



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



PEDRO EVANDI DE CARVALHO COMARELLA

INTEGRAÇÃO GEOLÓGICA-GEOFÍSICA DO PLÚTON VENDA NOVA (ES),
ORÓGENO ARAÇUAÍ, SUDESTE DO BRASIL

MONOGRAFIA nº 597

OURO PRETO

Julho, 2026

PEDRO EVANDI DE CARVALHO COMARELLA

**INTEGRAÇÃO GEOLÓGICA-GEOFÍSICA DO PLÚTON VENDA NOVA (ES),
ORÓGENO ARAÇUAÍ, SUDESTE DO BRASIL**

Monografia do Projeto Final de Curso
apresentado ao Departamento de Geologia da
Escola de Minas da Universidade Federal de
Ouro Preto como requisito para avaliação da
disciplina Projeto Final de Curso II – GEO144.

Orientador: Prof. Dr. Filipe Altoé Temporim

OURO PRETO

2026

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

C728i Comarella, Pedro Evandi de Carvalho.
Integração geológica-geofísica do Plúton Venda Nova (ES), Orógeno Araçuaí, sudeste do Brasil. [manuscrito] / Pedro Evandi de Carvalho Comarella. - 2026.
72 f.: il.: color., tab., mapa.

Orientador: Prof. Dr. Filipe Altoé Temporim.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.
Escola de Minas. Graduação em Engenharia Geológica .

1. Geofísica. 2. Rochas ígneas - Rochas magmáticas intrusivas. 3. Magnetometria. 4. Orógeno Araçuaí. I. Temporim, Filipe Altoé. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 550.3:552.3

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



FOLHA DE APROVAÇÃO

Pedro Evandi de Carvalho Comarella

Integração geológica-geofísica do pluton Venda Nova (ES), orógeno Araçuaí, sudeste do Brasil

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Geológica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em engenharia geológica

Aprovada em 17 de julho de 2026

Membros da banca

Doutor - Filipe Altoé Temporim - Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto
Doutor - Luiz Fernandes Dutra - Universidade Federal de Ouro Preto
Doutor - Rodson de Abreu Marques - Universidade Federal de Ouro Preto

Filipe Altoé Temporim, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 17/07/2026



Documento assinado eletronicamente por **Filipe Altoé Temporim, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 27/07/2026, às 21:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1148122** e o código CRC **65FA549E**.

Dedico este trabalho à minha família, à minha
namorada e a todos que estiveram ao meu lado
ao longo desta trajetória

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à minha família, pelo apoio, incentivo e compreensão ao longo de toda a minha trajetória acadêmica. O suporte recebido em diferentes momentos foi fundamental para que eu pudesse enfrentar as dificuldades, persistir nos objetivos e concluir esta etapa da minha formação.

À minha namorada, agradeço pelo carinho, paciência, apoio e incentivo ao longo desta etapa. Sua presença foi muito importante nos momentos de dificuldade, ansiedade e cansaço, tornando essa caminhada mais leve e significativa.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Filipe Altoé Temporim, agradeço pela orientação, disponibilidade, paciência e pelas contribuições ao desenvolvimento deste trabalho. Suas sugestões e direcionamentos foram essenciais para a construção desta monografia e para o meu amadurecimento acadêmico.

Agradeço também à Universidade Federal de Ouro Preto, à Escola de Minas e ao Departamento de Geologia, pela formação oferecida e pela oportunidade de aprendizado ao longo do curso de Engenharia Geológica. Aos professores que fizeram parte da minha formação, deixo meu reconhecimento pelos ensinamentos transmitidos dentro e fora da sala de aula.

Aos colegas e amigos que estiveram presentes durante essa caminhada, agradeço pela convivência, pelas conversas, pelo apoio nos momentos de dificuldade e pelas experiências compartilhadas ao longo da graduação. Cada contribuição, direta ou indireta, fez parte deste processo.

Agradeço ainda a todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho, seja no apoio em campo, nas discussões geológicas, na elaboração dos mapas, na descrição das amostras ou no incentivo durante a etapa final do PFC.

RESUMO

O Plúton Venda Nova (PVN), localizado na região serrana do Espírito Santo, é um corpo intrusivo pós-colisional associado à Suíte G5 do Orógeno Araçuaí. Este trabalho integrou dados aeromagnetométricos, aerogamaespectrométricos, geológicos, de campo e petrográficos para interpretar a compartimentação interna do plúton e relacionar suas unidades litológicas às respostas geofísicas. Foram utilizados o Campo Magnético Anômalo, a Amplitude do Sinal Analítico, o Gradiente Horizontal Total, os canais de K, eU e eTh e a composição ternária RGB. A magnetometria permitiu definir cinco magnetofácies. As classes de menor resposta ocorrem principalmente no entorno e nas bordas do PVN, enquanto as magnetofácies 3, 4 e 5 se concentram no interior do corpo. A magnetofácies 5, com valores superiores a 2 nT/m, ocorre em anomalias pontuais de geometria irregular a semicircular. Os lineamentos apresentam direção predominante NE–SW, principalmente entre N55E e N70E, além de feições NW–SE e N–S, padrão compatível com a foliação regional e com estruturas próximas, como a Zona de Cisalhamento Guaçuí. A gamaespectrometria permitiu individualizar seis radiofácies. A radiofácies 1 foi relacionada ao envoltório sienomonzonítico e quartzo-sienítico; a radiofácies 2, ao anel norítico-charnockítico; a radiofácies 3, aos granitos periféricos e às variações félsicas do envoltório; e a radiofácies 5, ao núcleo gabro-norítico. A radiofácies 4, localizada entre o núcleo e o envoltório, foi interpretada como uma possível expressão geofísica da zona de transição monzodiorítica descrita na literatura, mas não individualizada no mapa regional utilizado. As cinco lâminas delgadas analisadas deram suporte às interpretações dos domínios félsicos intermediários e do anel norítico-charnockítico. Os resultados mostram que o PVN possui comportamento geofísico heterogêneo e indicam uma compartimentação interna marcada por contrastes magnéticos, variações radiométricas e controle de estruturas regionais. As fácies geofísicas, entretanto, não representam correspondências diretas com unidades litológicas, devendo ser interpretadas de forma integrada com os dados geológicos e petrográficos.

Palavras-chave: Plúton Venda Nova; Orógeno Araçuaí; aerogeofísica; magnetometria; gamaespectrometria; domínios geofísicos.

ABSTRACT

The Venda Nova Pluton (PVN), in the mountainous region of Espírito Santo State, is a post-collisional intrusive body associated with the G5 Suite of the Araçuaí Orogen. This study integrated airborne magnetic, gamma-ray spectrometric, geological, field, and petrographic data to interpret the internal zoning of the pluton and relate its lithological units to their geophysical responses. The Magnetic Anomaly Field, Analytic Signal Amplitude, Total Horizontal Gradient, K, eU, and eTh channels, and the RGB ternary composition were used. Magnetometric analysis allowed the definition of five magnetofacies. The lower-response classes occur mainly around and along the margins of the PVN, whereas magnetofacies 3, 4, and 5 are concentrated within the pluton. Magnetofacies 5, with values above 2 nT/m, occurs as localized anomalies with irregular to semicircular geometry. The interpreted lineaments show a predominant NE–SW trend, mainly between N55E and N70E, in addition to NW–SE and N–S features. This pattern is consistent with the regional foliation and nearby structures, such as the Guaçuí Shear Zone. Gamma-ray spectrometry allowed the identification of six radiofacies. Radiofacies 1 was related to the syen monzonitic and quartz-syenitic envelope; radiofacies 2 to the noritic-charnockitic ring; radiofacies 3 to peripheral granites and felsic variations of the envelope; and radiofacies 5 to the gabbro-noritic core. Radiofacies 4, located between the core and the envelope, was interpreted as a possible geophysical expression of the monzodioritic transition zone described in the literature but not individualized in the regional geological map used. The five thin sections analyzed supported the interpretation of felsic to intermediate domains and the noritic-charnockitic ring. The results show that the PVN has a heterogeneous geophysical behavior and an internal organization marked by magnetic contrasts, radiometric variations, and the influence of regional structures. However, the geophysical facies do not directly correspond to single lithological units and must be interpreted together with geological and petrographic data.

Keywords: Venda Nova Pluton; Araçuaí Orogen; airborne geophysics; magnetometry; gamma-ray spectrometry; geophysical domains.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização do Plúton Venda Nova.	3
Figura 2: OA na região central do Paleocontinente Gondwana, com a área do PVN destacada.	6
Figura 3: Componentes geotectônicos do Orógeno Araçuaí representados em perfil.	8
Figura 4: Mapa geológico simplificado do PVN.....	11
Figura 5: Aspectos de campo das rochas do PVN. A) Rocha intermediária associada ao núcleo do plúton. B) Disposição de afloramentos máficos associados ao núcleo do plúton. C) Rocha félsica associada ao envoltório sienomonzonítico com enclaves máficos/intermediários (Emi). D) Rocha intermediária associada ao anel charnockítico do PVN.....	12
Figura 6: Representação esquemática da orientação e das principais componentes do campo geomagnético, incluindo o campo total (B), as componentes horizontal (H) e vertical (Z), a inclinação magnética (I) e a declinação magnética (D).....	14
Figura 7: Representação esquemática de um elemento cilíndrico, com área de seção transversal Ae comprimento L, submetido a um campo magnético externo B. O alinhamento dos dipolos magnéticos elementares na direção do campo produz a magnetização induzida do material. .	15
Figura 8: Valores médios e intervalos de susceptibilidade dos tipos de rocha mais comuns...	17
Figura 9: Abundância relativa de elementos radioativos em diferentes tipos de rochas ígneas e sedimentares químicas.....	19
Figura 10: Localização dos pontos amostrais na área de estudo.	24
Figura 11: Lâminas delgadas das amostras VN01, VN06, VN08, VN09 e VN10.....	26
Figura 12: Diagrama QAP com VN01, VN06, VN08, VN09 e VN10	28
Figura 13: Fotomicrografias da lâmina VN01, mostrando: (A) textura fanerítica e inequigranular, com hornblenda (Hbl) e biotita (Bt), em luz polarizada plana; (B) detalhe de hornblenda associada a mineral opaco (Op), em luz polarizada plana; (C) cristais de microclínio (Mc), reconhecidos pela geminação em grade, e biotita, sob.....	30
Figura 14: Fotomicrografias da lâmina VN06, mostrando: (A) textura porfírica da rocha, com matriz fina, em luz polarizada plana; (B) a mesma seção sob polarizadores cruzados; (C) detalhe de biotita (Bt) associada a mineral	31
Figura 15: Fotomicrografias da lâmina VN08, mostrando: (A) textura geral da rocha e associação entre minerais opacos (Op), hornblenda (Hbl) e biotita (Bt), em luz polarizada plana; (B) a mesma seção sob polarizadores cruzados, destacando plagioclásio (Pl) e clinopiroxênio (Cpx); (C) detalhe de minerais opacos ee produto de	33

Figura 16: Fotomicrografias da lâmina VN09, mostrando: (A) a textura fanerítica e inequigranular da rocha, em luz polarizada plana; (B) a mesma seção sob polarizadores cruzados, destacando o predomínio de plagioclásio (Pl); (C) associação entre biotita (Bt) e hornblenda (Hbl), em luz polarizada plana; e (D) a mesma seção sob polarizadores cruzados, com plagioclásio associado às fases máficas.....	34
Figura 17: Fotomicrografias da lâmina VN10, mostrando: (A) a textura da rocha e a presença de minerais opacos, em luz polarizada plana; (B) a mesma seção sob polarizadores cruzados, destacando o domínio rico em plagioclásio e a presença de piroxênios; (C) cristais de hornblenda; e (D) cristais de ortopiroxênio e clinopiroxênio.....	36
Figura 18: Mapa da Amplitude do Sinal Analítico do Espírito Santo, com foco na área do PVN.	37
Figura 19: A) Mapa da ASA. B) Mapa das magnetofácies interpretadas na área de estudo, e C) mapa geológico.....	38
Figura 20: Mapa do THG do PVN com os lineamentos interpretados.....	42
Figura 21: Mapa dos lineamentos extraídos do mapa THG nos produtos derivados A) ASA, B) 1dZ THG) e seu diagrama de roseta (C).....	44
Figura 22: Mapa das principais estruturas geológicas da região do Plúton Venda Nova, com destaque para a Zona de Cisalhamento Guaçuí (ZCG). As estruturas foram compiladas da base cartográfica da SGB.....	46
Figura 23: Mapa radiométrico dos canais K, eU, eTh e ternário RGB – K, eTh, eU, com o limite do PVN definido pelo polígono em branco.	47
Figura 24: Mapa ternário dos canais radiométricos (R: K, G: eTh, B: eU) com o limite das radiofácies do PVN delimitado de branco.	48
Figura 25: Mapa dos domínios / radiofácies do PVN interpretados.....	48
Figura 26: Mapa integrado das radiofácies e litologias do PVN.....	50
Figura 27: Amostra de rocha máfica, composta por plagioclásio e minerais máficos (Ponto VN16), interpretado como correspondente aos gabros do núcleo do PVN.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Minerais e ocorrências de potássio (K).	21
Tabela 2: Minerais e ocorrência de urânio (U) e tório (Th).	21
Tabela 3: Mineralogia principal, classificação macroscópica e coordenadas das amostras analisadas.	27

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

OA	Orógeno Araçuaí
AWCO	Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental
PVN	Plúton Venda Nova
K	Potássio
U	Urânio
Th	Tório
eU	Urânio equivalente
eTh	Tório equivalente
SGB	Serviço Geológico do Brasil
CMA	Campo Magnético Anômalo
ASA	Amplitude do Sinal Analítico
THG	Gradiente Horizontal Total
1dZ	Primeira Derivada Vertical
RGB	<i>Red, Green and Blue</i> / Vermelho, Verde e Azul
SIG	Sistema de Informação Geográfica
GSZ	Zona de Cisalhamento Guaçu
Mc	Microclínio
Ort	Ortoclásio
Kfs	Feldspato potássico
Bt	Biotita
Hbl	Hornblenda
Op	Minerais opacos
Plg	Plagioclásio
Cpx	Clinopiroxênio
Opx	Ortopiroxênio
Emi	Enclave máfico/intermediário
LP	Luz plana / polarizador paralelo

LX

Luz cruzada / polarizador cruzado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	2
1.2	OBJETIVOS	3
1.3	JUSTIFICATIVA	4
2	CONTEXTO GEOLÓGICO	5
2.1	EVOLUÇÃO TECTÔNICA DO ORÓGENO ARAÇUAÍ	5
2.2	MAGMATISMO PÓS-COLISIONAL DA SUÍTE G5	8
2.3	GEOLOGIA LOCAL	9
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
3.1	AEROGEOFÍSICA	13
3.1.1	Levantamento Magnetométrico	13
3.1.1.1	Campo geomagnético	14
3.1.1.2	Magnetismo de Rochas e Minerais.....	15
3.1.1.3	Processamento e Filtros	17
3.1.2	Gamaespectrometria	18
3.1.2.1	Dcaimento radioativo.....	19
3.1.2.2	Radioatividade de Rochas e Minerais	20
3.1.2.3	Processamento e filtros	22
4	MATERIAIS E MÉTODOS	23
4.1	BANCO DE DADOS AEROGEOFÍSICOS	23
4.2	DADOS GEOLÓGICOS	23
4.3	PROCESSAMENTO DE DADOS.....	24
4.4	LÂMINAS DELGADAS	25
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
5.1	DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS.....	27
5.1.1	Macroscópica	27

5.1.2	Microscópica	27
5.2	AEROGEOFÍSICA	36
5.2.1	Magnetometria.....	36
5.2.1.1	Magnetofácies.....	38
5.2.1.2	Lineamentos.....	41
5.2.2	Gamaespectrometria	46
5.2.2.1	Radiofácies	47
5.2.2.2	Integração Analise Gamaespectrométrica e Mapa Litológico.....	50
6	CONCLUSÃO.....	53
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	55

1 INTRODUÇÃO

O Plúton Venda Nova (PVN), localizado na região serrana do Espírito Santo, é uma importante intrusão pós-colisional associado a Suíte G5 do Orógeno Araçuaí. Esse plúton está relacionado aos estágios finais da evolução do Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental, marcados por colapso gravitacional, ascensão de magmas mantélicos e interação entre crosta e manto (Wiedemann-Leonardos *et al.*, 2000; Pedrosa-Soares *et al.*, 2011). O PVN se destaca pela diversidade de rochas, incluindo termos máficos, intermediários, charnockíticos e félsicos, além de apresentar uma organização interna complexa, com núcleo grabro-norítico, envoltório sienomonzonítico, halo monzodiorítico e anel charnockítico (Ludka *et al.*, 1998; Mendes e De Campos, 2012)

A interpretação da arquitetura interna de corpos plutônicos como o PVN exige a integração de diferentes dados geológicos e geofísicos. Isso se deve ao fato de que a cartografia geológica regional, embora seja uma base importante, não representa em detalhe todas as variações internas do corpo. Neste contexto, a magnetometria e a gamaespectrometria são métodos importantes para reconhecer contrastes litológicos, variações mineralógicas e feições estruturais. A magnetometria está relacionada principalmente à distribuição de minerais magnéticos e aos contrastes de susceptibilidade magnética, enquanto a gamaespectrometria permite avaliar a distribuição superficial dos radioelementos K, eU e eTh, associados à composição mineralógica e ao grau de diferenciação das rochas (Kearey *et al.*, 2009; Dentith e Mudge, 2014).

A integração de dados geológicos e geofísicos já foi usada por Oliveira *et al.* (2008) para estudar os plútons Redenção e Bannach, na Província Carajás. Eles combinaram diferentes tipos de dados (gravimetria, radiometria, magnetismo, petrografia e geoquímica) para entender a estrutura desses corpos. Os resultados mostraram que os plútons têm variações internas, indicam mais de um evento de formação magmática e apresentam forma tabular com variação composicional interna.

Outro exemplo é o Granito Tromm, na Alemanha, onde Frey *et al.* (2023) usaram dados magnéticos para investigar estruturas internas do plúton. Eles observaram um padrão com valores mais altos no centro e menores nas bordas, o que pode estar ligado à evolução do magma durante o resfriamento ou a processos de alteração das rochas.

Na Ilha de Elba, Guastaldi *et al.* (2013) usaram dados gamaespectrométricos para mapear a distribuição de elementos radioativos (K, eU e eTh). Eles conseguiram diferenciar unidades geológicas e identificar áreas com altos teores desses elementos, como o Plúton Monte

Capanne. Também encontraram anomalias que indicam a presença de diques e veios hidrotermais que não estavam mapeados anteriormente.

Juntos, esses estudos mostram diferentes usos de métodos geofísicos em corpos plutônicos, recorrendo a integração de dados para entender a estrutura interna, uso de magnetometria para identificar zonas e fraturas, e uso de gamaespectrometria para diferenciar unidades e detectar feições não mapeadas.

Neste trabalho, o PVN foi analisado por meio da integração entre dados aeromagnetométricos, aerogamaespectrométricos, dados geológicos disponíveis, observações de campo e descrição petrográfica de amostras representativas. Os produtos magnetométricos, são utilizados para reconhecer domínios magnéticos, lineamentos e possíveis limites internos do plúton. Já os produtos gamaespectrométricos auxiliam na individualização de radiofácies e na avaliação da variação radiométrica do corpo.

Dessa forma, este estudo busca compreender como as respostas geofísicas do PVN se relacionam com sua geologia, suas unidades litológicas e a mineralogia observada em lâmina delgada. A integração desses dados permite discutir a compartimentação interna do plúton e contribuir para uma interpretação mais detalhada de sua organização geológica.

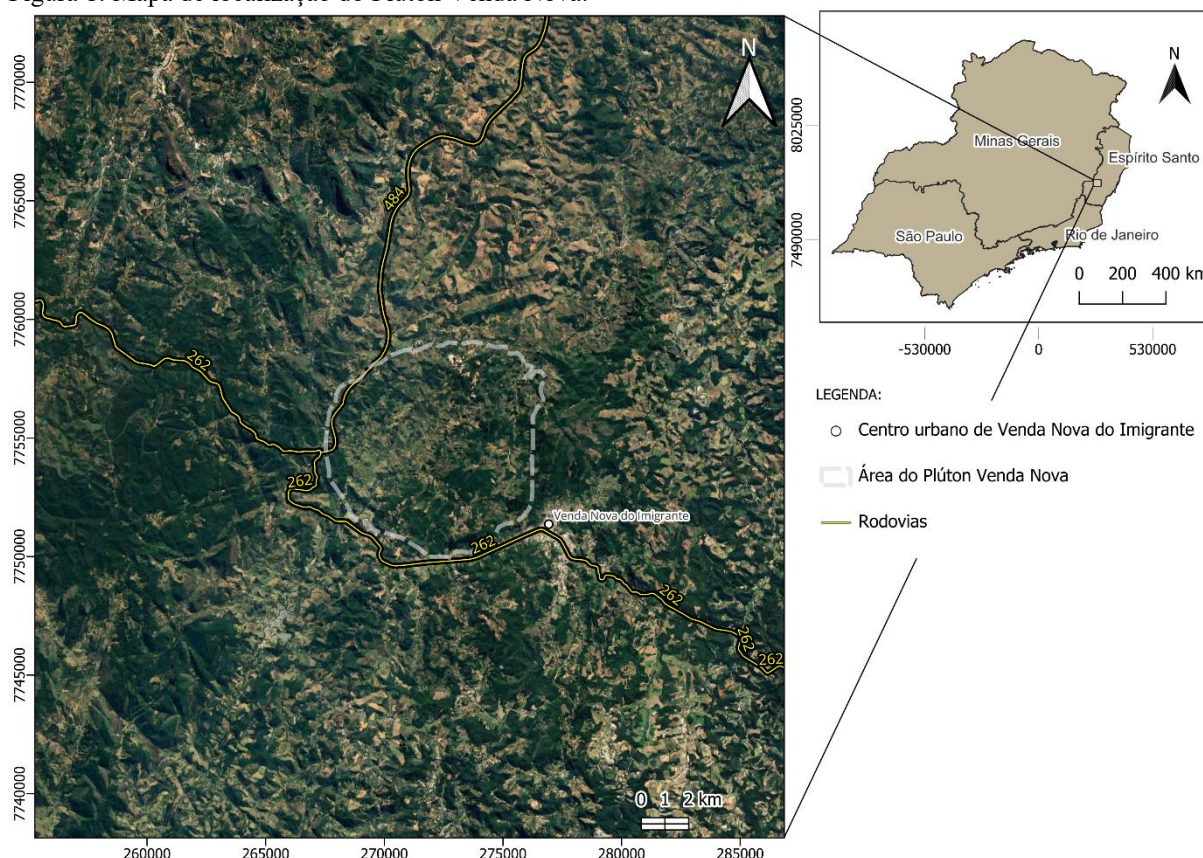
1.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O acesso à área de estudo, partindo de Ouro Preto (MG), é realizado inicialmente pela BR-365 até o município de Mariana, seguindo posteriormente pela BR-262 em direção aos municípios de Acaiaca, Ponte Nova, Rio Casca, Abre Campo e Manhuaçu. A partir de Manhuaçu, acessa-se a BR-262 no sentido leste, atravessando a divisa entre os estados de Minas Gerais e Espírito Santo e passando pelos municípios de Ibatiba e Brejetuba até alcançar o município de Venda Nova do Imigrante (Figura 1).

O percurso entre Ouro Preto e Venda Nova do Imigrante totaliza aproximadamente 330 km. O acesso aos afloramentos no interior do PVN é feito por meio de rodovias estaduais e estradas vicinais que ligam os municípios de Venda Nova do Imigrante, Conceição do Castelo e Afonso Cláudio.

A área de estudo está localizada na região serrana do estado do Espírito Santo, e está situado em uma área que engloba os três municípios previamente citados.

Figura 1: Mapa de localização do Plúton Venda Nova.



Fonte: SGB (2019). Elaborado pelo autor

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho foi realizar a integração de dados aerogeofísicos e geológicos do PVN, visando compreender a relação entre as diferentes fácies do corpo intrusivo e suas respostas magnetométricas e gamaespectrométricas

Dentre os objetivos específicos:

- 1 Processar e interpretar dados aeromagnetométricos e gamaespectrométricos da área do PVN;
- 2 Identificar e caracterizar domínios geofísicos associados às diferentes unidades litológicas do PVN;
- 3 Avaliar a contribuição dos métodos aerogeofísicos na delimitação de contatos litológicos e estruturas geológicas;
- 4 Correlacionar os padrões observados nos produtos geofísicos com as informações geológicas disponíveis para a área;
- 5 Caracterizar petrograficamente e mineralogicamente amostras representativas dos principais litotipos amostrados;

- 6 Relacionar a composição mineralógica das amostras com suas respostas geofísicas, auxiliando na interpretação dos dados geofísicos.

1.3 JUSTIFICATIVA

Este estudo é importante porque ajuda a compreender os processos magmáticos que ocorreram nas fases finais de evolução desse orógeno. O corpo apresenta grande variedade de rochas, incluindo tipos máficos, intermediários, charnockíticos e félsicos, o que indica uma organização interna complexa, marcada por diferenças composicionais e mineralógicas.

Embora o PVN já tenha sido estudado em trabalhos envolvendo petrologia, petrografia, geoquímica e geocronologia, ainda são necessárias interpretações que integrem essas informações com dados aerogeofísicos. O mapa geológico disponível é uma base importante, mas, por estar em escala regional, pode não mostrar variações internas mais detalhadas do plúton. Nesse sentido, a magnetometria e a gamaespectrometria ajudam a complementar a interpretação geológica, pois permitem reconhecer contrastes relacionados à presença de minerais magnéticos, radioelementos e possíveis estruturas internas.

A magnetometria é importante neste estudo porque pode diferenciar rochas do PVN que apresentam minerais máficos e opacos, como piroxênio, hornblenda, biotita, ilmenita e titanomagnetita, devido suas respostas magnéticas (Clark, 1999). A gamaespectrometria, por sua vez, permite analisar a distribuição superficial de K, eU e eTh, elementos associados principalmente a feldspatos, micas e minerais acessórios, como zircão, titanita, allanita e monazita (IAEA, 2003). Assim, a combinação desses métodos pode ajudar a diferenciar domínios félsicos, intermediários e máficos, mesmo que uma fácies geofísica não corresponda diretamente a uma única unidade litológica (Dickson e Scott, 1997).

Além disso, a integração com dados de campo e lâminas delgadas tornou a interpretação mais segura, pois permitiu relacionar as anomalias geofísicas com os minerais observados nas amostras. Dessa forma, este trabalho se justificou por contribuir para uma interpretação mais integrada do PVN, auxiliando na discussão de sua compartimentação interna, de seus contrastes geofísicos e de sua relação com a geologia já conhecida.

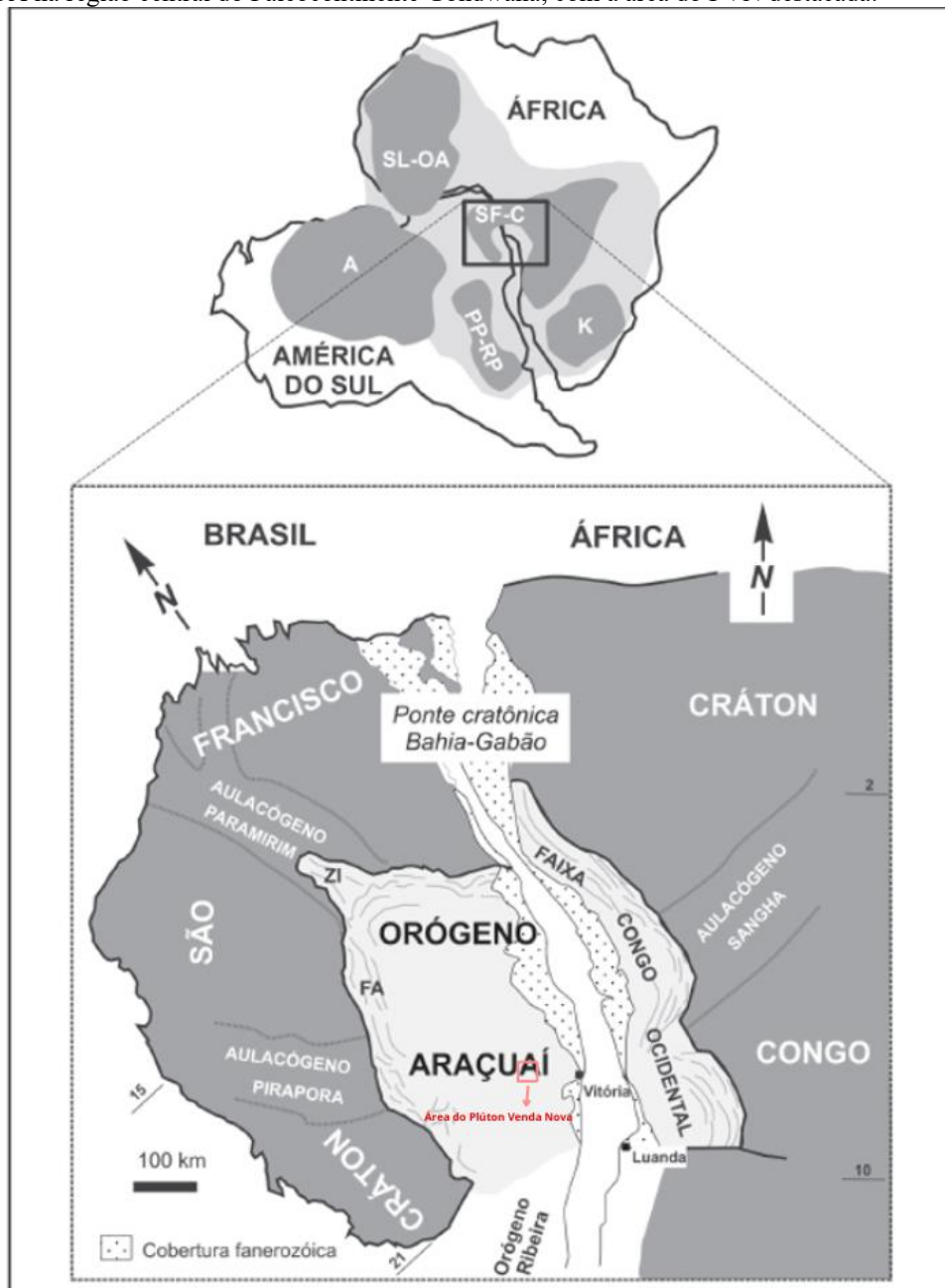
2 CONTEXTO GEOLÓGICO

De acordo com Hasui (2010) durante o Neoproterozoico até o início do Cambriano, aproximadamente entre 900 e 490 Ma, ocorreram um conjunto de eventos orogênicos relacionados com a formação do supercontinente Gondwana, conhecido como Ciclo Brasileiro. Tais eventos foram diacrônicos e envolveram processos de fechamento de oceanos, colisão de continentes, que resultou nos sistemas orogênicos Mantiqueira e Tocantins. Heilbron (2004) aponta que no sudeste do Brasil esse ciclo foi marcado por fortes interações entre o Cráton São Francisco e a Província Mantiqueira, que engloba os orógenos Araçuaí, Ribeira, Brasília meridional, Dom Feliciano e São Gabriel, que se distribuem desde o sul do Estado da Bahia até o Estado do Rio Grande do Sul. Dentre esses orógenos, temos um destaque para o Orógeno Araçuaí (OA), sendo um dos orógenos mais estudados, como mostrado nos trabalhos de Pedrosa-Soares (2007) e Alkmim (2007).

2.1 EVOLUÇÃO TECTÔNICA DO ORÓGENO ARAÇUAÍ

O OA (Figura 2) constitui o segmento setentrional da Província Mantiqueira (Heilbron, 2004) e integra o sistema orogênico Araçuaí-Congo Ocidental (AWCO), um orógeno confinado entre dois crátons, São Francisco e Congo, conectados pela ponte cratônica Bahia-Gabão (Alkmim *et al.* 2007). Sua evolução tectônica é interpretada a partir do modelo “quebra-nozes”, que descreve o fechamento de uma bacia orogênica restrita (Alkmim *et al.*, 2006; Pedrosa-Soares *et al.*, 2007).

Figura 2: OA na região central do Paleocontinente Gondwana, com a área do PVN destacada.



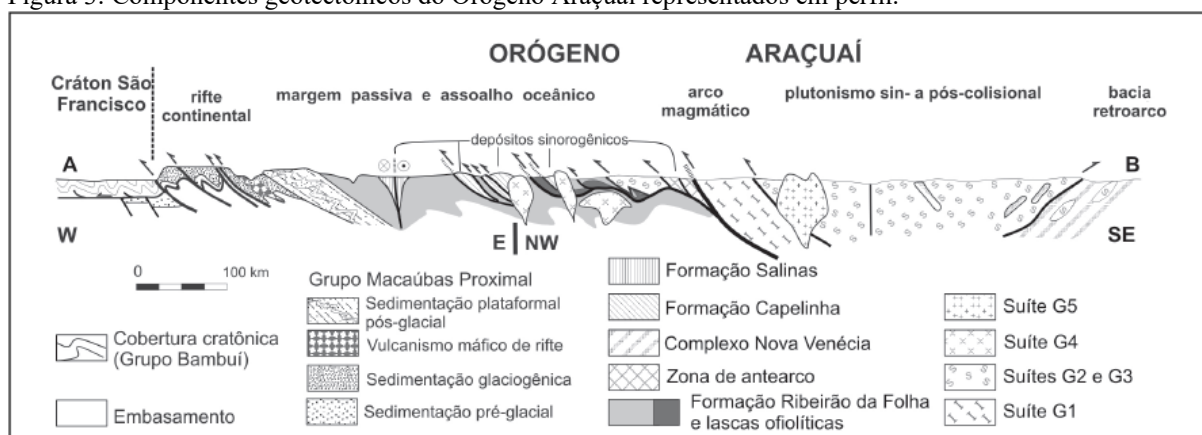
Fonte: Modificado de Pedrosa-Soares *et al* (2007)

Em relação a compartimentação tectônica, o OA é dividido em dois domínios principais, que refletem as intensidades do metamorfismo e magmatismo. O domínio externo, é caracterizado por um cinturão de dobramentos e cavalgamentos e baixo grau metamórfico, que bordejam o Cráton São Francisco, e incluem unidades próximas ao grupo Macaúbas e rochas do embasamento cratônico retrabalhado. Em contrapartida, no domínio interno estão expostos os granitóides relacionados às várias etapas evolutivas do orógeno, onde o metamorfismo pode atingir fácies granulito, além de ocorrer extensa anatexia (Noce, 2007).

De acordo com Noce (2007), o metamorfismo do orógeno apresenta aumento na condição anatética de W-E, variando de baixo grau metamórfico no domínio externo, até fácies granulito no domínio interno. As principais estruturas regionais que compõem e influenciam no domínio interno do OA refletem uma evolução tectônica complexa, caracterizada por eventos de deformação dúctil a rúptil. A estrutura mais importante a oeste é a Zona de Cisalhamento Abre Campo, interpretada como uma sutura antiga que separa terrenos distintos do embasamento (como o complexo Juiz de Fora a leste), além de ser o limite ocidental para a ocorrência dos granitóides pré-colisionais da Suíte G1 (Alkmim *et al.*, 2007). No setor meridional do OA o regime tectônico é predominantemente controlado por um sistema de quatro grandes zonas de cisalhamento transcorrentes destrais, composto pelas zonas de Abre Campo, Manhauçu, Guacui e Batatal, todas com trend preferencial para NE-SW (Alkmim *et al.*, 2007).

Sua evolução é subdividida em quatro estágios principais (Figura 3): pré-colisional (ca. 630–580 Ma), onde foi edificado o arco magmático do OA; sin-colisional (ca. 580–560 Ma), caracterizado pela deformação e metamorfismo regionais, além de extensiva granitogênese do tipo S; tardi-colisional (ca. 560–530 Ma), marcada pela diminuição da tectônica compressiva e geração de granitos do tipo S; e pós-colisional (ca. 530–490 Ma), onde ocorreram processos deformacionais e plutonismo associado ao colapso gravitacional; todos esses estágios foram definidos com base nas relações estruturais, metamórficas, geoquímicas e geocronológicas (Pedrosa-Soares *et al.*, 2007).

Figura 3: Componentes geotectônicos do Orógeno Araçuai representados em perfil.



Fonte: Pedrosa-Soares *et al.*, (2007)

2.2 MAGMATISMO PÓS-COLISIONAL DA SUÍTE G5

O colapso gravitacional marcou o estágio final do OA, quando as forças convergentes cessaram e o orógeno sofreu relaxamento extensional. Essa fase de distensão facilitou a ascensão de magmas mantélicos derivados da astenosfera, assim como o aporte de calor para a refusão da crosta, resultando em um grande episódio de magmatismo pós-colisional (Pedrosa-Soares *et al.*, 2011).

A suíte G5 representa o principal evento magmático associado a este evento tardio da evolução do OA, caracterizando o topo da estratigrafia do orógeno que se desenvolveu durante o Cambriano, aproximadamente entre 520 e 480 Ma, podendo ser dividido em dois estágios: 1) estágio charnoquítico; e 2) estágio bimodal (Wiedemann-Leonardos *et al.*, 2000; Pedrosa-Soares *et al.*, 2011).

O estágio charnoquítico compreende a batólitos de grãos muito grossos a hiperstênio, aflorando ao longo do lineamento Vitória-Mantena, e podendo bordejar intrusões mais jovens (Wiedemann-Leonardos *et al.*, 2000). O estágio bimodal corresponde ao episódio magmático mais jovem da região, onde granodioritos, sienito a monzogranitos de textura fina que compõem as fácies mais tardias, intrudidas como *sills*, diques e/ou formando o envoltório mais externo dos plútons (Wiedemann-Leonardos *et al.*, 2000).

Os corpos dessa suíte se apresentam na forma de batólitos, plútons zonados, livres de foliação regional, diferenciando-os dos granitoides sincolisionais mais antigos, que intrudem ao longo de zonas de cisalhamento dúctil e núcleos de estruturas antiformais de deformações anteriores (Wiedemann-Leonardos *et al.*, 2000). Em termos geoquímicos, apresentam composição essencialmente bimodal, variando de gabros a granitos, derivadas de fontes localizadas na crosta inferior, com grande contribuição mantélica, refletindo intensa interação

crosta-manto durante os estágios finais de evolução do OA (Ludka *et al.*, 1998; Pedrosa-Soares *et al.*, 2011).

A distribuição desses corpos é ampla na porção oriental do OA, abrangendo especialmente os estados do Espírito Santo e Minas Gerais. Entre os principais representantes da suíte G5 destacam-se os plútons Venda Nova, Várzea Alegre, Santa Angélica, Castelo e Pedra Azul (Wiedeman-Leonardos *et al.*, 2000)

2.3 GEOLOGIA LOCAL

Segundo Mendes e De Campos (2012), o PVN constitui uma estrutura elíptica com pelo menos 75 km² de área, circundada parcialmente em seu lado oeste por um estreito anel de rochas charnockíticas (Mendes e De Campos, 2012) (

Figura 4 Figura 4). O plúton intrude ortognaisses e paragnaisses predominantemente em condições de fácies anfibolito superior (Onken *et al.*, 2025) A foliação metamórfica possui orientação NE–SW, com diferentes ângulos de mergulho (Wiedemann-Leonardos *et al.*, 2000). Zonas de cisalhamento de movimento dextral e sinistral, bem como dobras regionais atuaram como os principais condutos para o alojamento dos plútons pós-orogênicos (Wiedemann *et al.*, 2002). A estrutura mais marcante na região de Venda Nova é a Zona de Cisalhamento Guaçuí (GSZ), de direção NE–SW, localizada a menos de 10 km a noroeste do plúton, além de um eixo anticlinal que atravessa o corpo e que foi interpretado por Wiedemann *et al.* (2002) como a possível estrutura responsável pelo alojamento do plúton Venda Nova.

Ludka *et al.* (1998) definiram as três principais fácies petrológicas do PVN, distribuídas concentricamente. Envoltório sienomonzonítico, composto principalmente por microclínio micropertítico/mesopertita, oligoclásio-andesina, biotita e hornblenda, além de minerais acessórios como quartzo, piroxênios (clino e ortopiroxênio), ilmenita/titanomagnetita, titanita, allanita e zircão. Núcleo gabro-norítico, composto principalmente por labradorita, diopsídio, bronzita/hiperstênio, biotita, hornblenda, ilmenita, titanomagnetita, sulfetos e cumulos de olivina-piroxênio-flogopita. "Halo" monzodiorítico, interpretado como resultado da mistura entre as duas unidades anteriores. Coroas em feldspatos e transformações piroxênio-anfíbólio são descritas como evidências preservadas de mistura mecânica. A FIG.Figura 5 evidencia as características de campo das rochas que compõem o PVN.

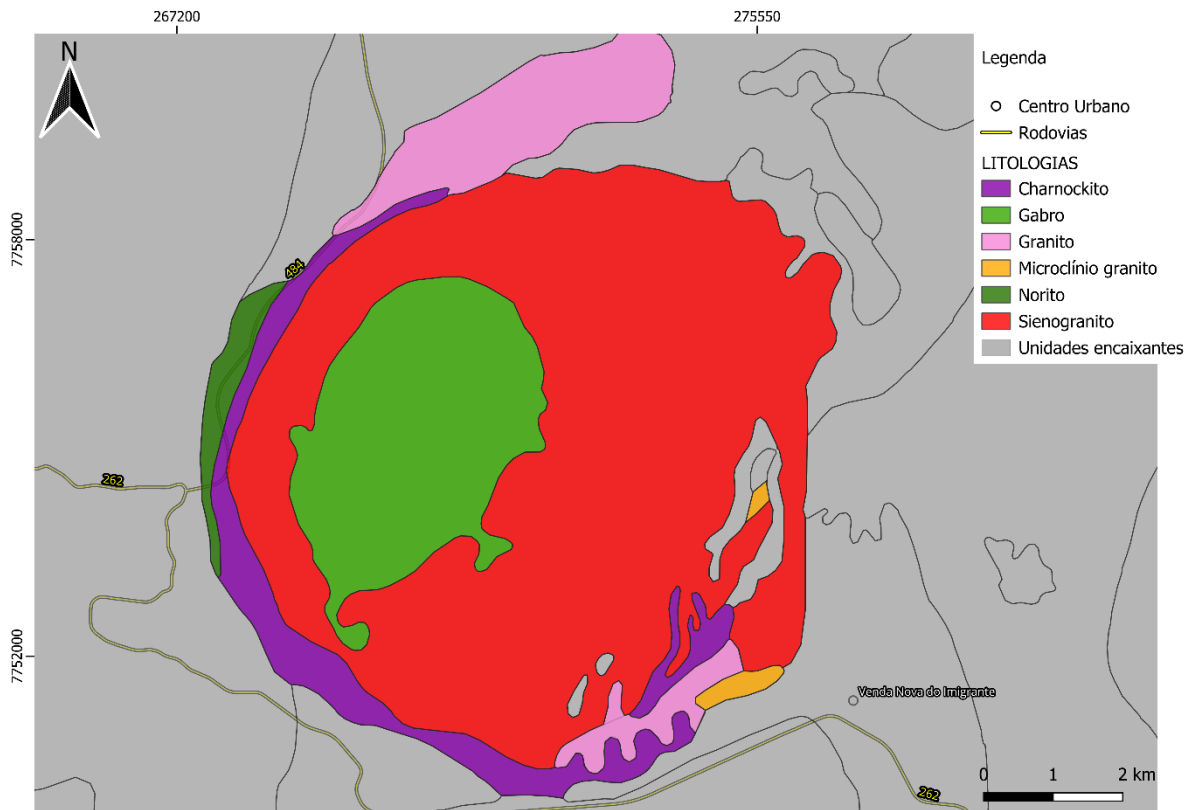
Onken *et al* (2024) propuseram uma compartimentação mais detalhada, diferenciando um domínio interno pós-orogênico, com cerca de 500 Ma, e um domínio externo mais antigo, próximo de 600 Ma. O domínio interno é formado por um núcleo gabronorítico a diorítico,

envolvido principalmente por quartzo-sienitos e, em menor proporção, por granitos periféricos. Os quartzo-sienitos correspondem, em grande parte, aos sienomonzonitos descritos por Ludka et al. (1998). No núcleo, ocorrem cumulos máficos, gabronoritos, dioritos e monzodioritos, enquanto os granitos periféricos incluem titanita-granitos e leucogranitos.

Diferentemente da interpretação de mistura de magmas proposta por Ludka et al. (1998), Onken *et al.* (2024) defendem que a evolução principal do domínio interno ocorreu sobretudo por cristalização fracionada, embora zonas locais de mingling e mixing também tenham sido reconhecidas. O domínio externo é constituído por um semianel charnockítico com noritos e gabronoritos, compatível com o anel charnockítico descrito por Mendes e De Campos (2012).

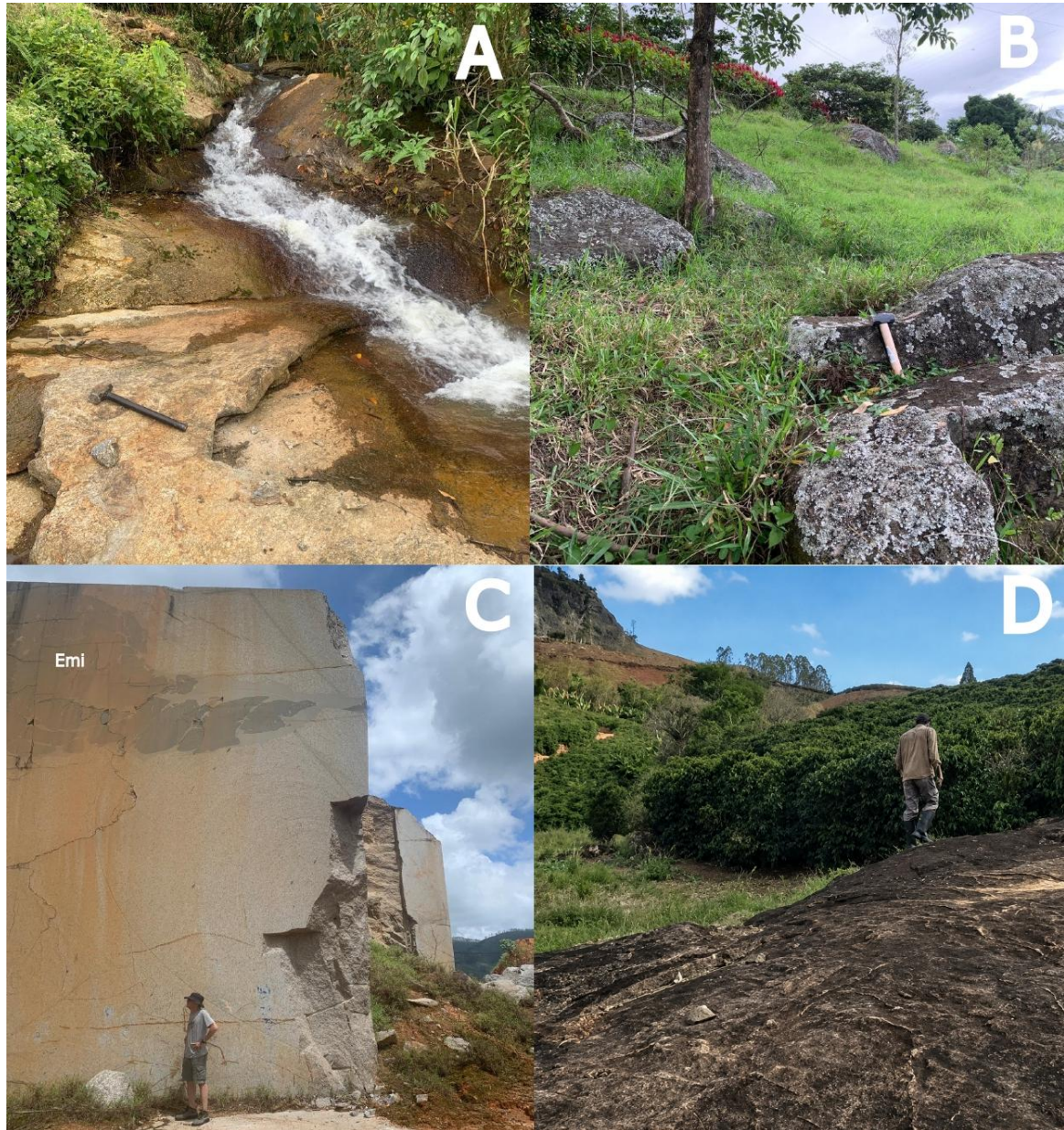
Ao longo da borda do PVN, Mendes e De Campos (2012) reconheceram um anel charnockítico de composição norítica a tonalítica-diorítica. Estruturas primárias de fluxo foram identificadas pela orientação preferencial de fenocristais de plagioclásio e biotita. Uma deformação sutil em condições *subsolidus* é indicada pela extinção ondulante das lamelas de geminação e por contatos poligonais entre os grãos. Evidências geoquímicas sugerem que essas rochas não derivam do mesmo magma parental dos sienomonzonitos e gabros, levando à interpretação de um pulso magmático inicial de intrusão charnockito-norito anterior à principal intrusão circular com zoneamento inverso. A química mineral de piroxênios, feldspatos, anfibólio, biotita, ilmenita e magnetita indica temperaturas médias de cristalização ígnea (pares coexistentes Opx–Cpx) de aproximadamente 908 °C para os noritos e 958 °C para os charnockitos. As pressões de cristalização estimadas pelo geobarômetro Al-em-hornblenda variam entre 5,5 e 6,0 kbar, correspondendo a níveis de intrusão em crosta profunda, entre aproximadamente 18 e 20 km de profundidade. Dados sismológicos de Assumpção *et al.* (2013) mostram que a porção sul do Orógeno Araçuaí possui atualmente espessura crustal de cerca de 40 km. Considerando os dados geobarométricos de Mendes e De Campos (2012), o plúton Venda Nova teria sido alojado em uma crosta com espessura próxima de 60 km.

Figura 4: Mapa geológico simplificado do PVN.



Fonte: Elaborado pelo autor. Modificado de SGB (2019)

Figura 5: Aspectos de campo das rochas do PVN. A) Rocha intermediária associada ao núcleo do plúton. B) Disposição de afloramentos máficos associados ao núcleo do plúton. C) Rocha félsica associada ao envoltório sienomonzonítico com enclaves máficos/intermediários (Emi). D) Rocha intermediária associada ao anel charnockítico do PVN



Fonte: Elaborado pelo autor

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 AEROGEOFÍSICA

De acordo com Kearey *et al* (2009), a geofísica é a ciência que estuda a Terra a partir da aplicação dos princípios da física. A investigação geofísica implica a realização de medidas na superfície ou próximo a ela, onde essas medidas estão influenciadas pela distribuição interna das propriedades físicas da Terra. Ao analisar as medidas, podemos descobrir como as propriedades físicas do interior da Terra variam lateral e verticalmente.

Além disso, há uma divisão geral dos métodos de levantamento geofísico em dois tipos: os que utilizam campos naturais da Terra, e aqueles que dependem da aplicação de uma fonte de energia artificial. Os métodos de campos naturais, também conhecidos como potenciais, fazem uso dos campos gravitacional, magnético, elétrico e eletromagnético da Terra, buscando identificar anomalias localizadas que possam indicar feições geológicas ocultas, de interesse econômico ou científico.

Segundo Kearey *et al* (2009), a aerogeofísica consiste na aplicação de métodos geofísicos a partir de sensores instalados em plataformas aéreas, como aeronaves, helicópteros e veículos aéreos não tripulados (VANTs), permitindo a aquisição contínua e homogênea de dados em grandes extensões de território, inclusive em áreas de relevo acentuado ou de vegetação densa.

3.1.1 Levantamento Magnetométrico

A magnetometria é um método potencial que investiga estruturas e litologias em subsuperfície, através das variações locais do campo magnético terrestre, mapeando os contrastes de susceptibilidade magnética das rochas. (Hinze *et al.*, 2013)

Ideias abordadas em Kearey *et al.* (2009), mostram que o objetivo de um levantamento magnetométrico é investigar a geologia com base nas anomalias do campo magnético terrestre, originadas pelas propriedades magnéticas das rochas abaixo da superfície. Apesar da maioria dos minerais formadores de rocha não apresentar características magnéticas marcantes, certos tipos de rocha contêm quantidades suficientes de minerais magnéticos capazes de gerar anomalias detectáveis.

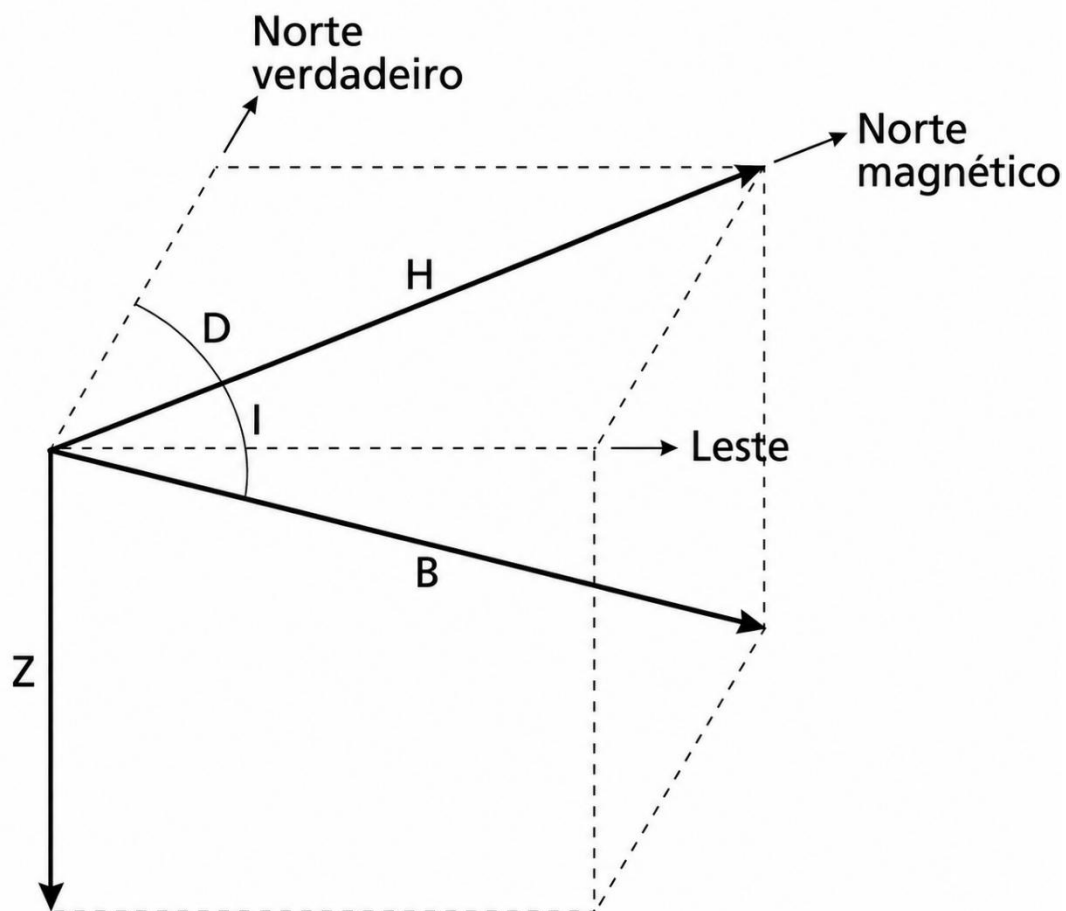
Os levantamentos aeromagnetométricos, registram continuamente as variações do campo magnético terrestre ao longo de linhas de voo previamente planejadas. A resolução dos dados depende principalmente da altura de voo e do espaçamento entre linhas, influenciando diretamente a capacidade de detecção de estruturas geológicas rasas e profundas (Reeves 2005).

3.1.1.1 Campo geomagnético

De acordo com Kearey *et al.* (2009), as anomalias causadas por rochas são efeitos localizados que se superpõem ao campo normal da Terra (campo geomagnético). Logo, a compreensão do comportamento deste campo é importantíssima, tanto para a redução de dados magnéticos para um *datum* adequado, quanto para a interpretação das anomalias detectadas.

A orientação do campo geomagnético pode ser observada através do uso de uma agulha magnética livremente suspensão. Geralmente, ocorrerá um ângulo com a vertical e o norte geográfico. O vetor campo total (B), representando na (Figura 6), é resultado das componentes vertical (Z) e horizontal (H) na direção do norte magnético. O mergulho de B é a inclinação (I) do campo, e o ângulo horizontal entre o norte geográfico e o magnético é a declinação (D) (Kearey *et al.*, 2009).

Figura 6: Representação esquemática da orientação e das principais componentes do campo geomagnético, incluindo o campo total (B), as componentes horizontal (H) e vertical (Z), a inclinação magnética (I) e a declinação magnética (D).

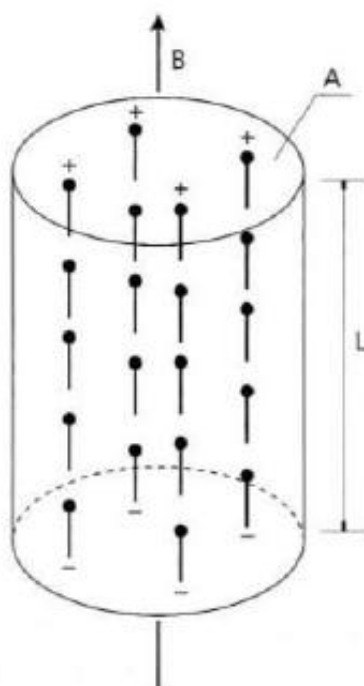


Fonte: Kearey *et al.* (2009).

3.1.1.2 Magnetismo de Rochas e Minerais

De acordo com Kearey *et al.* (2009), quando um material é colocado na presença de um campo magnético, ele adquire uma magnetização na direção deste campo que é perdida quando o material é retirado do campo. Essa magnetização/fenômeno é conhecida como magnetização induzida, podendo ser entendida quando se imagina que o material é constituído por pequenos dipolos (nas rochas, os dipolos são os minerais que apresentam características magnéticas) que se orientam na direção das linhas de força do campo indutor ou aplicado, ocorrendo uma polarização magnética. Como resultado desse alinhamento, o material começa a se comportar como um dipolo.

Figura 7: Representação esquemática de um elemento cilíndrico, com área de seção transversal A e comprimento L , submetido a um campo magnético externo B . O alinhamento dos dipolos magnéticos elementares na direção do campo produz a magnetização induzida do material.



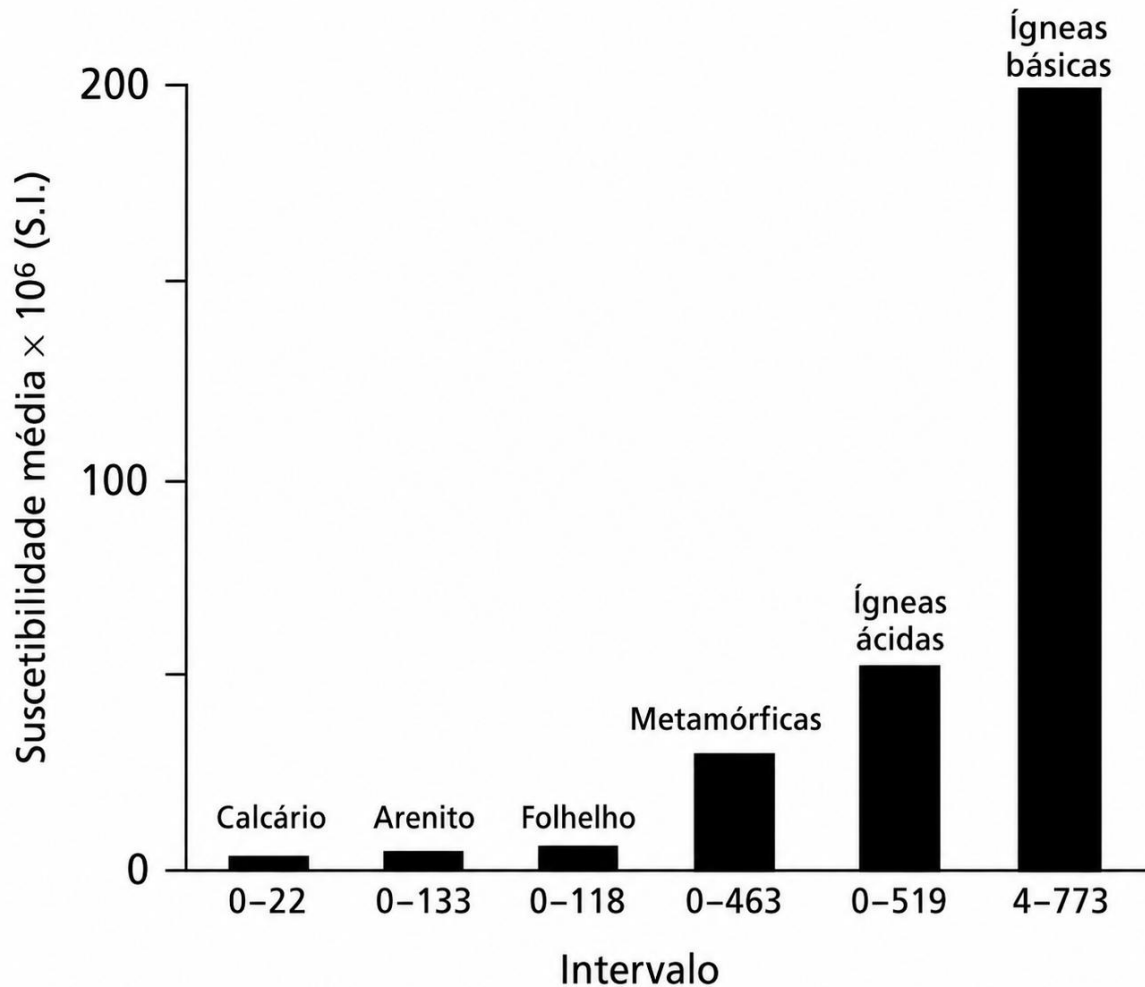
Fonte: Kearey *et al.* (2009)

Em termos de magnetismo de rochas, a maioria dos minerais formadores de rocha apresenta susceptibilidade magnética muito baixa. Dessa forma, o comportamento magnético de uma rocha é controlado principalmente pela presença, mesmo em pequenas quantidades, de minerais com elevada susceptibilidade magnética. Esses minerais concentram-se, essencialmente, em dois sistemas geoquímicos. O primeiro corresponde ao sistema ferro-titânio-oxigênio (Fe-Ti-O), que inclui a série de solução sólida entre a magnetita (Fe_3O_4) e o ulvoespinélio (Fe_2TiO_4), além de minerais relacionados. A hematita (Fe_2O_3), embora seja um

importante óxido de ferro, apresenta comportamento antiferromagnético e, em condições normais, contribui muito pouco para a magnetização das rochas, tornando-se magneticamente significativa apenas quando desenvolve magnetismo remanescente parasítico (hematita fraca). O segundo sistema é o ferro–enxofre (Fe–S), representado principalmente pela pirrotita, cuja susceptibilidade magnética varia em função de sua composição química e estrutura cristalina, podendo apresentar desde comportamento ferrimagnético até praticamente não magnético (Kearey et al., 2009).

As rochas ígneas básicas costumam apresentar alta magnetização em razão de seu conteúdo relativamente alto em magnetita. Com o aumento da acidez, a proporção de magnetita nas rochas ígneas tende a diminuir, fazendo com que as rochas ígneas ácidas sejam geralmente menos magnéticas que as rochas básicas, embora possam apresentar variações em seu comportamento magnético. Ou seja, as anomalias magnéticas apresentam intensidade decrescente na seguinte ordem: rochas ígneas básicas, rochas ígneas ácidas, rochas metamórficas, folhelhos, arenitos e calcários (Kearey *et al.* 2009).

Figura 8: Valores médios e intervalos de susceptibilidade dos tipos de rocha mais comuns.



Fonte: Kearey *et al.* 2009.

3.1.1.3 Processamento e Filtros

A importância da aplicação de correções e filtros nos dados magnetométricos brutos surge pelo fato de que variações magnéticas podem interferir no sinal geológico, dificultando a interpretação litológica e estrutural de subsuperfície. O processamento visa isolar a anomalia magnética, que é uma pequena perturbação no campo magnético terrestre causada pela magnetização induzida e remanescente dos materiais da crosta. Essas reduções são classificadas como: correções de variações temporais (diurnas) e geomagnéticas (Hinze *et al.*, 2013).

As variações diurnas resultam, principalmente, da interação do vento solar com a magnetosfera e a ionosfera terrestre. O fluxo de partículas carregadas na ionosfera gera correntes elétricas que produzem campos magnéticos secundários, e tempestades magnéticas mudam as condições típicas das variações da magnetosfera (20 - 80 nT) (Hinze *et al.*, 2013).

Para os dados utilizados neste trabalho, o Relatório Final do Projeto Aerogeofísico Espírito Santo (2010) descreve uma sequência de processamento que incluiu a compensação magnética da aeronave, a correção do erro de paralaxe, a remoção da variação magnética diurna, o nivelamento e o micronivelamento dos perfis e a remoção do Campo Geomagnético Internacional de Referência (IGRF) (SGB, 2010). A compensação magnética reduziu os ruídos produzidos pela própria aeronave, enquanto a correção de paralaxe sincronizou as medições do campo magnético com o posicionamento registrado pelo GPS. No levantamento, foi aplicado um deslocamento temporal de 0,30 segundo aos dados magnetométricos.

A remoção da variação diurna foi realizada com base nos registros de um magnetômetro instalado na estação-base. Em seguida, os perfis foram nivelados a partir das diferenças observadas nos cruzamentos entre as linhas de voo e as linhas de controle. O micronivelamento foi aplicado para eliminar resíduos de desnivelamento e feições artificiais paralelas às linhas de aquisição, utilizando filtros passa-alta Butterworth e cosseno direcional (SGB, 2010).

A correção geomagnética foi efetuada pela subtração do IGRF do campo magnético total micronivelado. O modelo de referência foi calculado para cada ponto amostrado, e os valores resultantes correspondem ao campo magnético total reduzido do IGRF, utilizado para representar as anomalias magnéticas locais (SGB, 2010).

Em relação as técnicas de filtragem, os dados magnetométricos podem ser processados e filtrados com o objetivo de separar a anomalia residual e regional, onde o foco está em isolar, realçar ou suavizar as anomalias residuais. Os filtros de Fourier são amplamente usados pois permitem a análise da frequência espacial do dado geofísico, possibilitando a aplicação de filtros que são capazes de realçar ou atenuar diferentes componentes do sinal. Em geral, fonte extensas e mais profundas estão relacionadas a baixas frequências, enquanto altas frequências estão relacionadas a fontes mais rasas e menos extensas (Telford *et al.*, 1990).

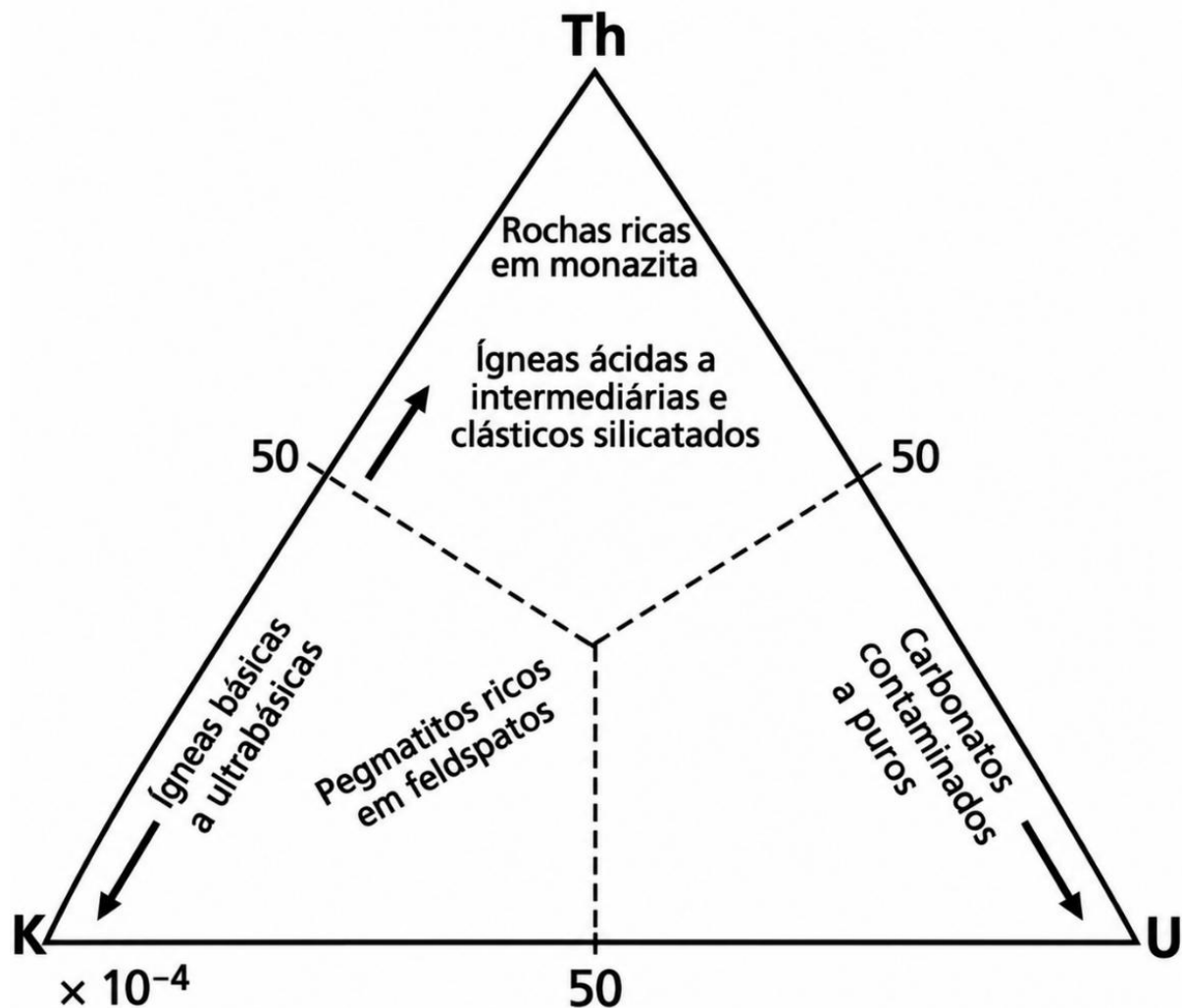
Hinze *et al* (2013) expõem que não existe uma regra rigorosa para selecionar o procedimento ideal para localizar a anomalia magnética residual. A escolha vai depender, principalmente, da natureza do campo de anomalias, no objetivo do levantamento, na qualidade e cobertura dos dados. A aplicação de mais de um procedimento frequentemente é desejável, permitindo a comparação dos resultados, o que auxilia no processo de interpretação.

3.1.2 Gamaespectrometria

Em relação ao levantamento radiométrico, Kearey *et al* (2009) destacam que os elementos de maior interesse são o urânio (U), o tório (Th) e o potássio (K). O último isótopo é bastante comum em rochas ricas em potássio, que podem não estar associadas a concentrações

de U e Th. Esse tipo de levantamento é útil no mapeamento geológico, pois diferentes tipos de rocha podem ser reconhecidos por sua distinta assinatura radioativa. A Figura 9 apresenta um diagrama ternário que mostra as abundâncias relativas dos isótopos em diferentes tipos de rocha.

Figura 9: Abundância relativa de elementos radioativos em diferentes tipos de rochas ígneas e sedimentares químicas



Fonte: Modificado de Kearey *et al* (2009)

3.1.2.1 Decaimento radioativo

A radioatividade que encontramos na natureza está associada a materiais que apresentam isótopos instáveis, ou seja, elementos cujos núcleos têm o mesmo número de prótons, mas diferentes números de nêutrons, e que podem se desintegrar espontaneamente formando outros elementos. A desintegração ocorre com a emissão de partículas alfa, beta e gama (Kearey *et al.* 2009).

De acordo com Kearey *et al.* (2009), as partículas alfas são os núcleos de hélio ${}^4_2\text{He}$ que são emitidos do núcleo durante as desintegrações (${}^w_n\text{A} \rightarrow {}^{w-4}_{n-2}\text{B} + {}^4_2\text{He}$). As partículas betas são elétrons que podem ser emitidos quando um nêutron se divide em um próton e um elétron durante certas desintegrações, sendo que, o próton permanece dentro do núcleo, de modo que o peso atômico permanece o mesmo, contudo o número atômico aumenta para formar um novo elemento (${}^w_n\text{A} \rightarrow {}^w_{n+1}\text{B} + e^-$). Os raios gama são pura radiação eletromagnética liberada de núcleos excitados durante desintegrações, sendo caracterizadas por frequências maiores que 10^{16} Hz, diferindo dos raios-X por terem uma energia mais alta. O número atômico diminui e um novo elemento é formado (${}^w_n\text{A} + e^- \rightarrow {}^w_{n-1}\text{B}$).

Além disso, as partículas alfas, são indetectáveis nos levantamentos radiométricos devido a sua baixa energia, sendo paradas até por uma folha de papel. Já as partículas betas, possuem uma energia maior, isso faz com que essas partículas sejam detectadas em levantamentos de solo. Por fim, os raios gama, possuem uma energia altíssima, fazendo com que sejam detectadas por levantamentos aerotransportados (Kearey *et al.*, 2009).

3.1.2.2 Radioatividade de Rochas e Minerais

As anomalias radiométricas dependem diretamente da presença de minerais que apresentam os elementos K, U e Th em sua composição, podendo ocorrer como constituintes principais ou traço. De acordo com Dentith e Mudge, (2014), o teor de sílica influencia diretamente na abundância total dos radioelementos, ou seja, as rochas máficas e ultramáficas apresentam um baixo conteúdo e ocorre o aumento significativo para rochas intermediárias e, principalmente, para rochas félsicas, devido ao aumento na quantidade de feldspatos e micas. Em rochas máficas e ultramáficas, U e Th ocorrem em baixas concentrações, geralmente como componentes traço em poucos minerais acessórios. Já em rochas félsicas, minerais acessórios como o zircão se tornam mais abundantes, resultando no aumento da concentração de radioelementos. Por fim, pegmatitos, kimberlitos, carbonatitos e demais rochas altamente alcalinas, formadas nos estágios finais de diferenciação, apresentam altos teores de U e Th em relação ao K, por causa de sua concentração em elementos incompatíveis.

O K é de longe o mais abundante entre os três elementos no ambiente geológico, ocorrendo principalmente em feldspatos alcalinos e micas (Tabela 1 Tabela 1), sendo comum apresentar altos teores em rochas graníticas e pegmatíticas (Dentith e Mudge, 2014).

Tabela 1: Minerais e ocorrências de potássio (K).

Mineral	Ocorrência
Ortoclásio e microclina [$KAlSi_3O_8$]	Principais constituintes em rochas ígneas ácidas e pegmatitos
Moscovita [$H_2KAl(SiO_4)_3$]	Principais constituintes em rochas ígneas ácidas e pegmatitos
Alunita [$K_2Al_6(OH)_{12}SiO_4$]	Alteração em vulcânicas ácidas
Silvita, carnalita [KCl , $MgCl_{12} \cdot 6H_2O$]	Depósitos de salinas em sedimentos

Fonte: Kearey *et al* (2009)

O U e o Th raramente substituem outros elementos em minerais silicáticos comuns, tendendo a formar seus próprios minerais (Tabela 2). Esses elementos ocorrem predominantemente em minerais acessórios como zircão, titanita e rutilo. Porém, o quartzo, feldspatos, piroxênios e outros minerais formadores de rocha podem apresentar pequenas concentrações de U e Th, que devido a abundância desses minerais de rocha na superfície podem representar uma parcela significativa do conteúdo total de U e Th (Dentith e Mudge, 2014).

Tabela 2: Minerais e ocorrência de urânio (U) e tório (Th).

URÂNIO	
Mineral	Ocorrência
Uraninita [óxido de U, Pb, Ra + Th, ETR]	Granitos, pegmatitos e depósitos em veios de Ag, Pb, Cu.
Carnotita [$K_2O \cdot UO_3 \cdot V_2O_5 \cdot 2H_2O$]	Arenitos
Gummita [alteração da uraninita]	Associado à uraninita
TÓRIO	
Mineral	Ocorrência
Monazita [ThO_2 + raro fosfato terrígeno]	Granitos, pegmatitos, Gnaisses
Torianita [(Th,U) O_2]	Granitos, pegmatitos, pláceres
Torita, Uranotorita [$ThSiO_4$ + U]	Granitos, pegmatitos, pláceres

Fonte: Kearey *et al* (2009).

3.1.2.3 Processamento e filtros

Antes de serem interpretados, os dados gamaespectrométricos passam por diferentes etapas de processamento para reduzir interferências do equipamento, da aeronave, da atmosfera e das variações na altura de voo. Inicialmente, é feita a correção do tempo morto, que normaliza as contagens registradas pelo detector. Também são aplicados filtros para retirar picos anômalos e reduzir ruídos de alta frequência (SGB, 2010)

Em seguida, são removidas as contribuições que não vêm diretamente do terreno, como o *background* da própria aeronave, a radiação cósmica e a influência do radônio atmosférico. A correção do radônio é feita com apoio do detector voltado para cima, que permite estimar sua interferência principalmente no canal do urânio (SGB, 2010).

Os dados também passam pela correção do efeito Compton, que reduz a interferência entre as janelas de energia dos diferentes radioelementos. Essa etapa corrige, por exemplo, a contribuição do tório nos canais de urânio e potássio e a contribuição do urânio no canal de potássio (SGB, 2010).

Depois, é aplicada a correção altimétrica, que ajusta os valores para a altura nominal do levantamento. Essa etapa é importante porque a radiação gama é atenuada com o aumento da distância entre o detector e a superfície. No Projeto Aerogeofísico Espírito Santo, os dados foram corrigidos para a altura de 100 m (SGB, 2010).

Por fim, as contagens são convertidas em concentrações de potássio, urânio equivalente e tório equivalente. A partir desses valores, são gerados os mapas dos canais individuais, das razões radiométricas e da composição ternária, utilizados na interpretação das variações superficiais da área (SGB, 2010).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 BANCO DE DADOS AEROGEOFÍSICOS

Os dados magnetométricos e radiométricos utilizados neste estudo compõem o banco de dados provenientes do Projeto Aerogeofísico Espírito Santo, de código AGFW42-2009, integrante do Programa Geologia do Brasil (PGB). A execução do projeto ficou a cargo da empresa Prospectors Aerolevantamentos e Sistemas Ltda., operando sob a coordenação do Ministério de Minas e Energia e da SGB (Serviço Geológico do Brasil). As operações de aquisição ocorreram entre 5 de setembro de 2009 e 18 de janeiro de 2010, cobrindo espacialmente toda a extensão do estado do Espírito Santo, além de porções de estados vizinhos.

Trata-se de um levantamento de alta resolução que totalizou 124.236,00 km de perfis lineares. O arranjo geométrico da aquisição foi projetado com linhas de voo orientadas na direção N-S e espaçadas a cada 0,5 km, sendo interceptadas ortogonalmente por linhas de controle na direção E-W, com espaçamento de 10 km. Durante os trabalhos, as aeronaves mantiveram uma altura fixada em 100 metros acima do terreno, deslocando-se a uma velocidade média de 270 km/h.

No que tange à metodologia de amostragem, o sistema a bordo registrou dez leituras aeromagnetométricas e uma aerogamaespectrométrica por segundo (intervalos de 0,1 s e 1,0 s, respectivamente). Em solo, essa taxa de aquisição correspondeu a uma resolução espacial de aproximadamente 7,5 metros para a magnetometria e 75 metros para a gamaespectrometria. O posicionamento de cada leitura foi assegurado por um sistema de navegação por satélite (GPS) com precisão inferior a 10 metros.

Adicionalmente, para realizar o controle e a correção da variação diurna do campo magnético terrestre, utilizou-se uma estação base fixa, instalada junto à base de operações no aeroporto municipal de Guarapari (ES).

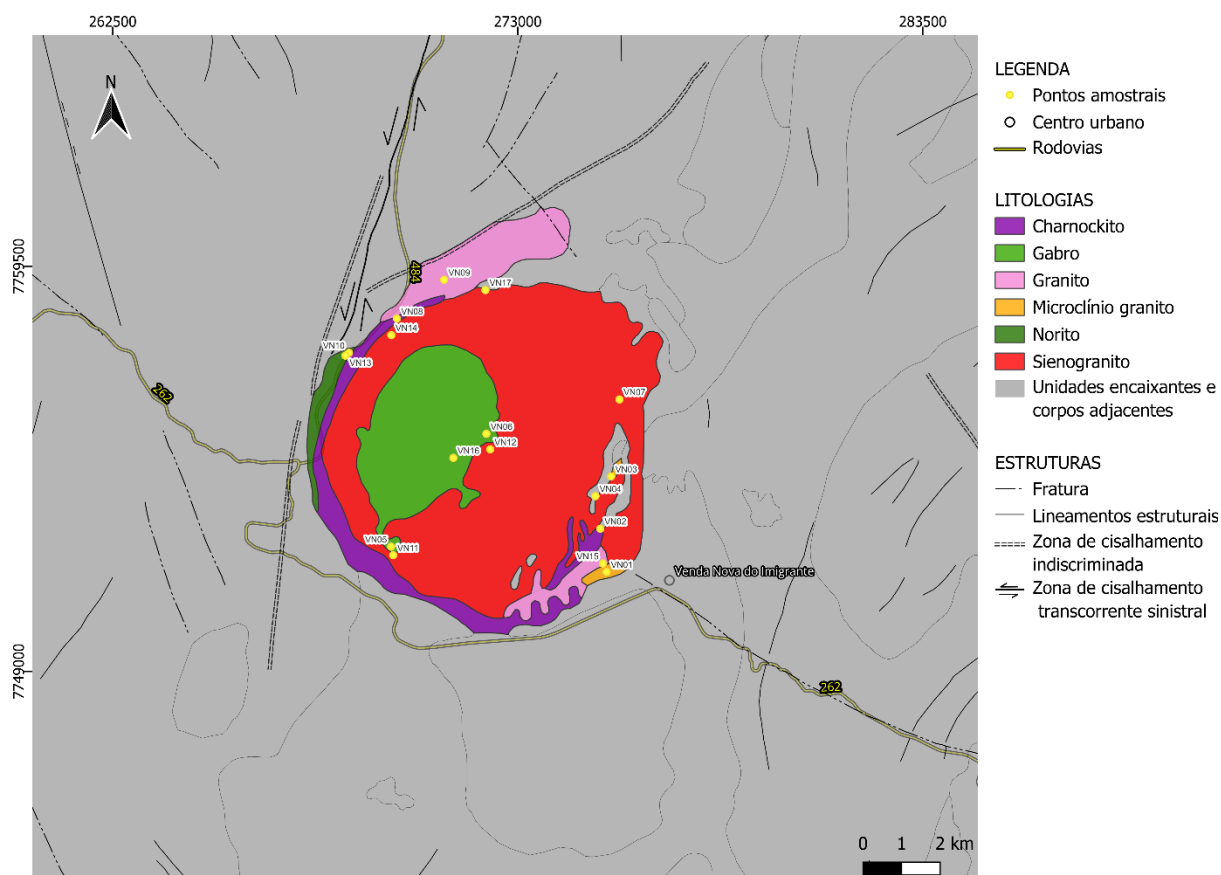
4.2 DADOS GEOLÓGICOS

Os dados geológicos usados neste trabalho foram obtidos a partir dos produtos do mapeamento geológico realizado pela SGB. Foram utilizados mapas geológicos e bases vetoriais em formato *shapefile* contendo informações sobre unidades litológicas, estruturas geológicas e demais elementos cartográficos da área de estudo. Esses dados serviram como base para a contextualização geológica e para a integração com os produtos aerogeofísicos.

Além disso, foi realizada uma atividade de campo na área do PVN com o intuito de reconhecer as principais litologias aflorantes e coletar amostras representativas para análise

petrográfica. Durante essa etapa, foram coletadas 17 amostras representativas dos principais litotipos aflorantes no PVN, onde o critério de seleção se baseou na acessibilidade dos afloramentos, representatividade litológica e no estado de preservação das rochas, priorizando materiais menos alterados. Dentre as amostras coletadas, foram selecionadas 5 (VN01, VN06, VN08, VN09, VN10), para a confecção de lâminas delgadas, visando à caracterização petrográfica.

Figura 10: Localização dos pontos amostrais na área de estudo.



Fonte: Modificado pelo autor. SGB (2019).

4.3 PROCESSAMENTO DE DADOS

O arquivo 1093_XYZ foi importado para o *software* Geosoft Oasis Montaj (versão 2025.2.1), gerando dois arquivos .gdb, um para magnetometria e outro para gamaespectrometria, permitindo o processamento dos dados. Os dados aeromagnetométricos foram interpolados pelo método bidirecional, enquanto os aerogamaespectrométricos foram interpolados pelo método de mínima curvatura, para a geração das imagens em malha regular de 125 metros (SGB, 2010). Posteriormente, foram feitos mapas magnetométricos com

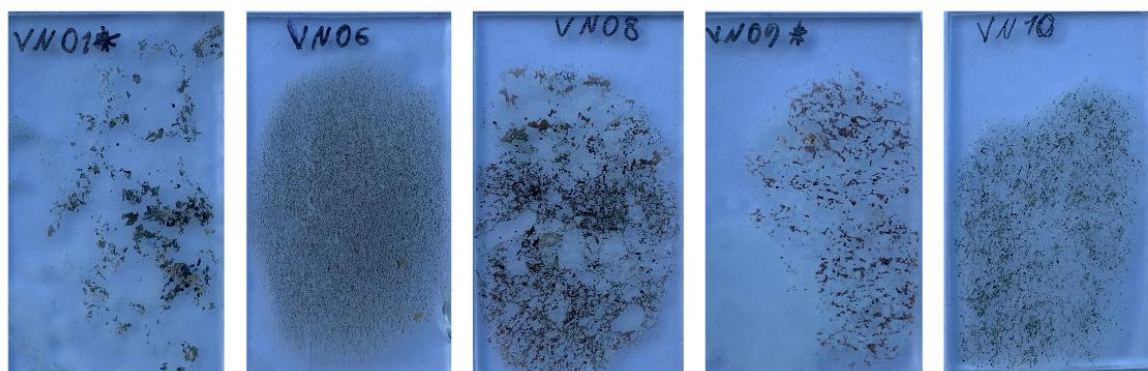
aplicação de derivadas e filtragens: Campo Magnético Anômalo (CMA); derivadas de primeira ordem x, y e z, Amplitude do Sinal Analítico (ASA), Gradiente Horizontal Total (THG) e a primeira derivada vertical (1dZ) do THG. O THG foi utilizado para realçar os gradientes laterais do campo magnético e auxiliar na delimitação das bordas das fontes, conforme o método apresentado por Cordell e Grauch (1985), assim como sua derivada vertical, que foi calculada para realçar componentes do campo anômalo e auxiliar na localização de contatos magnéticos (Phillips, 2002) e mapas radiométricos (Canais de K, eTh, eU e contagem total; razões eTh/K, eU/K, eU/eTh; ternário, parâmetro F). Após essa etapa, os produtos foram inseridos em ambiente SIG, no *software* QGIS (versão 3.44 Solothurn), para integrar os mapas georreferenciados com os dados geológicos, com o objetivo de analisar e interpretar esses dados.

4.4 LÂMINAS DELGADAS

As amostras selecionadas (VN01, VN06, VN08, VN09 e VN10) foram submetidas ao processo de laminação para a confecção de seções delgadas polidas, com espessura padrão de 30 μm . As lâminas foram confeccionadas no Laboratório de Laminação do Departamento de Geologia (DEGEO) da UFOP. No total, foram confeccionadas cinco lâminas delgadas, utilizadas para a caracterização petrográfica das rochas por meio de microscopia óptica. A caracterização petrográfica foi realizada por microscopia óptica, utilizando microscópio petrográfico Olympus BX41, sob luz polarizada plana e polarizadores cruzados. As análises tiveram como objetivo identificar a assembleia mineralógica, as principais características texturais e as feições de alteração presentes nas rochas.

A análise petrográfica permitiu correlacionar as características mineralógicas dos litotipos com suas respostas radiométricas e magnetométricas, contribuindo para a compreensão dos fatores responsáveis pelas variações observadas nos levantamentos geofísicos e para a caracterização integrada das rochas do Plúton Venda Nova.

Figura 11: Lâminas delgadas das amostras VN01, VN06, VN08, VN09 e VN10.



Fonte: Elaborado pelo autor

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS

5.1.1 Macroscópica

A descrição macroscópica mostrou que a maioria das amostras é formada por granitoides, compostos principalmente por quartzo, feldspato e biotita. Também foram identificadas algumas rochas intermediárias, com maior presença de feldspato e minerais máficos, e amostras gabroides, caracterizadas pela presença de feldspato e piroxênio.

Essas diferenças mostram que as amostras apresentam variação de composição, com predomínio de rochas mais félsicas e ocorrência menor de rochas intermediárias e máficas. As principais características e as coordenadas das amostras estão apresentadas na tabela

Tabela 3: Mineralogia principal, classificação macroscópica e coordenadas das amostras analisadas.

AMOSTRA	MINERALOGIA PRINCIPAL	CLASSIFICAÇÃO MACROSCÓPICA	COORDENADAS	
			X	Y
VN01	Quartzo, feldspato, biotita	Granitóide	275304	7751578
VN02	Quartzo, feldspato, biotita	Granitóide	275141	7752701
VN03	Quartzo, feldspato, biotita	Granitóide	275422	7754056
VN04	Quartzo, feldspato, biotita	Granitóide	275015	7753545
VN05	Feldspato, quartzo, biotita	Granitóide	269718	7752235
VN06	Feldspato, biotita	Plutônica intermediária	272188	7755160
VN07	Quartzo, feldspato, biotita	Granitóide	275637	7756051
VN08	Feldspato, quartzo, máficos	Plutônica intermediária	269867	7758146
VN09	Quartzo, feldspato, biotita	Granitóide	271093	7759152
VN10	Feldspato, piroxênio	Gabróide	268625	7757259
VN11	Feldspato, quartzo, biotita	Granitóide	269744	7752208
VN12	Feldspato, biotita	Plutônica intermediária	272179	7755161
VN13	Feldspato, piroxênio	Gabróide	268532	7757186
VN14	Feldspato, quartzo, biotita	Granitóide	269723	7757717
VN15	Feldspato, quartzo, biotita	Granitóide	275208	7751799
VN16	Feldspato, piroxênio	Gabróide	271335	7754538
VN17	Feldspato, quartzo, biotita	Granitóide	272161	7758886

Fonte: Elaborado pelo autor

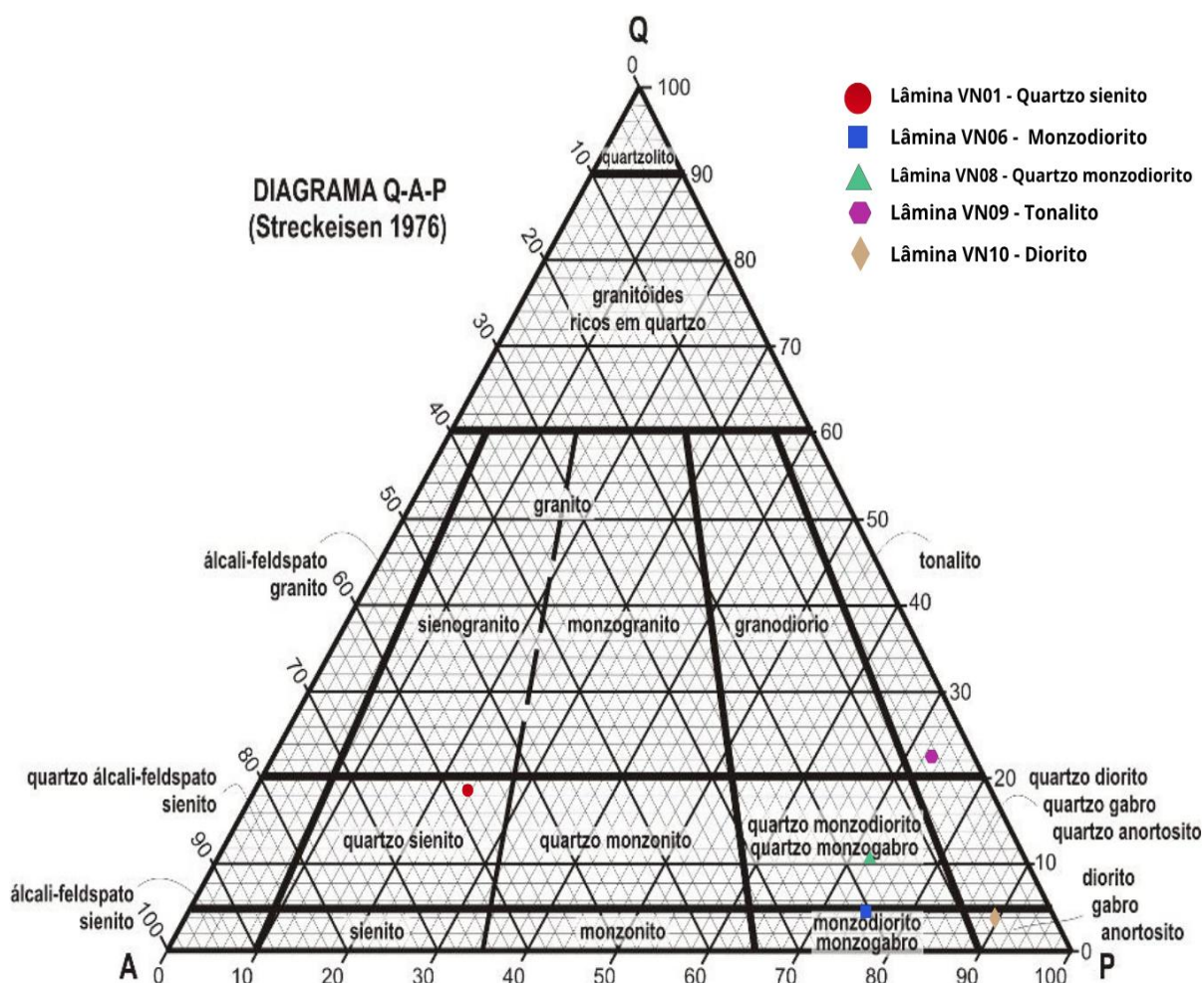
5.1.2 Microscópica

Foram analisadas cinco lâminas delgadas, correspondentes às amostras VN01, VN06, VN08, VN09 e VN10. A análise petrográfica teve como objetivo reconhecer as principais fases minerais, texturas, processos de alteração e variações composicionais presentes nas amostras, além de fornecer suporte à classificação modal e à integração com os dados aerogeofísicos.

A classificação petrográfica foi realizada com base nas proporções modais estimadas de quartzo (Q), feldspato alcalino (A) e plagioclásio (P), recalculadas para 100%. Minerais

máficos, opacos, acessórios e produtos de alteração não foram considerados nessa normalização. Os resultados foram projetados no diagrama QAP para rochas plutônicas de Streckeisen (Figura 12).

Figura 12: Diagrama QAP com VN01, VN06, VN08, VN09 e VN10



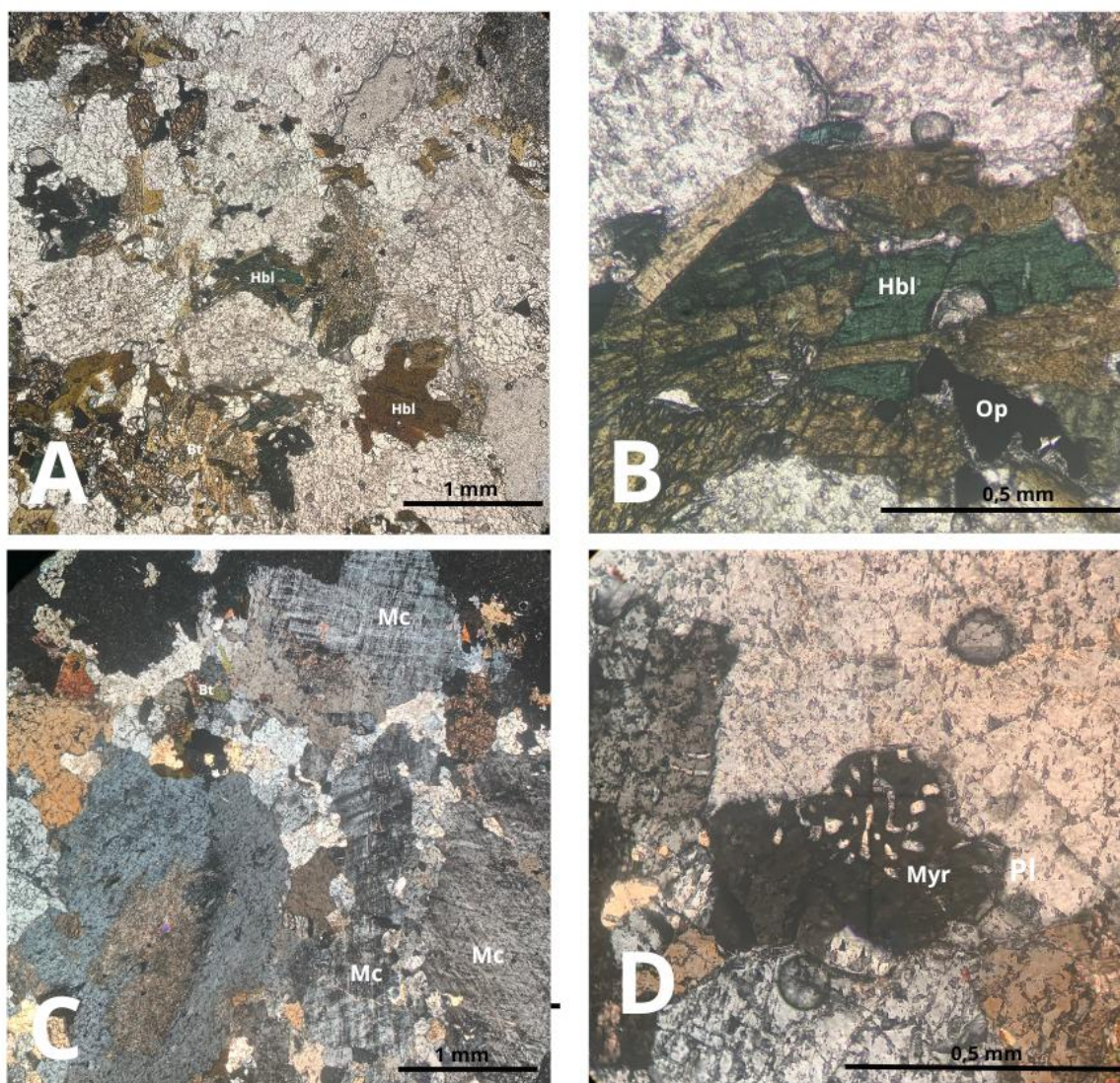
Fonte: Elaborado pelo autor

A projeção das amostras no diagrama QAP permitiu classificar a VN01 como quartzo sienito, a VN06 como monzodiorito, a VN08 como quartzo monzodiorito, a VN09 como tonalito e a VN10 como diorito.

A lâmina VN01 apresenta composição predominantemente félsica e textura fanerítica, inequigranular e hipidiomórfica, com granulação média a grossa. A mineralogia essencial é constituída por feldspato potássico (microclínio e ortoclásio), plagioclásio e quartzo, acompanhados por biotita, hornblenda e minerais opacos como fases subordinadas. O

plagioclásio ocorre em cristais subédricos a anédricos, frequentemente com geminação polissintética e alteração variável, marcada pela formação de agregados finos de minerais secundários, compatíveis com saussuritização. O feldspato potássico ocorre em cristais anédricos a subédricos, incluindo microclínio reconhecido pela geminação em grade, além de cristais possivelmente correspondentes a ortoclásio, localmente turvos e alterados. O quartzo apresenta hábito anédrico e ocupa principalmente os espaços intersticiais entre os feldspatos. Localmente, observam-se intercrescimentos vermiculares de quartzo junto aos contatos entre plagioclásio e feldspato potássico, interpretados como textura mirmequítica. A biotita ocorre em lamelas castanhas a esverdeadas, isoladas ou formando pequenos agregados, podendo apresentar alteração parcial para clorita. A hornblenda apresenta hábito prismático a irregular e pleocroísmo verde a castanho. Os minerais opacos aparecem como grãos anédricos disseminados e associados às fases máficas. Com base nas proporções modais de quartzo, feldspato alcalino e plagioclásio obtidas no diagrama QAP de Streckeisen, a amostra foi classificada como quartzo sienito.

Figura 13: Fotomicrografias da lâmina VN01, mostrando: (A) textura fanerítica e inequigranular, com hornblenda (Hbl) e biotita (Bt), em luz polarizada plana; (B) detalhe de hornblenda associada a mineral opaco (Op), em luz polarizada plana; (C) cristais de microclínio (Mc), reconhecidos pela geminação em grade, e biotita, sob polarizadores cruzados; e (D) textura mirmequítica (Myr) associada ao plagioclásio (Pl), em luz polarizada plana.

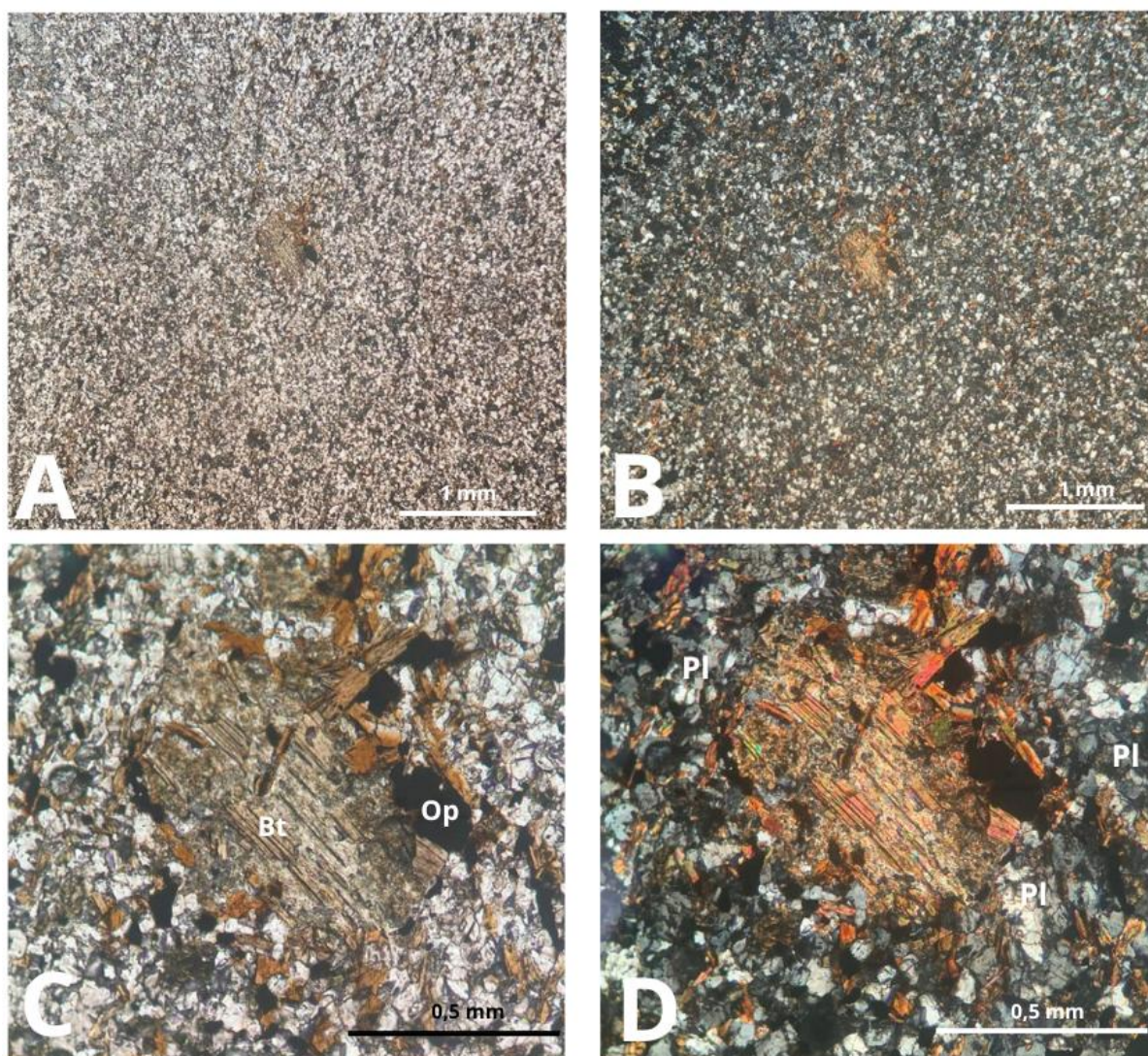


Fonte: Elaborado pelo autor.

A lâmina VN06 apresenta textura porfírica, inequigranular, com fenocristais e agregados de minerais máficos envolvidos por uma matriz microgranular de granulação fina. A mineralogia essencial é constituída principalmente por plagioclásio, acompanhados por feldspato alcalino, biotita e minerais opacos. O plagioclásio ocorre em cristais subédricos a anédricos, apresentando geminação polissintética reconhecível sob nicóis cruzados e alteração parcial em alguns grãos. A biotita ocorre em lamelas castanhas, isoladas ou reunidas em agregados, com indícios locais de alteração para minerais esverdeados, possivelmente clorita. Os minerais opacos aparecem como grãos anédricos disseminados e frequentemente associados à biotita e ao anfibólio. A matriz é formada por agregados finos de plagioclásio e minerais

máficos, conferindo à rocha aspecto microgranular. Com base nas proporções modais de quartzo, feldspato alcalino e plagioclásio projetadas no diagrama QAP de Streckeisen, a amostra foi classificada como monzodiorito.

Figura 14: Fotomicrografias da lâmina VN06, mostrando: (A) textura porfirítica da rocha, com matriz fina, em luz polarizada plana; (B) a mesma seção sob polarizadores cruzados; (C) detalhe de biotita (Bt) associada a mineral opaco (Op), em luz polarizada plana; e (D) a mesma seção sob polarizadores cruzados, destacando cristais de plagioclásio (Pl).

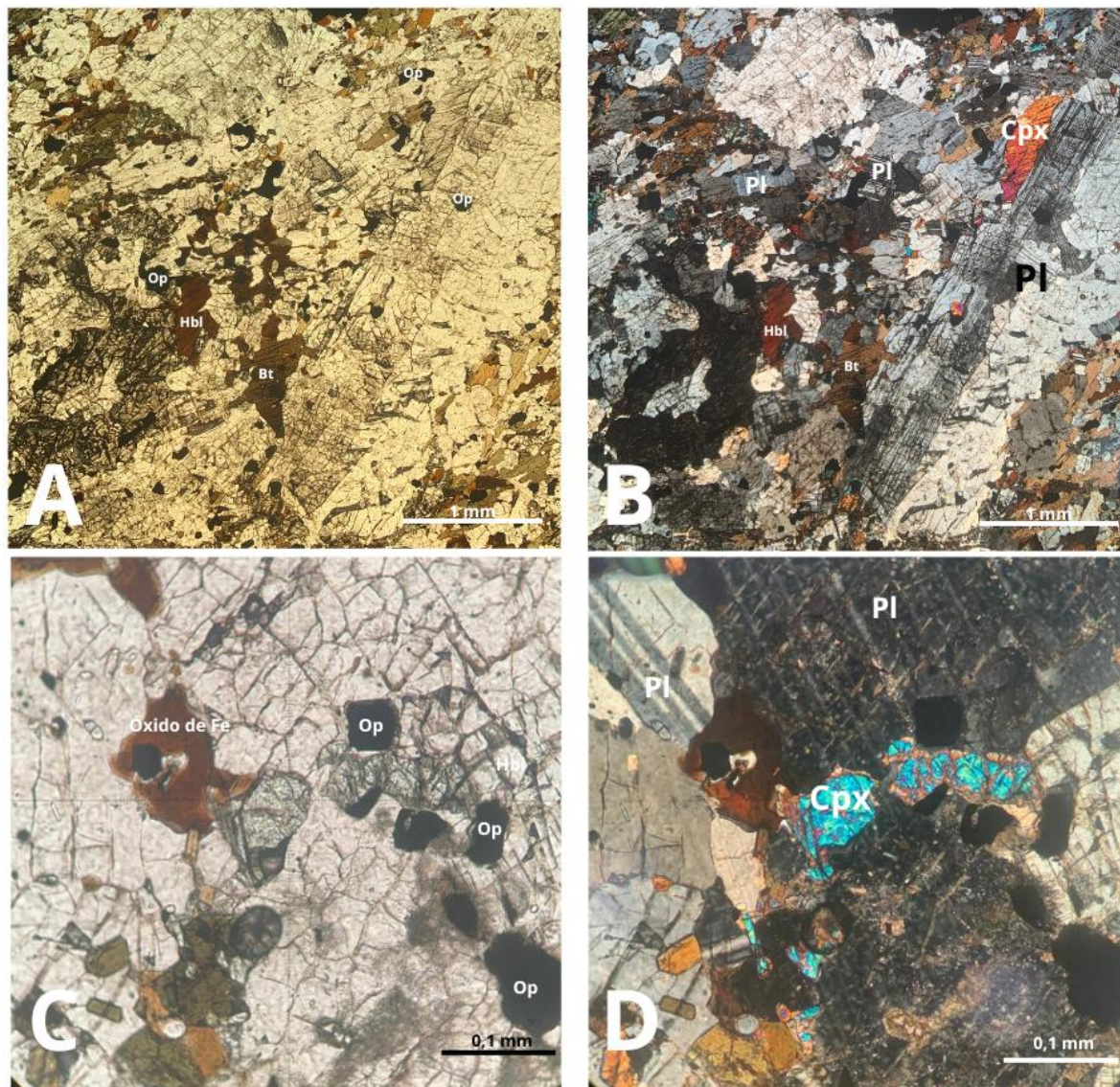


Fonte: Elaborado pelo autor.

A lâmina VN08 apresenta textura fanerítica, inequigranular e hipidiomórfica, com granulação predominantemente média e distribuição heterogênea dos minerais máficos. A mineralogia essencial é constituída principalmente por plagioclásio, feldspato alcalino e quartzo, enquanto a hornblenda, biotita, clinopiroxênio e minerais opacos ocorrem como fases máficas e acessórias. O plagioclásio ocorre em cristais subédricos a anédricos, frequentemente com geminação polissintética bem desenvolvida e alteração variável, localmente concentrada

no interior dos cristais. O feldspato alcalino ocorre em proporção subordinada ao plagioclásio, em cristais predominantemente anédricos a subédricos. O quartzo apresenta hábito anédrico e ocorrência principalmente intersticial entre os feldspatos. A hornblenda ocorre em cristais prismáticos a irregulares, com coloração verde a castanha sob luz plano-polarizada, frequentemente associado à biotita e aos minerais opacos. A biotita forma lamelas castanhas, localmente reunidas em agregados máficos e parcialmente alteradas. O clinopiroxênio ocorre de forma subordinada, em cristais anédricos a subédricos, geralmente associado ao plagioclásio e aos minerais opacos. Os minerais opacos ocorrem como grãos anédricos disseminados, muitas vezes associados às fases ferromagnesianas. Localmente, observam-se produtos avermelhados a castanhos junto aos minerais máficos e às fraturas, compatíveis com oxidação e formação de óxidos ou hidróxidos de ferro. A projeção das proporções modais de quartzo, feldspato alcalino e plagioclásio no diagrama QAP posiciona a amostra no campo do quartzo monzodiorito.

Figura 15: Fotomicrografias da lâmina VN08, mostrando: (A) textura geral da rocha e associação entre minerais opacos (Op), hornblenda (Hbl) e biotita (Bt), em luz polarizada plana; (B) a mesma seção sob polarizadores cruzados, destacando plagioclásio (Pl) e clinopiroxênio (Cpx); (C) detalhe de minerais opacos e produto de oxidação de ferro, em luz polarizada plana; e (D) a mesma seção sob polarizadores cruzados, evidenciando clinopiroxênio e plagioclásio.

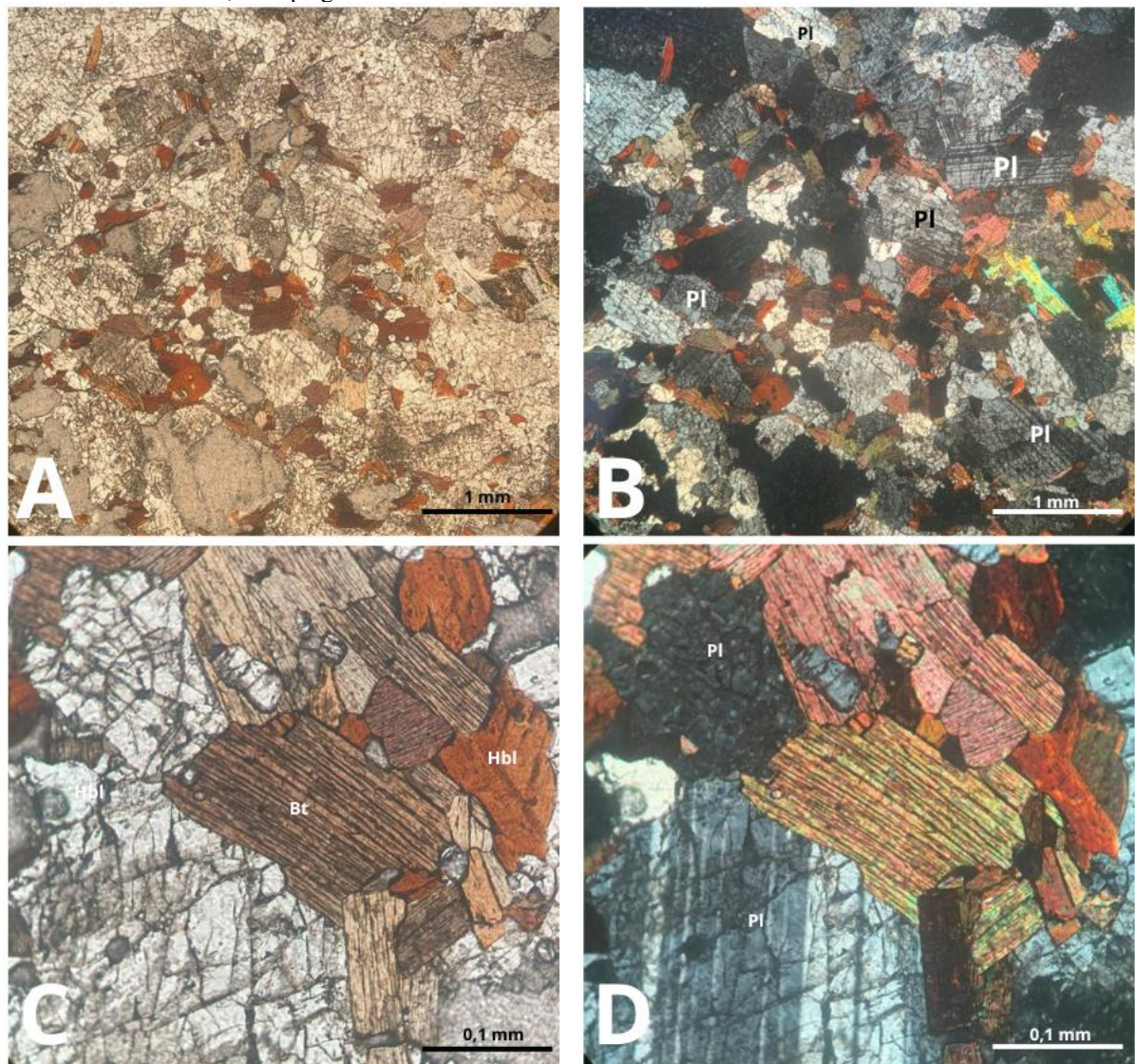


Fonte: Elaborado pelo autor.

A lâmina VN09 apresenta composição félsica e textura fanerítica, inequigranular e hipidiomórfica, com granulação predominantemente média. A mineralogia essencial é constituída por plagioclásio e quartzo, acompanhados por feldspato alcalino em proporção subordinada. Biotita, anfibólio e minerais opacos ocorrem como fases máficas e acessórias. O plagioclásio é predominante e ocorre em cristais subédricos a anédricos, frequentemente com geminação polissintética bem desenvolvida e alteração variável. O quartzo apresenta hábito anédrico, extinção em tons de primeira ordem e ocorrência predominantemente intersticial entre

os feldspatos. O feldspato alcalino ocorre em menor proporção, em cristais anédricos a subédricos, sem feições diagnósticas suficientemente claras para individualização segura entre ortoclásio e microclínio. A biotita ocorre em lamelas castanhas a castanho-avermelhadas, com pleocroísmo evidente, isoladas ou formando pequenos agregados. A hornblenda ocorre em cristais prismáticos a irregulares, de coloração verde a castanha, frequentemente associado à biotita e aos minerais opacos. Os minerais opacos aparecem como grãos anédricos disseminados, especialmente junto às fases máficas. Com base no predomínio do plagioclásio sobre o feldspato alcalino e na proporção significativa de quartzo, a projeção modal no diagrama QAP posiciona a amostra no campo dos tonalitos.

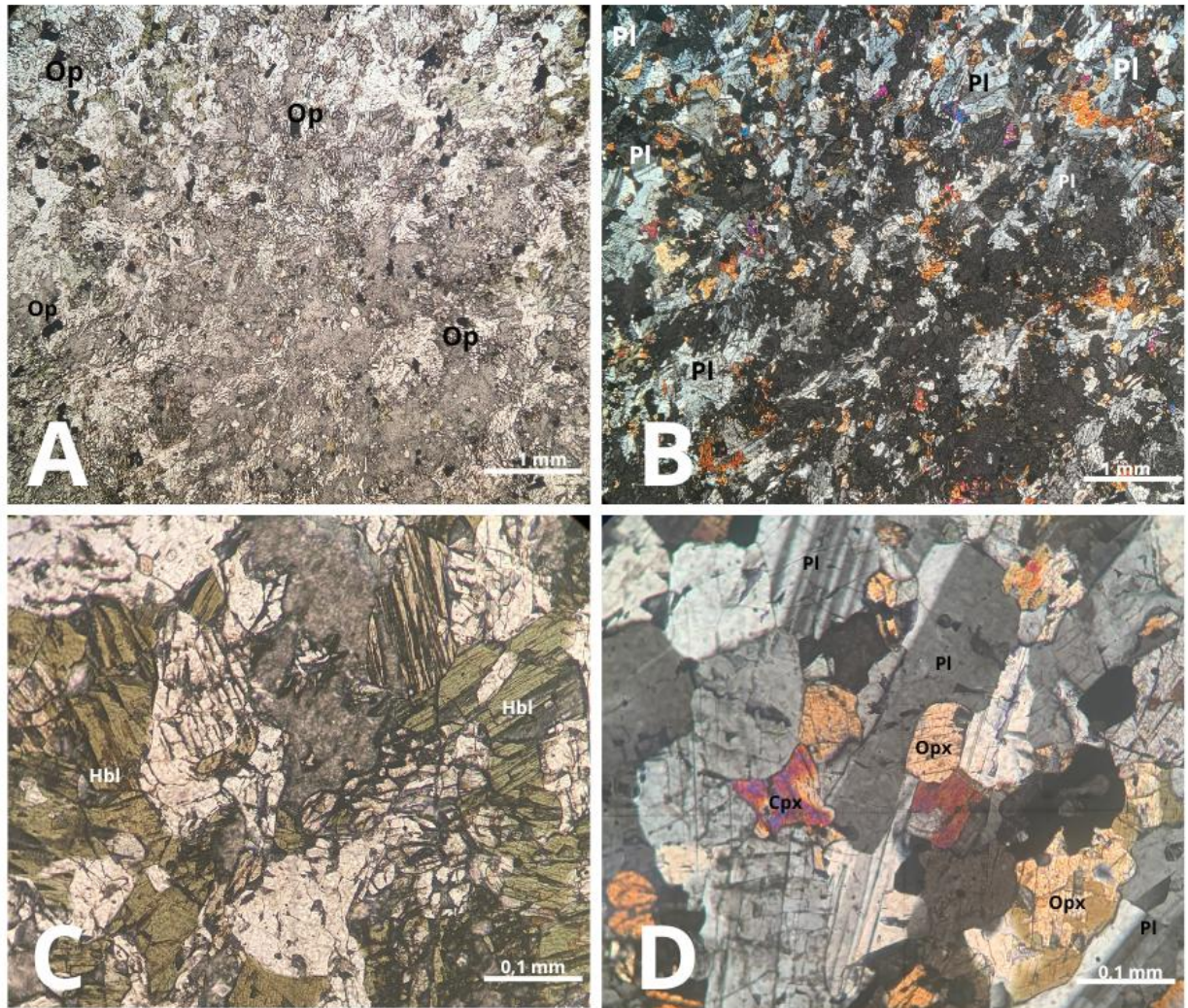
Figura 16: Fotomicrografias da lâmina VN09, mostrando: (A) a textura fanerítica e inequigranular da rocha, em luz polarizada plana; (B) a mesma seção sob polarizadores cruzados, destacando o predomínio de plagioclásio (Pl); (C) associação entre biotita (Bt) e hornblenda (Hbl), em luz polarizada plana; e (D) a mesma seção sob polarizadores cruzados, com plagioclásio associado às fases máficas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A lâmina VN10 apresenta textura fanerítica, inequigranular e hipidiomórfica, com granulação predominantemente fina a média. A mineralogia é dominada por plagioclásio, acompanhado de clino e ortopiroxênio, hornblenda e minerais opacos. O plagioclásio ocorre em cristais subédricos a anédricos, frequentemente tabulares, com geminação polissintética bem desenvolvida e alteração variável. O clinopiroxênio e o ortopiroxênio ocorrem em cristais subédricos a anédricos, com relevo elevado e fraturamento marcante, podendo apresentar substituição parcial por hornblenda e minerais secundários. A hornblenda ocorre em cristais de coloração verde a castanha sob luz plano-polarizada, localmente associado aos piroxênios, podendo representar transformação secundária destes. Os minerais opacos aparecem como grãos anédricos disseminados, frequentemente associados às fases máficas. O quartzo e o feldspato alcalino, quando presentes, ocorrem em proporções subordinadas e principalmente em posições intersticiais. Com base nas proporções modais de quartzo, feldspato alcalino e plagioclásio, a amostra foi classificada no diagrama QAP como diorito.

Figura 17: Fotomicrografias da lâmina VN10, mostrando: (A) a textura da rocha e a presença de minerais opacos, em luz polarizada plana; (B) a mesma seção sob polarizadores cruzados, destacando o domínio rico em plagioclásio e a presença de piroxênios; (C) cristais de hornblenda; e (D) cristais de ortopiroxênio e clinopiroxênio.



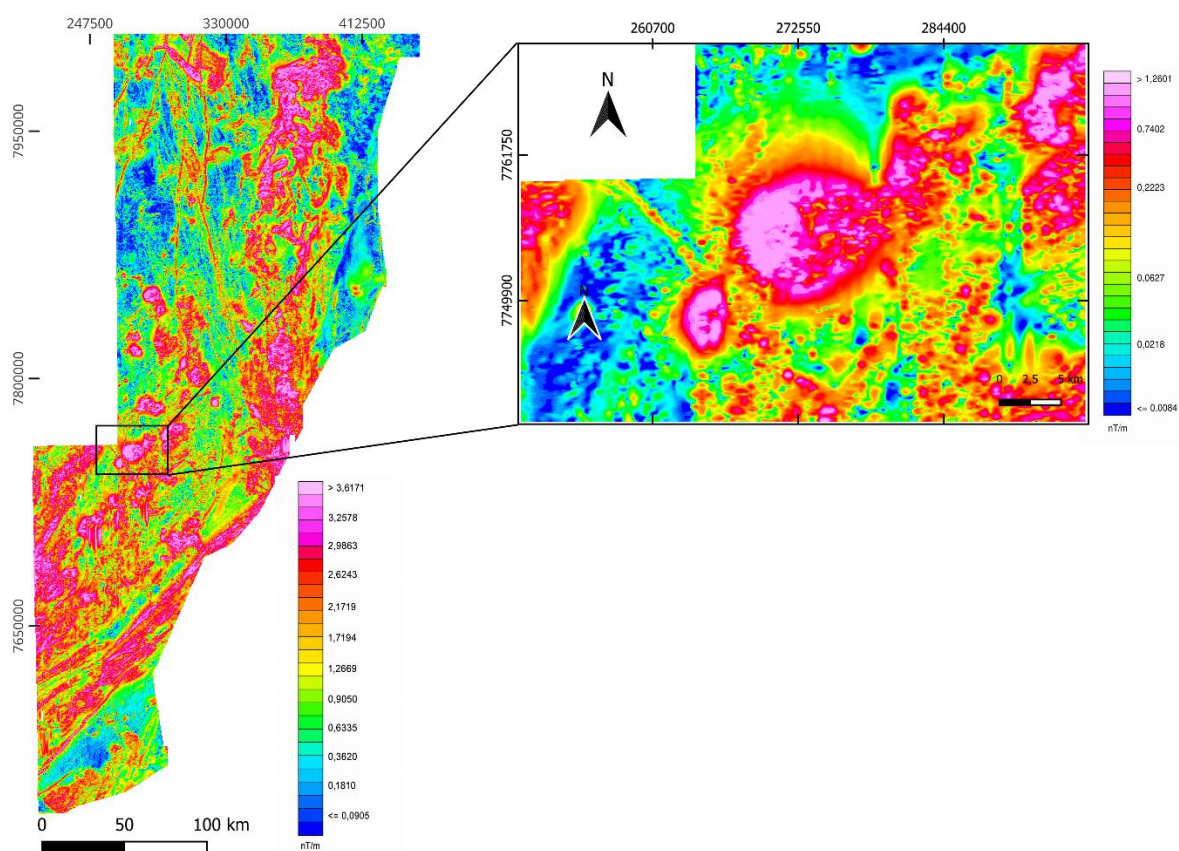
Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2 AEROGEOFÍSICA

5.2.1 Magnetometria

Este capítulo analisa e interpreta os dados magnetométricos para caracterizar o arcabouço estrutural e a litologia em subsuperfície, começando pela localização da área de estudo (Figura 18)

Figura 18: Mapa da Amplitude do Sinal Analítico do Espírito Santo, com foco na área do PVN.



Fonte: Modificado pelo autor. SGB (2010)

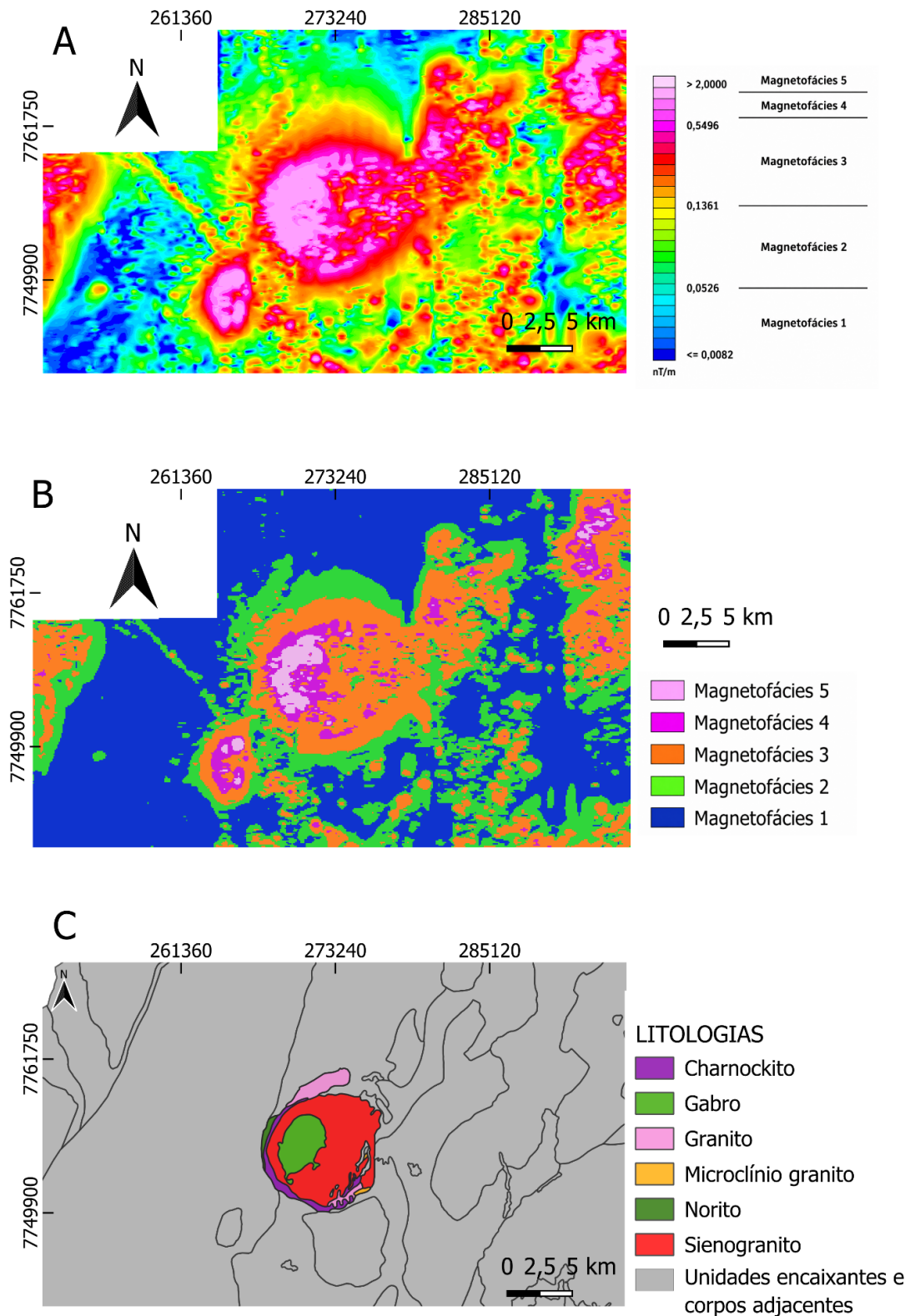
A análise do comportamento magnético teve como base o mapa do Campo Magnético Anômalo (CMA). Este produto representa a resposta magnética bruta da crosta após a subtração do Campo magnético Internacional de Referência (IGRF), onde as anomalias ainda sofrem forte influência do caráter dipolar do campo geomagnético local, o que dificulta o posicionamento exato das fontes (Hinze *et al.*, 2013).

Para contornar essa ambiguidade de sinais e refinar a interpretação estrutural, os dados do CMA foram submetidos a rotinas de filtragem baseadas no cálculo de suas derivadas espaciais de primeira ordem (x, y e z). A integração desses produtos direcionais gerou o mapa de Amplitude do Sinal Analítico (ASA). O ASA combina as derivadas horizontais e vertical do campo magnético e reduz a influência da direção de magnetização, realçando contrastes associados às fontes magnéticas, isso ajuda na delimitação de corpos geológicos rasos e profundos, além bordas e discontinuidades estruturais (Roest *et al.*, 1992). É com base na variação quantitativa da ASA que o mapa foi subdividido em domínios específicos, servindo de base para a interpretação qualitativa das magnetofácies.

5.2.1.1 Magnetofácies

A base para a interpretação magnetométrica foi o mapa de ASA (FIG. Figura 19), uma vez que ele apresenta comportamento monopolar.

Figura 19: A) Mapa da ASA. B) Mapa das magnetofácies interpretadas na área de estudo, e C) mapa geológico.



Fonte: Elaborado pelo autor

A magnetofácies 1 corresponde aos menores valores de resposta magnética da área de estudo, compreendendo o intervalo de 0 a 0,0526 nT/m. No mapa de ASA, essa classe é representada pelos tons mais frios, do azul escuro ao verde, associados às menores amplitudes magnéticas, enquanto no mapa de magnetofácies interpretado corresponde aos polígonos de menor resposta. Sua distribuição ocorre principalmente nas porções externas da área, incluindo setores oeste, sudoeste e leste, além de áreas mais homogêneas no entorno do PVN. Essa magnetofácies é caracterizada por baixas amplitudes e relevo magnético mais suave, refletindo domínios com menor contraste de susceptibilidade magnética.

A magnetofácies 2 abrange valores entre 0,0526 e 0,1361 nT/m, representando uma resposta magnética baixa a moderada. No mapa de ASA, essa classe ocorre em tons entre o verde e o laranja, e no mapa de magnetofácies aparece como uma classe de transição entre os domínios de baixa resposta e as anomalias mais expressivas. Sua distribuição é relativamente ampla e difusa, ocorrendo tanto no entorno do plúton quanto em setores periféricos aos domínios de maior resposta magnética. Essa magnetofácies apresenta sinal ainda predominantemente suave, porém já com aumento gradual da rugosidade e dos contrastes internos.

A magnetofácies 3 compreende valores entre 0,1361 e 0,7705 nT/m, sendo caracterizada por resposta magnética intermediária. No mapa de ASA, corresponde a tons mais quentes, geralmente associados ao laranja e magenta, enquanto no mapa de magnetofácies representa domínios com maior definição espacial. Essa classe ocorre de forma mais expressiva no interior e nas bordas do PVN, contornando anomalias de maior intensidade e formando zonas de transição entre os baixos valores magnéticos e as magnetofácies mais elevadas. Sua ocorrência indica aumento do contraste magnético, com maior rugosidade do sinal e presença de anomalias mais bem definidas. Adicionalmente, ela forma agrupamentos de anomalias menores na porção sudeste da área de estudo

A magnetofácies 4 corresponde ao intervalo entre 0,7705 e 2 nT/m, representando domínios de alta resposta magnética. No mapa de ASA, essa classe está associada a tons quentes, como um magenta mais claro, e no mapa de magnetofácies delimita setores de anomalias mais intensas e contínuas. Sua distribuição ocorre principalmente no interior do PVN, sobretudo em torno das principais feições magnéticas centrais, além de setores localizados nas porções sudoeste, leste e nordeste da área. Essa magnetofácies é marcada por amplitudes elevadas, gradientes mais abruptos e comprimento de onda mais curto, sugerindo

fontes magnéticas com maior contraste de susceptibilidade ou contatos geofísicos bem definidos. Ela também define várias anomalias menores no nordeste e sudoeste da área de estudo

A magnetofácies 5 representa os maiores valores de resposta magnética da área, correspondendo a valores superiores a 2 nT/m. No mapa de ASA, aparece nos tons mais claros da escala, geralmente associados às cores rosa claro, e no mapa de magnetofácies corresponde aos polígonos de maior resposta. Sua distribuição é mais restrita e pontual, concentrando-se em anomalias localizadas no interior do PVN e em setores específicos da área de estudo. Essas feições apresentam altíssima amplitude, gradientes abruptos e geometria irregular a semicircular, podendo estar associadas a fontes magnéticas rasas, bordas de corpos com forte contraste de susceptibilidade ou concentrações locais de minerais magnéticos.

A classificação das magnetofácies indica que o PVN não apresenta comportamento magnético homogêneo. De modo geral, o PVN concentra parte significativa das magnetofácies de maiores valores, sobretudo as magnetofácies 3, 4 e 5, quando comparado às rochas encaixantes adjacentes. Essa resposta evidencia uma compartimentação magnética interna, marcada por variações de amplitude, textura e geometria das anomalias. Essa compartimentação magnética pode ser explicada pela variação na proporção, distribuição e natureza dos minerais magnéticos presentes, especialmente das fases opacas Fe-Ti (Clark, 1999).

Ao observar o plúton em maior detalhe, nota-se que a porção central a centro-oeste apresenta as respostas magnéticas mais expressivas, com anomalias de geometria irregular a semicircular e aspecto mais rugoso. Essa região pode representar um domínio interno de maior contraste magnético, relacionado ao núcleo gabro-norítico composto por minerais máficos e opacos, como magnetita, ilmenita e titanomagnetita (Ludka *et al.*, 1998).

Ao redor do domínio central, observa-se uma zona de resposta magnética ainda elevada, porém menos intensa e mais heterogênea. Como o produto analisado é calculado a partir das derivadas do campo magnético, essa resposta intermediária pode refletir, em parte, a influência lateral do domínio central mais magnético, especialmente nas zonas de borda da anomalia. Entretanto, considerando a geometria concêntrica do PVN e as interpretações de Ludka *et al.* (1998), essa faixa pode também coincidir com porções monzodioríticas formadas pela interação entre os magmas máficos do núcleo e os magmas mais félsicos do envoltório, representando uma possível zona de transição magmática. Onken *et al.* (2024), por outro lado, descrevem uma

transição local do núcleo gabronorítico-diorítico para monzodioritos, sem necessariamente caracterizar um halo contínuo ao redor de todo o núcleo. Assim, a faixa magnética intermediária pode ter relação com essa transição litológica, mas sua delimitação não pode ser estabelecida apenas com base no produto magnético.

Nas porções externas do PVN, a resposta magnética apresenta comportamento variável, refletindo a diversidade litológica e mineralógica dessas áreas. Embora o envoltório quartzo-sienítico/sienomozonítico e os granitos periféricos tendam a possuir menor conteúdo de minerais ferromagnéticos que o núcleo gabro-norítico, variações na quantidade e na distribuição de magnetita e de outros minerais opacos podem produzir contrastes magnéticos internos. Além disso, o anel charnockítico-norítico situado na borda oeste contém piroxênios, anfibólio, biotita, ilmenita e magnetita, podendo apresentar respostas magnéticas mais elevadas e heterogêneas (Mendes e De Campos, 2012; Bellon, 2021). Assim, setores félsicos mais enriquecidos nesses minerais tendem a apresentar resposta magnética relativamente maior, enquanto porções mais leucocráticas, ricas em quartzo e feldspatos, tendem a exibir resposta mais baixa.

Dessa forma, as magnetofácies 4 e 5 representam áreas de resposta magnética elevada, mas não devem ser interpretadas como equivalentes diretas a uma única litologia. Esses valores podem estar relacionados tanto à presença de minerais magnéticos quanto ao contraste entre diferentes domínios litológicos, como o núcleo gabróico, o halo intermediário e o envoltório félsico. Além disso, uma mesma magnetofácies pode abranger porções de unidades distintas, refletindo mais o comportamento geofísico do que a composição litológica isolada. Portanto, a interpretação das magnetofácies reforça a existência de uma compartimentação magnética interna no PVN, cuja associação litológica deve ser feita de forma integrada com o mapa geológico, os produtos magnetométricos e os dados petrográficos disponíveis.

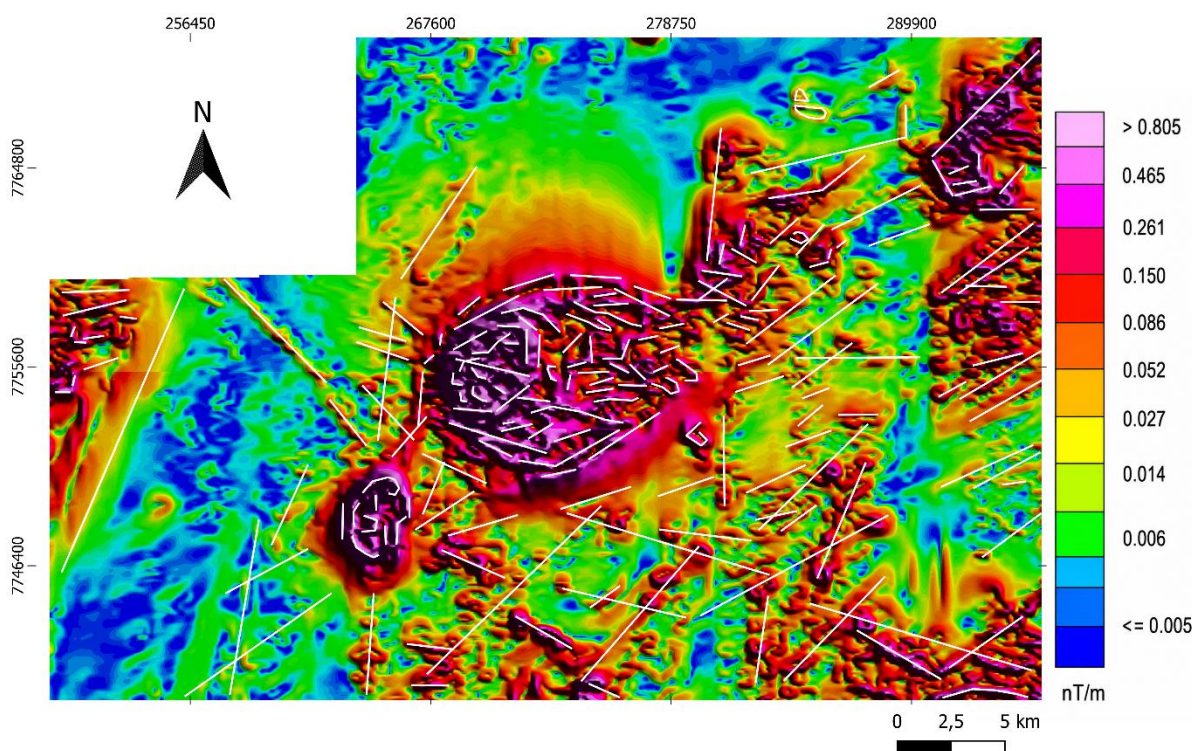
5.2.1.2 Lineamentos

Para a identificação dos lineamentos magnéticos da área, foram comparados os mapas de THG, ASA, e 1dZ do THG. O THG foi adotado como principal produto, pois destaca variações laterais do campo magnético, geralmente associadas a bordas de fontes magnéticas, contatos entre domínios com diferentes susceptibilidades e descontinuidades geofísicas (Cordell e Grauch, 1985). A ASA foi utilizada como produto complementar auxiliando na identificação das anomalias magnéticas mais expressivas e na avaliação da continuidade das feições interpretadas, enquanto a 1dZ do THG foi utilizada para realçar variações mais abruptas do

gradiente e destacar lineamentos mais sutis, uma vez que derivadas magnéticas são amplamente utilizadas para realçar feições estruturais e contatos magnéticos (Verduzco *et al.*, 2004)

A comparação entre esses produtos (THG, ASA e 1dZ do THG) permitiu reduzir ambiguidades na vetorização dos lineamentos, seguindo a lógica de integração entre diferentes métodos de realce e localização de contatos magnéticos em estudos aeromagnéticos (Phillips, 2002).

Figura 20: Mapa do THG do PVN com os lineamentos interpretados



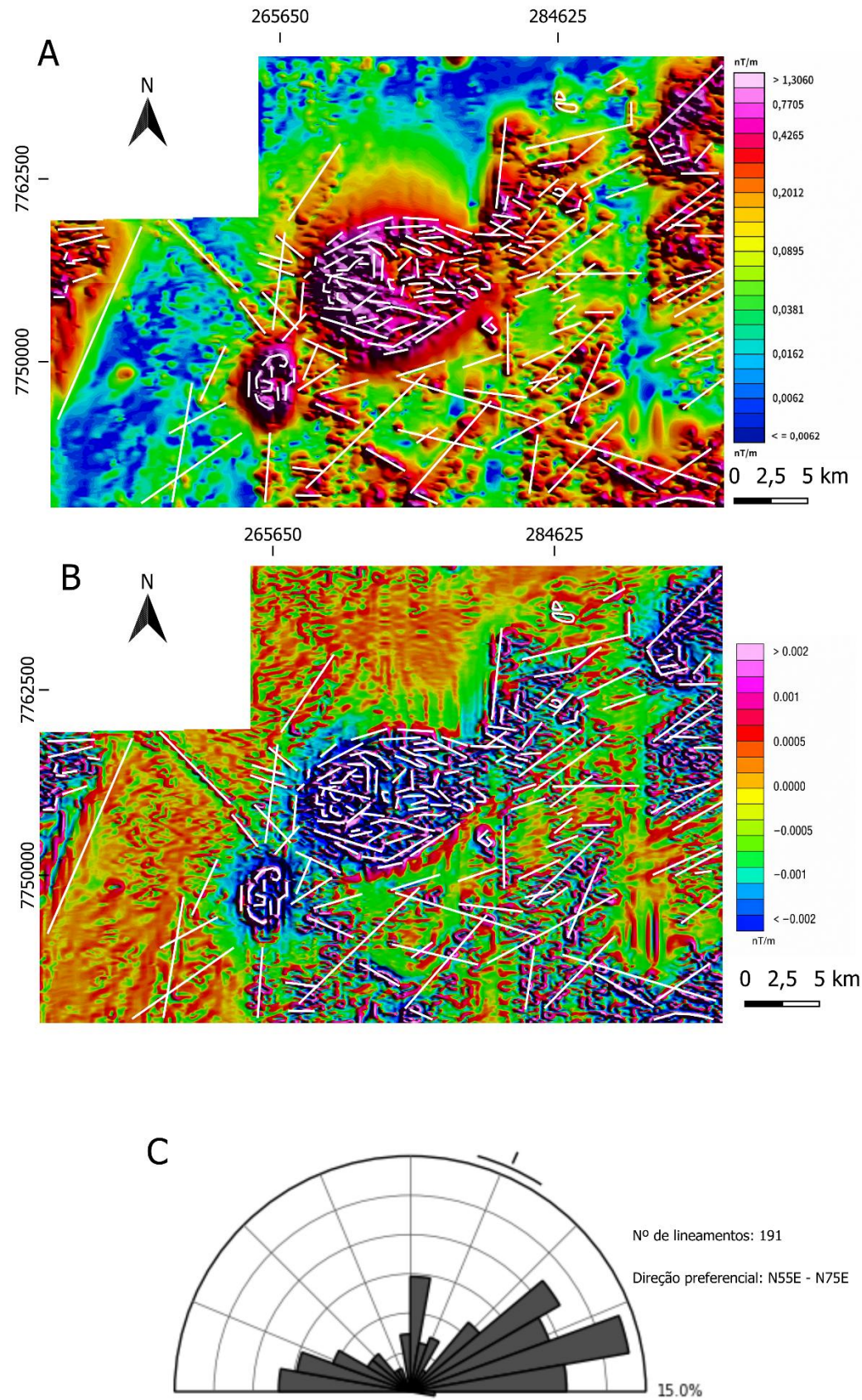
Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise dos lineamentos magnéticos, realizada a partir da comparação entre os mapas de THG, ASA e 1dZ do THG, revelou um padrão geofísico complexo na área de estudo. As feições foram vetorizadas principalmente onde ocorrem faixas contínuas e alongadas de alto gradiente no THG, sendo comparadas com o mapa de ASA para avaliar sua relação com anomalias magnéticas mais expressivas, e com o mapa da 1dZ do THG para realçar variações abruptas do gradiente, auxiliando na identificação de feições mais sutis ou descontínuas (Figura 21).

O diagrama de rosetas (FIG.Figura 21: Mapa dos lineamentos extraídos do mapa THG nos produtos derivados A) ASA, B) 1dZ THG) e seu diagrama de roseta (C).Figura 21) indica

o predomínio de lineamentos com orientação NE-SW, principalmente entre N55E e N70E, constituindo a principal família de lineamentos. Além dessa, também ocorrem uma família de lineamentos com orientação NW-SE, que cruzam ou limitam partes das anomalias principais, e por fim feições com direção N-S a NNE-SSW.

Figura 21: Mapa dos lineamentos extraídos do mapa THG nos produtos derivados A) ASA, B) 1dZ THG) e seu diagrama de roseta (C).



Fonte: Elaborado pelo autor

A distribuição dos lineamentos externos ao PVN sugere que as principais descontinuidades crustais herdadas exerceram importante controle sobre sua instalação. Isso teria ocorrido mesmo em um contexto pós-colisional, associado aos estágios finais do Orógeno Araçuaí, no qual o alojamento do plúton é interpretado como relativamente desacoplado da deformação regional (Bellon *et al.*, 2021). A predominância de lineamentos com direção NE-SW coincide com a orientação da foliação regional, das principais zonas de cisalhamento e estruturas descritas para a região (FIG.Figura 22). A comparação com o mapa estrutural mostra que vários lineamentos externos ao PVN são paralelos às falhas/fraturas, zonas de cisalhamento e lineamentos estruturais da região, registradas na base cartográfica da SGB (2019), principalmente nos setores norte, nordeste e sudeste, indicando que essas anisotropias atuaram como zonas preferenciais de fraqueza durante a ascensão e o alojamento do magma. Dessa forma, embora o magmatismo tenha ocorrido após o principal evento colisional, os dados geofísicos reforçam a hipótese de que o PVN aproveitou estruturas pré-existentes da crosta para sua colocação, em vez de se instalar de maneira completamente independente da arquitetura tectônica regional. Essa interpretação é consistente com os modelos propostos por Wiedemann *et al.* (2002) e Mendes e De Campos (2012), que sugerem a participação da Zonas de Cisalhamento Guaçu e outras estruturas com direção NE-SW como importantes condicionantes do alojamento do plúton. Além dessa correspondência direcional, alguns lineamentos acompanham trechos do contato entre o PVN e encaixantes, podendo estar associado a contatos intrusivos ou contrastes de susceptibilidade magnética entre as unidades, contudo, nem sempre todo contato geológico é marcado por um lineamento magnético contínuo.

Figura 22: Mapa das principais estruturas geológicas da região do Plúton Venda Nova, com destaque para a Zona de Cisalhamento Guaçuí (ZCG). As estruturas foram compiladas da base cartográfica da SGB.



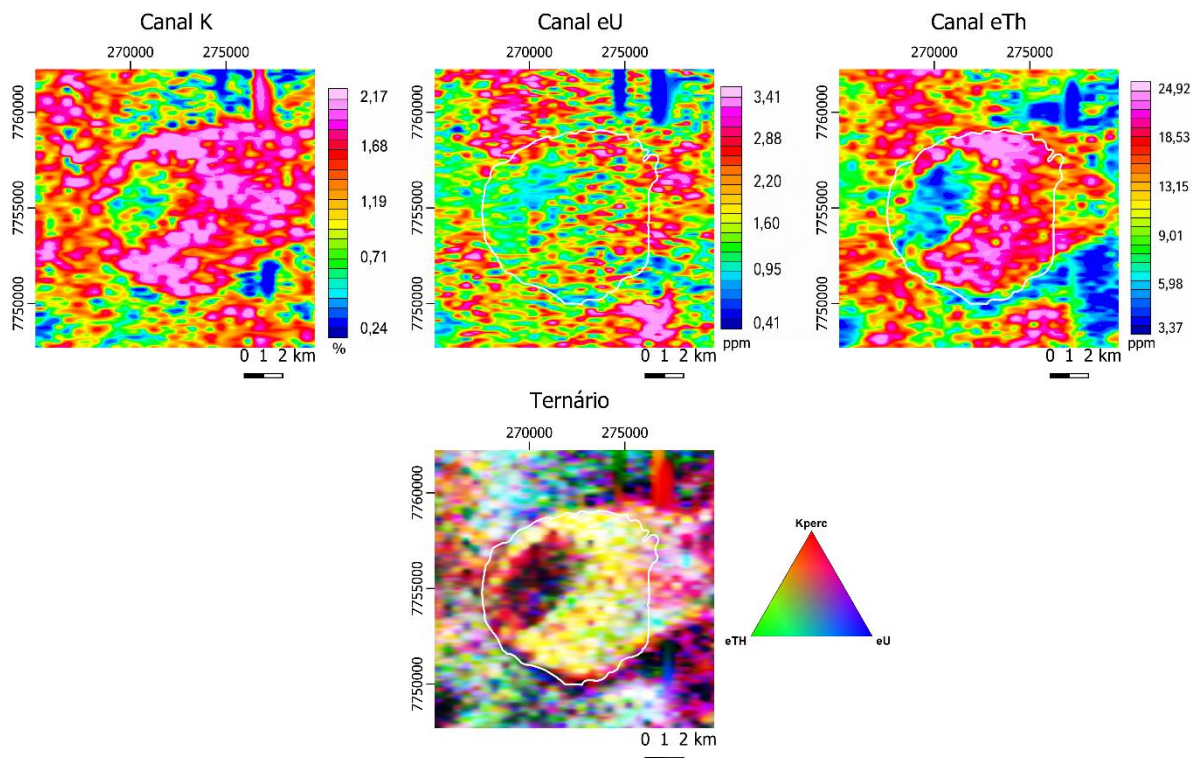
Fonte: Elaborado pelo autor

A compartimentação magnética interna pode ser relacionada a organização estrutural do PVN, indica por Bellon *et al* (2021) a partir de dados de anisotropia de susceptibilidade magnética. Segundo os autores, o plúton apresenta uma trama magnética parcialmente concêntrica, associada ao alojamento do corpo. No interior do PVN, parte dos lineamentos apresenta geometria curva ou parcialmente concêntrica, acompanhando localmente os contatos entre as principais litologias, refletindo limites internos e variações na distribuição de minerais magnéticos. Outros lineamentos, principalmente nas direções NE-SW e NW-SE, cortam esses contatos e podem representar estruturas herdadas ou reativadas. Assim, alguns lineamentos podem estar relacionados a contatos geológicos, enquanto outros apresentam caráter estrutural. Além disso, Bellon *et al* (2021) também reconheceram um corredor de esforço com direção NE-SW, que pode indicar a influência ou a reativação de estruturas regionais preexistentes durante a instalação do corpo.

5.2.2 Gamaespectrometria

A gamaespectrometria aérea registra variações na distribuição dos radioelementos K, eU e eTh, cuja resposta, devido ao baixo poder de penetração da radiação gama, reflete principalmente a composição dos materiais aflorantes e até 30 cm da camada superficial do terreno (Dickson e Scott, 1997). Os mapas confeccionados (Figura 23) tiveram como objetivo auxiliar na caracterização dos litotipos e litofácies presentes na área.

Figura 23: Mapa radiométrico dos canais K, eU, eTh e ternário RGB – K, eTh, eU, com o limite do PVN definido pelo polígono em branco.

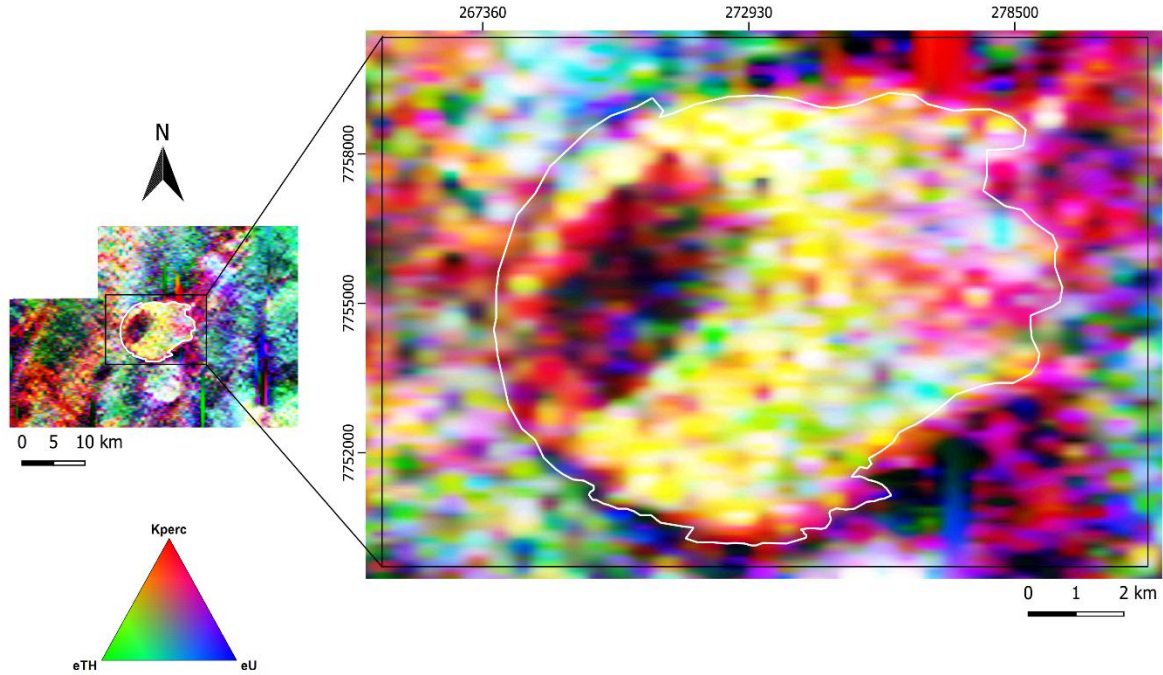


Fonte: Modificado pelo autor. CPRM (2010)

5.2.2.1 Radiofácies

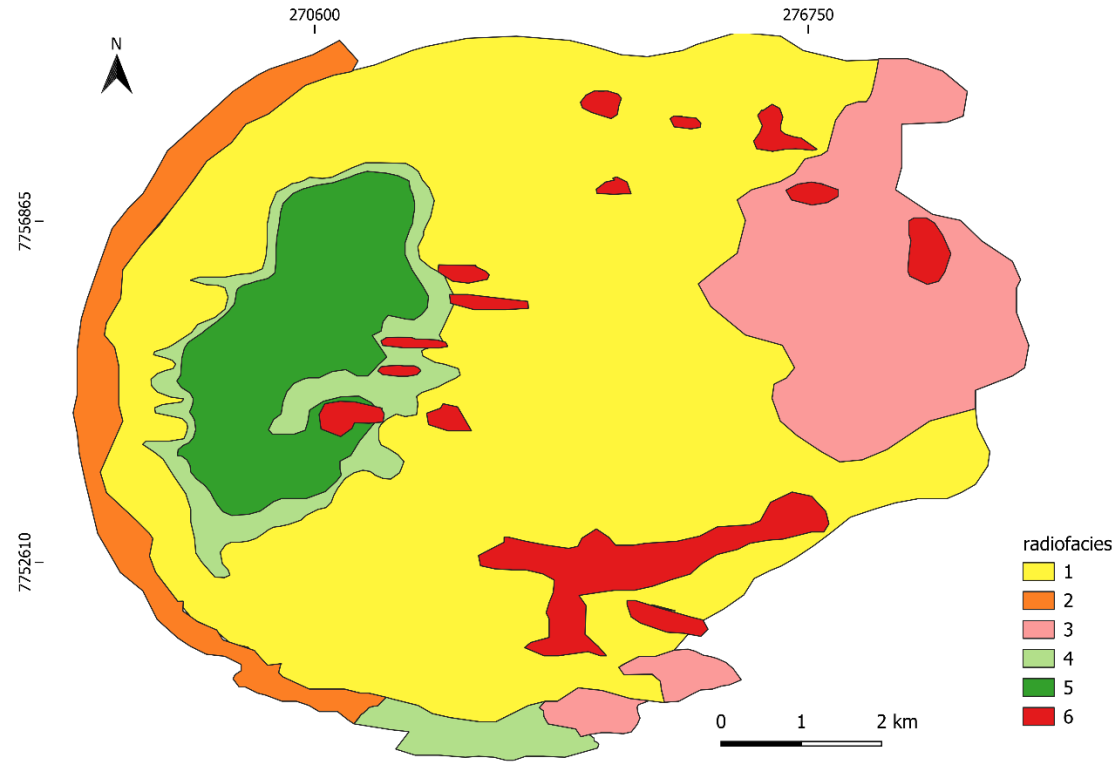
O mapa ternário RGB (Figura 24 Figura 24), foi o principal produto gerado para a realização da análise qualitativa dos dados radiométricos. A partir dele foi possível reconhecer diferentes padrões radiométricos no interior do PVN. O mapa ternário foi interpretado considerando a contribuição relativa dos três radioelementos, em qual o canal vermelho representa o K, o canal verde representa o eTh e o canal azul representa o eU, auxiliando no reconhecimento de domínios radiométricos e possíveis variações litológicas superficiais (IAEA, 2003). Assim, as tonalidades amarelas indicam contribuição conjunta de K e eTh, os tons magentas indicam associação de K e eU, os tons cianos indicam associação de eTh e eU, enquanto tons claros indicam maior contribuição relativa dos três canais, e tons escuros indicam menor contribuição relativa dos três canais. Logo, a partir do mapa ternário, 6 radiofácies foram mapeadas (Figura 25).

Figura 24: Mapa ternário dos canais radiométricos (R: K, G: eTh, B: eU) com o limite das radiofácies do PVN delimitado de branco.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 25: Mapa dos domínios / radiofácies do PVN interpretados



Fonte: Elaborado pelo autor

A radiofácies 1 consiste no domínio de maior expressão espacial, ocupando grande parte da porção central e periférica do PVN. Na imagem ternária, essa radiofácies corresponde majoritariamente as tonalidades amarelas, amarela-esbranquiçadas e claras, indicando associação relativa entre K e eTh, com participação subordinada de eU. Essa assinatura contrasta com domínios mais escuros ou com tonalidades magenta, verdes e cianas observadas nas outras porções do plúton. Sua distribuição pode estar relacionada, em parte, ao envoltório quartzo-sienítico/sienomonzonítico do PVN, cujas rochas possuem maior proporção de K-feldspatos e minerais acessórios ricos em eTh.

A radiofácies 2 ocorre principalmente como uma faixa periférica no setor ocidental do corpo, apresentando geometria alongada e distribuição relativamente contínua em torno da borda oeste do plúton. Ao ser comparada à imagem ternária, essa radiofácies coincide com tons avermelhados, magenta a arroxeados e localmente escuros. Essa resposta indica predomínio relativo do canal de K, com contribuição secundária de eU e menor participação relativa de eTh. A presença de tons mais escuros em partes dessa unidade indica variações internas na intensidade da resposta radiométrica. Sua distribuição espacial pode ser relacionada às unidades charnockíticas, noríticas e graníticas situadas na borda oeste do corpo. A heterogeneidade radiométrica pode refletir tanto diferenças litológicas e mineralógicas quanto variações de alteração e exposição das rochas.

A radiofácies 3 concentra-se, principalmente, no setor oriental do plúton, formando um domínio de contorno irregular e extensão expressiva. Na composição ternária, essa unidade apresenta predominância de tons rosados a magenta, indicando maior contribuição de K e eU, com menor participação de eTh. Em comparação com a radiofácies 1, a radiofácies 3 apresenta menor proporção de tons amarelos e maior participação de tonalidades associadas ao canal azul, refletindo na coloração rosa no mapa ternário, evidenciando uma resposta ternária diferente. Essa unidade pode estar associada a variações internas das rochas félsicas do envoltório ou a corpos graníticos periféricos, diferenciando-se da radiofácies 1 principalmente pela maior contribuição relativa de eU.

A radiofácies 4 ocorre principalmente na porção centro-oeste do plúton, com geometria irregular e distribuição localizada entre o núcleo e o envoltório. A sobreposição dessa unidade ao mapa ternário mostra uma resposta heterogênea, com a predominância de tons avermelhados e vermelho-alaranjados, indicando maior contribuição relativa de K em relação aos outros canais. Por sua posição intermediária, essa radiofácies pode estar relacionada a uma zona de transição entre o núcleo máfico e o envoltório mais félsico, incluindo possíveis ocorrências de

rochas dioríticas ou monzodioríticas. Essa correlação, contudo, deve ser tratada como interpretativa, pois a resposta observada também pode resultar de variações superficiais.

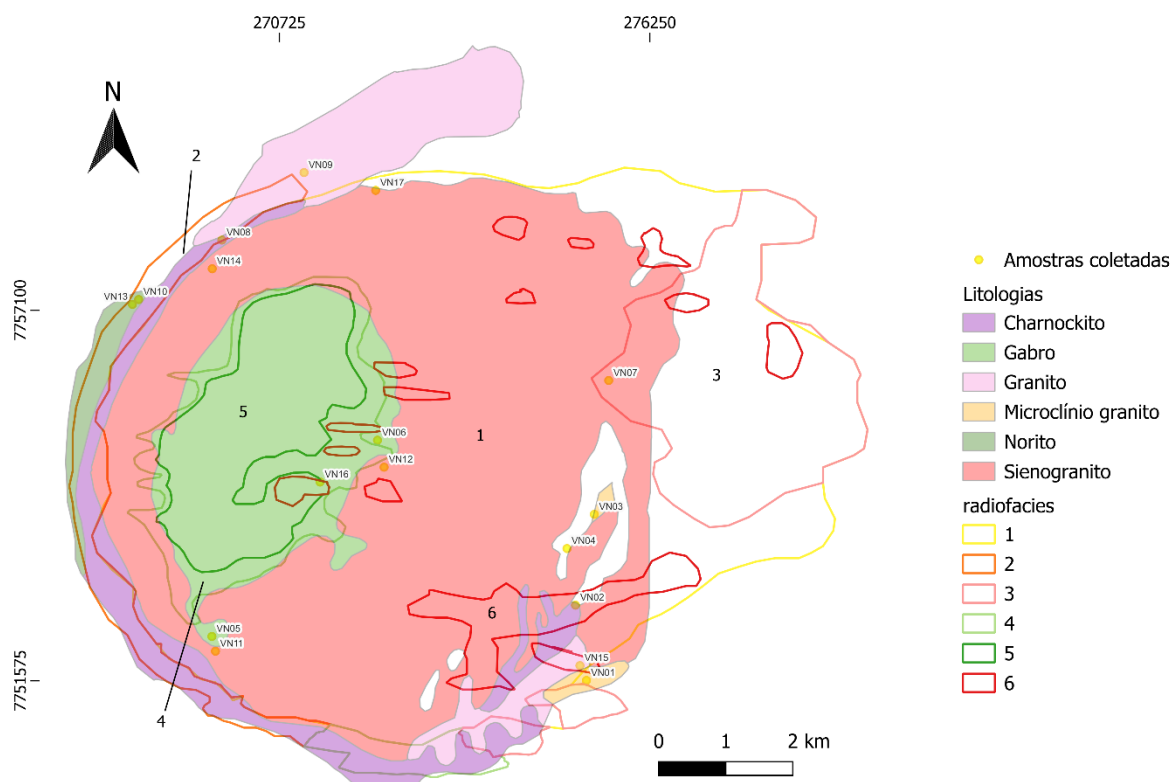
A radiofácies 5, forma um domínio relativamente bem definido na porção centro-oeste do plúton. Na imagem ternária, essa área é caracterizada por tonalidades predominantemente escuras, com variações locais para tons de magenta, azulados e esverdeados. A presença de tons escuros indica menor intensidade relativa dos três canais, se destacando pelo contraste radiométrico em relação as demais radiofácies adjacentes. Essa baixa resposta é compatível com o núcleo gabro-norítico do PVN, uma vez que rochas máficas geralmente possuem menores concentrações de K, eU e eTh em comparação com as unidades mais félsicas do envoltório.

A radiofácies 6 ocorre como manchas descontínuas e de pequena extensão, distribuídas em diferentes setores do plúton. No mapa ternário, essa radiofácies se apresenta em tons de verde, verde claro e cianos. Essas tonalidades indicam predomínio relativo em eTh, localmente associado ao eU, e em alguns pontos, com contribuição de K. A distribuição espaçada dessa radiofácies evidencia a ocorrência de anomalias radiométricas pontuais no interior do plúton, refletindo sua heterogeneidade. Essas anomalias podem estar relacionadas a concentrações locais de minerais acessórios portadores de Th e U, alterações superficiais ou variações na cobertura do terreno. Entretanto, devido à pequena extensão e ao caráter descontínuo dessas manchas, parte dessa resposta também pode representar ruídos residuais ou artefatos do levantamento e do processamento dos dados.

5.2.2.2 Integração Análise Gamaespectrométrica e Mapa Litológico

A comparação entre as radiofácies interpretadas e a geologia conhecida do PVN permite relacionar parte desses domínios às litologias descritas para o plúton. Essa relação, porém, não representa uma correspondência direta e absoluta entre radiofácies e litologia, pois a gamaespectrometria registra apenas a distribuição superficial de K, eU e eTh. Além disso, essa resposta pode ser influenciada por alteração, cobertura superficial, variações mineralógicas e presença de minerais acessórios. Mesmo assim, quando as radiofácies coincidem espacialmente com unidades já descritas na literatura, elas podem ser usadas como apoio para interpretar a compartimentação interna do PVN. A FIG.Figura 26 a seguir mostra o mapa integrado das radiofácies com o mapa litológico

Figura 26: Mapa integrado das radiofácies e litologias do PVN.



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados litológicos da SGB (2019).

As radiofácies apresentam relações diferentes com as unidades litológicas do PVN. A radiofácies 1 é a mais ampla e está associada ao envoltório sienomonzonítico, sendo sustentada pelas lâminas VN01 e VN09, que apresentam minerais compatíveis com termos félsicos, como feldspatos, quartzo e biotita. A radiofácies 2 acompanha a borda oeste e sudoeste do plúton, coincidindo com os domínios de charnockito e norito, sendo reforçada pelas lâminas VN10 e VN08, que apresentam uma assembleia de minerais, como piroxênio, hornblenda e opacos, que indicam caráter intermediário as rochas (Mendes e De Campos, 2012).

A radiofácies 3 ocorre nos setores leste e sudeste do plúton, associados aos granitos subordinados periféricos e porções marginais do domínio sienomonzonítico, indicando variações internas no domínio félsico. A radiofácies 4 aparece como uma faixa de transição entre o envoltório félsico e o núcleo gabro-norítico, podendo representar o halo monzodiorítico (Ludka *et al.*, 1998), porém não cartografado pela SGB (2019), podendo ser sustentada pela lâmina VN06.

A radiofácies 5 coincide com a unidade mapeada como gabro e foi associada ao núcleo gabro-norítico. Essa interpretação é compatível com sua menor resposta radiométrica, uma vez que rochas máficas tendem a apresentar menores concentrações de K, eU e eTh quando comparadas com rochas félsicas (Dentith e Mudge, 2014). Além disso, amostras coletadas

também sustentam essa interpretação, devido à proximidade espacial com o ponto da amostra da lâmina VN06 e a diferença no caráter máfico entre essas amostras. Já a radiofácies 6 ocorre como manchas descontínuas sobre diferentes litologias, sendo interpretada como anomalias radiométricas locais, sem associação direta com nenhuma unidade litológica específica, podendo estar relacionadas à concentração de minerais acessórios portadores de eU e eTh ou a processos superficiais de alteração (Dickson e Scott, 1997).

Figura 27: Amostra de rocha máfica, composta por plagioclásio e minerais máficos (Ponto VN16), interpretado como correspondente aos gabros do núcleo do PVN



Fonte: Elaborada pelo autor. 2026

6 CONCLUSÃO

Os resultados mostram que o PVN não possui comportamento geofísico homogêneo, mas apresenta diferentes domínios relacionados a variações litológicas, mineralógicas e estruturais. A magnetometria permitiu reconhecer contrastes internos e lineamentos com direção predominante NE–SW, além de feições NW–SE e N–S. O predomínio de estruturas NE–SW é compatível com o arcabouço regional do Orógeno Araçuaí e pode indicar influência de estruturas preexistentes no alojamento e na organização interna do plúton. No entanto, esses lineamentos representam feições geofísicas e não podem ser interpretados diretamente como falhas sem confirmação em campo.

A gamaespectrometria permitiu individualizar seis radiofácies, associadas ao envoltório sienomonzonítico e quartzo-sienítico, ao anel norítico-charnockítico, aos granitos periféricos, ao possível halo monzodiorítico, ao núcleo gabro-norítico e a um domínio sem relação litológica bem definida. Entre os resultados, destaca-se a radiofácies 4, localizada entre o núcleo de baixa resposta radiométrica e o envoltório de maior resposta. Sua posição e seu comportamento heterogêneo permitem interpretá-la como uma possível zona de transição relacionada ao halo monzodiorítico descrito na literatura.

Onken *et al.* (2024) também reconheceram variações internas no PVN, incluindo rochas monzodioríticas entre os termos mais máficos e os sieníticos. Essa interpretação é compatível com a presença de uma zona intermediária. Entretanto, o trabalho desses autores não delimita exatamente uma faixa monzodiorítica com os mesmos limites da radiofácies 4. Então, essa radiofácies deve ser considerada uma possível expressão geofísica da zona de transição, e não a definição final de uma unidade litológica.

As lâminas delgadas forneceram suporte pontual para as interpretações, principalmente nos domínios félsicos, intermediários e no anel norítico-charnockítico. A ausência de uma lâmina representativa do núcleo gabro-norítico limita sua confirmação petrográfica direta, sendo essa associação sustentada principalmente pela geologia disponível, pelas amostras de mão e pela resposta geofísica.

De modo geral, a integração entre magnetometria, gamaespectrometria, geologia e petrografia permitiu reconhecer domínios, contatos e zonas de transição que não estão totalmente individualizados na cartografia regional. A principal contribuição do trabalho foi propor uma compartimentação geofísica integrada para o PVN, com destaque para a identificação de uma possível zona intermediária relacionada ao halo monzodiorítico. A

confirmação dessa interpretação depende de mapeamento de maior detalhe, novas amostragens e análises petrográficas e geoquímicas.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALKMIM, F.F. et al. **Kinematic evolution of the Araçuaí-West Congo orogen in Brazil and Africa: Nutcracker tectonics during the Neoproterozoic assembly of Gondwana.** Precambrian research, v. 149, n. 1-2, p. 43-64, 2006.
- ALKMIM, F.F. *et al.* **Sobre a evolução tectônica do orógeno Araçuaí-Congo Ocidental.** Geonomos, 2007.
- ASSUMPÇÃO, M. *et al.* **Crustal thickness map of Brazil: data compilation and main features.** Journal of South American Earth Sciences, v. 43, p. 74–85, 2013.
- BELLON, U. D. *et al.* **Building an inversely zoned post-orogenic intrusion in the Neoproterozoic-Cambrian Araçuaí orogen (Brazil).** Journal of Structural Geology, v. 149, p. 104401, 2021.
- CLARK, D. A. **Magnetic petrology of igneous intrusions: implications for exploration and magnetic interpretation.** Exploration Geophysics, v. 30, p. 5–26, 1999.
- CORDELL, L.; GRAUCH, V. J. S. **Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan Basin, New Mexico.** 1985.
- DENTITH, M; MUDGE, S T. **Geophysics for the mineral exploration geoscientist.** Cambridge University Press, 2014.
- DE OLIVEIRA, D. C. *et al.* **Gravimetric, radiometric, and magnetic susceptibility study of the Paleoproterozoic Redenção and Bannach plutons, eastern Amazonian Craton, Brazil: Implications for architecture and zoning of A-type granites.** Journal of South American Earth Sciences, v. 25, n. 1, p. 100-115, 2008.
- 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, 1997.
- FREY, M.; BOSSENNEC, C.; SASS, I. **Mapping buried fault zones in a granitic pluton using aeromagnetic data.** Pure and Applied Geophysics, v. 180, p. 2241-2255, 2023.
- GUASTALDI, E. *et al.* **A multivariate spatial interpolation of airborne γ -ray data using the geological constraints.** Remote sensing of environment, v. 137, p. 1-11, 2013.
- HASUI, Y. **A grande colisão pré-cambriana do sudeste brasileiro e a estruturação regional.** Geociências (São Paulo, UNESP), v. 29, n. 2, p. 141-169, 2010.
- HEILBRON, M. et al. **Província Mantiqueira.** In: MANTESSO NETO, V. et al. (org.). **Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida.** São Paulo: Beca, 2004. p. 203-235.
- HINZE, W. J.; VON FRESE, R.; SAAD, A. H. **Gravity and magnetic exploration: Principles, practices, and applications.** Cambridge university press, 2013.

- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY – IAEA. **Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data**. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2003. IAEA-TECDOC-1363.
- KEAREY, P; BROOKS, M.; HILL, I.. **Geofísica de exploração**. Oficina de textos, 2009.
- LUDKA I. P., WIEDEMANN C. M., TÖPFNER C. **On origin of incompatible element in the Venda Nova pluton, State of Espírito Santo, southeast Brazil**. Journal of South American Earth Sciences, v. 11, n. 5, 73-486, 1998.
- MENDES, J.C.; DE CAMPOS, C.M.P. **Norite and charnockites from the Venda Nova Pluton, SE Brazil: Intensive parameters and some petrogenetic constraints**. Geoscience frontiers, v. 3, n. 6, p. 789-800, 2012.
- NOCE, C. M. *et al.* **O embasamento arqueano e paleoproterozóico do Orógeno Araçuaí**. 2007.
- ONKEN, C. T. *et al.* **Timing and origin of the post-collisional Venda Nova and Várzea Alegre Plutons from the Araçuaí belt, Espírito Santo, Brazil**. Lithos, v. 482, p. 107677, 2024.
- PEDROSA-SOARES, A.C. **Orógeno Araçuaí: síntese do conhecimento 30 anos após Almeida 1977**. Genomos, v. 15, n. 1, p. 1-16, 2007
- PEDROSA-SOARES, A.C. *et al.* **Late Neoproterozoic–Cambrian granitic magmatism in the Araçuaí orogen (Brazil), the Eastern Brazilian Pegmatite Province and related mineral resources**. Geological Society, London, Special Publications, v. 350, p. 25-51, 2011.
- PHILLIPS, J. D. **Processing and interpretation of aeromagnetic data for the Santa Cruz Basin–Patagonia Mountains area, south-central Arizona**. US Geological Survey, 2002.
- REEVES, C. **Aeromagnetic surveys: principles, practice and interpretation**. Washington (DC): Geosoft, 2005.
- ROEST, W. R.; VERHOEF, J.; PILKINGTON, M.. **Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal**. Geophysics, v. 57, n. 1, p. 116-125, 1992.
- SGB – Serviço Geológico do Brasil. **Mapa geológico do estado do Espírito Santo**. Escala 1:400.000. Belo Horizonte: CPRM, 2019. Disponível em: Geobases (2023).
- SGB – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Projeto Aerogeofísico Espírito Santo: relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. Volume I: texto técnico**. Rio de Janeiro: Prospectors Aerolevantamentos e Sistemas Ltda., 2010.
- TELFORD, W. M.; GELDART, Lloyd P.; SHERIFF, Robert E. **Applied geophysics**. Cambridge university press, 1990.

VERDUZCO, B. *et al.* **New insights into magnetic derivatives for structural mapping.** The leading edge, v. 23, n. 2, p. 116-119, 2004.

WIEDEMANN, C. M. *et al.* **Architecture of late orogenic plutons in the Araçuaí-Ribeira fold belt, southeast Brazil.** Gondwana Research, v. 5, n. 2, p. 381-399, 2002.

WIEDEMANN-LEONARDOS, C. M. *et al.* **Arquitetura de Plútons zonados da Faixa Araçuaí-Ribeira.** Geonomos, v.8, n. 1, p. 25-38, 2000.