

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA (IGUFU)

ANDREA ANTONELLI UCHÔA

**PROCESSAMENTO MAGNETOMÉTRICO DE UMA ANOMALIA DIPOLAR
NA BACIA SEDIMENTAR DE TAUBATÉ-SP: UMA ABORDAGEM GEOFÍSICA
ATRAVÉS DE INVERSÃO 2D**

Monte Carmelo

2025

ANDREA ANTONELLI UCHÔA

**PROCESSAMENTO MAGNETOMÉTRICO DE UMA ANOMALIA
DIPOLAR NA BACIA SEDIMENTAR DE TAUBATÉ-SP: UMA ABORDAGEM
GEOFÍSICA ATRAVÉS DE INVERSÃO 2D**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Geologia do
Instituto de Geografia da Universidade
Federal de Uberlândia, como parte dos
requisitos necessários à obtenção do título de
Bacharel em Geologia.

Orientador: Fabiano Mota

Coorientador: André Pires Negrão

Monte Carmelo

2025

ANDREA ANTONELLI UCHÔA

PROCESSAMENTO MAGNETOMÉTRICO DE UMA ANOMALIA DIPOLAR
NA BACIA SEDIMENTAR DE TAUBATÉ-SP: UMA ABORDAGEM GEOFÍSICA
ATRAVÉS DE INVERSÃO 2D

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Geologia do
Instituto de Geografia da Universidade
Federal de Uberlândia, como parte dos
requisitos necessários à obtenção do título de
Bacharel em Geologia.

Monte Carmelo – MG, 2025

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Fabiano Mota da Silva – Orientador (UFU)

Prof. Dr. Leonardo Guimaraes Miquelutti (UFF)

Prof. Dr. Renato Rodriguez Cabral Ramos (UFRJ)

**Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

U17	Uchôa, Andrea Antonelli, 2000-
2025	PROCESSAMENTO MAGNETOMÉTRICO DE UMA ANOMALIA DIPOLAR NA BACIA SEDIMENTAR DE TAUBATÉ-SP: UMA ABORDAGEM GEOFÍSICA ATRAVÉS DE INVERSÃO 2D [recurso eletrônico] / Andrea Antonelli Uchôa. - 2025.
<p>Orientador: Fabiano Mota. Coorientador: André Pires Negrão. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Uberlândia, Graduação em Geologia. Modo de acesso: Internet. Inclui bibliografia.</p>	
<p>1. Geologia. I. Mota, Fabiano,1985-, (Orient.). II. Negrão, André Pires,1983-, (Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia. Graduação em Geologia. IV. Título.</p>	

CDU: 551

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer, sobretudo, a minha família pela dedicação e apoio durante esses anos de graduação. Aos meus avós, Ivanilda, Luiz, Nilza e Plinio os quais tudo devo, meus pais Susete e André que estiveram ao meu lado em cada passo dessa jornada. Sem vocês nada seria possível, obrigada.

Atribuo meus agradecimentos ao meu orientador, Prof. Fabiano Mota da Silva, que foi uma peça indispensável para minha evolução como geóloga, serei eternamente grata a todas as vezes que o senhor me mostrou que eu era capaz e digna do meu caminho. Agradeço ao Prof. Leonardo Miquelutti que me estendeu a mão lá em 2023 e permitiu que eu conseguisse realizar uma etapa linda da minha trajetória acadêmica com o meu estágio no GISIS, onde conheci pessoas as quais levarei para vida, em especial meus colegas Klauss Sampaio Silva, Brenno Nobre e André Bittencourt.

Aos meus grandes amigos de Monte Carmelo, lugar onde construí histórias lindas e serei eternamente grata a tudo e todos que conheci, especialmente a Mayra Carolina que esteve ao meu lado desde o início e se mantém comigo até hoje, te levarei para sempre na minha vida. Amo a todos e obrigada pelo aprendizado.

A Maiara Cecilia dos Santos e Beatriz Martins, vocês são grandiosas e eu amo vocês duas para o resto da minha existência. Vocês são as irmãs que Deus me deu, e eu fico muito feliz em encerrar essa nova etapa da minha vida tendo vocês ao meu lado.

Agradeço a Deus pela força que sempre me deu, só nós sabemos o que esses anos de graduação significaram e a força necessária para vencer os obstáculos. Sou eternamente grata a mim por nunca ter desistido de tentar e de lutar, sou feliz pela vida que estamos construindo e sou grata Ele por acreditar que o novo dia vai raiar.

RESUMO

A Bacia de Taubaté é uma bacia sedimentar cenozoica, parte do segmento central do Rift Continental do Sudeste do Brasil, caracterizada por sua complexa história tectônica e sedimentar. Esta bacia possui uma sequência de sedimentos clásticos, com importantes eventos magnéticos que podem estar associados a corpos alcalinos e vulcânicos. Para a investigação geofísica e de fotointerpretação foram utilizados os softwares *Oasis Montaj* (versão 5.1.8) do sistema *Geosoft*, comercializado pela *Sequent* e *QGIS* 3.34.5. O presente aborda a investigação referente a presença de anomalias positivas magnéticas na porção central da Bacia de Taubaté, e teve como objetivo compreender sua assinatura magnética através do processamento dos dados aeromagnéticos, além da geração de produtos e mapas que colaboraram para a interpretação das variações do campo magnético terrestre e a geologia adjacente. Para isso, foram gerados os mapas: Campo Magnético Anômalo (CMA), Mapa de Amplitude do Sinal Analítico (ASA), Redução ao Polo (RTP), Anomalia do Gradiente Horizontal Total (AGHT) e Inclinação do Sinal Analítico (ISA), com os dados processados pela Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral do Ministério de Minas e Energia, através da Divisão de Geofísica – DIGEOF do Serviço Geológico do Brasil – CPRM e intitulados como “Projeto Aerogeofísico São José dos Campos-Resende”. Também foram elaborados modelos de inversão 2D sobre a anomalia com o intuito de estimar a profundidade das fontes, morfologia dos corpos e a susceptibilidade magnética. O estudo de anomalias positivas pode contribuir significativamente para a exploração mineral, o mapeamento geológico e a avaliação de recursos naturais. A capacidade de identificar e interpretar essas anomalias melhora a eficácia das campanhas de prospecção e reduz o risco associado à exploração geológica.

Palavras-chave: Inversão magnética 2D, Processamento aeromagnético, Magnetização remanente, Anomalia dipolar.

ABSTRACT

This work aims to perform the magnetic inversion of a reversed dipole magnetic anomaly located in the Taubaté Basin, São Paulo. The Taubaté Basin is a Cenozoic sedimentary basin that is part of the Southeastern Brazilian Rift System, characterized by its complex tectonic and sedimentary history. This basin comprises a sequence of clastic sediments, with significant magnetic events that may be associated with alkaline and volcanic bodies. For the geophysical and photointerpretation investigation, the software Oasis Montaj (version 5.1.8) from the Geosoft system, marketed by Sequent, and QGIS 3.34.5 were used. This study focuses on the investigation of a positive magnetic anomaly in the central portion of the Taubaté Basin, aiming to understand its magnetic signature through the processing of aeromagnetic data, as well as the generation of products and maps that support the interpretation of variations in the Earth's magnetic field and the adjacent geology. The following maps were generated: Anomalous Magnetic Field (CMA), Analytic Signal Amplitude (ASA), Reduction to the Pole (RTP), Total Horizontal Gradient Anomaly (AGHT), and Analytic Signal Tilt Angle (ISA), using data processed by the Secretariat of Geology, Mining and Mineral Transformation of the Ministry of Mines and Energy, through the Geophysics Division – DIGEOF of the Geological Survey of Brazil – CPRM, under the “São José dos Campos-Resende Aerogeophysical Project,” carried out between October 19, 2010, and October 11, 2013. Subsequently, a 2D inversion will be performed over the anomaly in order to estimate the depth of the sources, body morphology, and magnetic susceptibility.

The study of positive anomalies can significantly contribute to mineral exploration, geological mapping, and the assessment of natural resources. The ability to identify and interpret these anomalies enhances the effectiveness of prospecting campaigns and reduces the risks associated with geological exploration.

Keywords: 2D magnetic inversion, aeromagnetic processing, remanent magnetization, dipolar anomaly.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo	14
Figura 2 - Relações entre a estratigrafia e a tectônica do Rift Continental do Sudeste do Brasil.....	18
Figura 3 - Mapa geológico da área de estudo	19
Figura 4 - Campo magnético da Terra.	23
Figura 5 - Variações no campo magnético na superfície da Terra, destacando áreas com altas e baixas intensidades.	24
Figura 6 - Anomalia magnética da região da Bacia de Taubaté	28
Figura 7 - Fluxo de trabalho simplificado aplicado aos dados magnetométricos.....	30
Figura 8 - Baixas amplitudes no AGHT	35
Figura 9 - Altas amplitudes no AGHT	36
Figura 10 - Mapa de Amplitude do Gradiente Horizontal Total (AGHT) da área do polígono de estudo.....	37
Figura 11 - Interpretação geológica do AGHT	38
Figura 12 - Baixas amplitudes do ASA	39
Figura 13 - Altas amplitudes do ASA.....	40
Figura 14 - Mapa de inclinação do sinal analítico (ASA)	41
Figura 15 - Interpretação geológica do ASA	42
Figura 16 - Altas amplitudes do ISA	43
Figura 17 - Baixas amplitudes do ISA.....	44
Figura 18 - Inclinação do Sinal Analítico (ISA).....	45
Figura 19 - Interpretação geológica do ISA	46
Figura 20 - A) Linha A usada para a construção dos perfil. B) Linha B usada para a construção dos perfil.....	47
Figura 21 - Disposição espacial das linhas sísmicas a bacia	47
Figura 22 - Modelo de inversão 2D referente a linha A	48
Figura 23 - Modelo de inversão 2D referente a linha B	48
Figura 24 - Seção PSTM e interpretação da seção da linha 0225-0059 Taubaté (Linha Sísmica 5)	49

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVOS.....	15
3	GEOLOGIA REGIONAL	16
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
5	METODOLOGIA.....	26
6	PROCESSAMENTO DOS DADOS AEROMAGNETOMÉTRICOS	28
7	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	35
8	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	50
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

1 INTRODUÇÃO

A Bacia de Taubaté, localizada no estado de São Paulo, é uma bacia sedimentar intracratônica de significativa relevância geológica. Seu registro sedimentar documenta a evolução tectônica e paleoclimática do Sudeste do Brasil, especialmente em relação ao processo de rifteamento continental vinculado à abertura do Atlântico Sul (Riccomini *et al.*, 2004).

A Bacia de Taubaté integra o *Rift* Continental do Sudeste do Brasil (RCSB, RICCOMINI, 1989; RICCOMINI *et al.*, 2004), sendo uma feição tectônica de idade cenozoica caracterizada por sua forma alongada na direção NE-SE, que se estende por cerca de 900 km entre as cidades de Curitiba (PR) e Casemiro de Abreu (RJ). A bacia foi moldada por processos distensivos do Paleógeno associados à reativação de antigas zonas de cisalhamento no embasamento constituído por rochas ígneas e metamórficas dos complexos Embu e Pilar (Hasui *et al.*, 1978).

A sequência sedimentar cenozoica inclui as formações Resende, Tremembé, São Paulo e Pindamonhangaba, que registram ambientes deposicionais variados, como sistemas fluviais, leques aluviais e lagos (Riccomini *et al.*, 2004).

A sedimentação na Bacia de Taubaté é predominantemente continental, dividida em fases sin-tectônicas e pós-tectônicas. A fase sin-tectônica inclui sistema fluvial entrelaçado e leques aluviais adjacentes nas Formações Resende, Tremembé e sistema fluvial meandrante na Formação São Paulo. Durante a deposição da Formação Tremembé, desenvolveu-se um paleolago de ampla extensão, responsável pela sedimentação de rochas finas típicas de ambiente lacustre. Na segunda fase, pós-tectônica, foram depositados sedimentos da Formação Pindamonhangaba e depósitos quaternários aluviais e coluviais (Riccomini *et al.*, 2004).

O embasamento da Bacia de Taubaté é composto por terrenos proterozoicos do Cinturão Ribeira, incluindo migmatitos, gnaisses, xistos, quartzitos e anfibolitos, além de rochas ígneas como granitos e pegmatitos (AMARAL *et al.*, 1967, TURNER *et al.*, 1995). Também ocorrem intrusões de diabásio do Eocretáceo e rochas alcalinas Cretáceo-Paleógenas associadas a maciços como Passa Quatro e Itatiaia (RICCOMINI, 1989).

A configuração da Bacia de Taubaté, delimitada por zonas de cisalhamento proterozoicas, apresenta um formato alongado e romboédrico (ZALÁN *et al.*, 1986). Essa estrutura está associada à movimentação transcorrente sinistral, resultado da reativação de falhas do embasamento, conforme indicado por estudos estruturais e geofísicos (PADILHA *et al.*, 1991).

Nesta pesquisa, serão aplicadas diversas técnicas de processamento de dados aeromagnetométricos sobre uma anomalia QUE TIPO? na Bacia de Taubaté com intuito de identificar feições geológicas de subsuperfície.

O entendimento sobre a origem e evolução da Bacia de Taubaté e a caracterização da anomalia é essencial para futuras investigações em bacias vizinhas como as bacias de Resende e Volta Redonda. Além de possíveis correlações com as intrusões alcalinas do Cretáceo-Paleógenas do maciço de Passa Quatro (Bacia de Taubaté), Itatiaia e Morro Redondo (Bacia de Resende), intimamente relacionados a estruturas de diques e soleiras como mencionado por Riccomini (1989).

Na exploração mineral, na prospecção e na indústria de óleo e gás é comum utilizar-se do levantamento aeromagnético, sobretudo, para a avaliação de potenciais *cluster* de óleo e gás. Essa abordagem permite a identificação de anomalias magnéticas associadas a estruturas geológicas, como falhas e corpos ígneos em escala regional, facilitando a interpretação da distribuição e configuração dessas estruturas (BLAKELY *et al.*, 1995)

No século XX, a magnetometria evoluiu significativamente com a introdução de técnicas mais avançadas e a utilização de magnetômetros aéreos. Estes instrumentos permitiram a realização de levantamentos magnéticos em grande escala, cobrindo vastas áreas com maior rapidez e precisão. Este avanço tecnológico permitiu a identificação de anomalias magnéticas associadas a diferentes estruturas geológicas, como falhas, intrusões ígneas e depósitos minerais, estabelecendo a magnetometria como uma ferramenta indispensável na exploração geofísica (BLAKELY *et al.*, 1996).

As anomalias magnéticas correspondem às variações no campo magnético terrestre causadas por diferenças na magnetização das rochas subsuperficiais. A identificação dessas anomalias permite mapear estruturas geológicas subsuperficiais, essenciais para a exploração de diversos recursos minerais (BLAKELY *et al.*, 1996).

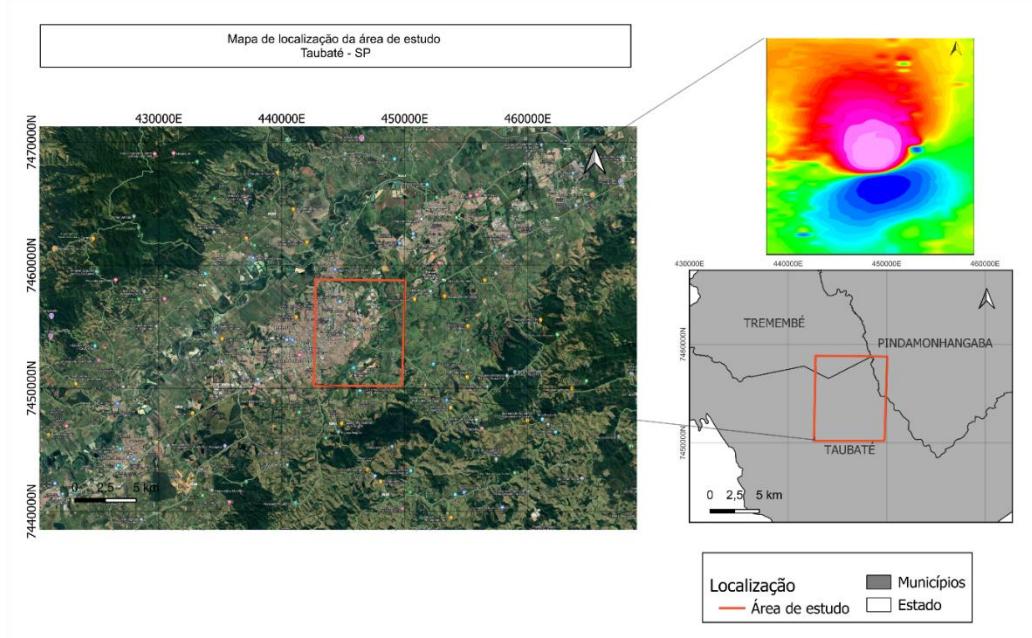
A maioria dos minerais da crosta terrestre são paramagnéticos, com suscetibilidade magnética muito baixa, exceto por alguns grupos geoquímicos como o ferro-titânio-oxigênio e o ferro-enxofre, capazes de gerar anomalias magnéticas detectáveis. Através das variações do campo magnético terrestre e por meio das técnicas de inversão 2D é possível reconstruir geometricamente as fontes causadoras de anomalias magnéticas. Este método estima parâmetros físicos do subsolo, a partir de dados observados, utilizando algoritmos interativos que minimizam as diferenças entre respostas calculadas e observadas (SILVA & BARBOSA (2006).

A inversão 2D, diferentemente da modelagem direta, que utiliza informações de amostras de campo, cria contraste de valores de uma propriedade física a partir de dados observados em campo, permitindo caracterizar geometrias de corpos em profundidade. Esta técnica é aplicada em estudos geológicos por sua capacidade de fornecer informações quanto a forma, profundidade e contraste de valores entre os corpos. A técnica é especialmente útil em áreas com estruturas geológicas complexas, onde as interpretações superficiais são limitadas (SILVA *et al.*, 2001).

A vantagem desse método de investigação é sua capacidade de fornecer informações que permitam uma melhor compreensão da distribuição de minerais e estruturas geológicas sem a necessidade de perfurações diretas, tornando-se um método econômico e eficiente para explorar grandes áreas.

Diante da expressiva anomalia de caráter dipolar identificada na porção central da Bacia de Taubaté, este trabalho propõe a aplicação de técnicas de processamento aeromagnético, incluindo a inversão 2D, para estimar a geometria e as propriedades físicas das fontes causadoras. A compreensão dessas estruturas poderá subsidiar futuras investigações geológicas e geofísicas, ampliando o conhecimento sobre a evolução tectono-magmática do RCSB.

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Andrea Antonelli Uchôa, 2025.

2 OBJETIVOS

Este estudo tem como objetivo principal realizar interpretações acerca da anomalia dipolar na Bacia de Taubaté, utilizando técnicas de processamento geofísico. O objetivo é caracterizar e compreender a natureza e a origem desse corpo geológico, identificando seus componentes magnéticos e a delimitação de sua geometria. A inversão 2D visa não apenas a representação dimensional da anomalia, mas também a interpretação dos dados magnéticos em conjunto com informações geológicas de superfície, contribuindo para o acervo científico voltado a região.

I. Objetivos Específicos

- a. Avaliar a natureza da anomalia magnética identificada na Bacia de Taubaté, investigando a possibilidade de estar relacionada a um corpo alcalino ou vulcânico, com base na comparação com feições similares em bacias sedimentares próximas.
- b. Aplicar técnicas de processamento geofísico avançado para gerar e analisar mapas de Campo Magnético Anômalo (CMA), Amplitude do Sinal Analítico (ASA), Inclinação do Sinal Analítico (ISA) e Amplitude de Gradiente Horizontal Total (AGHT), com o objetivo de realçar as características das anomalias magnéticas presentes na região.
- c. Interpretar os dados aeromagnéticos por meio da modelagem por inversão 2D, visando a identificação das principais feições estruturais em subsuperfície associadas às anomalias magnéticas.
- d. Fornecer subsídios técnicos e geológicos, com base nos dados interpretados, que possam orientar futuras campanhas geofísicas, como levantamentos sísmicos, e contribuir para projetos de exploração mineral ou energética na Bacia de Taubaté e áreas adjacentes.

3 GEOLOGIA REGIONAL

A Bacia de Taubaté, localizada na porção leste do estado de São Paulo, abrange uma área de aproximadamente 2.800 km², estendendo-se dos municípios de Itaquaquecetuba a Queluz (RICCOMINI *et al.*, 2004). A bacia faz parte do RCSB, feição tectônica cenozoica que se estende por mais de 900 km, entre a Bacia de Curitiba (PR) e o Gráben de Barra de São João (RJ).

A bacia encontra-se inserida no segmento central do RCSB, apresentando-se como a maior depressão tectônica desse rifte, sendo delimitada por blocos estruturais com diferentes elevações relativas, ora mais elevados, ora mais rebaixados. A espessura sedimentar chega a 800 m, segundo os resultados de modelamentos gravimétricos da área (Fernandes & Chang, 2001).

O arcabouço da bacia é caracterizado por hemi-grábens separados por zonas de transferência, como os altos estruturais de Caçapava e Pindamonhangaba, que controlam a segmentação e assimetria longitudinal da bacia (VIDAL *et al.*, 2004).

Atualmente, a Bacia de Taubaté está sob um regime tectônico compressivo, embora tenha experimentado eventos distensivos e transcorrentes durante seu desenvolvimento. A evolução sedimentar da bacia inclui, sobretudo, sistemas fluviais entrelaçados, com sedimentos representativos das formações Resende, Tremembé, São Paulo e Pindamonhangaba (RICCOMINI, 1989; RICCOMINI *et al.*, 2004).

3.1 Embasamento cristalino

O embasamento da Bacia de Taubaté é composto predominantemente por rochas metamórficas e ígneas pré-cambrianas a eopaleozoicas, pertencentes ao Cinturão de Dobramentos Ribeira (HASUI *et al.*, 1975) ou Cinturão Ribeira (ALMEIDA *et al.*, 1973). Essas unidades estruturais são separadas por falhas transcorrentes de idade neoproterozoica a ordoviciano, com orientação predominante ENE a E-W.

Estudos realizados por TROUW *et al.*, (2000) e Heilbron & Machado (2003) identificaram extensas áreas de rochas gnáissico-migmatíticas de médio a alto grau metamórfico no leste do estado de São Paulo, as quais constituem o substrato da bacia.

3.2 Formação Resende

A Formação Resende constitui o principal preenchimento sedimentar da Bacia de Taubaté, sendo amplamente representativa no segmento central do Rift Continental do Sudeste do Brasil (RCSB), onde ocorre em contato lateral e vertical com os depósitos da Formação Tremembé (VIDAL *et al.*, 2004).

Esta unidade, depositada durante o Paleógeno, é caracterizada por sistemas de leques aluviais associados a planícies fluviais de rios entrelaçados, apresentando significativa variação lateral e vertical de fácies, o que reflete a dinâmica dos processos deposicionais na bacia (VIDAL *et al.*, 2004).

Segundo Braga (2017), a Formação Resende pode ser subdividida em três associações de fácies: a proximal, composta por espessos pacotes conglomeráticos e arenosos em contexto de canal, com camadas lamíticas subordinadas; a mediana, onde há predominância de depósitos arenosos com estratificações cruzadas acanaladas e aumento significativo de depósitos lamíticos interpretados como planícies de inundação; e a distal, caracterizada por canais menores e isolados sobre depósitos lamosos, além de depósitos arenosos resultantes de leques de arrombamento, compondo um sistema distributário fluvial que apresenta padrão radial típico de leques aluviais devido à alta taxa de avulsão dos canais.

As fácies proximais da Formação Resende são compostas principalmente por conglomerados polimíticos, interdigitados com arenitos e lamitos arenosos de leques aluviais, originados de corridas de lama. Nas porções distais, predominam arenitos intercalados com lamitos, formados em ambiente de planície aluvial (VIDAL *et al.*, 2004).

Esses depósitos apresentam ciclos granodecrescentes, com conglomerados na base, passando para arenitos e, no topo, lamitos e siltitos, indicando uma graduação granulométrica típica de ambientes fluviais distributários e aluviais (AGUIAR *et al.*, 2016).

3.3 Formação Tremembé

A Formação Tremembé representa uma unidade sedimentar de grande relevância na porção central da Bacia de Taubaté. Os depósitos desta unidade são predominantemente argilitos verdes maciços, folhelhos, margas e dolomitos, além de arenitos finos a grossos, alguns exibindo estratificação cruzada sigmoidal (Riccomini *et al.*, 2004).

Caracteriza-se por uma interdigitação horizontal e vertical com os sedimentos da Formação Resende, evidenciando uma transição entre ambientes aluviais e lacustres. A sedimentação registrada na Formação Tremembé reflete um paleoambiente lacustre do tipo *playa-lake*, com sedimentação concentrada no Oligoceno (RICCOMINI & COIMBRA, 1992).

3.4 Formação São Paulo

A Formação São Paulo representa a unidade de topo do Grupo Taubaté, ocorrendo de forma restrita na porção sudoeste da Bacia de Taubaté. Essa formação é caracterizada por um sistema fluvial meandrante de idade oligocênica, evidenciado pela presença de sedimentos depositados em condições de baixa energia e fluxo predominantemente sinuoso (Riccomini *et al.*, 2004).

Os principais litotipos dessa unidade incluem arenitos conglomeráticos, siltitos e argilitos laminados. Os arenitos são geralmente grossos e conglomeráticos, com base erosiva marcada e presença de clastos argilosos, podendo gradar para siltitos e argilitos laminados.

A Formação São Paulo reflete uma fase avançada de sedimentação na bacia, marcada pelo retrabalhamento de sedimentos lacustres mais antigos e pelo aumento da influência fluvial no preenchimento do rifte.

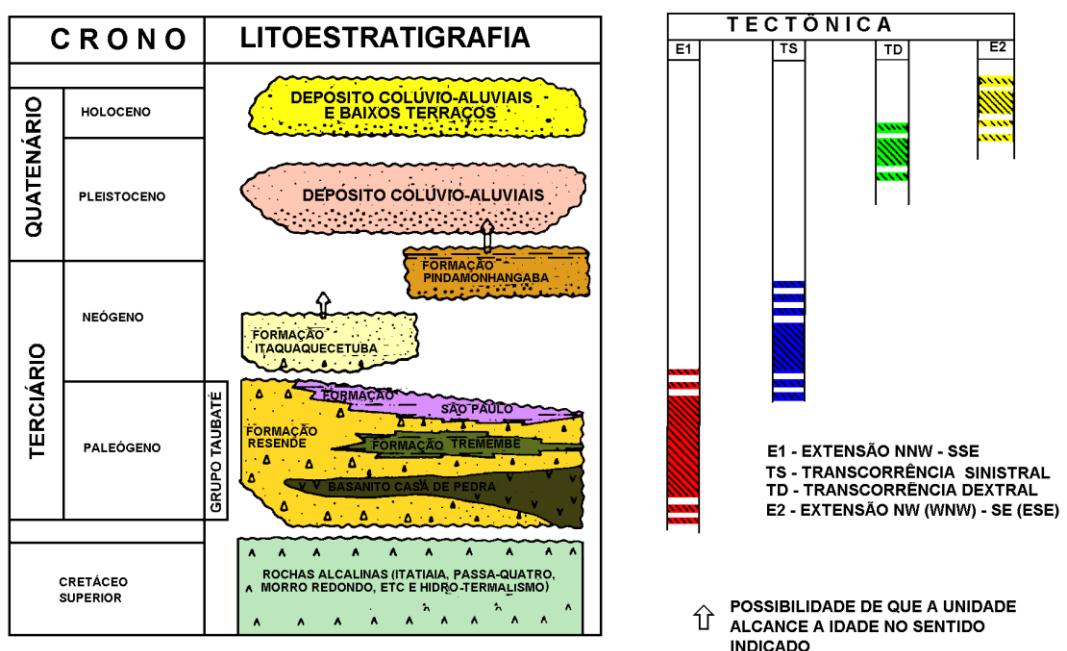
3.5 Formação Pindamonhangaba

A Formação Pindamonhangaba representa um sistema fluvial meandrante que se desenvolve nas porções central e sudoeste da Bacia de Taubaté. A unidade é caracterizada por camadas tabulares a lenticulares compostas sumamente por arenitos médios a grossos, siltitos e argilitos.

Esta formação recobre discordantemente os depósitos das formações Tremembé, Resende e São Paulo, iniciando uma transição temporal e espacial significativa na sedimentação da bacia.

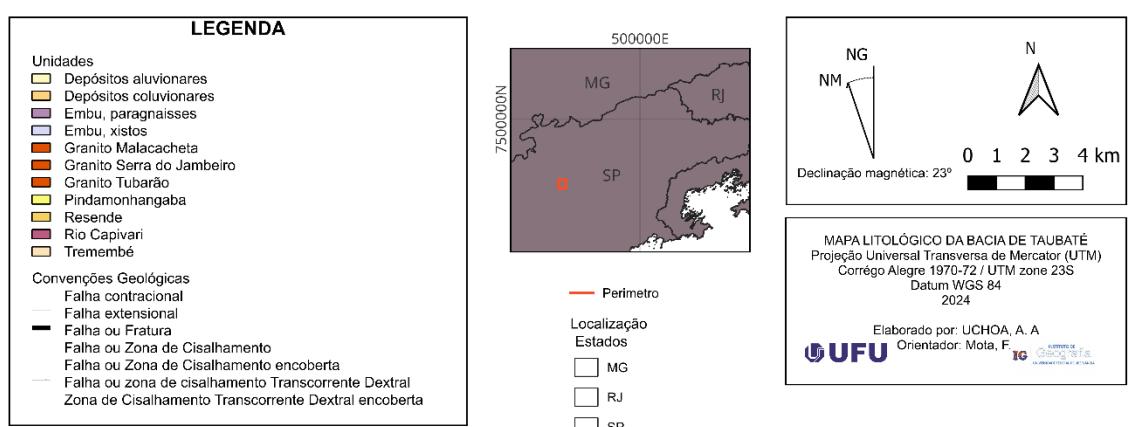
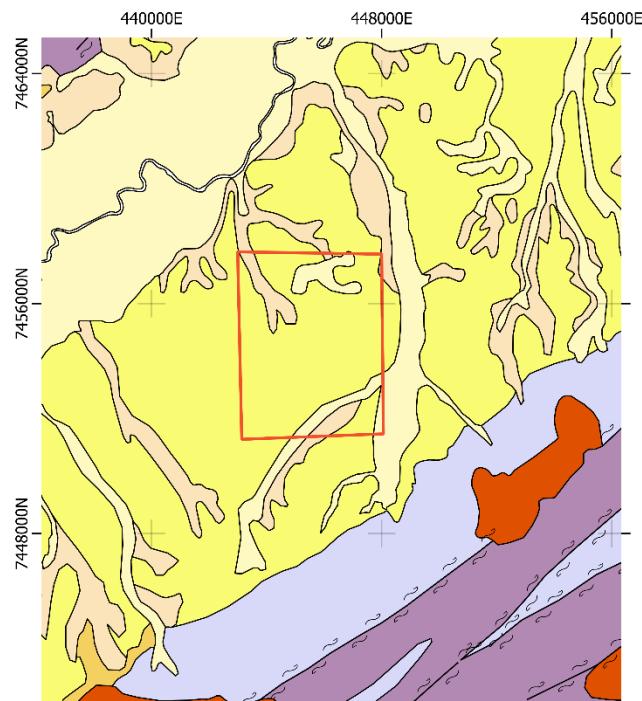
Mancini (1995) subdividiu esta unidade em dois membros interdigitados: o Membro Rio Pararangaba, que é representante das fácies do canal fluvial meandrante com granulação grossa, e o Membro Presidente Dutra, que correspondem a sedimentos de granulação fina depositados em áreas de inundação.

Figura 2 - Relações entre a estratigrafia e a tectônica do Rift Continental do Sudeste do Brasil



Fonte: Riccomini (1989) apud Ramos (2003)

Figura 3 - Mapa geológico da área de estudo



Fonte: Andrea Antonelli Uchôa, 2025.

3.6 Corpos alcalinos regionais

A instalação do RCSB foi controlada pela reativação de zonas de cisalhamento neoproterozoicas, que funcionaram como vias preferenciais para o magmatismo, incluindo a intrusão de corpos alcalinos ao longo das bordas do sistema (RICCOMINI *et al.*, 2004).

Esses corpos compõem províncias alcalinas alinhadas segundo direções estruturais preferenciais, como o Lineamento Cabo Frio-Poços de Caldas, e estão associados a pulsos magmáticos distintos, com idades variando do Cretáceo Superior ao Eoceno (RICCOMINI *et al.*, 2004).

Thomaz Filho & Rodrigues (1999) sugerem que o magmatismo alcalino identificado na região está vinculado a episódios vulcânicos associados a diversos outros maciços alcalinos, como os de Poços de Caldas, Passa Quatro, Itatiaia, Morro Redondo, Tinguá, Tanguá, Rio Bonito, Itaúna, Mendenha, Soarinho, Morro de São João e Ilha de Cabo Frio.

A cronologia do magmatismo alcalino revela pulsos sucessivos entre 89 Ma (Poços de Caldas) e 52 Ma (Cabo Frio), com eventos intermediários registrados em Itatiaia (71–67 Ma, ROSA & RUBERTI, 2018) e Passa Quatro (70 Ma). Essas idades indicam uma migração temporal do magmatismo em direção à costa, associadas à atuação de plumas mantélicas, como as de Trindade e Tristão da Cunha e à reativação de falhas profundas durante a abertura do Atlântico Sul (ZALÁN *et al.*, 2005)

3.6.1 Caracterização dos corpos alcalinos regionais

Segundo Souza & Gomes (2012) os corpos alcalinos do Sudeste do Brasil apresentam variabilidade em dimensões e formas geométricas. Estruturalmente, predominam formas circulares ou anelares, como observado no Maciço de Poços de Caldas. Fisicamente, esses corpos podem se manifestar como maciços intrusivos de grande porte (ex: Poços de Caldas, Passa Quatro, Itatiaia) ou como pequenos *plugs* e diques, frequentemente associados a brechas intrusivas e múltiplos pulsos magmáticos (FERRAZ *et al.*, 2008).

3.6.2 Características magnetométricas e polaridade magnética

Os corpos alcalinos associados ao RCSB apresentam expressivas anomalias magnéticas, que constituem importantes evidências para a caracterização geofísica dessas intrusões, especialmente no que tange à sua forma, volume e polaridade magnética (RICCOMINI *et al.*, 2005).

A assinatura magnetométrica de corpos alcalinos frequentemente apresenta anomalias magnéticas marcantes, com respostas dipolares expressivas, com alto contraste magnético. Uma

característica relevante é a ocorrência de polaridade magnética inversa em alguns desses corpos. Isso se manifesta como anomalias dipolares, onde o polo magnético registrado nas rochas é oposto ao campo atual (FERRAZ *et al.*, 2008). A ocorrência de polaridade magnética inversa em alguns desses corpos pode ser atribuída à orientação dos minerais ferromagnéticos durante sua cristalização, que registram a direção do campo magnético vigente à época da intrusão.

Tal assinatura remanescente, conhecida como Magnetização Remanente Natural (NRM), é uma ferramenta essencial para o reconhecimento de eventos magmáticos antigos e para a caracterização geofísica de intrusões alcalinas soterradas.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O método magnetométrico ou a magnetometria, auxilia na identificação de estruturas superficiais e profundas, tais dados, podem contribuir para o avanço do conhecimento sobre a geologia de subsuperfície. O método baseia-se na medição e análise de perturbações ou anomalias no campo magnético terrestre (CMT), as quais são geradas por variações nas propriedades magnéticas dos materiais (HINZE *et al.*, 2013).

Uma característica fundamental da magnetometria é sua capacidade de detectar a magnetização intrínseca ou adquirida de materiais geológicos. Essa propriedade magnética pode ser natural, como a magnetização remanente, ou induzida, resultantes da exposição ao campo magnético terrestre (DENTITH & MUDGE, 2014).

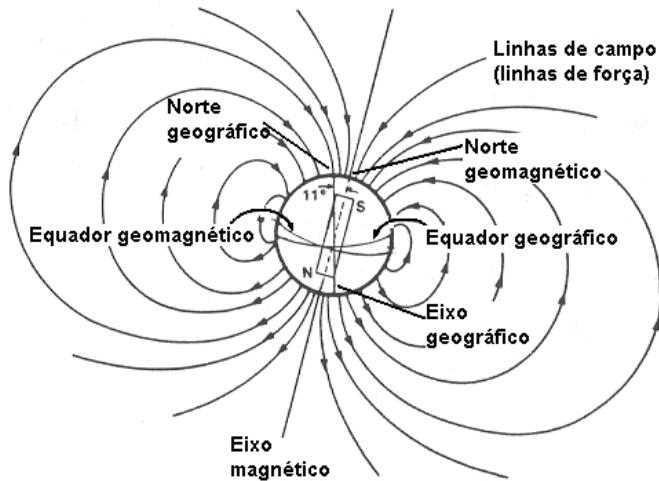
Na exploração mineral, os levantamentos magnéticos são amplamente utilizados para identificar depósitos de minerais magnéticos, como ferro, níquel e cobalto. Eles também desempenham um papel significativo na detecção de corpos intrusivos, fornecendo pistas indiretas sobre a possibilidade de minerais economicamente viáveis (DENTITH & MUDGE, 2014).

I. CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE (CMT)

O Campo Magnético Terrestre (CMT) é um fenômeno resultante da dinâmica do núcleo terrestre, onde interações entre o núcleo interno sólido, composto principalmente de ferro e níquel, e o núcleo externo líquido, constituído, em suma, por ferro e elementos leves, geram correntes elétricas que produzem o campo magnético. Esse processo, conhecido como geodínamo, é fundamental para a geração e manutenção do CMT, além de explicar a ocorrência de inversões de polaridade magnética ao longo do tempo (KEARY *et al.*, 2009).

Aproximadamente 90% do CMT pode ser aproximado por um dipolo magnético, ou seja, como se houvesse uma barra magnética no centro da Terra. Essa representação (Figura 4) permite entender a distribuição das linhas de campo que emergem do polo sul magnético e entram no polo norte magnético.

Figura 4 - Campo magnético da Terra.



Fonte: adaptado de McNamara (1991).

A depender da localidade geográfica, o campo magnético terrestre varia tanto em direção quanto em intensidade (DENDITH & MUDGE, 2014). O que pode indicar a presença de estruturas geológicas como falhas e corpos magnéticos na crosta terrestre (LOWRIE *et al.*, 1997).

Além disso, o CMT sofre variações temporais, classificadas como variação secular e variações diurnas. A variação secular reflete mudanças na intensidade e na direção do campo magnético ao longo de séculos, influenciada principalmente pela dinâmica do núcleo externo. No entanto, as variações diurnas correspondem a oscilações de alta frequência causadas pela interação do campo magnético com a radiação solar e tempestades magnéticas, que podem induzir perturbações no campo total observado (PINHEIRO *et al.*, 2003).

O CMT é uma grandeza vetorial, expressa por suas componentes nas direções norte-sul (X), leste-oeste (Y) e vertical (Z), normalmente medidas em nanoteslas (nT).

O mapeamento das anomalias magnéticas, geradas por variações na magnetização das rochas, permite inferir a geometria e a profundidade de corpos magnetizados na crosta terrestre, contribuindo significativamente para o entendimento da evolução tectônica de bacias sedimentares e outras formações geológicas (SANDWELL *et al.*, 2001).

II. CAMPO MAGNÉTICO ANÔMALO (ANOMALIAS MAGNÉTICAS)

O Campo Magnético Anômalo (CMA) é resultado da remoção das contribuições do campo magnético global (IGRF) e das flutuações diárias (TELFORD *et al.*, 1990). Enquanto o CMT resulta majoritariamente dos movimentos convectivos do núcleo terrestre, o CMA reflete anomalias causadas por minerais magnéticos presentes na crosta (HINZE *et al.*, 2013).

A suscetibilidade magnética dos materiais define a intensidade e a forma das anomalias magnéticas. Materiais com alta suscetibilidade, como a magnetita, causam variações mais significativas no campo magnético local. A magnetização induzida em um corpo é expressa pela equação:

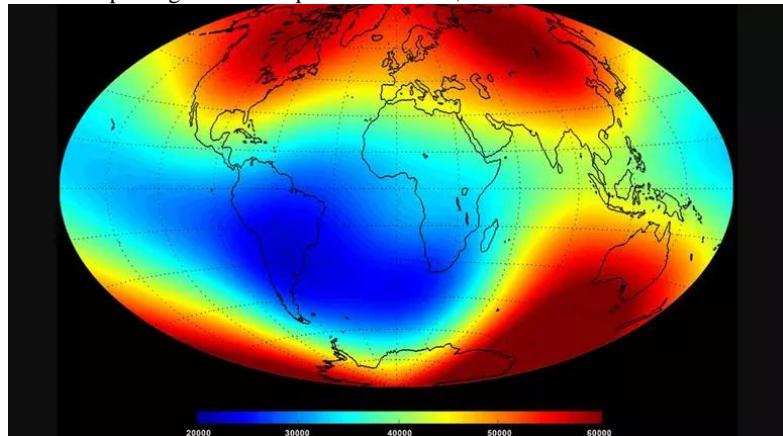
(Equação 1)

$$M = kH$$

Onde M é a magnetização e k é a suscetibilidade (DENDITH & MUDGE, 2014). Essas anomalias podem se manifestar como feições dipolares ou por padrões mais complexos, como a sobreposição de várias fontes de anomalias ou corpos magnéticos múltiplos, a depender da orientação do campo magnético induzido.

A análise do CMA requer correções para eliminar influências externas e variações temporais. Magnetômetros e estações base são usados para monitorar e compensar flutuações diárias e sazonais, garantindo que as medições reflitam com precisão as anomalias induzidas pelos minerais na crosta (HINZE *et al.*, 2013).

Figura 5 - Variações no campo magnético na superfície da Terra, destacando áreas com altas e baixas intensidades.



Fonte: NASA/Domínio Público.

III. FILTROS ESPACIAIS

Os filtros espaciais são fundamentais na análise de dados magnetométricos, permitindo o realce, separação e isolamento de anomalias magnéticas de interesse. Eles operam alterando a frequência ou derivando os dados de acordo com o objetivo da análise, facilitando a interpretação das feições geológicas subjacentes. Segundo Kearey (2009), os filtros de análise de frequência, como os filtros de passa-banda, passa-alta e passa-baixa, são utilizados para remover componentes específicos de frequência, que podem estar associados a fontes

magnéticas rasas ou profundas, assim como para eliminar ruídos aleatórios conforme o comprimento da onda.

Além dos filtros de frequência, a continuação ascendente e descendente são técnicas que ajustam a altura de observação dos dados magnéticos, modificando a amplitude e a frequência das anomalias. A continuação posterior é particularmente eficaz em suavizar feições magnéticas e suprimir ruídos de alta frequência, aumentando a distância de observação e, consequentemente, enfatizando anomalias de maior comprimento de onda (DENDITH & MUDGE, 2014). Isso é especialmente útil em estudos que visam a identificação de anomalias magnéticas mais profundas, minimizando a influência de variações superficiais de alta frequência.

Os filtros derivados, por outro lado, são aplicados para evidenciar variações no campo magnético, sendo essenciais na identificação de feições geométricas como corpos tabulares ou contatos litológicos. Esses filtros, baseados em gradientes, ajudam a definir a geometria e a direção das fontes magnéticas. Exemplos importantes incluem as derivadas horizontais e verticais, que destacam as variações nas diferentes direções, e o gradiente horizontal total (GHT), que é útil para mapear limites entre diferentes unidades geológicas (BLUM *et al.*, 1999).

Outro filtro relevante é o Sinal Analítico 3D, também conhecido como Amplitude do Gradiente Total, que oferece uma visão tridimensional das anomalias, permitindo uma interpretação mais detalhada das fontes magnéticas (LI, 2006; ROEST *et al.*, 1992). A inclinação derivada, descrita por Miller e Singh (1994), é uma técnica que enfatiza as bordas das anomalias magnéticas, sendo particularmente útil na delimitação precisa de corpos geológicos.

Dessa forma, os conceitos de campo magnético terrestre, anomalias magnéticas e filtros espaciais constituem a base teórica essencial para o processamento e interpretação dos dados aeromagnéticos utilizados neste trabalho.

A correta aplicação dessas ferramentas possibilita a identificação de estruturas geológicas relevantes.

5 METODOLOGIA

A seguir, são descritas as metodologias empregadas na condução deste trabalho. Cada etapa representa um componente essencial no planejamento, execução e desenvolvimento da pesquisa científica, com foco na caracterização de uma anomalia magnética na Bacia de Taubaté.

I. Levantamentos Bibliográficos:

Para embasar o estudo, foram realizados levantamentos bibliográficos em periódicos científicos, dissertações, teses e relatórios técnicos relacionados à geologia da Bacia de Taubaté. Essa etapa foi fundamental para a compreensão da evolução geológica da região, incluindo aspectos litológicos, estruturais, tectônicos e magmáticos. Além disso, foi necessário o aprofundamento em métodos geofísicos, com ênfase em técnicas de processamento e interpretação de dados magnetométricos.

II. Criação do Sistema de Informação Geográfica (SIG):

Os dados geofísicos foram inicialmente obtidos a partir de levantamentos aerogeofísicos realizados anteriormente, resultando em um arquivo no formato GDB. Esses dados serão processados para a criação de um banco de dados georreferenciado, formando o Sistema de Informação Geográfica (SIG). Esse banco de dados permitirá a organização e manipulação eficiente dos dados geofísicos para subsequentes análises e modelagens.

III. Geração de Mapas Geofísicos:

A elaboração de mapas geofísicos constitui uma etapa essencial da metodologia, pois permite a visualização e análise das variações do campo magnético na subsuperfície da Bacia de Taubaté. O primeiro mapa gerado foi o de Campo Magnético Anômalo (CMA), a partir do qual foram aplicados filtros e derivadas para realce de feições geológicas.

Para a confecção do CMA, será utilizado o banco de dados georreferenciado criado no SIG. Este mapa inicial fornecerá uma base para a aplicação de derivadas e filtros específicos que permitem destacar características importantes das anomalias magnéticas. Em seguida, serão aplicadas técnicas de processamento de dados geofísicos para gerar mapas derivados que incluem:

- a) Mapa de Amplitude do Sinal Analítico (ASA): Este mapa proporciona uma representação da intensidade do campo magnético total, facilitando a identificação de anomalias e destacando regiões de alta e baixa magnetização. O ASA é particularmente útil para delinear os contornos de corpos magnéticos e inferir suas dimensões aproximadas.
- b) Mapa de Inclinação do Sinal Analítico (ISA): O ISA destaca as inclinações das anomalias magnéticas, permitindo uma melhor compreensão da geometria dos corpos magnéticos. Este mapa é essencial para diferenciar entre anomalias causadas por fontes profundas e superficiais, contribuindo para uma interpretação mais precisa da profundidade e orientação dos corpos.
- c) Mapa de Amplitude de Gradiente Horizontal Total (AGHT): Este mapa apresenta a variação

horizontal do campo magnético, evidenciando as bordas e limites dos corpos magnéticos. O AGHT é fundamental para identificar falhas, contatos litológicos e outras feições estruturais que controlam a distribuição das anomalias magnéticas.

Esse mapas geofísicos serão elaborados utilizando softwares especializados em processamento geofísico, como o *Oasis Montaj*. A precisão e qualidade dos mapas serão verificadas por meio de validação cruzada com dados geológicos conhecidos e ajustes iterativos para otimizar a resolução espacial e a clareza das anomalias.

IV. Inversão 2D

A etapa de inversão 2D foi conduzida com o objetivo de estimar geometrias de corpos da anomalia magnética localizada na região da Bacia de Taubaté. A inversão foi realizada por meio do software *ZondGM2D*, que permite gerar modelos de suscetibilidade magnética.

V. Interpretação Geológica e Conclusões:

A interpretação geológica baseou-se na integração dos mapas processados e dos modelos de inversão 2D, possibilitando a identificação preliminar de litotipos e a estimativa da geometria das fontes magnéticas. As análises consideraram a suscetibilidade magnética dos corpos e seu comportamento em profundidade, o que permitiu inferências sobre sua composição e origem.

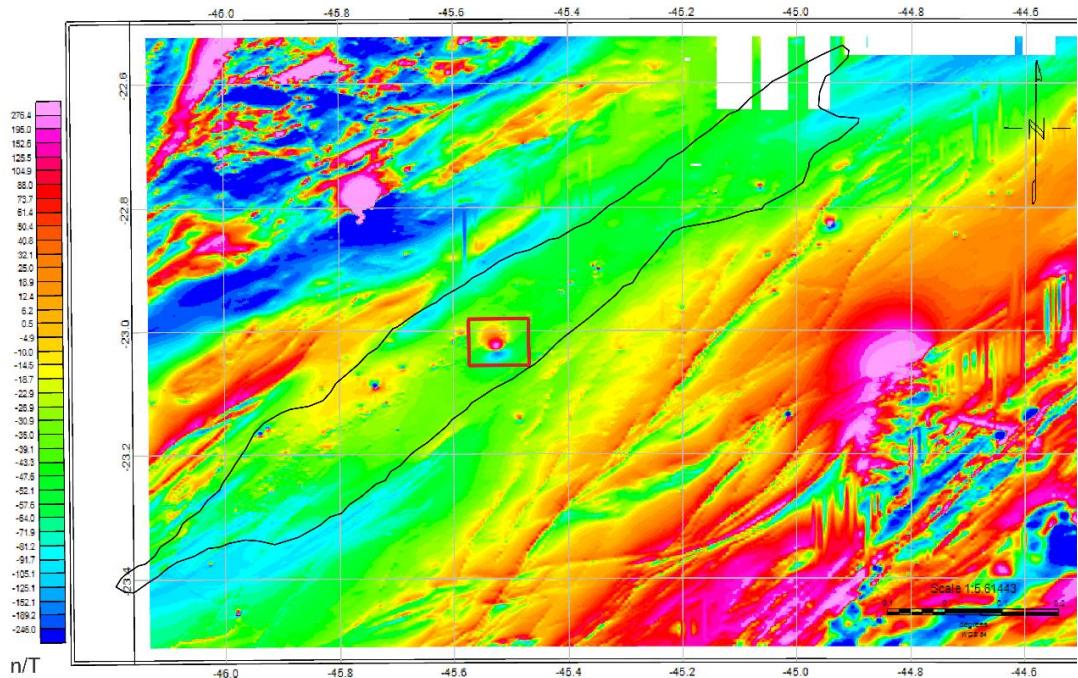
A partir dos resultados da inversão, serão elaboradas conclusões que abordam a natureza e a origem do corpo magnético na Bacia de Taubaté. As conclusões irão considerar a importância do corpo no contexto geológico regional e suas implicações para a evolução tectônica do RCSB. A identificação e caracterização de corpos magmáticos na Bacia de Taubaté podem fornecer novos questionamentos no setor da ciência e sobre os processos magmáticos e tectônicos da região, possibilitando comparações com outras ocorrências de intrusões de corpos alcalinos próximos como Itatiaia, Passa Quatro, Morro Redondo. Além disso, as descobertas poderão impactar diretamente na orientação de futuras campanhas de sísmica e exploração, contribuindo para novas descobertas de recursos naturais. As potencialidades e limitações do estudo serão discutidas, juntamente com sugestões para pesquisas futuras e explorações geológicas na região.

6 PROCESSAMENTO DOS DADOS AEROMAGNETOMÉTRICOS

O processamento dos dados aeromagnetométricos permitiu a geração de uma série de produtos cartográficos, incluindo os mapas de Campo Magnético Anômalo (CMA), Redução ao Polo (RTP), Amplitude do Sinal Analítico (ASA), Inclinação do Sinal Analítico (ISA), Gradiente Horizontal Total (AGHT) e a sobreposição AGHT + ISA. Todos os mapas foram produzidos utilizando o software *Oasis Montaj*, com o objetivo de identificar e interpretar anomalias magnéticas e suas possíveis fontes em subsuperfície.

Esses dados foram obtidos através do levantamento aerogeofísico do Projeto São José dos Campos-Resende, realizado pela CPRM. O levantamento incluiu a aquisição de dados magnetométricos e gamaespectrométricos em linhas de voo espaçadas em intervalos regulares, permitindo uma cobertura detalhada da área e oferecendo uma base sólida para a análise e interpretação geofísica.

Figura 6 - Anomalia magnética da região da Bacia de Taubaté



Fonte: Andrea Antonelli Uchôa, 2025.

6.1 Levantamento dos dados

Os dados utilizados no presente artigo referem-se ao levantamento aerogeofísico do Projeto São José dos Campos-Resende, realizado pela CPRM – Serviço Geológico do Brasil, entre 19/10/2010 a 11/10/2013. entre 19 de outubro de 2010 e 11 de outubro de 2013.

O plano de voo cobriu 47.321 km², entre as regiões de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo. A aquisição de dados magnetométricos e gamaespectrométricos foi feita com perfis de voo espaçados a 0,5 km, enquanto as linhas de controle tinham espaçamento de 10 km, orientadas nas direções N-S e E-W, respectivamente.

As aeronaves operaram a uma altitude média de 100 metros, com variações de até 15 metros ao longo de trechos de até 2 km. Foram utilizadas as aeronaves Embraer EMB 820C Navajo (prefixos PT-ENG e PT-EPY), Piper PA-31-310 Navajo B (prefixo PT-DYK) e Cessna Grand Caravan (prefixo PR-MCY), com sistemas de aquisição da Microsurvey. As aeronaves operaram a uma velocidade média de 265 km/h, cobrindo um total de 101.085 km lineares de perfis.

As leituras magnetométricas foram realizadas a cada 0,01 ou 0,1 segundos, dependendo da aeronave, enquanto as leituras gamaespectrométricas ocorreram a cada segundo. O sistema de posicionamento via GPS assegurou uma precisão inferior a 10 m.

Além disso, foram instaladas estações fixas para controle das variações diurnas do campo magnético terrestre, localizadas nas bases de operação. As calibrações dos gamaespectrômetros seguiram protocolos estáticos e dinâmicos, com referência a fontes padronizadas da Universidade de São Paulo e pistas de calibração da CPRM em Maricá-RJ.

O Campo Geomagnético Internacional de Referência (IGRF) é um modelo matemático padronizado que descreve o campo magnético da Terra em escala global. O IGRF é amplamente utilizado em levantamentos geofísicos para remover o componente de fundo do campo magnético terrestre, permitindo que anomalias locais, associadas a estruturas geológicas, sejam mais facilmente identificadas e interpretadas.

Em latitudes intermediárias ou equatoriais, o campo magnético terrestre possui inclinação não vertical, deslocando as anomalias dipolares em relação às suas fontes. A Redução ao Polo (RTP) reorienta a magnetização, centralizando a anomalia sobre o corpo magnético, como por exemplo as intrusões alcalinas.

Neste trabalho optou-se por fazer-se à Redução ao Polo (RTP) a partir da data de referência 01/04/2012, cujo valores para inclinação foi de -36.29, declinação de -21.27 e amplitude de correção sendo de 22.5.

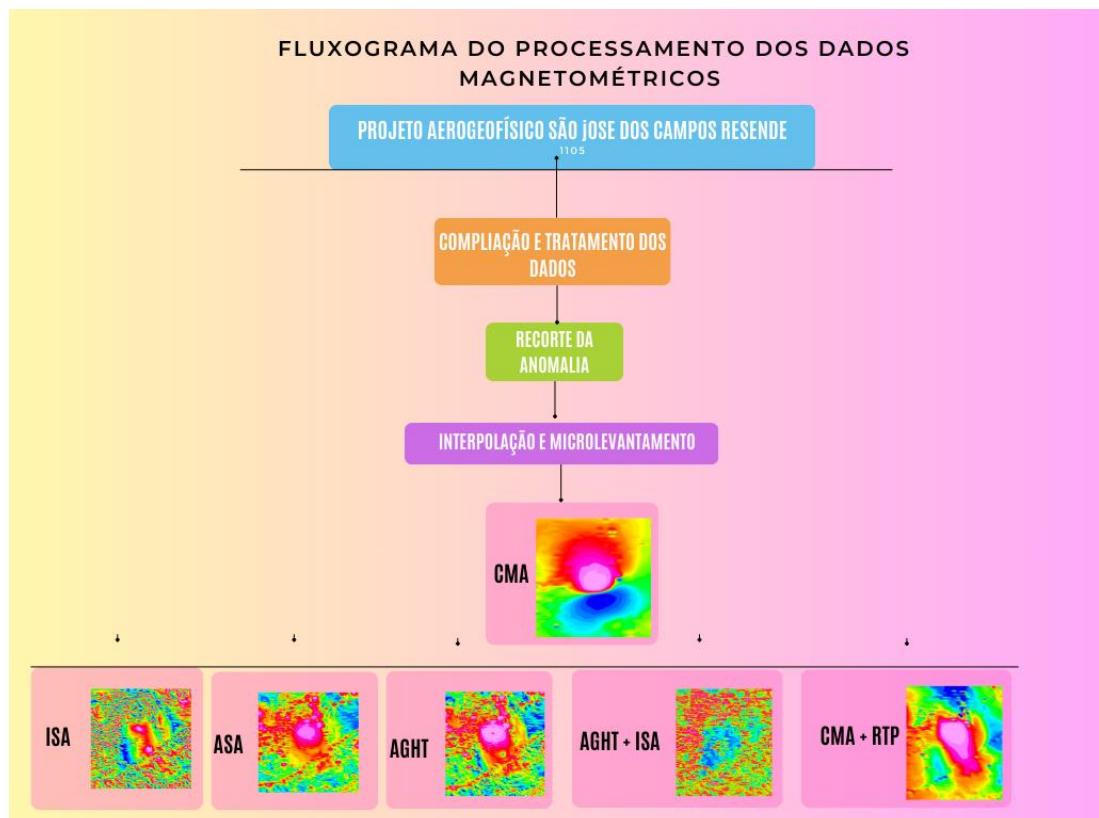
6.2 Processamento e inversão

O software *Oasis Montaj*, versão *Educational* da GEOSOFT foi utilizado ao longo deste trabalho, permitindo o processamento direto dos bancos de dados do projeto aerogeofísico. Por meio desta ferramenta, foi possível realizar o processamento dos dados de aeromagnetometria.

O processamento dos dados de aeromagnetometria envolveu a preparação do banco de dados, interpolação, micronivelamento e elaboração de *grids*. A partir desse procedimento, foram gerados o campo magnético anômalo (CMA), campo magnético anômalo (CMA) reduzido ao polo (RTP), o sinal analítico (ASA), a inclinação do sinal analítico (*tilt derivative* ou ISA) e a amplitude do gradiente horizontal total (AGHT).

A modelagem de inversão 2D foi realizada por meio do *software ZondGM2D*, permitindo a estimativa da distribuição de suscetibilidade magnética entre os corpos em subsuperfície. Essa abordagem possibilita reconstruir a geometria de corpos geológicos com base na resposta do campo magnético anômalo.

Figura 7 - Fluxo de trabalho simplificado aplicado aos dados magnetométricos



Fonte: Andrea Antonelli Uchôa, 2025.

6.2.1 Campo magnético anômalo (CMA)

A primeira etapa consistiu na preparação do banco de dados de magnetometria para subsequente geração do mapa do campo magnético anômalo (CMA), que posteriormente seria reduzido ao polo (RTP).

No Campo Magnético Anômalo (CMA), foram aplicadas derivadas horizontais (Dx e Dy), utilizados para realçar os gradientes horizontais. Esses filtros destacam as bordas das

fontes das anomalias magnéticas nas direções X e Y, realçando as características das bordas dos corpos magnéticos. A fórmula para as derivadas horizontais pode ser expressa como:

$$\mathbf{Dx} = \partial \mathbf{x} \div \partial \mathbf{B}$$

(Equação 2)

$$\mathbf{Dy} = \partial \mathbf{B} \div \partial \mathbf{y}$$

Onde B representa o campo magnético anômalo. Essas derivadas ajudam a gerar imagens sombreadas que destacam as variações horizontais, facilitando a identificação das estruturas geológicas associadas às anomalias magnéticas (DAVIS, 1986; GEOSOFT, 2010).

A partir do *software Oasis Montaj* é necessária uma planilha de dados denominada de *Database*, que contém todos os parâmetros e variáveis necessários para a modelagem geofísica. É importante destacar que esta planilha deve conter um sistema de coordenadas para a área de interesse. Neste trabalho utilizou-se *SIRGAS 2000* como *datum* principal (X e Y) e a variável MAGIGRF como parâmetro a ser modelado (Z).

Para produzir o Campo Magnético Anômalo (CMA) utilizou-se o menu *Grid and Image*, opção *Gridding* e posteriormente *Grid Data*. Na aba *Grid Data* foram utilizados os seguintes passos: *Data to grid* = MAGIGRF, em *Output grid* = CMA.grd, *Gridding method* = *minimum curvature*, *cell size* = 0.00021 dega (default) e, por fim, *cell(s) to extend beyond data* = 125 cells.

De modo a acelerar o processamento e facilitar a interpretação dos dados foi aplicado o recorte da área através do menu *Grid and Image*, em seguida *Utilities*, selecionando a opção *Window a Grid* e *Iterative* para definir a área desejada em uma poligonal, acelerando processos de geração e interpretação da anomalia.

6.2.2 Redução ao polo (RTP)

A partir do mapa do campo magnético anômalo (CMA) já recortado, foi aplicado a técnica de redução ao polo (RTP) pelo qual, considerando apenas a magnetização induzida, as anomalias magnéticas são ajustadas para que elas se alinhem diretamente sobre suas fontes, minimizando os efeitos da inclinação magnética. Isso facilita a interpretação, permitindo uma visualização mais precisa das estruturas geológicas.

A opção *2D Filtering*, encontrada em *Manage Menus*, ferramenta usada para aplicar diversos tipos de filtros aos dados de imagem, incluindo a redução ao polo. Selecionando *MAGMAP Filtering* estará disponível uma janela com seleções de filtros, escolha a opção *Reduction to the Pole*.

As configurações de filtro foram adequadas conforme o modelo *International Geomagnetic Reference Field (IGRF)*, os principais parâmetros geralmente incluem a inclinação e a declinação do campo magnético e a data do levantamento *IGRF* em *Survey data*. Depois de configurado os parâmetros, foi aplicado o filtro clicando em “*Ok*” ou “*Execute*”.

O Filtro de Redução ao Pólo (FRP) é uma técnica amplamente utilizada para transformar anomalias magnéticas observadas na direção do campo geomagnético local em anomalias que seriam medidas no pólo geomagnético (MENDONÇA & SILVA, 1992).

6.2.3 Amplitude do gradiente horizontal total (AGHT)

O Gradiente Horizontal Total (AGHT) é uma técnica de processamento de dados magnéticos que visa destacar as variações laterais do campo magnético terrestre. O AGHT é calculado a partir da combinação das derivadas horizontais em x e y, geralmente através da fórmula.

$$\text{AGHT} = \sqrt{\left[\left(\frac{\partial G}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial G}{\partial y} \right)^2 \right]} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde $\partial G / \partial x$ e $\partial G / \partial y$ são as derivadas do campo magnético nas direções x e y, respectivamente. Esse processamento tende a gerar picos que ultrapassam os limites das fontes causadoras das anomalias nos campos potenciais (Blum *et al.*, 1999).

Para criar o AGHT foi selecionado a opção *Grid and Image, Filters* e posteriormente *Horizontal Gradient*. O filtro calcula o gradiente horizontal total (Norte-Sul e Leste-Oeste) a partir do campo magnético anômalo reduzido ao pólo. A opção *Gradient Magnitude* deve estar marcada para que o *software* calcule o gradiente horizontal total, gerando uma nova grade correspondente ao mapa AGHT.

6.2.4 Amplitude de Sinal Analítico (ASA)

A Amplitude do Sinal Analítico (ASA) é um método amplamente utilizado para realçar as bordas e contatos de feições geológicas e falhas ao processar dados magnéticos. Baseado em gradientes verticais e horizontais, o ASA amplifica os curtos comprimentos de onda e atenua os longos.

Seu cálculo corresponde à adição dos vetores das derivadas de segunda ordem, nas direções x e y e o z refere-se à variação do campo magnético na direção vertical. A fórmula para o ASA envolve a raiz quadrada da soma dos quadrados das derivadas horizontais e verticais, como ilustrado na equação 4.

$$\text{ASA} = \sqrt{\left[\left(\frac{\partial G}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial G}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial G}{\partial z} \right)^2 \right]} \quad (\text{Equação 4})$$

Sua principal vantagem é a capacidade de delimitar e simplificar a geometria das anomalias magnéticas, proporcionando uma visualização clara das estruturas magnéticas na área de estudo (BLUM *et al.*, 1999).

Para gerar o mapa de Amplitude do Sinal Analítico (ASA) foi selecionado a opção *Grid and Image* no menu principal. Em *Filters* foi selecionado a opção *Analytic Signal* onde foram inseridos os seguintes parâmetros: *Input grid = CMA_RTP*, *Output grid = ASA_RTP*, *Z-Derivative = FFT*.

6.2.5 Inclinação do Sinal Analítico (ISA)

A Inclinação do Sinal Analítico (ISA) marca o comportamento espacial do vetor do sinal analítico no plano vertical, considerando a resultante de sua componente horizontal (BLAKELY *et al.*, 1996). Este método é utilizado para estimar o mergulho das fontes que causam anomalias magnéticas, bem como o contraste localizado de suscetibilidade.

O ângulo de inclinação é calculado pela relação entre a derivada vertical e o gradiente horizontal do campo magnético, fornecendo informações sobre a geometria e profundidade das fontes magnéticas (BLUM *et al.*, 1999).

A magnitude da ISA é expressa em radianos e obtida pela fórmula:

$$\text{ISA} = \text{tag}^{-1} \frac{\frac{\partial G}{\partial z}}{\sqrt{\left[\left(\frac{\partial G}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial G}{\partial y} \right)^2 \right]}} = \frac{Dz}{AGHT} \quad (\text{Equação 5})$$

Esse método permite identificar o ângulo formado entre os quocientes das derivadas verticais e horizontais, o que é crucial para entender a orientação e o contraste das fontes magnéticas. A interpretação desse filtro revela valores positivos sobre a fonte anômala, negativos fora dela e próximos a zero nas bordas do corpo magnético.

Em *2D Filtering* foi selecionado o filtro *Tilt Derivate*. Para a configuração correta deve ser selecionado o arquivo grid de entrada (CMA_RTP) e em *Output* o nome de saída do arquivo (ISA_RTP).

6.2.6 Modelo de inversão 2D

A inversão 2D dos dados magnetométricos foi realizada no software *ZondGM2D*, uma ferramenta especializada que permite gerar modelos de inversão de dados geofísicos, tanto para métodos elétricos, eletromagnéticos, potenciais e sísmicos.

O uso do software teve como objetivo estimar geometrias e a distribuição da suscetibilidade magnética de corpos de subsuperfície com base na resposta do campo magnético anômalo reduzido ao polo. O perfil geofísico foi extraído previamente no *Oasis Montaj*, por

meio da ferramenta *Grid Profile*, e exportado como arquivo *.txt*, sendo posteriormente importado no *ZondGM2D software*.

O modelo inicial envolveu a construção da malha (*mesh*), definindo células verticais e horizontais (*Z nodes* e *X nodes* = número de células). Parâmetros como *StartH* (profundidade inicial), *Factor* (fator multiplicativo das camadas verticais) e o número de nós (*Nodes number* = quantidade de células).

Foram testados e ajustados a fim de otimizar a resolução e *skin depth* (profundidade de investigação) do modelo. A inversão foi conduzida utilizando 10 interações e adotando um valor de contraste de suscetibilidade inicial de 0.0 com *ranger* de variação para -5 à +5 S.I.

O modelo foi gerado por meio do ajuste entre a curva calculada e curva observada, e posteriormente correlacionado com perfis sísmicos existentes próximos da área na tentativa de relacionar os contrastes vistos na inversão com os modelos sísmicos.

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 Mapa de Amplitude do Gradiente Horizontal Total (AGHT)

O mapa AGHT apresenta valores de amplitude magnética variando entre 197,7 nT/m e 30.960,1 nT/m, evidenciando feições com diferentes intensidades de magnetização em subsuperfície, representados em uma escala de cores.

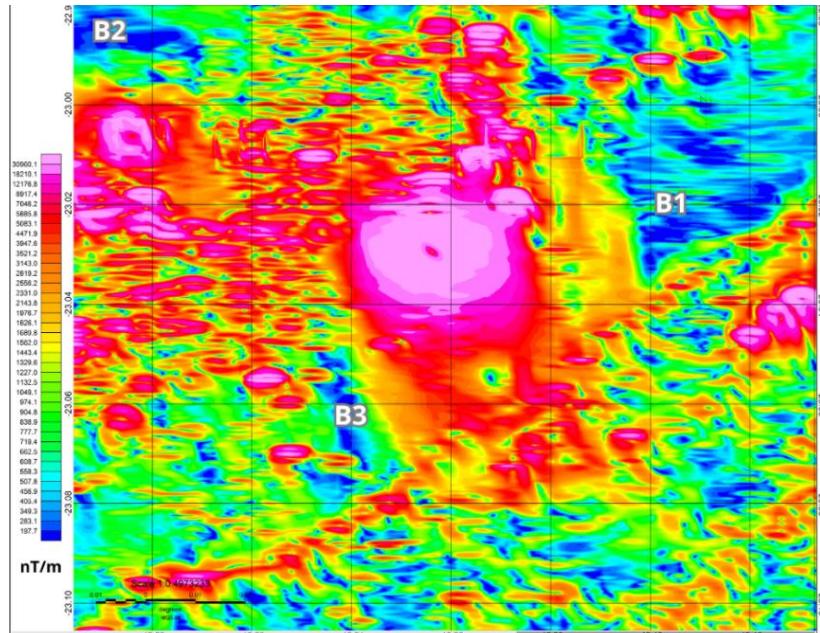
As baixas amplitudes, que variam de 197,7 nT/m a 14.443,4 nT/m, estão representadas pelas cores azul e verde no mapa. Essas regiões de baixa resposta magnética são indicativas de áreas com menor concentração de material magnetizável ou de feições geológicas mais profundas e/ou com menor suscetibilidade magnética.

Em contrapartida, as altas amplitudes, com valores que vão de 15.562,0 nT/m a 30.960,1 nT/m, aparecem em cores que variam do amarelo ao rosa, associadas a corpos ou estruturas geológicas com maior intensidade magnética, provavelmente relacionados à presença de rochas com elevado conteúdo de minerais ferromagnéticos ou a variações mais rasas da subsuperfície.

7.1.1 Interpretação das baixas amplitudes

As baixas amplitudes foram subdivididas em três regiões distintas: B1, B2 e B3.

Figura 8 - Baixas amplitudes no AGHT



Fonte: Andrea Antonelli Uchôa, 2025.

B1 encontra-se na porção nordeste da área de estudo e abrange o maior volume de valores de baixa amplitude. A extensão dessa região pode estar associada a zonas de menor suscetibilidade magnética ou profundidades maiores.

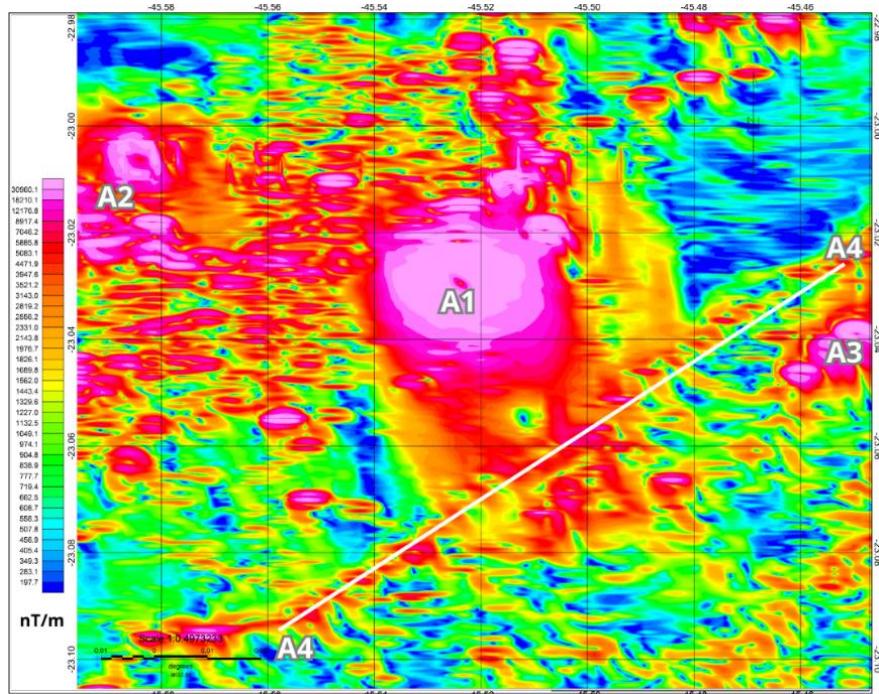
B2 está localizada na porção noroeste, possivelmente relacionada a feições geológicas menos magnéticas ou a camadas mais profundas, que geram uma menor resposta magnética.

B3, por sua vez, ocupa a porção centro-oeste da área, também representando uma zona de menor magnetização, o que pode indicar a presença de materiais com menor conteúdo de minerais magnéticos ou estruturas geológicas menos significativas em termos de contraste magnético.

7.1.2 Interpretação das altas amplitudes

As altas amplitudes foram separadas em quatro áreas principais: A1, A2, A3 e A4.

Figura 9 - Altas amplitudes no AGHT



Fonte: Andrea Antonelli Uchôa, 2025.

Essa região indica feições geológicas com maior intensidade magnética, sugerindo a presença de corpos de rocha mais magnetizados ou estruturas geológicas mais próximas da superfície.

A1, localizada na porção central do mapa, é a maior e mais intensa região de alta amplitude. Sua morfologia circular e a continuidade do sinal com orientação norte-sul sugerem

a presença de uma estrutura geológica bem definida e de alto contraste magnético, possivelmente um corpo intrusivo.

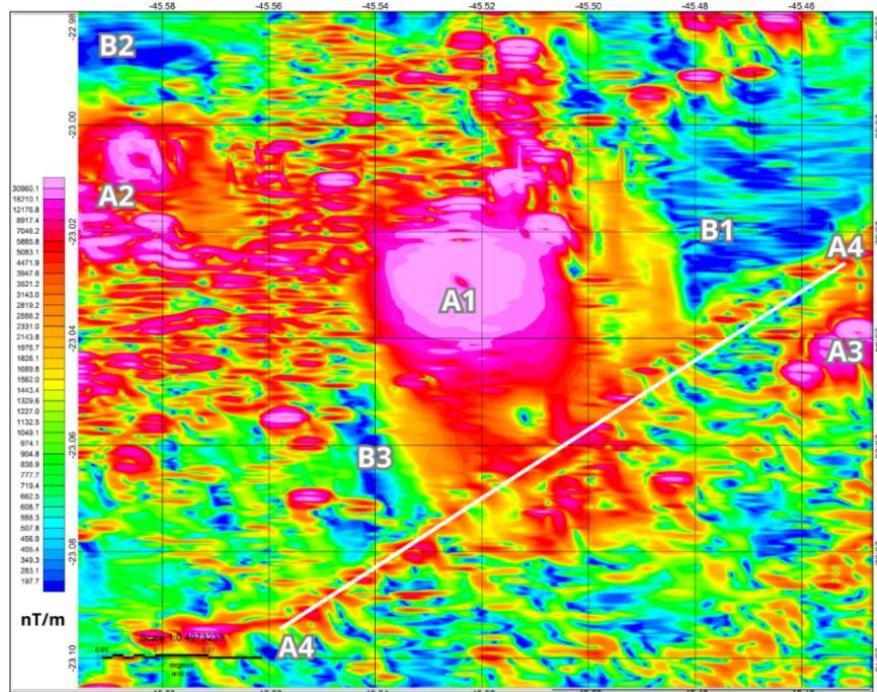
A2 está situada na porção noroeste, abaixo de B2. Apresenta uma pequena morfologia circular na porção superior, com amplitudes alongadas na porção inferior, orientadas na direção leste-oeste. Isso pode indicar a presença de um corpo geológico lenticular ou falha.

A3, na porção leste do mapa, é caracterizada por pequenas morfologias circulares com alinhamento na direção nordeste-sudoeste, sugerindo estruturas alongadas que podem estar associadas a falhamentos ou intrusões magmáticas com orientação preferencial.

A4 se destaca por representar uma possível estrutura geológica com amplitudes constantes, também com orientação nordeste-sudoeste, semelhante à região A3. A continuidade do sinal e a orientação indicam a presença de uma estrutura linear, como uma falha ou contato geológico.

Essas interpretações preliminares sugerem que as regiões de alta amplitude estão associadas a corpos de maior magnetização, possivelmente intrusões ou feições rasas de interesse geológico, enquanto as regiões de baixa amplitude indicam zonas com menor suscetibilidade magnética ou feições mais profundas.

Figura 10 - Mapa de Amplitude do Gradiente Horizontal Total (AGHT) da área do polígono de estudo



Fonte: Andrea Antonelli Uchôa, 2025.

7.1.3 Integração do AGHT e os dados geológicos

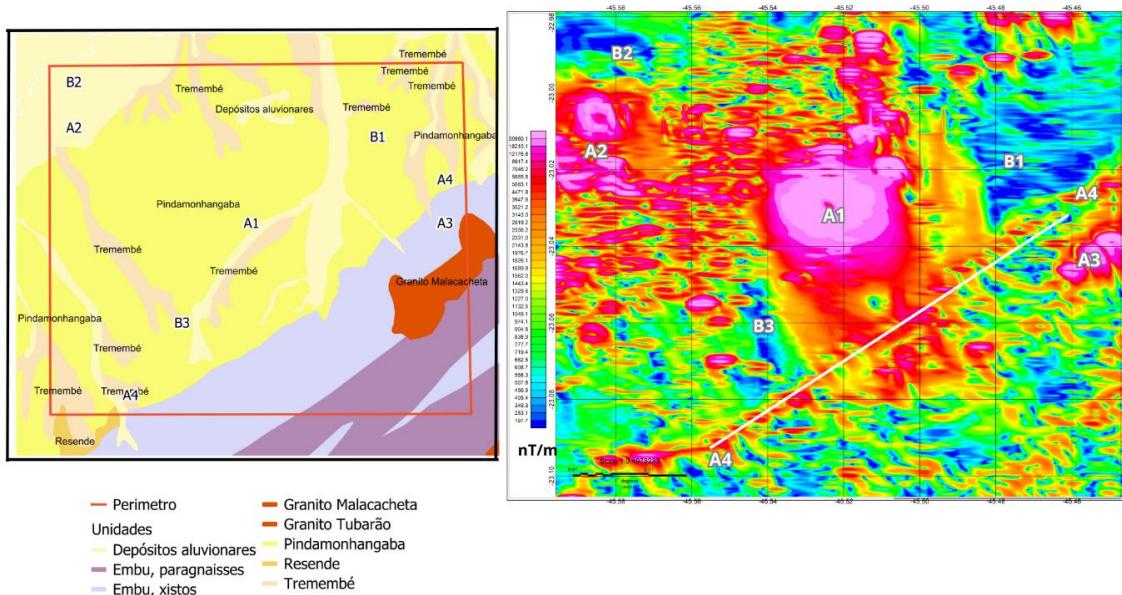
De modo geral, o mapa AGHT nos permite identificar a morfologia de corpos rochosos de altas e baixas concentrações de minerais ferromagnéticos nas direções norte-sul e leste-oeste, onde em boa parte dos casos o que é identificado em superfície, talvez, não corresponda as anomalias presentes no mapa.

A análise integrada dos dados geofísicos e geológicos mostra que as anomalias de baixa e alta amplitude apresentam correlação com feições estruturais mapeadas pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB), principalmente depósitos sedimentares e litotipos do embasamento.

No mapa AGHT (Figura 8) as baixas amplitudes representadas por B1, B2 e B3 estão correlacionadas com a Formação Pindamonhangaba (B1 e B3) e os depósitos aluvionares representados por B2.

Das unidades citadas acima destacam-se B1 e B2, onde na primeira percebe-se que as baixas amplitudes com orientação leste-oeste e morfologia do corpo norte-sul. Já B2 (depósitos aluvionares) apresenta amplitudes com orientação e morfologia leste-oeste.

Figura 11 - Interpretação geológica do AGHT



Fonte: Andrea Antonelli Uchôa, 2025.

As altas amplitudes representadas por A1, A2, A3 e A4 podem refletir corpos geológicos profundos, sendo as amplitudes em A1 e A2 recobertas pela Formação Pindamonhangaba A3 é representada por xistos do Complexo Embu cuja composição é marcada por rochas calciosilicáticas, filitos carbonosos e metaultramáticas, sendo esta última a mais propícia para essas altas amplitudes em função a sua composição química. Por fim, a amplitude A4 se

posiciona em uma porção limiar entre a Complexo Embu (porção sul) e os depósitos aluvionares (porção norte), cuja direção preferencial desta amplitude está para NE.

7.2 Mapa de Amplitude do Sinal Analítico (ASA)

O mapa de Amplitude do Sinal Analítico (ASA) mostra variações significativas nos valores de amplitude magnética, com um intervalo que vai de 39,5 nT/m a 274.111,3 nT/m.

A interpretação dos dados é essencial para identificar estruturas geológicas relevantes, uma vez que o ASA enfatiza tanto as anomalias magnéticas rasas quanto as profundas, permitindo um entendimento mais claro sobre a morfologia e o comportamento das feições magnéticas.

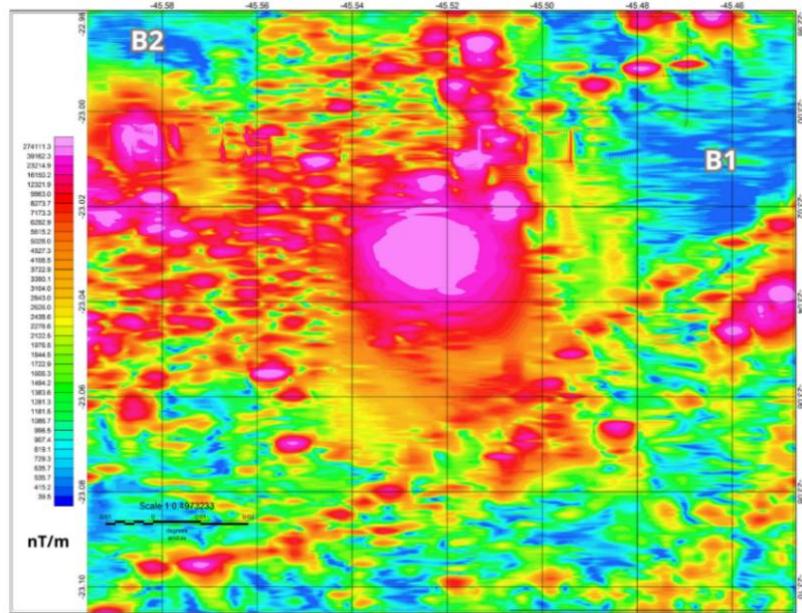
As baixas amplitudes, que variam de 39,5 nT/m a 2.276,6 nT/m, são representadas pelas cores azul e verde no mapa. Esses valores mais baixos refletem áreas de menor magnetização, associadas a zonas com menor conteúdo de minerais magnéticos.

Em contrapartida, as altas amplitudes, que variam de 2.438,6 nT/m a 274.111,3 nT/m, aparecem nas cores amarelo a rosa, refletindo a presença de estruturas geológicas ou corpos com alta intensidade magnética, geralmente mais próximos da superfície.

7.2.1 Interpretação das baixas amplitudes

As baixas amplitudes foram subdivididas em duas regiões principais: B1 e B2.

Figura 12 - Baixas amplitudes do ASA



Fonte: Andrea Antonelli Uchôa, 2025.

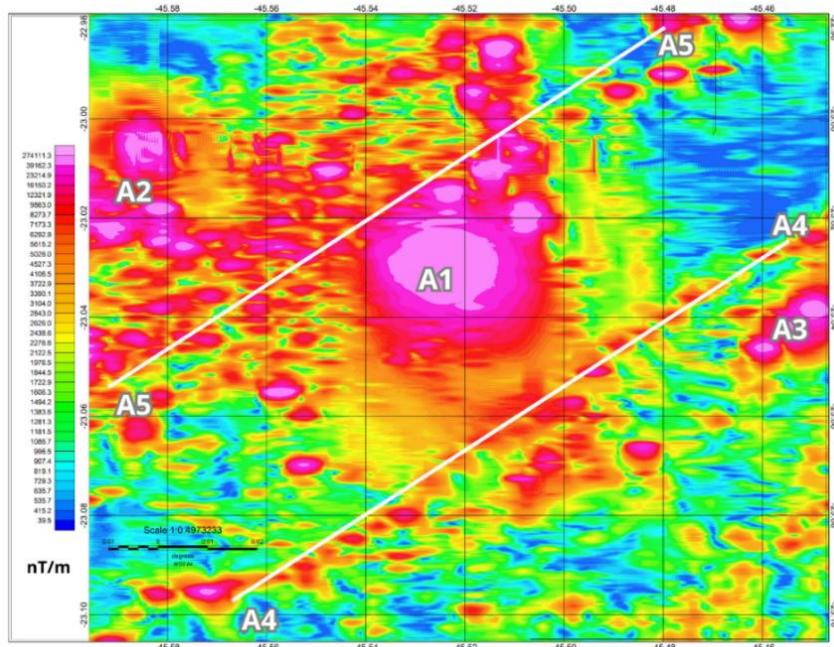
B1, localizada na porção nordeste da área de estudo, abrange o maior volume de valores de baixa amplitude. Essa região pode estar associada a feições geológicas de menor suscetibilidade magnética, ou a estruturas mais profundas que resultam em menores respostas no mapa.

B2 está situada na porção noroeste e compartilha características semelhantes com B1, sugerindo a presença de zonas de menor magnetização, provavelmente relacionadas a materiais menos magnetizáveis ou a feições geológicas profundas.

7.2.2 Interpretação das altas amplitudes

As altas amplitudes foram setorizadas em cinco porções principais: A1, A2, A3, A4 e A5.

Figura 13 - Altas amplitudes do ASA



Fonte: Andrea Antonelli Uchôa, 2025.

A1 está distribuída na porção central da área de estudo, apresentando uma morfologia circular e uma continuidade do sinal de alta amplitude com orientação norte-sul. A morfologia circular e o alinhamento do sinal sugerem a presença de uma estrutura geológica proeminente, como uma intrusão magmática ou um corpo dômico de alta magnetização.

A2, localizada na porção noroeste, apresenta uma pequena morfologia circular na parte superior, com uma assinatura quase leste-oeste na parte inferior, indicando um agrupamento de

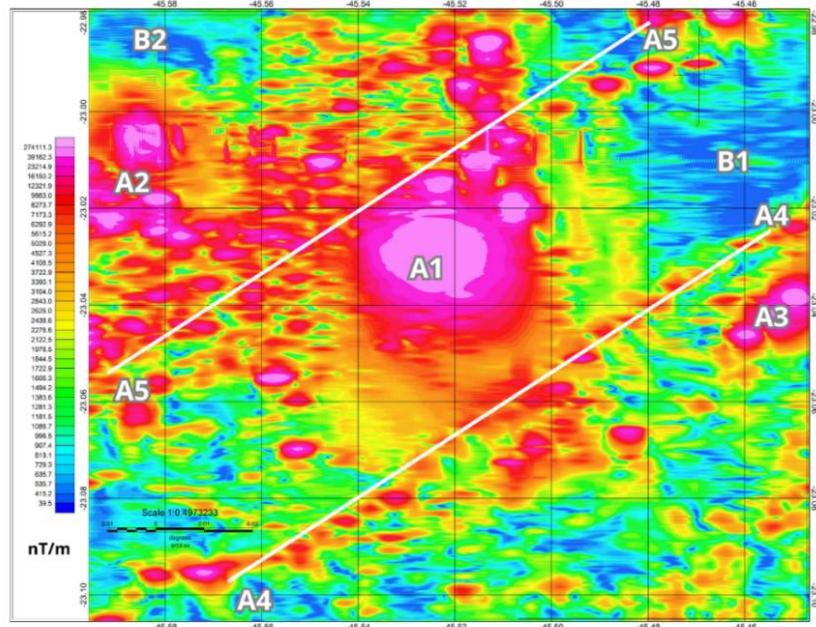
anomalias que podem estar associadas a corpos geológicos alinhados nessa direção, possivelmente intrusões ou falhas.

A3 está situada na porção leste da área, com amplitudes que se estendem ao longo da direção nordeste-sudoeste, o que pode indicar a presença de uma estrutura geológica alongada, como uma falha ou um contato geológico.

A4, localizada ao sul de A1, é caracterizada por uma estrutura linear com direção nordeste-sudoeste, sugerindo a presença de uma feição geológica alongada, possivelmente relacionada a uma falha tectônica ou um corpo intrusivo alongado

A5 está situada ao norte da estrutura circular A1 e também apresenta uma morfologia linear com orientação semelhante à de A4. A continuidade da direção sugere que essas duas regiões podem estar relacionadas a um mesmo sistema estrutural, como uma falha regional ou uma zona de cisalhamento.

Figura 14 - Mapa de inclinação do sinal analítico (ASA)



Fonte: Andrea Antonelli Uchôa, 2025.

7.2.3 Integração do ASA e os dados geológicos

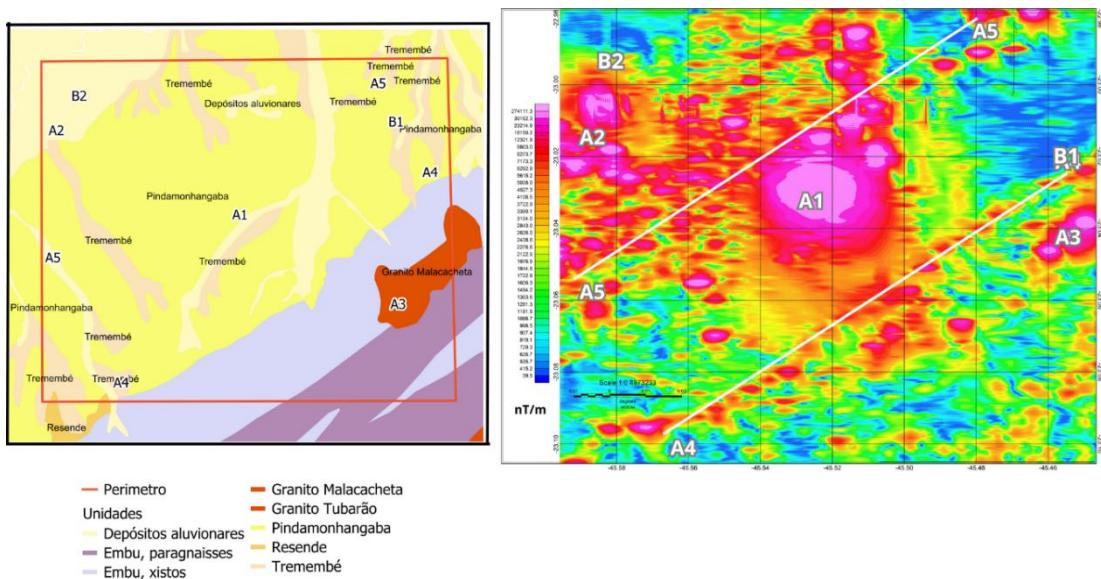
O mapa ASA nos permite identificar morfologias de corpos rochosos de altas e baixas concentrações de minerais ferromagnéticos nas direções norte-sul, leste-oeste e na componente vertical, sendo que em boa parte dos resultados os alvos identificados em superfície podem não corresponder com as anomalias vistas no ASA. Em termos espaciais, observa-se uma

semelhança entre os padrões identificados nos mapas ASA e AGHT, reforçando a consistência das anomalias mapeadas.

Geologicamente, é possível identificar que as anomalias de baixa amplitude e de alta amplitude estão correlatas com as principais feições geológicas mapeadas pelo Serviço Geológico do Brasil – SGB.

No mapa ASA (Figura 12) as baixas amplitudes estão representadas por B1 e B2, estão correlacionadas com a Formação Pindamonhangaba (B1) e os depósitos aluvionares representados por B2.

Figura 15 - Interpretação geológica do ASA



Fonte: Andrea Antonelli Uchôa, 2025.

As baixas amplitudes B1 e B2, onde na primeira as baixas amplitudes estão com orientação leste-oeste e morfologia do corpo norte-sul. Já B2 (depósitos aluvionares) apresenta amplitudes com orientação e morfologia leste-oeste.

As altas amplitudes representadas por A1, A2, A3, A4 e A5 podem refletir corpos geológicos profundos, sendo as amplitudes em A1 e A2 recobertas pela Formação Pindamonhangaba.

A3 representada por xistos do Complexo Embu cuja composição consiste de rochas calciosilicáticas, filitos carbonosos e metaultramáficas, sendo esta última a mais propícia para essas altas amplitudes em função a sua composição química.

A4 se posiciona em uma porção limiar entre a Complexo Embu (porção sul) e os depósitos aluvionares (porção norte), cuja direção preferencial desta amplitude está para NE. Já em A5 não é possível fazer relação dessa amplitude com as feições mapeadas em superfície.

7.3 Mapa de Inclinação do Sinal Analítico (ISA)

O mapa de Inclinação do Sinal Analítico (ISA), expressa em radianos (Rad), apresenta uma variação de valores entre -1,4 rad e 1,3 rad. A ISA é uma técnica eficaz para estimar o mergulho das fontes responsáveis por anomalias magnéticas, além de permitir a identificação do contraste local de suscetibilidade magnética, conforme descrito por Silva (2018).

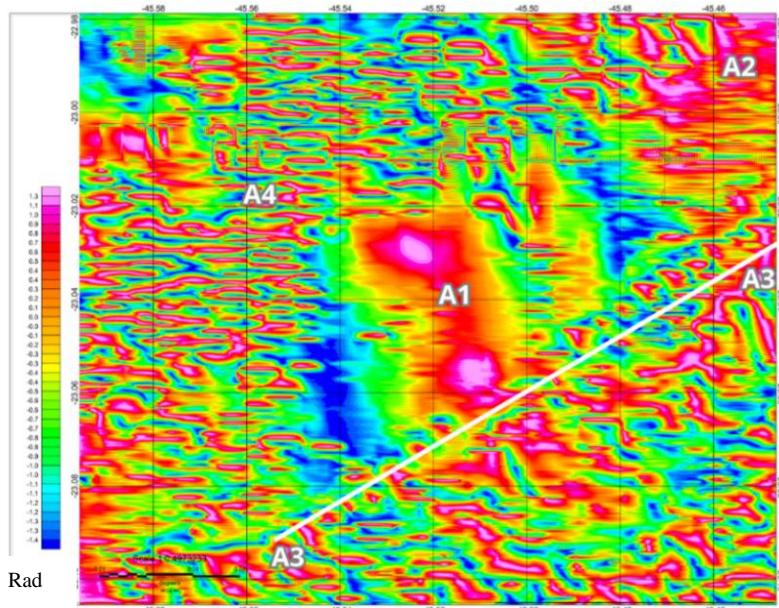
As baixas amplitudes no mapa ISA, com valores que variam de -1,4 a -0,4 rad, são representadas pelas cores azul e verde, indicando áreas de menor intensidade de sinal.

Por outro lado, as altas amplitudes, que variam de -0,3 a 1,3 rad, são indicadas pelas cores que vão do amarelo ao rosa, refletindo áreas de alta intensidade de sinal, associadas a corpos magnéticos mais rasos ou de maior suscetibilidade magnética.

7.3.1 Interpretação das altas amplitudes

As altas amplitudes no mapa ISA foram divididas em quatro setores principais: A1, A2, A3 e A4.

Figura 16 - Altas amplitudes do ISA



Fonte: Andrea Antonelli Uchôa, 2025.

A1 está localizado na porção central da área de estudo, com uma forte direção de sinal norte-sul. A morfologia e orientação dessa anomalia sugere uma estrutura geológica vertical ou subvertical, como uma falha ou um corpo intrusivo (dique).

A2, situado na porção noroeste, apresenta uma alta amplitude de sinal com uma direção predominante leste-oeste. A direção do sinal pode estar associada a uma estrutura geológica alongada ou a um contato geológico relevante.

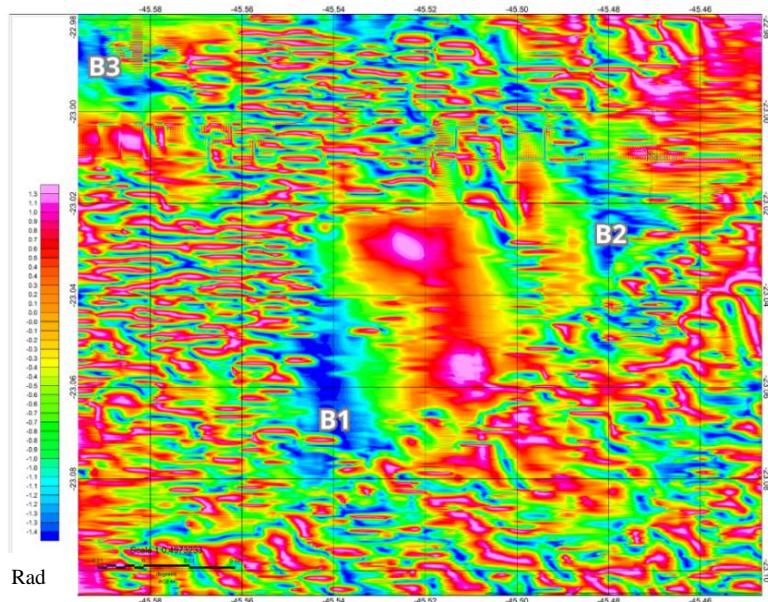
A3 sugere a presença de uma interface geológica com orientação nordeste-sudoeste. Na porção inferior dessa anomalia, as amplitudes se posicionam na direção noroeste, indicando possíveis variações na geometria da fonte magnética ao longo dessa interface.

A4 está distribuída nas porções norte e oeste da área de pesquisa, com direções de alta amplitude de sinal predominantemente na direção leste-oeste, o que pode sugerir a presença de uma estrutura geológica extensa e linear, como uma zona de cisalhamento ou uma sequência estratigráfica inclinada.

7.3.2 Interpretação das baixas amplitudes

As baixas amplitudes foram subdivididas em três setores: B1, B2 e B3.

Figura 17 - Baixas amplitudes do ISA



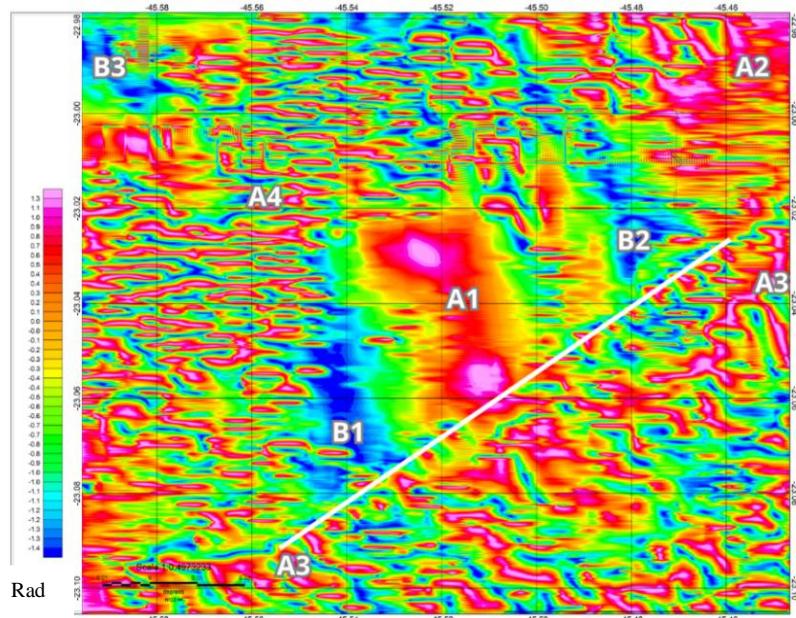
Fonte: Andrea Antonelli Uchôa, 2025.

B1 está localizado na porção centro-oeste da área de estudo, com uma direção de sinal norte-sul. As baixas amplitudes nessa região podem indicar a presença de uma estrutura profunda ou de menor suscetibilidade magnética.

B2 está situado na porção nordeste da área estudada, com amplitude de sinal orientada para o noroeste. Essa configuração pode estar associada a uma variação na profundidade ou no contraste magnético das estruturas subjacentes.

B3, localizado na porção noroeste, apresenta uma menor intensidade de sinal, com direções de amplitude predominantes na direção noroeste-sudeste). Esse comportamento pode refletir uma variação nas propriedades magnéticas do subsolo ou a presença de feições geológicas mais complexas.

Figura 18 - Inclinação do Sinal Analítico (ISA)



Fonte: Andrea Antonelli Uchôa, 2025.

7.3.3 Integração do ISA e os dados geológicos

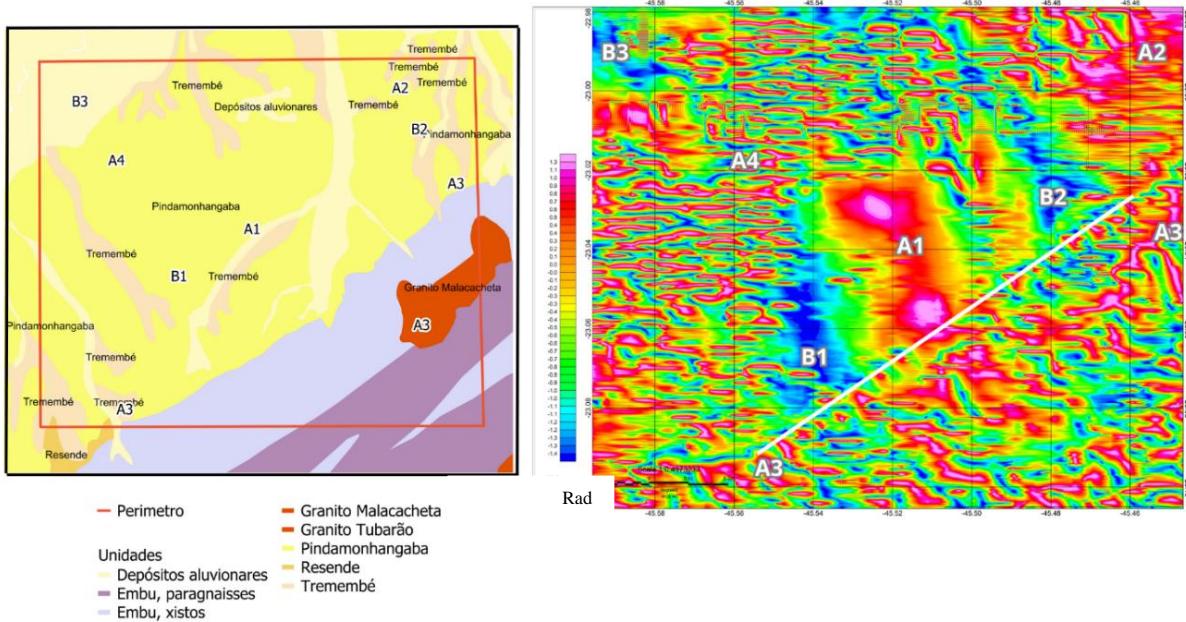
Citado no tópico 6.2.5 o ISA permite identificar o mergulho das estruturas geológicas (baixo a alto ângulo), fato este que possibilita a compreensão dos lineamentos estruturais na área de pesquisa.

A distribuição dos ângulos de inclinação no mapa ISA permite diferenciar feições de baixo e alto mergulho. Os setores B1, B2 e B3 exibem baixos ângulos, sugerindo deposição horizontal associada às formações Pindamonhangaba e Resende., enquanto os altos ângulos de mergulho representados por A1, A2, A3 e A4.

Os baixos ângulos em B1, B2 e B3 estão associados os depósitos da Formação Pindamonhangaba e da Formação Resende em subsuperfície, em função dos baixos valores de

inclinação percebe-se que essa unidade possui baixo ângulo de deposição ou praticamente deposição horizontal.

Figura 19 - Interpretação geológica do ISA



Fonte: Andrea Antonelli Uchôa, 2025.

Os altos ângulos de inclinação representadas por A1, A2, A3 e A4 refletem forte mergulho das estruturas geológicas de subsuperfície. Dos ângulos citados anteriormente A1, A2 e A4, não se correlacionam com as unidades geológicas mapeadas em superfície.

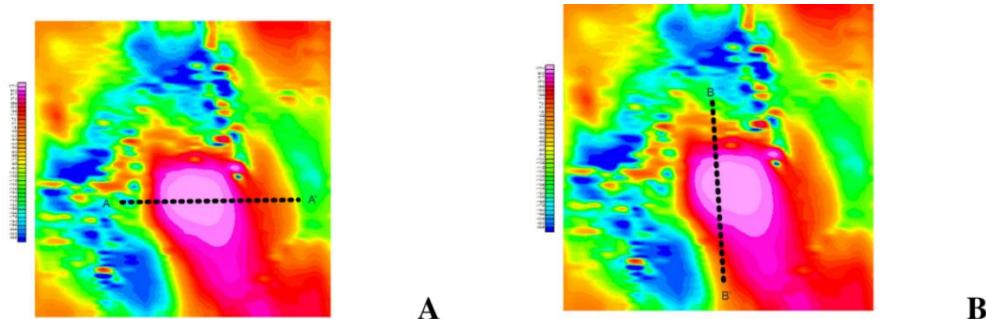
A3 é a única feição que faz relação com a geologia de superfície, sendo, neste caso, a porção limiar entre a Complexo Embu (porção sul) e os depósitos aluvionares (porção norte), cuja direção preferencial desta amplitude está para NE com alto ângulo de mergulho estrutural.

7.4 MODELOS DE INVERSÃO 2D

A partir das modelagens foi possível dimensionar e compreender a geometria da anomalia magnética identificada na Bacia de Taubaté. Inicialmente, tentou-se realizar a modelagem direta, mas a ausência de dados de campo mais detalhados limitou a eficácia dessa abordagem. Diante disso, optou-se pela aplicação do método de modelagem inversa, por meio do software *ZondGM2D*.

Os dados utilizados foram extraídos do mapa de Campo Magnético Anômalo reduzido ao polo (CMA-RTP), por meio da ferramenta *Grid Profile* no *Oasis Montaj*. As inversões foram conduzidas com base em dois perfis transversais à anomalia, identificados como linha A e linha B (Figura 20).

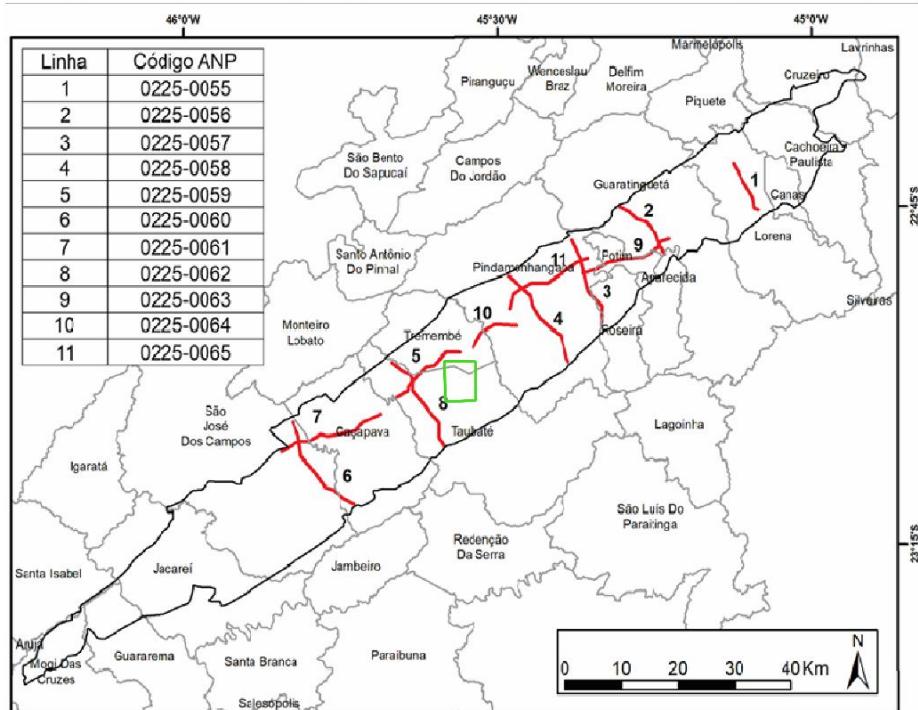
Figura 20 - A) Linha A usada para a construção dos perfis. B) Linha B usada para a construção dos perfis.



Fonte: Andrea Antonelli Uchôa, 2025.

Na tentativa de validar o modelo de inversão utilizou-se nesse trabalho os perfis sísmicos do manual técnico-científico realizado pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2022), intitulado “Modelo Geofísico-Geológico da Bacia de Taubaté – SP”, e correlacioná-los com as estruturas de subsuperfície com as anomalias (Figura 21).

Figura 21 - Disposição espacial das linhas sísmicas a bacia



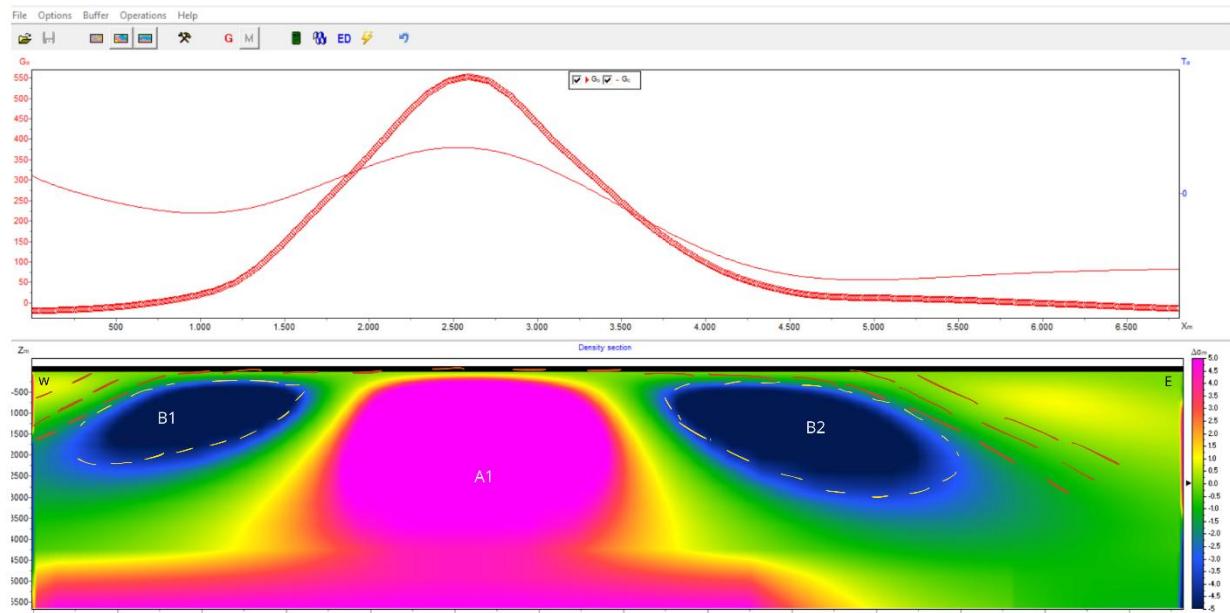
Fonte: Modelo geofísico-geológico da Bacia de Taubaté (SP), adaptado de CPRM (2022). modificado pelo autor

Foram realizados diversos modelos com configurações e parâmetros distintos na tentativa de obter o melhor ajuste entre os dados calculados e observados na tentativa de se obter um RMS baixo e coerente com a geologia de subsuperfície.

Os arquivos dos perfis foram importados para o *ZondGM2D*, e elaborada a malha do modelo (*mesh*) com os seguintes parâmetros: *StartH* = 20, *Factor* = 1.15 e número de nós horizontais (*Nodes number*) = 28. Foram realizadas 10 interações para a convergência dos modelos.

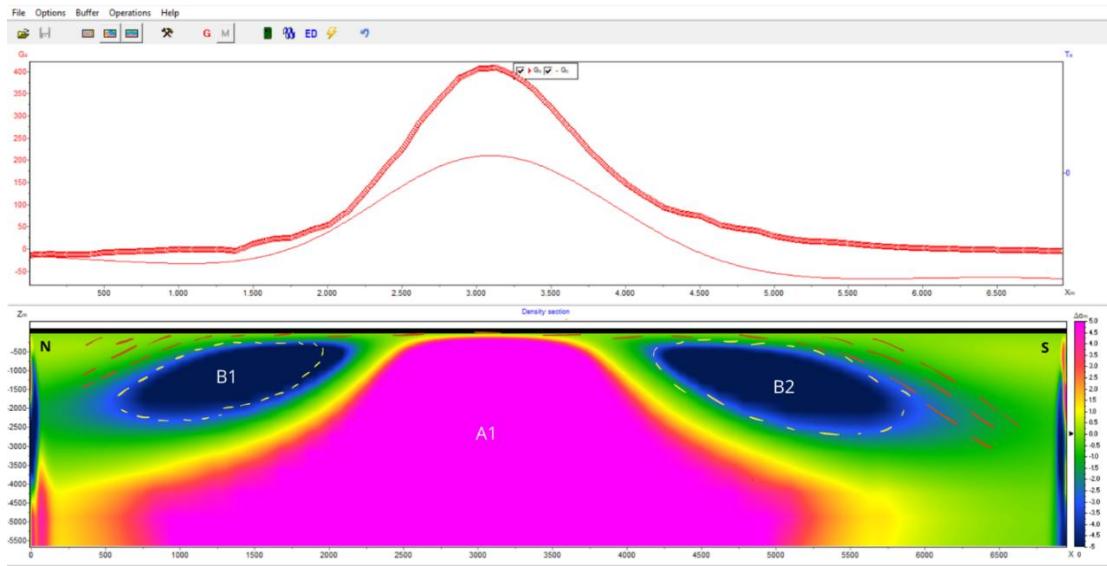
Os parâmetros da malha influenciam diretamente no ajuste da inversão para isso optou-se de utilizar os seguintes parâmetros: *StartH* onde define a espessura da camada superficial, enquanto o *Factor* controla o crescimento das células em profundidade. O *Nodes number* determina a resolução horizontal do modelo, e o número de interações refere-se aos ciclos de cálculo para ajustar o modelo à curva observada (Figuras 21 e 22)

Figura 22 - Modelo de inversão 2D referente a linha A



Fonte: Andrea Antonelli Uchôa, 2025

Figura 23 - Modelo de inversão 2D referente a linha B



Fonte: Andrea Antonelli Uchôa, 2025

As linhas A e B possuem características físicas de contraste de suscetibilidade semelhantes. Na borda oeste o contraste B1 e na borda leste o contraste B2 evidencia a presença de dois corpos de baixa suscetibilidade magnética mergulhando em sentidos opostos, com profundidades entre 500 m e 2.500 m.

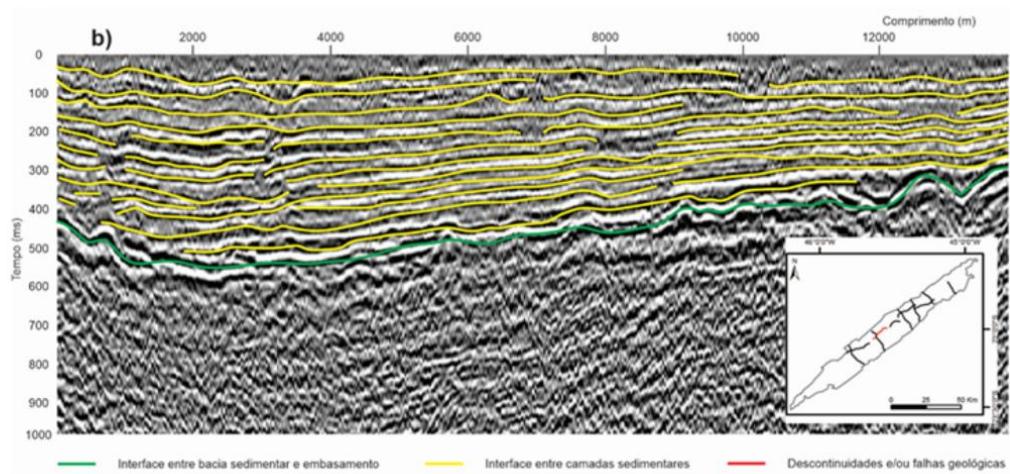
Na porção central dos perfis há um corpo identificado de alta magnetização e alta suscetibilidade magnética (A1). Está centrado entre os corpos B1 e B2, atingindo profundidades das ordens dos 300 m até 5.000 m.

Observa-se no perfil B que nas laterais ocorrem efeitos de borda. São regiões com menor confiabilidade na modelagem e não devem ser consideradas como feições geológicas reais

De modo a correlacionar os dados magnetométricos com outros métodos utilizou-se perfis sísmicos realizados nas adjacências da área de estudo o que comprova que a Bacia de Taubaté possui transição para o embasamento metassedimentar e migmatito na ordem dos 500 m na porção sudoeste central e 400 m de profundidade na porção nordeste do perfil (Figura 24)

Figura 24 - Seção PSTM e interpretação da seção da linha 0225-0059 Taubaté (Linha Sísmica 5)

SW



Fonte: Modelo geofísico-geológico da Bacia de Taubaté (SP), adaptado de CPRM (2022). modificado pelo autor

Observa-se na Figura 24 que a um soerguimento do embasamento na porção nordeste associado à ascensão de um corpo intrusivo, cuja posição coincide com uma feição circular de alta magnetização identificada nos dados aeromagnéticos.

A geometria circular atrelada a intensidade do contraste da resposta magnética sugere arquiteturas geológicas próximas de corpos alcalinos, caracterizados por elevada suscetibilidade magnética e/ou densidade.

Ao comparar o modelo sísmico com os modelos de inversão magnética é possível observar que em ambos os modelos há uma correlação do soerguimento do embasamento com os baixos contraste de suscetibilidade (B1), no entanto, não é possível no perfil sísmico identificar corpos intrusivos. Entretanto, é notório que de fato existe um basculamento do embasamento (perfil sísmico) com os corpos de baixos contrastes de suscetibilidade (B1).

8 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise integrada dos dados aeromagnéticos, modelos derivados (AGHT, ASA e ISA), inversão 2D e dados sísmicos permitiu caracterizar com maior precisão uma anomalia magnética de alta amplitude localizada na porção central da Bacia de Taubaté.

Segundo Ferraz *et al.* (2008) descreve em seu trabalho que nas bacias adjacentes desse trabalho apresentam a mesma amplitude e mesma morfologia circular (assinatura geofísica) de

corpos alcalinos, fato este, que corrobora para a possibilidade dessas anomalias serem decorrentes da presença de rochas alcalinas em subsuperfície.

Os mapas AGHT e ASA permitiram observar as grandes estruturas morfológicas de alta amplitude a exemplo da estrutura circular identificada na porção central (A1) dos mapas, bem como pequenas amplitudes positivas circulares que ocorrem na porção leste (A3).

No ISA foi possível caracterizar as estruturas lineares e/ou planares que recortam toda a área de pesquisa, a se destacar A1 com direção noroeste e A3 com direção nordeste, em ambos apresentam um forte mergulho das estruturas.

Ainda de posse dos dados aeromagnéticos, foi realizado inversão 2D complementando interpretações a respeito das características físicas da anomalia, sendo identificados corpos com diferentes contrastes de suscetibilidade magnética.

Foram identificados dois corpos laterais de baixa suscetibilidade (B1 e B2), que delimitam um corpo central altamente suscetível (A1).

Essa configuração pode ser interpretada como resultado do processo de ascensão de corpos intrusivos que acabam por romper o embasamento, uma hipótese fortalecida pela coerência entre os modelos de inversão e os dados da sísmica disponíveis, especialmente ao longo da linha 5, onde o embasamento foi identificado a profundidades superiores a 400 metros

A morfologia circular, atrelada aos altos valores de suscetibilidade magnética e a profundidade observada nos modelos, sugere a presença de um corpo intrusivo, cuja geometria em forma de gota ou domo.

A hipótese de que a intrusão alcalina presente na região é mais antiga que a implantação da Bacia de Taubaté é compatível com o padrão observado para outras intrusões localizadas na periferia do Rift Continental do Sudeste do Brasil (RCSB), as quais, de modo geral, antecedem a formação das bacias rifteadas e estão associadas a eventos de soerguimento e instabilidade crustal anteriores ao preenchimento sedimentar principal.

Zalán e Oliveira (2005) propuseram que o modelo evolutivo do segmento central do RCSB envolve o soerguimento contínuo do embasamento, seguido por colapso gravitacional e individualização de blocos estruturais, o que favorece a formação de feições intrusivas alcalinas tanto nas bordas quanto no interior das bacias.

Assim, a presença dessas intrusões, mais antigas que o início da sedimentação, está em consonância com os processos tectônicos que controlaram a evolução da Bacia de Taubaté como um sistema do tipo rifte.

A contribuição deste estudo está, portanto, na validação de um modelo estrutural para a Bacia de Taubaté. A hipótese de presença de corpos alcalinos intrusivos, além de geologicamente plausível, é coerente com a configuração tectônica do RCSB.

Ressalta-se que o modelo de inversão 2D não obteve um bom ajuste na porção oeste (perfil A) e sul (perfil B) das curvas calculadas, em detrimento a limitação computacional utilizada durante o processo de inversão (o *software* “trava” e encerra a inversão em função da baixa potência computacional). Entretanto, tal fato, não prejudica o modelo em função do desajuste ser de uma porção contendo baixo valores de contrastes magnéticos, o que talvez poderia mudar seria somente a grandeza dos valores calculados e não a sua geometria.

Portanto, a abordagem adotada se mostrou eficaz para avançar no reconhecimento de feições geológicas e para a inferência da dinâmica estrutural da bacia. Futuros estudos geofísicos associados com furos de sondagem poderão contribuir para a confirmação do modelo aqui proposto e sua eventual aplicação em contextos análogos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA DE CARVALHO, Ancilla Maria et al. **Delimitação do Embasamento da Bacia de Taubaté**. Revista do Instituto de Geociências, v. 11, n. 2, p. 1-12, 2011.
- AMARAL, Gerson; ALMEIDA, Fernando Flávio da Costa; CORDANI, Umberto Gastaldi; KAWASHITA, Koji. **O Pré-Cambriano do Estado de São Paulo e centro-sul de Minas Gerais**. Revista Brasileira de Geociências, v. 3, n. 3, p. 1-26, 1967.
- BLAKELY, Richard J. **Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications**. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.
- BLUM, M. L. B. et al. **Análise dos métodos de gradiente horizontal total e do sinal analítico na identificação de contatos geológicos**. Revista Brasileira de Geofísica, v. 17, n. 1, p. 35-44, 1999.
- DAVIS, John C. **Statistics and Data Analysis in Geology**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1986.
- DENTITH, Michael; MUDGE, Stephen T. **Geophysics for the Mineral Exploration Geoscientist**. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- FERNANDES, Luiz Alberto D.; CHANG, Hong K. **Geologia estrutural e evolução tectônica da Bacia de Taubaté, SP**. Revista Brasileira de Geociências, v. 31, n. 2, p. 235-246, 2001.
- FERRAZ, A. E. P. P. D.; SILVA, A.; FERRARI, A. L. **Estudo comparativo entre duas anomalias magnéticas de corpos alcalinos no Alto de Cabo Frio e em áreas proximais da Bacia de Santos apoiado por deconvolução de Euler**. Brazilian Journal of Geophysics, v. 26, n. 4, p. 469-482, 2008.
- GEOSOFT. **Oasis Montaj – Geophysical Data Processing Software**. Toronto: Geosoft Inc., 2010.
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C. D. R.; COIMBRA, A. M. **The Ribeira Folded Belt**. Revista Brasileira de Geociências, v. 5, p. 257-264, 1975.
- HASUI, Y. et al. **As grandes falhas do leste paulista**. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 1., 1977, São Paulo. Anais... São Paulo: SBG, v. 1, p. 369-380, 1977.
- HEILBRON, M.; MACHADO, F. B. **O embasamento da Bacia de Taubaté: implicações para a evolução tectônica do Rift Continental do Sudeste do Brasil**. Revista Brasileira de Geociências, v. 33, n. 3, p. 355-364, 2003.
- HINZE, William J. et al. **Gravity and Magnetic Exploration: Principles, Practices, and Applications**. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.
- KEAREY, Philip; HILL, Ian; BROOKS, Michael. **Geofísica de Exploração**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

LIMA, O. A. L. **Propriedades físicas das rochas.** In: Bases da geofísica aplicada. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geofísica, 2014.

MELGAÇO, Patrícia P. de Souza. **Análise morfológica do Alto de Cabo Frio e sua influência na sedimentação na porção sul da bacia de Campos.** Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

MOURA, Thais Trevisani. **Estruturas transversais às bacias de Taubaté e Resende: natureza e possível continuidade na bacia de Santos, Brasil.** Geotectônica, n. 39, p. 1-18, 2015.

OLIVEIRA, João Alberto Bach de; ZALÁN, Pedro Victor. **Origem e evolução estrutural do Sistema de Riftes Cenozóicos do Sudeste do Brasil.** Revista Brasileira de Geociências, v. 30, n. 1, p. 129-152, 2000.

QUEIROZ DE OLIVEIRA, Vinícius. **Filtragem de eventos lineares nos dados sísmicos utilizando derivada direcional bidimensional.** Dissertação (Mestrado em Geofísica) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2009.

RAMOS, Renato Rodriguez Cabral. **Sistemas Aluviais Terciários da Bacia de Resende, Estado do Rio de Janeiro, Brasil: Análise de Fácies e Revisão Estratigráfica.** Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003.

RICCOMINI, Claudio. **O Rift Continental do Sudeste do Brasil.** 1989. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 256 p., 1989.

RICCOMINI, Claudio; COIMBRA, A. M. **Estratigrafia e evolução tectônica da Bacia de Taubaté (SP).** Revista Brasileira de Geociências, v. 22, n. 2, p. 242-252, 1992.

RICCOMINI, Claudio et al. **Evolução tectônica e paleogeográfica da Bacia de Taubaté.** Revista Brasileira de Geociências, v. 34, n. 4, p. 597-608, 2004.

RICCOMINI, Claudio et al. **Magmatismo alcalino associado ao Rift Continental do Sudeste do Brasil: implicações tectônicas e paleogeográficas.** Revista Brasileira de Geociências, v. 35, n. 2, p. 233-242, 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.

ROSA, P. A. S.; RUBERTI, E. **Nepheline syenites to syenites and granitic rocks of the Itatiaia Alkaline Massif, Southeastern Brazil: new geological insights into a migratory ring Complex.** Brazilian Journal of Geology, v. 48, n. 2, p. 347-372, 2018.

SANDWELL, David T.; SMITH, Walter H. F. **Bathymetric estimation using satellite altimetry.** Science, v. 294, n. 5543, p. 585-589, 2001.

SILVA, J. B. C.; BARBOSA, V. C. F. **2D magnetic inversion using the conjugate gradient method.** Geophysics, v. 71, n. 5, p. L85-L94, 2006.

SILVA, R. S. **Propriedades magnéticas das rochas da Bacia de Taubaté: implicações para a interpretação geofísica.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) – Universidade Federal de Uberlândia, 2018.

SOUZA, J. S.; GOMES, C. A. **Caracterização geofísica dos corpos alcalinos do sudeste brasileiro.** Geociências, v. 31, n. 4, p. 567-576, 2012.

TELFORD, William M.; GELDART, Lloyd P.; SHERIFF, Robert E.; KEY, Derek A. **Applied Geophysics.** 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

THOMAZ FILHO, Antonio; RODRIGUES, A. L. **O alinhamento de rochas alcalinas Poços de Caldas-Cabo Frio (RJ) e sua continuidade na cadeia Vitória-Trindade.** Revista Brasileira de Geociências, v. 29, n. 2, p. 189-194, 1999.

TROUW, R. A. **J. Geologia estrutural do embasamento da Bacia de Taubaté.** Revista Brasileira de Geociências, v. 30, n. 1, p. 153-163, 2000.

TURNER, S. P.; FOSTER, G. L.; HAWKESWORTH, C. J.; et al. **Magmatism and tectonics of the Taubaté Basin, SE Brazil.** Journal of South American Earth Sciences, v. 8, n. 3-4, p. 345-355, 1995.

VIDAL, A. C.; FERNANDES, L. A. D.; CHANG, H. K. **Estrutura e evolução tectônica da Bacia de Taubaté.** Revista Brasileira de Geociências, v. 34, n. 4, p. 609-620, 2004.

ZALÁN, P. V.; OLIVEIRA, J. A. B.; et al. **Origem e evolução estrutural do sistema de riftes cenozóicos do sudeste do Brasil.** Revista Brasileira de Geociências, v. 16, n. 4, p. 454-472, 1986.

ZALÁN, P. V.; et al. **Origem e evolução estrutural do Rifte Continental do Sudeste Brasileiro.** Geociências, v. 25, n. 3, p. 321-335, 2005.