7887
60	Outro			1319	4446	0,296671	486467.021399834	9354633.85520078	Bacia Carajás	6636
61	Outro			3728	8409	0,443335	483588.947117777	9352755.48116051	Bacia Carajás	8852
62	Outro			1314	4217	0,311596	476932.049780371	9353859.87429021	Bacia Carajás	8962
63	Outro			6802	13415	0,507044	465394.368755154	9349784.32724537	Bacia Carajás	9203
64	Outro			2496	3773	0,661543	491169.986427153	9348296.23928803	Bacia Carajás	7793
65	Outro			6353	37090	0,171286	483795.490350961	9342667.13651812	Bacia Carajás	3359
66	Outro	2740	8	2644	5087	0,519756	587966.077877959	9271533.46380769	SZC Itacaiúnas	3007
67	Outro			3080	7438	0,41409	587027.361932396	9265059.29124445	SZC Itacaiúnas	2575
68	Outro			1264	4662	0,271128	587241.496527342	9261703.16427093	SZC Itacaiúnas	1654
69	Outro			3268	5914	0,552587	577688.581585862	9266926.87464523	SZC Itacaiúnas	3617
70	Outro			2185	3184	0,686244	575905.977187728	9262845.1349395	SZC Itacaiúnas	3001
71	Outro			1816	5473	0,331811	588951.918056288	9284972.38694848	Canaã dos Carajás	2149
72	Outro			1023	8318	0,122986	596841.463255062	9288189.57351634	Canaã dos Carajás	4308

*valor em metros

Tabela 4 - Dados levantados dos plútons paleoproterozóicos interpretados no trabalho.

ID	NOME	IDADE (Ma)	ERRO	EIXO MENOR	EIXO MAIOR	RAZÃO	LONG	LAT	SUBDOMÍNIO	DIST. (m)*
1	Cigano	1883	4	16447	23443	0,701574	624123.459659721	9344144.25894928	SZC Cinzento	2057
2	Gogó da Onça	1869	3	3851	10701	0,359873	659321.589494097	9275169.31055622	SZC Itacaiúnas	327
3	Gogó da Onça	1872	13	5071	6533	0,776213	655870.248331229	9269882.79071945	SZC Itacaiúnas	3733
4	Pojuca	1874	2	2060	9354	0,220227	560574.143587572	9344793.57777173	SZC Cinzento	482
5	Rio Branco			2533	3215	0,787869	610197.098777172	9271775.39667774	SZC Itacaiúnas	770
6	Rio Branco			1260	1504	0,837766	613148.864374917	9272158.62245456	SZC Itacaiúnas	148
7	Rio Branco			1895	2318	0,817515	601593.091682992	9268752.9519926	SZC Itacaiúnas	2114
8	Rio Branco			6566	8230	0,797813	602464.997308502	9283275.26469987	SZC Itacaiúnas	1766
9	Rio Branco			1895	2308	0,821057	572624.094376641	9279615.92072623	SZC Itacaiúnas	1350
10	Seringa	1889	8	27165	42639	0,637093	523820.477972345	9238413.18132302	Rio Maria	24239
11	Serra dos Carajás	1882	10	9577	27343	0,350254	580649.668069493	9310289.7730614	Bacia Carajás	9849
12	Velho Guilherme	1873	13	8287	9387	0,882817	481824.564792455	9247678.07646817	Rio Maria	15321

*valor em metros

REFERÊNCIAS (Tabela 2)

AVELAR, V. G. Geocronologia Pb-Pb por evaporação em monocristal de zircão do magmatismo da região de Tucumã, SE do Estado do Pará, Amazônia Oriental. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 149p., 1996.

AVELAR, V. G. Geocronologia Pb-Pb em zircão e Sm-Nd rocha total da porção centro-norte do Estado do Amapá-Brasil: implicações para a evolução geodinâmica do setor oriental do Escudo das Guianas. 2002.

AVELAR, V. G. *et al.* O Magmatismo arqueano da região de Tucumã-Província Mineral de Carajás: novos resultados geocronológicos. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 29, n. 4, p. 453-460, 1999.

BARROS, C. E. M. *et al.* Dados isotópicos Pb-Pb em zircão (evaporação) e Sm-Nd do Complexo Granítico Estrela, província Mineral de Carajás, Brasil: implicações petrológicas e tectônicas. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 34, n. 4, p. 531-538, 2004.

BARROS, C. E. M. *et al.* Structure, petrology, geochemistry and zircon U/Pb and Pb/Pb geochronology of the synkinematic Archean (2.7 Ga) a-type granites from the Carajás Metallogenic province, northern Brazil. *Canadian Mineralogist*, v. 47, p. 1423-1440, 2009.

COSTA, U. A. P. *et al.* Mapa geológico-geofísico preliminar do ARIM Carajás. Mapeamento geofísico, geologia regional, 1:250000, CPRM, 2016.

FEIO, G. R. L. *et al.* Geochemistry, geochronology, and origin of the Neoproterozoic Planalto Granite suite, Carajás, Amazonian craton: A-type or hydrated charnockitic granites? *Lithos*, v. 151, p. 57-73, 2012.

FEIO, G. R. L. *et al.* Archean granitoid magmatism in the Canaã dos Carajás area: implications for crustal evolution of the Carajás province, Amazonian craton, Brazil. *Precambrian Research*, v. 227, p. 157-185, 2013.

FEIO, Gilmara Regina Lima *et al.* Magmatismo granitóide arqueano da área de Canaã dos Carajás: implicações para a evolução crustal da Província Carajás. 2011.

GALARZA, M. A.; **MACAMBIRA**, M. J. B. Geocronologia e evolução crustal da área do depósito de Cu-Au Gameleira, Província Mineral de Carajás (Pará), Brasil. *Geologia USP. Série Científica*, v. 2, p. 143-159, 2002a.

GALARZA, T. M. A. *et al.* In: Lima, A. M. M. & Gorayeb, P. S. S. (Eds) *Cont. Geol. Amazônia* 10, pp. 225-246. 2017. http://www.sbg-no.org.br/index.php?option=com_content&view=article&id=10&Itemid=14

HUHN, S. B.; **MACAMBIRA**, M. J. B.; **DALL'AGNOL**, R. Geologia e geocronologia Pb-Pb do Granito Alcalino Planalto, Região da Serra do Rabo, Carajás-PA. 6º Simpósio de Geologia da Amazônia, Manaus (Proceedings), 1999.

JUSTO, A. P. *et al.* U-Pb age of the volcanism of the Itacaiúnas supergroup Carajás province, Amazonian craton, Pará, Brazil. *Simpósio de Geologia da Amazônia*, 16, p. 640-643, 2019.

LAFON, J. M.; **MACAMBIRA**, M. J. B.; **PIDGEON**, R. T. Zircon U-Pb SHRIMP dating of Neoproterozoic magmatism in the southwestern part of the Carajás Province (eastern Amazonian Craton, Brazil). In: *International Geological Congress*. 2000. p. 2000.

LINDENMAYER, Z. G. *et al.* Caracterização geológica do alvo Estrela (Cu-Au), Serra dos Carajás, Pará. *Caracterização de Depósitos Minerais em Distritos Mineiros da Amazônia*. Capítulo IV, DNPM, CT-Mineral/FINEP, ADIMB, 74p, CD-Rom, 2005.

MACHADO, N. *et al.* U-Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás area, Amazon shield, Brazil. *Precambrian Research*, v. 49, n. 3-4, p. 329-354, 1991.

MARANGOANHA, B.; **DE OLIVEIRA**, D. C.; **DALL'AGNOL**, R. The Archean granulite-enderbite complex of the northern Carajás province, Amazonian craton (Brazil): Origin and implications for crustal growth and cratonization. *Lithos*, v. 350, p. 105275, 2019a.

MARANGOANHA, B. *et al.* Neoproterozoic A-type granitoids from Carajás province (Brazil): New insights from geochemistry, geochronology and microstructural analysis. *Precambrian Research*, v. 324, p. 86-108, 2019b.

MARANGOANHA, B. *et al.* Crustal anatexis and mantle-derived magmas forming Neoproterozoic A-type granitoids in Carajás Province, northern Brazil: Petrological evidence and tectonic control. *Precambrian Research*, v. 338, p. 105585, 2020.

MELO, G. H. C. *et al.* Temporal evolution of the giant Salobo IOCG deposit, Carajás Province (Brazil): constraints from paragenesis of hydrothermal alteration and U-Pb geochronology. *Mineralium Deposita*, v. 52, p. 709-732, 2017.

MOUGEOT, R. Etude de la limite Archeen-Proterozoique et des mineralizations Au, ±U associees. Exemples de la region de Jacobina (Etat de Bahia, Bresil) et de Carajás! (Etat de Para, Bresil). Unpublished Ph.D. thesis, Montpellier, France, University of Montpellier II, 1996.

MORETO, C. P. N. *et al.* Neoproterozoic and Paleoproterozoic iron oxide-copper-gold events at the Sossego deposit, Carajás Province, Brazil: Re-Os and U-Pb geochronological evidence. *Economic Geology*, v. 110, n. 3, p. 809-835, 2015b.

PAIVA JR, A. L. *et al.* Geologia, petrografia, geocronologia e geoquímica do Granito anorogênico Seringa, Província Mineral de Carajás, SSE do Pará. 2009.

SALGADO, S. S. *et al.* Provenance of the Buritirama Formation reveals the Paleoproterozoic assembly of the Bacajá and Carajás blocks (Amazon Craton) and the chronocorrelation of Mn-deposits in the Transamazonian/Birimian system of northern Brazil/West Africa. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 96, p. 102364, 2019.

SANTOS, M.G.S. Estudo dos isótopos de Pb e Nd do Depósito de Cu-Au (U-ETR) Alemão, Província Mineral de Carajás (PA). Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação

em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 126p., 2002.

SANTOS, R. D.; **GALARZA**, M. A.; **DE OLIVEIRA**, D. C. Geologia, geoquímica e geocronologia do Diopsídio-Norito Pium, Província Carajás. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi-Ciências Naturais, v. 8, n. 3, p. 355-382, 2013.

SILVA, F. F. *et al.* Lithological and structural controls on the emplacement of a Neoproterozoic plutonic complex in the Carajás province, southeastern Amazonian craton (Brazil). Journal of South American Earth Sciences, v. 102, p. 102696, 2020.

SOUZA, Z. S. *et al.* Nd, Pb and Sr isotopes of the Identidade Belt, an Archaean greenstone belt of the Rio Maria region (Carajás province, Brazil): Implications for the Archaean geodynamic evolution of the Amazonian Craton. Precambrian Res. 109, 293-315, 2001.

TALLARICO, F. H. B. O cinturão cupro-aurífero de Carajás, Brasil. 2003. Tese de Doutorado. [sn].

TALLARICO, F. H. B. *et al.* Geological and SHRIMP II U-Pb constraints on the age and origin of the Breves Cu-Au-(W-Bi-Sn) deposit, Carajás, Brazil. Mineralium Deposita, v. 39, p. 68-86, 2004.

TEIXEIRA, A. S. *et al.* Geology, petrology and geochronology of the Lago Grande layered complex: evidence for a PGE-mineralized magmatic suite in the Carajás Mineral Province, Brazil. Journal of South American Earth Sciences, v. 64, p. 116-138, 2015a.

TEIXEIRA, M. F. B. *et al.* Geochemistry, geochronology and Nd isotopes of the Gogó da Onça Granite: A new Paleoproterozoic A-type granite of Carajás Province, Brazil. Journal of South American earth sciences, v. 80, p. 47-65, 2017.

TEIXEIRA, M. F. B. *et al.* Crystallization ages of Paleoproterozoic A-type granites of Carajás province, Amazon craton: Constraints from U-Pb geochronology of zircon and titanite. Journal of South American Earth Sciences, v. 88, p. 312-331, 2018.

TOLEDO, P. I. F. *et al.* Multistage evolution of the Neoproterozoic (ca. 2.7 Ga) Igarapé cinzento (GT-46) iron oxide copper-gold deposit, Cinzento shear zone, Carajás Province, Brazil. Economic Geology, v. 114, n. 1, p. 1-34, 2019.

TRENDALL, A. F. *et al.* SHRIMP zircon U-Pb constraints on the age of the Carajás formation, Grão Pará Group, Amazon Craton. Journal of South American Earth Sciences, v. 11, n. 3, p. 265-277, 1998.

WIRTH, K. R.; **GIBBS**, A. K.; **OLSZEWSKI JR**, W. J. U-Pb ages of zircons from the Grão-Pará Group and Serra dos Carajás Granite, Pará, Brazil. Revista Brasileira de Geociências, v. 16, n. 2, p. 195-200, 1986.