



Instituto de Geociências – IG

Programa de Pós-graduação em Geociências Aplicadas e Geodinâmica

**DETERMINAÇÃO DA ASSINATURA GEOFÍSICA E  
ELABORAÇÃO DE MODELO PROSPECTIVO NO DISTRITO  
AURÍFERO DA BAIXADA CUIABANA, MATO GROSSO**

**Genesson Delmondes Castro**

*Dissertação de Mestrado Nº 242*

**Orientador:** Prof. Dr. Welitom Rodrigues Borges

**Coorientador:** Prof. Dr. Marcelo Henrique Leão-Santos

Brasília, 2025



Genesson Delmondes Castro

**DETERMINAÇÃO DA ASSINATURA GEOFÍSICA E  
ELABORAÇÃO DE MODELO PROSPECTIVO NO DISTRITO  
AURÍFERO DA BAIXADA CUIABANA, MATO GROSSO**

Dissertação de Mestrado Nº 242

Dissertação apresentada para o Programa em Pós-Graduação em Geociências Aplicadas e Geodinâmica do Instituto de Geociências – IG da Universidade de Brasília/UnB.

Área de Concentração: Geofísica Aplicada

Orientador: Prof. Dr. Welitom Rodrigues Borges  
Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Henrique Leão-Santos

Brasília, 2025

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

DD359d

Delmondes, Genesson Castro  
DETERMINAÇÃO DA ASSINATURA GEOFÍSICA E ELABORAÇÃO DE  
MODELO PROSPECTIVO NO DISTRITO AURÍFERO DA BAIXADA CUIABANA,  
MATO GROSSO / Genesson Castro Delmondes; orientador Welitom  
Rodrigues Borges; co-orientador Marcelo Henrique  
Leão-Santos. Brasília, 2025.  
92 p.

Dissertação(Mestrado em Geociências Aplicadas)  
Universidade de Brasília, 2025.

1. Geofísica Aplicada. 2. Depósito Aurífero. 3.  
Sulfetação. 4. Integração Geofísica. 5. Favorabilidade. I.  
Borges, Welitom Rodrigues, orient. II. Leão-Santos, Marcelo  
Henrique, co-orient. III. Título.

## Agradecimentos

Agradeço à minha família, Gean Gabriel Delmondes, Felipe da Silva Lima, Karine Delmondes Silva, Kaio Delmondes Silva, Kamilly Delmondes Silva, e em especial à minha mãe Angela Maria Delmondes, que cuidou sozinha de dois filhos por bastante tempo, e mesmo em momentos de dificuldade, nunca deixou que faltasse comida à mesa, sempre reforçando que a educação é a base de tudo. Agradeço por acreditarem e apoiarem em tudo que foi necessário durante essa jornada e em todos os outros momentos.

Agradeço aos meus orientadores Welitom Borges e Marcelo Leão pela colaboração, apoio e incentivo para elaboração dessa dissertação, além dos incríveis momentos de descontração.

Agradeço à GPAR Mineração por todo apoio técnico e logístico durante a realização da etapa de campo e pela disponibilização de dados dos furos de sondagem que foram essenciais para a finalização deste trabalho.

Agradeço à Triskel Geoscience por todo apoio técnico e logístico durante a realização da etapa de campo.

Agradeço ao Marcos, a Valentina e a Cátia que foram mais que essenciais durante a finalização da dissertação.

Às pessoas incríveis que me acompanharam em diversos momentos de alegria, tristeza, surtos, campos e barzinhos: Ana Karollina Lopes, Cínthia Maria, Isadora Aguiar, Erick Soares, Cátia Sampaio, Aline Jardim, Vinícius Resende, Douglas Muniz, Ana Lívia, Yerhu Santos, Yuri Tenenblat, Marcos Felipe, Arthur Chornobay, Valentina Olivera, Gabriela Jardim, Gabriela Lima (Gabi), Amanda Moura, Dhamaria Machado, João Vitor (Tetinha), Paula Barreto, Caio Benevides, Camille Blandino, Gustavo Bianchi, Juliana Almeida, Rita de Cássia, Ana Beatriz Jardim, Ingrid Hoyer, Lívia Vieira, Vanessa Alves, Ana Júlia Paz, Natan Moraes, Itallo Clementino, Isabela Flores (Bela), Cláudia Xavier, Valéria Lustosa, Eduarda Araújo e Carlos Eduardo.

Agradeço às amigas que fiz na Concentro, e em especial, a Íris Campos, Sunamita Izidro (Suna), Helena Andrade (Nena), Maria Fernanda Aires (Mafe), Amanda de Moura, Bruna Midori, Eduarda Nogueira (Duda), Luiz Henrique, Beatriz Petrola (Bia), Sara Mayumi, Lúcia Prado, Daniel Matias, Ana Rech e João Victor Cazé (Cazé). Mesmo após meu retorno ao MEJ, não imaginei que em tão pouco tempo seria capaz de fazer amigas tão incríveis, que levarei para a vida.

Agradeço a incrível relação de amizade que puder ter com os membros da ENETEC, empresa júnior de engenharia elétrica da UnB. Sou eternamente grato pelos momentos que tivemos juntos e pelo acolhimento na EJ. "Uh! Ilumina."

Agradeço aos "Pilantra's Clube". Mais especificamente: Erick Soares, Warley Rianiny, Rubens Azevedo, Vinicius Resende, Peter de Souza, Clauber Sousa, Emerson Moura, Vinicius Agapitor, Gabriel Liandro, Bruno Anderson, Ricardo Lucas, Yerhu Santos, Amil-

ton Rodrigues, Cleiton José, Thiago Araújo, Mateus Oziel, Ricardo Luca, Ramon Moura, Henrique Pacheco e Arthur Rocha. Que a amizade, o apoio e todo o companheirismo sejam eternos. Enquanto for possível, nos veremos nesses bares da vida.

Aos professores, pelos seus ensinamentos e momentos de descontração. Em especial ao Elder Yokoyama e Marco Ianniruberto.

Ao Péricles e ao Antonio Mendes pela amizade e apoio em diversos campos.

Agradeço também aos auxiliares que participaram das aquisições de campo.

Às pessoas que não foram citadas, mas que também possuem grande importância para mim.

Aos que contribuíram de forma direta e indireta durante a realização deste mestrado.

Cada um, à sua maneira, com seus jeitos e personalidades, foram únicos e importantes durante esse momento no mestrado e em minha vida.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

*"Amo minha raça, luto pela cor.  
O que quer que eu faça é por nós, por amor."  
— Racionais MC's, Jesus Chorou*

DELMONDES, G.C. 2025. Determinação da assinatura geofísica e elaboração de modelo prospectivo no Distrito Aurífero da Baixada Cuiabana, Mato Grosso. Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas e Geodinâmica (Dissertação de Mestrado), Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Distrito Federal. 92 p.

## Resumo

A aplicação de métodos geofísicos na prospecção mineral é fundamental para reduzir riscos e custos, uma vez que a correlação entre respostas geofísicas e dados geológicos permite identificar zonas favoráveis à ocorrência de mineralizações. Este estudo concentra-se na Baixada Cuiabana, Mato Grosso, região de destaque na produção de ouro. O objetivo principal é caracterizar a assinatura geofísica e a geometria de depósitos auríferos associados a sulfetos disseminados. Para este trabalho, foram utilizados dados aerogeofísicos de magnetometria e gamaespectrometria obtidos pela SGB/CPRM, que foram processados e integrados com informações geológicas regionais. Em paralelo, no estudo local, realizou-se investigação detalhada por meio de levantamentos terrestres de polarização induzida, magnetometria e gamaespectrometria, análises de susceptibilidade magnética em testemunhos e estudos petrográficos em lâminas, permitindo maior compreensão da assinatura do depósito. A integração dessas informações possibilitou a elaboração de um modelo prospectivo, capaz de indicar anomalias e áreas com maior favorabilidade de ocorrências mineralizadas, fornecendo informações para futuras campanhas de exploração.

**Palavras-chave:** Geofísica Aplicada; Depósito Aurífero, Sulfetação; Integração Geofísica; Favorabilidade.

DELMONDES, G.C. 2025. Determination of the geophysical signature and elaboration of a prospective model in the Baixada Cuiabana Gold District, Mato Grosso. Postgraduate Program in Applied Geosciences and Geodynamics (Master's Dissertation), Institute of Geosciences, University of Brasília, Federal District. xxx p.

## **Abstract**

The application of geophysical methods in mineral prospecting is essential to reduce risks and costs, since the correlation between geophysical responses and geological data allows the identification of zones favorable for mineralization. This study focuses on the Baixada Cuiabana region of Mato Grosso, a prominent gold-producing region. The main objective is to characterize the geophysical signature and geometry of gold deposits associated with disseminated sulfides. For this work, airborne geophysical magnetometry and gamma-ray spectrometry data obtained by SGB/CPRM were used, which were processed and integrated with regional geological information. In parallel, the on-site study conducted detailed investigations using ground-based induced polarization surveys, magnetometry and gamma-ray spectrometry, magnetic susceptibility analyses on cores, and petrographic studies on slides, allowing a greater understanding of the deposit's signature. The integration of this information enabled the development of a prospective model, capable of indicating anomalies and areas with greater favorability of mineralized occurrences, providing information for future exploration campaigns.

**Keywords:** Applied Geophysics; Gold Deposit; Sulfidation; Geophysical Integration; Prospectivity..

## Lista de Figuras

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |    |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1  | a) Produção de anual de ouro no Brasil em tonelada (DNPM, 2006-2015; ANM, 2016-2023). b) Gráfico de valor anual do ouro em Oz (Investing.com, 2024). . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 16 |
| 2  | Localização da área de estudo regional inserida na região da Baixada Cuiabana, Mato Grosso. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 18 |
| 3  | Principais arranjos eletródicos utilizados em ensaios de campo e seus fatores geométricos (Borges, 2007 adaptado de LOKE, 2004). . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 20 |
| 4  | Efeitos da aplicação de filtros de realce em dados magnéticos sintéticos. a) Intensidade do campo magnético com magnetismo induzido direcionado para baixo, na horizontal e para cima (hemisfério norte, equador e hemisfério sul, respectivamente); b) Primeira derivada das anomalias em a); c) sinal analítico 3D; d) redução ao pólo; e) primeira derivada vertical dos dados reduzido ao pólo em d); f) pseudogravidade; g) gradiente horizontal total da pseudogravidade; h) derivada de inclinação de dados reduzidos ao pólo (Dentith, 2014). . . . . | 23 |
| 5  | Efeito de Polarização Induzida com aplicação de um pulso de corrente com polaridade alternada (Reynolds, 1997). . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 25 |
| 6  | Medições discretas do decaimento Vp a esquerda. Medição global do decaimento Vp a direita (Reynolds, 1997). . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 25 |
| 7  | Representação esquemática da interação de fótons incidentes com a matéria pelo processo de espalhamento Compton (à esquerda) e os domínios de predominância dos principais processos de interação (efeito fotoelétrico, espalhamento Compton e produção de pares) em função do número atômico e da energia dos fótons (à direita). . . . .                                                                                                                                                                                                                    | 26 |
| 8  | Níveis de energia das series de decaimento dos elementos K, Th e U. . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 27 |
| 9  | Localização da área do Projeto Aerogeofísico Cuiabá em vermelho (CPRM, 2014) . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 28 |
| 10 | Mapa da área do levantamento com linhas de voo (CPRM, 2007). . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 29 |
| 11 | Seção vertical intersectando os furos de sondagem PMA-DH 001, PMA-DH 002, PMA-DH 004 e PMA-DH 005. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 31 |
| 12 | Localização da área de estudo sobreposto ao mapa litológico (adaptado de CPRM, 2004). . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 33 |
| 13 | Contexto geológico regional da Baixada Cuiabana (Alvarenga, 1990). . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 35 |



|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |    |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 14 | Bloco diagrama (ao centro) ilustrando as relações geométricas dos vários tipos de veios com uma dobra Dn. Os desenhos foram confeccionados a partir de fotos e observações de campo e estão fora de escala. A dobra Dn no bloco diagrama é esquemática (Segundo Silva <i>et al.</i> , 2002). a) veio dobrado subparalelo a S0 (tipo 1) em corte; b) arranjo de veios escalonados subparalelos a Sn (tipo 2) em corte; c) veios em neck de boudin (tipo 3), em planta; d) veio subparalelo à foliação Sn (tipo 2) em corte; e) veio tabular subperpendicular a Sn (tipo 3), em planta; f) veio tabular subperpendicular a Sn (tipo 3), em planta, dobrado, com Sn em posição plano axial; g) veio tabular subperpendicular a Sn (tipo 3), em corte vertical, com várias ramificações; h) vários veios tabulares, subperpendiculares a Sn (tipo 3), em corte vertical; i) veios tabulares subperpendiculares a Sn (tipo 3), em planta . . . . . | 36 |
| 15 | Produtos gerados na aeromagnetometria a partir da anomalia magnética e realces realizados. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 38 |
| 16 | Produtos gerados na aerogamaespectrometria. a) Mapa de potássio; b) Mapa de tório equivalente; c) Mapa de urânio equivalente; d) Mapa ternário.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 39 |
| 17 | Matriz de correlação de Pearson . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 40 |
| 18 | Produtos gerados na aerogamaespectrometria. A) Mapa de potássio; B) Mapa de tório equivalente; C) Mapa de urânio equivalente; D) Mapa Fator F; E) Mapa ternário dos radioelementos de K, eTh e eU. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 42 |
| 19 | Mapa de domínios gamaespectrométricos extraídos do mapa ternário . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 43 |
| 20 | Mapa de domínios gamaespectrométricos sobreposto ao mapa litológico da região (adaptado de CPRM, 2004) . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 44 |
| 21 | Produtos gerados na aeromagnetometria. a) Mapa de derivada vertical de ordem 1; b) Mapa gradiente horizontal total; c) Mapa de gradiente total; d) Mapa de derivada de inclinação; e) Mapa de composição RGB das derivadas verticais de ordem 1, 1.25 e 1.50. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 45 |
| 22 | Mapa de lineamentos magnéticos extraídos, sobreposto ao mapa ternário de derivada vertical . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 46 |
| 23 | Diagrama de roseta obtido dos produtos a partir da extração de Hillshade em direção a) 45° b) 315° ( <i>StereoNet</i> ). . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 47 |
| 24 | Mapa de favorabilidade sobreposto às ocorrências de mineralizações em minas ativas . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 48 |
| 25 | Mapa de favorabilidade sobreposto às ocorrências de mineralizações em minas ativas. a) zona de cisalhamento NE; b) região de média favorabilidade; c) região de alta favorabilidade sem ocorrências de mineralização conhecida. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 49 |

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |    |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 26 | Localização da área de estudo sobreposto ao mapa geológico (adaptado de CPRM, 2004). . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 53 |
| 27 | Bloco diagrama (ao centro) ilustrando as relações geométricas dos vários tipos de veios com uma dobra Dn. Os desenhos foram confeccionados a partir de fotos e observações de campo e estão fora de escala. A dobra Dn no bloco diagrama é esquemática (?). a) veio dobrado subparalelo a S0 (tipo 1) em corte; b) arranjo de veios escalonados subparalelos a Sn (tipo 2) em corte; c) veios em neck de boudin (tipo 3), em planta; d) veio subparalelo à foliação Sn (tipo 2) em corte; e) veio tabular subperpendicular a Sn (tipo 3), em planta; f) veio tabular subperpendicular a Sn (tipo 3), em planta, dobrado, com Sn em posição plano axial; g) veio tabular subperpendicular a Sn (tipo 3), em corte vertical, com várias ramificações; h) vários veios tabulares, subperpendiculares a Sn (tipo 3), em corte vertical; i) veios tabulares subperpendiculares a Sn (tipo 3), em planta . . . . . | 55 |
| 28 | Fluxograma de processamento de dados magnetométricos e gamaespectrométricos . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 57 |
| 29 | Seção vertical intersectando os furos de sondagem PMA-DH 001, PMA-DH 002, PMA-DH 004 e PMA-DH 005. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 61 |
| 30 | Amostras obtidas para confecção de lâminas do furo de sondagem PMA-DH 001: (a) Metassiltito com veio de quartzo. (b) Metassiltito com veio de quartzo. (c) Metassiltito. (d) Contato entre metassiltito e metarenito. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 62 |
| 31 | Amostras obtidas para confecção de lâminas do furo de sondagem PMA-DH 002: (a) Contato entre metassiltito e metarenito. (b) Metassiltito com veio de quartzo. (c) Metassiltito com fratura preenchida de quartzo. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 62 |
| 32 | Amostras obtidas para confecção de lâminas do furo de sondagem PMA-DH 004: (a) Contato entre metassiltito e metarenito. (b) Metassiltito. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 63 |
| 33 | Amostras obtidas para confecção de lâminas do furo de sondagem PMA-DH 005: a(a) Metassiltito com ocorrência de pirita e veio de quartzo. (b) Metassiltito com pirita. (c) Metassiltito. (d) Metassiltito com presença de dobra. (e) Metassiltito com veios de quartzo. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 63 |
| 34 | Fotomicrografia em luz transmitida (PMA-DH 005): (a) Filito carbonoso intercalado com metassiltitos. (b) Metassiltito. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 64 |
| 35 | Fotomicrografia em luz transmitida (PMA-DH 001): (a) Meta-arenitos fino com intercalação de filito carbonoso. (b) Meta-arenito com veios silificados. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 64 |
| 36 | Fotomicrografia em luz transmitida (PMA-DH 001): (a) e (b) Boudins de quartzo deformados no contato do filito carbonoso com o metassiltito. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 65 |
| 37 | Fotomicrografia em luz refletida (a) e luz transmitida (b) – Piritas alteradas imersas em matriz composta principalmente de carbonato e quartzo (PMA-DH 002). . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 65 |

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |    |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 38 | Fotomicrografias obtidas em luz transmitida <b>(a)</b> e refletida <b>(b–d)</b> . <b>(a)</b> Cristais euédricos de pirita precipitados na matriz de quartzo; <b>(b)</b> Veio preenchido por pirita, com inclusão subordinada de calcopirita; <b>(c)</b> Cristais de calcopirita imersos em agregados de pirita; <b>(d)</b> Cristais de pirita com hábito cúbico, dispostos paralelamente à foliação e também dispersos na matriz (PMA-DH 004). . . . . | 66 |
| 39 | Fotomicrografias obtidas em luz transmitida <b>(a e b)</b> – PMA-DH 004 e PMA-DH 005), evidenciando cristais de biotita em processo de cloritização. . .                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 66 |
| 40 | Fotomicrografias em luz transmitida (PMA-DH 004): <b>(a)</b> e <b>(b)</b> Cristais de pirita e magnetita em contato com turmalina, com indícios de alteração para oxi-hidróxidos de ferro. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                     | 67 |
| 41 | Distribuição da susceptibilidade magnética ( $10^{-3}$ SI) por litologia e mineralização: <b>(a)</b> PMA_DH_001, <b>(b)</b> PMA_DH_002, <b>(c)</b> PMA_DH_004, <b>(d)</b> PMA_DH_005 e <b>(e)</b> conjunto geral dos furos. . . . .                                                                                                                                                                                                                    | 68 |
| 42 | Medições de susceptibilidade magnética dos testemunhos de sondagem PMA-DH 001, PMA-DH 002, PMA-DH 004 e PMA-DH 005. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 69 |
| 43 | Mapas de cargabilidade nas profundidades: <b>(a)</b> 250 metros; <b>(b)</b> 225 metros; <b>(c)</b> 200 metros; <b>(d)</b> 175 metros; <b>(e)</b> 150 metros; <b>(f)</b> 125 metros. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                            | 70 |
| 44 | Mapas de distribuição: <b>(a)</b> potássio; <b>(b)</b> tório; <b>(c)</b> urânio; <b>(d)</b> Fator F; <b>(e)</b> Mapa ternário dos radioelementos; <b>(f)</b> Mapa interpretado de zona de alteração hidrotermal sobreposto à localização das linhas de aquisição. . .                                                                                                                                                                                  | 71 |
| 45 | Mapa de <b>(a)</b> anomalia magnética; <b>(b)</b> derivada vertical de ordem 1; <b>(c)</b> gradiente horizontal total; <b>(d)</b> gradiente total; <b>(e)</b> derivada de inclinação - TILT. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                   | 72 |
| 46 | Mapa de favorabilidade do depósito aurífero sobreposto às posições de furos de sondagem realizados na região. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 73 |

## Lista de Tabelas

|   |                                                                                      |    |
|---|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Análise dos domínios radiométricos com base na composição RGB (K, eTh, eU) . . . . . | 41 |
| 2 | Dados dos furos de sondagem . . . . .                                                | 57 |

# Sumário

|                                                  |           |
|--------------------------------------------------|-----------|
| <b>Lista de Figuras</b>                          | <b>9</b>  |
| <b>Lista de Tabelas</b>                          | <b>13</b> |
| <b>Sumário</b>                                   | <b>14</b> |
| <br>                                             |           |
| <b>Capítulo 1</b>                                | <b>16</b> |
| <br>                                             |           |
| <b>.1 Introdução</b>                             | <b>16</b> |
| .1.1 Apresentação . . . . .                      | 16        |
| .1.2 Justificativas . . . . .                    | 17        |
| .1.3 Localização da área de estudo . . . . .     | 18        |
| .1.4 Estrutura da Dissertação . . . . .          | 18        |
| <br>                                             |           |
| <b>.2 Fundamentação Teórica</b>                  | <b>19</b> |
| .2.1 Métodos Elétricos . . . . .                 | 19        |
| <br>                                             |           |
| <b>.3 Materiais e Métodos</b>                    | <b>27</b> |
| .3.1 Aerogeofísica . . . . .                     | 28        |
| .3.2 Aquisições Terrestres . . . . .             | 29        |
| .3.3 Propriedades Físicas de Rochas . . . . .    | 30        |
| .3.4 Petrografia . . . . .                       | 31        |
| <br>                                             |           |
| <b>Capítulo 2</b>                                | <b>32</b> |
| <br>                                             |           |
| <b>.2 Introdução</b>                             | <b>32</b> |
| <br>                                             |           |
| <b>.3 Contexto Geológico</b>                     | <b>34</b> |
| .3.1 Grupo Cuiabá . . . . .                      | 34        |
| <br>                                             |           |
| <b>.4 Materiais e Métodos</b>                    | <b>37</b> |
| .4.1 Base de Dados Aerogeofísicos . . . . .      | 37        |
| .4.2 Processamento dos Dados . . . . .           | 37        |
| .4.3 Correlação de Dados . . . . .               | 39        |
| <br>                                             |           |
| <b>.5 Resultados e Discussões</b>                | <b>40</b> |
| .5.1 Interpretação Gamaespectrométrica . . . . . | 40        |
| .5.2 Interpretação Magnetométrica . . . . .      | 44        |
| .5.3 Zonas de Favorabilidade . . . . .           | 47        |

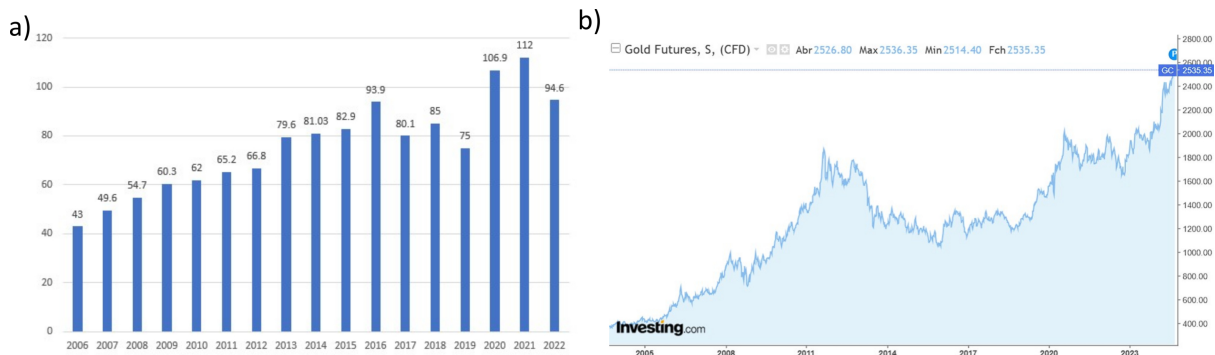
|                                        |               |
|----------------------------------------|---------------|
| <b>.6 Conclusões</b>                   | <b>49</b>     |
| <b>Referências Bibliográficas</b>      | <b>50</b>     |
| <br><b>Capítulo 3</b>                  | <br><b>52</b> |
| <b>.0 Introduction</b>                 | <b>52</b>     |
| <b>.1 Materials and Methods</b>        | <b>54</b>     |
| .1.1 Contexto Geológico . . . . .      | 54            |
| .1.2 Aquisições Geofísicas . . . . .   | 55            |
| .1.3 Furos de Sondagem . . . . .       | 57            |
| <b>.2 Análise dos Resultados</b>       | <b>64</b>     |
| .2.1 Petrografia . . . . .             | 64            |
| .2.2 Petrofísica . . . . .             | 67            |
| .2.3 Polarização Induzida . . . . .    | 69            |
| .2.4 Gamaespectrometria . . . . .      | 70            |
| .2.5 Magnetometria . . . . .           | 71            |
| .2.6 Zonas de Favorabilidade . . . . . | 72            |
| <b>.3 Conclusões</b>                   | <b>73</b>     |
| <b>Referências Bibliográficas</b>      | <b>74</b>     |
| <br><b>Capítulo 4</b>                  | <br><b>76</b> |
| <b>.4 Considerações Finais</b>         | <b>76</b>     |
| <b>Referências Bibliográficas</b>      | <b>76</b>     |
| <b>A Apêndice</b>                      | <b>81</b>     |

# Capítulo 1

## .1 Introdução

### .1.1 Apresentação

O Plano Nacional de Mineração 2030 (PNM - 2030), desenvolvido pelo Ministério de Minas e Energia, foi estabelecido para subsidiar a formulação de políticas e planejamento para os setores energético e mineral brasileiro. Os dados obtidos pelo MME apresentam maior investimento em pesquisa mineral à classe dos metálicos, com destaque para o ouro. A produção de ouro no Brasil apresenta grande crescimento desde 2006, a partir de projetos e expansões de minas em atividade (DNPM/SGM, 2011). O histórico de produção brasileira de ouro, de 2006 a 2022, foi elaborada a partir dos relatórios anuais do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, 2006–2015) e da Agência Nacional de Mineração (Figura 1a)(ANM, 2016–2023). O desenvolvimento da produção de ouro ocorreu pela crescente valorização de cotações do ouro (Figura 1b) (Investing.com, 2024).



**Figura 1.** a) Produção de anual de ouro no Brasil em tonelada (DNPM, 2006-2015; ANM, 2016-2023). b) Gráfico de valor anual do ouro em Oz (Investing.com, 2024).

O estado do Mato Grosso possui enorme destaque na produção mineral do Brasil, com foco em ouro, diamante, manganês, estanho, zinco e rochas carbonáticas (CPRM, 2004; SEDEC, 2023). No estado do Mato Grosso, destaca-se a Baixada Cuiabana, região que compreende os limites entre a Chapada dos Guimarães, a Província Serrana e o Pantanal Mato Grossense, com relevo de forma rampeada e altimetria em torno de 200 metros ao sul, podendo atingir até 450 metros ao norte (Almeida, 1964). Os depósitos auríferos da região da Baixada Cuiabana apresentam-se como depósitos hidrotermais – ouro em veios de quartzo com pirita (Paula e Demore, 1984), depósitos de enriquecimento supergenico – em platôs lateríticos, ocorrendo em forma de pepitas e depósitos de Placers – em depósitos

de aluviões e elúvios e colúvios quartzosos, são hospedados em rochas neoproterozóicas (Lacerda-Filho et al., 2004).

A aplicação dos métodos geofísicos como forma de investigação para caracterização do meio, localização de alvos e estruturas de interesse, apresentam uma vantagem significativa devido à possibilidade de investigações indiretas, tornando-as muito eficientes. A integração de dados geofísicos multivariáveis é uma técnica amplamente utilizada na pesquisa mineral em diversos setores. Chen et al., (2025) aplica os métodos de polarização induzida e magnetometria integrados a dados de geoquímica de solo para elaboração de mapas preditivos de mineralização na área de Fudiyngzi-Bacheli, Província de Heilongjiang. Echague et al., (2024) aborda a aplicação de métodos geofísicos com análises estruturais e mapeamento geológico para determinação de alvos exploratórios em depósitos da Província Aurífera Alto Guaporé, controlados por falhas regionais e zonas de cisalhamento associadas a contatos entre rochas metassedimentares e embasamento granítico. A exploração geofísica nos depósitos de ouro possibilitou caracterizar a assinatura metalogênica e as zonas mineralizadas, que foram essenciais para campanhas de sondagem posteriores. El Goumi *et al.* (2015) defendem que depósitos de ouro disseminados não possuem uma assinatura geofísica clara, porém propõem que a integração de levantamentos geofísicos (gravimetria, magnetometria e polarização induzida) podem identificar zonas de interesse para exploração de ouro a partir da caracterização das zonas de alteração de sulfetos disseminados.

## **.1.2 Justificativas**

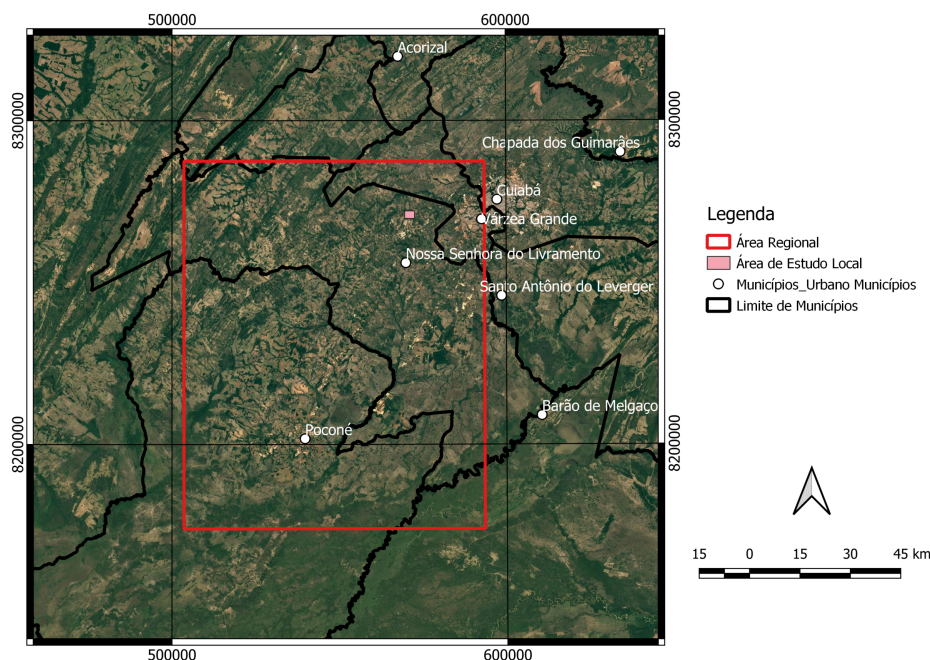
O projeto de pesquisa tem como objetivo principal determinar a assinatura geofísica dos depósitos auríferos associados a sulfetos na região da Baixada Cuiabana, Mato Grosso. Os objetivos específicos esperados são:

- Análise e elaboração de produtos geofísicos de dados magnéticos e radiométricos a partir de dados registrados em aerolevantamentos;
- Correlações matemáticas entre dados aerogeofísicos e informações de superfície para elaboração de modelo de favorabilidade regional;
- Aquisição, filtragem e modelagem de dados geoeletricos, radiométricos e magnetométricos para a elaboração de modelos bidimensionais e tridimensionais de uma área minerária;
- Integração de dados geológicos, petrofísicos, petrográficos aos levantamentos geofísicos locais.
- Elaboração de modelo geofísico prospectivo integrado, com a indicação de eventuais anomalias associadas a ocorrências auríferas.



### .1.3 Localização da área de estudo

A área de estudo deste projeto de pesquisa, situa-se na região da Baixada Cuiabana, no estado do Mato Grosso, localizada na região de Poconé ao sul da Chapada dos Guimarães, inserido no contexto geológico do Grupo Cuiabá (Figura 2).



**Figura 2.** Localização da área de estudo regional inserida na região da Baixada Cuiabana, Mato Grosso.

### .1.4 Estrutura da Dissertação

Essa dissertação está dividida em 4 capítulos: O Capítulo 1 corresponde à introdução, apresentação do problema e justificativa, localização, os objetivos do projeto, fundamentação teórica e os materiais e métodos utilizados, O segundo capítulo apresentado em formato de artigo a ser submetido na *Jornal of South American Earth Sciences*, intitulado "Delimitação de Zonas Potenciais para Mineralizações Auríferas na Baixada Cuiabana (MT) com base em Dados Aerogeofísicos e Evidências de Campo". O Capítulo 3 apresentado em formato de artigo a ser submetido na *Minerals* intitulado "Integração de dados geofísico-geológicos, aplicados à prospecção de depósitos auríferos sulfetados: um estudo de caso no distrito aurífero da Baixada Cuiabana, Mato Grosso". O quarto capítulo contem as discussões e as considerações finais sobre os resultados obtidos e as devidas conclusões sobre a assinatura geofísica do distrito aurífero da Baixada Cuiabana.

## .2 Fundamentação Teórica

### .2.1 Métodos Elétricos

Os métodos elétricos são utilizados a partir de estudo do fluxo de corrente elétrica, sendo possível medir potencial elétrico, corrente e campos eletromagnéticos naturais existentes na crosta terrestre, e também dos campos de origem induzidos. A técnica de levantamento é realizada a partir de medições do potencial elétrico, possibilitando determinar em subsuperfícies estruturas geológicas e corpos minerais (Telford *et al.*, 1990). A condutividade elétrica é a principal propriedade que influencia no fluxo de corrente elétrica no solo, podendo ocorrer de forma eletrônica, onde a movimentação de elétrons livres movem-se rapidamente carregando carga, na forma eletrolítica ou iônica ocorrendo a partir da movimentação de íons dentro de um eletrólito na qual depende do tipo de íon, da concentração e da mobilidade, e na forma dielétrica onde os elétrons livres são ionizados e transferem a energia através do choque com novos íons, sendo mais comum em meios isolantes ou fracos condutores. Outras propriedades elétricas que influenciam no fluxo de corrente são: permissividade dielétrica (capacidade indutiva) e a permeabilidade magnética.

O fluxo elétrico geralmente é eletrolítico que depende não apenas da composição mineralógica das rochas, mas também da porosidade, da quantidade de fluidos presentes nos poros, concentração de sólidos dissolvidos e presentes nos poros, temperatura e estado físico da água, e presença de colóides (McNeill, 1980).

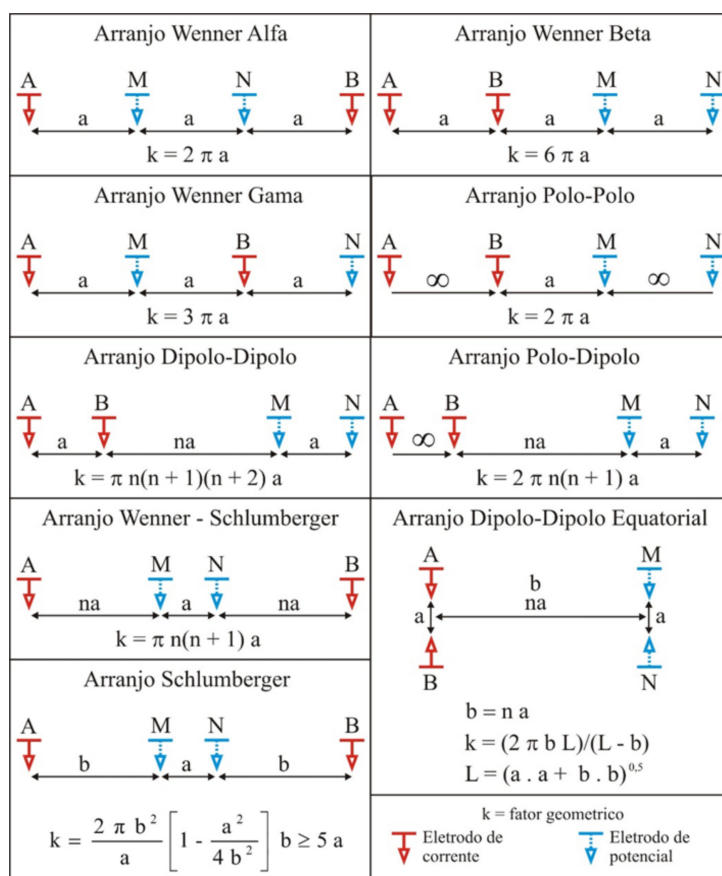
A Lei de Ohm define a resistência a partir da razão da diferença de potencial pela corrente injetada em um circuito ou material ( $V/I$ ), sendo a resistência proporcional ao comprimento do material dividido pela área. A resistividade elétrica  $\rho$  é definida pela resistência à condução de eletricidade através de um material de comprimento  $L$  (Eq.(1)), resultando em uma queda de potencial entre as posições opostas do material, onde sua unidade é Ohm.m.

$$\rho = \left( \frac{VA}{IL} \right), \quad (1)$$

Na geologia a resistividade é uma propriedade que apresenta um enorme espectro de variação, onde as rochas ígneas possuem resistividade mais alta, rochas sedimentares apresentam baixa resistividade devido a alta porosidade e disposição dos grãos nas rochas, e rochas metamórficas possuem resistividade intermediária. Outro fator importante na resistividade das rochas é sua idade, onde uma rocha com idade pré-cambriana pode apresentar maior resistividade que uma rocha de idade quaternária (Telford *et al.*, *op. cit.*).

### .2.1.1 Eletrorresistividade

No método da eletrorresistividade são aplicadas as técnicas de caminhamento elétrico (CE), sondagem elétrica vertical (SEV) e perfilagem elétrica de poço (PEP), o valor da resistividade depende da geometria do arranjo de eletrodos utilizados, que é definido pelo fator geométrico  $K$ . Cada configuração de eletrodos apresenta suas vantagens, desvantagens e sensibilidades particulares. Alguns fatores que definem a escolha do arranjo são a quantidade de espaço disponível para dispor a linha, intensidade do trabalho e sensibilidade a variações laterais (Habberjam e Watkins, 1967a; Barker, 1981). Para a determinação dos arranjos a serem utilizados, deve-se analisar a profundidade a ser estudada, resolução sinal/ruído, resolução espacial e geometria do alvo. Os arranjos que mais se destacam são dipolo-dipolo, pólo-pólo, pólo-dipolo, Wenner, Wenner Schlumberger e gradiente (Figura 3). Os eletrodos A e B correspondem a eletrodos de corrente e M e N correspondem a eletrodos de potencial.



**Figura 3.** Principais arranjos eletródicos utilizados em ensaios de campo e seus fatores geométricos (Borges, 2007 adaptado de LOKE, 2004).

### .2.1.2 Magnetometria

O método magnetométrico pode ser utilizado para diversos tipos de aplicações, realizando levantamentos magnéticos que vão de escalas regionais a escala de detalhe (Hinze,

2013), sendo utilizada como uma das principais ferramentas de prospecção de minérios (Nabighian *et al.*, 2015). O método envolve a correlação entre as anomalias observadas, ocasionadas principalmente por variações laterais na magnetização dos minerais em subsuperfície, e o campo magnético teórico. O campo magnético é a soma de todas as componentes magnéticas que variam ao longo e acima da Terra, no espaço e no tempo, sua propriedade física é a susceptibilidade magnética e a unidade é dada em nT. A força magnética existente entre dois pólos é proporcional às suas intensidades. Se apresentam pólos de sinais opostos, a força é atrativa e pólos de sinais iguais, a força é repulsiva, de acordo com a Lei de Coulomb (Eq. (2))(Hinze, 2013).

$$F = Cm \frac{(p_1 p_2)}{r^2}, \quad (2)$$

onde  $p_1$  e  $p_2$  são pólos magnéticos pontuais, “ $r$ ” é a distância entre eles e  $Cm$  é a constante magnética. Uma forma mais útil de se determinar o campo magnético  $H$ , é por meio da Equação (3):

$$H = \frac{F}{p_1} = Cm \frac{p_2}{r^2}, \quad (3)$$

onde  $p_1$  é um ponto no espaço, em que  $H$  é especificado (Blakely, 1995).

Ao ser aplicado um campo magnético externo em um determinado material, o mesmo adquire uma magnetização paralela ao campo aplicado, sendo denominado de magnetização induzida. Em alguns materiais o campo magnético externo pode ocasionar em alterações irreversíveis em suas propriedades magnéticas, retendo um magnetismo permanente ou remanescente na remoção do campo magnético externo.

As medições do campo magnético são realizadas utilizando, principalmente, magnetômetros de fluxgate ou ressonância atômica. Os magnetômetros de fluxgate medem a magnitude relativa do campo em relação a direção do sensor, enquanto o magnetômetro de ressonância mede a precessão de partículas atômicas proporcional ao campo magnético ambiente.

#### Reduções Magnéticas

As reduções nos dados magnéticos são essenciais para a remoção de efeitos de variação temporal e espacial do campo magnético terrestre (Dentith, 2014). São aplicadas duas correções, correção de variação diurna e remoção do campo magnético de referência (IGRF).

Para a correção de variação diurna, é utilizado uma estação base para registro contínuo do campo magnético durante todo o período de aquisição de dados. A redução é realizada subtraindo o registro de variação diurna dos dados observados.

O campo magnético terrestre apresenta grandes comprimentos de onda, a remoção do campo é fundamental para realce de anomalias magnéticas associadas a fontes crustais (Dentith, 2014). Em levantamentos aéreos, o gradiente do campo magnético é removido

a partir do cálculo de intensidade do campo do modelo IGRF.

#### Realce e exibição de dados

As anomalias magnéticas podem ser aprimoradas com a utilização de filtros baseados na física de campos potenciais. Milligan e Gunn (1997) descrevem a aplicação de diversos filtros em campos potenciais. Os efeitos dos filtros na resposta magnética estão ilustrados na Figura 4, aplicado a um prisma quadrado com lados verticais e descritos abaixo:

#### • Gradientes e derivadas

Os gradientes e derivadas apresentam maior sensibilidade às bordas dos corpos e são bastante utilizados como detectores de borda. As derivadas são aplicadas aos dados de anomalia magnética ( $f$ ) como um filtro de aprimoramento de detalhes, melhorando a resposta de corpos rasos em relação a corpos mais profundos (Eq. (4)) e sua unidade é dada por nT/m.

$$Dx = \frac{\partial f}{\partial x}, Dy = \frac{\partial f}{\partial y}, Dz = \frac{\partial f}{\partial z}, \quad (4)$$

A derivada de segunda ordem pode ser uma forma eficaz de realce, onde os valores próximos de zero coincidem com as bordas da fonte se suas bordas forem verticais. A utilização dos três gradientes direcionais combinados obtém o gradiente total ou sinal analítico 3D, que é dado pela equação (5):

$$AS(x, y) = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2}, \quad (5)$$

onde  $f$  é o campo magnético e sua unidade é dada em nT/m.

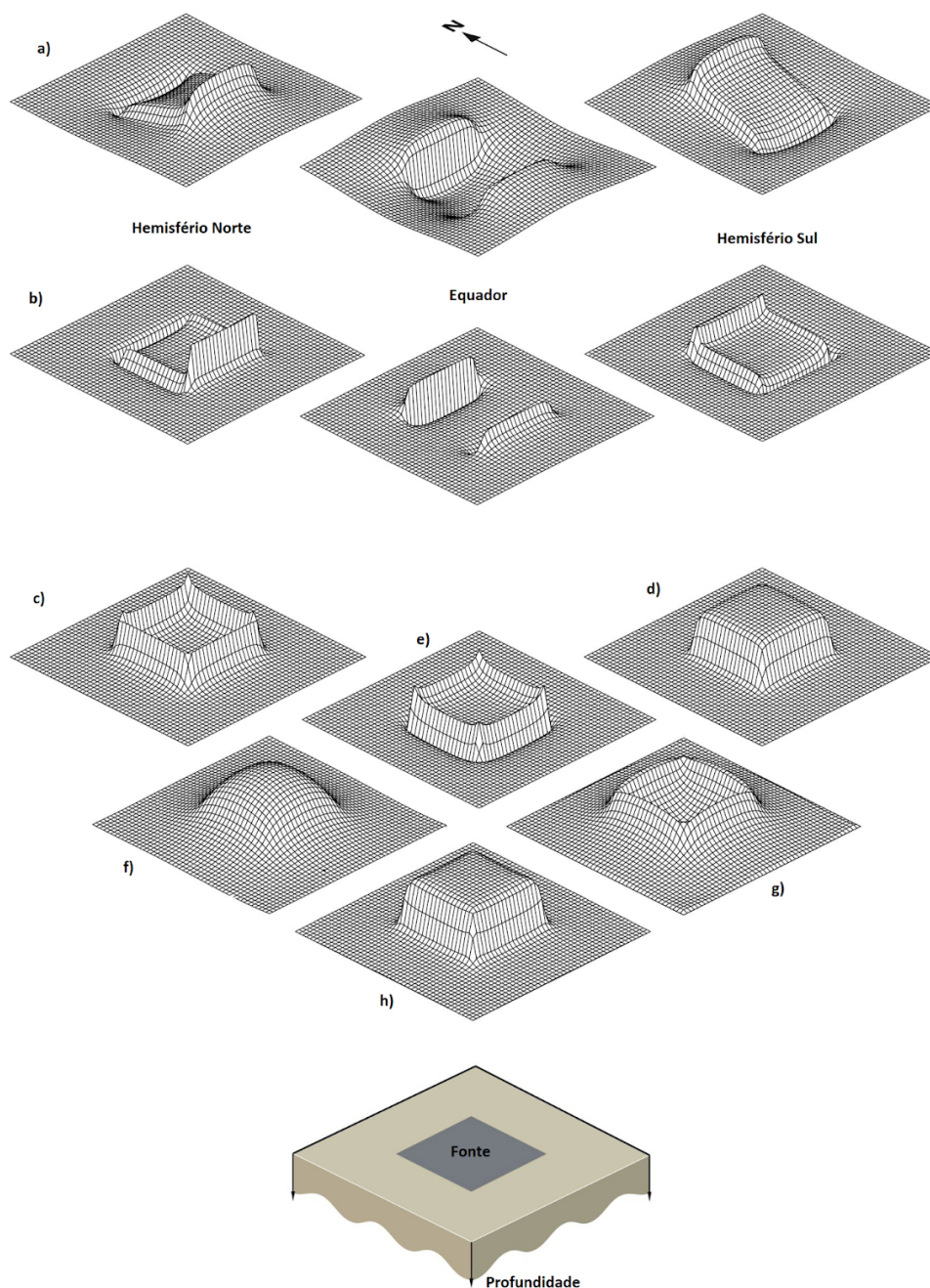
A resposta da amplitude do sinal analítico apresenta forma de crista acima do contato vertical e levemente deslocado lateralmente quando o contato está mergulhando.

As grandes amplitudes produzidas por fontes rasas nos gradientes verticais e horizontais apresenta-se como um problema de exibição e interpretação, assim, o balanceamento das amplitudes pode ser realizado dividindo a derivada vertical pela derivada horizontal. Essa relação pode ser tratada como um ângulo, onde a função tangente inversa atenua as altas amplitudes, sendo aplicado como derivada de inclinação (*TILT derivative*; Miller e Singh, 1994), calculada com a Equação (6) :

$$TDR(x, y) = \tan^{-1} \left[ \frac{\frac{\partial f}{\partial z}}{\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2}} \right], \quad (6)$$

Para corpos magnéticos verticais, a derivada de inclinação é positiva sobre a fonte, negativa fora dela e os valores zero definem linhas de contorno associados aos limites

superiores da fonte.



**Figura 4.** Efeitos da aplicação de filtros de realce em dados magnéticos sintéticos. a) Intensidade do campo magnético com magnetismo induzido direcionado para baixo, na horizontal e para cima (hemisfério norte, equador e hemisfério sul, respectivamente); b) Primeira derivada das anomalias em a); c) sinal analítico 3D; d) redução ao pólo; e) primeira derivada vertical dos dados reduzido ao pólo em d); f) pseudogravidade; g) gradiente horizontal total da pseudogravidade; h) derivada de inclinação de dados reduzidos ao pólo (Dentith, 2014).

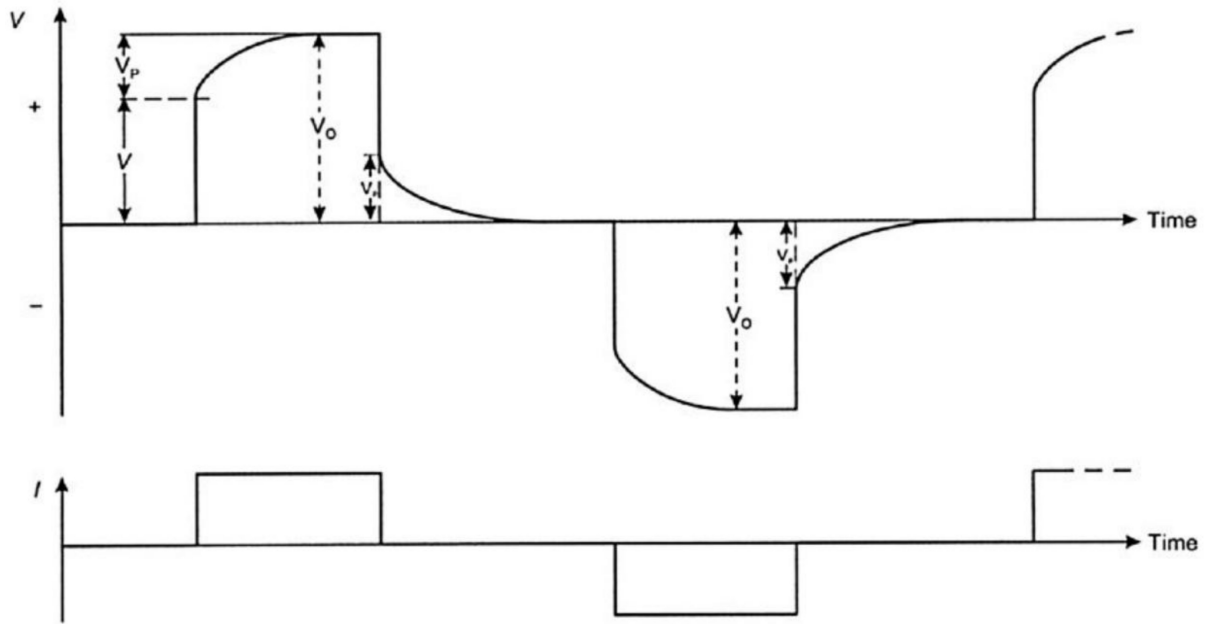
### .2.1.3 Polarização Induzida

A polarização induzida (IP) é um fenômeno físico provocado pela transmissão de uma corrente elétrica pulsante e periódica (Sumner, 1976). As aquisições são realizadas na aplicação dos arranjos convencionais da resistividade, utilizando dois eletrodos de corrente e dois eletrodos de potencial não polarizáveis. Após a injeção de corrente no solo, ocorre uma concentração de cargas em diversas partes do meio que retornam posteriormente à sua posição original quando o fluxo de corrente é interrompido. O IP pode ser medido no domínio do tempo, ocorre o decaimento do potencial remanescente após o desligamento da fonte, e no domínio da frequência destaca-se a diminuição da resistividade com o aumento da frequência (Pinto, 2017). O fenômeno da polarização induzida pode acontecer na polarização de eletrodo, quando há acumulação de cargas elétricas na superfície do mineral, e na polarização de membrana, que ocorre em minerais não metálicos e que apresentam baixa frequência e corrente eletrolítica (Ustra, 2008). Alguns minerais como a cassiterita, calcopirita, galena, grafite, pirita e pirrotita, apresentam alta condutividade eletrônica e forte resposta de IP (Reynolds, 1997).

A polarização induzida no domínio do tempo ocorre quando uma corrente é aplicada no solo e desligada posteriormente, ocorrendo um decaimento de sobretensão ao longo do tempo. Esse efeito pode ser quantificado pela medida da cargabilidade ( $M$ ), expressa em mV/V (Telford *et al.*, *op. cit.*), que é obtida através da Equação (7). O efeito também ocorre nos instantes iniciais após a aplicação da corrente, onde a voltagem aumenta gradualmente estabilizando no valor máximo  $V_0$  (Figura 5).

$$M = \left( \frac{V_P}{V_0} \right), \quad (7)$$

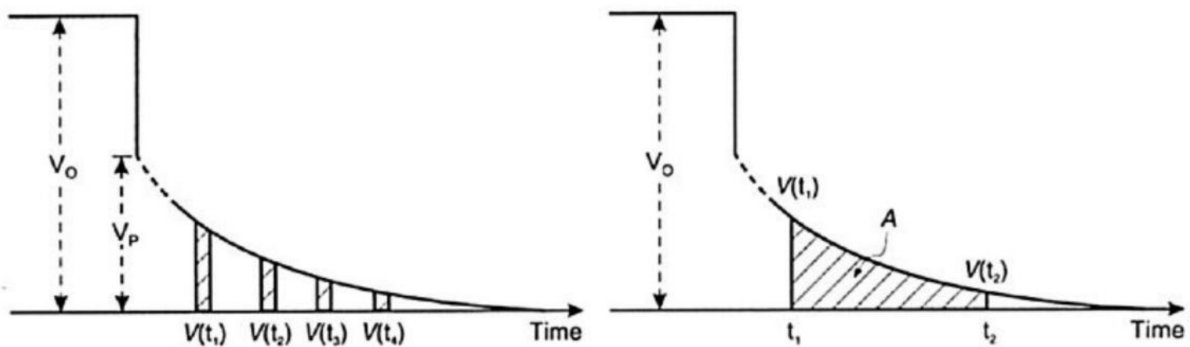




**Figura 5.** Efeito de Polarização Induzida com aplicação de um pulso de corrente com polaridade alternada (Reynolds, 1997).

Os registros são difíceis de serem medidos no momento exato que a corrente é desligada, sendo comumente realizado medições discretas ( $M_i$ ) do decaimento  $V_p$  no decorrer de um tempo fixo. A integração dos valores discretos em relação ao tempo define a curva de decaimento global ( $M_g$ ) e sua divisão por  $V_0$  resulta na cargabilidade aparente ( $Ma$ ) (Eq. (8)).

$$Ma = \frac{1}{V_0} \int_{t_1}^{t_2} V_P(t) dt = \frac{A}{V_0}, \quad (8)$$



**Figura 6.** Medições discretas do decaimento  $V_p$  a esquerda. Medição global do decaimento  $V_p$  a direita (Reynolds, 1997).

A polarização induzida no domínio da frequência, é realizada em dois tempos distintos, ou seja, em frequências distintas menores que 10 Hz, medindo a resistividade aparente, são eliminado os efeitos de acoplamento indutivo (Hallof, 1964). A variação na resistivi-



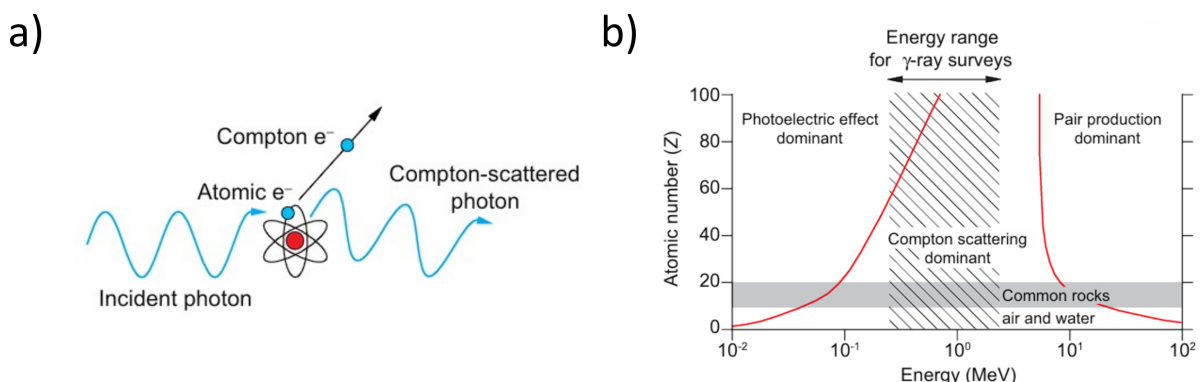
dade aparente a partir da utilização de frequências distintas ocorre em pequenos tempos de carga, com o aumento da frequência, diminui o efeito da polarização induzida e da resistividade aparente. O comprimento do decaimento é bastante curto para ser determinado, logo a amplitude da voltagem é medida em relação à corrente aplicada, obtendo o valor de resistividade ( $R$ ), que ao ser multiplicado pelo fator geométrico, é obtida a resistividade aparente.

#### .2.1.4 Gamaespectrometria

Os raios gama são radiações eletromagnéticas que possuem alta energia e frequências na faixa  $3 \times 10^{19}$  Hz até  $3 \times 10^{21}$  Hz e níveis de energia na faixa de 0,1 MeV a 3 MeV. Também podem se comportar como partículas (*fótons*). A energia da radiação gama é equivalente ao isótopo em que ela se originou (Knoll, 2010; Gilmore, 2008).

O decaimento radioativo resulta na formação de um elemento estável ou outro elemento radioativo que também sofre decaimento. A radioatividade sofre um decaimento exponencial com o tempo, e o tempo que leva para metade dos núcleos se desintegrarem, denominado meia-vida  $T(\frac{1}{2})$ . À medida que a radiação atravessa determinados materiais, ela é atenuada em espalhamento, colisão e absorção. Essa atenuação determina a profundidade na qual a radiação detectável pode-se originar e o quão próximo o sensor deve estar da fonte de radiação (Knoll, 2010).

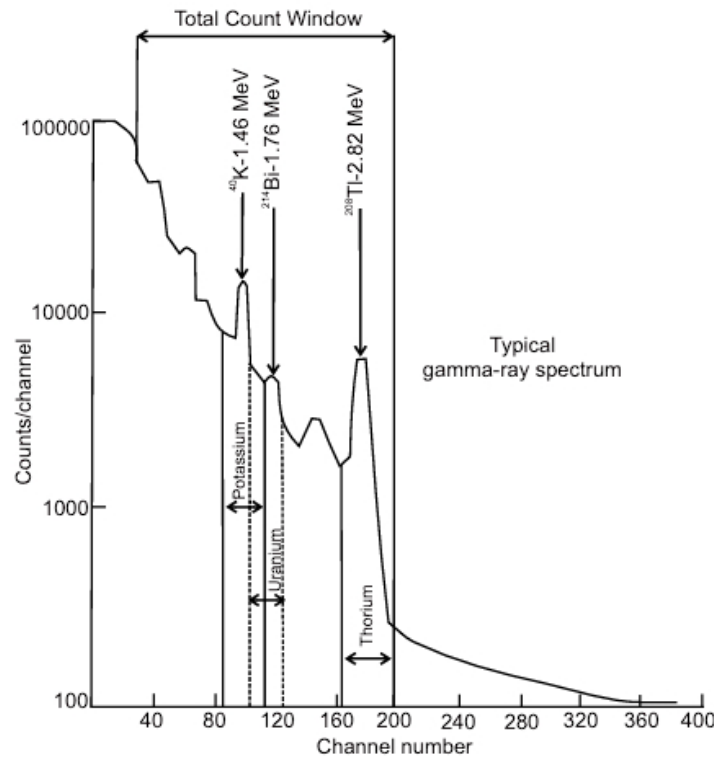
A radiação gama pode interagir com a matéria e ser atenuada de três maneiras, na qual depende da energia dos raios Gama e do número atômico do material em que viajam. Em raios gama de baixa energia, a energia do fóton é absorvida por um elétron ligada a um átomo. Em energias intermediárias, o fóton transfere sua energia para o elétron incidente e altera sua direção de movimento. Em altas energias, são criados pares de elétron-pósitron em um processo de produção de pares (Figura 7b)(Gilmore, 2008).



**Figura 7.** Representação esquemática da interação de fótons incidentes com a matéria pelo processo de espalhamento Compton (à esquerda) e os domínios de predominância dos principais processos de interação (efeito fotoelétrico, espalhamento Compton e produção de pares) em função do número atômico e da energia dos fótons (à direita).

Os elementos radioativos que ocorrem naturalmente e possuem maior abundância na crosta terrestre são: potássio (K), urânio (U) e tório (Th). Os demais elementos radioativos são raros e fracamente radioativos. Apesar de ser volumetricamente abundante na crosta, apenas o  $^{40}\text{K}$  é radioativo, com meia vida de  $1.31 \times 10^9$  anos. O único isótopo natural do Th e que apresenta radioatividade é o  $^{232}\text{Th}$ . O urânio possui dois isótopos radioativos, o  $^{238}\text{U}$  e  $^{235}\text{U}$ , porém o  $^{235}\text{U}$  apresenta apenas 0,72% do urânio que ocorre naturalmente, enquanto o  $^{238}\text{U}$  representa 99,275% (Wieser, 2012; IAEA, 2003).

As séries de decaimento radioativo apresentam níveis de energia diagnósticos que podem ser medidos por sensores (Figura 8). O  $^{40}\text{K}$  tem nível de energia de 1,46 MeV; O  $^{232}\text{Th}$  que decai da série do  $^{208}\text{Tl}$ , apresenta nível de energia de 2,62 MeV; O  $^{238}\text{U}$  que decai da série do  $^{214}\text{Bi}$  apresenta nível de energia de 1,76 MeV (IAEA, 2003; Knoll, 2010).



**Figura 8.** Níveis de energia das series de decaimento dos elementos K, Th e U.

### .3 Materiais e Métodos

Nesta seção será apresentado os materiais e métodos aplicados na realização deste projeto.

### .3.1 Aerogeofísica

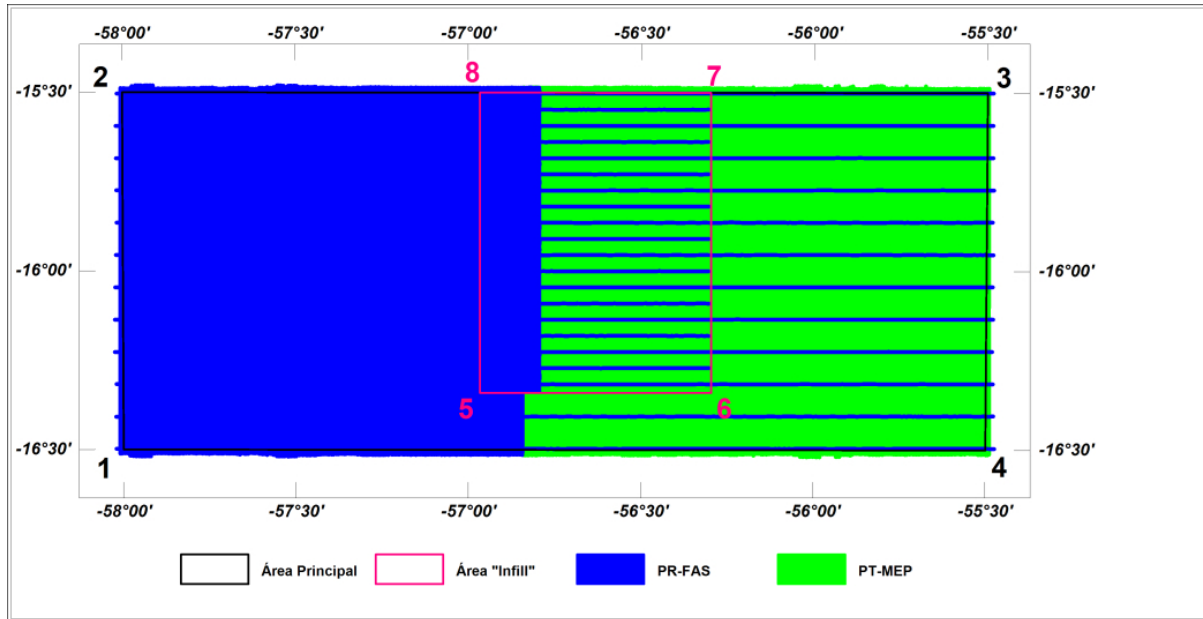
#### .3.1.1 Base de Dados Aerogeofísicos

Os dados magnetométricos e gamaespectrométricos utilizados neste trabalho correspondem ao Programa Geologia do Brasil (PGB), na execução do Projeto Aerogeofísico Cuiabá. O Projeto Aerogeofísico Cuiabá foi realizado na porção sul do Estado do Mato Grosso (Figura 9).



**Figura 9.** Localização da área do Projeto Aerogeofísico Cuiabá em vermelho (CPRM, 2014)

O levantamento aerogeofísico obteve o recobrimento de 77.698,54 km de perfis aeromagnetométricos e aerogamaespectrométricos de alta resolução, executando linhas de voo e linhas de controle espaçadas de 0,25 e 0,5 km (linhas de voo) e, 10 km (linhas de controle), orientadas em N-S e E-W, respectivamente. A aeronave Cessna C208B Caravan PR-FAS e PT-MEP foram utilizadas no levantamento (Figura 10).



**Figura 10.** Mapa da área do levantamento com linhas de voo (CPRM, 2007).

A aeronave PR-FAS realizou as aquisições entre 12 de março de 2014 e 31 de maio de 2014. O magnetômetro utilizado é do modelo *Scintrex CS-2* acoplado ao sensor de vapor de césio com resolução de 0,001 nT e faixa de 20.000 - 100.000 nT. As leituras foram realizadas a cada 0,1 segundo e com altura média de voo de 100 metros.

### .3.2 Aquisições Terrestres

#### .3.2.1 Eletrorresistividade e Polarização Induzida

Para elaborar o protocolo de registro de dados de Eletrorresistividade e Polarização Induzida no domínio do tempo foi utilizado o *software Electre II*, da empresa *IRIS Instruments*. Os parâmetros definidos para a Polarização Induzida no domínio do tempo foram: tempo de leitura de 2 segundos;; arranjo Pólo-Dipolo; espaçamento de eletrodos de 25 metros.

A aquisição de dados foi realizada com o equipamento *Syscal Electre Pro 72* da *IRIS Instruments*. Para a Polarização Induzida no domínio do tempo foram realizados 13 seções de 700 a 1000 metros, e para o contato no solo foi utilizado eletrodos porosos e eletrodo de aço carbono para injeção de corrente.

Ao término das aquisições de campo, os dados são importados para um computador por meio do *software Prosys II*, para redução e filtragem dos dados. Foi realizada a remoção de dados com base na curva de decaimento do potencial elétrico fora do comportamento exponencial e a remoção de valores negativos ou nulos. As modelagens dos dados ocorreram no *software Res2dinv* (Geotomo). Nas modelagens aplicou-se a rotina de inversão robusta (Claerbout e Muir, 1973). Por fim, os dados foram exportados para o

*Excel*, onde é realizada a organização dos arquivos para, posteriormente, serem exportados em XYZ e inseridos no *software Oasis Montaj*, para a correlação dos dados.

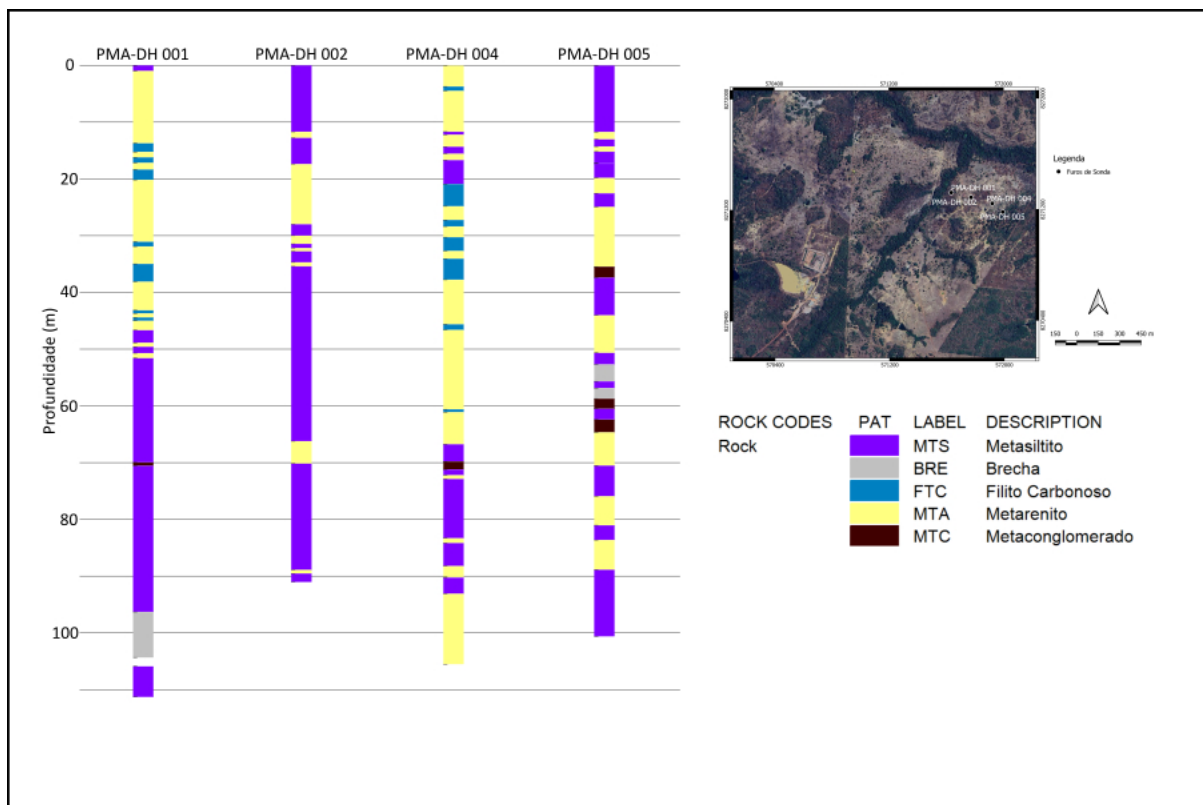
### **.3.2.2 Gamaespectrometria**

A coleta de dados de emissão de radiação gama dos radioelementos K, U e Th foi realizado com o gamaespectrômetro portátil de 1024 canais, RS-230, da Radiation Solutions Inc. IAEA (2003) determina que o tempo de amostragem necessário para a medição depende da radioatividade da fonte e da precisão necessária. Devido as limitações de campo, optou-se por uma janela temporal de 30 segundos e amostragem espacial ao longo de perfis, com estações de registro a cada 20 metros. Os dados de gamaespectrometria registrados em campo foram filtrados e convertidos para o formato \*.XYZ e visualizados no *software Oasis Montaj* (*Sequent*).

### **.3.3 Propriedades Físicas de Rochas**

A coleta de dados de susceptibilidade magnética foi realizada em abril de 2025, na qual foi possível verificar a descrição dos testemunhos de sondagem e coleta de dados de susceptibilidade magnética nos furos PMA-DH 001, PMA-DH 002, PMA-DH 004 e PMA-DH 005, representadas na Figura 29.

A coleta de dados de susceptibilidade magnética foi realizada a cada 0,3 metro para regiões sem mineralização e 0,1 metro para regiões com mineralização, totalizando: 406 leituras para o furo PMA-DH 001, 678 leituras para o furo PMA-DH 002, 763 leituras para o furo PMA-DH 004 e 816 leituras para o furo PMA-DH 005, com profundidades em metros de 110.5, 91.9, 106.2 e 100.9, respectivamente.



**Figura 11.** Seção vertical intersectando os furos de sondagem PMA-DH 001, PMA-DH 002, PMA-DH 004 e PMA-DH 005.

### .3.4 Petrografia

Para a área de detalhe foram confeccionadas e descritas dezenove lâminas petrográficas, no Laboratório de Laminação da Universidade de Brasília, a partir dos testemunhos de sondagem referente aos furos PMA-DH 001, PMA-DH 002, PMA-DH 004 e PMA-DH 005 (34,20 m – 83,55 m), com profundidades que variam de 35 a 86 metros, respectivamente. As descrições foram realizadas no Laboratório de Microscopia Ótica do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília por meio de microscópio com luz transmitida (para minerais translúcidos) e luz refletida (para minerais opacos).

A análise petrográfica teve como foco a identificação da mineralogia e das estruturas dos minérios e suas encaixantes, além da correlação com os dados petrofísicos obtidos nos furos de sondagem.

# Capítulo 2

## Delimitação de Zonas Potenciais para Mineralizações Auríferas na Baixada Cuiabana (MT) com base em Dados Aerogeofísicos e Evidências de Campo

Genesson Delmondes Castro, Welitom Rodrigues Borges, Marcelo Henrique Leão-Santos

*<sup>a</sup> University of Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, Brasília, 70910-900, Distrito Federal, Brasil*

### Resumo

A aplicação de métodos geofísicos na pesquisa mineral comumente reduz os riscos e os custos associados, uma vez que a resposta geofísica, quando correlacionada com dados geológicos, permite identificar zonas mais favoráveis à ocorrência de minério. Este trabalho concentra-se na região da Baixada Cuiabana, Mato Grosso, reconhecida como área de relevância na produção mineral, especialmente de ouro. O objetivo principal é caracterizar a assinatura geofísica de depósitos auríferos associados a sulfetos disseminados na região de estudo. Para isso, foram utilizados dados aerogeofísicos de magnetometria e gamaespectrometria obtidos pela SGB/CPRM, os quais foram processados, integrados e interpretados em correlação com a geologia regional. A pesquisa resultou na elaboração de um modelo de favorabilidade prospectiva, que permite indicar eventuais anomalias relacionadas aos depósitos auríferos da região.

depósito aurífero, sulfeto, aerogeofísica

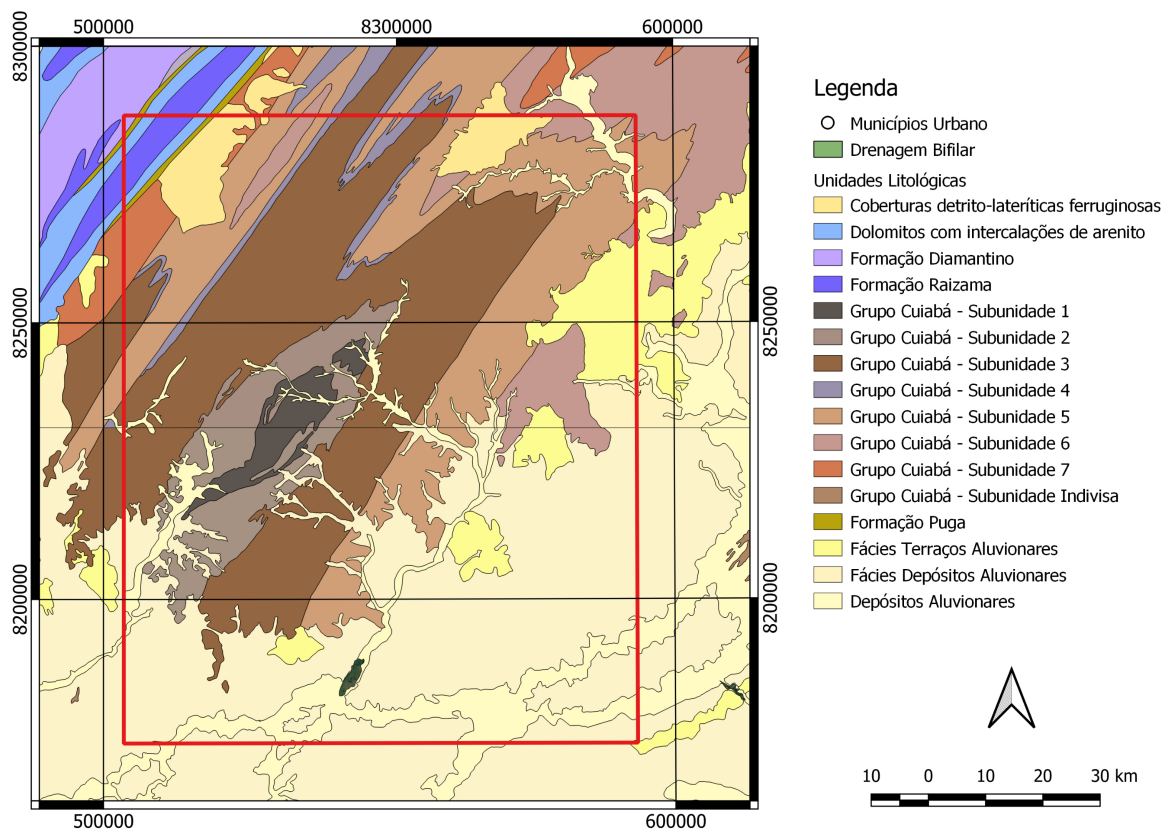
## .2 Introdução

O estado do Mato Grosso possui enorme destaque na produção mineral do Brasil, com foco em ouro, diamante, manganês, estanho, zinco e rochas carbonáticas (CPRM, 2004; SEDEC, 2023). No estado do Mato Grosso, destaca-se a Baixada Cuiabana, região que compreende os limites entre a Chapada dos Guimaraes, a Província Serrana e o Pantanal Mato grossense, com relevo de forma rampeada e altimetria em torno de 200 metros ao sul, podendo atingir até 450 metros ao norte (Almeida, 1964). Os depósitos auríferos da região da Baixada Cuiabana apresentam-se como depósitos hidrotermais – ouro em veios

de quartzo com pirita (Paula e Demore, 1984), depósitos de enriquecimento supergenico – em platôs lateríticos, ocorrendo em forma de pepitas e depósitos de Placers – em depósitos de aluviões e elúvios e colúvios quartzosos.

A aplicação dos métodos geofísicos como forma de investigação para caracterização do meio, localização de alvos e estruturas de interesse, apresentam uma vantagem significativa devido às investigações indiretas, tornando-a muito eficiente. Os métodos elétricos e eletromagnéticos, possuem fundamental importância para prospecção de depósitos auríferos associados a sulfetos, maciços ou disseminados. A compreensão da geologia e da geometria desses depósitos, é essencial para o desenvolvimento de estratégias de exploração eficientes.

A área de estudo situa-se na região da Baixada Cuiabana, no estado do Mato Grosso, localizada no município de Nossa Senhora do Livramento inserido no contexto litológico do Grupo Cuiabá (Figura 12).



**Figura 12.** Localização da área de estudo sobreposto ao mapa litológico (adaptado de CPRM, 2004).



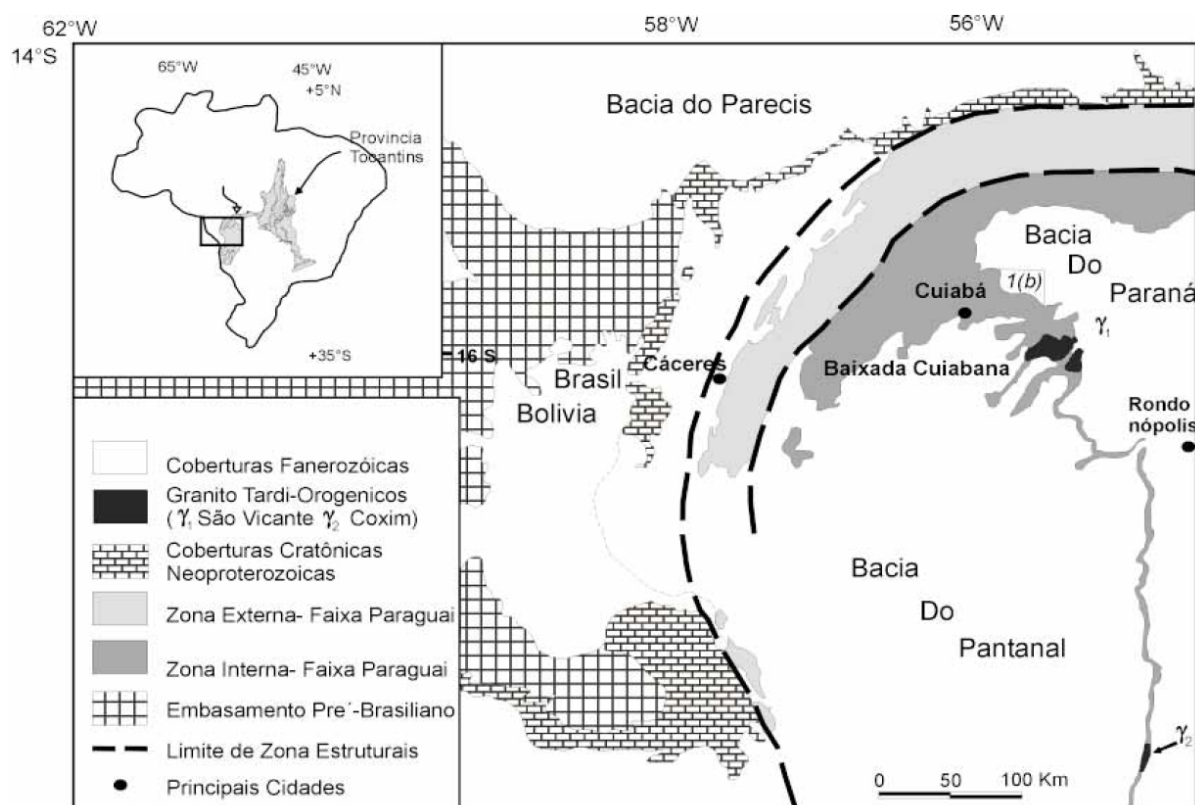
## .3 Contexto Geológico

### .3.1 Grupo Cuiabá

A geologia da região é caracterizada pelas ocorrências de rochas pertencentes ao Grupo Cuiabá, Zona Interna da Faixa Paraguai. Estudos recentes, como o de Vasconcelos (2018), refinaram a cronologia do Grupo Cuiabá, definindo-o como uma sequência de margem passiva mesoproterozóica c. de 900 Ma, e uma segunda sequência ediacarana de margem convergente, de idade neoproterozoica c. de 620 Ma. A sedimentação final da Faixa Paraguai ocorreu até o Cambriano. A estratigrafia da região foi estudada por Tokashiki e Saes (2008), que caracterizaram três unidades para o Grupo Cuiabá: Campina de Pedras Acorizal e Coxipó.

Na Zona Interna da Faixa Paraguai há ocorrências de plutons Pós-Orogênicos, como o Granito São Vicente, intrusivos no Grupo Cuiabá, de composição granítica e granodiorítica (Alvarenga, 1990; McGee *et al.*, 2011). Apresenta rochas metassedimentares que foram deformadas e metamorfizadas em fácies xisto verde, posteriormente intrudidas pelo Granito São Vicente e, recobertas por sedimentos das bacias do Pantanal e Paraná (Figura 13)(Alvarenga, 1990). As rochas da Faixa Paraguai são descritas por Alvarenga (1990) em quatro grupos principais: unidade inferior, unidade glácio-marinha; unidade carbonatada; unidade superior dentrítica.

Luz *et al.* (1980), Alvarenga (1986), Seer (1985) e Seer e Nilson (1985) identificaram, em regiões distintas, diversas fases de deformações, na qual caracterizou a Baixada Cuiabana. Estudos realizados por Silva *et al.* (2002), na região de Cuiabá, descreve a complexidade estrutural que incluem dobras fechadas, inversas e isoclinais com mergulhos que variam de 40° a 60° NW e eixos com caimentos de até 15° NE. Paralelo às direções de acamamentos ocorrem falhas inversas com mergulhos de 45° a 50° NW e, presença de veios de quartzo concordante à estrutura regional e mergulho entre 25° a 40° NW.



**Figura 13.** Contexto geológico regional da Baixada Cuiabana (Alvarenga, 1990).

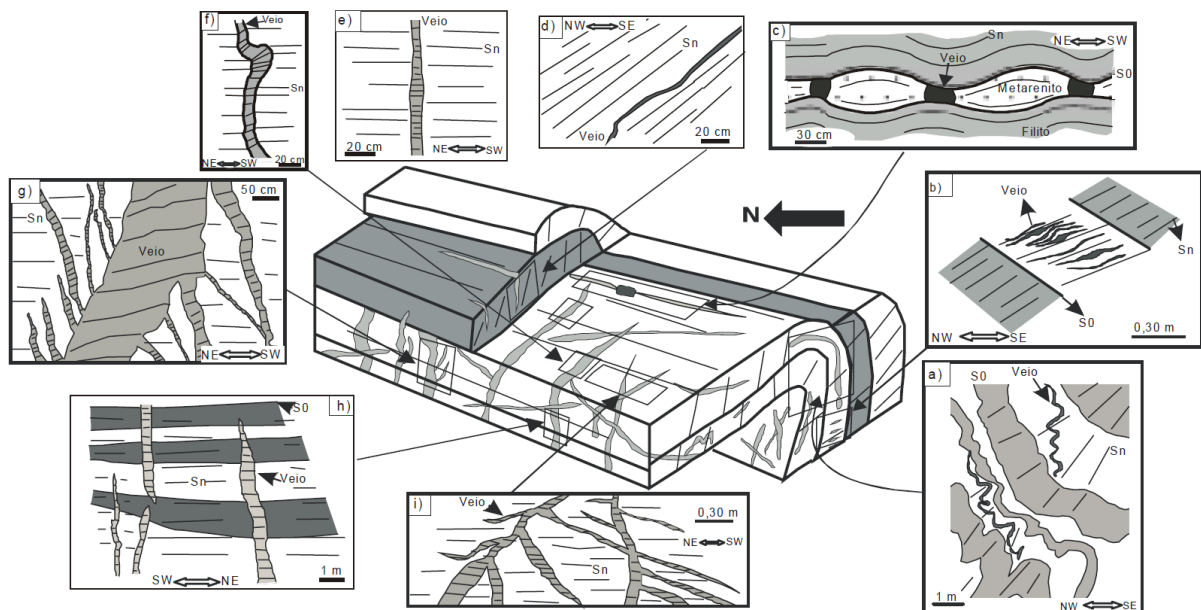
### 3.1.1 Mineralizações Auríferas

A mineração de ouro ocorria, principalmente, por garimpos em veios e filões, sendo a principal forma de produção até a década de 2000 e, recentemente, o aumento de produção de ouro em sulfetos disseminados e em rochas metassedimentares (Silva *et al.*, 2002; Garcia *et al.*, 2022). A mineralização primária teve o aumento de produção devido a escassez dos recursos em aluviões próximos a veios auríferos. A partir desse tipo de produção, foi possível obter novos conhecimentos sobre as mineralizações auríferas da região, além do aprimoramento de conhecimento de depósitos não aflorantes.

Luz et al (1980) apresenta três possíveis fontes para as mineralizações auríferas na região da Baixada Cuiabana: A primeira, hidrotermal associada às intrusões ácidas em São Vicente e Barão de Melgaço; A segunda, o ouro coloidal depositado em ambientes de sedimentação ou horizontes ferruginosos, que foram remobilizados em veios de quartzo durante o metamorfismo; A terceira, ocorre a remobilização do ouro a partir de metamorfismo de rochas ígneas básicas, decorrente de sequências metassedimentares de regiões adjacentes.

As mineralizações auríferas da Baixada Cuiabana ocorrem em maiores teores em veios de direção NW, perpendiculares aos cisalhamentos regionais, que ocorrem em direção N20°-40°E. Esses veios estão relacionados a sistemas de fraturas distensionais e que foram preenchidas sin-a-tardi deformacional, As mineralizações também ocorrem em cisa-

lhamentos transcorrentes na direção NE e, em fraturas ortogonais (Figura 27)(Alvarenga, 1990 e Silva, 2002).



**Figura 14.** Bloco diagrama (ao centro) ilustrando as relações geométricas dos vários tipos de veios com uma dobra Dn. Os desenhos foram confeccionados a partir de fotos e observações de campo e estão fora de escala. A dobra Dn no bloco diagrama é esquemática (Segundo Silva *et al.*, 2002). a) veio dobrado subparalelo a S0 (tipo 1) em corte; b) arranjo de veios escalonados subparalelos a Sn (tipo 2) em corte; c) veios em neck de boudin (tipo 3), em planta; d) veio subparalelo à foliação Sn (tipo 2) em corte; e) veio tabular subperpendicular a Sn (tipo 3), em planta; f) veio tabular subperpendicular a Sn (tipo 3), em planta, dobrado, com Sn em posição plano axial; g) veio tabular subperpendicular a Sn (tipo 3), em corte vertical, com várias ramificações; h) vários veios tabulares, subperpendiculares a Sn (tipo 3), em corte vertical; i) veios tabulares subperpendiculares a Sn (tipo 3), em planta

## **.4 Materiais e Métodos**

### **.4.1 Base de Dados Aerogeofísicos**

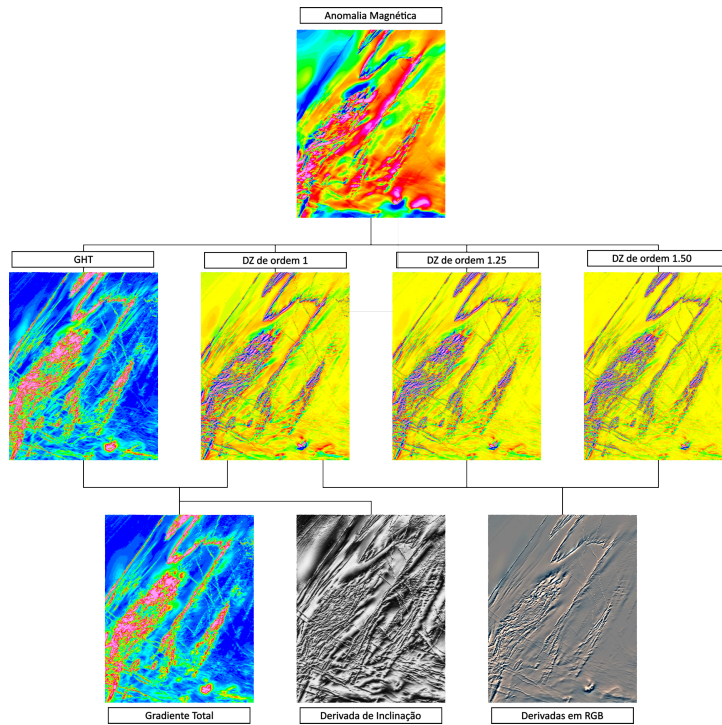
Os dados magnetométricos e gamaespectrométricos e utilizados neste trabalho correspondem ao Programa Geologia do Brasil (PGB), na execução do Projeto Aerogeofísico Cuiabá. O Projeto Aerogeofísico Cuiabá foi realizado na porção sul do Estado do Mato Grosso (CPRM, 2014).

O levantamento aerogeofísico obteve o recobrimento de 77.698,54 km de perfis aeromagnetométricos e aerogamaespectrométricos de alta resolução, executando linhas de voo e linhas de controle espaçadas de 0,25 e 0,5 km (linhas de voo) e, 10 km (linhas de controle), orientadas em N-S e E-W, respectivamente. A aeronave Cessna C208B Caravan PR-FAS e PT-MEP foram utilizadas no levantamento.

A aeronave PR-FAS realizou as aquisições entre 12 de março de 2014 e 31 de maio de 2014. O magnetômetro utilizado é do modelo *Scintrex CS-2* acoplado ao sensor de vapor de césio com resolução de 0,001 nT e faixa de 20.000 - 100.000 nT. As leituras foram realizadas a cada 0,1 segundo e com altura média de voo de 100 metros. O gamaespectrômetro utilizado é do modelo Exploranium GR-820, que possui 256 canais espectrais e intervalo de leitura a cada 1 segundo.

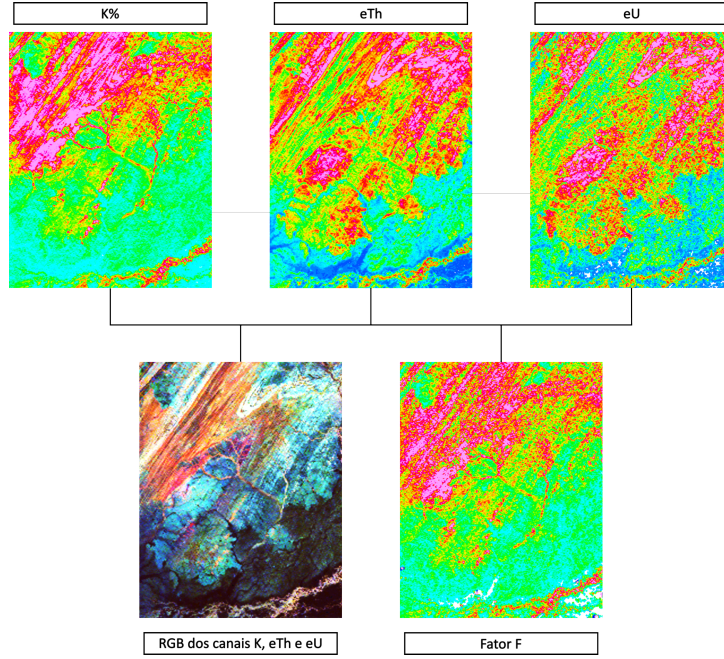
### **.4.2 Processamento dos Dados**

A análise e filtragem dos dados magnetométricos foram realizadas no *software Oasis Montaj (Seequent)*. Foi utilizado o método de interpolação *Bi-directional*, com célula de malha de 125 metros para gerar o produto da anomalia magnética. Posteriormente, realizado os filtros de realce: derivada vertical de ordem 1 (Red), ordem 1.25 (Green) e ordem 1.50 (Blue) para confecção do mapa RGB, gradiente horizontal total, gradiente total ou sinal analítico 3D, derivada de inclinação - TILT. A rotina de processamento é apresentada na Figura 15.



**Figura 15.** Produtos gerados na aeromagnetometria a partir da anomalia magnética e realces realizados.

Para a gamaespectrometria foram realizadas no *software Oasis Montaj (Sequent)*. Foi utilizado o método de interpolação *mínima curvatura*, com célula de malha de 125 metros. Posteriormente, foram realizados os produtos de potássio (K), tório equivalente (eTh), urânio equivalente (eU), Fator F (Gnojek e Prichystal, 1985) e mapa ternário (Figura 16).



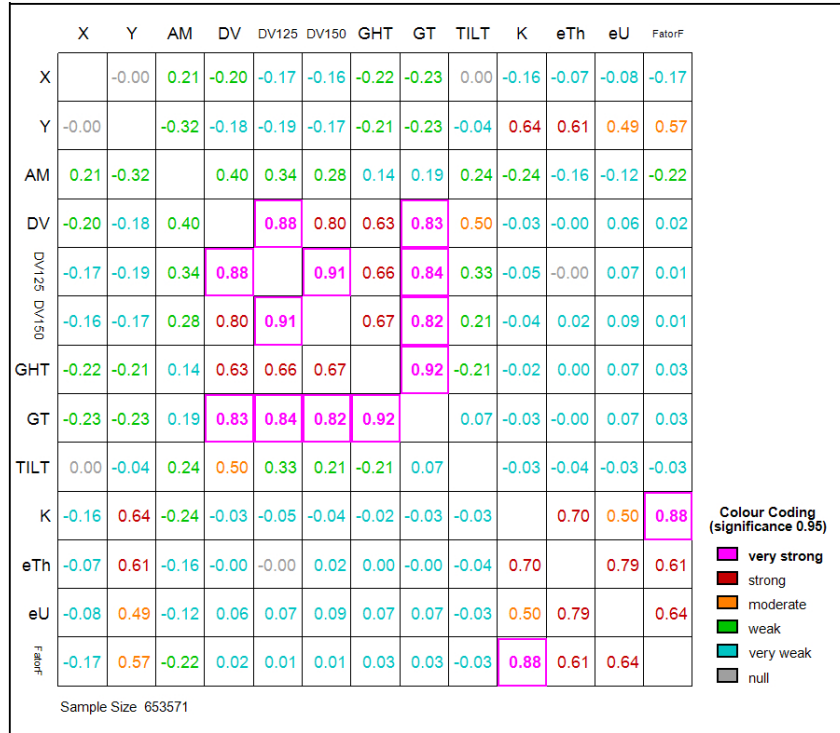
**Figura 16.** Produtos gerados na aerogamaespectrometria. a) Mapa de potássio; b) Mapa de tório equivalente; c) Mapa de urânio equivalente; d) Mapa ternário.

### .4.3 Correlação de Dados

As zonas de favorabilidade foram definidas utilizando o método de correlação de Pearson, que se baseia em medida estatística que quantifica a relação entre duas variáveis. As correlações são calculadas a partir da equação:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

A correlação amostral calculada é apresentada de acordo com os níveis muito fraco, fraco, moderado, forte e muito forte. A matriz de correção é gerada para o grupo de dados obtidos a partir dos produtos de magnetometria e gamaespectrometria (Figura 18 e 21).



**Figura 17.** Matriz de correlação de Pearson

A partir da análise da matriz de correlação, optou-se pela utilização do método de Knowledge Drive, baseado na análise de dados previamente conhecidos. A análise considera variáveis binárias relacionadas aos produtos que obtiveram melhores correlações e classificadas de acordo com a relevância para as ocorrências de ouro conhecidas na região de estudo (Bonham Carter, 1997; Nóbrega, 2001; Madani, 2011). As variáveis foram definidas foram os produtos de correlação de gradiente horizontal total e gradiente total, derivada vertical de ordem 1.25 e derivada vertical de ordem 1.50, razão eTh e eU e Fator F (Figura 24).

## .5 Resultados e Discussões

A partir dos produtos obtidos, foi possível realizar a interpretação dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. Na magnetometria foi realizado a extração de lineamentos magnéticos automáticos com análise de HillShade nas direções 45 e 315 graus (Figura 22). A análise dos produtos de gamaespectrometria permitiu a identificação de padrão de distribuição dos elementos de K, eTh e eU (Figura 18).

### .5.1 Interpretação Gamaespectrométrica

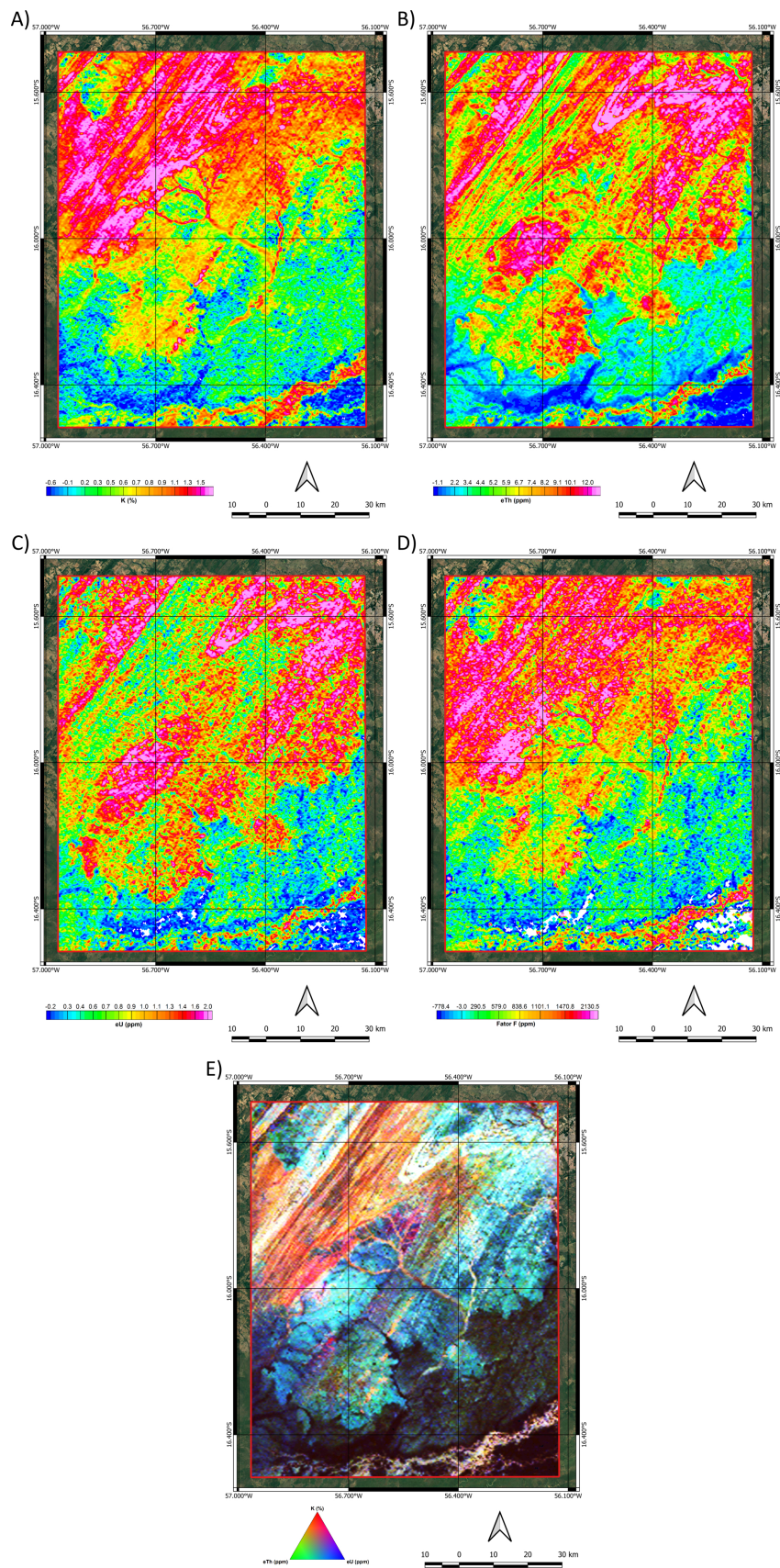
A análise dos produtos de gamaespectrometria permitiu a identificação de padrão de distribuição dos elementos de K, eTh e eU (Figura 18).

**Tabela 1.** Análise dos domínios radiométricos com base na composição RGB (K, eTh, eU)

| Domínio | Cor Predominante     | K (%)       | eTh (ppm)   | eU (ppm)    |
|---------|----------------------|-------------|-------------|-------------|
| 1       | branco a ciano       | Médio       | Médio       | Alto        |
| 2       | Vermelho-amarelado   | Alto        | Médio       | Baixo       |
| 3       | Azul escuro          | Baixo       | Baixo       | Médio/Alto  |
| 4       | Azul-esverdeado      | Baixo       | Médio       | Médio       |
| 5       | Branco a ciano       | Médio       | Médio       | Alto        |
| 6       | Azul-esverdeado      | Baixo       | Médio       | Médio       |
| 7       | Vermelho-amarelado   | Alto        | Médio       | Baixo       |
| 8       | branco a ciano       | Médio       | Médio       | Alto        |
| 9       | Azul-esverdeado      | Baixo       | Baixo       | Alto        |
| 10      | Preto a roxo escuro  | Muito baixo | Muito baixo | Muito baixo |
| 11      | Verde-azulado escuro | Baixo       | Médio       | Médio       |
| 12      | Azul-esverdeado      | Baixo       | Baixo       | Alto        |

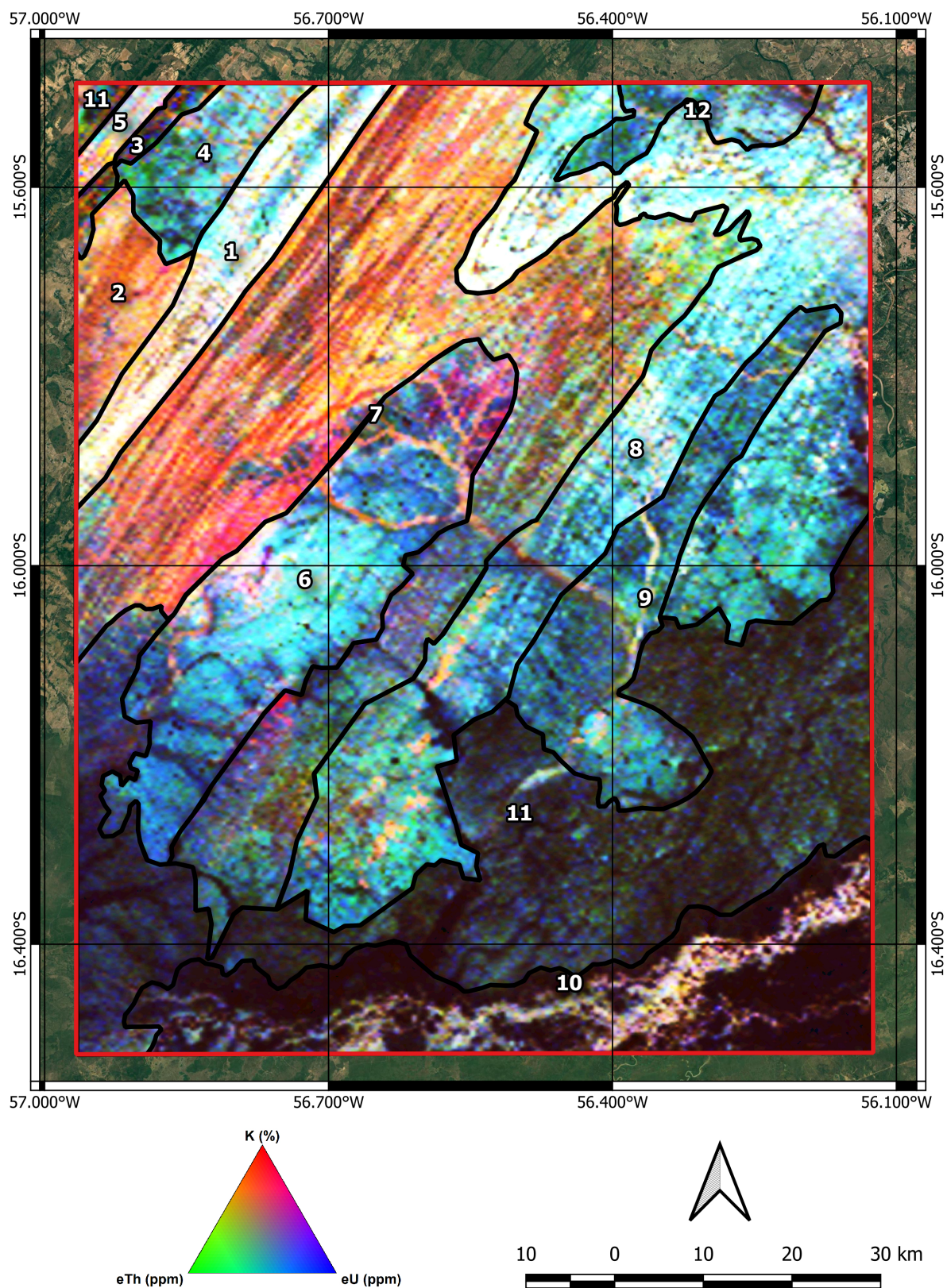
A análise do mapa ternário dos radioelementos K, eTh e eU e dos mapas individuais permitiu a identificação de padrões de distribuição de elementos, possibilitando a delimitação de áreas de com assinaturas semelhantes (Figura 19). Os critérios estabelecidos para a definir os domínios foi a distribuição em proporção e classificado em baixa, média ou alta concentração. Assim, foram definido 12 domínios de concentração, conforme Tabela 1.



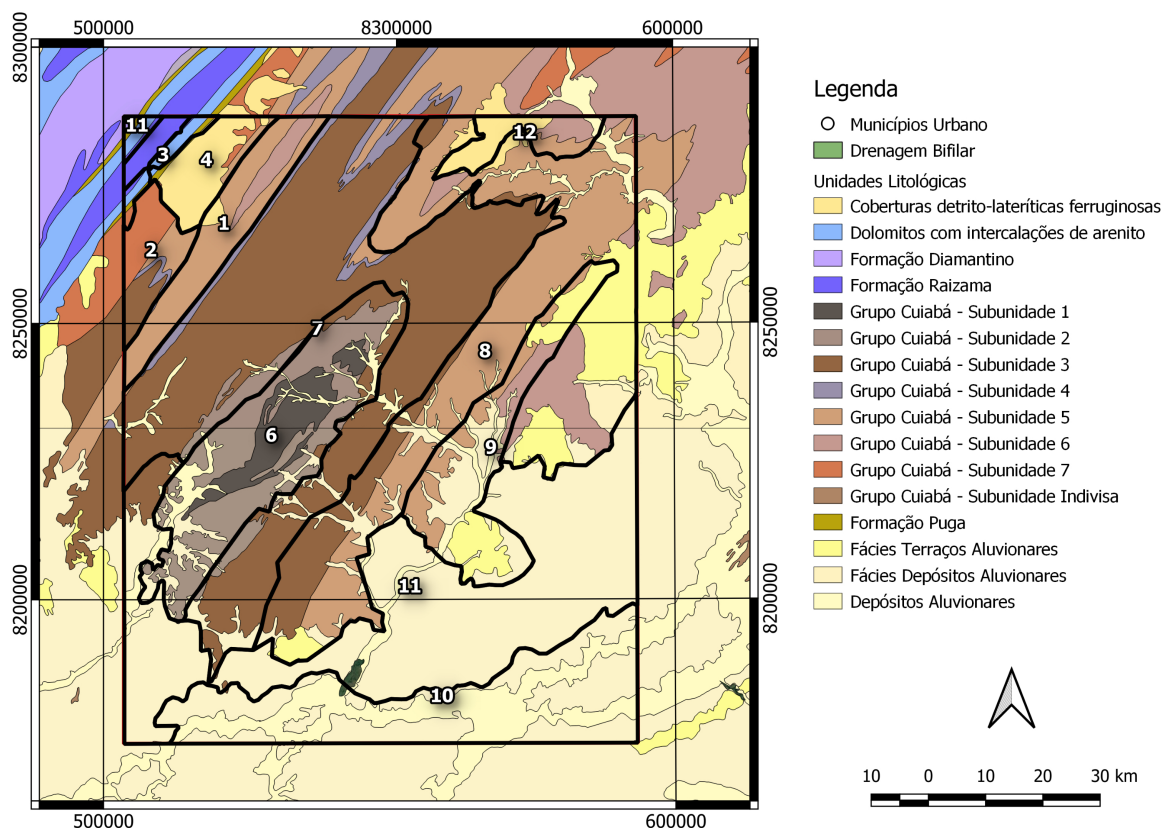


**Figura 18.** Produtos gerados na aerogamaespectrometria. A) Mapa de potássio; B) Mapa de tório equivalente; C) Mapa de urânio equivalente; D) Mapa Fator F; E) Mapa ternário dos radioelementos de K, eTh e eU.





**Figura 19.** Mapa de domínios gamaespectrométricos extraídos do mapa ternário

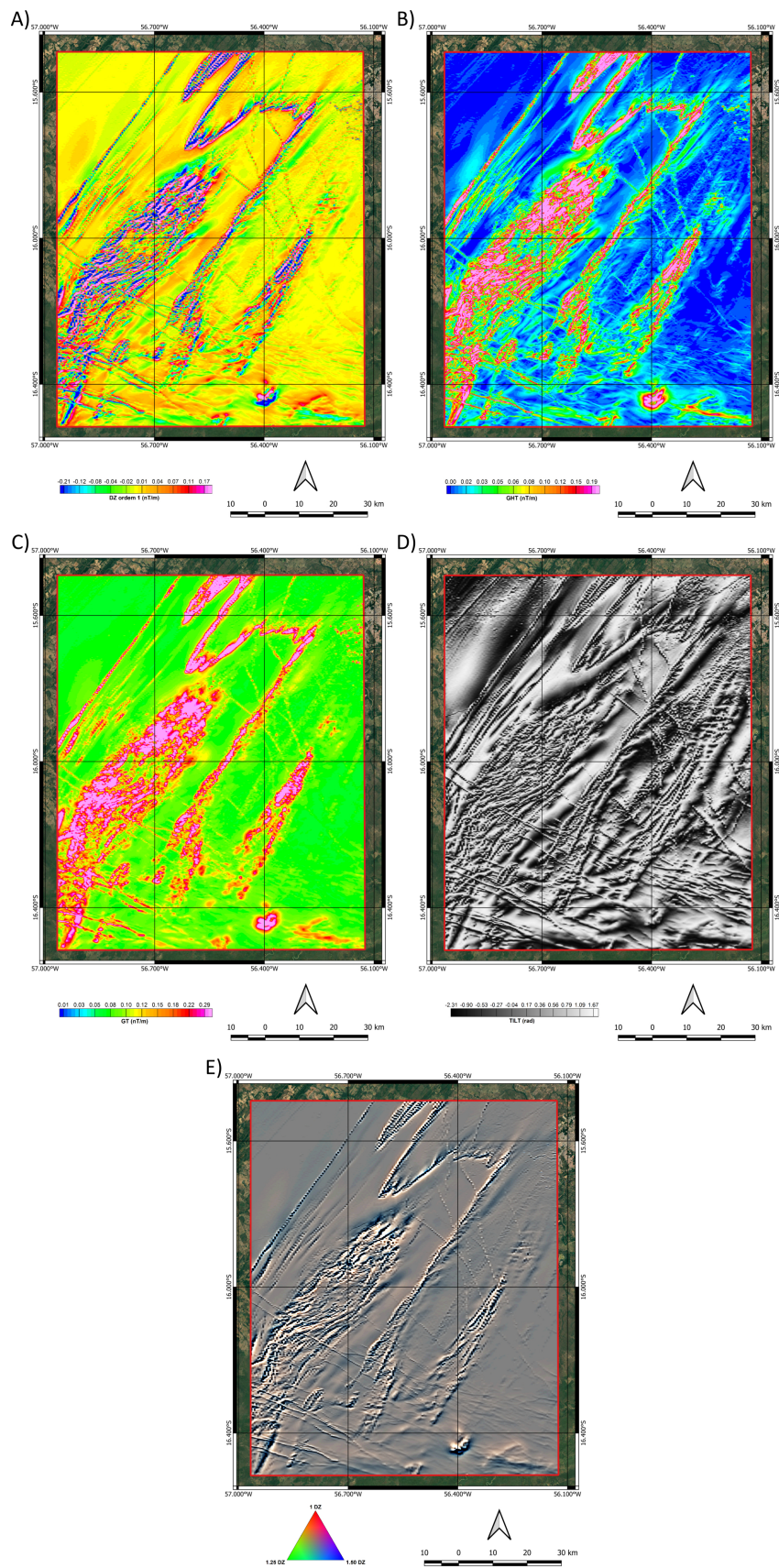


**Figura 20.** Mapa de domínios gamaespectrométricos sobreposto ao mapa litológico da região (adaptado de CPRM, 2004)

## .5.2 Interpretação Magnetométrica

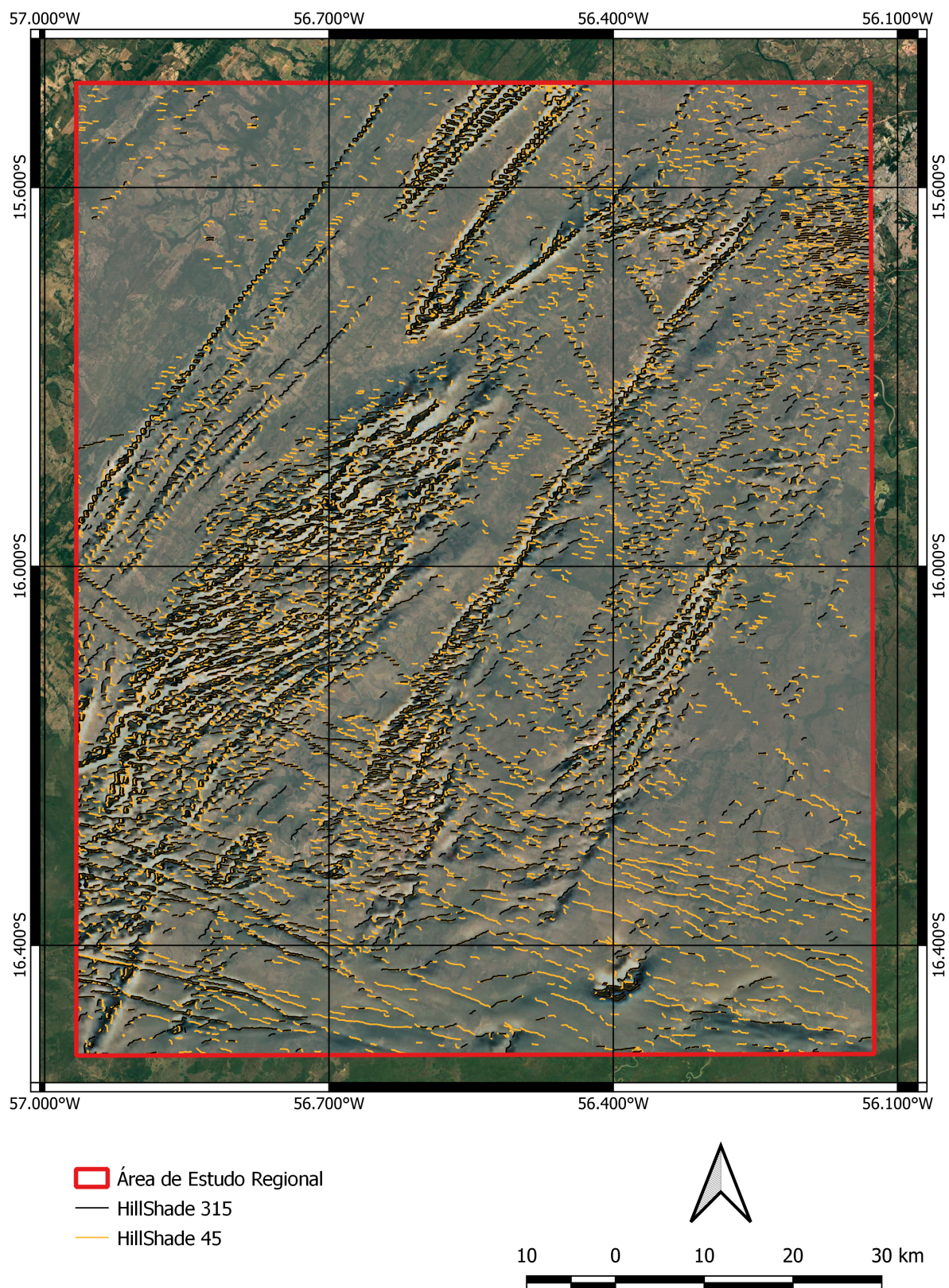
Com base nos produtos de derivadas vertical, gradiente horizontal total, gradiente total, derivada de inclinação de mapa ternário RGB das derivadas verticais de ordem 1, 1.25 e 1.50, os lineamentos magnéticos foram delimitados e interpretados como a resposta de estruturas como falhas e zonas de cisalhamento. Os lineamentos magnéticos revelam três tendências estruturais principais: NE, EW e NW, como pode ser observado no mapa de interpretação de lineamentos magnéticos e nos diagramas de roseta obtidos (Figuras 22 e 23) .



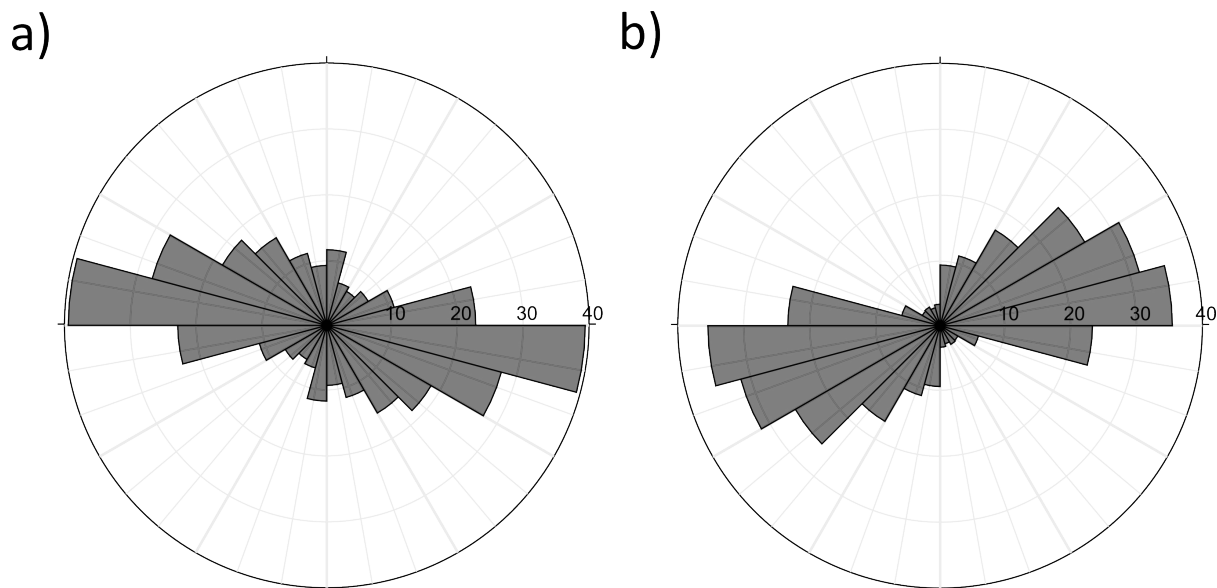


**Figura 21.** Produtos gerados na aeromagnetometria. a) Mapa de derivada vertical de ordem 1; b) Mapa gradiente horizontal total; c) Mapa de gradiente total; d) Mapa de derivada de inclinação; e) Mapa de composição RGB das derivadas verticais de ordem 1, 1.25 e 1.50.





**Figura 22.** Mapa de lineamentos magnéticos extraídos, sobreposto ao mapa ternário de derivada vertical



**Figura 23.** Diagrama de roseta obtido dos produtos a partir da extração de Hillshade em direção a) 45° b) 315° (*StereoNet*).

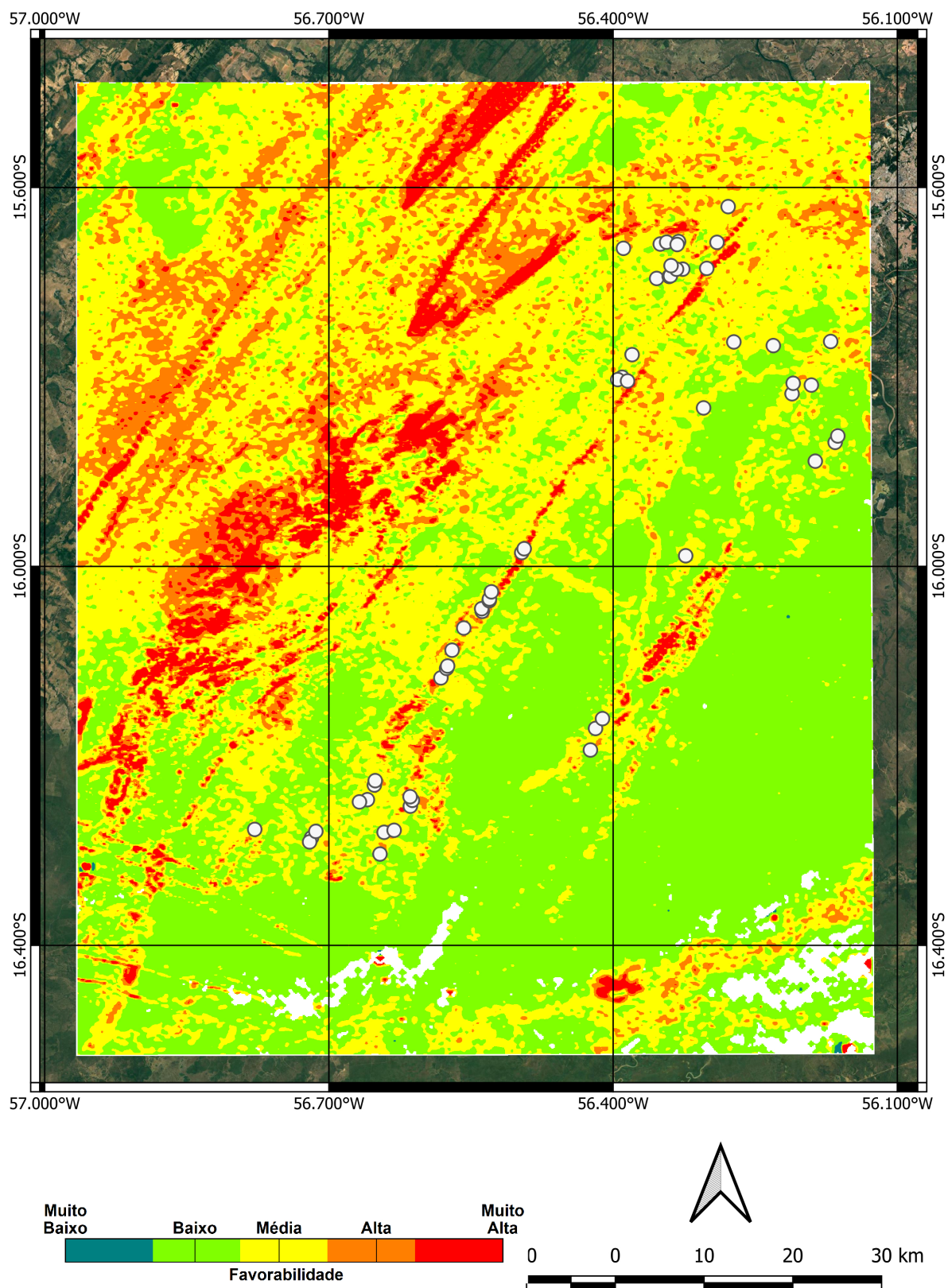
### .5.3 Zonas de Favorabilidade

A partir da integração dos dados geofísicos, foi possível delimitar zonas de favorabilidade à mineralização, as quais resultam da correlação entre diferentes variáveis geofísicas e a sua associação com áreas mineralizadas conhecidas. A de favorabilidade estão expressos em muito baixo (verde escuro), baixo (verde), média (amarelo), alta (laranja) e muito alta (vermelho), conforme ilustrado na Figura 24.

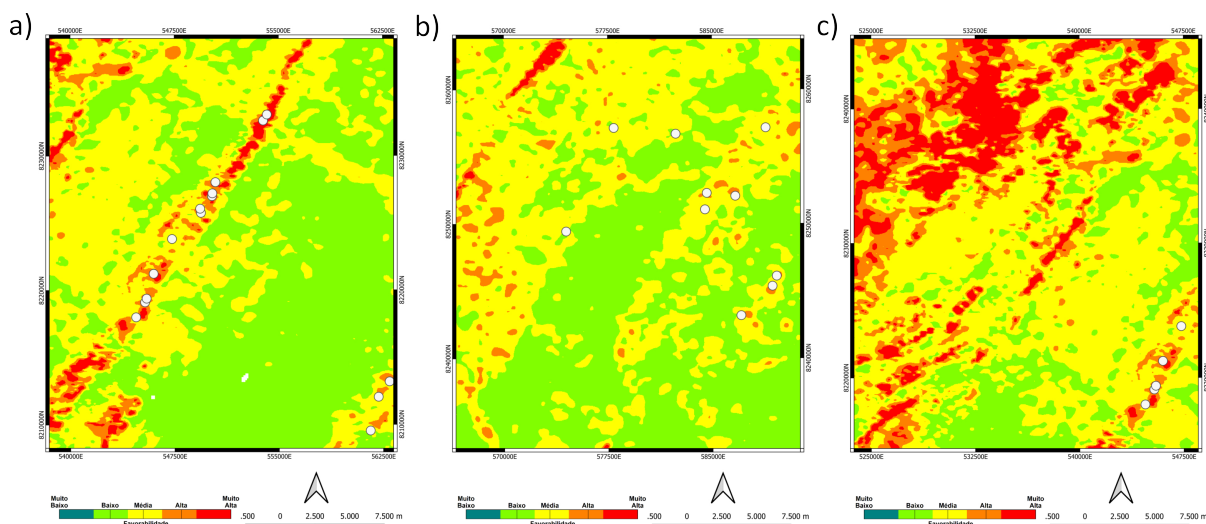
Verificou-se que as zonas com favorabilidade de alta a muito alta apresentam boa correspondência com ocorrências mineralizadas previamente identificadas, especialmente em contextos geológicos favoráveis, como zonas de cisalhamento e áreas afetadas por alteração hidrotermal (Figura 25A).

No entanto, também foram observadas ocorrências em áreas de média favorabilidade (Figura 25B), assim como regiões com alta favorabilidade sem registros de mineralização (Figura 25C). Essa discrepância é atribuída, em parte, à forte influência do alto teor de potássio (K) no modelo final, que teve maior peso relativo na composição do mapa de favorabilidade.





**Figura 24.** Mapa de favorabilidade sobreposto às ocorrências de mineralizações em minas ativas



**Figura 25.** Mapa de favorabilidade sobreposto às ocorrências de mineralizações em minas ativas. a) zona de cisalhamento NE; b) região de média favorabilidade; c) região de alta favorabilidade sem ocorrências de mineralização conhecida.

## .6 Conclusões

A integração de dados geofísicos e geológicos contribuiu com o conhecimento de regiões de mineralizações auríferas favoráveis. A análise de dados gamaespectrométricos apresenta enorme correlação quando integrado a dados de geologia, entretanto, os altos teores de potássio da região não contribuíram para a elaboração final do mapa de favorabilidade, indicando zonas que não possuem mineração ativa, mas que ainda podem ser exploradas.

A caracterização de lineamentos magnéticos indicaram forte correlação com as estruturas geológicas da região, permitindo identificar as principais direções preferenciais: NE, EW e NW. Observou-se que a principal estrutura de maiores ocorrências de mineralizações auríferas é a zona de cisalhamento NE-SW, que ocorre ao longo de grande região da área de estudo, na qual sugere que as estruturas NE possuem maior importância para as mineralizações da região. Embora os altos teores de ouro estejam presentes, principalmente, nas estruturas secundárias NW, não foi possível a identificação devido a falta de detalhamento dos dados aerogeofísicos.

Além disso, os resultados reforçam o potencial da integração de dados geofísicos e geológicos como ferramenta para determinação de alvos exploratórios, podendo ser aplicado em regiões com características semelhantes.



## Referências Bibliográficas

- [1] ALLMENDINGER, R. *Stereonet 11*. Disponível em: <https://www.rickallmendinger.net/stereonet>.
- [2] ALMEIDA, F. F. M. *Geologia do Centro-Oeste Matogrossense*. Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia, DNPM, Rio de Janeiro, Boletim 215, 123 p., 1964.
- [3] ALVARENGA, C. J. S. *Phénomènes sédimentaires, structuraux et circulation de fluides à la transition Chaîne-Craton: Exemple de la cote Paraguai d'âge Proterozoïque Supérieur, Mato Grosso, Brésil*. These Doc. Sci. Univ. d'Aix Marseille, 177 p., 1990.
- [4] BONHAM-CARTER, G. F. *GIS methods for integrating exploration data sets*. In: Proceedings of Exploration 97: Fourth Decennial International Conference on Mineral Exploration, edited by A. G. Gubins, p. 59–64, 1997.
- [5] CORDANI, U. G.; BRITO NEVES, B. B.; FUCK, R. A.; THOMAZ FILHO, A.; CUNHA, F. M. B. *Estudo preliminar de integração do Pré-Cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras*. Revista Brasileira de Geociências, vol. 19, p. 325–332, 1989.
- [6] CORDANI, U. G.; BRITO NEVES, B. B.; THOMAZ FILHO, A. *Estudo preliminar de integração do pré-cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras (Atualização)*. Boletim de Geociências da Petrobrás, vol. 17, n. 1, p. 205–219, 2009.
- [7] CPRM. *Relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos — Projeto Aerogeofísico Cuiabá*. CPRM, 2014.
- [8] GARCIA, P. M. P.; BONFIM, C. S. *A mineração e os limites geográficos na colonização de Cuiabá e Mato Grosso*. Terræ Didactica, v. 18 (Publ. Contínua), p. 1-16, e022029, 2022. doi: 10.20396/td.v18i00.8670731.
- [9] LACERDA FILHO, J. V.; ABREU FILHO, W.; VALENTE, C. R.; OLIVEIRA, C. C.; ALBUQUERQUE, M. C. *Geologia e recursos minerais do estado de Mato Grosso*. Programa Geologia do Brasil, CPRM/MME/SICME, Relatório final, 200 p., 2004.
- [10] LUZ, J. S.; OLIVEIRA, A. M.; SOUZA, J. O.; MOTTA, J. J. I. M.; TANNO, L. C.; CARMO, L. S.; SOUZA, N. B. *Projeto Coxipó: Relatório Final*. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Superintendência Regional de Goiânia, DNPM/CPRM, vol. 1, 136 p., 1980.

- [11] MADANI, A. A. *Knowledge-driven GIS Modeling Technique for Gold Exploration, Bulghah Gold Mine Area, Saudi Arabia*. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, vol. 14, p. 91–97, 2011.
- [12] MCGEE, B.; COLLINS, A. S.; TRINDADDE, R. I. F. *G'day Gondwana - the final accretion of a supercontinent: U-Pb ages from the post-orogenic São Vicente Granite, northern Paraguay Belt, Brazil*. Gondwana Research, v. 21, n. 2-3, p. 316-322, 2011.
- [13] NÓBREGA, R. P. *Análise espacial 'knowledge-driven' e 'data-driven': o uso das lógicas booleana, fuzzy e redes neurais para geração de mapas favorabilidade mineral na região centro-leste da Bahia*. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.
- [14] PAULA, C. C.; DEMORE, P. F. *Mineralogia dos concentrados de batéia na Baixada Cuiabana, MT*. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 33., 1984, Rio de Janeiro. Anais... Goiânia: SBG, vol. 1, p. 405–415, 1986.
- [15] SEDEC. *Cuiabá: SEDEC*. Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico de Mato Grosso, 2023.
- [16] TOKASHIKI, R. S.; SAES, G. S. *Revisão estratigráfica e faciologia do Grupo Cuiabá no alinhamento Cangas-Poconé, MT*. Brazilian Journal of Geology, v. 38, n. 4, p. 729-740, 2008.
- [17] VASCONCELOS, J. *Proveniência sedimentar do Grupo Cuiabá na Faixa Paraguai Meridional*. Tese (Doutorado em Geologia) — Universidade de Brasília, Brasília, 2018. 173 f., il.

# Capítulo 3

## Integração de dados geofísico-geológicos, aplicados à prospecção de depósitos auríferos sulfetados: um estudo de caso no distrito aurífero da Baixada Cuiabana, Mato Grosso

Genesson Delmondes Castro, Welitom Rodrigues Borges, Marcelo Henrique Leão-Santos, Cátia Lorrany Souza Sampaio, Valentina Bocanegra Olivera

*<sup>a</sup> University of Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, Brasília, 70910-900, Distrito Federal, Brasil*

### Resumo

A aplicação de métodos geofísicos na pesquisa mineral é fundamental para diminuir os riscos e custos associados à exploração. A correlação entre a resposta geofísica e dados geológicos diretos possibilita a delimitação precisa de alvo para serem explorados. Este projeto de pesquisa aborda a caracterização de depósito aurífero na região da Baixada Cuiabana (MT). O uso integrado de dados geofísicos e geológicos na prospecção mineral é uma ferramenta consolidada para reduzir incertezas e otimizar custos, permitindo a investigação do subsolo de forma indireta e direta. O objetivo principal do projeto é definir a assinatura geofísica e a geometria do depósito de ouro associado a sulfetos. Foi realizado uma investigação por meio da integração de múltiplos métodos. A abordagem inclui a aquisição de dados geofísicos terrestres de polarização induzida no domínio do tempo, magnetometria e gamaespectrometria. Estes resultados foram correlacionados com dados geológicos obtidos a partir de furos de sondagem, incluindo análises de susceptibilidade magnética nos testemunhos e estudos petrográficos detalhados em lâminas. Com isso, espera-se desenvolver um modelo geofísico-geológico integrado, que servirá não apenas para aprofundar o conhecimento sobre o depósito, mas também para a prospecção de novas áreas potencialmente mineralizadas..

Geofísica aplicada; Depósito de Ouro; Integração de Dados; Baixada Cuiabana.

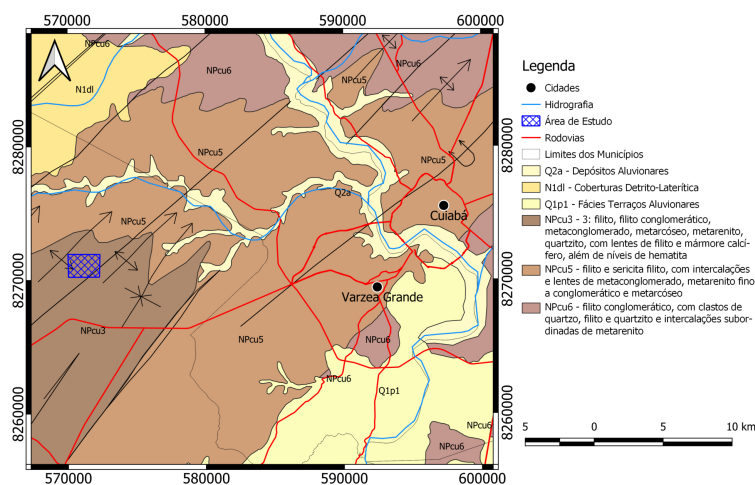
## .0 Introduction

O estado do Mato Grosso possui enorme destaque na produção mineral do Brasil, com foco em ouro, diamante, manganês, estanho, zinco e rochas carbonáticas

((36; 47)). No estado do Mato Grosso, destaca-se a Baixada Cuiabana, região que compreende os limites entre a Chapada dos Guimarães, a Província Serrana e o Pantanal Mato grossense, com relevo de forma rampeada e altimetria em torno de 200 metros ao sul, podendo atingir até 450 metros ao norte (2). Os depósitos auríferos da região da Baixada Cuiabana apresentam-se como depósitos hidrotermais – ouro em veios de quartzo com pirita (10), depósitos de enriquecimento supergênico – em platôs lateríticos, ocorrendo em forma de pepitas e depósitos de Placers – em depósitos de aluviões e elúvios e colúvios quartzosos.

A aplicação dos métodos geofísicos como forma de investigação para caracterização do meio, localização de alvos e estruturas de interesse, apresentam uma vantagem significativa devido às investigações indiretas, tornando-a muito eficiente. Os métodos elétricos e eletromagnéticos, possuem fundamental importância para prospecção de depósitos auríferos associados a sulfetos, maciços ou disseminados. A compreensão da geologia e da geometria desses depósitos, é essencial para o desenvolvimento de estratégias de exploração eficientes.

A área de estudo situa-se na região da Baixada Cuiabana, no estado do Mato Grosso, localizada no município de Nossa Senhora do Livramento inserido no contexto geológico do Grupo Cuiabá (Figure 26).



**Figura 26.** Localização da área de estudo sobreposto ao mapa geológico (adaptado de CPRM, 2004).

## **.1 Materials and Methods**

### **.1.1 Contexto Geológico**

#### **.1.1.1 Grupo Cuiabá**

A geologia da região é caracterizada pelas ocorrências de rochas pertencentes ao Grupo Cuiabá, Zona Interna da Faixa Paraguai. Estudos recentes, como o de (53), refinaram a cronologia do Grupo Cuiabá, definindo-o como uma sequência de margem passiva mesoproterozóica c. de 900 Ma, e uma segunda sequência ediacarana de margem convergente, de idade neoproterozoica c. de 620 Ma. A sedimentação final da Faixa Paraguai ocorreu até o Cambriano. A estratigrafia da região foi estudada, por (15), que caracterizaram três unidades para o Grupo Cuiabá: Campina de Pedras Acorizal e Coxipó.

Na Zona Interna da Faixa Paraguai há ocorrências de plutons Pós-Orogênicos, como o Granito São Vicente, intrusivos no Grupo Cuiabá, de composição granítica e granodiorítica (5; 54). Apresenta rochas metassedimentares que foram deformadas e metamorfizadas em fácies xisto verde, posteriormente intrudidas pelo Granito São Vicente e, recobertas por sedimentos das bacias do Pantanal e Paraná (Figura ??) (5). As rochas da Faixa Paraguai são descritas por (5) em quatro grupos principais: unidade inferior, unidade glácio-marinha; unidade carbonatada; unidade superior dentrítica.

A Baixada Cuiabana é caracterizada por diversas fases de deformações em regiões distintas (3; 37; 48; 49). Na região de Cuiabá, descreve a complexidade estrutural que incluem dobras fechadas, inversas e isoclinais com mergulhos que variam de 40° a 60° NW e eixos com caimentos de até 15° NE. Paralelo às direções de acamamentos ocorrem falhas inversas com mergulhos de 45° a 50° NW e, presença de veios de quartzo concordante à estrutura regional e mergulho entre 25° a 40° NW (50).

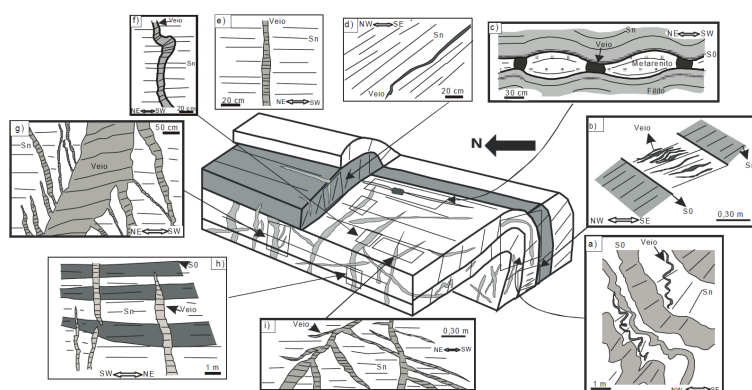
#### **.1.1.2 Mineralizações Auríferas**

A mineração de ouro ocorria, principalmente, por garimpos em veios e filões, sendo a principal forma de produção até a década de 2000 e, recentemente, o aumento de produção de ouro em sulfetos disseminados e em rochas metassedimentares (29; 50). A mineralização primária teve o aumento de produção devido a escassez dos recursos em aluviões próximos a veios auríferos. A partir desse tipo de produção, foi possível obter novos conhecimentos sobre as mineralizações auríferas da região, além do aprimoramento de conhecimento de depósitos não aflorantes.

Três possíveis fontes para as mineralizações auríferas na região da Baixada Cuiabana: A primeira, hidrotermal associada às intrusões ácidas em São Vicente e Barão de Melgaço; A segunda, o ouro coloidal depositado em ambientes de sedimentação

ou horizontes ferruginosos, que foram remobilizados em veios de quartzo durante o metamorfismo; A terceira, ocorre a remobilização do ouro a partir de metamorfismo de rochas ígneas básicas, decorrente de sequências metassedimentares de regiões adjacentes (37).

As mineralizações auríferas da Baixada Cuiabana ocorrem em maiores teores em veios de direção NW, perpendiculares aos cisalhamentos regionais, que ocorrem em direção N20° - 40° E. Esses veios estão relacionados a sistemas de fraturas distensionais e que foram preenchidas sin-a-tardi deformacional, As mineralizações também ocorrem em cisalhamentos transcorrentes na direção NE e, em fraturas ortogonais (Figura 27)(5; 50).



**Figura 27.** Bloco diagrama (ao centro) ilustrando as relações geométricas dos vários tipos de veios com uma dobra Dn. Os desenhos foram confeccionados a partir de fotos e observações de campo e estão fora de escala. A dobra Dn no bloco diagrama é esquemática (?). a) veio dobrado subparalelo a S0 (tipo 1) em corte; b) arranjo de veios escalonados subparalelos a Sn (tipo 2) em corte; c) veios em neck de boudin (tipo 3), em planta; d) veio subparalelo à foliação Sn (tipo 2) em corte; e) veio tabular subperpendicular a Sn (tipo 3), em planta; f) veio tabular subperpendicular a Sn (tipo 3), em planta, dobrado, com Sn em posição plano axial; g) veio tabular subperpendicular a Sn (tipo 3), em corte vertical, com várias ramificações; h) vários veios tabulares, subperpendiculares a Sn (tipo 3), em corte vertical; i) veios tabulares subperpendiculares a Sn (tipo 3), em planta

## .1.2 Aquisições Geofísicas

### .1.2.1 Polarização Induzida

Para elaborar o protocolo de registro de dados de Polarização Induzida no domínio do tempo foi utilizado o *software Electre II*, da empresa *IRIS Instruments*. Os parâmetros definidos para a Polarização Induzida no domínio do tempo foram: tempo de leitura de 2 segundos; arranjo Pólo-Dipolo; espaçamento de eletrodos de 25 metros.

A aquisição de dados foi realizada com o equipamento *Elrec Pro* da *IRIS Instruments*. Foram realizados 13 seções de 700 a 1000 metros, e para o contato no solo foi utilizado eletrodos porosos e eletrodo de aço carbono para injeção de corrente.

Ao término das aquisições de campo, os dados são importados para um computador por meio do *software Prosys II*, para redução e filtragem dos dados. Foi realizado a remoção de dados com base na curva de decaimento do potencial elétrico fora do comportamento exponencial e remoção de valores negativos ou nulos.

As modelagens dos dados de Resistividade, Cargabilidade foram realizadas no *software Res2dinv* (30). Foi aplicada a rotina de inversão robusta ( ) na modelagem inversa. Por fim, os dados são exportados para o *Excel*, onde é realizada a organização dos arquivos para, posteriormente, serem exportados em XYZ e inseridos no *software Oasis Montaj*, para elaboração de modelo tridimensional correlação dos dados, a partir de cortes em profundidade.

### .1.2.2 Gamaespectrometria

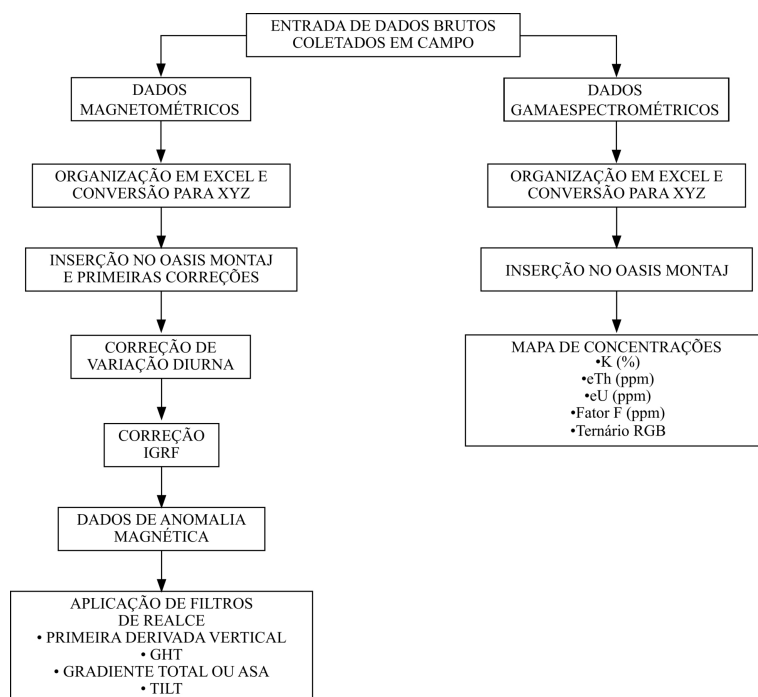
A coleta de dados de emissão de radiação gama dos radioelementos K, U e Th foi realizado com o gamaespectrômetro portátil de 1024 canais, RS-230, da Radiation Solutions Inc. (6) determina que o tempo de amostragem necessário para a medição depende da radioatividade da fonte e da precisão necessária. Devido as limitações de campo, optou-se por uma janela temporal de 30 segundos e amostragem espacial ao longo de perfis, com estações de registro a cada 20 metros. Os dados de gamaespectrometria registrados em campo foram filtrados e convertidos para o formato \*.XYZ e visualizados no *software Oasis Montaj (Seequent)*, para elaboração dos produtos das concentrações de K, eTh, eU, Fator F e mapa ternário dos radioelementos K (vermelho), eTh (verde) e eU (azul). O fluxograma de processamento de dados está representado na Figura 28.

### .1.2.3 Magnetometria

O levantamento magnetométrico foi executado em uma malha composta por 8 linhas de aquisição, com comprimentos variáveis entre 500 e 1000 metros. As linhas foram orientadas na direção NE, com espaçamento de 200 metros entre elas e um intervalo de amostragem de 5 metros (Figura ??).

A análise e filtragem dos dados magnetométricos foram realizadas no *software Oasis Montaj (Seequent)*. Foi utilizado o método de interpolação *Bi-directional*, com célula de malha de 125 metros para gerar o produto da anomalia magnética. Posteriormente, realizado os filtros de realce: derivada vertical de ordem 1, gradiente horizontal total, gradiente total ou sinal analítico 3D, derivada de inclinação - TILT. A rotina de processamento é apresentada na Figura 28.





**Figura 28.** Fluxograma de processamento de dados magnetométricos e gamaespectrométricos

### .1.3 Furos de Sondagem

Os dados de testemunhos obtidos para elaboração deste trabalho foram adquiridos em cooperação da empresa GPAR Mineração, detentora dos direitos de pesquisa na área de estudo. Os furos de sondagem compõem a integração de dados geológicos e geofísicos abordados a seguir. Quatro furos de sondagem correspondem ao projeto de pesquisa da GPAR Mineração, realizados em 2023, os furos PMA-DH 001, PMA-DH 002, PMA-DH 004 e PMA-DH 005. As informações sobre os furos de sondagem estão presentes na Tabela 1, sendo RL a elevação de referência, EOH o tamanho do furo, Az a direção do furo e Dip o ângulo de mergulho do furo. As descrições estão representadas por furo de sonda.

**Tabela 2.** Dados dos furos de sondagem

| Furo       | X        | Y         | RL (m) | Az (°) | Dip (°) | EOH (m) |
|------------|----------|-----------|--------|--------|---------|---------|
| PMA-DH 001 | 571634.9 | 8271323.5 | 212    | 40     | 60      | 110.9   |
| PMA-DH 002 | 571773.0 | 8271287.0 | 216    | 40     | 60      | 91.0    |
| PMA-DH 004 | 571920.1 | 8271244.2 | 215    | 40     | 60      | 105.1   |
| PMA-DH 005 | 571992.9 | 8271182.9 | 213    | 40     | 60      | 110.5   |

#### • PMA-DH 001

O furo de sondagem interceptou uma sequência predominantemente composta por metassedimentos, com destaque para metarenitos (MTA), metassiltitos (MTS), filitos carbonosos (FLC), filitos (FTC) e intercalações pontuais de ro-

chas vulcânicas ácidas (VA) e brechas hidrotermais (BRE). Desde a superfície até cerca de 13 m, observa-se uma zona intensamente alterada, com veios de quartzo, sulfetos (principalmente em forma de limonita) e forte influência estrutural, indicando provável zona de mineralização remobilizada.

Entre 13 m e 35 m, a sequência exibe intercalações entre MTA, FLC e FTC com veios de quartzo amorfos, dobrados e tabulares, além de sulfetos disseminados e em fraturas. Essa faixa marca um importante controle estrutural, com evidências de múltiplas fases de fraturamento (FRA 1, FRA 2), silificação e carbonatação — possivelmente relacionada a zonas de falha ou cisalhamento mineralizantes.

De 35 m a 75 m, há predominância de MTA e MTS, com presença contínua de sulfetos em veios e venulações, além de zonas de silificação e clastos de quartzo. Notam-se dobramentos, veios discordantes à foliação e clorita associada.

A partir de 75 m até o final do furo (110,9 m), predomina o MTS bege claro com intercalações de MTA e MTC, frequentemente cortado por venulações carbonatadas e zonas de silificação, com sulfetos disseminados e nas fraturas. No intervalo entre 94,5 m e 103,9 m destacam-se as brechas hidrotermais brancas (BRE), com preenchimento carbonatado e clastos de quartzo.

- PMA-DH 002

O furo atravessa inicialmente uma zona de solo residual (0 a 4,5 m) composta por MTS marrom claro com matéria orgânica, seguido por uma zona de transição (ZTR) entre 4,5 e 11,7 m, dominada por metassiltito (MTS) cinza e bege claro. A partir de 11,7 m até aproximadamente 28 m, ocorrem intercalamentos de metarenito (MTA) bege claro, com presença frequente de limonita e veios de quartzo que acompanham a foliação, sugerindo alteração hidrotermal supergênica e controle estrutural.

Do intervalo de 28 até cerca de 54 m, predominam MTS com zonas de silificação centimétricas e sulfetos concentrados nas zonas silificadas e nas venulações carbonatadas. Intercalam-se camadas centimétricas de MTA branco, frequentemente associadas a maior concentração de sulfetos e limonita, caracterizando essa seção como uma importante zona de mineralização controlada por estruturas e litofácies.

Entre 54 e 70 m, o MTS torna-se progressivamente mais escuro, com camadas intercaladas de MTC e MTA, zonas de silificação mais finas e contínuas, além de fraturas e veios com mineralização sulfetada. A partir de 70 m, observa-se um aumento da deformação, com camadas dobradas, clastos de quartzo e rochas ácidas, veios de quartzo e calcita, zonas de silificação milimétricas a centimétricas e intensa presença de sulfetos disseminados e nas fraturas.

Na parte inferior do furo (aproximadamente de 80 até 91 m), há predominância de MTS cinza escuro e bege claro com zonas silificadas, camadas de MTA

branco carbonatado e intercalações de MTC. A mineralização sulfetada permanece associada a zonas silificadas, venulações e estruturas (STR1), com veios de quartzo mineralizados e evidências de circulação de fluidos hidrotermais.

- PMA-DH 004

O furo atravessa uma sequência metassedimentar complexa e fortemente deformada, com predominância de metarenitos (MTA) e metassiltitos (MTS), além de intercalações frequentes de filitos carbonosos (FTC) e zonas com níveis conglomeráticos, veios de quartzo (muitos deles dobrados), venulações carbonatadas, zonas silificadas e abundantes sulfetos (pirita).

Nos primeiros metros (0 a 10 m), há predominância de MTA marrom claro e cinza, com limonita na foliação e intercalações com MTS e FTC. A presença de ZTRs indica zona de alteração próxima à superfície. A partir de 10 m até cerca de 35 m, observa-se uma sequência alternante entre MTA, MTS e FTC com veios de quartzo dobrados, venulações carbonatadas e zonas silificadas, sugerindo intensa circulação de fluidos mineralizantes em estruturas frágeis-ductis.

Entre 35 m e 65 m, o MTA cinza claro se torna dominante, com foliação marcada pelo estiramento dos clastos e presença contínua de sulfetos em veios, fraturas e venulações. Há ocorrência de brechas, veios de quartzo amorfos e zonas carbonatadas, que indicam eventos hidrotermais repetidos, com múltiplas fases de fraturamento e mineralização.

Dos 65 m até 91 m, o MTS retorna como litotipo dominante, ricamente intercalado com MTA e MTC. Nesse intervalo, é recorrente a presença de sulfetos em três fases distintas: disseminados, na foliação e em veios ortogonais à foliação (com carbonato). Essas características apontam para um sistema mineralizante multiepisódico e bem estruturado.

Nos metros finais (91 a 105 m), há predominância de MTA com níveis conglomeráticos e sulfetos disseminados, ainda sob influência de circulação de fluidos.

- PMA-DH 005

O furo inicia em um horizonte de saprolito (SAP) de MTS friável e de coloração variada, que representa a zona de intemperismo. Em seguida, de aproximadamente 0,5 até 10,1 m, a sequência é composta por metassiltitos (MTS), com características estruturais pouco expressivas. A partir de 10,1 m, ocorre uma zona de transição (ZTR) com alteração por sulfetos, marcando o início de processos hidrotermais mais intensos.

Entre 11,7 e 35,4 m, o furo atravessa principalmente metarenitos (MTA) com intercalações de MTS. Há destaque para a presença de níveis conglomeráticos, sulfetos disseminados (pirita) tanto no corpo da rocha quanto no plano da foliação, além de porções brechadas entre 34 e 34,5 m, cimentadas por veios

de carbonato (Cb) ortogonais à foliação e associados à pirita.

De 35,4 até 45 m, a sequência mostra intercalações de MTC (metaconglomerado), MTS e MTA, com zonas de sulfetização, especialmente entre 37,9 e 38,3 m, onde ocorrem MTS com sulfetos alterados e finas camadas de MTA. Há forte disseminação de pirita entre 43 e 45 m, além de MTA conglomerático com pirita disseminada.

Entre 50 e 56 m, destacam-se zonas brechadas e brechas hidrotermais (BRE), com sulfetos disseminados e concentração significativa em 54,5 m.

A partir de 60 m, há alternância entre MTS, MTC e MTA, com sulfetos disseminados, especialmente em 61,55 m e 71,00 m, onde ocorrem piritas cúbicas com mais de 5 cm. Veios de quartzo leitoso (QV).

De 75 até o final do furo (100,5 m), predominam MTA e MTS, com intercalações frequentes, níveis conglomeráticos e sulfetização moderada, principalmente em zonas específicas como 81,5 m, onde a pirita é bem desenvolvida no plano da foliação.

#### **.1.3.1 Petrofísica**

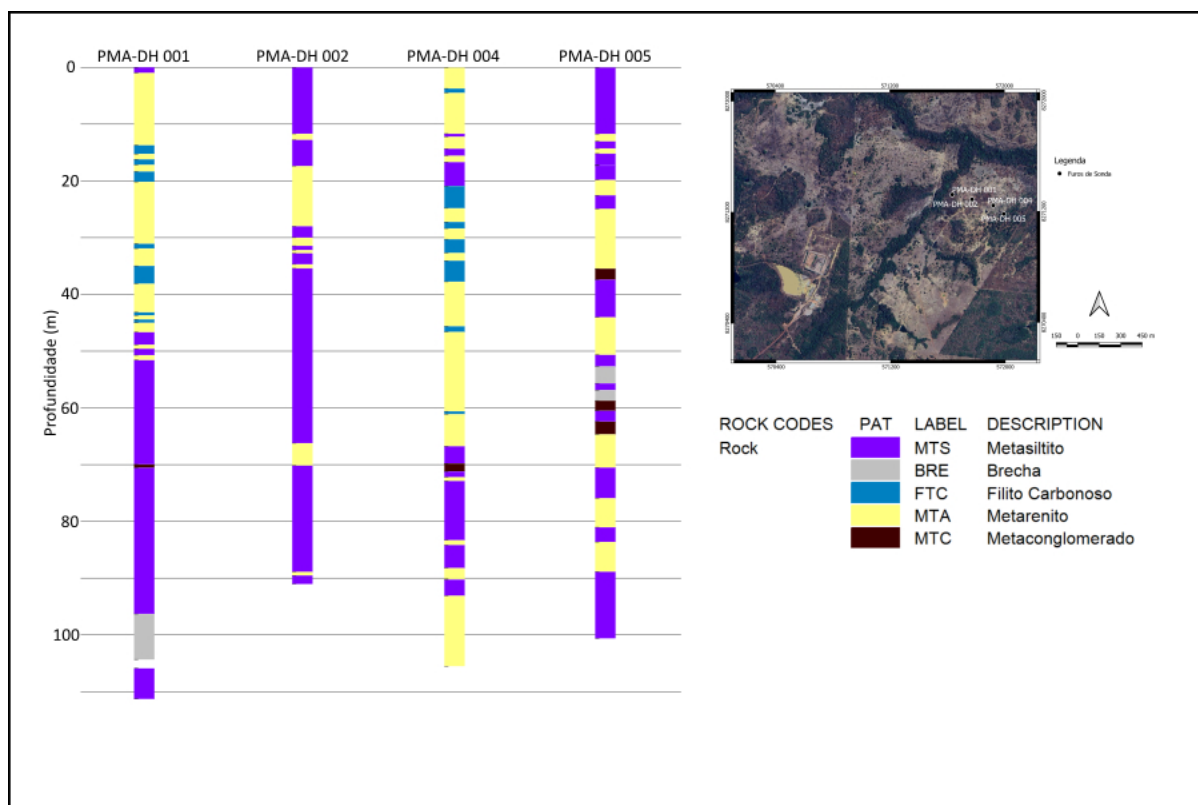
A coleta de dados de susceptibilidade magnética foi realizada em abril de 2025, na qual foi possível verificar a descrição dos testemunhos de sondagem e coleta de dados de susceptibilidade magnética nos furos PMA-DH 001, PMA-DH 002, PMA-DH 004 e PMA-DH 005, representadas na (Figura 29).

A coleta de dados de susceptibilidade magnética foi realizada a cada 0,3 metros para regiões sem mineralização e 0,1 metros para regiões com mineralização, totalizando: 406 leituras para o furo PMA-DH 001, 678 leituras para o furo PMA-DH 002, 763 leituras para o furo PMA-DH 004 e 816 leituras para o furo PMA-DH 005, com profundidades em metros de 110.5, 91.9, 106.2 e 100.9, respectivamente.

#### **.1.3.2 Petrografia**

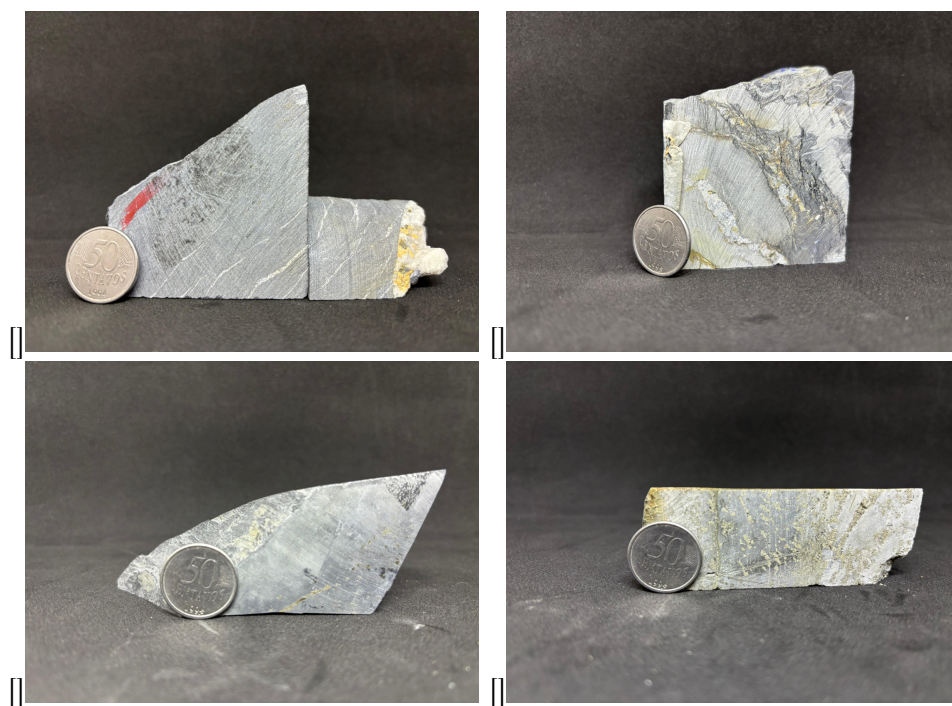
A análise petrográfica baseou-se na amostragem petrofísica. A partir da análise petrofísica em campo, foram determinadas 19 amostras para elaboração de lâminas delgadas e polidas para análise petrográfica e identificação mineralógica, estruturas primárias de minério e rochas hospedeiras.

Foram confeccionadas e descritas dezenove lâminas petrográficas, no Laboratório de laminação na Universidade de Brasília, a partir dos testemunhos de sondagem referente aos furos PMA-DH 001, PMA-DH 002, PMA-DH 004 e PMA-DH 005, com profundidades que variam de 35 a 86 metros, respectivamente (Figuras 33 a ??). As descrições foram realizadas no Laboratório de Microscopia Ótica do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília por meio do microscópio com luz transmitida, para descrição dos minerais translúcidos, e refletida para os minerais opacos.

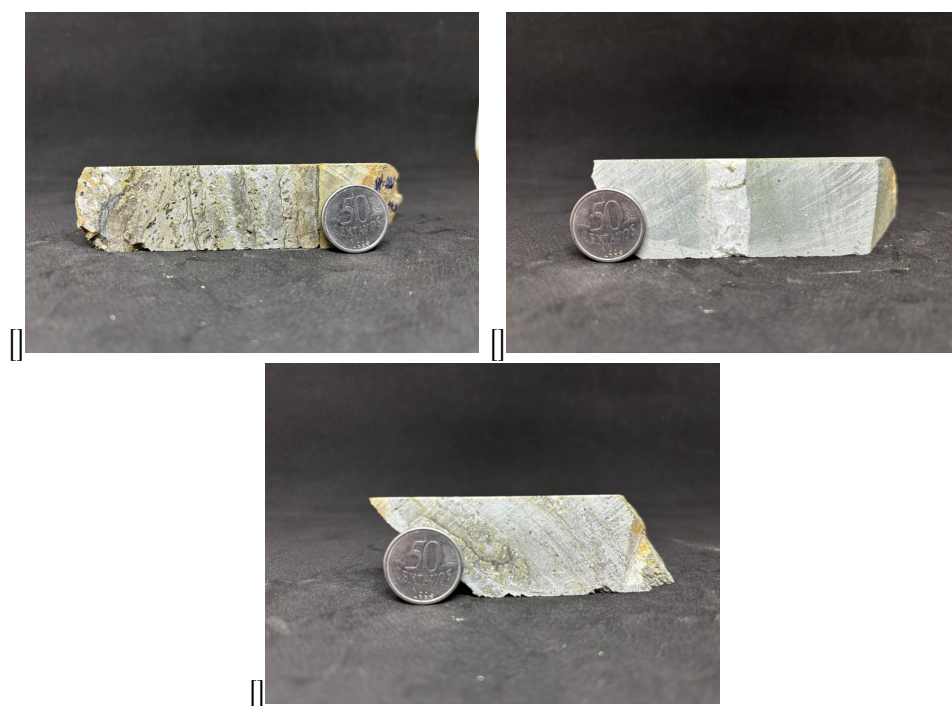


**Figura 29.** Seção vertical intersectando os furos de sondagem PMA-DH 001, PMA-DH 002, PMA-DH 004 e PMA-DH 005.

A análise petrográfica foi realizada com foco na identificação da mineralogia e das estruturas dos minérios e suas encaixantes, além da correlação com os dados petrofísicos obtidos nos furos em campo.

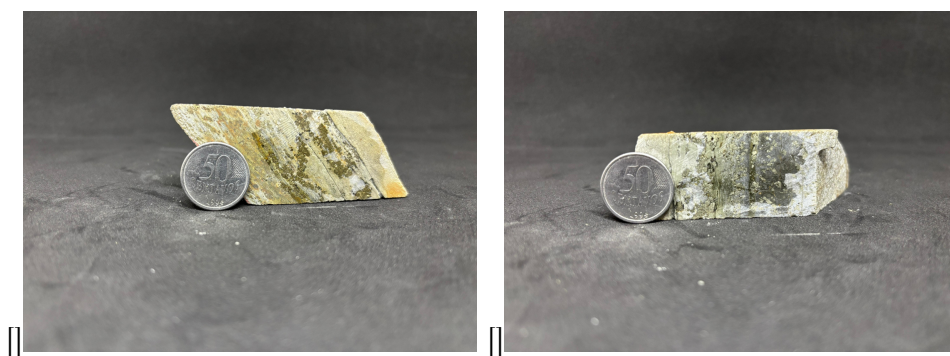


**Figura 30.** Amostras obtidas para confecção de lâminas do furo de sondagem PMA-DH 001: (a) Metassiltito com veio de quartzo. (b) Metassiltito com veio de quartzo. (c) Metassiltito. (d) Contato entre metassiltito e metarenito.

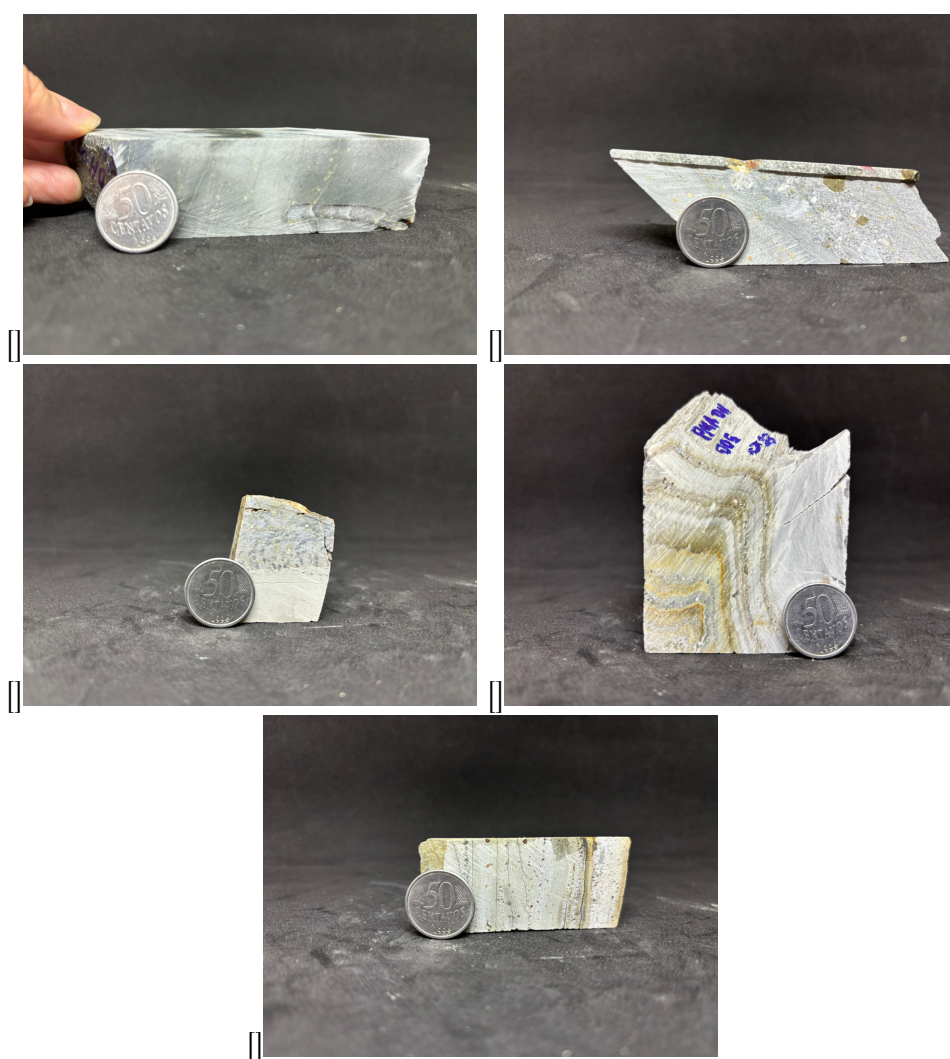


**Figura 31.** Amostras obtidas para confecção de lâminas do furo de sondagem PMA-DH 002: (a) Contato entre metassiltito e metarenito. (b) Metassiltito com veio de quartzo. (c) Metassiltito com fratura preenchida de quartzo.





**Figura 32.** Amostras obtidas para confecção de lâminas do furo de sondagem PMA-DH 004: (a) Contato entre metassiltito e metarenito. (b) Metassiltito.



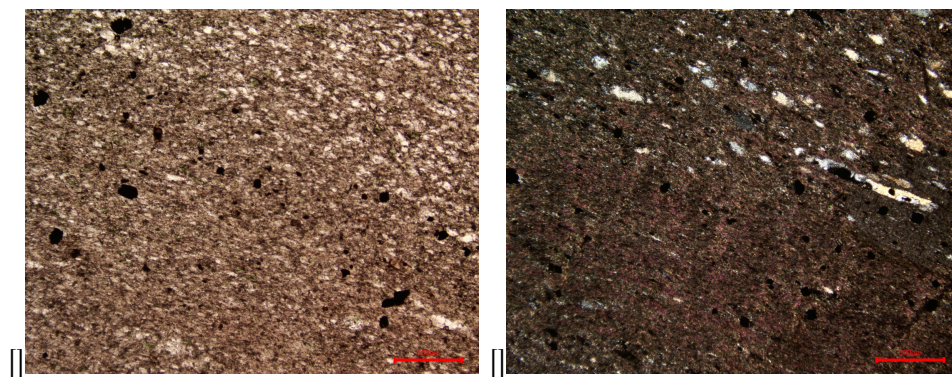
**Figura 33.** Amostras obtidas para confecção de lâminas do furo de sondagem PMA-DH 005: a(a) Metassiltito com ocorrência de pirita e veio de quartzo. (b) Metassiltito com pirita. (c) Metassiltito. (d) Metassiltito com presença de dobra. (e) Metassiltito com veios de quartzo.



## .2 Análise dos Resultados

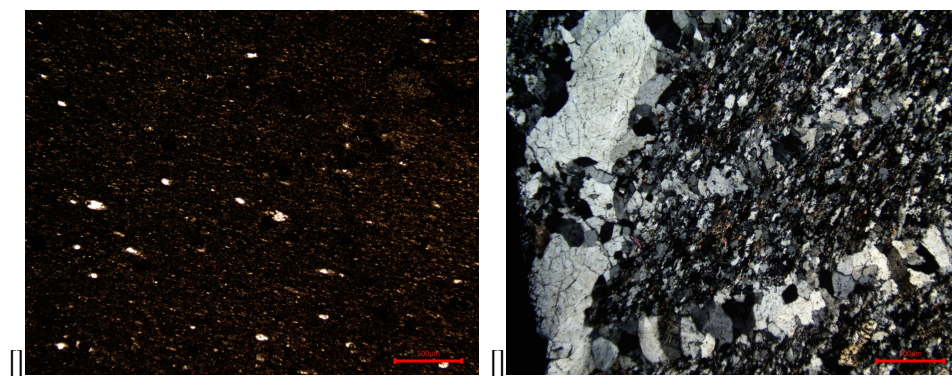
### .2.1 Petrografia

A partir da descrição dos testemunhos e da análise petrográfica de metarenitos, metassiltitos, filito carbonoso e conglomerados, foi possível identificar quatro fases de mineralização. Observa-se o predomínio de camadas de metassiltito sobre metarenitos. De modo geral, as rochas apresentam coloração que varia do bege ao verde, com textura homogênea e foliação preferencial marcada pelo alinhamento dos cristais de quartzo e biotita. Os metassiltitos apresentam laminação interna variável, incluindo níveis argilosos ricos em micas (aproximadamente 50%), provavelmente muscovita, e outros níveis de granulometria mais fina, com composição predominantemente quartzosa (cerca de 40%) (Figuras 34A e B).



**Figura 34.** Fotomicrografia em luz transmitida (PMA-DH 005): (a) Filito carbonoso intercalado com metassiltitos. (b) Metassiltito.

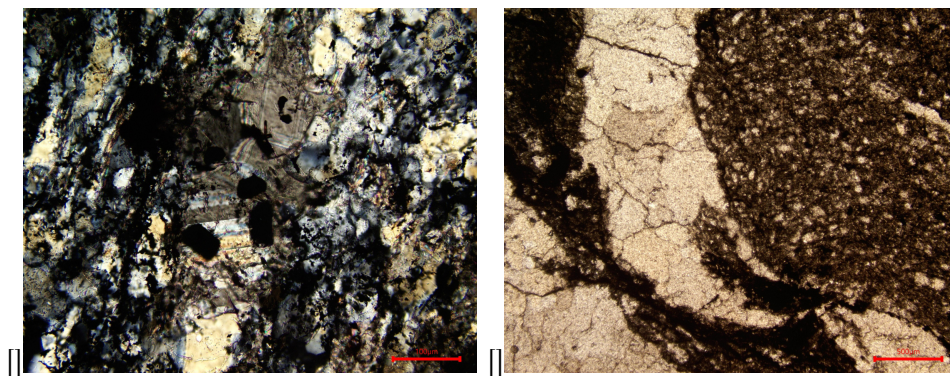
O filito carbonoso é uma rocha escura, com estrutura fina e continuamente laminada, composta por bandas de mica branca (40%), quartzo (30%), material carbonoso (18%) e pirita (2%). A espessura das lâminas varia de milimétrica a centimétrica. Observam-se veios de quartzo granular perpendiculares à foliação da rocha.



**Figura 35.** Fotomicrografia em luz transmitida (PMA-DH 001): (a) Meta-arenitos fino com intercalação de filito carbonoso. (b) Meta-arenito com veios silificados.

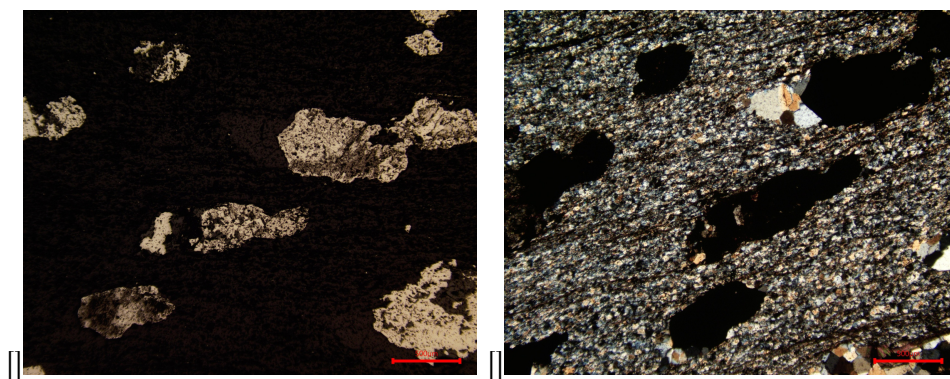
Metarenitos intercalados com os filitos carbonosos apresentam granulometria fina, compostos por quartzo (50%), plagioclásio (20%), feldspato potássico (10%), material carbonoso (15%), muscovita (5%) e óxidos de ferro (1%) (Figura 35).

Também são observados boudins de quartzo em contato com filito carbonoso e por vezes metassiltito, perpendiculares à foliação preferencial (Figura 36).



**Figura 36.** Fotomicrografia em luz transmitida (PMA-DH 001): (a) e (b) Boudins de quartzo deformados no contato do filito carbonoso com o metassiltito.

Seguindo a foliação das rochas, observa-se a presença de pirita-1 (50  $\mu\text{m}$  – 5 mm), com formato sub-arredondado e grãos muito porosos, possivelmente por corrosão. A formação da pirita-1 está acompanhada de carbonato-1, levemente posterior, já que há seções onde o carbonato não se encontra com a pirita, mas sim seguindo a foliação (Figura 37).

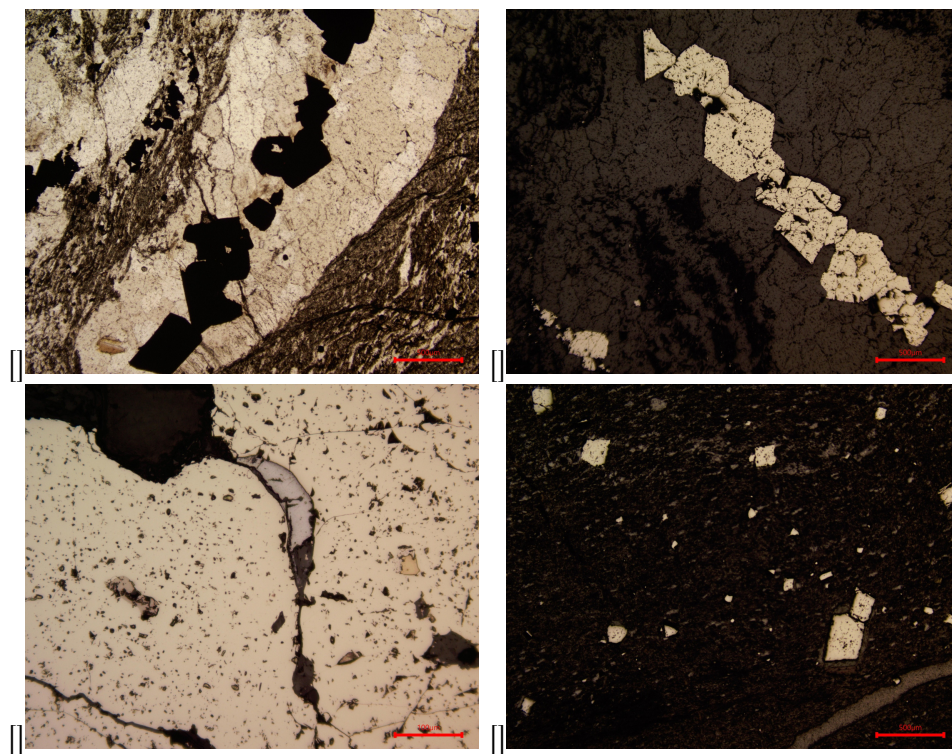


**Figura 37.** Fotomicrografia em luz refletida (a) e luz transmitida (b) – Piritas alteradas imersas em matriz composta principalmente de carbonato e quartzo (PMA-DH 002).

Posteriormente, fluidos ricos em sílica geraram bandas ricas em quartzo, onde precipita pirita-2 (50  $\mu\text{m}$ ), de forma euédrica com hábito cúbico (Figura 38A). Observa-se calcopirita-1 e pirrotita inclusas com formas mais alongadas. A pirita-3 ocorre disseminada, mais abundante nas camadas de metarenito do que nas de metassiltito (Figura 38B–D). Essa pirita-3 é euédrica, com hábito cúbico e triangular, acompanhada de quartzo translúcido e biotita lamelar marrom-avermelhada.

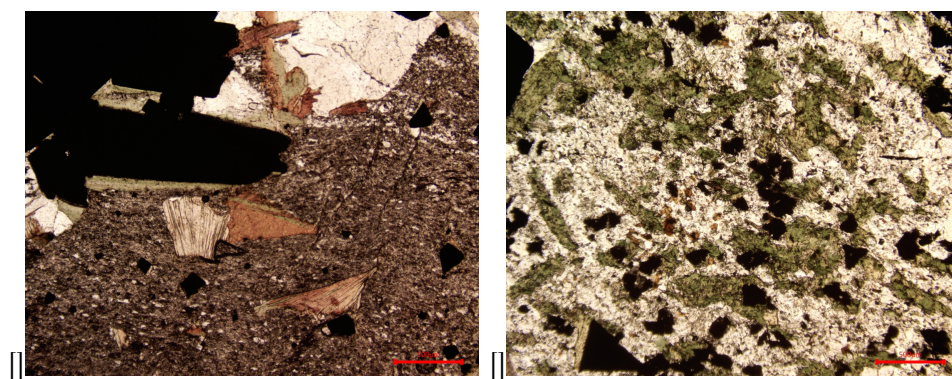


Cristais mostram núcleos com inclusões de minerais sem resposta em luz refletida e bordas limpas (Figura 38D).



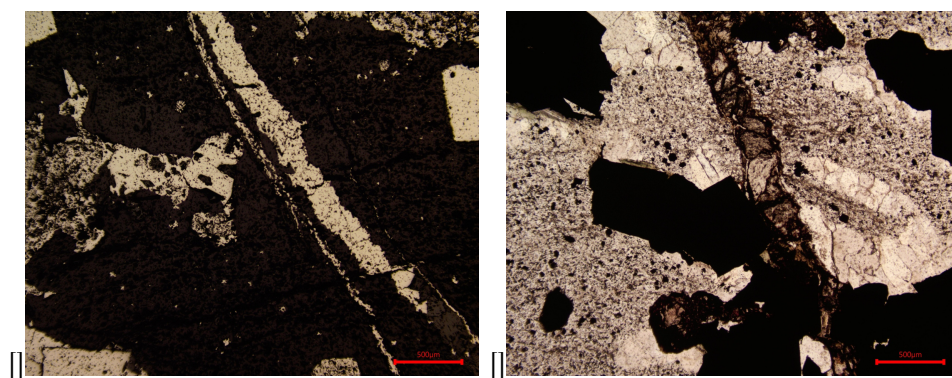
**Figura 38.** Fotomicrografias obtidas em luz transmitida (a) e refletida (b–d). (a) Cristais euédricos de pirita precipitados na matriz de quartzo; (b) Veio preenchido por pirita, com inclusão subordinada de calcopirita; (c) Cristais de calcopirita imersos em agregados de pirita; (d) Cristais de pirita com hábito cúbico, dispostos paralelamente à foliação e também dispersos na matriz (PMA-DH 004).

Nos estágios tardios da mineralização, veios finos de pirita-4 cortam as fases minerais anteriores, seguindo ou perpendiculares a foliação. A pirita-4 ocorre em paragênese com carbonato-2 e clorita. A cloritização é observada substituindo biotitas e de forma disseminada nas rochas encaixantes (Figura 39).



**Figura 39.** Fotomicrografias obtidas em luz transmitida (a e b – PMA-DH 004 e PMA-DH 005), evidenciando cristais de biotita em processo de cloritização.

Em fases ainda mais tardias, observa-se turmalina, magnetita e muscovita disseminadas, representando menos de 5% do volume da rocha. Microfraturas são preenchidas por oxi-hidróxidos de ferro (oxi-Fe) (Figura 40).



**Figura 40.** Fotomicrografias em luz transmitida (PMA-DH 004): (a) e (b) Cristais de pirita e magnetita em contato com turmalina, com indícios de alteração para oxi-hidróxidos de ferro.

## .2.2 Petrofísica

As leituras de susceptibilidade magnética obtidas nos testemunhos de sondagem revelam padrões distintos entre os furos analisados, refletindo variações litológicas e a influência da mineralização associada.

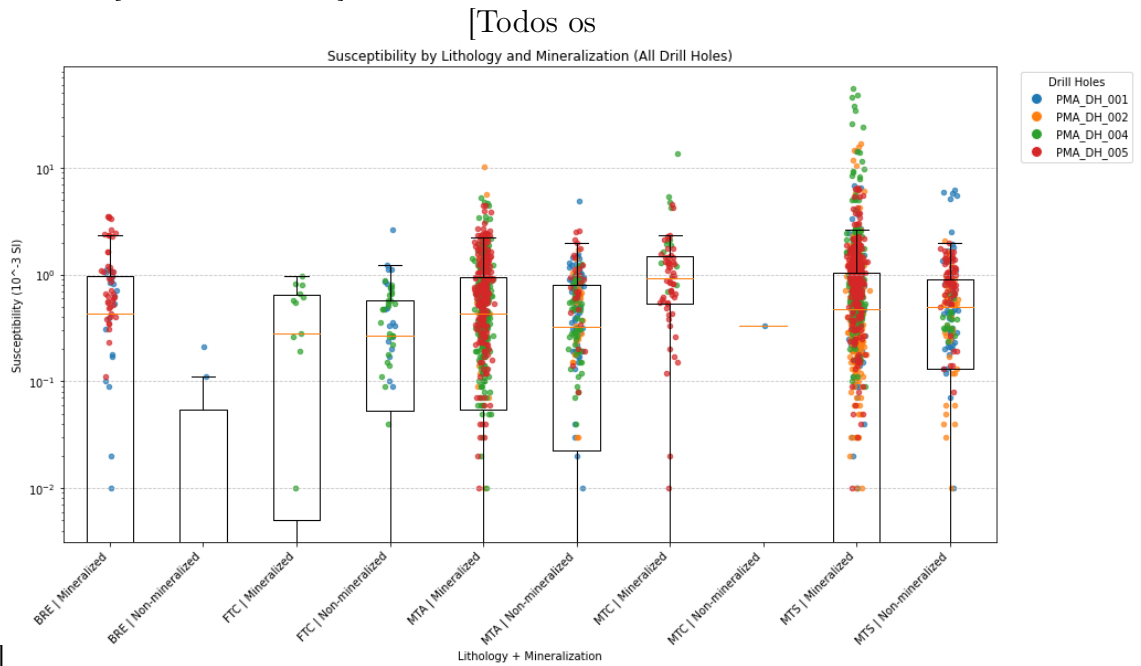
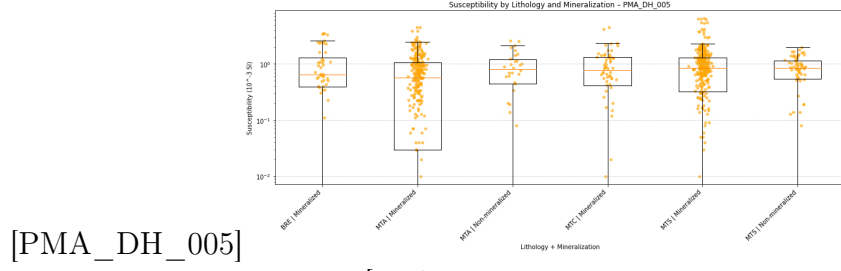
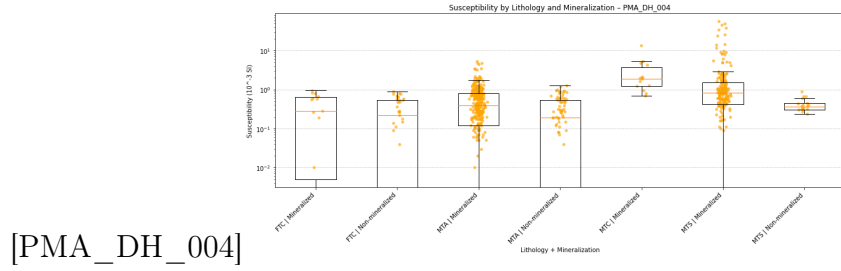
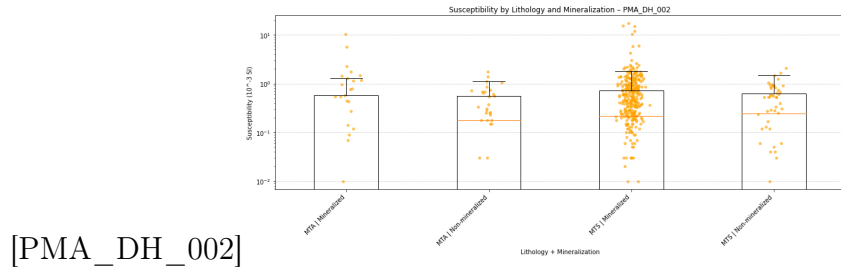
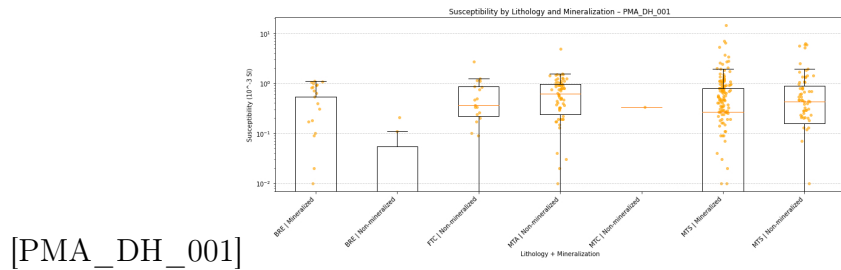
O furo PMA-DH 001 apresenta, na porção superior (0 a 50 m), valores relativamente baixos, com picos isolados de susceptibilidade magnética. Entre 50 e 95 m, a litologia é dominada por metassiltito, com resposta predominantemente discreta, exceto por dois aumentos notáveis em aproximadamente 55 m e 88 m, cujos valores variam entre 0,005 e 0,015 SI (Figura 42).

No PMA-DH 002, observa-se predominância de metassiltito, com intercalações de metarenito. As principais anomalias de susceptibilidade magnética concentram-se nas profundidades de 32 m, 43 m e 52 m, apresentando valores de 0,01 a 0,017 SI (Figura 42).

O furo PMA-DH 004 exibe maior proporção de metarenitos intercalados com metaconglomerado entre 0 e 68 m, onde os valores de susceptibilidade são baixos. A partir de 70 m até cerca de 90 m, verifica-se um aumento expressivo, atingindo aproximadamente 0,05 SI, associado a intervalos de metassiltito (Figura 42).

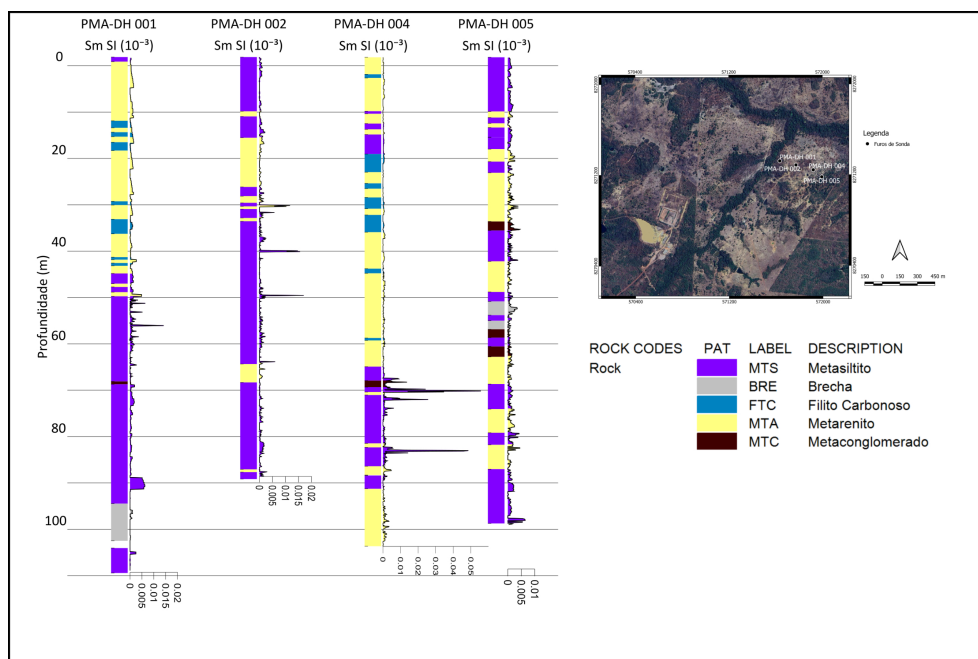
No PMA-DH 005, há alternância frequente entre metassiltito, metarenito, brecha e metaconglomerado. A resposta magnética apresenta variações pontuais, mas sem ultrapassar 0,01 SI (Figura 42).

As leituras de susceptibilidade magnética obtidas nos furos de sondagem foram agrupadas por meio de diagramas de caixa, os quais permitem visualizar a dispersão, tendência central e ocorrência de valores anômalos em cada litologia, considerando também a distinção entre trechos mineralizados e não mineralizados (Figura ??).



**Figura 41.** Distribuição da susceptibilidade magnética ( $10^{-3}$  SI) por litologia e mineralização: (a) PMA\_DH\_001, (b) PMA\_DH\_002, (c) PMA\_DH\_004, (d) PMA\_DH\_005 e (e) conjunto geral dos furos.





**Figura 42.** Medições de susceptibilidade magnética dos testemunhos de sondagem PMA-DH 001, PMA-DH 002, PMA-DH 004 e PMA-DH 005.

## .2.3 Polarização Induzida

Os mapas de cargabilidade, obtidos a partir do processamento dos dados de polarização induzida (Figura 43), evidenciam variações significativas ao longo das diferentes elevações analisadas.

Na elevação de 250 m (Figura 43a), destaca-se uma anomalia de alta cargabilidade concentrada na porção nordeste, com valores acima de 24,1 mV/V. Na região centro-oeste, os valores elevados estão associados à presença de uma cava aberta e de uma antiga pilha de rejeitos.

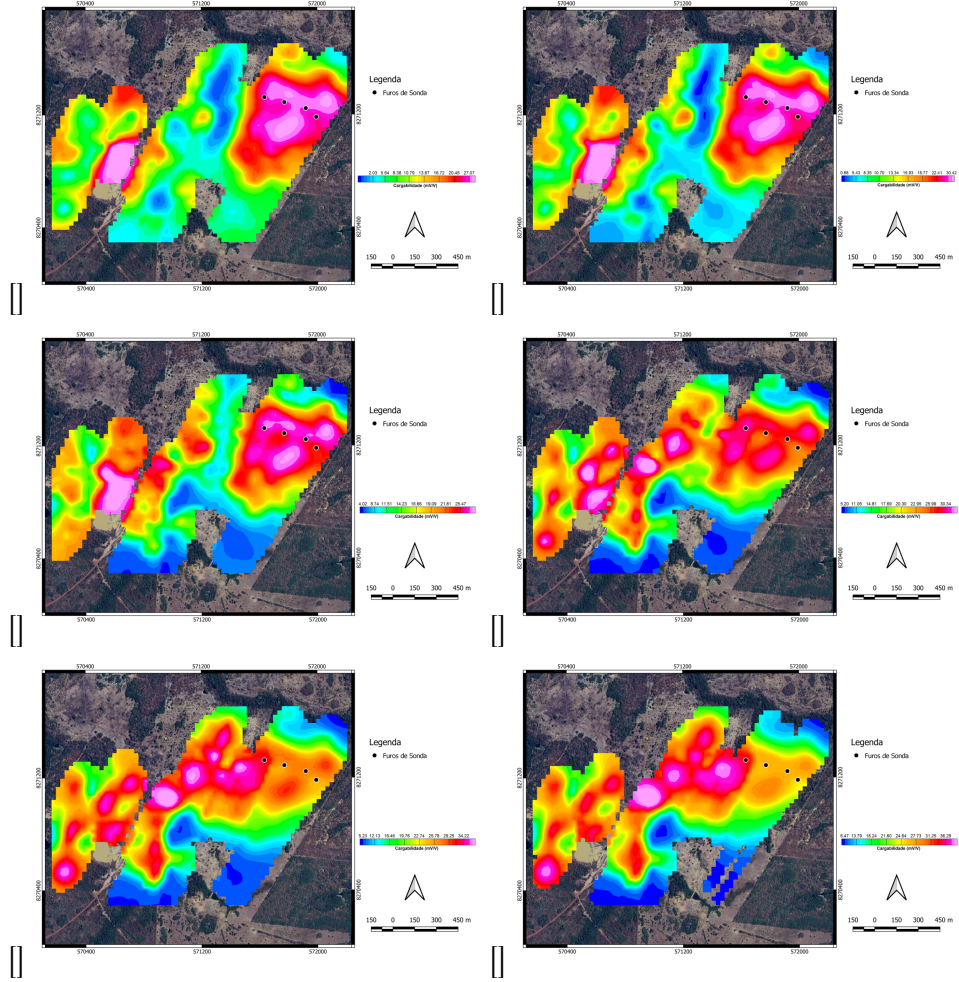
Em 225 m (Figura 43b), as anomalias mantêm-se nas mesmas áreas principais, embora se observe um pequeno deslocamento em direção ao oeste.

Na elevação de 200 m (Figura 43c), há um aumento das áreas anômalas, com diversas ocorrências acima de 24,1 mV/V, distribuídas principalmente na região central.

A 175 m (Figura 43d), as anomalias permanecem concentradas na porção central, apresentando maior amplitude.

Na elevação de 150 m (Figura 43e), as respostas de cargabilidade tornam-se mais interconectadas e ainda mais expressivas.

Por fim, em 125 m (Figura 43f), observam-se valores superiores a 32,3 mV/V, com forte continuidade lateral das anomalias.



**Figura 43.** Mapas de cargabilidade nas profundidades: (a) 250 metros; (b) 225 metros; (c) 200 metros; (d) 175 metros; (e) 150 metros; (f) 125 metros.

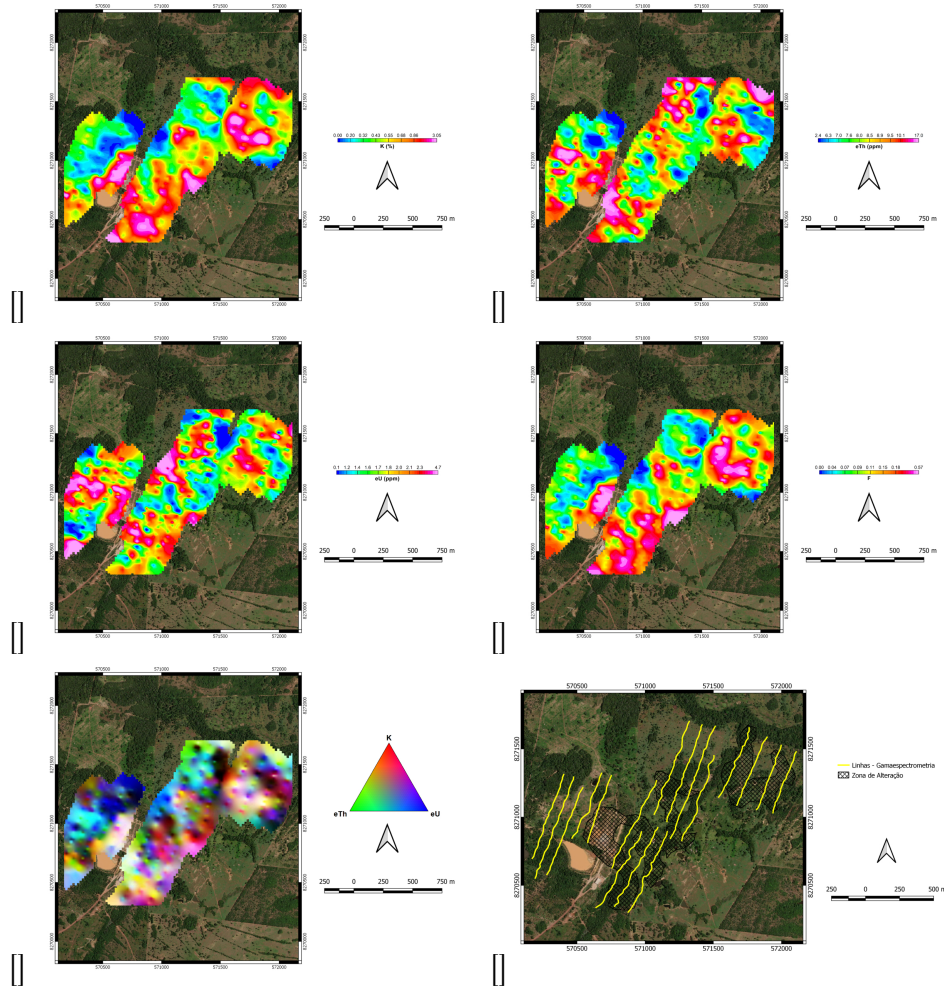
## .2.4 Gamaespectrometria

A interpretação dos dados gamaespectrométricos pode levar em consideração diversos fatores, na qual dependem da informação que se deseja extrair. A confecção dos produtos gamaespectrométricos auxilia na identificação de áreas de diferentes concentrações dos elementos (K, Th e U). O mapa radiométrico ternário em RGB (Figura 44e), as tonalidades variam entre o vermelho (100% K), azul (100% eU) e verde (100% eTh), onde a cor branca representa a presença dos três elementos e a cor preta representa a ausência dos três elementos. Os mapas de concentrações gerados são em % de Potássio, ppm para o eU, ppm para o eTh. O mapa do Fator F (Figura 44d), definido por  $F = (K \cdot eU)/eTh$ , realça o enriquecimento do potássio e urânio em relação ao tório, sendo um produto fundamental para determinação de áreas com alteração hidrotermal.

O mapa interpretado (Figura 44f) delimita as zonas de alteração hidrotermal inferidas a partir da integração dos produtos gamaespectrométricos, sobrepostas à malha de aquisição. As zonas interpretadas coincidem majoritariamente com áreas



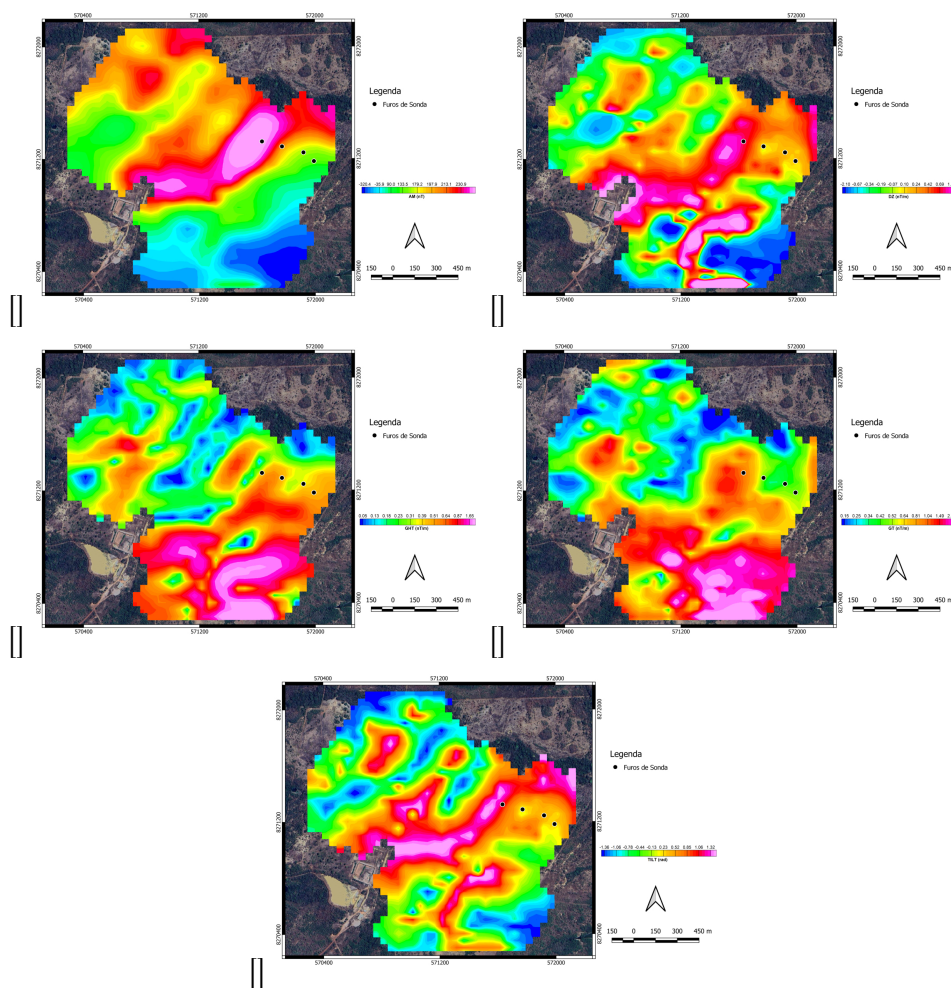
de anomalias em K e U, sugerindo potencial para mineralizações associadas a eventos hidrotermais.



**Figura 44.** Mapas de distribuição: (a) potássio; (b) tório; (c) urânio; (d) Fator F; (e) Mapa ternário dos radioelementos; (f) Mapa interpretado de zona de alteração hidrotermal sobreposto à localização das linhas de aquisição.

## .2.5 Magnetometria

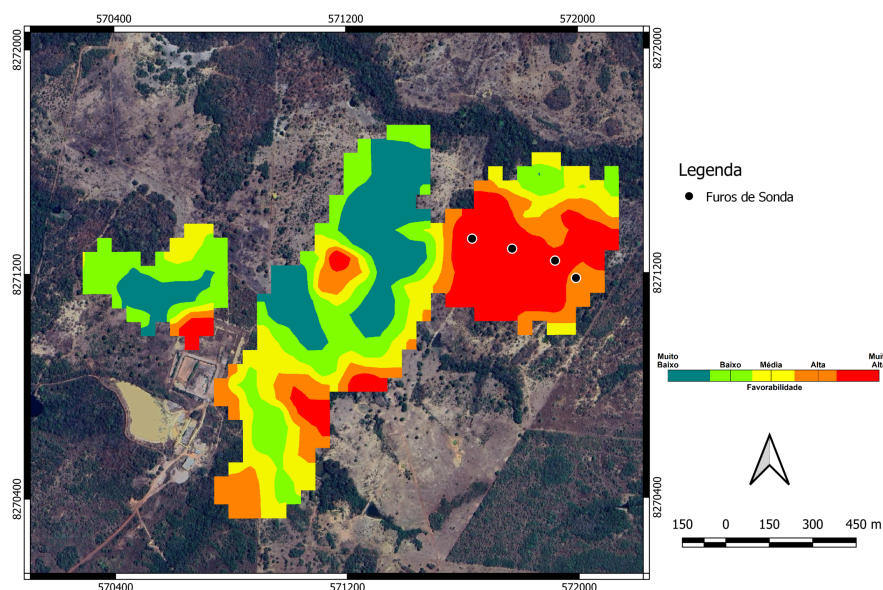
A sobreposição dos diferentes tipos de realces aplicados indica as zonas de maior interesse geológico. A identificação de lineamentos magnéticos de direção preferencial NE-SW, indica possíveis zonas de falha ou fraturas importantes como condutores de fluidos mineralizantes (Figura 45).



**Figura 45.** Mapa de (a) anomalia magnética; (b) derivada vertical de ordem 1; (c) gradiente horizontal total; (d) gradiente total; (e) derivada de inclinação - TILT.

## .2.6 Zonas de Favorabilidade

A correlação direta dos levantamentos terrestres, permitiu validar o modelo prospectivo desenvolvido e aumentar a confiabilidade de zonas de maior potencial exploratório. Foi elaborado um mapa de favorabilidade do depósito aurífero (Figura 46), na qual sintetiza as correlações e critérios definidos no estudo regional apresentado por Delmondes et al., (*submetido*), além da integração dos dados de cargabilidade, permitindo representar as zonas de favorabilidade para minerações auríferas. Verificou-se que as zonas com favorabilidade Alta e Muito Alta na região NE, apresentam boa correspondência com os locais na qual foram realizados os furos de sondagem.(Figura 46). Outras três zonas foram identificadas. Na porção central apresenta uma região menor, porém de Alta a Muito Alta. Na porção sul ocorre alta favorabilidade, não correlacionado com furos de sondagem, mas que apresenta possível continuidade com a região NE. Por fim, ocorre outra porção de Alta a Muito Alta, porém essa região correspondia a antiga cava de extração de ouro.



**Figura 46.** Mapa de favorabilidade do depósito aurífero sobreposto às posições de furos de sondagem realizados na região.

### .3 Conclusões

A aplicação dos métodos geofísicos de polarização induzida, magnetometria e gamaespectrometria integrada a informações de furos de sondagem, análise petrográfica e análise petrofísica, permitiu correlacionar anomalias que evidenciam zonas mineralizadas e zonas de potencial mineralização que auxiliam na definição de alvos exploratórios.

Os resultados de polarização induzida evidenciam zonas de alta cargabilidade, interpretadas como áreas potencialmente sulfetadas. As anomalias mais expressivas concentram-se na região central, apresentando uma direção preferencial NE-SW. Na porção nordeste, essa anomalia correlaciona-se com análises petrográficas e de susceptibilidade magnética, que identificaram sulfetos disseminados, principalmente pirita, e valores de susceptibilidade variando de 0,005 a 0,05 SI.

O levantamento magnético permitiu identificar lineamentos estruturais associados a variações de minerais magnéticos. As anomalias magnéticas integradas às informações de cargabilidade e distribuição de radioelementos, sugerem um controle estrutural sobre a mineralização.

A interpretação gamaespectrométrica identificou zonas de enriquecimento de potássio, relacionadas à alteração por processos hidrotermais. O produto de Fator F destacou regiões coincidentes com valores elevados de cargabilidade, que reforçam as zonas potenciais de mineralizações.

A análise de susceptibilidade permitiu identificar valores baixos (background), para as rochas metassedimentares presentes nos furos de sondagem, com valores que

não ultrapassam 0,01 SI. Entretanto, foi observado anomalias de susceptibilidade que indicam a zona de mineralização presente nas rochas e que foram identificadas em lâminas petrográficas.

A integração dos dados permitiu reduzir incertezas e identificar as relações entre as estruturas e a mineralização para definir alvos exploratórios mais confiáveis. As respostas geofísicas sugere que a mineralização está controlada por estruturas regionais e associadas a zonas de alteração hidrotermal.

A integração de dados geofísicos e geológicos contribuiu com o conhecimento de zonas mineralizadas. Além disso, os resultados reforçam o potencial da integração de dados geofísicos e geológicos para caracterização de zonas favoráveis para determinação de alvos exploratórios.

## Referências Bibliográficas

- [2] Almeida, F. F. M. Geologia do Centro-Oeste Matogrossense. *Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia, DNPM* **1964**, 215, 1–123.
- [3] Alvarenga, C. J. S. Evoluções das deformações polifásicas brasileiras na Faixa Paraguai – Região de Cuiabá, MT. In *Anais do 34<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Geologia*; Sociedade Brasileira de Geologia, Eds.; SBG: Goiânia, Brasil, 1986; Vol. 3, pp. 1170–1171.
- [5] Alvarenga, C. J. S. *Phénomènes sédimentaires, structuraux et circulation de fluides à la transition Chaîne-Craton: exemple de la côte Paraguai d'âge Protérozoïque Supérieur, Mato Grosso, Brésil*. Thèse de Doctorat ès Sciences, Université d'Aix-Marseille: Marseille, França, 1990; 177 p.
- [4] Claerbout, J. F.; Muir, F. Robust modeling with erratic data. *Geophysics* **1973**, 38, 826–844.
- [30] Geotomo. *Rapid 2-D Resistivity IP inversion using the least-squares methods*. Manual do usuário Res2Dinv, 2003; 129 p.
- [6] International Atomic Energy Agency. *Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data*. IAEA: Vienna, Áustria, 2003; 173 p.
- [29] Garcia, P. M. P.; Bonfim, C. S. A mineração e os limites geográficos na colonização de Cuiabá e Mato Grosso. *Terræ Didactica* **2022**, 18, e022029.
- [36] Lacerda Filho, J. V.; Abreu Filho, W.; Valente, C. R.; Oliveira, C. C.; Albuquerque, M. C. *Geologia e recursos minerais do estado de Mato Grosso*. Programa Geologia do Brasil; CPRM: Brasília, Brasil, 2004; 200 p.

- [37] Luz, J. S.; Oliveira, A. M.; Souza, J. O.; Motta, J. J. I. M.; Tanno, L. C.; Carmo, L. S.; Souza, N. B. *Projeto Coxipó: Relatório Final*. DNPM/CPRM: Goiânia, Brasil, 1980; Vol. 1, 136 p.
- [10] Paula, C. C. C.; Demore, P. F. Mineralogia dos concentrados de batéia na Baixada Cuiabana, MT. In *Anais do 33º Congresso Brasileiro de Geologia*; Sociedade Brasileira de Geologia, Eds.; SBG: Rio de Janeiro, Brasil, 1984; Vol. 1, pp. 405–415.
- [47] Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico de Mato Grosso. Publicação. SEDEC: Cuiabá, Brasil, 2023.
- [48] Seer, H. J. *Geologia, deformação e mineralização de cobre no complexo vulcano-sedimentar de Bom Jardim de Goiás*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília: Brasília, Brasil, 1985; 181 p.
- [49] Seer, J. H.; Nilson, A. A. Contribuição à geologia das unidades pré-cambrianas da região de Bom Jardim de Goiás. In *Ata do 2º Simpósio de Geologia do Centro-Oeste*; Sociedade Brasileira de Geologia, Eds.; SBG: Goiânia, Brasil, 1985; pp. 267–281.
- [50] Silva, C. H.; Simões, L. S. A.; Ruiz, A. S. Caracterização estrutural dos veios auríferos da região de Cuiabá, MT. *Revista Brasileira de Geociências* **2002**, *32*, 407–418.
- [15] Tokashiki, R. S.; Saes, G. S. Revisão estratigráfica e faciologia do Grupo Cuiabá no alinhamento Cangas-Poconé, MT. *Brazilian Journal of Geology* **2008**, *38*, 729–740.
- [53] Vasconcelos, J. *Proveniência sedimentar do Grupo Cuiabá na Faixa Paraguai Meridional*. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília: Brasília, Brasil, 2018; 173 f.
- [54] McGee, B.; Collins, A. S.; Trindadde, R. I. F. G'day Gondwana - the final accretion of a supercontinent: U-Pb ages from the post-orogenic São Vicente Granite, northern Paraguay Belt, Brazil. *Gondwana Research* **2011**, *21*, 316–322.

# Capítulo 4

## 4 Considerações Finais

Neste projeto de pesquisa foram implementados em dois artigos que contribuem para o conhecimento de regiões mineralizadas da Baixada Cuiabana.

O primeiro artigo intitulado "Delimitação de Zonas Potenciais para Mineralizações Auríferas na Baixada Cuiabana (MT) com base em Dados Aerogeofísicos e Evidências de Campo", foi realizado a partir de dados aerogeofísicos que foram utilizados, auxiliaram na caracterização litológica, possíveis zonas de alterações hidrotermais, além da identificação de estruturas magnéticas regionais. Esse artigo resultou na elaboração de mapa de favorabilidade, integrando os resultados obtidos e correlacionando com ocorrências mineralizadas conhecidas na região, que forneceu os critérios necessários que foram aplicados na estudo estudo local.

No segundo artigo, intitulado "Integração de dados geofísico-geológicos, aplicados à prospecção de depósitos auríferos sulfetados: um estudo de caso no distrito aurífero da Baixada Cuiabana, Mato Grosso", teve como base a aplicação geofísica em alto detalhe em um depósito aurífero no município de Nossa Senhora do Livramento. Foram levantados dados de polarização induzida, magnetometria e gamaespectrometria que foram correlacionados informações de furos de sondagem, além de análise de susceptibilidade magnética e petrográfica em amostras de testemunhos. Os resultados obtidos corroboram os critérios estabelecidos no estudo regional e determina novos critérios para elaboração de mapas de favorabilidade de potencial mineral em depósito, integrando dados de cargabilidade.

Os resultados obtidos confirmam a abordagem integrada realizada neste estudo, combinando dados aerogeofísicos, levantamentos geofísicos terrestres, petrofísicos e petrográficos para caracterização da assinatura geofísica e geometria de depósitos auríferos associados a sulfetos na região da Baixada Cuiabana. A correlação direta permitiu validar o modelo prospectivo desenvolvido e aumentar a confiabilidade na delimitação de zonas de maior potencial exploratório.

## Referências Bibliográficas

- [1] ALLMENDINGER, R. *Stereonet 11*. Disponível em: <https://www.rickallmendinger.net/stereonet>.
- [2] ALMEIDA, F. F. M. *Geologia do Centro-Oeste Matogrossense*. Boletim da Di-



- visão de Geologia e Mineralogia, DNPM, Rio de Janeiro, Boletim 215, 123 p., 1964.
- [3] ALVARENGA, C. J. S. Evoluções das deformações polifásicas brasileiras na Faixa Paraguai – Região de Cuiabá, MT. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 34., 1986, Goiânia. Anais... Goiânia: SBG, v. 3, p. 1170–1171, 1986.
  - [4] ALVARENGA, C. J. S. *Turbiditos e a glaciação do final do Proterozóico Superior no Cinturão Paraguai, Mato Grosso*. Revista Brasileira de Geociências, v. 18, n. 3, p. 323–327, 1988.
  - [5] ALVARENGA, C. J. S. *Phénomènes sédimentaires, structuraux et circulation de fluides à la transition Chaîne-Craton: Exemple de la cote Paraguai d'âge Proterozoïque Supérieur, Mato Grosso, Brésil*. Thèse de Doctorat ès Sciences, Université d'Aix-Marseille, 177 p., 1990.
  - [6] DNPM, *Sumário Mineral Brasileiro 2006*. Departamento Nacional de Produção Mineral, Brasília, 2006. Ouro.
  - [7] DNPM, *Sumário Mineral Brasileiro 2007*. Departamento Nacional de Produção Mineral, Brasília, 2007. Ouro.
  - [8] DNPM, *Sumário Mineral Brasileiro 2008*. Departamento Nacional de Produção Mineral, Brasília, 2008. Ouro.
  - [9] DNPM, *Sumário Mineral Brasileiro 2009*. Departamento Nacional de Produção Mineral, Brasília, 2009. Ouro.
  - [10] DNPM, *Sumário Mineral Brasileiro 2010*. Departamento Nacional de Produção Mineral, Brasília, 2010. Ouro.
  - [11] DNPM, *Sumário Mineral Brasileiro 2011*. Departamento Nacional de Produção Mineral, Brasília, 2011. Ouro.
  - [12] DNPM, *Sumário Mineral Brasileiro 2012*. Departamento Nacional de Produção Mineral, Brasília, 2012. Ouro.
  - [13] DNPM, *Sumário Mineral Brasileiro 2013*. Departamento Nacional de Produção Mineral, Brasília, 2013. Ouro.
  - [14] DNPM, *Sumário Mineral Brasileiro 2014*. Departamento Nacional de Produção Mineral, Brasília, 2014. Ouro.
  - [15] DNPM, *Sumário Mineral Brasileiro 2015*. Departamento Nacional de Produção Mineral, Brasília, 2015. Ouro.
  - [16] ANM, *Anuário Mineral Brasileiro 2016*. Agência Nacional de Mineração, Brasília, 2016. Ouro.

- [17] ANM, *Anuário Mineral Brasileiro 2017*. Agência Nacional de Mineração, Brasília, 2017. Ouro.
- [18] ANM, *Sumário Mineral 2018 – Ouro*. Agência Nacional de Mineração, Brasília, 2018.
- [19] ANM, *Anuário Mineral Brasileiro 2019 – Ouro*. Agência Nacional de Mineração, Brasília, 2019.
- [20] ANM, *Sumário Mineral 2020 – Ouro*. Agência Nacional de Mineração, Brasília, 2020.
- [21] ANM, *Anuário Mineral Brasileiro 2021 – Ouro*. Agência Nacional de Mineração, Brasília, 2021.
- [22] ANM, *Sumário Mineral 2023 – Ouro (Ano-base 2022)*. Agência Nacional de Mineração, Brasília, 2023.
- [23] BLAKELY, R. J. *Potential theory in gravity and magnetic applications*. Cambridge University Press, 1996.
- [24] BONHAM-CARTER, G. F. *GIS methods for integrating exploration data sets*. In: Proceedings of Exploration 97: Fourth Decennial International Conference on Mineral Exploration, edited by A. G. Gubins, p. 59–64, 1997.
- [25] CORDANI, U. G.; BRITO NEVES, B. B.; FUCK, R. A.; THOMAZ FILHO, A.; CUNHA, F. M. B. *Estudo preliminar de integração do Pré-Cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras*. Revista Brasileira de Geociências, v. 19, p. 325–332, 1989.
- [26] CORDANI, U. G.; BRITO NEVES, B. B.; THOMAZ FILHO, A. *Estudo preliminar de integração do pré-cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras (Atualização)*. Boletim de Geociências da Petrobrás, v. 17, n. 1, p. 205–219, 2009.
- [27] *Relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos — Projeto Aerogeofísico Cuiabá*. CPRM, 2014.
- [28] FAURE, G.; MENSING, T. M. *Isotopes: Principles and Applications*, 3rd edition, Wiley, 2005.
- [29] GARCIA, P. M. P.; BONFIM, C. S. *A mineração e os limites geográficos na colonização de Cuiabá e Mato Grosso*. Terræ Didactica, v. 18 (Publ. Contínua), p. 1–16, e022029, 2022. doi: 10.20396/td.v18i00.8670731.
- [30] GEOTOMO *Rapid 2-D Resistivity & IP inversion using the least-squares methods*. Manual do usuário Res2Dinv, 129 p., 2003.

- [31] GILMORE, G. *Practical Gamma-Ray Spectrometry*, 2nd edition, Wiley, 2008.
- [32] GNOJEK, I.; PRICHYSTAL, A. *A new zinc mineralization detected by airborne gamma-ray spectrometry in Northern Moravia (Czechoslovakia)*. *Geoexploration*, v. 23, n. 4, p. 491–502, 1985.
- [33] HINZE, W. J.; VON FRESE, R. R. B.; SAAD, A. H. (Eds.) *Gravity and Magnetic Exploration*, Cambridge University Press, New York, 2013.
- [34] INVESTING.COM *Cotações de Ouro e Metais Preciosos*. Nova Iorque: Investing.com, 2024. Disponível em: <https://br.investing.com/commodities/gold>.
- [35] KNOLL, G. F. *Radiation Detection and Measurement*, 4th edition, Wiley, 2010.
- [36] LACERDA FILHO, J. V.; ABREU FILHO, W.; VALENTE, C. R.; OLIVEIRA, C. C.; ALBUQUERQUE, M. C. *Geologia e recursos minerais do estado de Mato Grosso*, Programa Geologia do Brasil, CPRM/MME/SICME, Relatório final, 200 p., 2004.
- [37] LUZ, J. S.; OLIVEIRA, A. M.; SOUZA, J. O.; MOTTA, J. J. I. M.; TANNO, L. C.; CARMO, L. S.; SOUZA, N. B. *Projeto Coxipó: Relatório Final*, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Superintendência Regional de Goiânia, DNPM/CPRM, v. 1, 136 p., 1980.
- [38] MADANI, A. A. *Knowledge-driven GIS Modeling Technique for Gold Exploration, Bulghah Gold Mine Area, Saudi Arabia*, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, v. 14, p. 91–97, 2011.
- [39] MARTIN, B. R.; SHAW, G. *Nuclear and Particle Physics: An Introduction*, 2nd edition, John Wiley & Sons, 2017.
- [40] MILLIGAN, P. R.; GUNN, P. J. *Enhancement and presentation of airborne geophysical data*, *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics*, v. 17, n. 2, p. 63–76, 1997.
- [41] NABIGHIAN, M. N.; MACNAE, J. C. *Time domain electromagnetic prospecting methods*, In: *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics*, Vol. 2A, M. N. Nabighian (ed.), Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, Oklahoma, USA, pp. 427–520, 1991.
- [42] NABIGHIAN, M. N.; ANDER, M. E.; GRAUCH, V. J. S., et al. *Historical development of the magnetic method in exploration*, *Geophysics*, v. 70, pp. 33ND–61ND, 2005.

- [43] NÓBREGA, R. P. *Análise espacial ‘knowledge-driven’ e ‘data-driven’: o uso das lógicas booleana, fuzzy e redes neurais para geração de mapas favorabilidade mineral na região centro-leste da Bahia*, Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.
- [44] PAULA, C. C.; DEMORE, P. F. *Mineralogia dos concentrados de batéia na Baixada Cuiabana, MT*, In: Congresso Brasileiro de Geologia, 33., 1984, Rio de Janeiro. Anais... Goiânia: SBG, v. 1, p. 405–415, 1986.
- [45] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA *Plano Nacional de Mineração 2030: Geologia, Mineração e Transformação Mineral*, Brasília, 2010.
- [46] REYNOLDS, J. M. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*, John Wiley Sons Ltd., Chichester, 796 p., 1997.
- [47] SEDEC – Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico de Mato Grosso *Cuiabá: SEDEC*, 2023.
- [48] SEER, H. J. *Geologia, deformação e mineralização de cobre no complexo vulcano-sedimentar de Bom Jardim de Goiás*, Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 181 p., 1985.
- [49] SEER, J. H.; NILSON, A. A. Contribuição à geologia das unidades pré-cambrianas da região de Bom Jardim de Goiás. In: Simpósio de Geologia do Centro-Oeste, 2., 1985, Goiânia-GO. Ata... Goiânia: SBG, p. 267–281, 1985.
- [50] SILVA, C. H.; SIMÕES, L. S. A.; RUIZ, A. S. *Caracterização estrutural dos veios de quartzo auríferos da região de Cuiabá (MT)*, Revista Brasileira de Geociências, v. 32, p. 407–418, 2002.
- [51] SUMNER, J. S. *Principles of Induced Polarization for Geophysical Exploration*, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 1976.
- [52] USTRA, A. T. *Utilização dos métodos eletrorresistividade e polarização induzida com aquisição de dados 3D para caracterização geoambiental de uma área à jusante do aterro de resíduos sólidos urbanos de Bauru - SP*, Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2008.
- [53] VASCONCELOS, J. *Proveniência sedimentar do Grupo Cuiabá na Faixa Paraguai Meridional*, Tese (Doutorado em Geologia) — Universidade de Brasília, Brasília, 2018. 173 f., il.
- [54] MCGEE, B.; COLLINS, A. S.; TRINDADDE, R. I. F. *G'day Gondwana - the final accretion of a supercontinent: U-Pb ages from the post-orogenic São Vicente Granite, northern Paraguay Belt, Brazil*, Gondwana Research, v. 21, n. 2-3, p. 316–322

## A Apêndice



**Profundidade:**

36,00 - 38,00

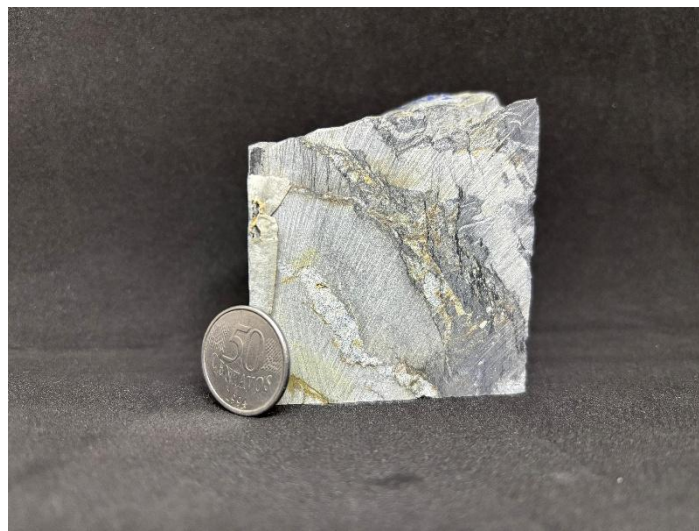
55,75 - 57,10

**Amostra:**

**Meta-arenito com veios de quartzo**

**Meta-arenito com intercalações de meta-siltito e filito carbonoso**

**Fotografia Macroscópica:**



**Descrição Macroscópica:**

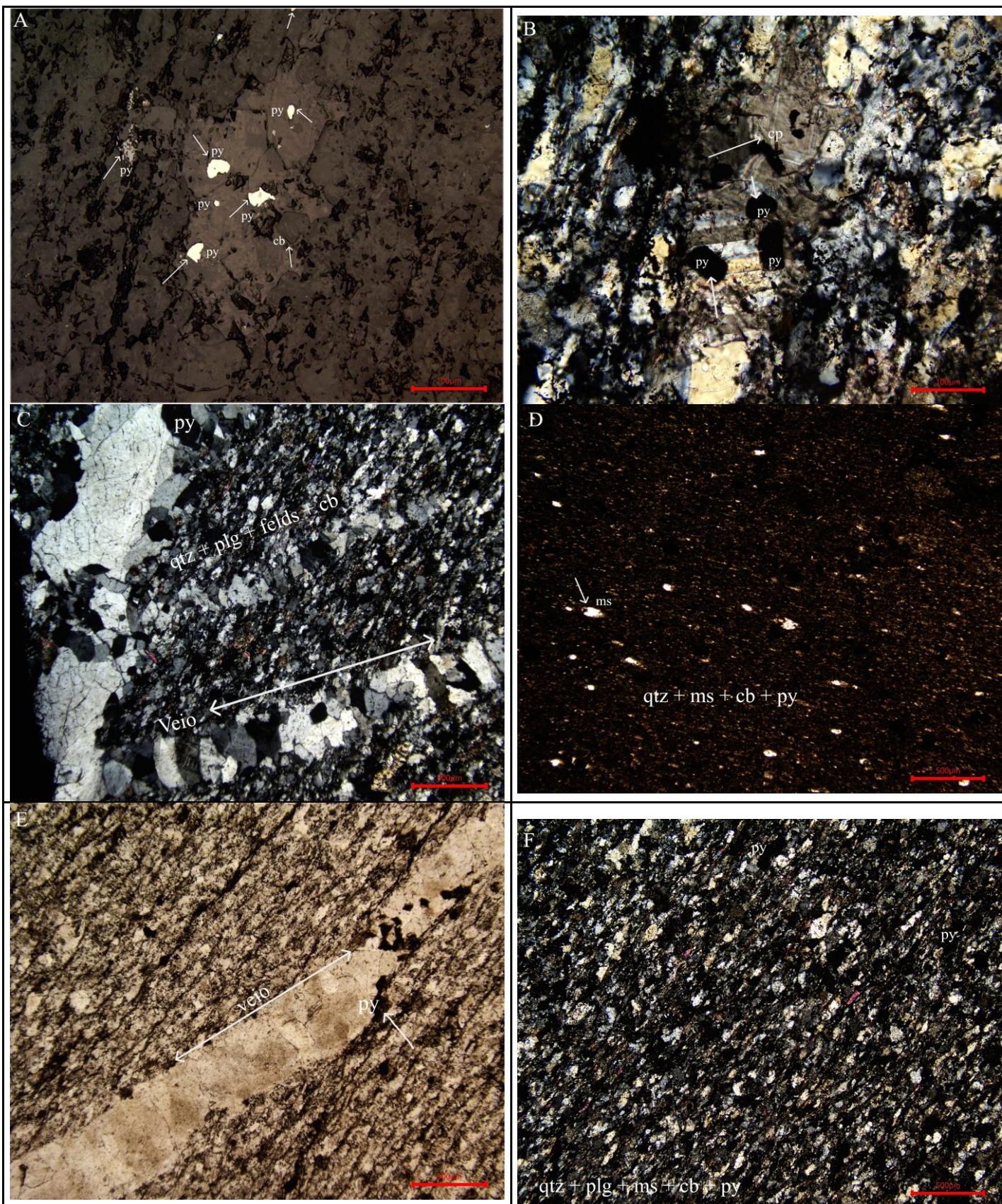
Rocha de cor cinza-escuro, siliciclástica, maciça, com coesão atribuída ao alto grau de recristalização. Apresenta veios de quartzo amorfo, dobrados, dispostos predominantemente perpendicularmente à foliação. São observadas camadas alternadas de meta-siltito e filito carbonoso, com concentrações de sulfetos orientadas tanto paralela quanto perpendicularmente à foliação. Nos contatos entre as camadas, verifica-se intensa sulfetação, caracterizada pela presença de pirita e galena.

O **MTA** (metarenito) exibe foliação marcada pelo estiramento dos clastos e contém veio de quartzo amorfo, dobrado, na base da camada. Também ocorrem veios de quartzo tabulares, dobrados, além de sulfetos disseminados ao longo da foliação do **FTC** (filito tufítico carbonoso) e nas paredes dos veios.

O **MTS** (metassiltito) apresenta coloração bege-clara, com intercalações de MTA branco variando de 4 a 7 cm de espessura. Registra-se concentração de sulfetos em zonas de silicificação, entre 55,75 m e 56,10 m. No MTA, esses sulfetos estão associados a veios carbonatados dispostos paralelamente ao sentido do furo.

**Fotomicrografia:**





#### Descrição Microscópica:

Os meta-arenitos são intercalados com os meta-siltitos e por vezes com filitos carbonosos, tem granulometria fina a média, com arranjo textural predominantemente granoblastico com domínios lepidoblasticos. É composta por quartzo, plagioclásio, feldspato potássico, muscovita e material carbonoso como minerais essenciais, além zircão e clorita. Os cristais de quartzo são anedricos, pouco fraturados com extinção ondulante, por vezes, estirados formando agregados recristalizados e boundãs, normalmente associado aos feldspatos e em veios perpendiculares a foliação preferencial. O



plagioclásio possui cristais prismáticos alongados, por vezes exibindo zoneamento interno, parcialmente sericitizado, com inclusões de quartzo e mica. Os cristais de feldspato são associados a trama quartzo e plagioclásio, ocorrem também como veios. Os cristais de muscovita possuem cristais subhedrais alongados e tabulares, de pleocroísmo verde a marrom. Os minerais opacos estão distribuídos ao longo dos plagioclásios e quartzo e podem ser disntinguidos como piritas e calcopiritas.

**Composição Modal:**

| Mineral             | %  |
|---------------------|----|
| Quartzo             | 50 |
| Plagioclásio        | 20 |
| Feldspato potássico | 10 |
| Muscovita           | 5  |
| Material carbonoso  | 7  |
| Opacos              | 3  |

**Interpretação:**

Ao analisar o furo **DH-001**, identificam-se três fases distintas de sulfetação, ricas em pirita e calcopirita, associadas a uma trama quartzo-feldspática. A **primeira fase** é caracterizada por piritas que precipitaram durante a formação da rocha, alinhadas paralelamente à foliação. A **segunda fase** está associada a veios de quartzo localizados no contato entre camadas de meta-siltito e filito carbonoso. Já a **terceira fase** corresponde a piritas disseminadas que não apresentam orientação preferencial em relação à foliação associados a carbonatos.



**Profundidade:**

42,60 – 44,10

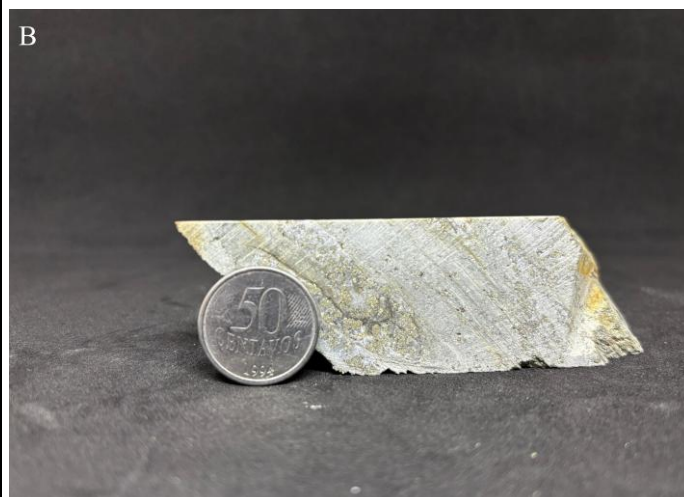
73,40 – 74,90

74,90 – 76,40

**Amostra:**

**Meta-siltito**

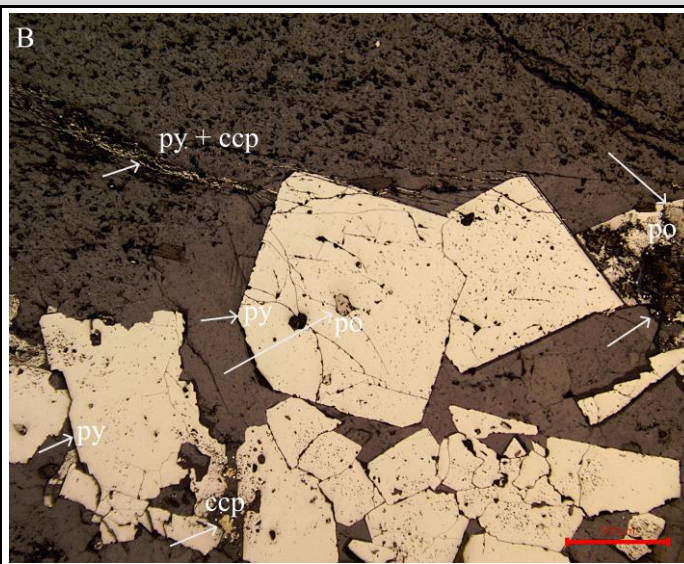
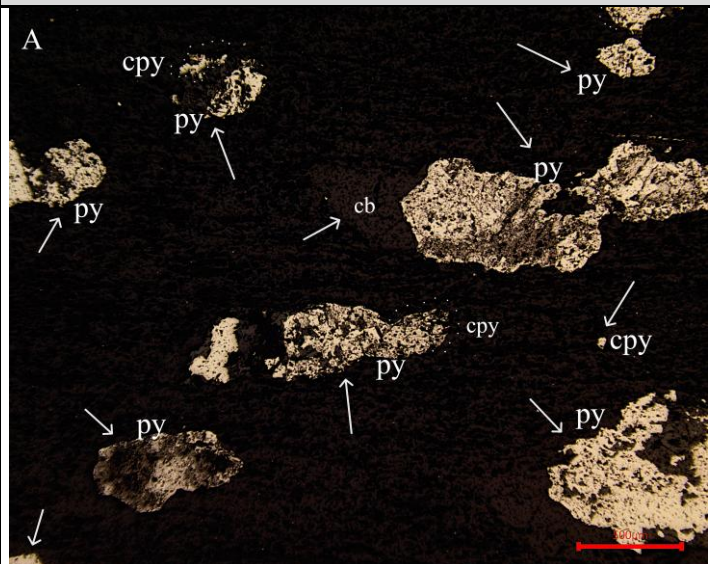
**Fotografia Macroscópica:**



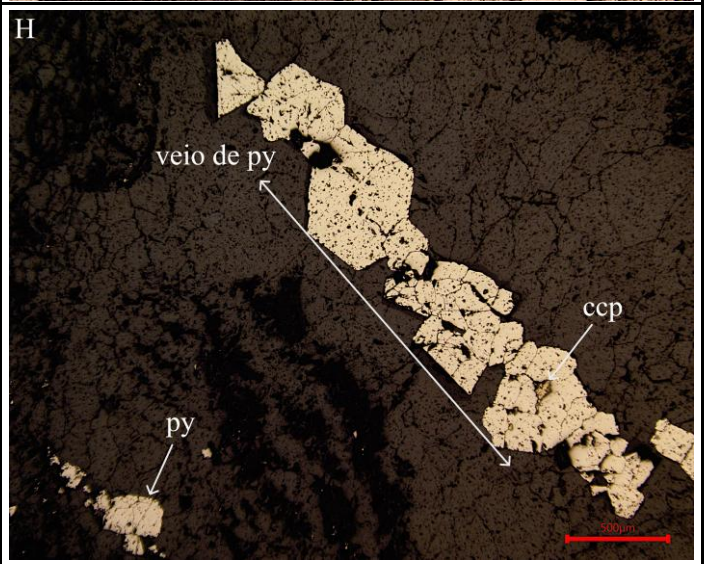
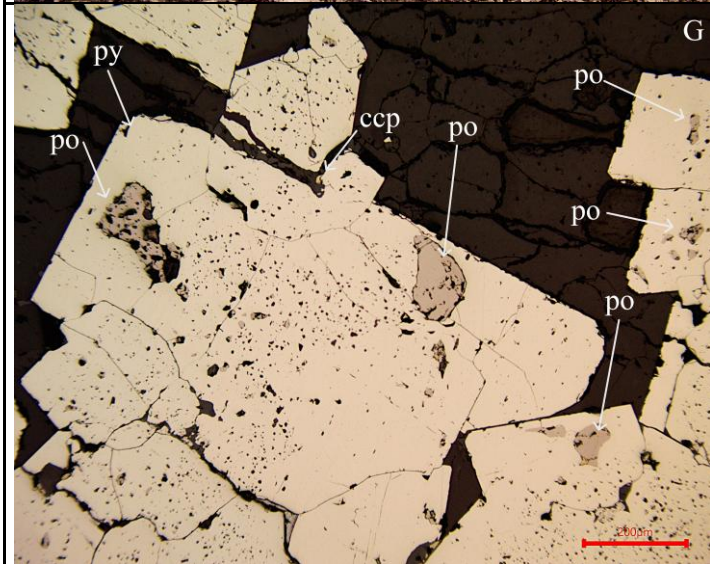
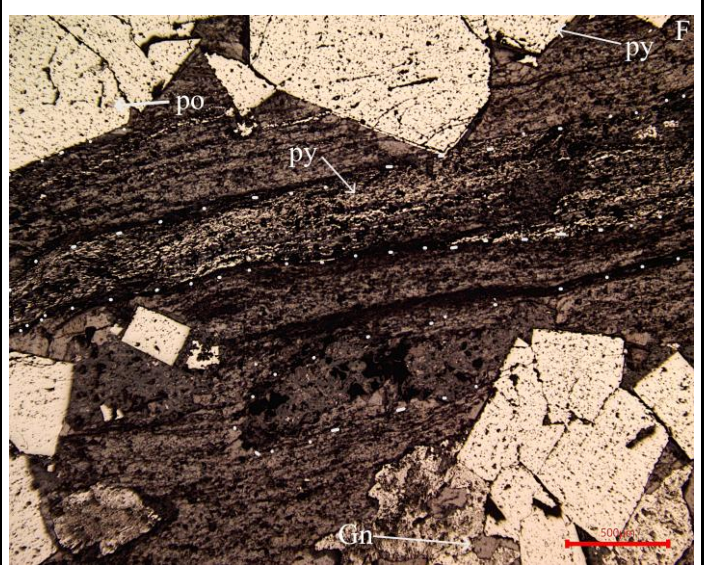
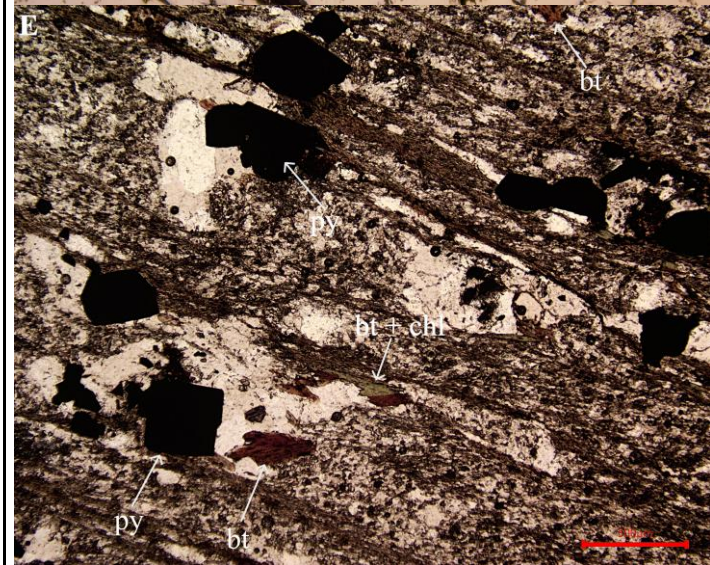
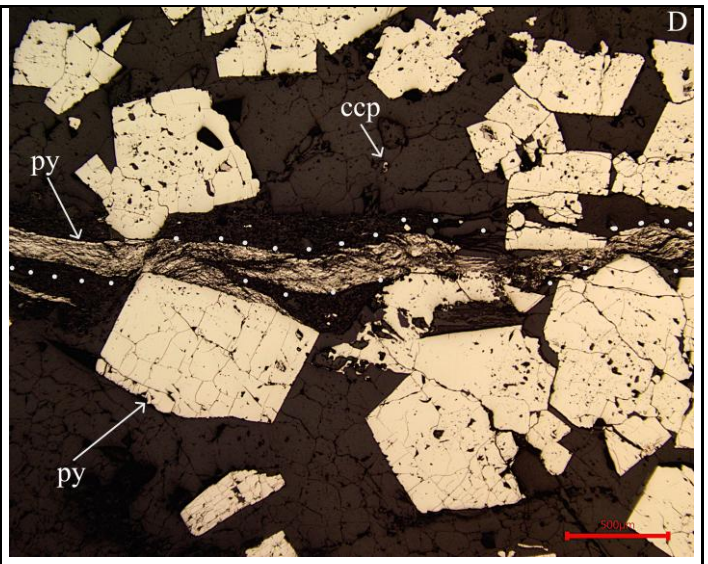
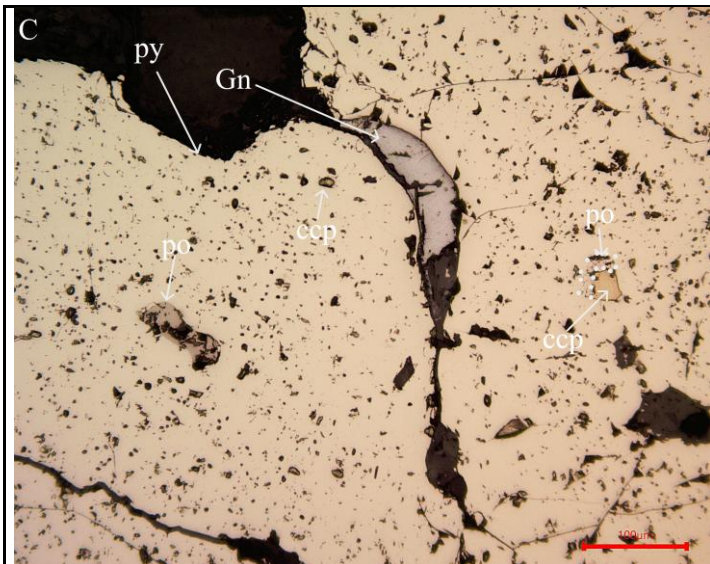
**Descrição Macroscópica:**

Rocha de cor bege claro a cinza claro, de granulação fina e tamanho relativo dos cristais semelhante. Apresenta veios de quartzo amorfo, dispostos predominantemente paralelos à foliação. São observadas camadas alternadas de meta-arenito fino de 2 a 7 cm e zonas de silicificação de 3 a 5 cm. As concentrações de sulfetos orientadas tanto paralela quanto perpendicularmente à foliação. As zonas de sulfetação estão condicionadas a silicificação. O MTS bege claro com algumas camadas de MTA de 2 a 7 cm e zonas silificadas de 3 a 5 cm, sulfetos condicionados as zonas silificadas. Também podem ser observados pequenos veios de calcita e fraturas preenchidas.

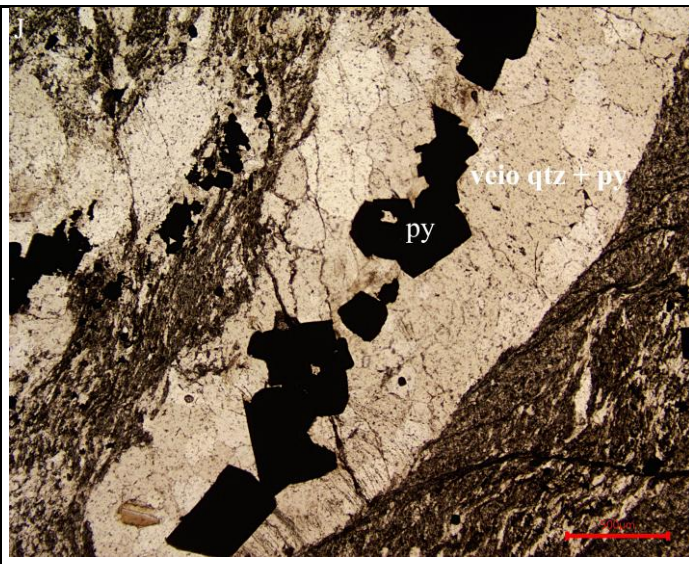
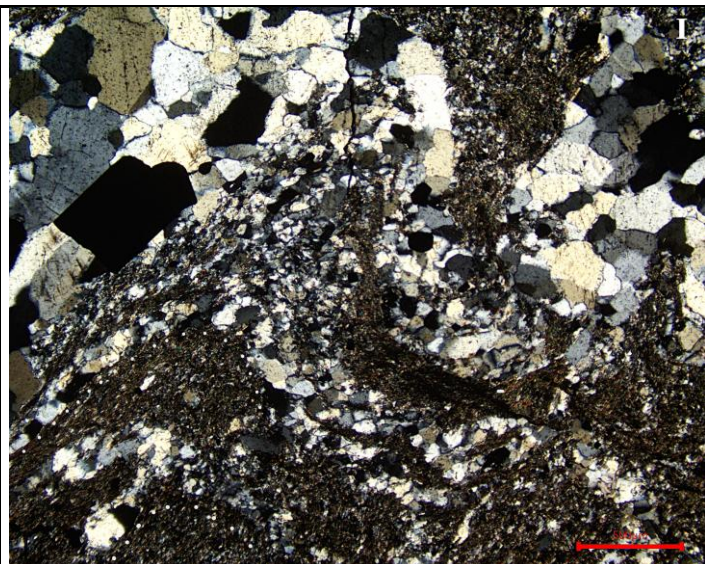
**Fotomicrografia:**











#### Descrição Microscópica:

Rocha de granulação fina, equigranular, composta essencialmente por quartzo anedral incolor (submilimétrico), exibindo bandas de deformação, extinção ondulante e mosaicos policristalinos por recristalização. Muscovita de hábito lamelar, incolor, submilimétrica, com alta birrefringência e locais processos de cloritização. Clorita de hábito lamelar a acicular, submilimétrica, com pleocroísmo verde escuro a verde claro e baixa birrefringência (cinza clara). **Granada anedral** fina, dispersa na matriz. Em luz refletida, ocorrem **pirita, calcopirita, pirrotita e galena**.

A rocha registra forte deformação dúctil, com porfiroclastos de quartzo rotacionados e veios de quartzo silicificados. Zonas ricas em minerais micáceos, material carbonoso e quartzo marcam corredores de percolação de fluidos; observam-se também níveis argilosos micáceos.

#### Composição Modal:

| Mineral                      | %  |
|------------------------------|----|
| Quartzo                      | 35 |
| Argilo minerais Plagioclásio | 40 |
| Muscovita                    | 13 |
| Material carbonoso           | 5  |
| Opacos                       | 8  |

#### Interpretação:

O furo **DH-002**, identificam-se quatro fases distintas de sulfetação, ricas em pirita, calcopirita, pirrotita e galena associadas a uma trama quartzo-feldspática. A **primeira fase** é caracterizada por piritas deformadas formadas durante a cristalização da rocha hospedeira, orientadas paralelamente à foliação principal e normalmente com alteração para Oxi Fe (Fig.A). A **segunda fase** são piritas que ocorrem de forma disseminada associadas aos fluidos ricos em sílica que aproveitaram zonas de foliação para gerar bandas ricas em quartzo, nas quais precipitou pirita ( $>50\ \mu\text{m}$ ), euédrica, com hábito cúbico a calcopirita e a pirrotita inclusas de forma mais alongada (Fig. B, C, D e H). A **terceira fase** está associada piritas euédricas com hábito cúbico e triangulas, que ocorrem de forma disseminada e exibem núcleos com numerosas inclusões minerais não refletivas e bordas mais limpas, vinculadas a quartzo translúcido lamelar, intensa carbonatação e enriquecimento em biotita lamelar de coloração vermelho-esverdeada (Fig. E e F). Já a **quarta fase** corresponde piritas de hábito cúbico e triangular que ocorrem em veios finos que cortam as fases anteriores, tanto paralelamente quanto perpendicularmente à foliação. Nesta última fase nota-se que as piritas correm em paragênese com carbonato e clorita (Fig. F, G e H) . A cloritização é observada substituindo biotitas alteradas e de forma disseminada nas rochas encaixantes.



**Profundidade:**

73,10 - 74,20

83,85 - 84,80

**Amostra:**

**Meta-siltito com intercalações de meta-arenito**

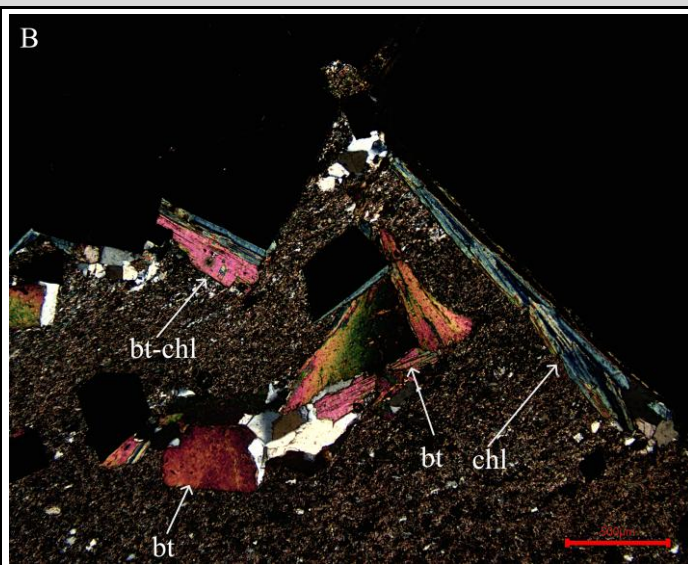
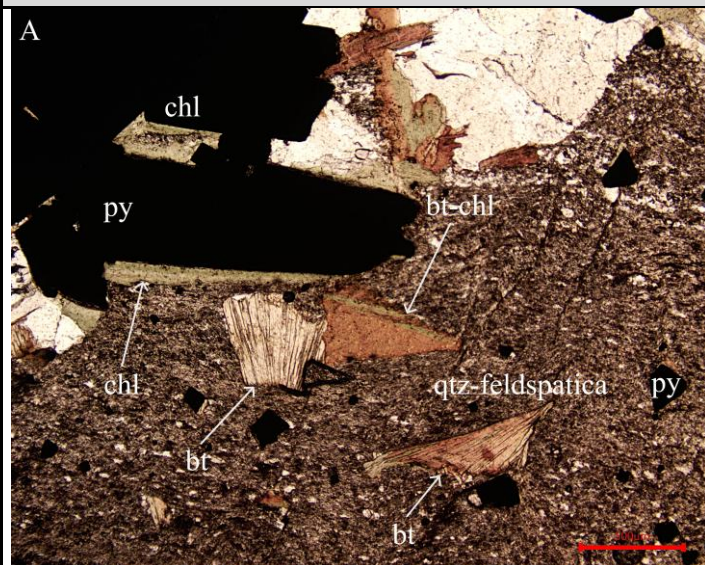
**Fotografia Macroscópica:**



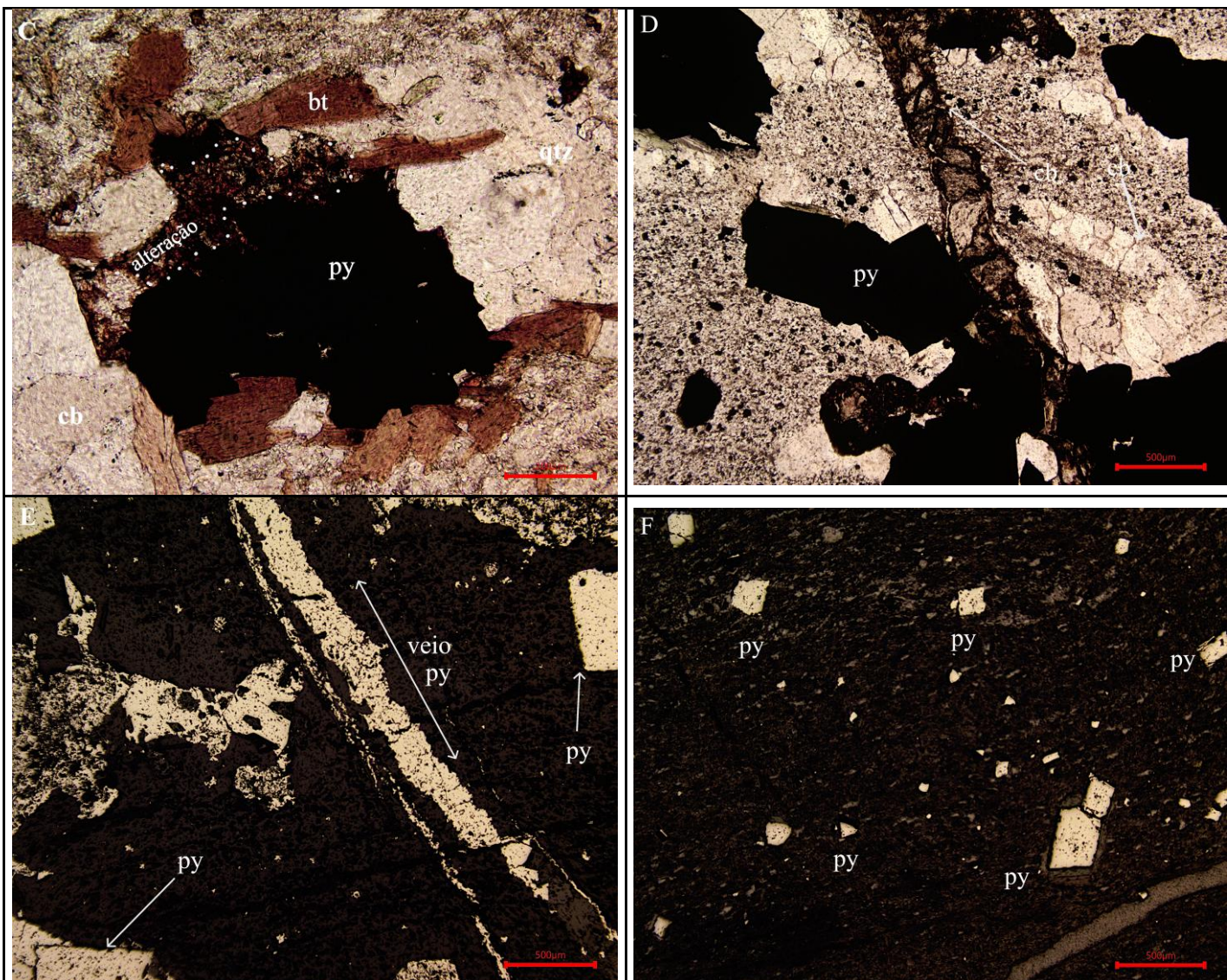
**Descrição Macroscópica:**

Rocha de cor bege a cinza claro. Apresenta veios de quartzo amorfo e carbonado. São observadas camadas alternadas de meta-arenito. Os sulfetos ocorrem orientadas tanto paralela quanto perpendicularmente à foliação e me veios enriquecidos com quartzo e carbonato, por vezes é possível observar limonita.

**Fotomicrografia:**







#### Descrição Microscópica:

Meta-siltitos com alterações de pequenas camadas de meta-arenito tem granulação muito fina, composto por por quartzo, plagioclásio, argilo minerais, carbonato, biotita e clorita como minerais essenciais, além zircão. Os cristais de quartzo são anedricos, pouco fraturados com extinção ondulante, por vezes, estirados formando agregados recristalizados, normalmente associado aos plagioclásio e em veios perpendiculares. O plagioclásio possui cristais prismáticos alongados, por vezes exibindo zoneamento interno, parcialmente sericitizado, com inclusões de quartzo e mica. Os cristais de biotita possuem cristais subhedrais lamelar de coloração marrom avermelhada. Os carbonatos ocorrem em veios associados a silicificação que pode sugerir maior hidratação na fase. Os minerais opacos estão distribuídos ao longo a trama quartzo-carbonato e quartzo-biotita e podem ser distinguidos como piratas.

#### Composição Modal:

| Mineral         | %  |
|-----------------|----|
| Quartzo         | 30 |
| Plagioclásio    | 5  |
| Argilo minerais | 40 |
| Biotita         | 10 |
| Carbonoso       | 3  |
| Opacos          | 3  |



**Interpretação:**

Na análise do furo **DH-004**, identificam-se três fases distintas de sulfetação, ricas em pirita associadas a uma trama quartzo-carbonato e quartzo-biotita. A **primeira fase** é caracterizada por piritas deformadas formadas durante a cristalização da rocha hospedeira, orientadas paralelamente à foliação principal e com alteração para Oxi Fe (Fig. C). A **segunda fase** são piritas que ocorrem de forma disseminada associadas aos fluidos ricos em sílica e carbonato que aproveitaram zonas de foliação para gerar bandas ricas em quartzo, nas quais precipitou pirita ( $>30\text{ }\mu\text{m}$ ), euédrica, com (Fig. F). A **terceira fase** e última fase está associada piritas euédricas, que ocorrem em veios finos que cortam as fases anteriores, tanto paralelamente quanto perpendicularmente à foliação. Nesta última fase nota-se que as piritas correm em paragênese com carbonato-biotita em que a biotita apresenta uma coloração avermelhada e por vezes cloritizada (Fig. A, B e D). A cloritização é observada substituindo biotitas alteradas e de forma disseminada nas rochas encaixantes.



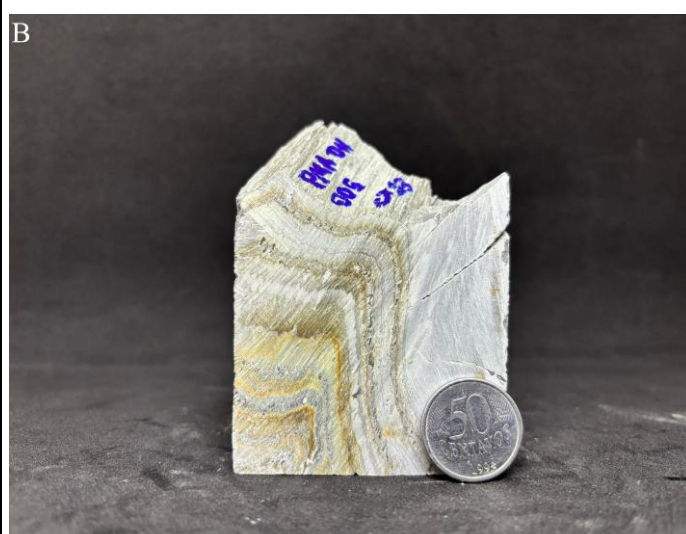
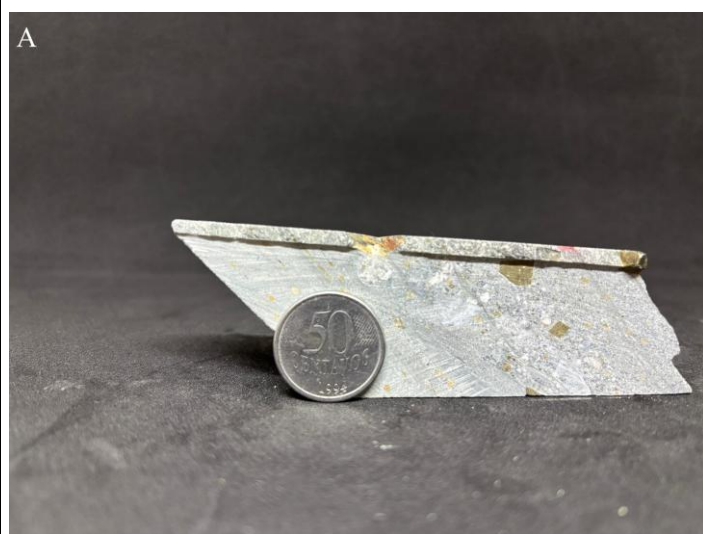
**Profundidade:**

70,45 71,40

**Amostra:**

**Meta-siltito**

**Fotografia Macroscópica:**

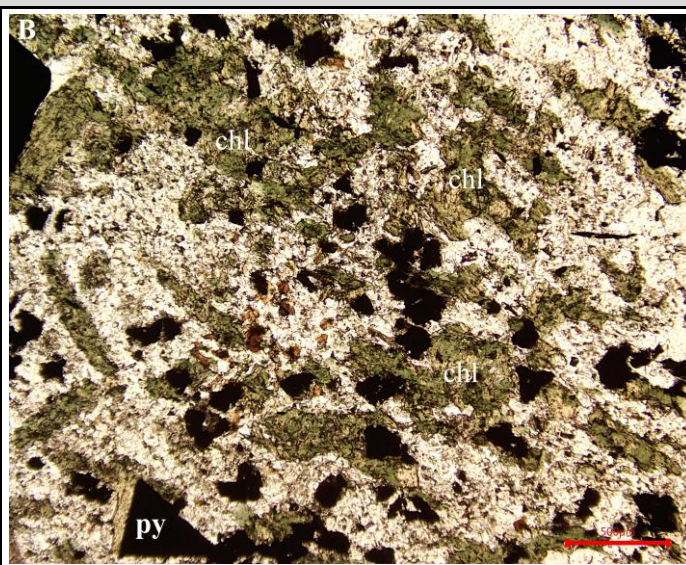
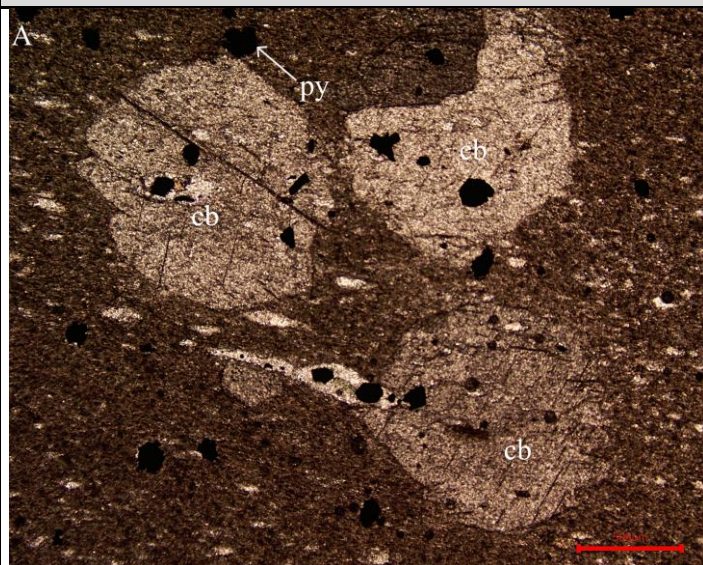


**Descrição Macroscópica:**

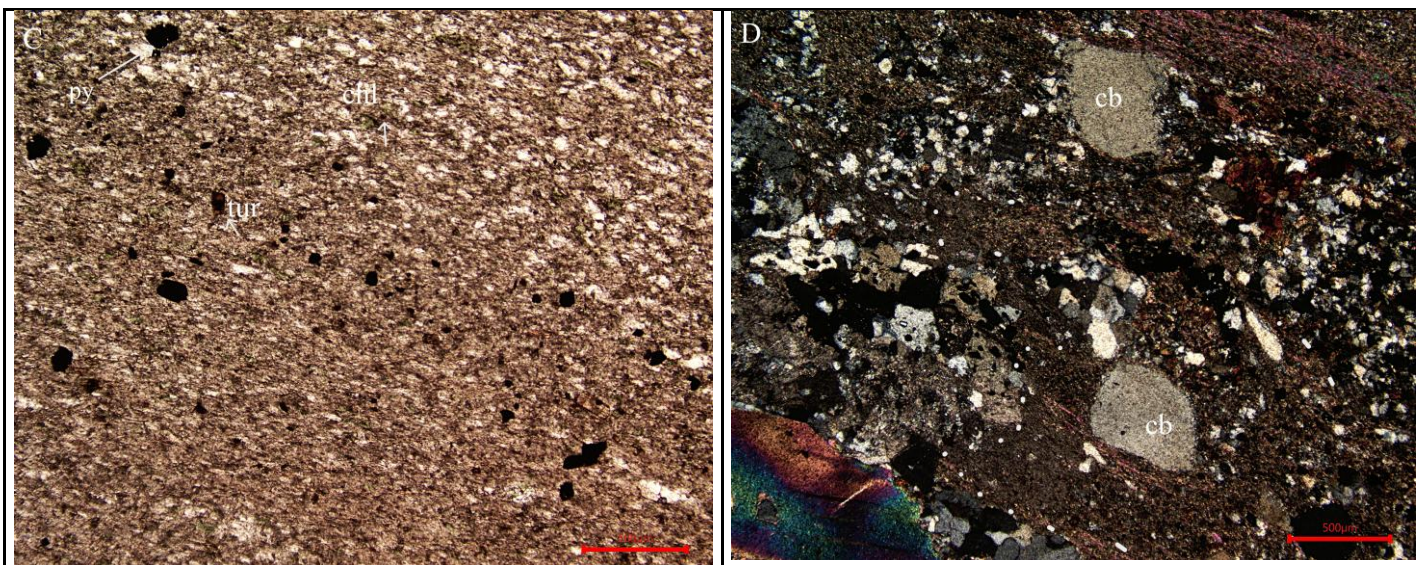
Rocha de cor cinza-claro, de aspecto maciço, cortada por veios de quartzo amorfo e carbonático, localmente dobrados. Os sulfetos ocorrem tanto paralelamente quanto perpendicularmente à foliação, além de estarem concentrados em veios enriquecidos em quartzo e carbonato. A pirita ocorre de forma disseminada e associada ao plano de foliação, podendo atingir até 5 cm.

Nas regiões em que as camadas se encontram dobradas, observa-se maior concentração de argilominerais. Além disso, verifica-se alternância com níveis mais brechados, indicando heterogeneidade estrutural e possível atuação de fluidos durante a deformação.

**Fotomicrografia:**







#### **Descrição Microscópica:**

Os meta-siltitos apresentam granulação muito fina, alternando localmente com camadas de meta-arenitos e níveis brechados. A mineralogia essencial é composta por quartzo, plagioclásio, argilominerais, carbonato, biotita e clorita, ocorrendo ainda turmalina e zircão como minerais acessórios.

O quartzo ocorre em cristais anédricos, pouco fraturados, com extinção ondulante; em alguns casos apresenta-se estirado e recrystalizado, formando agregados, geralmente associado ao plagioclásio e em veios perpendiculares à foliação. O plagioclásio ocorre em cristais prismáticos alongados, por vezes com zoneamento interno, parcial sericitização e inclusões de quartzo e mica. A biotita forma cristais subédricos lamelares, de coloração marrom-avermelhada.

Os carbonatos aparecem tanto em veios quanto como clastos disseminados, associados a zonas de silicificação, possivelmente indicando maior hidratação durante o evento metamórfico/hidrotermal. Os minerais opacos distribuem-se ao longo da trama quartzo–carbonato e carbonato–biotita, sendo distinguíveis principalmente como pirita.

#### **Composição Modal:**

| Mineral         | %  |
|-----------------|----|
| Quartzo         | 30 |
| Plagioclásio    | 5  |
| Argilo minerais | 40 |
| Clorita         | 10 |
| Carbonoso       | 3  |
| Opacos          | 3  |

#### **Interpretação:**

No furo DH-005 foram identificadas três fases distintas de sulfetação, compostas predominantemente por pirita, associadas a uma trama quartzo–carbonato e carbonato–clorita.

**Na primeira fase** são representadas por piritas deformadas, formadas durante a cristalização da rocha hospedeira. Estas piritas encontram-se orientadas paralelamente à foliação principal, apresentando sinais de alteração para óxidos de Fe-Mn (Fig. B). **Na segunda fase** é caracterizada por piritas disseminadas, associadas a fluidos ricos em sílica e carbonato que aproveitaram zonas de foliação, originando bandas ricas em quartzo. Nesses níveis precipitaram piritas euédricas (>60 µm) (Figs. B e D). **Na terceira fase** corresponde a piritas euédricas em veios finos, que cortam as fases anteriores tanto paralelamente quanto perpendicularmente à foliação. Esta fase ocorre em paragênese com carbonato e clorita,

relacionada também à porção brechada da rocha, onde se observa maior enriquecimento de fluidos (Figs. A e D). A cloritização é marcante, substituindo biotitas alteradas e ocorrendo ainda de forma disseminada nas rochas encaixantes (Fig. B).