

EVOLUÇÃO DO CONHECIMENTO SOBRE OS CORPOS ÍGNEOS DA PORÇÃO OESTE DO BATÓLITO IPOJUCA-ATALAIA: uma nova perspectiva através da aerogeofísica

Sanmy Silveira Lima

Doutor pelo Programa de Pós-graduação em Geociências da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE¹
sanmy_lima@hotmail.com

Gabriela Menezes Almeida

Doutora pelo Programa de Pós-graduação em Geologia da Universidade de Brasília – UnB e
Pós-Doutoranda pela Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG²
geolgm Almeida@gmail.com

RESUMO: Ao longo das décadas o processo de elaboração de produtos geológicos passou por importantes mudanças com o uso de sensores remotos orbitais e aerotransportados. Os dados aerogeofísicos apresentam uma nova fronteira para as Geociências. Nesta pesquisa foram utilizados dados aeromagnéticos e aerogamaespectrométricos para delimitar unidades geológicas e lineamentos. A metodologia consistiu no emprego de técnicas de processamento de dados para a aquisição da imagem do campo magnético anômalo, que posteriormente passou pelo processo de filtragem para chegar aos produtos da amplitude do sinal analítico e da primeira derivada vertical, com o intuito de realçar os lineamentos. Em seguida foram analisados os dados aerogamaespectrométricos através das imagens dos três canais radiométricos (K, eTh e eU) que foram interpretadas de forma individual e subsequentemente usadas para a composição da imagem ternária RGB (red; green; blue). A composição RGB foi interpretada de maneira qualitativa, delimitando os principais domínios litogeofísicos. Como resultado foi possível distinguir quatro domínios magnéticos e revelar a intensa deformação experimentada pelo Batólito Ipojuca-Atalaia através das zonas de cisalhamento. Os dados aerogamaespectrométricos possibilitaram o aprimoramento dos limites entre os corpos ígneos e demais litotipos da área estudada. Logo, o artigo fornece dados para o aprimoramento da base geológica disponível para a porção oeste do Batólito Ipojuca-Atalaia.

Palavras-chave: Campo magnético anômalo; Amplitude do sinal analítico; Primeira derivada vertical; Canais radiométricos; Domínios litogeofísicos.

EVOLUTION OF KNOWLEDGE ABOUT THE IGNEOUS BODIES OF THE WESTERN PORTION OF THE IPOJUCA-ATALAIA BATHOLITH: a new perspective through aerogeophysics

ABSTRACT: Resumo em inglês. Over the decades, the process of producing geological products has undergone important changes with the use of orbital and airborne remote sensors. Aerogeophysical data presents a new frontier for Geosciences. In this research, aeromagnetic and aerogamaspectrometric data were used to delimit geological units and lineaments. The methodology consisted of using data processing techniques to acquire the image of the anomalous magnetic field, which subsequently went through the filtering process to arrive at the products of the analytical signal amplitude and the first vertical derivative, with the aim of highlighting the lineaments. The aerogamaspectrometric data were then analyzed using images from the three radiometric channels (K, eTh and eU), which were interpreted individually and subsequently used to compose the ternary RGB (red; green; blue) image. The RGB composition was interpreted qualitatively, delimiting the main lithogeophysical domains. As a result, it was possible to distinguish four magnetic domains and reveal the intense deformation experienced by the Ipojuca-Atalaia Batholith through the shear zones. The aerogamaspectrometric data made it possible to improve the limits between igneous bodies and other lithotypes in the studied area. Therefore, the article provides data to improve the geological base available for the western portion of the Ipojuca-Atalaia Batholith.

¹ Endereço para correspondência: Av. da Arquitetura S/N, Cidade Universitária, CEP: 50740-550, Recife, Pernambuco, Brasil.

² Endereço para correspondência: Av. Pres. Antônio Carlos, n° 6627, Pampulha, CEP: 31270-901, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

Keywords: Anomalous magnetic field; Analytical signal amplitude; First vertical derivative; Radiometric channels; Lithogeophysical domains.

EVOLUCIÓN DEL CONOCIMIENTO SOBRE LOS CUERPOS ÍGNEOS DE LA PORCIÓN OCCIDENTAL DEL BATOLITO IPOJUCA-ATALAIA: una nueva perspectiva a través de la aerogeofísica

RESUMEN: A lo largo de las décadas, el proceso de preparación de productos geológicos ha sufrido importantes cambios con el uso de sensores remotos orbitales y aéreos. Los datos aerogeofísicos presentan una nueva frontera para las geociencias. En esta investigación se utilizaron datos aeromagnéticos y aerogammaspectrométricos para delimitar unidades y lineamientos geológicos. La metodología consistió en utilizar técnicas de procesamiento de datos para adquirir la imagen del campo magnético anómalo, que posteriormente pasó por el proceso de filtrado para llegar a los productos de la amplitud de la señal analítica y la primera derivada vertical, con el objetivo de resaltar los lineamientos. Luego, los datos aerogammaspectrométricos se analizaron utilizando imágenes de los tres canales radiométricos (K, eTh y eU), que se interpretaron individualmente y posteriormente se utilizaron para componer la imagen RGB ternaria (rojo; verde; azul). La composición RGB se interpretó cualitativamente, delimitando los principales dominios litogeofísicos. Como resultado, fue posible distinguir cuatro dominios magnéticos y revelar la intensa deformación experimentada por el Batolito Ipojuca-Atalaia a través de las zonas de corte. Los datos aerogammaspectrométricos permitieron mejorar los límites entre los cuerpos ígneos y otros litotipos en la zona de estudio. Por lo tanto, el artículo proporciona datos para mejorar la base geológica disponible para la porción occidental del Batolito Ipojuca-Atalaia.

Palabras clave: Campo magnético anómalo; Amplitud de la señal analítica; Primera derivada vertical; Canales radiométricos; Dominios litogeofísicos.

Introdução

A cartografia geológica corresponde a uma infraestrutura básica e fundamental para a descrição das características geológicas de um território, sendo um elemento chave para o planejamento e a gestão das atividades antrópicas (ROMÃO, 2005). No Brasil, o órgão governamental responsável pela elaboração das cartas e mapas geológicos é o Serviço Geológico do Brasil (CPRM). De acordo com Romão e Cunha (2012) o conceito de carta geológica consiste em um documento que apresenta informações relativas as rochas e aos fenômenos que ocorreram no passado, bem como à ocorrência de substâncias minerais e localização de jazidas, nascentes de água, entre outros. Para a literatura (ROMÃO, 2005; ROMÃO E CUNHA, 2012; LIMA et al. 2017, 2022) as novas tecnologias computacionais apresentaram um rápido desenvolvimento nas últimas décadas, levando a evolução da apresentação dos mapas geológicos, onde o papel foi trocado por um conjunto de dados gráficos e alfanuméricos georreferenciados e manipulados em um Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Atualmente, com o uso das geotecnologias, os dados das diferentes áreas das geociências contidos em um mapa ou carta geológica são organizados em diferentes planos de informação, o que permite ao usuário recorrer as mais diversas técnicas de modelagem e processamento para obter um produto robusto e que atenda suas necessidades. Os dados aerogeofísicos fazem parte desse conjunto de dados e foram caracterizados como uma nova fronteira do conhecimento para as geociências (ALMEIDA et al. 2021; LIMA et al. 2021). A aeromagnetometria e a aerogamaespectrometria vêm sendo amplamente utilizados para entender a evolução estrutural das grandes províncias brasileiras (e.g., CARRINO et al., 2007; ARAÚJO NETO et al., 2018; ALMEIDA et al., 2021, 2022; LIMA et al., 2021).

Nesta pesquisa enfatizaremos a porção sudoeste do Batólito Ipojuca-Atalaia, que está inserido no contexto geológico da Província Borborema (PB), localizada no nordeste do Brasil. De acordo com Rodrigues Neto (2016), a PB constitui uma série de compartimentos tectônicos que apresentam grande complexidade geocronológica e estratigráfica. Lima et al. (2017; 2021) indicam que as geotecnologias (sensoriamento remoto, SIG, aerogeofísica,

dentre outros) são uma importante ferramenta para a construção do conhecimento em escala regional na PB.

As pesquisas geofísicas regionais na Província Borborema evoluíram consideravelmente nos últimos anos. Oliveira e Medeiros (2018) apresentaram o arcabouço crustal da província e interpretaram os principais contrastes laterais de densidade e magnetização usando a primeira cobertura regional disponível de dados aerogeofísicos. No entanto, pesquisas com foco em geofísica local ainda são escassas (e.g., ALMEIDA et al., 2021; LIMA et al., 2021), apresentando maior volume de trabalhos focados nas subprovíncias Norte e Central (DANTAS et al., 2003; MAAS et al., 2003; ARAÚJO et al., 2014; SANTOS et al., 2017; ARAÚJO NETO et al., 2018).

A falta de afloramentos dificulta as campanhas de mapeamento geológico por métodos tradicionais e a escassez de dados locais (geocronológicos e de campo) limita o avanço do conhecimento geológico da região (LIMA et al., 2021). De forma a avançar na caracterização das unidades geológicas da porção sudoeste do Batólito Ipojuca-Atalaia, o presente trabalho foca no emprego de dados aerogeofísicos de alta densidade de amostragem integrados com a literatura existente e novos dados geológicos de campo. Os dados aerogeofísicos permitiram delimitar os domínios litogeofísicos e os domínios magnéticos, bem como as principais zonas de cisalhamento e sua direção principal. Esses dados forneceram subsídio para o aprimoramento das delimitações relativas aos plútons e demais rochas da porção sudoeste do Batólito Ipojuca-Atalaia.

A geologia e as geotecnologias

As geociências utilizam, de forma sistemática e intensiva, o método cartográfico para a representação do conhecimento geológico-geomorfológico (ROBINSON et al., 1995; LIMA et al., 2017). Historicamente, o método cartográfico em geologia era desenvolvido pelo geólogo de campo em um determinado território. Tal método consistia no caminhamento, recolhimento de amostras e análise in loco. A representação desses dados era elaborada em uma carta topográfica referenciada, expressando a extensão das variações litológicas e tectônicas.

De acordo com Lima et al. (2021) e Romão e Cunha (2012), o grau de exposição dos afloramentos depende de uma série de fatores (vegetação, clima, topografia, dentre outros), assim o método tradicional de caminhamento apresenta significativas limitações. Os avanços tecnológicos, obtidos a partir dos anos 50, modificaram a forma de aquisição de dados geológicos com o uso sistemático do sensoriamento remoto, aerogeofísica, radiometria espectral e SIG. Romão e Cunha (2012) afirmam que o uso de tais técnicas possibilitou um melhoramento significativo dos produtos cartográficos finais, além de uma economia de tempo e custos com as atividades de campo.

As novas técnicas utilizam softwares específicos (e.g. Oasis Montaj, Qgis, ArcMap, Global Mapper, dentre outros), permitindo diversas abordagens através dos dados dispostos em planos de informação individuais. Logo, é possível observar com precisão padrões na área estudada e assim delimitar espaços homólogos que possivelmente representam unidades geológicas.

Hoje, a elaboração das cartas geológicas leva em conta os dados digitais e o trabalho de campo. O primeiro momento é realizado no gabinete onde são realizadas as análises e interpretações dos dados digitais, seguido da confecção de um mapa preliminar. O segundo momento é composto pela visita técnica de campo que consiste em percursos terrestres, eventualmente com trechos fluviais, que contemplem pontos chave obtidos através do trabalho em gabinete. Para Lima et al. (2017), o trabalho de campo é indispensável para a validação e confirmação dos dados obtidos em gabinete. Por fim é elaborada a carta geológica final onde são apresentados todos os aspectos pertinentes a geologia de acordo com as possibilidades permitidas pela escala de trabalho.

Contexto geológico

A Província Borborema (PB)

A literatura (BRITO NEVES E SILVA FILHO, 2019; DANTAS et al., 2003; LIMA et al., 2021; SILVA FILHO et al., 2002; SANTOS, 2001; TROMPETTE, 1994; TOTEU et al., 2001; VAN SCHMUS et al., 1995, 2008, 2011) indica que a Província Borborema (Figura 1A) é constituída por faixas de dobramentos, terrenos, superterrenos e/ou domínios associados a orogêneses e granitogêneses do Meso e Neoproterozoico, além da presença de fragmentos do Arqueano/Paleoproterozoico, bacias sedimentares tafrogênicas mesozoicas e por coberturas superficiais Holocênicas.

A evolução tectônica dessa província foi associada a convergência e colisão entre os crátons da Amazônia, Oeste da África, Congo-São Francisco, há cerca de 600 Ma (BRITO NEVES et al., 2002; SANTOS et al., 2010; TOTEU et al., 2001). O resultado da colisão foi a acreção de diferentes segmentos crustais (ALMEIDA et al., 2022; LIMA et al., 2021; SILVA FILHO et al., 2002; VAN SCHMUS et al., 1995, 2008, 2011). Brito Neves (1975) apresentou uma subdivisão da PB em subprovíncias denominadas: (i) Norte, (ii) Central e (iii) Sul.

A Subprovíncia Norte contempla os domínios Médio Coreáú, Rio Grande do Norte e Cearense, ambos descritos por Santos (2001). A Subprovíncia Central (ou Transversal) inclui o Domínio da Zona Transversal (SANTOS, 2001 e referências contidas nele). Por fim, o Domínio Externo (Faixa de Dobramentos Sergipana + Domínio ou Superterreno Pernambuco-Alagoas – PEAL; Figura 1B) está inserido na Subprovíncia Sul (SANTOS, 2001; SILVA FILHO et al., 2002).

O Domínio Pernambuco-Alagoas (PEAL)

Os dados obtidos na literatura (BRITO NEVES e SILVA FILHO, 2019; SANTOS, 2001; SILVA FILHO et al., 2002; VAN SCHMUS et al., 2008) indicam que o PEAL está inserido na Subprovíncia Sul (Figura 1B) e de acordo com Silva Filho et al. (2002) e Van Schumus et al. (2008) é um dos segmentos crustais mais importantes da PB. O PEAL limita-se ao norte com a Subprovíncia Central pelo Lineamento Pernambuco e ao sul, com a Faixa de Dobramentos Sergipana através de zonas de cisalhamento indiscriminadas (LIMA, 2018; LIMA et al., 2021) e pela Zona de Cisalhamento Palmeira dos Índios (MENDES et al., 2008). Silva Filho et al. (2002) descreveram a forma do PEAL como triangular e indicaram que a área desse domínio apresenta aproximadamente 70.000 km², a qual é dividida em duas partes pelos sedimentos Fanerozoicos da Bacia de Jatobá.

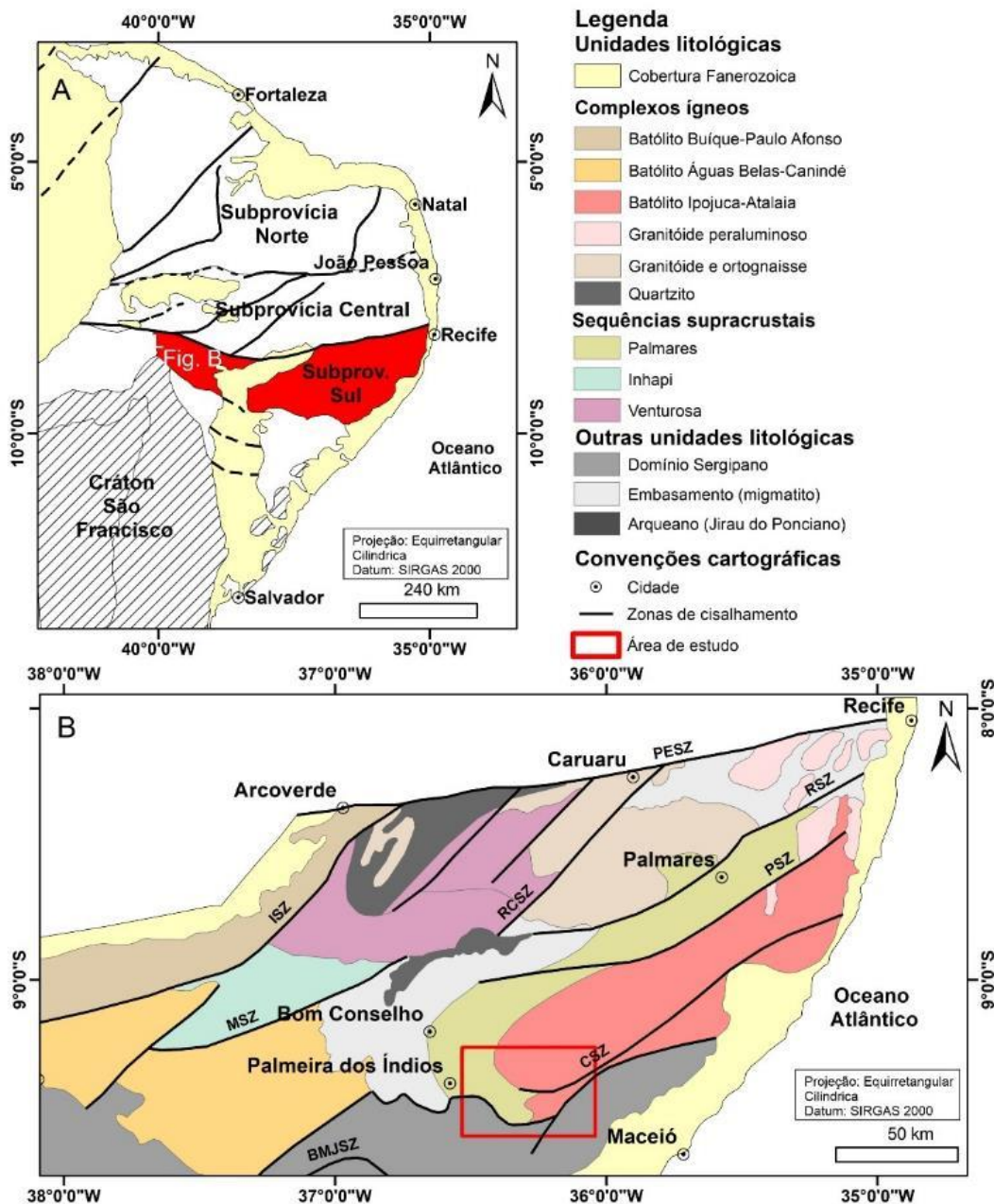
Santos (1995), Medeiros (2000) e Medeiros et al. (2004) subdividiram o PEAL em dois grandes complexos, o Complexo Belém do São Francisco, constituído por ortognaisses graníticos a granodioríticos migmatizados e o Complexo Cabrobó, uma unidade metavulcanossedimentar, metamorfozada na fácies anfibolito, composta por xistos, gnaisses e quartzitos (LIMA, 2018; SILVA FILHO et al., 2002). De acordo com Lima (2018), Lima et al. (2021) e Osako (2005), os complexos supracitados apresentam tectônica transpressiva e transporte para WNW e exibem migmatitos nas regiões de intensa deformação. Silva Filho et al. (2002; 2016), Osako (2005) e Lima et al. (2021) também afirmam que os Complexos Belém do São Francisco e Cabrobó são limitados à Sul pelo Complexo Arapiraca (Migmatitos, gnaisses e granitoides indiscriminados) pertencente a Faixa de Dobramentos Sergipana. Silva Filho et al. (2016), indicam que no PEAL ocorreram várias intrusões plutônicas neoproterozoicas, as quais podem ser agrupadas em pré, sin e pós colisional. Silva Filho et al. (2002), classificaram as intrusões graníticas do PEAL em cinco batólitos: Buíque-Paulo Afonso, Águas Belas-Canindé, Maribondo-Correntes, Ipojuca-Atalaia e Jaboatão-Garanhuns.

O Batólito Ipojuca-Atalaia

Lima et al. (2021), Lima e Almeida (2022) e Silva Filho et al. (2002) apontam que o Batólito Ipojuca-Atalaia (Figura 1B) manifesta uma forma alongada, segundo eixo NNE-SSW, entre as cidades de Ipojuca (PE) e Atalaia (AL). Este batólito constitui-se, predominantemente, por plútons cálcio-alcalinos, que intrudem ortognaisses e metatexitos Proterozoicos. Estes plútons apresentam litologia variada destacando-se: granitos com álcali-feldspatos, sienogranitos, monzogranitos, quartzo sienitos e granodioritos (BRITO NEVES E SILVA FILHO, 2019; LIMA et al. 2021; LIMA E ALMEIDA, 2021; LIMA E ALMEIDA 2022; SILVA FILHO et al., 2002). Os principais plútons presentes no Batólito Ipojuca-Atalaia são: Cajueiro, Viçosa, Santana do Mundaú, Poço Feio, Manguape, Flexeira, União dos Palmares, Correntes, Murici, Chã Preta, Paulo Jacinto e Pindoba.

Lima et al. (2021), Mendes et al. (2008), Ferreira et al. (2016), Silva Filho et al. (2002, 2016) sugerem que os plútons do Batólito Ipojuca-Atalaia registraram os vários estágios da colisão ocorrida durante a Orogenia Brasileira. Esse intenso magmatismo granítico também foi descrito em outros domínios da Província Borborema (GUIMARÃES et al., 2004; VAN SCHMUS et al., 2011; SILVA FILHO et al., 2016; CAXITO et al., 2020).

Figura 1: Localização da área estudada. (A) Mapa simplificado da Província Borborema (VAN SCHUMUS et al., 2008); (B) Mapa do Domínio Pernambuco-Alagoas (PEAL) (SILVA FILHO et al., 2016), com identificação da área de estudos em vermelho. Zonas de cisalhamento (ZC): ZCBMJ - Belo Monte Jeremoabo, ZCC - Cajueiro, ZCI - Itaíba, ZCM - Maravilha, ZCP - Palmares; ZCPA - Patos, ZCPE - Pernambuco, ZCR - Ribeirão, ZCRC - Rio da Chata



Fonte: Adaptado de Lima et al. (2021) e Lima e Almeida (2022).

Material e método

O desenvolvimento desse artigo está atrelado a análise e interpretação dos dados aerogeofísicos oriundos do Projeto Aerogeofísico Paulo Afonso–Teotônio Vilela (CPRM - Serviço Geológico do Brasil), da literatura e do trabalho de campo para a validação das informações. Os dados magnéticos e gamaespectrométricos foram adquiridos com altura de

voo de 100 m, espaçamento das linhas de voo (N-S) de 500 m e linhas de controle (E-W) de 10.000 m. Os Grids dos canais de K, eTh, eU e do campo magnético anômalo foram previamente cedidos pela CPRM, com células de 125 m. O sensor utilizado para a aquisição dos dados aeromagnetométricos foi o Scintrex CS-2, já os dados aerogamaespectrométricos foram obtidos através do equipamento EXPLORANIUM, modelo GR-820 (CPRM, 2011). De acordo com a CPRM (2011), para a verificação dos dados aerogeofísicos, foram aplicados os testes de Consistência P (BLUM, 1999) e o da derivada à quarta, que permitiram concluir que não existem dados espúrios.

A aeromagnetometria mede a suscetibilidade magnética da rocha, ou seja, a influência causada pelo campo magnético terrestre, ao longo do tempo geológico, em rochas que contenham minerais magnéticos (LIMA et al., 2021). Os dados magnéticos foram corrigidos quanto à variação diurna do campo geomagnético, e foram reduzidos do International Geomagnetic Reference Field (IGRF; MILLIGAN E GUNN, 1997), obtendo-se a imagem do campo magnético anômalo (CMA), em seguida foram aplicados os filtros da amplitude do sinal analítico (ASA) e da primeira derivada vertical (DZ).

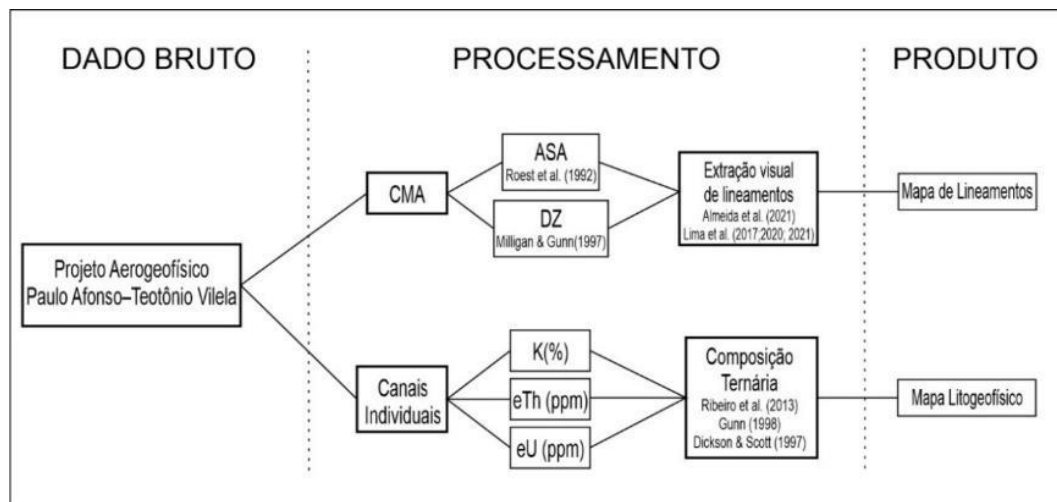
O filtro ASA foi elaborado e descrito por Roest et al. (1992) e de acordo com Carrino et al. (2007), Araújo Neto et al. (2018), Lima et al. (2021) e Almeida et al. (2021, 2022) tal filtragem realça as bordas dos alvos magnéticos regionais, indicando a localização dos principais domínios magnéticos. O filtro DZ foi descrito por Milligan e Gunn, 1997 e tem como principal objetivo o realce das estruturas lineares (zonas de cisalhamento, falhas, lineamentos) e unidades geológicas da região estudada.

Os lineamentos geológicos foram extraídos levando em consideração a metodologia proposta por Chiang (1984) e posteriormente modificada por Almeida et al. (2021) e Lima et al. (2017; 2020; 2021). Assim, os lineamentos foram extraídos de forma visual e divididos em duas classes: (1) lineamentos principais, também denominados de primários, que representam as grandes estruturas (zonas de cisalhamento, limites de unidades geológicas e falhas) e (2) os lineamentos secundários que são associados a estruturas menor escala, podendo apresentar um formato curvilíneo.

A análise dos dados aerogamaespectrométricos decorre da interpretação individual das imagens dos três canais radiométricos (K, eTh e eU). Posteriormente os três canais são combinados para a produção da composição ternária RGB (red, green, blue), logrando uma interpretação qualitativa e a delimitação de domínios litogeofísicos da área de estudos (RIBEIRO et al., 2013; GUNN, 1998; DICKSON & SCOTT 1997). O fluxograma abaixo indica os passos para a obtenção dos resultados (Figura 2). Os dados aerogeofísicos foram processados no software Oasis Montage e em seguida transferidos para o ArcGis, ambos cedidos pela Universidade Federal de Pernambuco.

Um trabalho de campo foi realizado para a validação das informações obtidas pela interpretação dos dados aerogeofísicos, bem como para a coleta de amostras representativas deste corpo ígneo. Os mapas encontrados neste artigo foram confeccionados no Datum WGS 84 por conta dos dados aerogeofísicos e posteriormente reamostrados para SIRGAS 2000. O mapa geológico final levou em consideração os dados da literatura (SILVA FILHO et al., 2002; MENDES et al., 2008, 2017; LIMA & ALMEIDA, 2021; LIMA et al., 2021), os dados coletados em campo e as análises aerogeofísicas oriundas deste trabalho.

Figura 2: Fluxograma das etapas de trabalho e metodologia empregada para a obtenção dos resultados



Fonte: Os autores, 2024.

Resultados e discussões

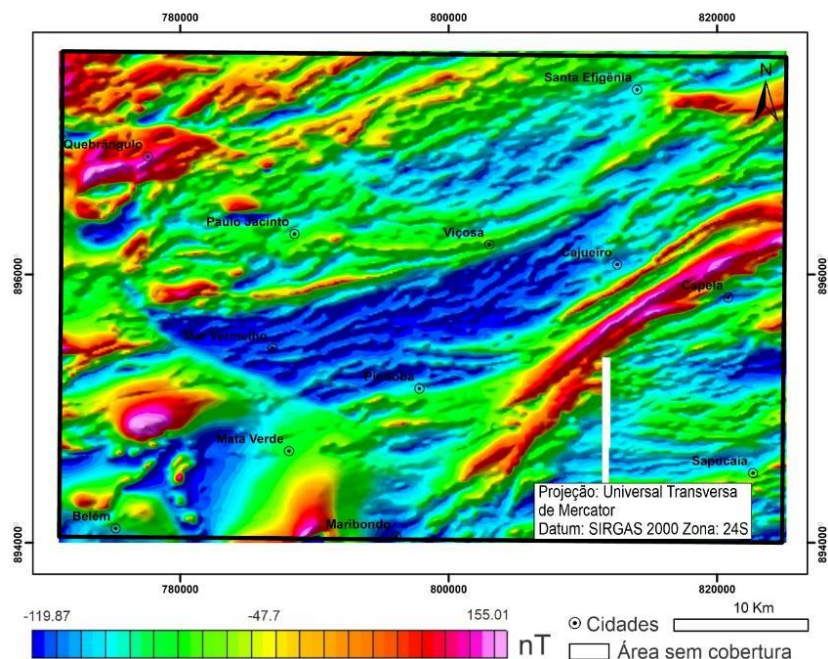
Aeromagnetometria

A partir do grid do campo magnético anômalo (CMA) (Figura 3) e seus produtos derivados (amplitude do sinal analítico e primeira derivada vertical) foi realizada uma análise qualitativa, com a separação de domínios magnéticos, lineamentos, elaboração de diagramas de roseta e correlação das estruturas magnéticas com as informações estruturais contidas na literatura sobre a porção sudoeste do Batólito Ipojuca-Atalaia.

Os lineamentos magnéticos foram divididos em lineamentos principais e secundários conforme explicitado na metodologia. O comprimento dos lineamentos varia de 0,5 a 37 km, conforme observado e interpretados nas imagens da amplitude do sinal analítico e da primeira derivada vertical (Figura 4).

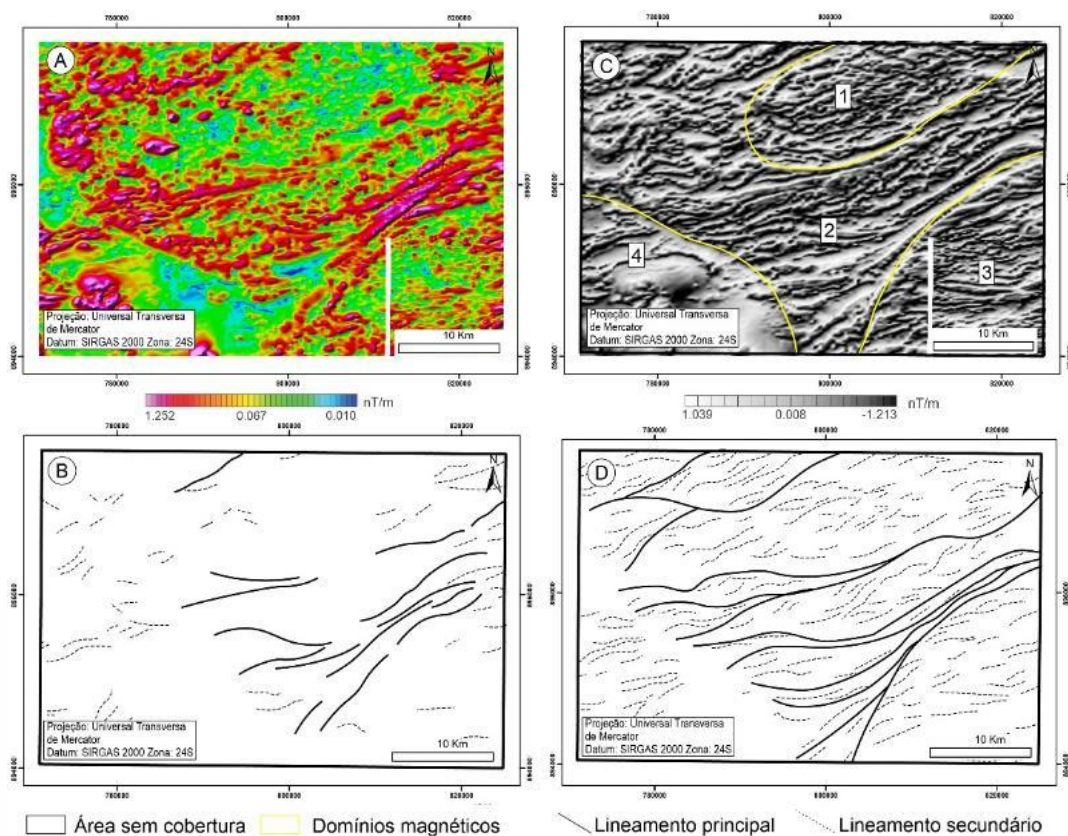
O padrão estrutural principal da área de estudo, revelado pelos diagramas de roseta e pelas imagens magnéticas (Figuras 4 e 5), é marcado por uma predominância de lineamentos magnéticos ENE-WSW (Figura 5). Almeida et al. (2022) encontrou o mesmo padrão de lineamentos magnéticos para a Faixa de Dobramentos Sergipana, bem como Lima et al. (2021) indicou a mesma direção para as estruturas lineares da porção Oeste do Batólito Ipojuca-Atalaia. De forma subordinada aos lineamentos principais são encontrados lineamentos E-W e NE-SW, que corroboram com os dados de Silva Filho et al. (2000; 2002; 2013; 2014), Brito Neves e Silva Filho (2019).

Figura 3: Campo magnético anômalo (CMA) e as principais cidades da área de estudos



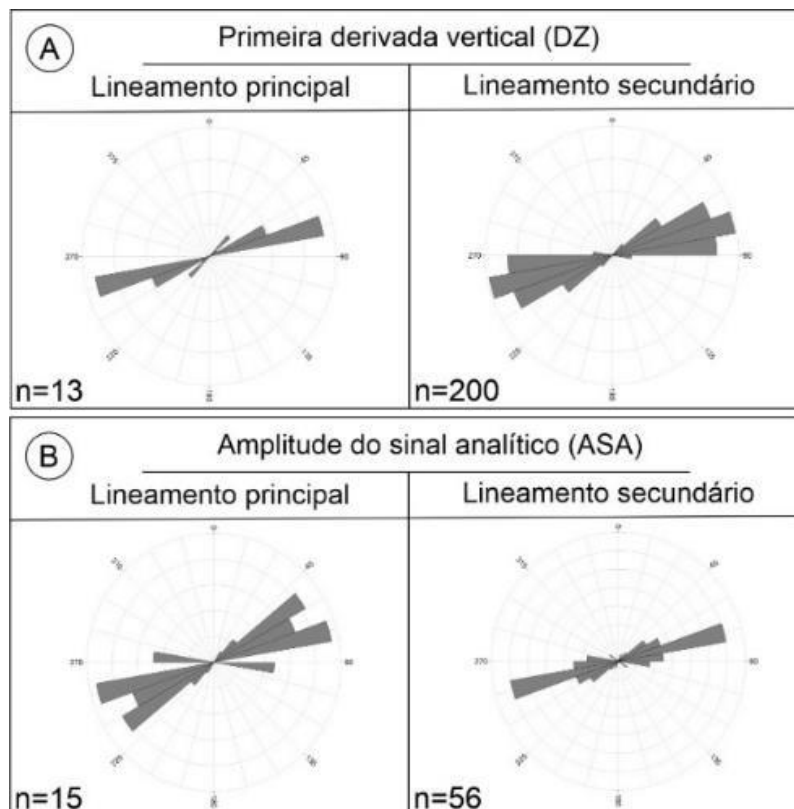
Fonte: Os autores, 2024.

Figura 4: Imagens Magnéticas e lineamentos magnéticos primários e secundários obtidos para a região sudoeste do Batólito Ipojuca-Atalaia. (A) Amplitude do sinal analítico (ASA). (B) Lineamentos interpretados a partir da imagem ASA. (C) Primeira derivada vertical (DZ) e domínios magnéticos. (D) Interpretação dos lineamentos da primeira derivada vertical



Fonte: Os autores, 2024.

Figura 5: Imagens Diagramas de roseta. (A) Diagrama de roseta da primeira derivada vertical (DZ). (B) Diagrama de roseta da amplitude do sinal analítico (ASA)



Fonte: Os autores, 2024.

Com base na imagem do CMA dois tipos principais de anomalias magnéticas foram caracterizados na área, uma anomalia forte (~ 155.01 até -47.7 nT) e outra fraca com valores entre ~ -47.8 nT até -119.87 nT e a partir da integração destes dados com o padrão estrutural dos lineamentos e do relevo magnético foi possível identificar e caracterizar quatro domínios magnéticos distintos (Figura 4 e tabela 1). Esses domínios magnéticos têm forte correlação geológica com os plútons presentes na porção sudoeste do batólito em estudo, conforme os trabalhos de Lima et al. (2021) e Lima e Almeida (2022).

A amplitude do sinal analítico apresenta altas contagens ($\sim 1,252$ até 0.81 nT/m) nas proximidades das zonas de cisalhamento Palmeira dos Índios e Cajueiro (Figura 4). De acordo com Lima et al. (2021), através do método da Deconvolução de Euler e da filtragem da Continuação Ascendente, tais lineamentos se enquadram nas profundidades entre 2,0 e 2,3 km, revelando que essas zonas de cisalhamento transcorrentes são grandes estruturas regionais que delimitam o Batólito Ipojuca-Atalaia dentro do Domínio Pernambuco-Alagoas.

Tabela 1 - Descrição dos domínios magnéticos da porção sudoeste do Batólito Ipojuca-Atalaia

Domínio magnético	Principais características				
	Localização	Campo magnético (nT)	Relevo magnético	Direção dos lineamentos magnéticos	Correlação geológica
1	Centro-norte	-97.55 até -49.57	Rugoso (planalto)	E-W	Plúton Viçosa
2	Região central	-119.87 até 78.81	Rugoso	NE-SW	Plútons Cajueiro, Poço Feio, Pindoba, Quebrângulo e Paulo Jacinto
3	Sudeste	-119.84 até -49.57	Rugoso	ENE-WSW	Complexo Belém do São Francisco
4	Extremo sudoeste	-119.87 até 155.01	Ondulado	Sem padrão aparente	Plúton Mata Verde e Complexo Arapiraca

Fonte: Os autores, 2024.

Aerogamaespectrometria

A interpretação dos dados gamaespectrométricos foi baseada na distribuição dos radioelementos, a fim de definir os contrastes mais expressivos entre os plútons da área estudada. Os canais de K, eTh e eU (Figura 6) foram utilizados para obter informações sobre os radioelementos de forma individual, enquanto a composição ternária (RGB) permitiu a avaliação qualitativa das três variáveis indicando a posição e geometria dos plútons.

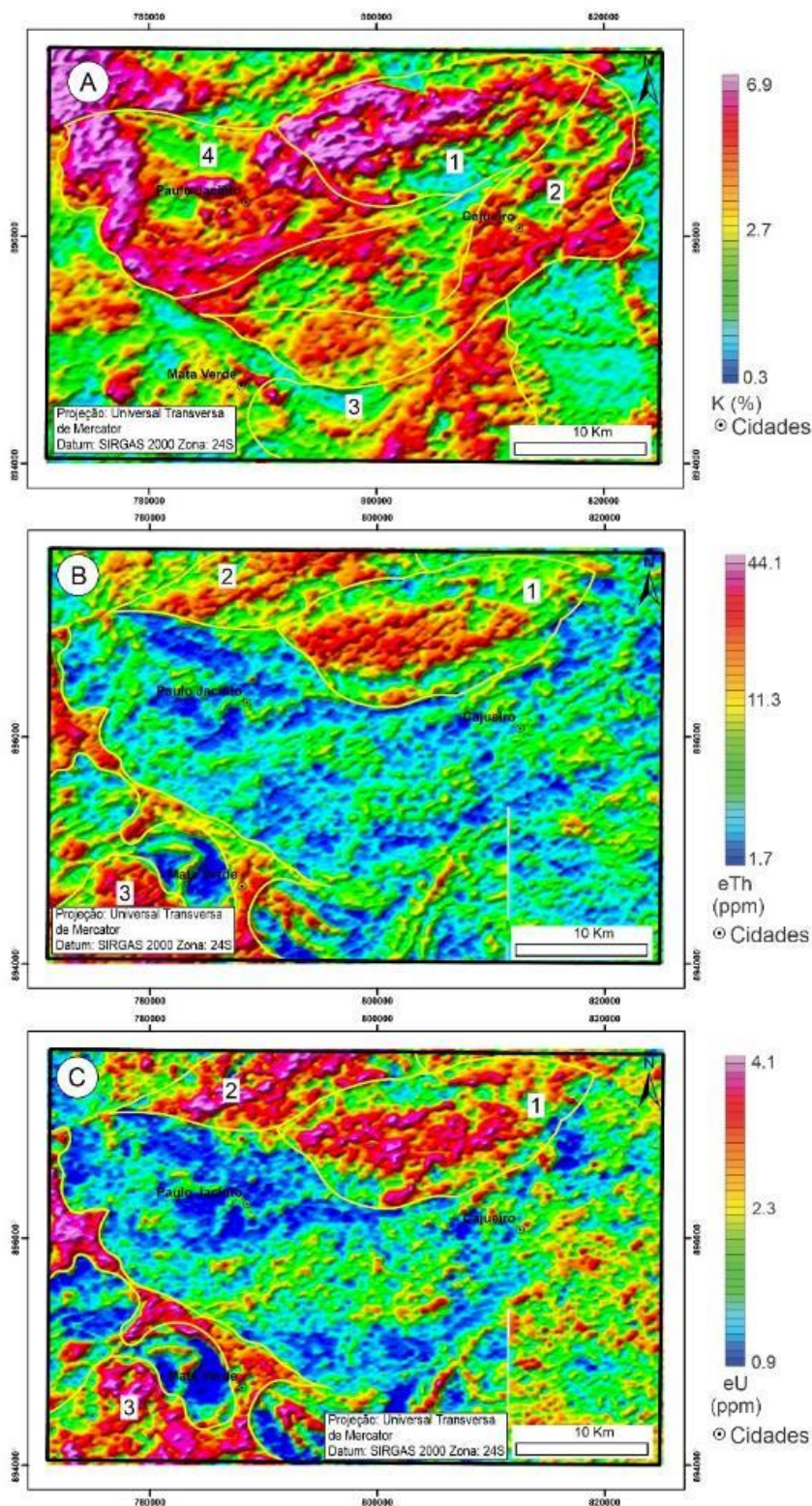
O mapa do radioelemento potássio (K) apresenta uma alta correlação com os corpos graníticos presentes na região, principalmente unidades com alta concentração de K-feldspatos (Figura 6A). As concentrações de K nos 4 domínios apresentados na figura 8A variam de 3.1 até 6.9% e de acordo com Mendes et al. (2017) e Silva Filho et al. (2002, 2013 e 2014) sua formação está associada ao Ciclo Brasileiro-Pan Africano.

O mapa de contagens do radioelemento Th indica altos valores para três domínios distintos (Figura 6B). A primeira região apresenta contagens de moderadas a altas (9.2 e 36.1 ppm). A segunda zona está associada a altas contagens com valores variando de 17.1 até 35.8 ppm e a terceira região é marcada por valores entre 11.3 até 38.8ppm. De acordo com Lima e Almeida (2022) cada zona está associada a um plúton (Figura 6).

O mapa de contagens do radioelemento U também apresentam altos valores para as mesmas regiões do mapa de contagens do eTh (Figura 6C). Os domínios 1 e 2 apresentam valores variando de 3.5 até 4.0 ppm, sendo associados por Lima e Almeida (2022) aos plútons Viçosa e Chã Preta (Figura 6C). Contagens moderadas a altas foram encontradas no domínio 3 com valores entre 2.1 até 3.8 ppm, Lima e Almeida (2022) indicam que esse domínio é composto pelos paragneisses do Complexo Arapiraca.

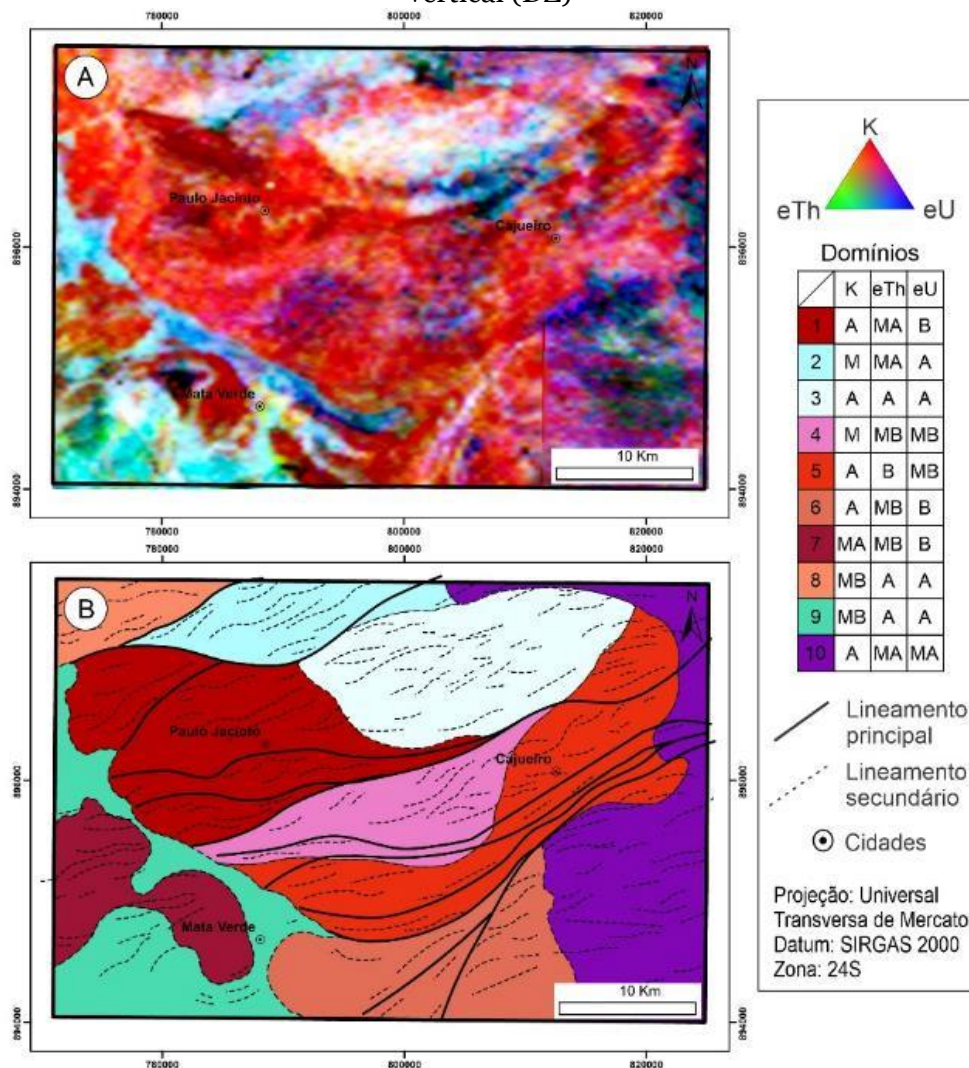
De acordo com Ribeiro et al. (2013) a imagem ternária foi utilizada para fins de delimitação e reconhecimento da geometria das unidades geológicas. A imagem ternária (Figura 7) possibilitou a separação da área em 10 domínios litogeofísicos, que estão associados aos plútons do Ciclo Brasileiro-Pan Africano (SILVA FILHO et al., 2002; BRITO NEVES E SILVA FILHO, 2019; LIMA et al., 2021) e aos paragneisses do Complexo Arapiraca (LIMA E ALMEIDA, 2022). Os domínios foram classificados de acordo com a intensidade (tabela 2) e descritos a partir dos três radioelementos (Figura 7B; tabela 3). Em seguida foi elaborada uma correlação entre os domínios litogeofísicos e os dados encontrados na literatura para identificar as unidades geológicas descritas anteriormente (SILVA FILHO et al., 2002; MENDES et al., 2008 e 2017; BRITO NEVES E SILVA FILHO, 2019; LIMA et al., 2021; LIMA E ALMEIDA, 2022; tabela 3).

Figura 6: Mapas individuais dos radioelementos K, eTh e eU. (A) Mapa de Potássio (K), zonas de altas contagens: 1- Plúton Viçosa; 2 - Plúton Cajueiro; 3 – Plúton Pindoba; 4 - Plúton Paulo Jacinto. (B) Mapa de Tório (eTh), zonas de altas contagens: 1- Plúton Viçosa; 2- Plúton Chã Preta; 3 – Complexo Arapiraca. (C) Mapa de Urânio (eU), zonas de altas contagens: 1- Plúton Viçosa; 2- Plúton Chã Preta; 3 – Complexo Arapiraca



Fonte: Os autores, 2024.

Figura 7: (A) Imagem Ternária em composição RGB (K, eTh e eU); (B) Mapa de domínios litogeofísicos e lineamentos aeromagnéticos interpretados com base na primeira derivada vertical (DZ)



Fonte: Os autores, 2024.

Tabela 2 - Intensidade dos Radioelementos (K; eTh; eU) utilizadas para a elaboração do mapa litogeofísico

Canais Intensidade	K(%)	eTh(ppm)	eU(ppm)
Baixa	<0,3	<1,7	<0,9
Moderadamente baixa	0,3-1,3	1,7-4,9	0,9-1,4
Média	1,3-2,7	4,9-11,3	1,4-2,2
Moderadamente alta	2,7-4,3	11,3-23,3	2,2-3,2
Alta	4,3-6,3	23,3-44,1	3,2-4,1

Fonte: Adaptado de Lima e Almeida, 2022.

Tabela 3 - Descrição dos domínios litogeofísicos e sua correlação com os plútons e demais litotipos analisados

Domínios	Descrição	Correlação geológica com os dados da literatura
1	Domínio localizado na porção nordeste da área, apresentando altos valores de K, contagens moderadamente altas de eTh e baixos valores de eU.	Plúton Paulo Jacinto (MENDES et al., 2008; LIMA e ALMEIDA, 2022)
2	Plúton de formato alongado, com contagens moderadamente altas de eTh, valores moderados de K e altas contagens de eU	Plúton Chã Preta (FERREIRA et al., 2016; LIMA et al., 2021)
3	O domínio apresenta altos valores dos três radioelementos.	Plúton Viçosa (SILVA FILHO et al., 2002; LIMA et al., 2021)
4	Esse plúton contém valores moderados de K e contagens moderadamente baixas de eTh e eU.	Plúton Poço Feio (LIMA et al., 2021)
5	Domínio alongado e caracterizado por altas contagens de K, valores moderadamente baixos de eU e baixas contagens de eTh	Plúton Cajueiro (CELESTINO e SILVA FILHO, 2015; LIMA et al., 2021)
6	Domínio localizado na região centro-sul. Possui altos valores de K, contagens moderadamente baixas de eTh e baixas contagens de eU.	Plúton Pindoba (CELESTINO e SILVA FILHO, 2015)
7	Esse corpo ígneo está localizado na porção sudoeste da área estudada e é caracterizado por contagens moderadamente altas de K, valores moderadamente baixos de eTh e baixas contagens de eU.	Plúton Mata Verde (LIMA e ALMEIDA, 2022)
8	O domínio é indicado por contagens moderadamente altas de eTh e eU, além de valores moderadamente baixos de K.	Plúton Quebrângulo (LIMA e ALMEIDA, 2022)
9	Essa unidade geológica apresenta contagens moderadamente baixas de K e altos valores de eTh e eU.	Complexo Arapiraca (MENDES et al., 2008)
10	O domínio está localizado na porção leste da área de estudos e baixos valores de K e contagens moderadamente baixas de eTh e eU.	Complexo Belém do São Francisco (MENDES et al., 2008)

Fonte: Os autores, 2024.

A análise da imagem ternária e a individualização litológica indicaram ganhos significativos em relação aos mapeamentos geológicos regionais anteriores (MENDES et al., 2008 e 2017; SILVA FILHO et al., 2002), além de uma associação mais precisa com as estruturas (lineamentos e zonas de cisalhamento) presentes na porção sudoeste do Batólito Ipojuca-Atalaia. Ainda com base na imagem ternária foi possível identificar que diversos domínios (Figura 7, domínios de 2 a 5; tabela 3) são caracterizados por corpos alongados, com direção ENE-WSW. Lima et al. (2021), Brito Neves e Silva Filho (2019) destacam em seus trabalhos que as zonas de cisalhamento controlaram o processo de emplacement de parte dos plútons estudados.

O trabalho de campo e as correlações com a literatura

Nesta seção foram descritas as principais características geológicas encontradas na literatura e no trabalho de campo realizado na área estudada (Figura 8). As unidades geológicas que compõem a área foram estudadas na última década em campanhas de mapeamento regional (SILVA FILHO et al., 2002, 2014; MENDES et al., 2008; FERREIRA et al., 2016; BRITO NEVES E SILVA FILHO, 2019). As pesquisas de semidetalhe ainda são escassas e foram realizadas utilizando métodos geofísicos (LIMA et al., 2021; LIMA e ALMEIDA, 2022) e de reflectância (LIMA e ALMEIDA, 2021; 2022).

O Plúton Paulo Jacinto se encontra no centro-oeste da área estudada e faz limite com o Complexo Arapiraca e com os corpos ígneos Viçosa, Poço Feio, Quebrangulo e Chã Preta. De acordo com Mendes et al. (2008), Lima e Almeida (2022) este plúton foi intensamente deformado pelas zonas de cisalhamentos descritas por Lima et al. (2021), chegando ao formato irregular. Em campo, os afloramentos são do tipo pedreiras, lajedos ou blocos rolados e geralmente intemperizados. Como minerais principais foram descritos macroscopicamente o quartzo, K-feldspato, plagioclásio e Biotita. Tal composição mineralógica corrobora com o trabalho de Mendes et al. (2008) que indica que essa rocha é um quartzo-álcali-feldspato sienito.

O Plúton Chã Preta tem como destaque o seu formato alongado com direção ENE-WSW. A sua mineralogia principal é composta por quartzo, K-feldspato, biotita e plagioclásio. Ferreira et al. (2016) apresentou um estudo microscópico e concluiu que o plúton em estudo apresenta como minerais acessórios a hornblenda, a titanita, o zircão e o epidoto primário. Em campo foram descritas duas fácies: biotita sienogranitos (Figura 8A) e monzogranito equigranular, também identificadas por Ferreira et al. (2016).

Silva Filho et al. (2014), definiram o Plúton Viçosa como uma intrusão alongada com eixo NE-SW. Esse corpo ígneo faz limite com o Complexo Belém do São Francisco e com os plútons Cajueiro, Poço Feio, Paulo Jacinto e Chã Preta. Em campo, os afloramentos são do tipo lajedo, pedreiras ou matacões (blocos). A rocha apresenta coloração acinzentada (Figura 8B) e a petrografia macroscópica indicou a presença quartzo, plagioclásio, anfibólio, feldspatos e biotita. Por vezes, foram identificadas feições schillieren em biotitas e xenólitos máficos corroborando com os dados de Lima et al. (2021), Lima e Almeida (2022).

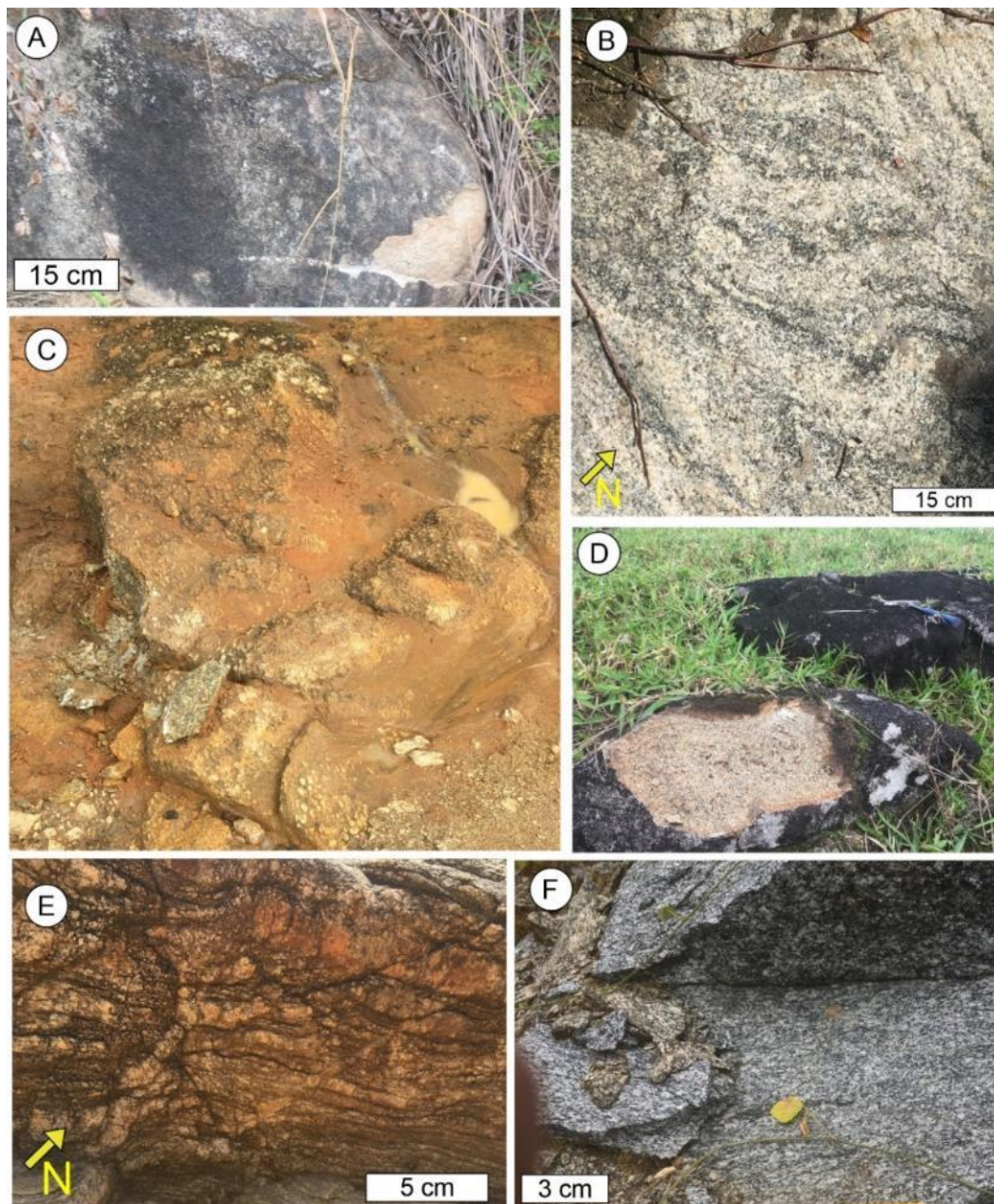
O Plúton Poço Feio foi parcialmente delimitado por Lima et al. (2021) que estudou por métodos geofísicos e de campo a porção leste dessa intrusão. O mesmo estudo constatou que o corpo apresentava deformação, com a delimitação completa vista nesta pesquisa fica evidente o formato lenticular alongado com direção NE-SW. Os afloramentos dessa intrusão são do tipo lajedo e blocos rolados, geralmente intemperizados (Figura 8C). Lima e Almeida (2022) destacaram através da reflectância os minerais: moscovita e goethita associados as zonas intemperizadas e a biotita. Em campo foi registrado minerais máficos (biotita e hornblenda) alinhados com direção NE-SW. A petrografia macroscópica identificou essa intrusão como um monzogranito, corroborando com os dados obtidos Lima et al. (2021).

Mendes et al. (2008) e Lima et al. (2021) apresentam o Plúton Cajueiro como uma intrusão alongada com direção NE-SW. Os afloramentos são geralmente encontrados na forma de blocos rolados, pedreiras e lajedos fortemente intemperizados (Figura 8D) com foliação magmática variando de 2 à 8 graus. A petrografia macroscópica de campo apontou que essa intrusão é um sienogranito, corroborando com a análise microscópica elaborada por Lima et al. (2021) que indica que essa rocha é um biotita-sienogranito.

Celestino e Silva Filho (2015) identificaram o Plúton Pindoba por métodos geológicos tradicionais, posteriormente por dados aerogeofísicos Lima et al. (2021), evidenciaram o formato irregular desse corpo ígneo possivelmente deformado pela Zona de Cisalhamento Palmeira dos Índios. Em campo foram encontrados afloramentos intensamente intemperizados e na foram de lajedos ou matacões. A petrografia microscópica dessa intrusão indicou como composição principal: quartzo; k-feldspato; plagioclásio; muscovita; biotita e

como composição acessória a titanita e o zircão. A mineralogia e as deformações impressas nessa rocha indicam que ela é um ortogneisse de composição granodiorítica.

Figura 8: Mosaico de imagens obtidas durante os trabalhos de campo. (A) Afloramento em boco rolado do Plúton Chã Preta, Rocha com coloração clara indicativa de um sienogranitos intemperizado. (B) Afloramento em forma lajedo do Plúton Viçosa, com minerais máficos alinhados com trend NE-SW. (C) Afloramento em lajedo intemperizado do Plúton Poço Feio. (D) Afloramento em blocos rolados fortemente intemperizados do Plúton Cajueiro, em destaque a coloração rósea do sienogranitos. (E) Paragneisse intemperizado e deformado referente a um dos litotipos do Complexo Arapiraca. (F) Afloramento em blocos (Granodioritos) referente a um dos litotipos do Complexo Belém do São Francisco



Fonte: Os autores, 2024.

O Plúton Mata Verde foi inicialmente descrito por Lima e Almeida (2022). Tais autores observaram o formato irregular do corpo e indicaram que a forma está relacionada a

colisão ocorrida na região no Ciclo Brasileiro. Em campo, esse plúton apresenta poucos afloramentos, pois está recoberto por peças camadas de solo e plantações de cana-de-açúcar. A petrografia macroscópica indicou a presença de xenólitos máficos e identificou a rocha como um biotita-monzogranito.

O Plutón Quebrângulo está localizado no extremo noroeste da área estudada. Através da análise macroscópica da rocha foi possível identificá-la como um monzogranito equigranular com a presença de fenocristais de plagioclásio e biotita. Também foram encontrados nessa intrusão ígnea xenólitos máficos e enclaves biotíticos. Lima e Almeida (2022) estudaram parte desse corpo e identificaram através da curva reflectância espectral as feições de absorção da muscovita na faixa do SWIR (Short Wave Infrared).

Nas atividades de campo o Complexo Arapiraca foi descrito como um paragneisse altamente intemperizado (Figura 8E). A petrografia indicou a presença de quartzo, feldspatos, muscovita e biotita. Mendes et al. (2008), também indica a presença de minerais acessórios como a titanita.

O Complexo Belém do São Francisco ocupa a porção leste da área de estudos e é formado por uma conjunção de plútons. Na região foram identificadas intrusões monzograníticas (Figura 8F), granodioríticas e sienograníticas equigranulares e com presença de xenólitos máficos corroborando com os dados de Mendes et al. (2008), Lima et al. (2021), Brito Neves e Silva Filho (2019).

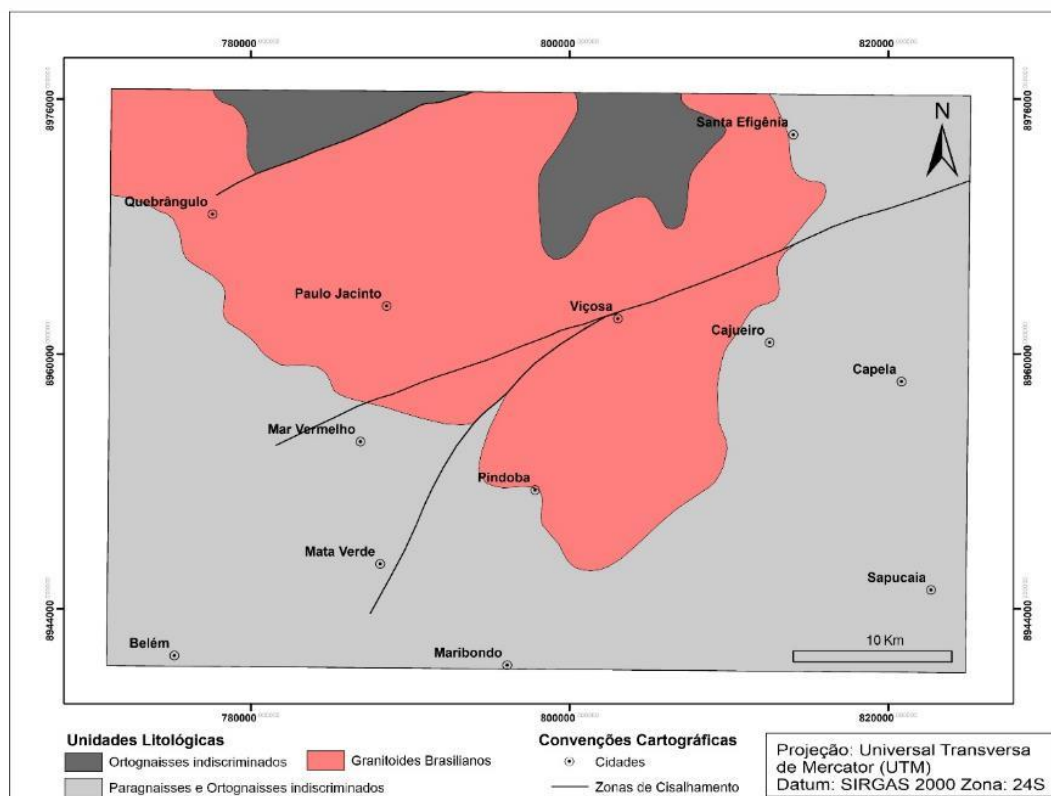
Evolução da cartografia geológica da porção sudoeste do Batólito Ipojuca-Atalaia

Durante o período entre as décadas de 70 e 90 grande parte das pesquisas na Província Borborema eram abordadas de maneira isolada. Brito Neves (1975) esboçou a compartimentação tectônica dessa província e suas principais características litológicas dividindo as rochas em 3 grandes grupos (Figura 9). O primeiro grupo foi denominado de ortogneisses indiscriminados com idade variando entre ~2.2 e 2.0 Ga. O segundo grupo denominado paragneisses e ortogneisses indiscriminados apresentando idade superior a 0.7 Ga e o terceiro grupo representa os granitoides alocados por toda Província Borborema durante o Brasileiro, com idades entre 0.59 e 0.63 Ga. Além das unidades descritas Brito Neves (1975) identificou duas zonas de cisalhamento na porção sudoeste do Batólito Ipojuca-Atalaia.

A partir dos anos 2000, através da geotecnologia, as pesquisas e mapas anteriores foram integrados. Silva Filho et al. (2002) através da análise dos dados contidos na literatura, juntamente com novos dados geoquímicos e de campo alcançou uma melhor subdivisão para a área (Figura 10). Silva Filho et al. (2002) esboçou a geometria e o que seria o limite do Batólito Ipojuca-Atalaia, além de identificar 3 grandes zonas de cisalhamento (Figura 10). A pesquisa elaborada por Silva Filho et al. (2002) indicou que as zonas de cisalhamento fariam parte do limite entre o PEAL e a Faixa de Dobramentos Sergipana.

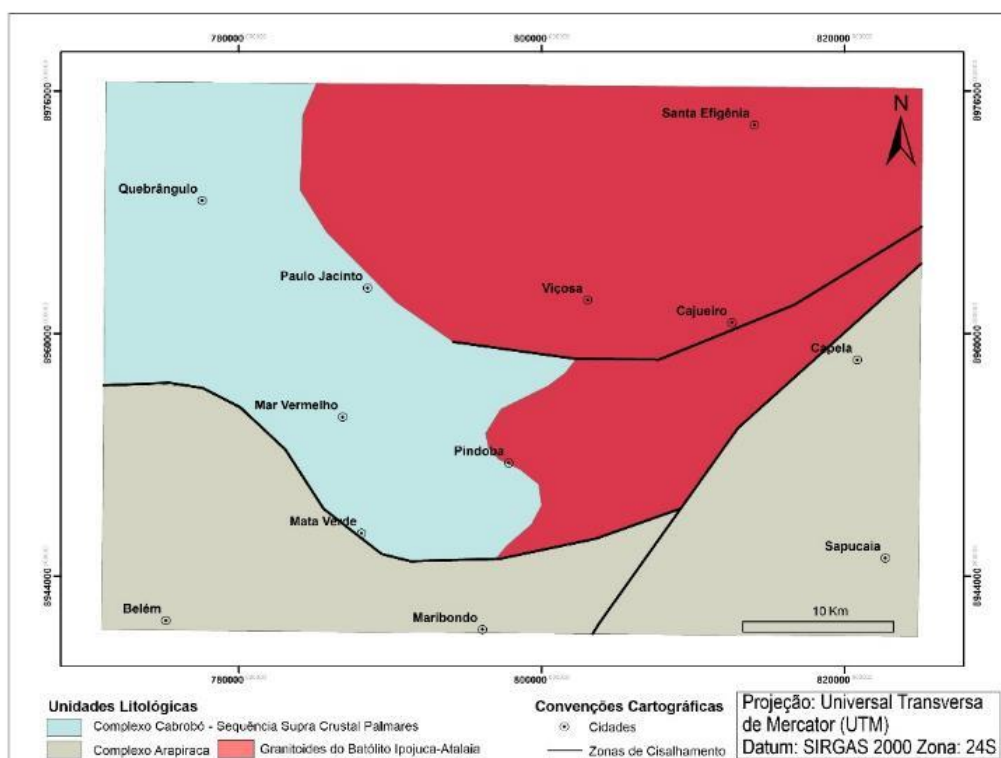
Mendes et al. (2008), a partir do método de mapeamento tradicional, identificaram uma gama de unidades litológicas, intrusões e estruturas lineares na área de estudo (Figura 11). Os mesmos autores, com o auxílio da literatura existente, organizaram cronologicamente e de maneira satisfatória as principais intrusões e unidades através dos sistemas de datações isotópicas. O mapa gerado pelo levantamento de Mendes et al. (2008), ainda hoje, é um dos mais utilizados como base para o mapeamento de detalhe na região sul da Província Borborema.

Figura 9: Mapa da área de estudos extraído dos trabalhos de Brito Neves e colaboradores



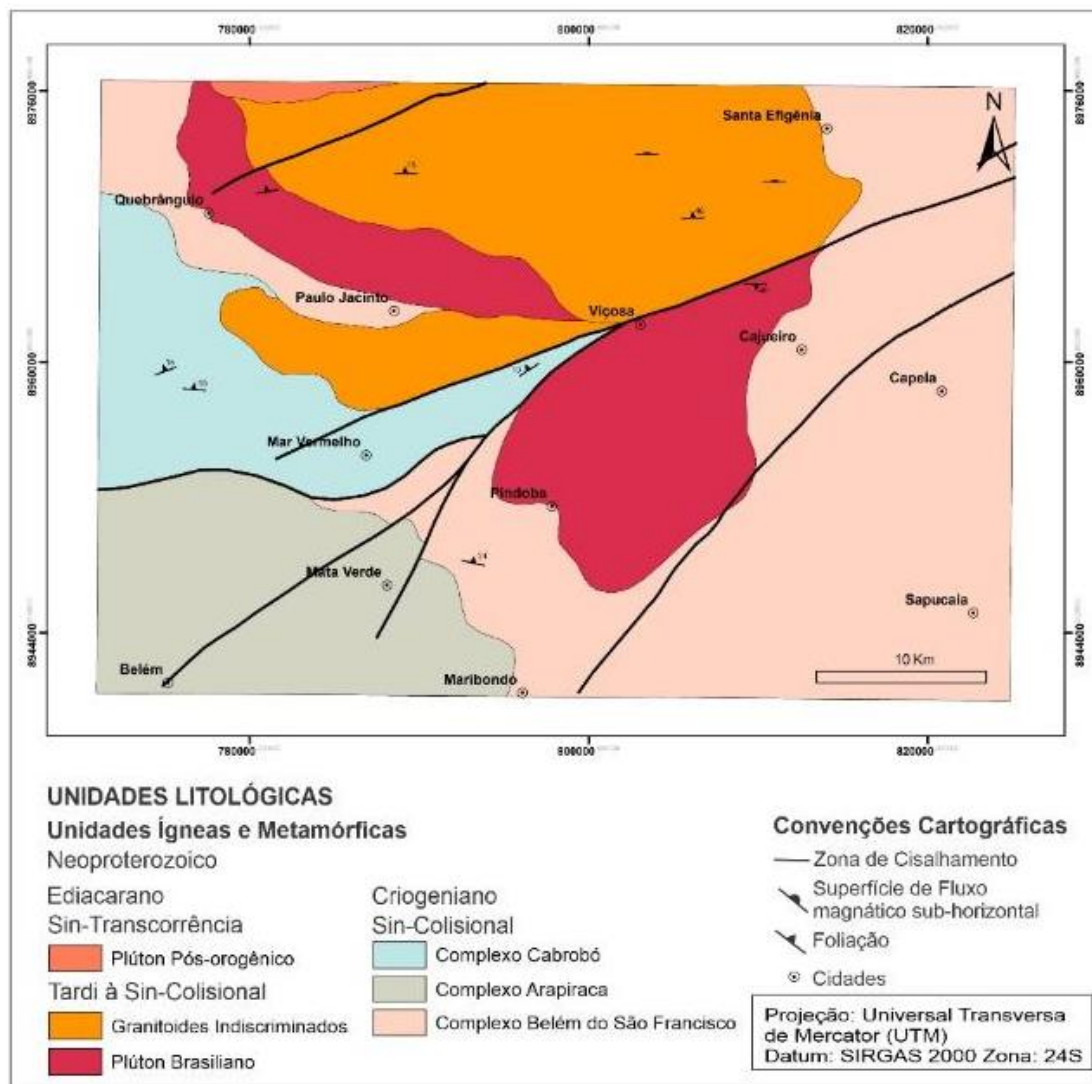
Fonte: Brito Neves (1975) e Brito Neves et al (2000).

Figura 10: Mapa da área de estudos extraído dos trabalhos de Silva Filho e colaboradores



Fonte: Silva Filho et al (2002).

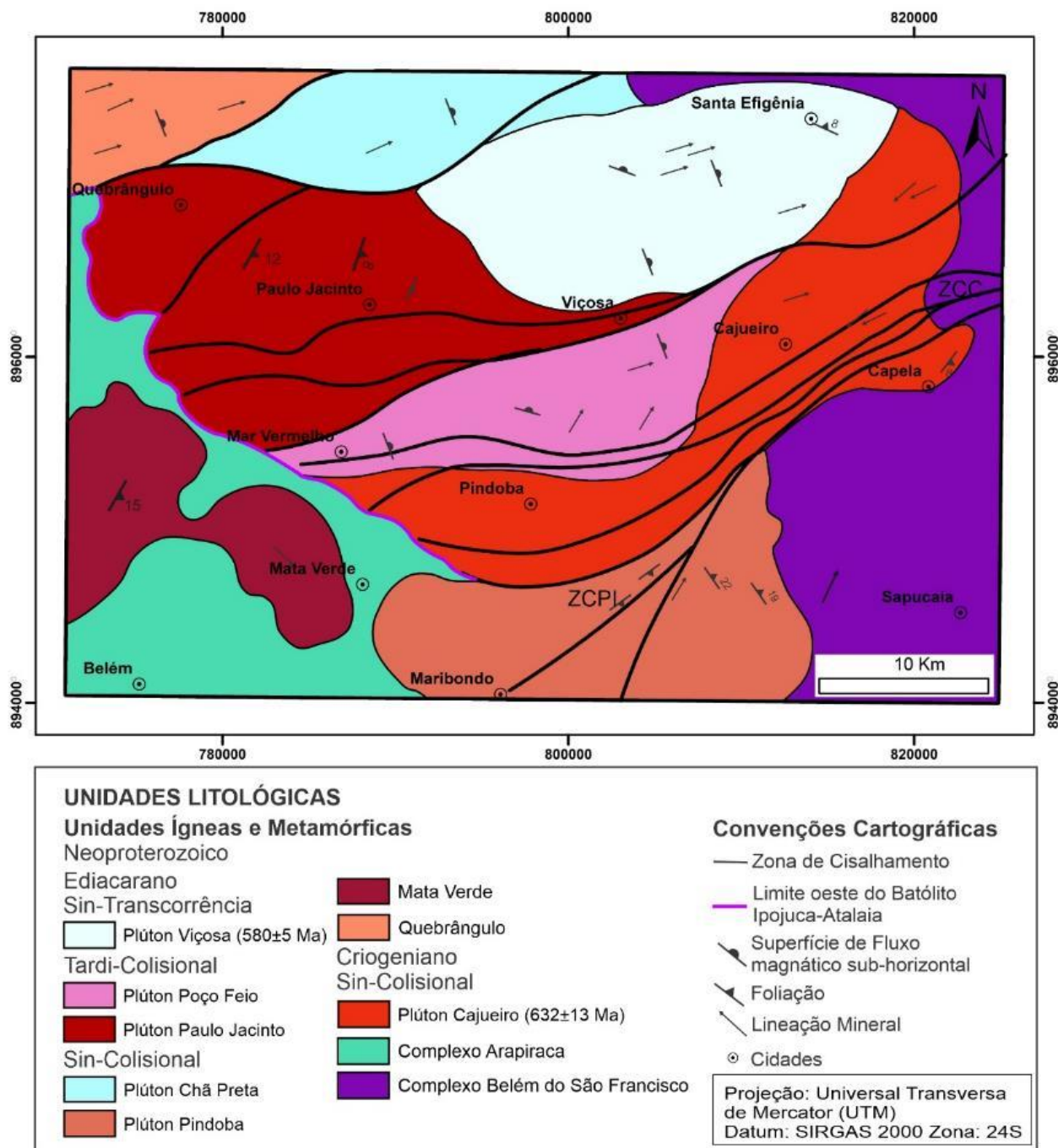
Figura 11: Mapa simplificado da área de estudos extraído dos trabalhos de Mendes e colaboradores



Fonte: Mendes et al (2008; 2017).

O mapa apresentado neste trabalho (Figura 12) válida os dados apresentados na literatura anterior (BRITO NEVES, 1975; BRITO NEVES et al., 2000; SILVA FILHO et al., 2002; MENDES et al., 2008; 2017) e destaca o uso da gamaespectrometria como importante ferramenta para a delimitação de unidades litológicas e intrusões. Com base nos dados colhidos através da aerogeofísica e das atividades de campo foi possível identificar um total de 8 intrusões sin a tardi-colisionais, bem como os complexos Belém do São Francisco e Arapiraca. A magnetometria auxiliou a extração das 12 zonas de cisalhamento presentes na área de estudo. Logo, o mapa geológico da porção sudoeste do Batólito Ipojuca-Atalaia apresentou significativos ganhos, evidenciando novas unidades, não mostradas em mapeamentos anteriores.

Figura 12: Mapa geológico da área de estudos



Fonte: Os autores, 2024.

Considerações finais

A cartografia geológica moderna é pautada no uso integrado de ferramentas e dados em ambiente SIG. Neste artigo foram empregados dados aeromagnetométricos (CMA, ASA e DZ) juntamente com os dados aerogamaespectrométricos (Contagem individual dos radioelementos K, eTh e eU; Mapa ternário), além de dados de campo para indicar as assinaturas contrastantes das principais unidades da porção sudoeste do Batólito Ipojuca-

Atalaia. O estudo possibilitou o reconhecimento de 12 zonas de cisalhamento, 8 intrusões sin a tardi-colisionais, bem como os complexos Belém do São Francisco e Arapiraca indicando o melhoramento da base cartográfica da porção sudoeste do Batólito Ipojuca-Atalaia.

As zonas de cisalhamento destacadas na literatura e delimitadas através da aeromagnetometria no mapa geológico obtido neste artigo são evidências da deformação ocorrida durante o Clito Brasileiro, corroborando com os modelos para o Gondwana Ocidental para a região. A partir da análise da imagem ternária a individualização litológica apresentou significativos ganhos, evidenciando novas unidades, não mostradas em mapeamentos geológicos regionais anteriores.

Por fim, é importante salientar que o trabalho de geologia cartográfica sempre estará em constante evolução a partir de novas ferramentas, técnicas e fontes de dados.

Referências

- ALMEIDA, G. M.; FUCK, R. A.; DANTAS, E. L.; LIMA, S.S. Oblique collision and accretionary processes in the South Borborema Province: Insights from structural geology and geophysical data. **Tectonophysics**, vol. 844 (229607). 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2022.229607>
- ALMEIDA, G. M.; FUCK, R. A.; LIMA, D. P. D.; DANTAS, E. L. Accretion tectonics in western Gondwana highlighted by the aeromagnetic signature of the Sergipano belt, NE Brazil. **Tectonophysics**. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2021.228742>
- ARAÚJO, C.E.G.; CORDANI, U.G.; WEINBERG, R.F.; BASEI, M.A.; ARMSTRONG, R.; SATO, K. Tracing Neoproterozoic subduction in the Borborema Province (NE-Brazil): Clues from U-Pb geochronology and Sr-Nd-Hf-O isotopes on granitoids and migmatites. **Lithos**, vol. 202. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2014.05.015>
- ARAÚJO, N.J.; SANTOS, G.; SOUZA, I.M.B.A.; BARRETO, S.B.; SANTOS, L.C.M.L.; BEZERRA, J.P.S.; CARRINO, T.A. Integration of remote sensing, airborne geophysics and structural analysis to geological mapping: a case study of the Vieiropolis region, Borborema Province, NE Brazil. **Geol USP Série Científica**, vol. 18, n.3, p. 89-103. 2018.
- BLUM, M. L. B. **Processamento e interpretação de dados de geofísica aérea no Brasil central e sua aplicação à geologia regional e à prospecção mineral**. Instituto de Geociências. Unb, Brasília. Tese de doutorado, 1999.
- BRITO NEVES, B. B. **Regionalização geotectônica do PréCambriano nordestino**. 198 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 1975.
- BRITO NEVES, B.B.; SANTOS, E.J.; VAN SCHMUS, W.R. Tectonic history of the Borborema Province. In: CORDANI, U.G.; MILANI, E.J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D.A. (Eds.) **Tectonic evolution of South America**. Proceedings of the International Geological Congress. p. 151-182, 2000.
- BRITO NEVES, B. B.; SCHMUS, W. R. V.; FETTER, A. North-western Africa-North-eastern Brazil. Major tectonic links and correlation problems. **Journal of African Earth Sciences**, vol. 34, p. 275-278. 2002.
- BRITO NEVES, B.; SILVA FILHO, A. Superterreno Pernambuco-Alagoas (PEAL) na Província Borborema: ensaio de regionalização tectônica. **Geologia USP. Série Científica**, vol. 19. 2019.

CARRINO, T. A.; SOUZA FILHO, C. R.; LEITE, E. P. Avaliação do uso de dados aerogeofísicos para mapeamento geológico e prospecção mineral em terrenos intemperizados: o exemplo de Serra Leste, província mineral de Carajás. **Rev. Bras. Geof.**, vol. 25, n. 3, p. 307-320. 2007.

CAXITO, F.A.; HAGEMANN, T.G.; DIAS, V.; BARROTE, E.L.; DANTAS, A.C.; OLIVEIRA, M.S.; CAMPELLO, F.C. A magmatic barcode for the São Francisco Craton: Contextual in-situ SHRIMP U Pb baddeleyite and zircon dating of the Lavras, Pará de Minas and Formiga dyke swarms and implications for Columbia and Rodinia reconstructions. **Lithos**, 374–375:1-18. 2020.

CELESTINO, M. A. L.; SILVA FILHO, A. F. Petrografia dos plutões Pindoba e Cajueiro, Batólito Ipojuca-Atalaia, Domínio Pernambuco-Alagoas. In: **Anais do XXIII Congresso de Iniciação Científica**. UFPE, 2015.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Projeto Aerogeofísico Paulo Afonso - Teotônio Vilela: relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos**. Rio de Janeiro: Microsurvey Aerogeofísica e Consultoria Científica, 2011.

DANTAS, E. L.; SILVA, A. D.; ALMEIDA, T.; MORAES, E. Old geophysical data applied to modern geological mapping problems: a study case in Seridó Belt, NE Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, vol. 33, p. 65-72. 2003.

DICKSON, B. L.; SCOTT, K. M. Interpretation of aerial gamma-ray surveys - adding the geogeochemical factors. **AGSO J. Australian geology and geophysics**. 17(2): 187-200. 1997.

FERREIRA, V.P.; TCHOUANKOUE, J.P.; SIAL, A.N.; LIMA, M.M.C.; PIMENTEL, M.M. Two-stage mantle-derived Santana do Mundaú high-k cal-alkalic composite granitic batholith, Pernambuco-Alagoas domain. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 2016. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, SBGEO, 1 CD-ROM. 2016.

GUIMARÃES, I.P.; SILVA FILHO, A.F.; ALMEIDA, C.N.; VAN SCHMUS, W.R.; ARAÚJO, J.M.M.; MELO, S.C.; MELO, E.B. 2004. Brasiliano (Pan-African) granite magmatism in the Pajeú-Paraíba belt, Northeast Brazil: an isotopic and geochronological approach. **Precambrian Research**. Vol. 135, p. 23–53. 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2004.07.004>

GUNN P. J. **Interpretation of airborne magnetic and radiometric surveys: Course**. Canberra: AGSO Australian Geological Survey Organization. 1998.150p.

LIMA, H.M. **Evolução tectônica da porção nordeste da Faixa Sergipana, Província Borborema, Estado de Alagoas, NE do Brasil**. Tese de Doutorado: Programa de Pós-Graduação em Geologia da UnB. 178 p. 2018

LIMA, S. S.; ALMEIDA, J. A. P.; SIQUEIRA, J. B. Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicados ao estudo geológico-geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Rio Japarutuba, Sergipe - Brasil. **Revista Geonordeste**. 2017. DOI: <https://doi.org/10.33360/RGN.2318-2695.2017.i1.p.203-214>

LIMA, S. S.; SILVA FILHO, A. F.; GUIMARÃES, I. P.; FARIAS, D. J. S.; ALMEIDA, G. M. Aerogeophysical systematics applied to the geological reconnaissance of the Eastern Pernambuco-Alagoas Domain, Borborema Province: The Ipojuca-Atalaia Batholith. **Journal of South American Earth Sciences**, vol. 112, 103628. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103628>

LIMA, S.S.; ALMEIDA, G.M. Caracterização dos corpos ígneos da porção sudoeste do Batólito Ipojuca-Atalaia, Superterreno Pernambuco-Alagoas: uma abordagem através da reflectância espectral e dados aerogamaespectrométricos. In: BASQUEROTE, A.T. (Org.) **Geografia: a superfície do planeta Terra em análise**. Ponta Grossa - PR: Editora Atena, 2022.

LIMA, S.S.; ALMEIDA, G.M. Reflectância espectral e caracterização dos plútons da porção Oeste do Batólito Ipojuca-Atalaia, Província Borborema, Nordeste do Brasil. **Brazilian Applied Science Review**, v.5, n.5. 2021. DOI: 10.34115/basrv5n5-001

LIMA, S.S.; SILVA FILHO, A.F.; GUIMARÃES, I.P.; ALMEIDA, G.M. Geomorfologia estrutural e compartimentação geomorfológica obtidas através de dados aeromagnéticos e SRTM na porção Oeste do Batólito Ipojuca-Atalaia, Província Borborema, Nordeste do Brasil. *Physis Terrae: Revista Ibero-Afro-Americana de Geografia Física e Ambiente*, vol. 3, n.1-2, p. 63-92. 2021. DOI: <https://doi.org/10.21814/physisterrae.3525>

MAAS, M. V. R.; OLIVEIRA, C. G.; PIRES, A. C. B.; MORAES, R. A. V. Aplicação da geofísica aérea na exploração mineral e mapeamento geológico do setor sudoeste do Cinturão Cuprífero Orós-Jaguaribe. **Revista Brasileira de Geociências**, vol. 33, n. 3, p. 279-288. 2003.

MEDEIROS, V. C. Aracaju NE: Folha SC.24-X: estados da Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia. Escala 1:500.000. Brasília: CPRM, mapas. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil**, PLGB. 2000.

MEDEIROS, V.C. **Evolução geodinâmica e condicionamento estrutural dos terrenos Piancó- Alto Brígida e Alto Pajeú, Domínio da Zona Transversal, NE do Brasil**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 200p. 2004.

MENDES, V.A.; BRITO, M.F.L.; PAIVA, I.P. **Programa Geologia do Brasil-PGB**. Arapiraca. Folha SC.24-X-D. Estados de Alagoas, Pernambuco e Sergipe. Mapa Geológico. Recife: CPRM, 1mapa, color, 112,37 cm x 69,42 cm. Escala - 1 :250.000. 2008.

MENDES, V.A.; LIMA, M.A.B.; MORAIS, D.M.F. **Programa Geologia do Brasil-PGB**. Geologia e Recursos Minerais do Esta do de Alagoas. Texto explicativo. Recife: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, p. 113. 2017.

MILLIGAN, P.R.; GUNN P.J. Enhancement and Presentation of Airborne Geophysical. **Journal of Australian Geology and Geophysics**, 17: 64-74, 1997.

OLIVEIRA, R.G.; MEDEIROS, W.E. Deep crustal framework of the Borborema Province, NE Brazil, derived from gravity and magnetic data. **Precambrian Research**, vol. 315, p. 45-65. 2018.

OSAKO, L.S. **Caracterização geológica da região situada entre as localidades de Paratama e Currais Novos (PE), porção Centro- Norte do Domínio Tectônico**

Pernambuco-Alagoas, Província Borborema. Tese, Universidade Federal de Pernambuco, 165p. 2005.

RIBEIRO, V. B; MANTOVANI, M. S. M.; LOURO, V. H. A. Aerogamaespectrometria e suas aplicações no mapeamento geológico. **Terrae didactica**. 10: 29-51, 2013.

ROBINSON, A.H.; MORRISON, J.L.; MUEHRCKE, P.G.; KIMERLING, P.G.; GUPTILL, S.C. **Elements of Cartography**. Jonh Wiley & Sons (ed.), 6 edition. 1995.

RODRIGUES NETO, N.N. **Evolução tectono-metamórfica da cobertura deformada (Quartzito Garanhuns) e de seu embasamento durante a Orogênese Brasileira de uma área a SE da folha Venturosa**. 2016. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Recife. 101p.

ROEST, W.R.; VERHOEF, J.; PILKINGTON, M. Magnetic interpretation using 3-D analytic signal. **Gephysics**, 57(1):116-125. 1992

ROMÃO, J. C. **Cartografia Geológica: um instrumento do conhecimento para o desenvolvimento do território**. Actas do XV Encontro Nacional do Colégio de Engenharia Geológica e de Minas da Ordem dos Engenheiros, 2005. p. 281-289.

ROMÃO, J. C.; CUNHA, T. A. Cartografia geológica: uma mais-valia para o desenvolvimento do território. **Geonovas**, vol. 25, p. 03-17, 2012.

SANTOS, E. J. **O Complexo granítico Lagoa das Pedras: acreção e colisão na região de Floresta (Pernambuco), Província Borborema**. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 219p. 1995.

SANTOS, E. J.; VAN SCHMUS, W.R.; KOZUCH, M.; BRITO NEVES, B.B. The Cariris Velhos tectonic event in Northeast Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, vol. 29, p. 61-76. 2010.

SANTOS, L. C. M. L.; DANTAS, E. L.; VIDOTTI, R.; CAWOOD, P.; SANTOS, E.; FUCK, R.; LIMA, H. Two-stage terrane assembly in Western Gondwana: Insights from structural geology and geophysical data of central Borborema Province, NE Brazil. **Journal of Structural Geology**, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2017.09.012>

SANTOS, R.A. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB. **Geologia e recursos minerais do Estado de Sergipe**. Escala 1:250.000. Texto explicativo do Mapa Geológico do Estado de Sergipe. Brasília: CPRM/DIEDIG/DEPAT/CODISE, 152 P., 2001.

SILVA FILHO, A. F.; GUIMARÃES, I. P.; VAN SCHMUS, W. R. Crustal evolution of the Pernambuco–Alagoas complex, Borborema Province, NE Brazil, Nd isotopic data from Neoproterozoic granitoids. **Gondwana Research**, vol. 5, p. 409–422. 2002.

SILVA FILHO, A.F., GUIMARAES, I.P., SANTOS, L. ARMSTRONG, R VAN SCHMUS, W.R. Geochemistry, U-Pb geochronology, Sm-Nd and O isotopes of ca. 50 Ma long Ediacaran High-K Syn-Collisional Magmatism in the Pernambuco Alagoas Domain, Borborema Province, NE Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 27, p. 1-70. 2016.

TOTEU, S. F.; VAN SCHMUS, W. R.; PENAYE, J.; MICHARD, A. New U-Pb and Sm-Nd data from north-central Cameroon and its bearing on pre-Pan African history of central Africa. **Precambrian Research**, vol. 108, p. 45-73. 2001

TROMPETTE, R. **Geology of Western Gondwana, Pan-african-brasiliano: Aggregation of South America and Africa**. A.A. Balkema, Rotterdam. 1994.

VAN SCHMUS, W. R.; BRITO NEVES, B. B.; HACKSPACHER, P. C.; BABINSKI, M. U/Pb and Sm/Nd geochronologic studies of the eastern Borborema Province, Northeast Brazil: initial conclusions. **Journal of South American Earth Sciences**, vol. 8, p. 267-288. 1995.

VAN SCHMUS, W. R.; KOZUCH, M.; BRITO NEVES, B. B. Precambrian history of the Zona Transversal of the Borborema Province, NE Brazil; Insights from Sm-Nd and U-Pb geochronology. **Journal of South American Earth Sciences**, vol. 31, p. 227-252. 2011.

VAN SCHMUS, W. R.; OLIVEIRA, E. P.; SILVA FILHO, A. F.; TOTEU, F.; PENAYE, J.; GUIMARÃES, I. P. Proterozoic links between the Borborema province, NE Brazil, and the central African fold belt. **B. Geological Society of London**, vol. 294, p. 66-69. 2008.

Glossário

Aerogeofísica: Conjunto de técnicas geofísicas realizadas por meio de sensores aéreos para mapear as propriedades físicas do subsolo, como magnetismo e radiação.

Aerogamaespectrometria: Método geofísico que mede a radiação gama natural emitida pelos elementos radioativos potássio (K), tório (Th) e urânio (U) nas rochas, auxiliando na identificação de litologias e minerais.

Aeromagnetometria: Técnica que registra variações no campo magnético terrestre causadas por diferentes tipos de rochas e estruturas geológicas.

Amplitude do Sinal Analítico (ASA): Filtro aplicado a dados magnéticos para destacar as bordas de anomalias magnéticas, indicando a localização de domínios magnéticos.

Batólito: Corpo ígneo de grande extensão formado pelo resfriamento e solidificação de magma em profundidade.

Canais Radiométricos (K, eTh, eU): Medidas das concentrações de potássio, tório e urânio obtidas por gamaespectrometria, usadas para identificar variações na composição química de rochas.

Ciclo Brasileiro: Evento tectônico do Neoproterozoico, responsável pela formação de cadeias montanhosas e plutonismo no Brasil.

Complexo Arapiraca: Unidade geológica composta por paragneisses e outros litotipos, frequentemente associados à tectônica intensa.

Domínio Litogeofísico: Região caracterizada por propriedades geofísicas homogêneas, como magnetismo e radiação, que refletem sua composição geológica.

Faixa de Dobramentos Sergipana: Estrutura tectônica na Província Borborema composta por zonas de cisalhamento e dobramentos resultantes de colisões tectônicas.

Imagem Ternária (RGB): Representação gráfica que combina os canais de K, eTh e eU, destacando variações na composição química de áreas geológicas.

Lineamentos: Estruturas geológicas lineares, como falhas e zonas de cisalhamento, que refletem deformações tectônicas.

Magnetismo Anômalo: Variações no campo magnético terrestre devido à presença de minerais magnéticos nas rochas.

Plúton: Massa de rocha ígnea formada pelo resfriamento de magma intrusivo, geralmente em profundidades significativas.

Província Borborema: Grande unidade geotectônica localizada no nordeste do Brasil, composta por terrenos, dobramentos e plutonismo associado.

Zona de Cisalhamento: Região onde ocorre deformação intensa das rochas devido ao movimento tectônico, formando feições como falhas e dobras.

Recebido em: 26/05/2024.

Aprovado para publicação em: 30/12/2024.