

Análise lito-geofísica em granito diferenciado: região do corpo Flechal (Suíte Pedra Pintada), norte de Roraima, Brasil.

Litho-geophysical analysis in a differentiated granite: Flechal body region (Pedra Pintada Suite), north of Roraima, Brazil.

André Lucas Batista de Lima¹, Lorena Malta Feitoza², Guilherme Gonzaga de Andrade³,
Nazaré Alves Barbosa⁴ & Alexandre Barros da Silva Uchôa²

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre, Brasil. E-mail: andrelucas.lima@ufrgs.br.

²Universidade Federal de Roraima, Instituto de Geociências, Boa Vista, Brasil. E-mail: lorena.malta@ufr.br; uchoaalexandre.25@gmail.com.

³Universidade Federal de Roraima, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Boa Vista, Brasil. E-mail: geo.guilhermeandrade@gmail.com.

⁴Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia, São Paulo, Brasil. E-mail: nazare.barbosa@usp.br.

Resumo: A Suíte Pedra Pintada (Paleoproterozoico, Domínio Surumu) reúne granitoides cálcio-alcálinos do tipo I aflorantes na porção norte de Roraima, representados principalmente pelos corpos graníticos diferenciados Trovão e Flechal. Devido à acessibilidade restrita e à presença de densa cobertura vegetal, características comuns em grande parte do estado, apenas estudos recentes têm contribuído para o aprimoramento da definição das unidades e de seus modelos de evolução geológica. Com o principal objetivo de analisar as fácies presentes no corpo Flechal, foram integrados dados petrográficos e aerogeofísicos gamaespectrométricos e magnetométricos, abrangendo também unidades adjacentes. O corpo Flechal é composto por rochas mais fracionadas (monzo- e sienogranitos) em sua Fácies Norte, monzogranito grosso porfirítico na Fácies Central e quartzo granodiorito a granodiorito predominantes na Fácies Sul, refletindo o processo de diferenciação magmática durante sua formação. A gamaespectrometria revelou assinaturas muito altas nos canais de eTh e eU na região norte do corpo granítico, seguidas por valores altos a intermediários em direção à porção sul. Para o canal de K, foram consideradas possíveis influências intempéricas na interpretação das assinaturas. A integração dos produtos da razão eTh/K e do parâmetro F permitiu individualizar uma área com potencial registro de evento hidrotermal. Os dados magnetométricos indicam que o corpo Flechal apresenta baixas assinaturas de susceptibilidade magnética predominantes nas Fácies Norte e Central, e valores intermediários a altos na Fácies Sul, comportamento correlacionado ao aumento gradual no conteúdo de minerais ferromagnéticos em concordância com os litotipos descritos, bem como relacionados à frequente intrusão de corpos básicos delimitados por anomalias magnéticas positivas e

morfologias características. A ampliação da análise para as unidades adjacentes ao corpo Flechal resultou em um mapa lito-geofísico detalhado da área de estudo, contribuindo para o melhor entendimento da geologia da região norte de Roraima, Brasil.

Palavras-chave: Petrografia, Gamaespectrometria, Magnetometria, Suíte Pedra Pintada, Roraima.

Abstract: The Pedra Pintada Suite (Paleoproterozoic, Surumu Domain) comprises I-type calc-alkaline granitoids cropping out in northern Roraima, mainly represented by the differentiated Trovão and Flechal granite bodies. Due to restricted accessibility and the presence of dense vegetation cover, common characteristics in much of the state, only recent studies have contributed to refining the definition of the units and their geological evolution models. With the main objective of analyzing the facies present in the Flechal body, petrographic and aerogeophysical data, including gamma-ray spectrometric and magnetometric information, were integrated, also encompassing adjacent units. The Flechal body consists of more fractionated rocks (monzo- and syenogranites) in its Northern Facies, coarse porphyritic monzogranite in the Central Facies, and quartz granodiorite to granodiorite predominating in the Southern Facies, reflecting the magmatic differentiation process during its formation. Gamma-ray spectrometry revealed very high signatures in the eTh and eU channels in the northern portion of the granite body, followed by high to intermediate values toward the southern portion. For the K channel, possible weathering effects were considered in interpreting the signatures. The integration of the eTh/K ratio and F-parameter products allowed the identification of an area with potential evidence of a hydrothermal event. Magnetometric data indicate that the Flechal body exhibits low magnetic susceptibility signatures in the Northern and Central Facies, and intermediate to high values in the Southern Facies, behavior correlated with the gradual increase in ferromagnetic mineral content consistent with the described lithotypes, as well as frequent intrusion of mafic bodies delineated by positive magnetic anomalies and characteristic morphologies. Extending the analysis to units adjacent to the Flechal body resulted in a detailed lithogeophysical map of the study area, contributing to a better understanding of the geology of northern Roraima, Brazil.

Keywords: Petrography, Gamma-ray spectrometry, Magnetometry, Pedra Pintada Suite, Roraima.

1 Introdução

Inicialmente proposta por Fraga *et al.* (1996), a Suíte Pedra Pintada engloba granitoides tipo-I de caráter cálcio-alcálico com alto teor de K, aflorantes na porção centro-norte de Roraima. Estes se apresentam principalmente sob a forma dos corpos graníticos diferenciados Trovão e Flechal, que, juntamente com outras unidades do Domínio Surumu, representam um magmatismo granitoide característico da porção brasileira do Escudo das Guianas. Este magmatismo apresenta feições geoquímicas peculiares, registrando uma complexa evolução tectono-magmática desde o Paleo- ao Mesoproterozoico, estando, em particular, associado a manifestações vulcânicas (Fraga *et al.*, 1997).

Segundo CPRM (2010), o corpo Flechal apresenta um zoneamento composicional, com enriquecimento em sílica e redução da proporção de minerais máficos, marcando fácies primitivas a intermediárias na porção sul e central, e uma fácies mais fracionada na porção norte.

Embora diversos estudos tenham abordado a Suíte Pedra Pintada e/ou a região de sua ocorrência (Fraga *et al.*, 1996, 1997; Almeida *et al.*, 2007; Fraga *et al.*, 2010; Viana, 2012; Barbosa *et al.*, 2020; 2021), ainda faltam dados refinados que permitam caracterizar detalhadamente seus principais corpos e suas relações de contato com unidades encaixantes e adjacentes. Isso se deve, em grande parte, à dificuldade de acesso e à presença de densa cobertura vegetal, fatores comuns na região.

Neste contexto, a aerogeofísica destaca-se como uma ferramenta eficaz aplicada a estudos geológicos, fornecendo informações diretamente ligadas à composição química e à estrutura de materiais presentes tanto na superfície quanto na subsuperfície, por meio da transformação de medições físicas em grandezas de interesse que não podem ser observadas diretamente (Telford *et al.*, 1990; Burger *et al.*, 2006; Kearey *et al.*, 2009). Os produtos gamaespectrométricos representam a assinatura dos radioelementos potássio (K), tório (eTh) e urânio (eU) até cerca de 0,5 m de profundidade, enquanto os produtos magnetométricos indicam a intensidade do campo magnético em profundidade (Luiz & Silva, 1995; Dickson & Scott, 1997).

Em Roraima, apenas estudos recentes integraram dados petrográficos e geofísicos (Andrade, 2017; Barbosa, 2017; Uchôa, 2020; Guareschi, 2020), assim como em outros granitos diferenciados no Brasil (Ferreira *et al.*, 2009). O presente trabalho, portanto, caracteriza o comportamento lito-geofísico do corpo Flechal e suas fácies, contribuindo para um mapeamento detalhado de sua ocorrência e para o entendimento da evolução geológica da porção norte de Roraima.

2 Área de Estudo

A área de estudo abrange aproximadamente 1.200 km². O corpo granítico Flechal está localizado na porção norte do estado de Roraima, no município de Amajari, ao sul da Folha NA.20-X-A-III (Vila de Tepequém), apresentando drenagem principalmente pelo baixo curso do rio Trairão. O acesso a partir da capital, Boa Vista, é realizado pela rodovia BR-174, seguida pelas rodovias estadual RR-203, municipal AMJ-347 e vias secundárias (Fig. 1).

2.1 Contexto Geológico

A avaliação conjunta de um amplo conjunto de dados de campo, cartas geológicas, produtos aerogeofísicos e imagens de sensoriamento remoto possibilita a identificação de quatro principais domínios litoestruturais em Roraima: Parima, Uatumã-Anauá, Guiana Central e Surumu (CPRM, 2006). Esses domínios apresentam associações geológicas, idades e feições estruturais específicas.

O Domínio Surumu, que inclui a Suíte Pedra Pintada, abrange o quadrante nordeste do estado de Roraima, apresentando um arranjo de lineamentos estruturais predominantemente EW a WNW-ESE e NW-SE. Ele é limitado a oeste pelo Domínio Parima e a sul pelo Cinturão Guiana Central. Predominam granitos e rochas vulcânicas em corpos alongados, bem como uma extensa cobertura sedimentar junto à fronteira com a Guiana e a Venezuela (Reis *et al.*, 2003).

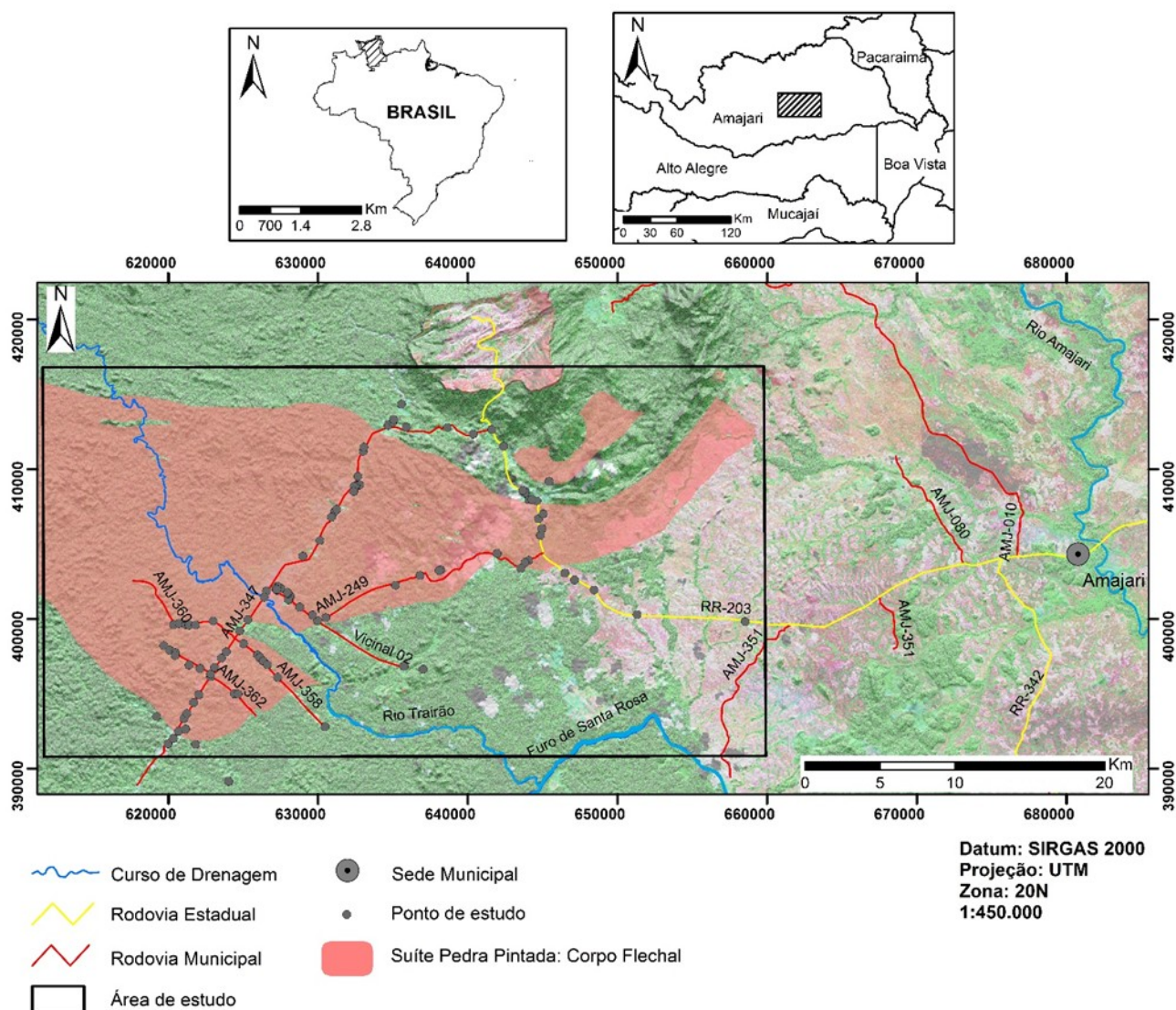


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.

Figure 1. Location map of the study area.

A região sul do Domínio Surumu é caracterizada por rochas metavulcânicas e metassedimentares do Grupo Cauarane, além de coberturas cenozoicas. Na porção norte, ocorrem rochas vulcânicas ácidas e intermediárias do Grupo Surumu, granitoides das suítes Pedra Pintada e Saracura, bem como depósitos sedimentares do Supergrupo Roraima, que se estendem em território venezuelano e guianense sob a denominação regional de Bloco Sedimentar Pacaraima (Reis & Yáñez, 1999). As unidades pré-existent são cortadas por enxames de diques de diabásio Apoteri, com direções NE-SW e E-W, que estabelecem relações genéticas com os basaltos do Rifte Tacutu.

A Suíte Pedra Pintada foi proposta por Fraga *et al.* (1996) para reunir granitoides cálcio-alcálinos aflorantes na porção centro-norte de Roraima (Fig. 2). Ela abrange (hornblenda)-biotita granodiorito e monzogranito, com ocorrências subordinadas de quartzo-diorito, tonalito e sienogranito metaluminoso a ligeiramente peraluminoso, do tipo I. A Suíte é interpretada como resultado de granitogênese pós-colisional associada ao final do Ciclo Transamazônico (Fraga *et al.*, 1996; 1997; Haddad *et al.*, 1999).

Os afloramentos ocorrem sob a forma de dois corpos principais, denominados Trovão e Flechal, separados por rochas sub- e vulcânicas do Grupo Surumu e granitoides do Complexo Trairão. Mantêm contato ainda com os granitoides Aricamã e Mixiguana, além das supracrustais polidobradas e metamorfisadas do Grupo Cauarane. As relações estratigráficas estabelecem tanto o Grupo Cauarane quanto o Complexo Trairão como embasamento da Suíte Pedra Pintada (CPRM, 2010).

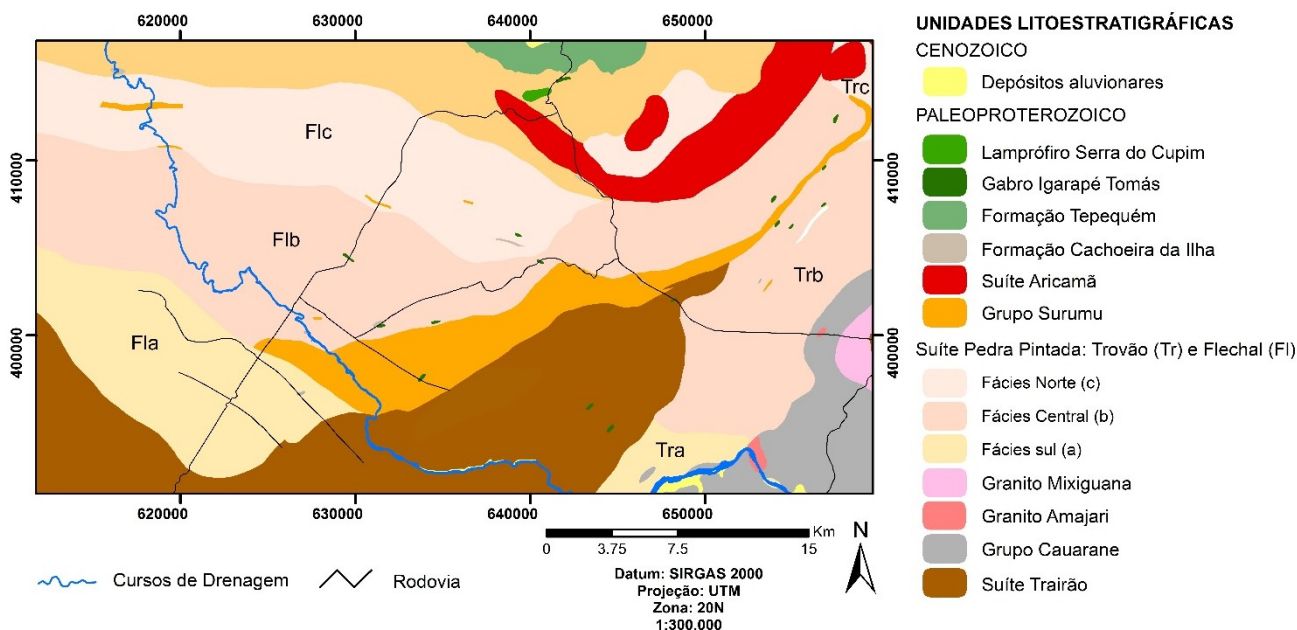


Figura 2. Mapa geológico da região que compreende o corpo Flechal, norte de Roraima. Modificado de CPRM (2010).

Figure 2. Geological map of the region that comprises the Flechal body, north of Roraima. Modified from CPRM (2010).

De acordo com CPRM (2010), os corpos da Suíte Pedra Pintada apresentam um zoneamento composicional assimétrico: granitoides menos evoluídos e mais ricos em minerais máficos ocorrem na porção sul, enquanto granitos mais diferenciados predominam na porção norte, permitindo a individualização de três fácies em cada corpo.

No corpo Flechal, os quartzo-dioritos e quartzo-monozodioritos predominam sobre monzogranitos, granodioritos e tonalitos na Fácies Sul. Na Fácies Central, os monzogranitos são os litotipos mais frequentes, com granodioritos e tonalitos subordinados. Na Fácies Norte, monzo- a sienogranitos mais evoluídos e hidrotermalizados predominam.

Duas novas idades Pb-Pb foram obtidas para rochas da unidade. Para um hornblenda-biotita monzogranito da Fácies Norte do corpo Flechal, a idade foi de 2009 ± 2 Ma (USD = 0,9), refletindo uma herança crustal riaciana a orosiriana. Para um piroxênio-hornblenda quartzo-diorito da Fácies Sul do corpo Trovão, a idade obtida foi de 1985 ± 1 Ma (USD = 0,9), interpretada como a cristalização mais próxima à formação da Suíte Pedra Pintada (CPRM, 2010).

3 Materiais e Métodos

3.1 Sensoriamento remoto

A fotointerpretação geológica dos lineamentos estruturais na área de estudo foi realizada a partir de imagens Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM), com resolução espacial de 30 × 30 m, obtidas no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e processadas com o software ArcGIS v.10.2.2 (ESRI®, 2014). Esse procedimento possibilitou a confecção de mapas temáticos de drenagem e de lineamentos estruturais.

3.2 Dados aerogeofísicos

O banco de dados utilizado provém do Projeto Aerogeofísico Província Mineral Parima-Uraricoera (CPRM, 2001), abrangendo o extremo noroeste do estado de Roraima. O processamento dos dados foi realizado com o software Oasis Montaj v.8.3 (Geosoft®, 2015), e a finalização dos produtos foi feita no ArcGIS v.10.2.2 (ESRI®, 2014).

3.2.1 Gamaespectrometria

O processamento dos dados gamaespectrométricos começou com a definição da célula de interpolação, adotando-se 125 m para as células da malha, equivalente a ¼ do espaçamento entre as linhas de voo (Vasconcelos *et al.*, 1990). Foi aplicado o método de interpolação por curvatura mínima, transformando os dados em uma malha regular conforme Briggs (1974) e Swain (1976). A partir dessa interpolação, foram obtidos os seguintes produtos:

- Imagens dos canais do potássio (K, %), do tório (eTh, ppm) e do urânio (eU, ppm);
- Imagem do canal de contagem total;
- Imagens das razões eTh/K, eTh/eU e eU/K;
- Imagem do parâmetro F;
- Imagem composta em falsa cor RGB (*red-green-blue*) e CMY (*cyan-magenta-yellow*).

Os produtos foram gerados em formato *color-graded*, exceto as composições em falsa cor, nas quais cada canal gamaespectrométrico foi atribuído a uma cor primária. Para remover erros residuais não associados à geologia, aplicou-se o filtro *Hanning* 3 × 3 nas razões obtidas.

3.2.2 Magnetometria

Para a magnetometria, utilizou-se o método interpolador bi-direcional, baseado em *splines* cúbicos perpendiculares às linhas de voo (Blum, 1999), com célula de interpolação de 125 m. Em seguida, foi realizado o micronivelamento dos dados do Campo Magnético Anômalo (CMA) através das técnicas de filtros direcionais passa-alta e passa-baixa, visando melhorar o sinal e reduzir ruídos coincidentes à direção das linhas de voo (N–S).

A partir do produto micronivelado, foram obtidas as derivadas de primeira ordem nas três direções: Dx, Dy (horizontais) e Dz (vertical). Calculou-se também o módulo do vetor intensidade do campo magnético residual, gerando a Amplitude do Sinal Analítico (ASA), produto equivalente ao Gradiente Total (GT), nomenclatura que vem sendo adotada pelo atual Serviço Geológico do Brasil (SGB) em seus produtos e manuais técnicos (Nabighian, 1972; Roest *et al.*, 1992; CPRM, 2019).

Utilizando apenas as derivadas horizontais, obteve-se a Amplitude do Gradiente Horizontal Total (AGHT) e, a partir dela, a Inclinação do Sinal Analítico (ISA), permitindo a

interpretação de lineamentos magnéticos em subsuperfície. Assim como nos dados gamaespectrométricos, os produtos foram gerados em formato *color-graded*, exceto o ISA, apresentado em tons de cinza. Por fim, aplicou-se o filtro *Hanning* 3×3 nos produtos ASA e ISA (Miller & Singh, 1994; Verduzco *et al.*, 2004; Silva & Medeiros, 2005; CPRM, 2019).

3.3 Petrografia

Foram estudadas 120 amostras representativas, das quais 34 lâminas petrográficas foram confeccionadas. Os estudos petrográficos envolveram a análise meso- e microscópica dos litotipos por meio da classificação com base no diagrama QAPF (quartzo - álcali-feldspato – plagioclásio - feldspatoide) para rochas plutônicas (Le Maitre, 2002) e a observação dos vários tipos de texturas e alterações.

A partir dos resultados geofísicos e geológicos, se fez a integração em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica) por meio do *software* ArcGis – v.10.2.2 (ESRI® 2014). Os *softwares* citados são licenciados no Laboratório de Ensino de Geociências, Departamento de Geologia da Universidade Federal de Roraima.

4 Resultados

4.1 Gamaespectrometria

Produtos do potássio (K), tório (eTh), urânio (eU) e Composição em falsa cor RGB

No canal do potássio, concentrações muito altas ($> 1,2\%$) ocorrem nas porções centro-norte e nordeste do corpo Flechal, além de respostas isoladas na porção sul, geralmente circundadas por valores considerados altos ($0,8\text{--}1,2\%$). Concentrações intermediárias ($0,4\text{--}0,8\%$) predominam na região oeste da área, intercalando-se com assinaturas de até $1,0\%$ disseminadas na mesma região. No centro-oeste do corpo, predominam valores baixos ($< 0,4\%$), aparecendo também pontualmente nos extremos norte e sul (Fig. 3A).

As concentrações de tório (Fig. 3B) apresentam valores muito altos ($> 17,8$ ppm) na região norte do Flechal, formando um corpo lenticular alongado na direção WNW–ESE, com curvatura na porção terminal (centro-norte), além de pequenos corpos isolados ao sul. Valores altos ($15,0\text{--}17,8$ ppm) distribuem-se ao redor desses principais corpos, com maior extensão ainda na porção central do granito. Concentrações intermediárias ($8,0\text{--}15,0$ ppm) predominam na porção centro-sul, enquanto baixas concentrações ($< 8,0$ ppm) aparecem disseminadas na região nordeste.

Para o urânio (Fig. 3C), os valores variam de muito altos ($> 1,9$ ppm), altos ($1,7\text{--}1,9$ ppm), intermediários ($1,2\text{--}1,7$ ppm) a baixos ($< 1,2$ ppm). A distribuição ao longo do Corpo Flechal é semelhante à observada para o tório.

Na composição em falsa cor RGB (Fig. 3D), tonalidades mais claras indicam maior intensidade dos três radioelementos, enquanto tonalidades mais escuras, tendendo ao preto, correspondem a concentrações menores. Valores mais elevados predominam na porção norte da área, estendendo-se para a região central, com ocorrências pontuais na porção sul. A continuidade para o nordeste é interrompida por baixas intensidades de direção N–S. Na porção centro-sul e em boa parte da região sul, predominam menores intensidades, algumas apresentando geometrias circulares.

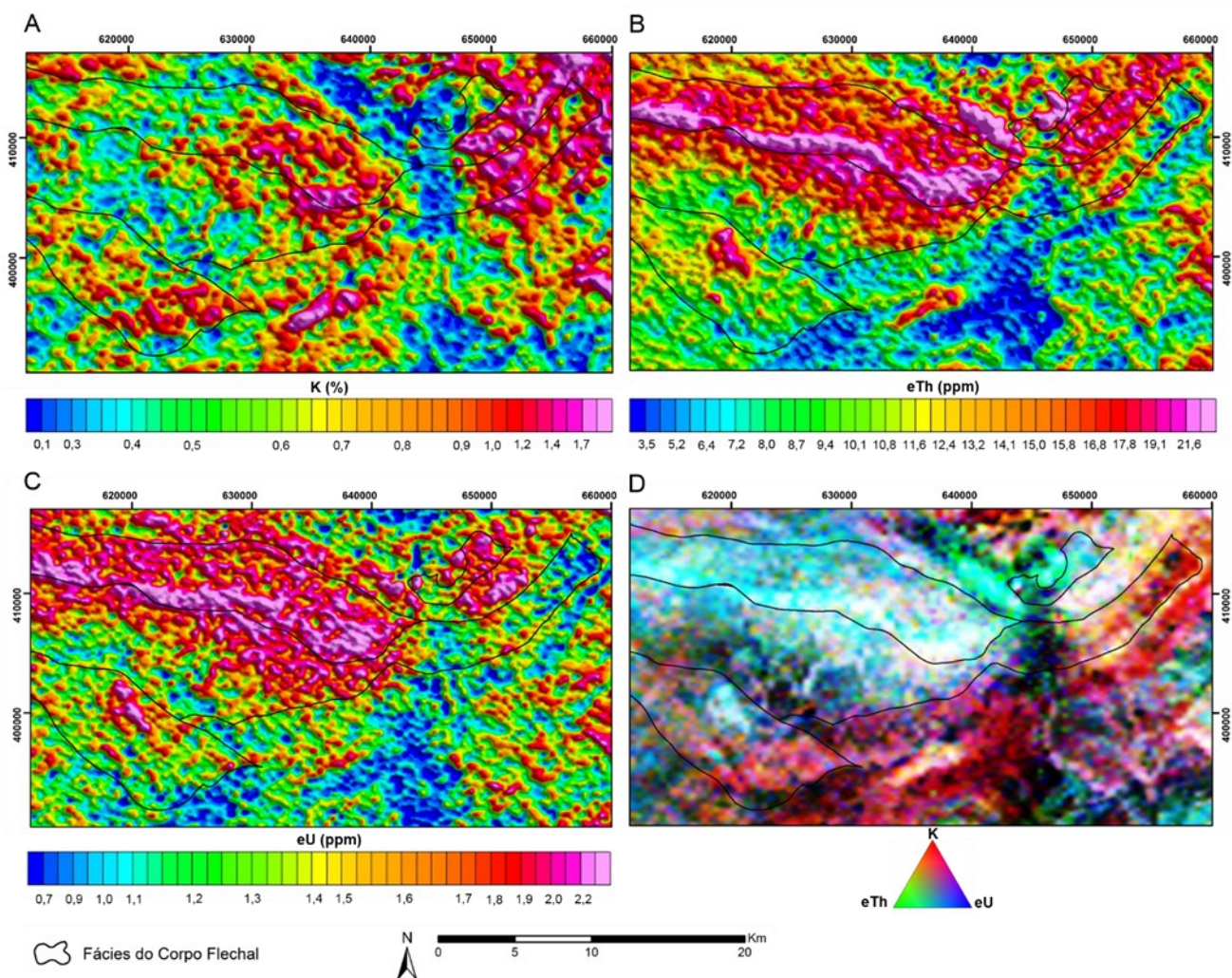


Figura 3. Principais mapas gamaespectrométricos do corpo Flechal e suas fácies segundo CPRM (2010). A) Canal do K (em %). B) Canal do eTh (seu equivalente em ppm). C) Canal do eU (seu equivalente em ppm). D) Composição em falsa cor RGB (K-eTh-eU).

Figure 3. Main gamma-ray spectrometric maps of the Flechal body and its facies according to CPRM (2010). A) K channel (in %). B) eTh channel (its equivalent in ppm). C) eU channel (its equivalent in ppm). D) RGB false color composition (K-eTh-eU).

Produtos da razão eTh/K e do Parâmetro F

Os mapas derivados das razões entre radioelementos mostrando suas concentrações relativas, sendo sua interpretação dependente da integração com os canais individuais correspondentes. Além disso, o cálculo do parâmetro F realça o enriquecimento de potássio e urânio em relação ao tório, por meio da fórmula $F = K \times (eU/eTh)$, podendo indicar processos de intemperismo e alteração hidrotermal (Gnojek & Prichystal, 1985; Telford *et al.*, 1990; Ribeiro *et al.*, 2013; Dutra *et al.*, 2023).

A razão eTh/K apresenta valores muito altos nas regiões norte e central do Corpo Flechal, com contagens altas contornando essas áreas. As porções sul e extremo nordeste do corpo são predominantemente compostas por valores intermediários a baixos (Fig. 4A).

O mapa do parâmetro F evidencia valores variando de 0,1 ppm a 0,3 ppm. De forma oposta à razão eTh/K, valores altos a muito altos ($> 0,2$ ppm) predominam na porção sul do corpo Flechal, com ocorrências pontuais nas regiões centro-norte e nordeste. Na região

oeste, predominam valores intermediários (0,1–0,2 ppm, verde), intercalando-se com baixas contagens (< 0,1 ppm, azul a verde) (Fig. 4B).

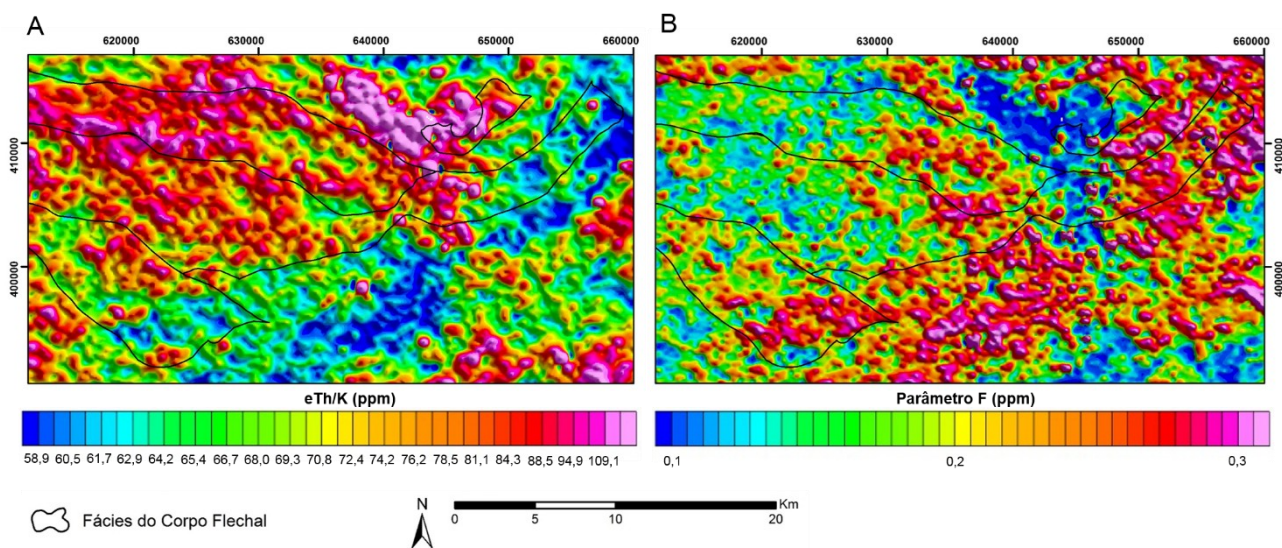


Figura 4. Mapas gamaespectrométricos do corpo Flechal com os limites de fácies segundo CPRM (2010).
A) Razão eTh/K (em ppm). B) Parâmetro F (em ppm).

Figure 4. Gamma-ray spectrometric maps of the Flechal body with facies limits according to CPRM (2010).
A) eTh/K ratio (in ppm). B) F Parameter (in ppm).

4.2 Magnetometria

Produtos de Amplitude do Sinal Analítico (ASA) e Inclinação do Sinal Analítico (ISA)

As respostas magnéticas apresentam valores inferiores a 0,6 nT/m, com ampla variação de amplitude. Valores mais altos (> 0,2 nT/m) concentram-se na porção sul e nordeste do corpo Flechal, sugerindo a presença de corpos alongados nas direções NW–SE e NE–SW, respectivamente. Destacam-se ainda corpos semicirculares segmentados na porção central, onde predominam baixas assinaturas (< 0,1 nT/m, azul), bem como no norte, intercalando-se com valores intermediários (0,1–0,2 nT/m, verde a amarelo) (Fig. 5A).

O relevo magnético, expresso pelo produto ISA (Fig. 5B), evidencia lineamentos magnéticos em duas tendências principais: NW–SE, predominante na porção noroeste, e NE–SW, predominante no quadrante nordeste, estendendo-se pela região centro-sul. Observa-se a predominância de áreas de maior intensidade magnética local, bem como a presença de diversos corpos lenticulares de bordas bem definidas, alinhados segundo as direções preferenciais citadas para cada região do corpo analisada.

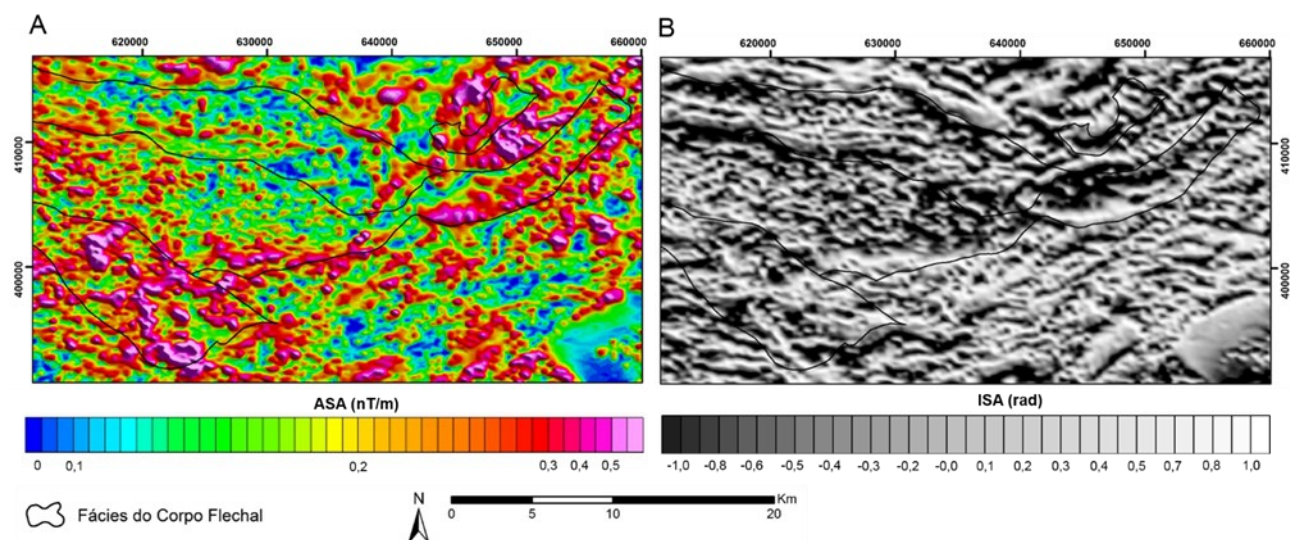


Figura 5. Principais mapas magnetométricos do corpo Flechal e suas fácies segundo CPRM (2010). A) Amplitude do Sinal Analítico (ASA) em nT/m. B) Inclinação do Sinal Analítico (ISA) em rad.

Figure 5. Main magnetometric maps of Flechal body and its facies according to CPRM (2010). A) Analytic Signal Amplitude (ASA) in nT/m. B) Analytical Signal Inclination (ASI) in rad.

4.3 Aspectos de campo e petrografia do corpo Flechal

4.3.1 Fácies Norte

Monzo- e sienogranitos correspondem aos litotipos da Fácies Norte do corpo Flechal. Afloram na forma de blocos centimétricos a métricos, bem como lajedos decamétricos, em meio à vegetação ombrófila aberta, frequentemente alterada por pastagem.

Os monzogranitos apresentam coloração cinza-claro, textura fanerítica (Fig. 6A) e equigranular, com variação frequente na granulação, de média a grossa, alcançando até 100 mm em alguns casos. São leucocráticos, com índice de cor de até 17%, representados principalmente por cristais de biotita.

Os sienogranitos, rosa-esbranquiçados ou acizentados, podem ser faneríticos (Fig. 6B) ou porfíricos de matriz fanerítica. No primeiro caso, geralmente são equigranulares, com granulação média a grossa, e cristais de álcali-feldspato de até 10 mm, embora tipos de granulação média também ocorram. Quando porfíricos, apresentam cristais euédricos de álcali-feldspato e, subordinadamente, de plagioclásio e anfibólio, de granulação grossa, com raros pórfiros de até 18 mm. Esses tipos são leucocráticos, com baixo índice de cor (até 15%), representados por cristais de biotita e, menos frequentemente, de anfibólio. Dendritos são observados ao longo de fraturas.

Em lâmina delgada, observam-se cristais de biotita predominando sobre hornblenda. Titanita euédrica, fraturada e ocasionalmente maclada (Fig. 6C), zircão e minerais opacos também estão presentes. Secundariamente, aparecem epídoto, clorita e minerais opacos, frequentemente como produtos de alteração da biotita (Fig. 6D), que também se encontra oxidada. Sericita/muscovita e carbonato constituem produtos de alteração de álcali-feldspato e plagioclásio. Textura de intercrescimento granofírico é comum.

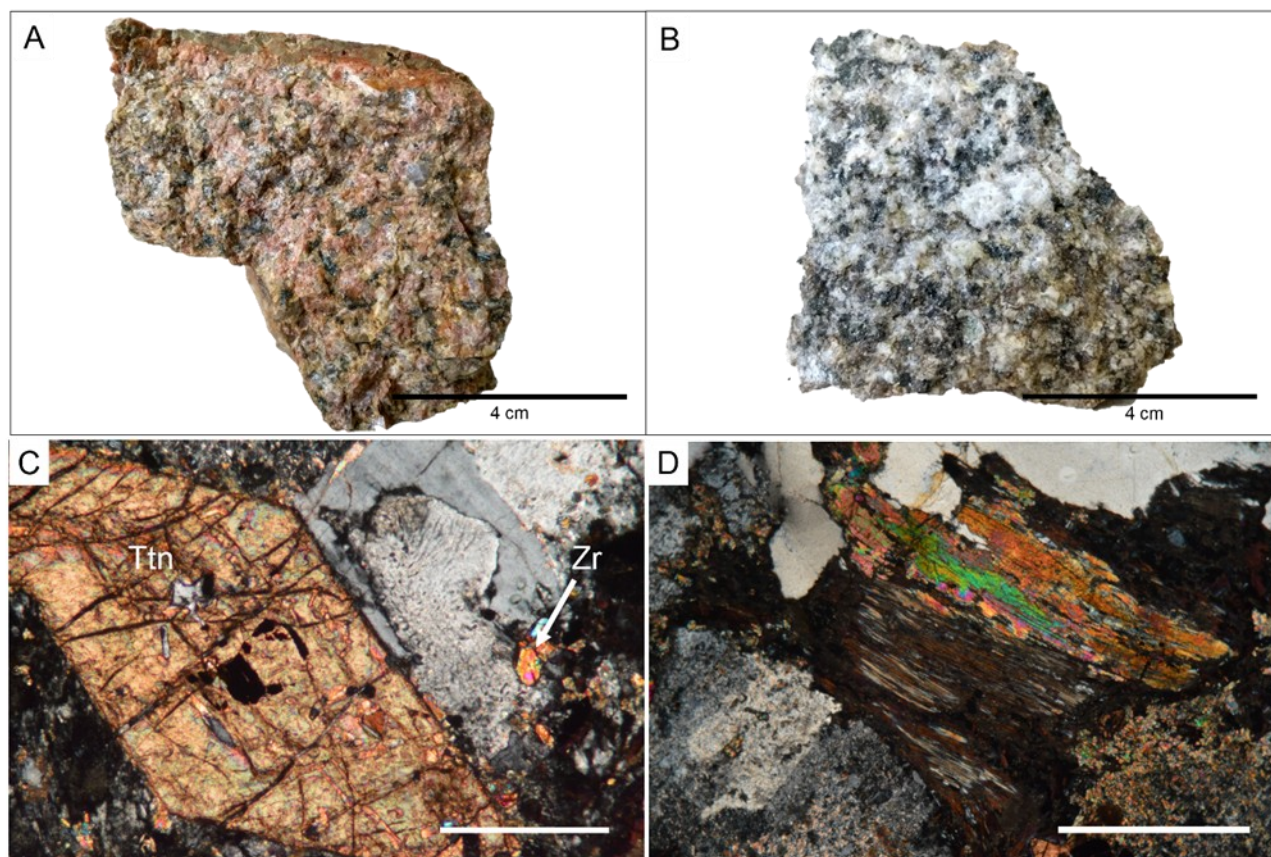


Figura 6. Aspectos das rochas da Fácies Norte do corpo Flechal. A) Sienogranito fanerítico, equigranular e leucocrático. B) Monzogranito fanerítico, inequigranular e leucocrático. C) Titanita (Ttn) euédrica fraturada em sienogranito. Notar intercrescimento granofírico entre quartzo e álcali-feldspato com inclusão de zircão (Zr) a direita. Nicóis cruzados. Escala: 0,15 mm. D) Lamela de biotita fortemente alterada para epidoto e clorita em sienogranito. Nicóis cruzados. Escala: 0,3 mm.

Figure 6. Aspects of the rocks of the Northern Facies of the Flechal body. A) Phaneritic, equigranular and leucocratic syenogranite. B) Phaneritic, inequigranular and leucocratic monzogranite. C) Euhedral titanite (Ttn) fractured in syenogranite. Note granophyric intergrowth between quartz and alkali-feldspar with inclusion of zircon (Zr) on the right. Crossed nicols. Scale: 0.15 mm. D) Biotite lamella strongly altered to epidote and chlorite in syenogranite. Crossed nicols. Scale: 0.3 mm.

4.3.2 Fácies Central

Para esta fácies, foram atribuídos monzogranitos aflorantes sob a forma de blocos centimétricos a decamétricos, rolados ou in situ, além de lajedos localizados nas margens e no leito do rio Trairão. Esses afloramentos ocorrem em vegetação que varia de pastagem a mata ciliar.

As rochas apresentam coloração cinza-claro a levemente rosada e são predominantemente porfíricas de matriz fanerítica (Fig. 7A), com subordinadamente texturas faneríticas. Os tipos porfíricos são característicos desta fácies, com fenocristais representando 15–25% da relação fenocristal-matriz. Geralmente são de granulação grossa, constituídos por cristais euédricos de microclínio e plagioclásio. Os principais minerais varietais incluem biotita e hornblenda, esta última juntamente com cristais de quartzo formando uma matriz de granulação média.

Os monzogranitos de textura fanerítica, por sua vez, apresentam forte inequigranularidade e granulação média a grossa, com raros cristais de álcali-feldspato

atingindo até 14 mm. Independentemente da textura, todas as rochas são leucocráticas, com índice de cor levemente superior ao observado na Fácies Norte, podendo alcançar até 25%.

Na microscopia, a fase varietal é dominada por biotita marrom-esverdeada, em proporção geralmente maior que hornblenda verde, que ocasionalmente apresenta maclamento simples. As fases acessórias incluem titanita euédrica, fraturada e por vezes maclada (Fig. 7B), apatita, zircão, clorita e minerais opacos. Como minerais secundários, observam-se epídoto e clorita, produtos frequentes da alteração da biotita, enquanto epídoto, sericita/muscovita constituem produtos típicos da alteração de plagioclásio e álcali-feldspato. O zoneamento em plagioclásio é comum (Fig. 7C). Texturas de intercrescimento, como pertitas, também estão presentes.

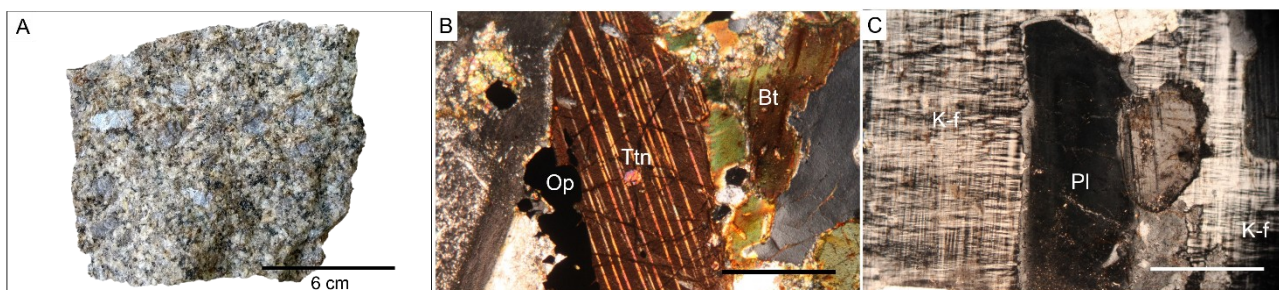


Figura 7. Características de monzogranitos da Fácies Central do corpo Flechal. A) Rocha de textura porfirítica de matriz fanerítica e leucocrática. B) Titanita (Ttn) euédrica com maclas em associação com minerais opacos (Op) e biotita (Bt). Nicóis cruzados. C) Plagioclásio (Pl) levemente zonado entre cristais de K-feldspato (Kf) pertíticos. As imagens microscópicas possuem escala de 0,3 mm.

Figure 7. Characteristics of monzogranites from the Central Facies of Flechal body. A) Rock with porphyritic texture of phaneritic matrix and leucocratic. B) Euhedral titanite (Ttn) with twinning in association with opaque minerals (Op) and biotite (Bt). Crossed nicols. C) Plagioclase (Pl) slightly zoned between perthitic K-feldspar (K-f) crystals. The microscopic images have a scale of 0.3 mm.

4.3.3 Fácies Sul

Nesta fácies, foram englobados quartzo monzodioritos, micro-quartzo dioritos e granodioritos, com presença subordinada de monzogranitos. Os afloramentos ocorrem sob diversas formas: blocos centimétricos a decamétricos, geralmente associados a morros, e lajedos métricos a decamétricos, isolados ou próximos às margens e leitos de pequenas drenagens. Encontram-se em vegetação ombrófila aberta, alterada ou não por pastagem.

Os quartzo monzodioritos são comuns, apresentando cor cinza-claro e textura fanerítica (Fig. 8A). Predominantemente inequigranulares, exibem granulação média a grossa, sendo leucocráticos, com índice de cor entre 20 e 30%. Seus minerais varietais incluem biotita e anfibólio. Cristais de biotita frequentemente apresentam orientação que confere leve foliação a esses litotipos.

Os micro-quartzo dioritos são cinza-escuros, com texturas fanerítica a micro-porfirítica (Fig. 8B). Macroscopicamente, suas características texturais podem ser difíceis de observar. Apresentam textura equigranular fina, com cristais de até 1 mm representados por ripas de plagioclásio. São mesocráticos, com índice de cor de até 40%.

Os granodioritos desta fácies possuem textura fanerítica, por vezes foliada, coloração cinza-claro, granulação fina a média e são leucocráticos (até 25%). Os

monzogranitos são exclusivamente faneríticos, cinza-claro, podendo ser equigranulares de granulação média ou inequigranulares de granulação média a grossa. São leucocráticos (até 30%), representados por biotita e anfibólio. Assim como os demais litotipos, apresentam leve orientação dos minerais micáceos, conferindo foliação discreta, característica marcante dos granitoides desta fácies.

Em lâmina delgada (Fig. 8), essas rochas mostram cristais de biotita e hornblenda como principais minerais varietais. Epídoto e minerais opacos ocorrem tanto como varietais quanto acessórios, sendo que estes últimos incluem apatita, zircão e muscovita. Plagioclásio e álcali-feldspato apresentam alteração para argilominerais. Texturas como corona (uralitização, Fig. 8C), poiquilitica, traquítica (nos tipos mesocráticos) e intercrescimento pertítico (Fig. 8D) são frequentes.

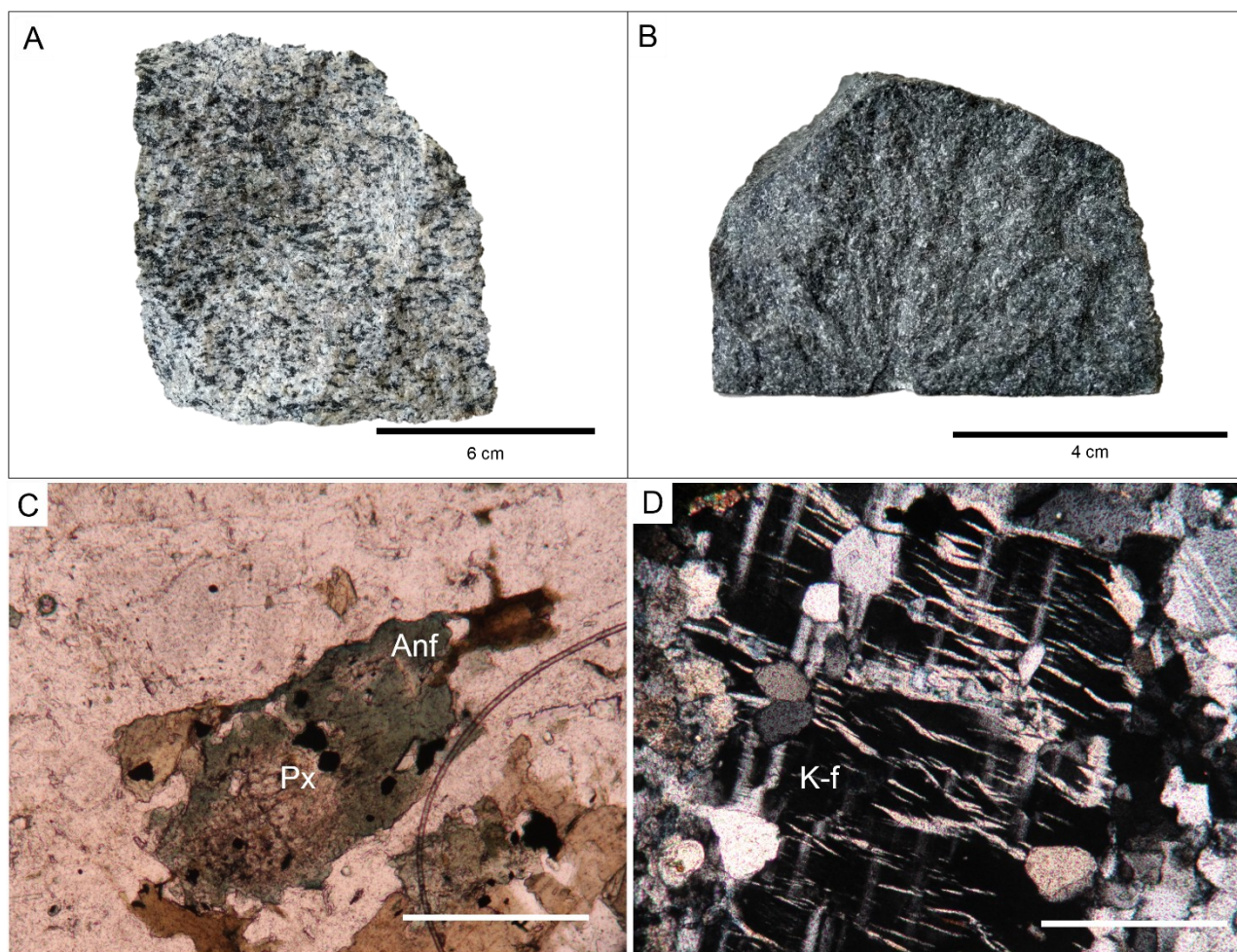


Figura 8. Aspectos das rochas associadas à Fácies Sul do corpo Flechal. A) Quartzo monzodiorito mostrando leve foliação. B) Micro-quartzo diorito de textura microporfirítica e melanocrático. C) Uralitização por corona em micro-quartzo diorito, onde nota-se piroxênio alterando para anfibólio nas bordas. Nicóis paralelos. Escala: 0,3 mm. D) Intercrescimento pertítico em chama em cristal de K-feldspato, presente em monzogranito. Nicóis cruzados. Escala: 0,15 mm.

Figure 8. Aspects of the rocks associated with the South Facies of the Flechal body. A) Quartz monzodiorite showing slightly foliation. B) Micro-quartz diorite with microporphyritic texture and melanocratic. C) Corona uralitization in micro-quartz diorite, where pyroxene is observed changing to amphibole at the borders. Parallel nicols. Scale: 0.3 mm. D) Flame perthite intergrowth in K-feldspar, present in monzogranite. Crossed nicols. Scale: 0.15 mm.

4.4 Demais unidades

Além da Suíte Pedra Pintada (Corpo Flechal), outras unidades litoestratigráficas foram amostradas durante as campanhas de campo na área de estudo. As análises dessas unidades foram igualmente importantes para a proposição do mapa lito-geofísico final, de maior detalhamento.

O Quadro 1 apresenta as unidades abordadas, suas formas de ocorrência, litotipos e características microscópicas, também exemplificadas na Figura 9. Para unidades de ocorrência pontual, não foram confeccionadas lâminas petrográficas devido à baixa representatividade.

4.5 Sensoriamento remoto e mapas lito-geofísicos

Os lineamentos estruturais apresentam direção geral NW–SE em toda a área de estudo. Nos quadrantes nordeste e na porção centro-sul, destacam-se lineamentos de direção preferencial NE–SW, de forma similar aos extraídos a partir do produto magnético ISA (Fig. 5B).

Com base no produto de Contagem Total, foram individualizados quatro domínios gamaespectrométricos: 01 ($> 9,9$ cps), 02 ($8,8–9,9$ cps), 03 ($6,0–8,8$ cps) e 04 ($< 6,0$ cps), correspondendo respectivamente a contagens muito altas, altas, intermediárias e baixas para os três radioelementos (Fig. 10A).

Para a definição de domínios magnéticos, foram consideradas as assinaturas no produto ASA, delimitando-os da seguinte forma: domínio 01, muito alto ($> 0,3$ nT/m); domínio 02, alto ($0,2–0,3$ nT/m); domínio 03, intermediário ($0,1–0,2$ nT/m); e domínio 04, baixo ($< 0,1$ nT/m) (Fig. 10B).

5 Discussão

Na Fácies Norte, monzo- e sienogranitos leucocráticos formam um corpo alongado na direção WNW–ESE e fazem contato a norte com as rochas vulcânicas e subvulcânicas do Grupo Surumu e com os plútons da Suíte Aricamã. Esses contatos são evidenciados por contagens gamaespectrométricas altas a muito altas no canal eTh, assim como pelo produto ISA. Em concordância com os litotipos descritos, o canal K apresenta valores altos a muito altos na porção leste desta fácies.

Assinaturas intermediárias, observadas na porção oeste, provavelmente refletem processos de intemperismo predominantes. Magneticamente, a fácies apresenta susceptibilidade baixa a intermediária, conforme observado no produto ASA. A integração dos dados possibilitou ainda a individualização de um pequeno corpo sienogranítico inserido entre monzogranitos porfíricos da Fácies Central.

As rochas da faixa norte exibem alterações significativas, incluindo preenchimento de vênulas por sericita/muscovita e epidoto, além da presença relativamente maior de minerais máficos e formação de clorita, quando comparadas a outras fácies. A análise integrada da razão eTh/K e do parâmetro F evidenciou uma área potencialmente hidrotermalizada na porção sudeste da Fácies Norte, com aproximadamente 5 km de extensão.

Quadro 1. Principais aspectos de campo, meso- e microscópicos das demais unidades litoestratigráficas amostradas ocorrentes na área de estudo.

Chart 1. Main field, meso- and microscopic aspects of the other sampled lithostratigraphic units, which occurs in the study area.

Unidade Litoestratigráfica	Aspectos de campo	Litotipo	Microscopia
Suíte Trairão	Blocos ou lajedos nas margens e leito de igarapés, comumente cortados por enxame de diques de composição máfica	Granodioritos faneríticos, majoritariamente equigranulares, finos ou médios e leucocráticos (10-30%). É comum a presença de foliação fracamente desenvolvida, descontínua e de contatos difusos	Relação dos minerais essenciais tendendo a tonalítica (plagioclásio > quartzo ≥ álcali-feldspato). Palhetas de biotitas marrom esverdeadas predominam sobre hornblenda. Epidoto, apatita, zircão, minerais opacos e allanita metamicta representam os minerais acessórios. Secundariamente têm-se epidoto, sericita/ muscovita e clorita. Textura poiquilítica é comum
Granito Mixiguana	Blocos rolados e <i>in situ</i> , e lajedos podendo apresentar disjunção esferoidal, com presença de veios quartzo-feldspáticos e fraturados em uma família com pouca variação, em geral para NW-SE	Granodioritos faneríticos, euigranulares médios e mesocráticos (35%), com bandamento composicional de contatos difusos	-
Suíte Pedra Pintada: Corpo Trovão, Fácies Central	Blocos e lajedos no leito e margens do igarapé Matrinxã. É comum observar o contato abrupto entre os litotipos bem como a incorporação de pórfiros de álcali-feldspato e enclaves angulosos de composição máfica	Quartzo-dioritos porfíricos (25% representados por plagioclásio médios) de matriz fanerítica ou apenas faneríticos. Monzogranitos faneríticos médios a grossos. Ambos leucocráticos (25% e 10%, respectivamente)	-
Corpos Menores	Blocos e lajedos isolados ou nas margens e leitos de pequenas drenagens ao fim da Vicinal 02	Milonitos porfiroclásticos (35% de álcali-feldspatos grossos) de matriz fanerítica (média a grossa). São leucocráticos (15%) de composição monzogranítica	Titanitas euédricas como mineral acessório, e sericita/ muscovita como secundários. Quartzo como agregados recristalizados e orientados adjacentes a foliação eu é expressa por minerais micáceos orientados bem como epidotos. Porfiroclastos e titanitas com movimento sinistral (análise <i>stair stepping</i>). Texturas de intercrescimento do tipo micrográfica e mimerquítica
Grupo Surumu	Blocos rolados e <i>in situ</i> , lajedos em margens e leitos de drenagens, além de diques que cortam rochas associadas a Suíte Pedra Pintada	Andesitos afaníticos, porfíricos/microporfíricos (5-30%, plagioclásios médio a grossos) de matriz afanítica, ou glomeroporfíricos. Dacitos afaníticos ou microporfíricos (quartzo, plagioclásio e álcali-feldspato médios). Riólitos afaníticos e microporfíricos (30%, álcali feldspato, plagioclásio e biotita médios) de matriz afanítica e com sulfetos (pirita) disseminados. Tufos acamados de granulometria cinza e composição riolítica e andesítica	Frequente alteração de plagioclásios (argilominerais) e anfibólios (epidoto e clorita) nos andesitos. Além disso, texturas em corona, ofíticas e subofíticas são observadas. Dacitos mostram apenas fragmentos minerais imersos em matriz criptocristalina. Riólitos apresentam cristais de álcali-feldspato e fragmentos de quartzo ressaltados em meio a matriz micro- a criptocristalina
Suíte Aricamã	Blocos em sopé de morro e margem da rodovia AMJ-347 (corte de estrada).	Sienogranitos faneríticos inequigranulares, finos a médios, hololeucocráticos (8%)	Baixo índice de cor representado por biotitas e minerais opacos. Biotitas alteradas para epidoto e álcali-feldspato para sericita/ muscovita, apresentando maclamento difuso e textura de intercrescimento pertítico.

A área caracteriza-se por baixa contagem na razão eTh/K, enquanto no mapa do Parâmetro F apresenta assinatura muito alta. No produto ISA, observa-se em profundidade uma feição semicircular, estruturalmente afetada pelo encontro de lineamentos nas direções NW–SE e NE–SW.

Essas observações sugerem a presença de um corpo intrusivo tardio, possivelmente enriquecido em soluções hidrotermais. De acordo com as relações de mobilidade dos radioelementos, tal corpo poderia concentrar potássio (Ostrovskiy, 1973; Gnojek & Prichystal, 1985).

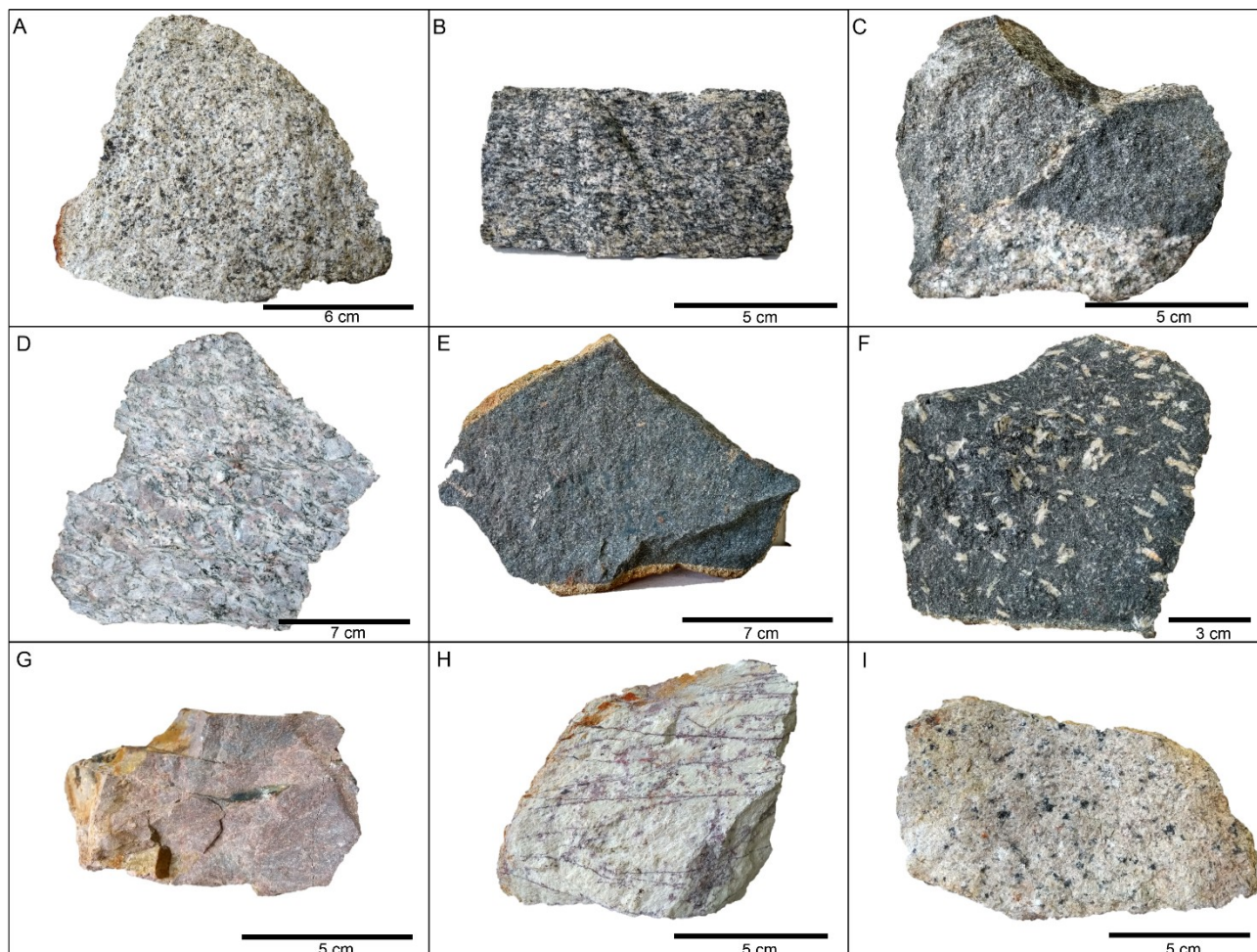


Figura 9. Principais aspectos das rochas amostradas na área de estudo e associadas as demais unidades litoestratigráficas. A) Granodiorito fanerítico, inequigranular e leucocrático da Suíte Trairão. Mostra leve orientação dos cristais de biotita. B) Granodiorito fanerítico, equigranular e mesocrático do Granito Mixiguana, com bandamento composicional descontínuo. C) Amostra que marca o contato irregular entre quartzo diorito e monzogranito associado a Fácies Central do corpo Trovão. D) Milonito de textura porfiroclástica, representada por álcali-feldspato, leucocrático, com composição monzogranítica. E) Andesito afanítico do Grupo Surumu. F) Andesito glomeroporfírico representado por ripas de plagioclásio em matriz afanítica associado ao Grupo Surumu. G) Riolito afanítico do Grupo Surumu. H) Tufo de cinzas de composição andesítica do Grupo Surumu. I) Sienogranito levemente intemperizado, fanerítico inequigranular e hololeucocrático da Suíte Aricamã.

Figure 9. Main aspects of the rocks sampled in the study area and associated with other lithostratigraphic units. A) Phaneritic, inequigranular and leucocratic granodiorite from the Trairão Suit. Shows slight orientation of biotite crystals. B) Phaneritic, equigranular and mesocratic granodiorite from the Mixiguana Granite, with discontinuous compositional banding. C) Sample that marks the irregular contact between quartz diorite and monzogranite associated with the Central Facies of the Trovão body. D) Mylonite with porphyroclastic texture, represented by alkali-feldspar, leucocratic, with monzogranitic composition. E) Aphanitic andesite from the Surumu Group. F) Glomeroporphyritic andesite represented by plagioclase laths in an aphanitic matrix. Associated with the Surumu Group. G) Aphanitic rhyolite from the Surumu Group. H) Ash tuff of andesitic composition from the Surumu Group. I) Slightly weathered syenogranite, inequigranular and hololeucocratic phaneritic from the Aricamã Suit.

Na Fácies Central, foram individualizados monzogranitos, predominantemente porfíricos, com pórfiros grossos a muito grossos de álcali-feldspato. Esses litotipos ocorrem desde o limite inferior da Fácies Norte e se estendem por grande parte da área estudada, mantendo contato com a Suíte Trairão, a Suíte Aricamã e as vulcânicas do corpo sul do Grupo Surumu.

A distribuição segue inicialmente uma tendência NW–SE, que se inverte para NE–SW a partir da porção central da área de estudo. Na gamaespectrometria, a fácies apresenta contagens intermediárias a muito altas nos canais dos três radioelementos.

No produto ASA, observa-se que altas susceptibilidades magnéticas concentram-se próximo ao contato com a Fácies Sul, enquanto na porção norte predominam valores baixos a intermediários. Esse comportamento está em concordância com o aumento gradual do conteúdo de minerais máficos em direção ao sul do corpo Flechal e pode estar relacionado à crescente frequência de intrusões básicas nessa mesma direção.

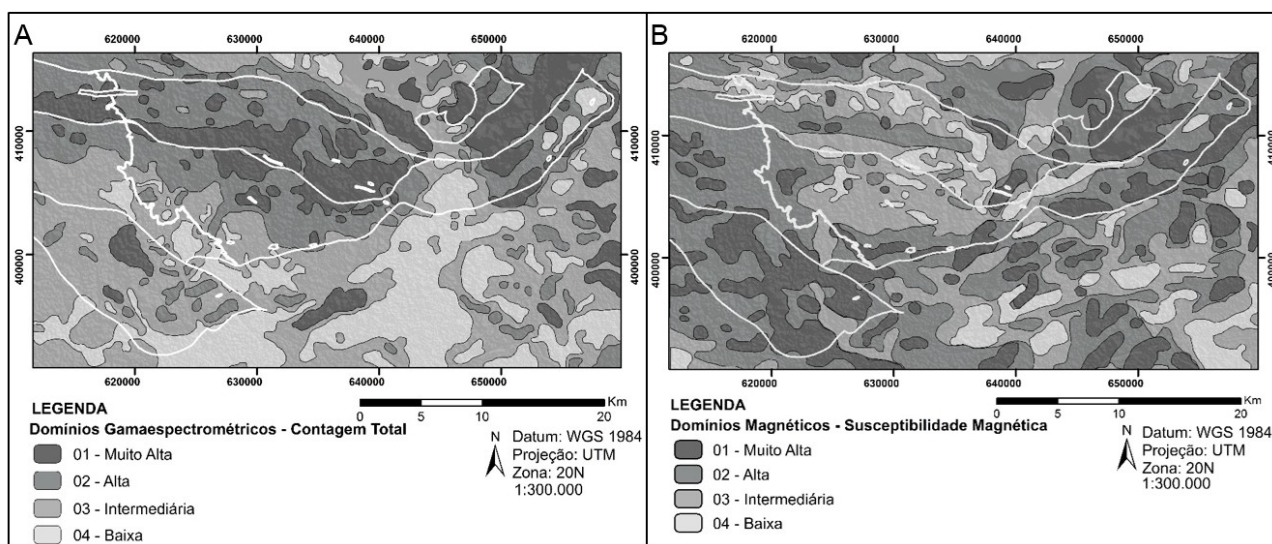


Figura 10. Mapas lito-geofísicos da área de estudo. A) Domínios gamaspectrométricos individualizados a partir do produto de Contagem Total. B) Domínios magnéticos individualizados a partir do produto ASA. Os polígonos limitados em branco correspondem a ocorrência do corpo Flechal segundo CPRM (2010).

Figure 10. Lithogeophysical maps of the study area. A) Gamaspectrometric domains individualized from the Total Count Product. B) Individualized magnetic domains from the ASA product. The polygons limited in white correspond to the occurrence of the Flechal body according to CPRM (2010).

Na Fácies Sul, ocorrem quartzo monzodioritos, micro-quartzo dioritos e granodioritos, além de monzogranitos mais finos do que aqueles das demais fácies. A distribuição é menor, porém bem definida a partir da petrografia e das respostas geofísicas. As rochas apresentam granulação fina, ligeira redução do conteúdo de álcali-feldspato e quartzo no diagrama ternário QAP, e aumento no índice de cor, sendo predominantemente mesocráticas.

Na gamaespectrometria, predominam assinaturas intermediárias nos canais dos três radioelementos, com valores altos dispersos. A partir dos canais K e eTh, individualiza-se um corpo alongado NW–SE próximo ao contato com a Fácies Central, constituído por monzogranitos e quartzo-monzodioritos, com contagens altas a muito altas. No canal K, observa-se enriquecimento na porção leste da fácies, possivelmente relacionado à

mobilização de K em direção a áreas mais baixas, conforme indicado pelo modelo digital de elevação SRTM e pelo mapa de rede de drenagem.

Magneticamente, a Fácies Sul apresenta altas anomalias associadas tanto ao aumento do conteúdo de minerais ferromagnéticos quanto à presença de intrusões básicas. Essas intrusões mostram relação concordante de direção NW–SE entre as anomalias magnéticas positivas (ASA) e os lineamentos magnéticos (ISA).

Apesar da ampla distribuição dos monzogranitos no corpo Flechal, estes são decisivos na delimitação de suas fácies, por meio da análise petrográfica e posterior correlação geofísica. Essa análise evidencia um zonamento composicional no corpo Flechal, com aumento gradual no grau de fracionamento magmático da Fácies Sul para a Norte, observado através da paragénese mineral expressa e fortemente associado às assinaturas geofísicas. Esse zonamento é corroborado por dados geoquímicos de CPRM (2010), que sugerem para a Suíte Pedra Pintada um ambiente de instalação pós-colisional com fusão parcial da crosta inferior. Uma nova idade de 1985 ± 1 Ma foi obtida para um quartzo diorito da Fácies Sul do corpo Trovão, enquanto idades mais antigas são interpretadas como heranças crustais riacianas a orosirianas.

De forma similar, a integração entre dados aerogeofísicos e petrográficos foi necessária para as demais unidades litoestratigráficas da área de estudo. Na Suíte Trairão, foram correlacionados granodioritos finos a médios, com foliação magmática, estendendo-se do extremo sudoeste até o centro da área e mantendo contato com a Fácies Sul do corpo Flechal, o corpo Trovão e as vulcânicas do Grupo Surumu. As respostas gamaespectrométricas apresentam valores intermediários, com poucas contagens altas nos canais dos três radioelementos. Em magnetometria, as susceptibilidades variam de baixas a intermediárias.

Segundo CPRM (2010), a Suíte Trairão representa o embasamento da Suíte Pedra Pintada e das unidades crono-correlatas. Uma zona de cisalhamento no contato entre Suíte Trairão e corpo Flechal é sugerida pela análise dos lineamentos estruturais e pela presença de rochas com feições miloníticas associadas aos corpos menores da região. A foliação magmática seria consequência da instalação de um campo de esforços direcionais, resultante de antigas colisões, interpretando-se para a unidade um arco continental formado pela aglutinação de arcos magmáticos riacianos.

O Granito Mixiguana apresenta assinaturas magnéticas similares às observadas na Suíte Trairão, enquanto os canais dos três radioelementos apresentam valores altos a muito altos. Na área de estudo, aflora como granodioritos foliados no extremo leste, mantendo contato com o Grupo Cauarane e o corpo Trovão (Suíte Pedra Pintada). Para o corpo Trovão, a Fácies Central inclui dioritos e monzogranitos aflorantes na porção leste, caracterizados em análises aerogeofísicas por contagens e susceptibilidades magnéticas predominantemente intermediárias.

Os Corpos Menores foram individualizados na zona de cisalhamento sugerida, que marca o contato entre o corpo Flechal e a Suíte Trairão. Trata-se de um corpo alongado, apresentando altas a muito altas contagens nos canais do eTh e K e contagens altas a intermediárias no canal do eU. O litotipo predominante é milonito de composição monzogranítica, com pórfiroclastos de álcali-feldspato. As faixas de texturas miloníticas observadas em rochas paleo- e mesoproterozoicas, com direção NE-SW, são atribuídas ao Episódio K'Mudku de $\sim 1,2$ Ga (CPRM, 2010).

As rochas vulcânicas, subvulcânicas e vulcanossedimentares foram correlacionadas ao Grupo Surumu, correspondendo a andesitos, dacitos e riolitos de texturas afaníticas, micro- e glomeroporfíricas, além de tufos de cinza. A distribuição dessas unidades ocorre em duas regiões principais: região norte, em contato com a Fácies Norte do Corpo Flechal, plútons da Suíte Aricamã e englobando a Formação Tepequém; e região central, com prolongamento para nordeste, constituindo um corpo descontínuo de orientação NE-SW, por vezes em contato com a Suíte Trairão e separando os corpos da Suíte Pedra Pintada.

As respostas aerogeofísicas refletem a complexidade litológica do Grupo Surumu, apresentando assinaturas gamaespectrométricas de baixas a muito altas e respostas magnéticas baixas a intermediárias. A variabilidade litológica dificulta a correlação direta entre os tipos de rocha e suas assinaturas, mas, de forma geral, rochas vulcânicas ácidas mostram contagens intermediárias a muito altas e susceptibilidade magnética intermediária a baixa.

A Suíte Aricamã, representada por sienogranitos finos a médios na porção norte da área, apresenta feição descontínua e alongada, com orientação NE-SW e inflexão para NW-SE, em contato com a Suíte Pedra Pintada e o Grupo Surumu. As unidades estudadas foram divididas em dois grupos: biotita-álcali-feldspato granito de granulação fina (corpos Areia Branca e Ametista); e álcali-feldspato granito geralmente mais grosseiro e porfírico (plútons Serra do Aricamã, Santa Luzia, Cantinho e da Flecha) (Viana, 2012).

No produto gamaespectrométrico, os corpos da Suíte Aricamã exibem valores altos a muito altos nos canais eTh e eU, enquanto o canal K diferencia os plútons mais finos (valores baixos) dos mais porfíricos (valores altos a muito altos). O produto ASA indica que a maioria apresenta baixa susceptibilidade magnética, exceto o plúton Serra do Aricamã, sugerindo intrusão ultramáfica/máfica.

Corpos intrusivos básicos, como o Lamprófiro Serra do Cupim e o Gabro Igarapé Tomaz, mostram susceptibilidade magnética elevada e geometrias semi-circulares ou sub-alongadas, geralmente alinhadas a NW-SE. A integração das assinaturas aerogeofísicas e dos lineamentos estruturais sugere que estas intrusões aproveitaram antigas zonas de fraqueza na crosta.

Depósitos superficiais, incluindo aluvionares e solos residuais, apresentam baixas assinaturas nos canais eTh e eU e baixas a intermediárias em K. Já o Grupo Cauarane e a Formação Tepequém foram delimitados com base nas assinaturas aerogeofísicas e no relevo destacado em imagens SRTM, apresentando baixas respostas magnéticas e radioativas, características de rochas para-derivadas (Dobrin & Savit, 1988; Dickson & Scott, 1977).

A integração de dados petrográficos e aerogeofísicos (gamaespectrometria e magnetometria) permitiu delimitar litotipos e suas assinaturas geofísicas, possibilitando a proposição de um mapa lito-geofísico detalhado da área (Fig. 11). A diferenciação das fácies do corpo Flechal, assim como a delimitação de outras unidades litoestratigráficas, confirma a eficácia da integração aerogeofísica e petrográfica em regiões amazônicas, caracterizadas muitas vezes pelo difícil acesso bem como densa cobertura vegetal.

6 Conclusão

A análise integrada de petrografia e aerogeofísica permitiu caracterizar detalhadamente o Corpo Flechal da Suíte Pedra Pintada, evidenciando um zoneamento composicional de sul para norte, marcado pelo aumento gradual de quartzo e álcali-feldspato e pela redução do teor de minerais ferromagnesianos. Sinais de alteração hidrotermal foram identificados, abrangendo não apenas a Fácies Norte mais diferenciada, mas também fácies quimicamente menos evoluídas.

Os produtos da aerogamaespectrometria foram fundamentais para definir as assinaturas lito-geofísicas, permitindo a correlação entre litotipos e áreas de difícil acesso terrestre. Contagens muito altas de eTh e eU foram observadas na porção norte, contrastando com valores intermediários no sul, enquanto o canal de K, aliado às imagens SRTM, evidenciou processos supergênicos locais

O uso combinado da Razão eTh/K e do Parâmetro F permitiu delimitar uma área com provável atuação de processo hidrotermal, localizada na Fácies Norte do corpo granítico. A análise magnetométrica indicou caráter intrusivo tardio nessa área, com a Inclinação do Sinal Analítico (ISA) evidenciando relevo magnético em subsuperfície, enquanto a Amplitude do Sinal Analítico (ASA) mostrou corpos de alta susceptibilidade magnética intrusivos em diversas unidades, destacando a Fácies Sul como mais magnética.

Dessa forma, mesmo diante de desafios relacionados a acessibilidade, altos relevos e densas coberturas vegetais, a aerogeofísica integrada à petrografia se mostrou uma ferramenta eficaz para o mapeamento geológico na região amazônica. Além de refinar a delimitação das fácies do corpo Flechal, permitiu também caracterizar a distribuição das demais unidades litoestratigráficas da área por meio da proposição de um mapa lito-geofísico detalhado. A continuidade de trabalhos de detalhamento é recomendada para aprofundar o entendimento evolutivo da região e validar os diversos aspectos levantados nesta pesquisa.

MAPA LITO-GEOFÍSICO DA ÁREA DE ESTUDO

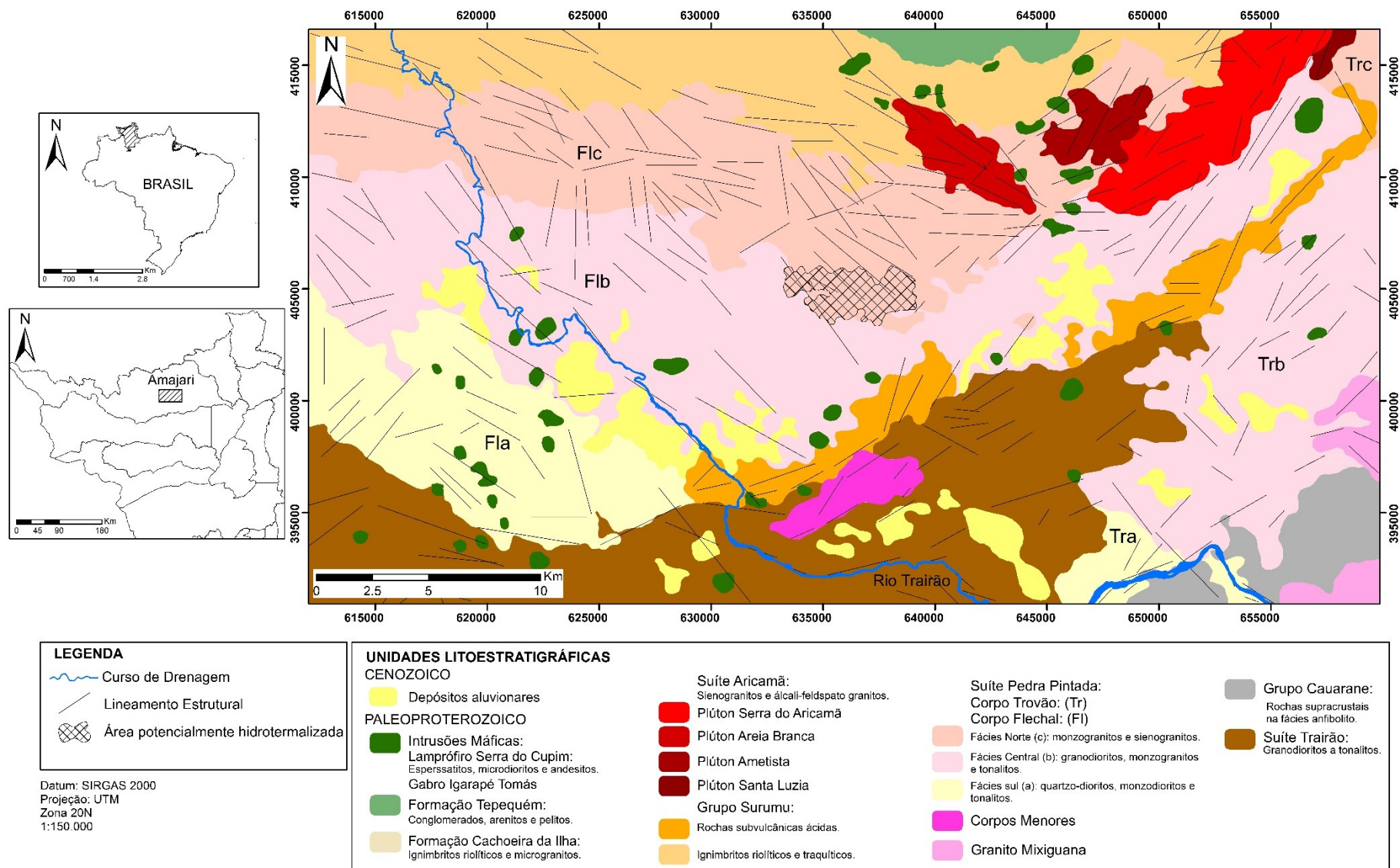


Figura 11. Mapa lito-geofísico interpretado e proposto para a área estudada (modificado de CPRM, 2010).

Figure 11. Interpreted litho-geophysical map proposed for the studied area (modified from CPRM, 2010).

Agradecimentos: Os autores agradecem ao Laboratório de Ensino de Geociências (LabEnGeo) e ao Departamento de Geologia da Universidade Federal de Roraima (UFRR), pela disponibilidade de meios e instalações para a realização deste trabalho. Aos revisores e editores da revista pelas sugestões que viabilizaram a publicação.

Contribuições dos Autores: Concepção, A.L.B.L. e L.M.F.; metodologia, L.M.F.; *software* e validação, A.L.B.L., L.M.F. e G.G.A.; análise formal, A.L.B.L. e L.M.F.; pesquisa, A.L.B.L., L.M.F., G.G.A., N.A.B. e A.B.S.U.; preparação de dados, A.L.B.L., L.M.F., N.A.B. e A.B.S.U.; escrita do artigo, A.L.B.L.; revisão, L.M.F., G.G.A. e N.A.B.; supervisão, L.M.F.; aquisição de financiamento, L.M.F. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

Conflito de Interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.

Referências

- Almeida, M.E.; Macambira, M.J.B.; Oliveira, E.C. 2007. Geochemistry and zircon geochronology of the I-type high-K calc-alkaline and S-type granitoid rocks from southeastern Roraima, Brazil: Orosirian collisional magmatism evidence (1.97-1.96 Ga) in central portion of Guyana Shield. *Precambrian Research*, 155: 69-97. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2007.01.004>
- Andrade, G.G. 2017. *Contribuição ao estudo geológico da porção sudoeste da Folha NA.20-X-A-III, Vila Tepequém (RR), por meio de análise aerogeofísica. Boa Vista*. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Roraima.
- Barbosa, N.A. 2017. *Caracterização geofísica e petrográfica dos ignimbritos da Formação Cachoeira da Ilha, Norte de Roraima. Boa Vista*. Monografia de Conclusão de Curso, Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Roraima.
- Barbosa, N.A.; Fuck, R.A.; Souza, V.S.; Dantas, E.L.; Tavares Júnior, S.S. 2021. Evidence of a Paleoproterozoic SLIP, northern Amazonian Craton, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 111: 103453. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103453>
- Barbosa, N.A.; Soares, H.F.; Feitoza, L.M. 2020. Análise petrográfica dos ignimbritos bem preservados da Formação Cachoeira da Ilha, Centro-norte do Cráton Amazônico, estado de Roraima. *Estudos Geológicos*, 30(1): 100-114. <https://doi.org/10.18190/1980-8208/estudosgeologicos.v30n1p100-114>
- Blum, M.L.B. 1999. *Processamento e interpretação de dados de geofísica aérea no Brasil Central e sua aplicação à geologia regional e à prospecção mineral*. Brasília. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geociências. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.
- Briggs, I.C. 1974. Machine contouring using minimum curvature. *Geophysics*, 39(1): 39-48. <https://doi.org/10.1190/1.1440410>
- Burger, R.H.; Sheehan, F.A.; Jones, C.H. 2006. *Introduction to Applied Geophysics: Exploring the shallows subsurface*. Norton & Company, Inc. 600p.
- CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. 2001. *Projeto Aerogeofísico Província Mineral Parima-Uraricoera*. Brasília. (Relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. 28v).
- CPRM. 2006. *Programa Integração, Atualização e Difusão dos Dados de Geologia do Brasil*. Subprograma Mapas Geológicos Estaduais, escala: 1:1.000.000.
- CPRM. 2010. *Geologia e Recursos Minerais da Folha Vila de Tepequém NA.20-X-A-III*. 1 CD-ROM.
- CPRM. 2019. *Manual Técnico de Processamento e Interpretação Aerogeofísica*. Brasília: DISEGE/SGB.
- Dickson, B.L. & Scott, K. M. 1997. Interpretation of aerial-gamma-ray survey adding the geochemical factor. *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics*, 17(2): 187-200.
- Dobrin, M.B. & Savit, C.H. 1988. *Geophysical Prospecting*. Nova Iorque: McGraw Hill, 867p.

- Dutra, L.F.; Louro, V.H.A.; Monteiro, L.V.S. 2023. The Southern IOCG and hydrothermal nickel mineralization trend of the Carajás Mineral Province: Airborne geophysical and remote sensing evidences for structural controls and hydrothermal signature. *Journal of Applied Geophysics*, 213: 105016. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2023.105016>
- Ferreira, F.J.F.; Guimarães, G.B.; Martin, V.M.O. 2009. Levantamentos gamaespectrométricos em granitos diferenciados. II: O exemplo do Granito Joaquim Murtinho, Complexo Granítico Cunhaporanga, Paraná. *Geologia USP, Série Científica*, 9(1): 55-72.
- Fraga, L.M.B.; Araújo, R.V.; Duarte, B.P. 1997. Igneous Charnockitic Rocks of the Kanuku Complex and Serra da Prata Suite in the Central Guiana Belt (CGB), Roraima State, Brazil. In: International Symposium on Granites and Associated Rocks (ISGAM), 2, 1997, Salvador. *Resumos...* Salvador. p. 112-113.
- Fraga, L.M.B.; Dreher, A.M.; Graziotin, H.; Reis, N.J.; Farias, M.S.G.; Ragatky, D. 2010. *Geologia e recursos minerais da Folha Vila de Tepequém – Na.20-X-A-III, estado de Roraima, escala 1:100.000*. 1 CD-ROM.
- Fraga, L.M.B.; Reis, N.J.; Araújo, R.V.; Haddad, R.C. 1996. Suíte Intrusiva Pedra Pintada - Um Registro do Magmatismo Pós-Colisional no Estado de Roraima. In: SBG, Simpósio da Geologia da Amazônia, 5, 1996, Belém. *Anais ...* Belém, SBG. p. 76-78.
- Gnojeck, I. & Prichystal, A. 1985. A new zinc mineralization detected by airborne gamma-ray spectrometry in northern Moravia (Czechoslovakia). *Geoexploration*, 23(4): 491-502. [https://doi.org/10.1016/0016-7142\(85\)90076-6](https://doi.org/10.1016/0016-7142(85)90076-6)
- Guareschi, F. 2020. *Integração de Dados Geofísicos e Petrográficos com Ênfase na Identificação de Alvos Potenciais de Alteração Hidrotermal na Suíte Aricamã, Norte de Roraima*. Boa Vista, Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Roraima.
- Haddad, R.C.; Reis, N.J.; Faria, M.S.G.; Fraga, L.M.B. 1999. Caracterização Faciológica Preliminar dos Granitóides e Rochas Vulcânicas da Porção Nor-Nordeste de Roraima. In: SBG, SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 6, 1999, Manaus. *Resumos...* Manaus. p. 523-526.
- Kearey, P.; Brooks, M.; HILL, I. 2009. *Geofísica de exploração*, São Paulo, Oficina de textos, 438p.
- Le Maitre, R.W. 2002. *Igneous rocks: A classification and glossary of terms*. 2nd ed. Cambridge University Press, 232p.
- Luiz, G. & Silva, L.M.C. 1995. *Geofísica de Prospecção*. Pará, EDUFPA.
- Ostrovskiy, E. Ya. 1973. Antagonism of radioactive elements in wallrock alterations fields and its use in aerogamma spectrometric prospecting. *International Geology Review*, 17: 461-468. <https://doi.org/10.1080/00206817509471687>
- Reis, N.J.; Fraga, L.M.; Faria, M.S.G.; Almeida, M.E. 2003. Geologia do Estado de Roraima. *Géologie de la France*, 2(3): 71-84.
- Reis, N.J. & Yáñez, G. Estratigrafia do Bloco Sedimentar Pacaraima (BSP) ao longo da Fronteira Brasil-Venezuela (Santa Elena de Uairén - Monte Roraima). In: SBG/Núcleo Norte, Simpósio de Geologia da Amazônia, 6, 1999, Manaus. *Resumos...* Manaus. p. 427-430.
- Ribeiro, V.B.; Mantovani, M.S.M.; Louro, V.H.A. 2013. Aerogamaespectrometria e suas aplicações no mapeamento geológico. *Terrae Didática*, 10: 29-51.
- Roest, W.R.; Verhoef, J.; Pilkington, M. 1992. Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal. *Geophysics*, 57(1): 116-125. <https://doi.org/10.1190/1.1443174>
- Silva, A.M. & Medeiros, W.E. 2005. *Interpretação de dados magnéticos através do sinal analítico e seus derivados aplicados à geologia estrutural do NE do Brasil*. *Revista Brasileira de Geofísica*, 23(4): 367-378. <https://doi.org/10.1190/1.1443174>
- Swain, C.J. 1978. A fortran IV program for interpolating irregularly spaced data using the difference equations for minimum curvature. *Computers & Geosciences*, 4(2): 209. [https://doi.org/10.1016/0098-3004\(78\)90093-6](https://doi.org/10.1016/0098-3004(78)90093-6)
- Telford, W.M.; Geldart, L.P.; Sheriff, R.E. 1990. *Applied Geophysics*. 2nd ed. Cambridge University Press, 770p.
- Uchôa, A.B.S. 2020. *Análise Integrada de Dados Aerogeofísicos e Geológicos para Caracterização de Zonas Hidrotermais no Corpo Flechal da Suíte Pedra Pintada, Amajari - Roraima*. Boa Vista, Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Roraima.

Vasconcelos, R.M.; Metelo, M.S.; Mota, A.C.; Gomes, R.D. 1990. *Geofísica em levantamentos geológicos*. Relatório DIGEOF/CPRM, Rio de Janeiro.

Verduzco, B.; Fairhead, J.D.; Green, C.M.; Mackenzie, C. 2004. New insights into magnetic derivatives for structural mapping. *The Leading Edge*, 23(2): 116-119. <https://doi.org/10.1190/1.1651454>

Viana, K.L.G. 2012. *Petrologia do magmatismo Aricamã na região Da Vila do Tepequém (RR), Domínio Urariquera – Cráton Amazônico*. Manaus, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Amazonas.