



Métodos Potenciais e
Espectrometria-Gama aplicados à
Exploração Mineral de Ferro e
Cobre no Estado de Alagoas, Brasil

MARIANA ROSÁRIO CONCEIÇÃO SAMPAIO

SALVADOR – BAHIA
JUNHO – 2024

Métodos Potenciais e Espectrometria-Gama aplicados à Exploração Mineral de Ferro e Cobre no Estado de Alagoas, Brasil

por

MARIANA ROSÁRIO CONCEIÇÃO SAMPAIO

Bacharel em Geofísica (Universidade Federal da Bahia – 2019)

Engenheira Eletricista (Universidade Salvador – 2021)

Orientadora: Profa. Dra. Alanna Costa Dutra

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Submetida em satisfação parcial dos requisitos ao grau de

MESTRE EM CIÊNCIAS

EM

GEOFÍSICA

ao

Conselho Acadêmico de Ensino

da

Universidade Federal da Bahia

Comissão Examinadora

Prof^ª. Dr^ª. Alanna C. Dutra

Prof^ª. Dr^ª. Alice M. P. Lau

Prof. Dr. Marcos A. R. Vasconcelos

Aprovada em 13 de junho de 2024

Universidade Federal da Bahia

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA

Instituto de Geociências e Instituto de Física

Rua Barão de Jeremoabo, s/n – sala 208-E – Campus de Ondina – Salvador - BA

Ata da Sessão Pública para julgamento da Dissertação de Mestrado em Geofísica Aplicada intitulada: “**Métodos Potenciais e Espectrometria-Gama aplicados à Exploração Mineral de Ferro e Cobre no Estado de Alagoas, Brasil**” da aluna Mariana Rosário Conceição Sampaio, realizada em nove de agosto de dois mil e vinte e quatro.

Aos nove dias do mês de agosto de dois mil e vinte e quatro, às nove horas, a professora Alanna Dutra, na condição de Presidente da Banca, iniciou os trabalhos da defesa enviando à senhora Mariana Rosário Conceição Sampaio questões formuladas pelos examinadores. Às quatorze horas, no auditório do CPGG – sala 163E, reservado ao ambiente de defesa, o professor Clemente Tanajura, Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Geofísica, seguindo o procedimento adotado pelo Colegiado, iniciou os trabalhos de defesa pública da Dissertação de Mestrado em Geofísica da senhora Mariana Rosário Conceição Sampaio, agradecendo a presença da Banca Examinadora constituída pelos doutores: Alanna Costa Dutra (Orientadora, UFBA), Alice Marques Pereira Lau (UFBA) e Marcos Alberto Rodrigues Vasconcelos (UFBA). Em seguida, o Prof. Tanajura passou a condução da sessão de defesa para a Profa. Dutra, orientadora da candidata. Assim a Profa. Dutra convidou a senhora Mariana Rosário Conceição Sampaio a fazer a apresentação oral de sua Dissertação de Mestrado intitulada “**Métodos Potenciais e Espectrometria-Gama aplicados à Exploração Mineral de Ferro e Cobre no Estado de Alagoas, Brasil**”. A apresentação foi realizada no tempo aproximado de cinquenta minutos. Em seguida, cada examinador leu suas questões e a mestranda leu suas respostas, estabelecendo-se um debate onde a mestranda esclareceu pontos de seu trabalho. Concluída esta etapa, foi franqueada a palavra à plateia que se manifestou. Finalmente, o Presidente suspendeu os trabalhos para os examinadores elaborarem os seus pareceres. Retornando aos trabalhos, os pareceres foram lidos e obteve-se o seguinte resultado: Dra. Alanna Dutra – **APROVADA**, Dra. Alice Lau – **APROVADA** e Dr. Marcos Vasconcelos – **APROVADO**. O Presidente, então, agradeceu aos membros da Banca Examinadora pelo trabalho realizado e a presença do público e deu por encerrada a sessão. E eu, Júlio Leão Brandão, secretário do PPGEOF, lavrei a presente ata que, após lida e aprovada, será assinada. Salvador, 9 de agosto de 2024.////

Documento assinado digitalmente

gov.br

ALANNA COSTA DUTRA

Data: 23/08/2024 11:03:32-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Documento assinado digitalmente

gov.br

ALICE MARQUES PEREIRA LAU

Data: 24/08/2024 09:12:38-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Documento assinado digitalmente

gov.br

MARCOS ALBERTO RODRIGUES VASCONCELOS

Data: 26/08/2024 07:46:50-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

A presente pesquisa foi desenvolvida no Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia da UFBA, com recursos próprios e FAPESB.

Sampaio, Mariana Rosário Conceição

Métodos Potenciais e Espectrometria-Gama aplicados à Exploração Mineral de Ferro e Cobre no Estado de Alagoas, Brasil / Mariana Rosário Conceição Sampaio. – Salvador, 2024.

171 f.: il

Orientadora: Profa. Dra. Alanna Costa Dutra

Dissertação (Mestrado - Mestrado em Geofísica Aplicada com Ênfase em Exploração Mineral) – Universidade Federal da Bahia. Instituto de Geociências, 2024.

1. Geofísica Mineral. 2. Inversão 3D. 3. Gravimetria 4. Aero-geofísica 5. Potencial Mineral.

I. Dutra, Alanna Costa. II. Título.

À minha família, amigos e amor.

Resumo

A utilização da interpretação geofísica na pesquisa mineral brasileira vem se tornando cada vez mais importante na identificação de alvos para a exploração de recursos minerais em toda a extensão territorial do país. A Zona de Transição entre o Domínio Pernambuco-Alagoas e o Orógeno Sergipano, localizada na Província Borborema Meridional, Nordeste do Brasil, é um exemplo de região que apresenta um vasto potencial para exploração de ferro e cobre, dispondo de um grande acervo de dados geofísicos e pesquisas geológicas. Entretanto, com a carência de aprofundamentos geofísicos acessíveis, a presente pesquisa, visou contribuir com investigações gravimétricas, magnéticas e radiométricas na região, buscando elencar, além dos conhecidos focos de exploração de ferro e cobre, outras possíveis regiões minerais para exames de detalhe. Ao longo do trabalho, são processados e empregados dados radiométricos, gravimétricos e magnéticos para caracterizar a área de estudo e aprofundar-se em maiores detalhes nas indicações de regiões minerais potenciais para exploração de cobre e ferro. Para atingir o objetivo do trabalho, foram empregadas metodologias conhecidas por suas contribuições na identificação de pontos de alteração hidrotermal, a exemplo do Fator F e Potássio Anômalo, e artifícios para delineamento de zonas de contato e fontes magnéticas e gravimétricas, como a amplitude do sinal analítico e o gradiente total horizontal. Valendo-se sempre de análises estatísticas quantitativas e qualitativas dos dados, expôs-se, como um dos resultados do trabalho, a correlação positiva entre pontos de ocorrência de ferro e cobre à regiões com enriquecimento de urânio e potássio respectivamente. Para entender melhor o substrato dos principais focos minerais identificados na região, foram desenvolvidos modelos tridimensionais de densidade a partir dos dados gravimétricos processados. Destes resultados, extraíram-se informações de profundidade e volume de fontes gravimétricas, estimativas de contrastes de densidade entre os corpos e noções de disposição e estruturas presentes no subsolo. Diante das conclusões apresentadas, este trabalho configura-se como mais uma evidência da gama de possibilidades que a geofísica pode oferecer como ferramenta no campo exploratório mineral.

Palavras-chave: Pesquisa Geofísica Mineral, Inversão Gravimétrica Tridimensional, Exploração de Cobre e Ferro.

Abstract

Geophysical interpretation has become increasingly important in identifying targets for mineral resource exploration in Brazil. The Transition Zone between the Pernambuco-Alagoas Domain and the Sergipano Belt, located in the Southern Borborema Province in Northeastern Brazil, is an example of a region that presents a vast potential for iron and copper exploration, disposing of an extensive collection of geophysical data and geological surveys. However, due to the lack of accessible geophysical investigations, the present research aimed to contribute to the region's gravity, magnetic, and radiometric investigations to identify other possible mineral regions for detailed examinations in addition to the known iron and copper exploration targets. Throughout the project, radiometric, gravimetric, and magnetic data were processed and used to characterize the study area and examine the potential mineral regions for copper and iron exploration in greater detail. To achieve the objective of this work, well-known methodologies were used to identify points of hydrothermal alteration, such as the F Factor and Anomalous Potassium, as well as methods for delineating contact zones and magnetic and gravimetric sources, such as the amplitude of the analytical signal and the total horizontal gradient. Taking advantage of quantitative and qualitative statistical data analysis, one of the outcomes of the work was the positive correlation between iron and copper occurrence points and regions with uranium and potassium enrichment, respectively. Three-dimensional density models were developed from the gravimetric data processed to understand better the substrate of the primary mineral sources identified in the region. From these results, information was extracted concerning the depth and volume of gravimetric sources, estimates of density contrasts between bodies and notions of the layout and structures in the subsoil. Given the conclusions presented, this study is further evidence of the range of possibilities geophysics can offer as a tool in mineral exploration.

Keywords: Mining Geophysics, Three-Dimensional Gravity Inversion, Copper and Iron Exploration.

Índice

Resumo	4
Abstract	5
Índice	6
Índice de tabelas	8
Índice de figuras	9
Memorial descritivo	16
1 Métodos Gravimétrico e Magnético	18
Artigo submetido à Revista Indexada (Qualis Capes A2):	18
Depósitos de Ferro e Cobre em Alagoas, Brasil: Análise Integrada de Dados Gra- vimétricos e Magnéticos.	18
Resumo	18
Introdução	19
Área de Estudo	21
Materiais e Métodos	27
Base de Dados Gravimétricos	28
Base de Dados Magnéticos	30
Análise conjunta de assinaturas magnéticas e gravimétricas	32
Inversão Gravimétrica 3D	35
Resultados e Discussões	36
Avaliação Petrofísica	37
Avaliação Gravimétrica e Magnética	39
Inversões Gravimétricas 3D	44
Conclusões	70
Agradecimentos	72

Referências	72
2 Método de Espectrometria-Gama	75
Artigo publicado na Brazilian Journal of Geophysics:	75
Gamma spectrometry data suggest opportunities for mineral research in Alagoas, Brazil.	75
Abstract	75
Introduction	76
Data and Methods	79
Results and Discussion	83
Conclusion	102
Acknowledgments	104
Agradecimentos	107
.	108
3 Anexo 1	114
Tabela com Informações das Amostras Utilizadas no Trabalho	114

Índice de tabelas

1.1	Parâmetros da base final de dados gravimétricos.	28
1.2	Parâmetros de aquisição do levantamento aeromagnético extraídos de CPRM (2011).	31
1.3	Estatísticas do banco de dados de medidas de suscetibilidade magnética ($\times 10^{-3}$).	38
1.4	Estatísticas do banco de dados de medidas de densidade (g/cm^3).	38
1.5	Parâmetros empregados para a inversão 3D das áreas 1, 2 e 3.	56
1.6	Parâmetros empregados para a inversão 3D das áreas 4, 5 e 6.	56
1.7	Parâmetros computacionais resultantes das inversões 3D.	57
2.1	Acquisition parameters extracted from CPRM (2011)	79
2.2	Statistical of gamma-ray measures database. Reference values extracted from Ribeiro et al. (2014) and Sampaio and Silva (2017)	83
2.3	Intensity of radiometric ranges used in the interpretation maps.	85

Índice de figuras

1.1	Mapa da área de estudo com informações litoestratigráficas, estruturais e de interesse mineral. Recorte vermelho mostra a dimensão da área de estudo em comparação com a extensão da Folha Arapiraca SC-X-24. ZCPI - Zona de Cisalhamento Palmeira dos Índios/ ZCJH - Zona de Cisalhamento Jacaré dos Homens. Informações extraídas de Mendes et al. (2009).	22
1.2	A) Formação Ferrífera Bandada. Minerais de Ferro: B) Magnetita (Fe_3O_4). C) Hematita (Fe_2O_3). Imagens extraídas do acervo digital do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (USP) (USP, 2021).	24
1.3	Minerais de Cobre: A) Calcopirita ($CuFeS_2$). B) Calcopirita e Bornita (Cu_5FeS_4). Imagens extraídas do acervo digital do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (USP, 2021), e da coleção pessoal da autora.	26
1.4	Mapa de anomalia Bouguer total com plotagem da distribuição da estações gravimétricas de coleta de dado representadas pelo símbolo +	29
1.5	Mapa de Anomalia Magnética Total.	32
1.6	A) Histograma dos dados de susceptibilidade magnética medidos em amostras da região. B) Histograma dos dados de densidade medidos em amostras da região.	38
1.7	Mapa de anomalia Bouguer residual com retângulos pretos representando as áreas selecionadas para inversão tridimensional de densidade (áreas de 1 a 6). Linhas pontilhadas em branco delimitam as áreas entre os domínios geotectônicos, e as linhas brancas contínuas perfazem os contornos das áreas potenciais estudadas. A1, A2, A3 e A4 representam anomalias gravimétricas positivas que se destacaram no mapa, enquanto B1 representa um baixo gravimétrico realçado.	40

- 1.8 Mapa da Amplitude do Sinal Analítico do dado magnético com retângulos pretos representando as áreas selecionadas para inversão tridimensional de densidade. Linhas pontilhadas em branco delimitam as áreas entre os domínios geotectônicos, e as linhas brancas contínuas perfazem os contornos das áreas potenciais estudadas. L1, L2, L3, L4 e L5 representam destaques nos lineamentos observados neste mapa. 42
- 1.9 A) Mapa da Primeira Derivada Vertical com sobreposições de lineamentos magnéticos. B) Rosa dos ventos com predominância de direções E-W. C) Traçados Magnéticos da área de estudo. E1, E2, E3 e E4 representam destaques nos lineamentos observados neste mapa. 43
- 1.10 Área 1 selecionada para inversão tridimensional de densidade. A) Mapa da Anomalia Bouguer com linhas de contorno da seção. B) Mapa da Anomalia Magnética Total da seção. C) Mapa do Gradiente Horizontal Total da Anomalia Bouguer com polígono branco da área potencial RC1 - Ferro Bandado sobreposto. D) Mapa da Amplitude do Sinal Analítico da seção com polígono branco da área potencial RC1 - Ferro Bandado sobreposto. E) Mapa Topográfico (SRTM) da seção com polígono branco da área potencial RC1 - Ferro Bandado sobreposto e ocorrência de ferro (círculos verdes). F) Mapa do ASTA, com polígono branco da área potencial RC1 - Ferro Bandado sobreposto. 46
- 1.11 Área 2 selecionada para inversão tridimensional de densidade. A) Mapa da Anomalia Bouguer com linhas de contorno da seção. B) Mapa da Anomalia Magnética Total da seção. C) Mapa do Gradiente Horizontal Total da Anomalia Bouguer com polígono em branco da área potencial RC3 - Ferro Maciço sobreposto. D) Mapa da Amplitude do Sinal Analítico da seção com polígono em branco da área potencial RC3 - Ferro Maciço sobreposto. E) Mapa Topográfico (SRTM) da seção com polígono da área potencial RC3 - Ferro Maciço sobreposto e ocorrência de ferro (círculos verdes) e de cobre (círculos azuis). F) Mapa do ASTA, com polígono em branco da área potencial RC3 - Ferro Maciço sobreposto. 48

- 1.12 Área 3 selecionada para inversão tridimensional de densidade. A) Mapa da Anomalia Bouguer com linhas de contorno da seção. B) Mapa da Anomalia Magnética Total da seção. C) Mapa do Gradiente Horizontal Total da Anomalia Bouguer com polígono em branco da área potencial RC1 - Ferro Bandado e RC2 - Cobre, ouro e ferro maciço sobreposto. D) Mapa da Amplitude do Sinal Analítico da seção com polígono em branco da área potencial RC1 - Ferro Bandado e RC2 - Cobre, ouro e ferro maciço sobreposto. E) Mapa Topográfico (SRTM) da seção com polígono em branco da área potencial RC1 - Ferro Bandado e RC2 - Cobre, ouro e ferro maciço sobreposto e ocorrência de ferro (círculos verdes) e de cobre (círculos azuis). F) Mapa do ASTA, com polígono em branco da área potencial RC1 - Ferro Bandado e RC2 - Cobre, ouro e ferro maciço sobreposto. 50
- 1.13 Área 4 selecionada para inversão tridimensional de densidade. A) Mapa da Anomalia Bouguer com linhas de contorno da seção. B) Mapa da Anomalia Magnética Total da seção. C) Mapa do Gradiente Horizontal Total da Anomalia Bouguer com polígono em branco da área potencial MC1 - Cobre e Fluorita sobreposto. D) Mapa da Amplitude do Sinal Analítico da seção com polígono em branco da área potencial MC1 - Cobre e Fluorita sobreposto. E) Mapa Topográfico (SRTM) da seção com polígono em branco da área potencial MC1 - Cobre e Fluorita sobreposto e ocorrência de cobre (círculos azuis). F) Mapa do ASTA, com polígono em branco da área potencial MC1 - Cobre e Fluorita sobreposto. 51
- 1.14 Área 5 selecionada para inversão tridimensional de densidade. A) Mapa da Anomalia Bouguer com linhas de contorno da seção. B) Mapa da Anomalia Magnética Total da seção. C) Mapa do Gradiente Horizontal Total da Anomalia Bouguer com polígono em branco da área potencial CN1 - Ferro Bandado sobreposto. D) Mapa da Amplitude do Sinal Analítico da seção com polígono em branco da área potencial CN1 - Ferro Bandado sobreposto. E) Mapa Topográfico (SRTM) da seção com polígono em branco da área potencial CN1 - Ferro Bandado sobreposto e ocorrência de ferro (círculos verdes) e de cobre (círculos azuis). F) Mapa do ASTA com polígono em branco da área potencial CN1 - Ferro Bandado sobreposto. 53

- 1.15 Área 6 selecionada para inversão tridimensional de densidade. A) Mapa da Anomalia Bouguer com linhas de contorno da seção. B) Mapa da Anomalia Magnética Total da seção. C) Mapa do Gradiente Horizontal Total da Anomalia Bouguer com polígono em branco da área potencial GP1 - Ferro Bandado sobreposto. D) Mapa da Amplitude do Sinal Analítico da seção com polígono em branco da área potencial GP1 - Ferro Bandado sobreposto. E) Mapa Topográfico (SRTM) da seção com polígono em branco da área potencial GP1 - Ferro Bandado sobreposto e ocorrência de ferro (círculos verdes). F) Mapa do ASTA com polígono em branco da área potencial GP1 - Ferro Bandado sobreposto. 55
- 1.16 Modelo 3D derivado do procedimento de inversão gravimétrica da área selecionada 1, e composto por isosuperfícies com contrastes de densidade positivos. O resultado é apresentado em conjunto com o mapa da anomalia Bouguer da seção em questão. 58
- 1.17 Modelo 3D derivado do procedimento de inversão gravimétrica da área selecionada 2, e composto por isosuperfícies com contrastes de densidade positivos. O resultado é apresentado em conjunto com o mapa da anomalia Bouguer da seção em questão. 60
- 1.18 Modelo 3D derivado do procedimento de inversão gravimétrica da área selecionada 3, e composto por isosuperfícies com contrastes de densidade positivos. O resultado é apresentado em conjunto com o mapa da anomalia Bouguer da seção em questão. 62
- 1.19 Modelo 3D derivado do procedimento de inversão gravimétrica da área selecionada 4, e composto por isosuperfícies com contrastes de densidade positivos. O resultado é apresentado em conjunto com o mapa da anomalia Bouguer da seção em questão. 64
- 1.20 Modelo 3D derivado do procedimento de inversão gravimétrica da área selecionada 5, e composto por isosuperfícies com contrastes de densidade positivos. O resultado é apresentado em conjunto com o mapa da anomalia Bouguer da seção em questão. 65
- 1.21 Modelo 3D derivado do procedimento de inversão gravimétrica da área selecionada 6, e composto por isosuperfícies com contrastes de densidade positivos. O resultado é apresentado em conjunto com o mapa da anomalia Bouguer da seção em questão. 67

1.22	Mapa com curvas de contorno pretas da anomalia Bouguer do dado original a ser invertido e a curva de contorno vermelha produzida pelo modelo de densidade resultante do processo de inversão gravimétrica referentes ao modelo da área 1.	68
1.23	Mapa com curvas de contorno pretas da anomalia Bouguer do dado original a ser invertido e a curva de contorno vermelha produzida pelo modelo de densidade resultante do processo de inversão gravimétrica referentes ao modelo da área 2.	68
1.24	Mapa com curvas de contorno pretas da anomalia Bouguer do dado original a ser invertido e a curva de contorno vermelha produzida pelo modelo de densidade resultante do processo de inversão gravimétrica referentes ao modelo da área 3.	69
1.25	Mapa com curvas de contorno pretas da anomalia Bouguer do dado original a ser invertido e a curva de contorno vermelha produzida pelo modelo de densidade resultante do processo de inversão gravimétrica referentes ao modelo da área 4.	69
1.26	Mapa com curvas de contorno pretas da anomalia Bouguer do dado original a ser invertido e a curva de contorno vermelha produzida pelo modelo de densidade resultante do processo de inversão gravimétrica referentes ao modelo da área 5.	70
1.27	Mapa com curvas de contorno pretas da anomalia Bouguer do dado original a ser invertido e a curva de contorno vermelha produzida pelo modelo de densidade resultante do processo de inversão gravimétrica referentes ao modelo da área 6.	70
2.1	Geotectonic clipping of the Transition Zone between the Pernambuco-Alagoas (DPA) and the domains pertaining to the Sergipano Orogen. Modified from Mendes et al. (2009) and Santos et al. (2021)	77
2.2	Flowchart applied to work.	81
2.3	Histograms and scatter plots per geotectonic domain of the database. DC - Canindé Domain, DJP - Jirau do Ponciano Dome, DMP - Marancó Poço Redondo Domains, DPA - Pernambuco Alagoas Domin, DRC - Rio Coruripe Domain, DM - Macururé Domain.	84

- 2.4 A) Potassium Concentration Map. Blue and green circles represent respectively indications of copper and iron occurrences extracted from Mendes and Brito (2017). DC - Canindé Domain, DJP - Jirau do Ponciano Dome, DMP - Marancó Poço Redondo Domains, DPA - Pernambuco Alagoas Domin, DRC - Rio Coruripe Domain, DM - Macururé Domain and CBB - Cabrobró complex. 86
- 2.5 A) Thorium Concentration Map overlaid on the terrain relief. B) Uranium Concentration Map. Blue and green circles represent respectively indications of copper and iron occurrences extracted from Mendes and Brito (2017). DC - Canindé Domain, DJP - Jirau do Ponciano Dome, DMP - Marancó Poço Redondo Domains, DPA - Pernambuco Alagoas Domin, DRC - Rio Coruripe Domain, DM - Macururé Domain. 88
- 2.6 A) Potassium/Thorium Map. B) Uranium/Thorium Map. Blue and green circles represent respectively indications of copper and iron occurrences extracted from Mendes and Brito (2017). DC - Canindé Domain, DJP - Jirau do Ponciano Dome, DMP - Marancó Poço Redondo Domains, DPA - Pernambuco Alagoas Domin, DRC - Rio Coruripe Domain, DM - Macururé Domain. 91
- 2.7 A) Ternary Map. B) Radiometric Domain Map. Blue and green circles represent respectively indications of copper and iron occurrences extracted from Mendes and Brito (2017). DC - Canindé Domain, DJP - Jirau do Ponciano Dome, DMP - Marancó Poço Redondo Domains, DPA - Pernambuco Alagoas Domin, DRC - Rio Coruripe Domain, DM - Macururé Domain and CBB - Cabrobró Complex. 93
- 2.8 A) F Factor Map. B) Anomalous K Map. Blue and green circles represent respectively indications of copper and iron occurrences extracted from Mendes and Brito (2017). DC - Canindé Domain, DJP - Jirau do Ponciano Dome, DMP - Marancó Poço Redondo Domains, DPA - Pernambuco Alagoas Domin, DRC - Rio Coruripe Domain, DM - Macururé Domain. 95
- 2.9 A) Anomalous U Map. B) Ternary Methodology. Blue and green circles represent respectively indications of copper and iron occurrences extracted from Mendes and Brito (2017). DC - Canindé Domain, DJP - Jirau do Ponciano Dome, DMP - Marancó Poço Redondo Domains, DPA - Pernambuco Alagoas Domin, DRC - Rio Coruripe Domain, DM - Macururé Domain and CBB - Cabrobró Complex. 96
- 2.10 A) Prominent correlation indices were observed among the areas with iron occurrences. B) Prominent correlation indices observed among the areas with copper occurrences 98

-
- 2.11 Map of the analytical signal amplitude of the magnetic datum with overlays of the iron targets, in red, and copper, in yellow. Blue and green circles represent respectively indications of copper and iron occurrences extracted from Mendes and Brito (2017). DC - Canindé Domain, DJP - Jirau do Ponciano Dome, DMP - Marancó Poço Redondo Domains, DPA - Pernambuco Alagoas Domin, DRC - Rio Coruripe Domain, DM - Macururé Domain and CBB - Cabrobró Complex. 100
- 2.12 Illustrative map of the investigated region with indications of potential areas for the occurrence of Iron, in red, and Copper, in yellow. Blue and green circles represent respectively indications of copper and iron occurrences extracted from Mendes and Brito (2017). DC - Canindé Domain, DJP - Jirau do Ponciano Dome, DMP - Marancó Poço Redondo Domains, DPA - Pernambuco Alagoas Domin, DRC - Rio Coruripe Domain, DM - Macururé Domain and CBB - Cabrobró Complex. 102

Memorial descritivo

A empregabilidade da geofísica na exploração mineral mostra-se extensiva e diversificada na busca por novos depósitos minerais, sejam estes em levantamentos regionais ou estudos de detalhe. Tal utilização promove maior confiabilidade no seguimento de um empreendimento mineral e atração de investimentos, além da geração de lucros derivados da redução de gastos com sondagens e outras metodologias diretas para avaliação da ocorrência de minérios em regiões que não apresentam características propícias para tal (Parasnis, 2013).

Cada modelo geológico ou depósito mineral pode destacar-se em levantamentos de diferentes métodos geofísicos, a depender da sua história genética e dos elementos mais abundantes em suas formações. Estes realces decorrem em função da metodologia empregada, devido às diferenças entre as propriedades físicas das rochas encaixantes e as mineralizadas (Parasnis, 2013). Por exemplo, na gravimetria, as variações laterais de densidade em sub-superfície determinam as anomalias a serem estudadas, enquanto para a magnetometria a propriedade física de interesse é a susceptibilidade magnética (Telford et al., 1976).

Os depósitos e interesses minerais tratados nesta pesquisa são de natureza ferrífera e cuprífera. Tais estruturas geológicas são comumente relacionados a anomalias significativas em dados magnéticos e gravimétricos, como visto em diversos trabalhos de aplicação geofísica à exploração mineral ao redor do mundo (Woolrych et al., 2015; Oladunjoye et al., 2016; Mekkawi et al., 2021; Sampaio et al., 2021). Adicionalmente, em situações geológicas onde a presença de alteração hidrotermal é notada, pode-se avaliar anomalias gamaespectrométricas usualmente relacionadas a depósitos sulfetados (Shives et al., 2000; Maden and Akaryali, 2015; Lawal, 2020; Hühn et al., 2020).

A área de estudo abrangida nesta pesquisa situa-se na Zona de Transição entre o Domínio Pernambuco-Alagoas e o Orógeno Sergipano, inserida no contexto geológico-estrutural da Província Borborema Meridional, e abrangendo os estados de Alagoas, Sergipe e uma parte de Pernambuco. Esta região apresenta um vasto campo para a promoção de estudos geofísicos e geológicos, sendo destacada em produções científicas recentes com variados focos

prospectivos e tectônicos-estruturais (Mendes and Brito, 2017; Silva et al., 2014; Silva Filho et al., 2021). No entanto, ainda que seja uma zona proeminente, contendo ocorrências de Ferro e Cobre, grande disponibilidade de dados geofísicos e extenso conhecimento geoquímico e geológico, são poucos os estudos disponíveis na região que se aprofundam no processamento, interpretação e/ou modelagem geofísica em seus processos como visto em Sousa* et al. (2019), Pereira et al. (2019), Araújo and Dutra (2021) e Lima et al. (2021).

Assim, este trabalho objetivou desenvolver a caracterização geofísica da área de estudo, utilizando dados de campanhas gravimétricas, magnetométricas, gamaespectrométricas, dados petrofísicos e materiais auxiliares, disponibilizados para a efetivação deste projeto. Também buscou-se aplicar uma metodologia bem conhecida e empregada comercialmente para realizar a inversão tridimensional de densidade para fontes gravimétricas destacadas.

A pesquisa encontra-se organizada em dois artigos:

- O primeiro artigo trata do processamento e interpretação de dados gravimétricos e magnéticos disponíveis na região de estudo, aprofundando-se especialmente em áreas associadas a depósitos conhecidos. Ademais, emprega-se a construção de modelos inversos tridimensionais de densidade, com o objetivo de expor os contrastes desta propriedade em subsuperfície em zonas de interesse para exploração de Ferro e Cobre e assim obter mais informações sobre as fontes destacadas. O artigo, escrito em colaboração com a Dr^a Alanna Dutra e o Mestre em geofísica Onofre Das Flores, foi submetido em inglês para publicação à uma revista indexada (Qualis Capes A2), embora conste na dissertação a versão em português.

- O segundo artigo aborda os dados, processamento e interpretação gamaespectrométricas da região, obtendo-se respostas através da integração geofísica e geológica para a indicação de novas áreas de estudo. Observa-se também a aplicação de metodologias que ressaltam características radiométricas de áreas que possam ter sofrido com alterações hidrotermais. O artigo foi escrito em colaboração com a Dr^a Alanna Dutra e o Mestre em geofísica Onofre Das Flores, e publicado em inglês na *Brazilian Journal of Geophysics* em 2024 (<http://dx.doi.org/10.22564/brjg.v41i2.2301>).

1

Métodos Gravimétrico e Magnético

Artigo submetido à Revista Indexada (Qualis Capes A2):

Depósitos de Ferro e Cobre em Alagoas, Brasil: Análise Integrada de Dados Gravimétricos e Magnéticos.

Resumo

Este artigo apresenta os resultados do processamento e interpretação de dados aeromagnéticos e gravimétricos no Estado de Alagoas, Brasil, com o intuito de promover a caracterização geofísica regional da área de estudo e seus principais depósitos de cobre e ferro conhecidos na literatura. Por meio de transformações matemáticas aplicadas aos dados magnéticos, como a amplitude do sinal analítico, e aos dados gravimétricos, como o gradiente horizontal total, foi possível obter informações de contatos e estruturas de fontes anômalas em subsuperfície correlacionadas a depósitos e ocorrências minerais na região. Para as seções espaciais com destacado conteúdo de Fe e Cu, foram executadas modelagens tridimensionais de densidade, utilizando-se de informações petrofísicas como condição limitante para o procedimento, e assim obtidas representações geométricas dos corpos de interesse no substrato. A partir dos modelos gerados, informações acerca de profundidade, extensões e contrastes de densidade foram extraídas e interpretadas de acordo com a geologia local. Ademais, foram discutidas semelhanças entre os resultados do estudo e indicadas novas regiões para investigação de detalhe na região do Complexo Arapiraca, em busca de novos depósitos minerais.

Palavras-chave: Exploração Mineral, Inversão 3D, Gravimetria, Potenciais Alvos.

Introdução

Atualmente, a exploração mineral desempenha um papel fundamental na promoção do crescimento econômico e do desenvolvimento sustentável de um país. A busca por novos depósitos minerais é necessária para suprir a demanda cada vez maior por recursos naturais essenciais ao funcionamento de vários setores da sociedade, aos avanços tecnológicos e à geração de empregos. Nesse contexto, as técnicas de exploração geofísica revelaram-se ferramentas valiosas para localizar e caracterizar possíveis depósitos minerais. Os levantamentos geofísicos fornecem percepções cruciais sobre a subsuperfície, revelando estruturas geológicas ocultas e anomalias possivelmente associadas à mineralizações.

Este estudo concentra-se em focos de exploração de ferro e cobre na província Borborema Meridional, especificamente na região compreendida pelo estado de Alagoas. Essas duas commodities de interesse são essenciais para as indústrias modernas, uma vez que, o ferro representa um componente essencial da produção de aço, apoiando os setores de construção, manufatura e transporte, e o cobre, desempenha um papel fundamental na fiação elétrica, na eletrônica e nos sistemas de energia renovável (Moss et al., 2013).

Apesar da região de estudo possuir grande disponibilidade de dados geofísicos gamaespectrométricos, gravimétricos e magnéticos, os trabalhos publicados concentram-se predominantemente avaliações crustais, enquanto publicações voltadas para aplicações econômicas e prospecção de novos depósitos minerais são pontuais, como mencionado em Gusmão de Oliveira et al. (2023). Entre as poucas pesquisas geofísicas com foco mineral na província Borborema, encontra-se o trabalho de Mota-e Silva et al. (2013), que utilizou dados geofísicos regionais para identificar áreas menores de interesse, e, em seguida, realizou estudos magnéticos e eletromagnéticos de detalhe com sucesso, levando à descoberta de um novo depósito sulfetado de Ni-Cu.

A pesquisa apresentada em Pereira et al. (2019), emprega com sucesso dados magnetométricos e radiométricos para investigar ocorrências de ouro na região de Itapetim, inserida na província Borborema. Através dos dados geofísicos, os autores obtiveram conclusões sobre associações entre altos relevos magnéticos e ocorrências de ouro, assim como enriquecimentos de potássio relacionados a alterações hidrotermais e, conseqüentemente, mineralizações auríferas. Em Mantovani et al. (2008), dados gravimétricos foram analisados e modelados para buscar informações relevantes, como profundidade e volume, associadas a um corpo vulcânico com evidentes processos hidrotermais que podem estar mineralizados na região de Itapororoca, também incluída na Província Borborema Meridional.

Além desses artigos publicados, foram confeccionados diversos informes de recursos mi-

nerais e geofísica na província, com o intuito de promover a pesquisa mineral e interesse exploratório na região. A exemplo, pode-se citar o Atlas Aerogeofísico do Estado de Alagoas (Rodrigues e Oliveira, 2019) e o Relatório de Geologia e Recursos Minerais da Folha Arapiraca (Mendes e Brito, 2017), sendo estes últimos, dois dos poucos trabalhos com viés mineral confeccionados na sub-área de estudo do presente artigo. Adicionalmente, foram publicadas cartas de anomalias geofísicas da série SC-24-X-C pelo Serviço Geológico do Brasil, apresentando uma integração com informações geoquímicas de sedimentos de corrente, além do informe de geofísica aplicada n° 8 (Nitzschia et al., 2023), que aborda modelagens e interpretações acerca do domo Girau do Ponciano. Embora apresentem informações importantes e detalhadas sobre a geologia local, bem como interpretações geofísicas regionais, não foram realizadas modelagens tridimensionais de densidade em qualquer ponto da área de estudo, artifício empregado ao longo deste artigo.

Recorrendo à variedade de materiais geofísicos disponíveis na área de estudo, foram exploradas nesta pesquisa informações magnetométricas e gravimétricas. Com essas bases de dados, foram aplicadas análises para consolidação da informação e remoção de valores espúrios, assim como realizar correções referentes a cada metodologia empregada. Após o processamento e aplicação de transformações matemáticas, como a amplitude do sinal analítico (ASA) para aprimorar as interpretações, os alvos de interesse deste trabalho foram caracterizados em termos de feições magnéticas e gravimétricas. Em seguida foi executada a modelagem da distribuição de densidade tridimensional em subsuperfície. Ao analisar e interpretar os dados geofísicos, pretendeu-se delinear zonas-alvo e refinar a compreensão da geologia de subsuperfície, objetivando, por meio de uma interpretação conjunta geofísica e geológica, indicar áreas com alto potencial de mineralização de ferro e cobre.

Os principais objetivos deste estudo configuram-se na utilização de análises magnéticas e gravitacionais conjuntas para identificar e interpretar anomalias, delineando estruturas geológicas, corpos mineralizados e potenciais alvos de exploração. Adicionalmente, o estudo visa avaliar a eficácia da combinação de métodos magnéticos e gravimétricos na exploração mineral, bem como sua aplicabilidade na redução de incertezas e na melhoria da confiabilidade das interpretações geológicas. Além disso, a pesquisa procurou fornecer informações sobre o cenário geológico, a história tectônica e os recursos minerais potenciais da área de estudo por meio de análises geofísicas integradas. Em última análise, o estudo pretende contribuir para o avanço das técnicas de exploração geofísica, demonstrando os benefícios e limitações da análise conjunta magnética e gravitacional, melhorando assim a nossa compreensão da geologia subterrânea e apoiando a tomada de decisões informadas em empreendimentos de exploração.

Área de Estudo

A área de estudo, localizada no Nordeste do Brasil, encontra-se entre os paralelos 9ºS e 10ºS, e entre os meridianos 36º20'W e 37º30'W, cobrindo aproximadamente 18.000 km^2 como visto na figura 1.1. Inserida no contexto geotectônico da Província Borborema Meridional, esta zona apresenta feições marcadas por complexos processos orogênicos do final do Neoproterozoico (0,541 Ga) (Van Schmus et al., 2011; Almeida et al., 1981; Santos e Caxito, 2021), enquadrando-se como uma faixa de transição entre o Domínio Pernambuco-Alagoas (PEAL) e o Orógeno Sergipano. Esta seção é ainda caracterizada por padrões de cisalhamento e domínios geotectônicos distintos, como o Pernambuco-Alagoas ao Norte e os domínios Canindé, Macururé, Marancó-Poço-Redondo e Rio Coruripe ao Sul (Mendes e Brito, 2017). As idades de compartimentalização e consolidação desses terrenos abrangem um intervalo de 605-540 Ma (Silva, 1999).

O terreno Pernambuco-Alagoas exhibe afloramentos de complexos graníticos e intrusões significativas, que resultam em anomalias geofísicas expressivas (Mendes e Brito, 2017; Araújo, 2018). De acordo com Dutra and Argollo (2017), fontes plutônicas nessa compartimentação podem atingir profundidades entre 10 e 15 km. O domínio do Rio Coruripe, a leste, é caracterizado por rochas migmatíticas e metamórficas, incluindo o Complexo Arapiraca com destacado potencial metalogênico, evidenciado por ocorrências de cobre, ferro, cobalto e chumbo em seus campos (Mendes e Brito, 2017).

O Domínio Macururé compreende rochas metamórficas e máficas/ultramáficas, abrigando várias intrusões graníticas, bem como rochas arqueanas do complexo gnáissico do domo Girau do Ponciano (Oliveira et al., 2010). Mais a oeste, o Domínio Canindé é marcado pelos complexos metavulcanossedimentares Araticum e Canindé, enquanto o Domínio Marancó-Poço Redondo compreende migmatitos e rochas metavulcânicas (Mendes e Brito, 2017).

As duas principais deformações que afetam o cinturão estudado são conhecidas como Zonas de Cisalhamento Jacaré dos Homens (ZCJH) e Palmeira dos Índios (ZCPI). De acordo com Mendes e Brito (2017), a ZCJH representa a fronteira entre o domínio Pernambuco-Alagoas e os domínios Canindé e Marancó-Poço Redondo, enquanto a ZCPI delimita o território do PEAL e o domínio do Rio Coruripe. No entanto, estudos recentes levantaram dúvidas sobre a real existência de uma transição clara entre o PEAL e a Faixa Sergipana, desafiando conclusões anteriores (Neves et al., 2016).

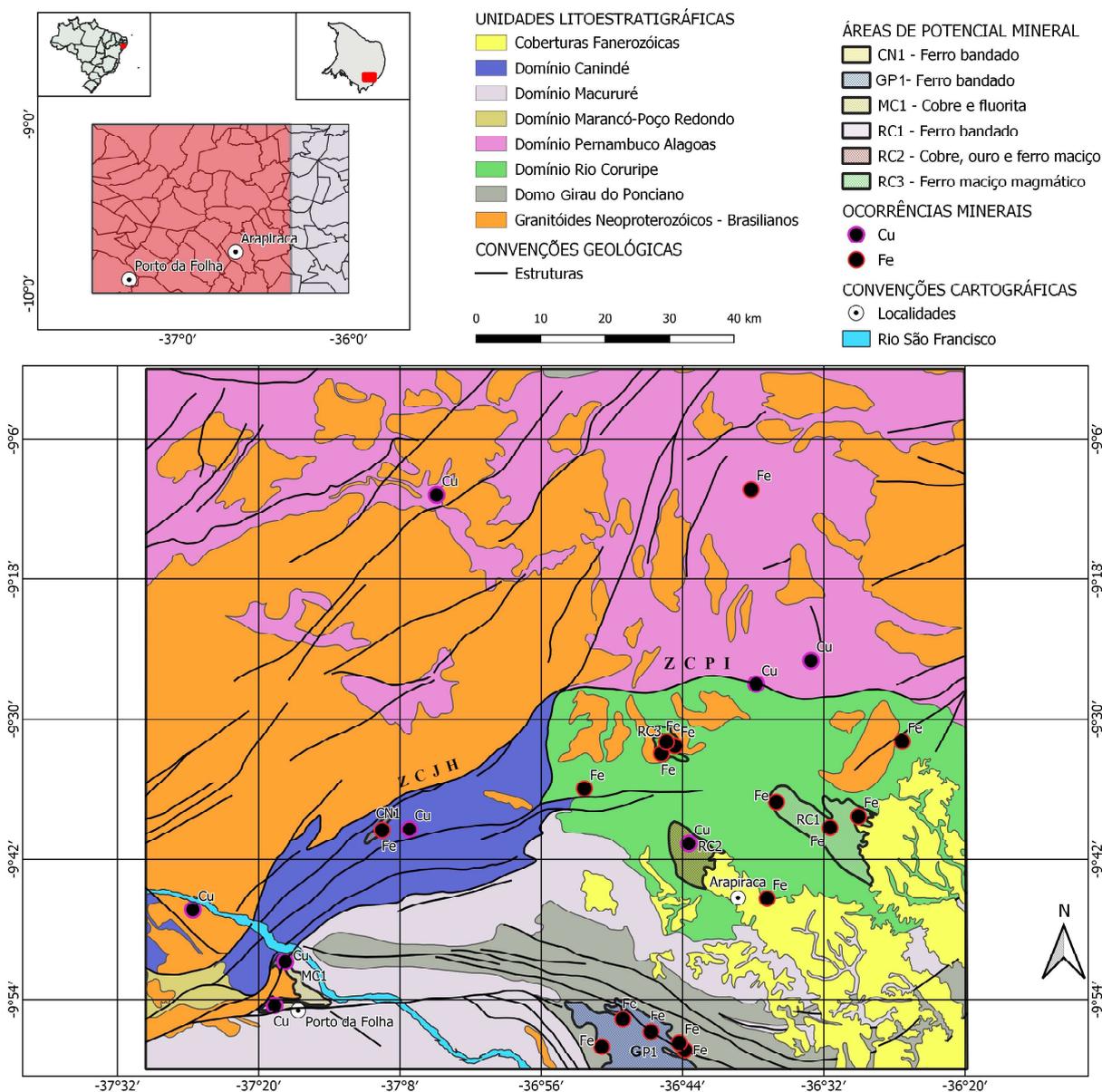


Figura 1.1: Mapa da área de estudo com informações litoestratigráficas, estruturais e de interesse mineral. Recorte vermelho mostra a dimensão da área de estudo em comparação com a extensão da Folha Arapiraca SC-X-24. ZCPI - Zona de Cisalhamento Palmeira dos Índios/ ZCJH - Zona de Cisalhamento Jacaré dos Homens. Informações extraídas de Mendes et al. (2009).

Quanto às avaliações de potencial mineral, existem indicações da presença de 162 ocorrências minerais na região, das quais 23 são inéditas. Além disso, existem 181 mineralizações em destaque, 133 estações com anomalias geoquímicas, 11 áreas com potencial para exploração mineral e várias indicações de alterações hidrotermais (Mendes e Brito, 2017).

Os destaques minerais incluem depósitos de minério de ferro bandado dos complexos

Nicolau-Campo Grande e Arapiraca, mineralizações de cobre do Domínio Rio Coruripe (Complexo Arapiraca), Fazenda Júlia no Complexo Araticum (Domínio Canindé) e ocorrências de pegmatitos e minerais gemológicos na área de Limoeiro de Anadia (Complexo Arapiraca). Com o extenso trabalho de mapeamento geológico in loco, a demarcação dos complexos minerais da região nessas 11 áreas potenciais, sugeridas por Mendes e Brito (2017), incluem cerca de 6 indicações de natureza ferrítica e/ou cuprífera, as quais encontram-se destacadas na figura 1.1.

Principais Ocorrências de Ferro

O minério de ferro desempenha um papel crucial na economia brasileira, sendo fundamental para a industrialização, especialmente na atividade siderúrgica (Caxito e Dias, 2018). Juntamente com a Austrália, o Brasil lidera globalmente a produção, exportação e concentração de reservas de minério de ferro (U.S.G.S., 2022). Notavelmente, as principais regiões produtoras de minério de ferro do país são o Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais), a Província Mineral de Carajás (Pará) e a região de Corumbá (Mato Grosso do Sul). O minério de ferro brasileiro frequentemente contém teores mais elevados do que a média mundial, com cerca de 62% Fe em depósitos de itabirito conhecidos (Caxito e Dias, 2018). A figura 1.2 expõe imagens de rochas e minerais com presença de ferro.

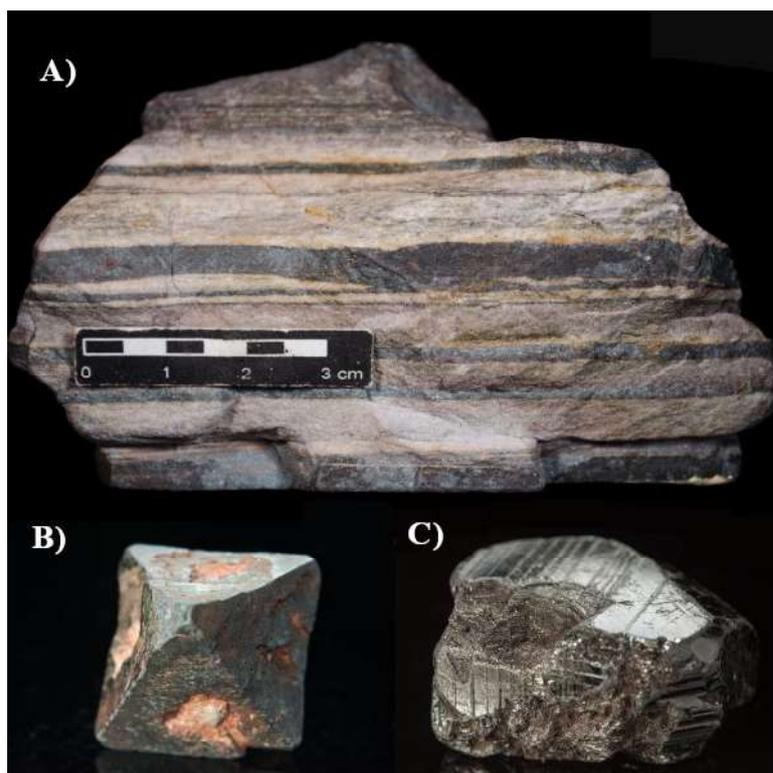


Figura 1.2: A) Formação Ferrífera Bandada. Minerais de Ferro: B) Magnetita (Fe_3O_4). C) Hematita (Fe_2O_3). Imagens extraídas do acervo digital do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (USP) (USP, 2021).

A área de estudo apresenta dois modelos geológicos primários para ocorrências de minério de ferro: Formações Ferríferas Bandadas (BIFs) e minério de ferro maciço magmático. As BIFs são caracterizadas por bandas alternadas ricas em óxido de ferro, enquanto o minério de ferro maciço está relacionado a ambientes máficos e eventos magmáticos. Os BIFs estão associadas a extensas camadas sedimentares de ferro, enquanto o minério de ferro maciço está relacionado a mineralizações de cobre e ouro e à presença de quartzitos ferruginosos com magnetita e hematita, bem como associações de titânio (CVRD, 2001; Mendes e Brito, 2017). As assinaturas geofísicas também diferem, com depósitos de minério de ferro maciço geralmente exibindo altas gravimétricas e magnéticas, enquanto os BIFs apresentam propriedades magnéticas complexas, incluindo forte anisotropia e/ou magnetização remanescente (Clark e Schmidt, 1994).

Dentre as aplicações geofísicas para depósitos de ferro, usualmente encontramos trabalhos empregando a magnetometria para verificar estruturas que possam estar conectadas às formações contendo ferro, além da avaliação de controles estratigráficos e estruturais das mineralizações, como visto em Oladunjoye et al. (2016) aplicando geofísica na pesquisa de

depósitos do tipo BIF. Já os dados gravimétricos são utilizados para identificação de alvos com base nos contrastes de densidade entre os depósitos e a rocha encaixante, além de estimativas de profundidade e até mesmo controles estruturais, como visto em Sampaio et al. (2021) e Sahoo et al. (2021). Em Merdith et al. (2015), dados geofísicos gravimétricos, magnéticos e radiométricos de poço formaram uma base utilizada para buscar novos alvos de minério de ferro no oeste da Austrália com auxílio de um algoritmo preditivo usando um classificador gaussiano com opção de rejeição. Integrações com outros métodos seguem sendo extremamente úteis para a detecção de depósitos de ferro, a exemplo do trabalho de Fu et al. (2020), que além de empregar dados magnéticos, se utiliza de informações eletromagnéticas no estudo de um depósito do tipo BIF.

Principais Ocorrências de Cobre

O cobre, classificado em terceiro lugar entre os metais mais consumidos globalmente, desempenha um papel vital em diversas indústrias devido às suas propriedades distintas, incluindo alta ductilidade, maleabilidade e excelente condutividade térmica e elétrica, juntamente com sua notável resistência à corrosão (Center, 2022). A região andina, liderada por Chile e o Peru, domina o mercado internacional de cobre. Embora o Brasil não esteja classificado expressivamente, a exploração de cobre tem crescido, especialmente nas regiões de Marabá (PA) e Vale do Curaçá (BA). O potencial geológico do país para o cobre tem estimulado a descoberta de depósitos significativos, incluindo a região de Craíbas (AL), estudada nesta pesquisa (Saga, 2021).

Na Zona de Transição entre o Domínio Pernambuco Alagoas e a Faixa Sergipana, as ocorrências de cobre são predominantemente encontradas na forma de veios mineralizados, e frequentemente associados a incidências de ouro ou fluorita, exemplificados por alvos da Fazenda Júlia e Riacho Mingu em Porto da Folha (Mendes e Brito, 2017). Essas mineralizações exibem uma conexão genética com alterações hidrotermais e tectônica de cisalhamento intensa, os quais podem ser inferidos através de métodos geofísicos.

Outro grande destaque da região ocorre no Complexo Arapiraca em Serrote da Laje, onde os sulfetos de cobre são hospedados principalmente em rochas máficas-ultramáficas contendo níveis associados de minério de ferro maciço e remobilizações secundárias em veios de sulfeto (Mendes e Brito, 2017; Mendes et al., 2009). Associações com ouro aumentam o interesse na região, avaliada pela empresa proprietária do depósito em reservas com teores de 0,62% de Cu e 0,17 ppm de Au, perfazendo cerca de 74 milhões de toneladas de minério (CVRD, 2000). A figura 1.3 expõe imagens de rochas e minerais com presença de cobre.

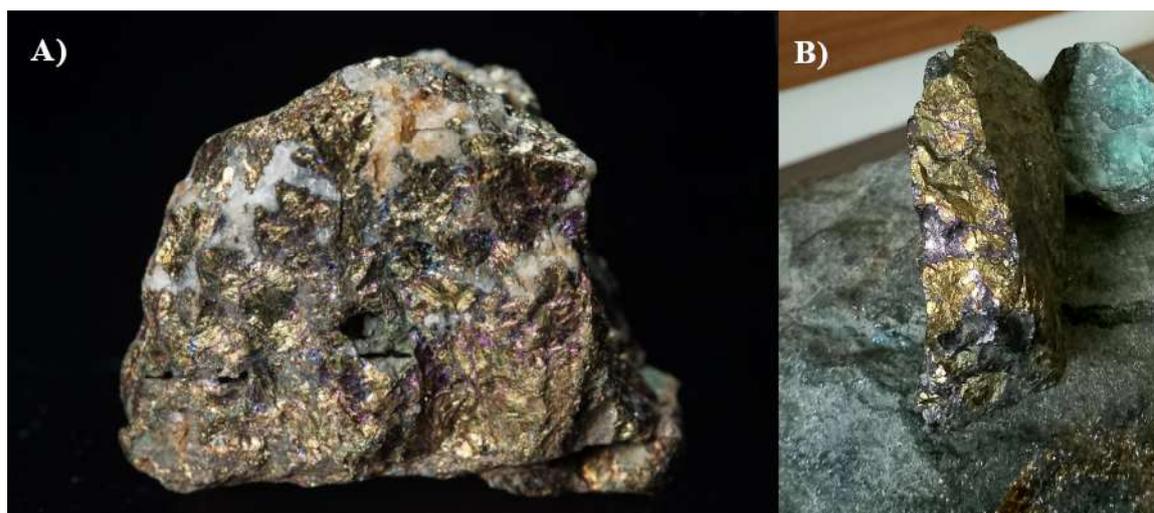


Figura 1.3: Minerais de Cobre: A) Calcopirita ($CuFeS_2$). B) Calcopirita e Bornita (Cu_5FeS_4). Imagens extraídas do acervo digital do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (USP, 2021), e da coleção pessoal da autora.

No trabalho de Fries et al. (2020), encontramos dados magnéticos aéreos e terrestres sendo utilizados para mapeamento de uma ocorrência de cobre conhecida no sul do Brasil, sugerindo as possíveis configurações geológicas da ocorrência mineral e seus limites, auxiliando futuras explorações no local. Assinaturas gravimétricas e magnéticas também são utilizadas para caracterizar depósitos de cobre, como o mapeamento geofísico de complexos IOCGs proposto por Hühn et al. (2020), em que a geofísica fornecera suporte às inferências sobre estruturas do arcabouço geológico dos depósitos, além de definir diferenças entre os distritos minerais estudados, e sugerir pesquisas com fins exploratórios nas localidades.

O estudo geofísico de sulfetos disseminados e em veios geralmente é realizado com maior confiabilidade por meio de medidas elétricas. A exemplo, no trabalho de Pereira et al. (2021) vemos dados geofísicos magnéticos, gravimétricos e radiométricos sendo utilizados apenas como filtro para reduzir a área de exploração de sulfetos na bacia de Camaquã (Rio Grande do Sul, Brasil), e indicar os locais para execução de levantamentos elétricos de detalhe. Embora não tenhamos avaliado medidas elétricas nesta pesquisa, os demais dados empregados desempenharam um papel importante no estudo de anomalias associadas às áreas potenciais com cobre, principalmente quando correlacionados a metodologias que qualificam o potencial de ocorrência de cobre a partir do estudo de seu contexto geológico, configurações e associações com outros elementos e propriedades físicas.

Materiais e Métodos

Nesta seção de Materiais e Métodos, adotou-se uma abordagem integrada empregando vários métodos para aprimorar a caracterização da região de estudo. O fluxo de trabalho do projeto concentrou-se inicialmente no agrupamento e processamento dos dados gravimétricos e magnéticos disponíveis na área. Além disso, foram incorporadas informações petrofísicas de amostras coletadas na região. Ademais, modelos de densidade tridimensional em sub-superfície foram construídos usando técnicas de inversão reconhecidas. Essa abordagem, detalhada a seguir, permitiu uma compreensão mais abrangente e precisa das características geológicas da região.

O acesso aos dados gravimétricos terrestres e magnéticos aerotransportados foi possível através dos portais públicos e digitais da ANP, CPRM e IBGE. Em seguida, em posse destas informações, apresentamos os resultados da importação dos dados gravimétricos terrestres e magnéticos aerotransportados e discutimos sua relevância para estudos geofísicos, incluindo a compatibilidade dos dados com as ferramentas de análise, a qualidade dos dados e as potenciais aplicações dos dados importados. A correção dos dados brutos foi realizada para remover outliers e influências indesejadas, como efeitos topográficos, variações de maré, campo geomagnético terrestre, tendências regionais e eventos atmosféricos. Este procedimento é essencial para garantir uma malha robusta e que os dados reflitam a variação das propriedades físicas abaixo da superfície, e sob suas fontes de interesse.

A análise conjunta de assinaturas magnéticas e gravimétricas foi realizada para identificação e correlação de padrões que podem indicar a presença de certas formações geológicas ou características subsuperficiais. Desta forma, a integração dos dados petrofísicos com as informações a priori geológicas e mapas geofísicos originais, bem como derivados, proporcionou o desenvolvimento de uma interpretação mais completa e coerente.

Por fim, como última etapa, a Inversão Gravimétrica 3D configura-se como uma ferramenta aplicada com o intuito de obter um modelo de densidade tridimensional em sub-superfície de acordo com os dados de entrada de anomalia gravimétrica e as informações petrofísicas inseridas como vínculos para resultado do algoritmo. Após a realização deste procedimento, realizou-se uma avaliação qualitativa e interpretativa dos modelos de densidade 3D e parâmetros obtidos, correlacionando as noções geológicas e geofísicas da área. Ademais, os resultados possibilitaram destacar os possíveis depósitos minerais em ferro e cobre existentes na área de estudo.

Base de Dados Gravimétricos

A gravimetria terrestre é um método geofísico que utiliza a medição da variação do campo gravitacional da Terra para inferir informações sobre a estrutura e composição em subsuperfície. O método consiste em medir a aceleração da gravidade em diferentes pontos da superfície terrestre, utilizando gravímetros sensíveis o suficiente para detectar as pequenas variações no campo gravitacional. Essas variações podem ser causadas por diferenças na densidade e composição dos materiais abaixo da superfície, como rochas, minerais e água subterrânea. Os dados coletados por meio da gravimetria terrestre foram processados e interpretados para gerar mapas que mostram a variação da densidade do subsolo em diferentes profundidades, auxiliando na caracterização de depósitos, e identificação de estruturas geológicas, como falhas, dobras e intrusões magmáticas.

Para a confecção do mapa gravimétrico residual utilizado neste trabalho, foram extraídas informações das bases de dados do projeto Geoterm (IF-UFBA) e fornecidos pela Rede Nacional de Gravimetria através do banco de dados da ANP (Petrobras e outras empresas petrolíferas), da CPRM e de grupos de pesquisa, além de dados cedidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os dados gravimétricos do projeto Geoterm foram adquiridos em campanhas terrestres entre os anos de 2013 a 2017.

Quanto às bases de dados disponíveis, executou-se o tratamento das informações brutas de gravimetria, e as correções gravimétricas de latitude, ar-livre e Bouguer da área selecionada. Importante destacar que todos os dados processados utilizaram a mesma base altimétrica oficial como fonte. Em seguida, uniu-se a base tratada aos demais conjunto de dados, verificando-se e validando disparidades entre as informações de diferentes origens, duplicatas e discrepâncias, assim constituindo a malha final de dados de anomalia gravimétrica Bouguer e Ar-Livre, com um total de 275 medidas na área de estudo. Na tabela 1.1 consta um resumo estatístico associado às informações derivadas da base gravimétrica final.

Tabela 1.1: Parâmetros da base final de dados gravimétricos.

Parâmetros	Anomalia Bouguer	Anomalia Ar-Livre
Máximo	148,34 mGal	232,73 mGal
Mínimo	4,50 mGal	7,05 mGal
Média	52,63 mGal	82,57 mGal
Mediana	47,33 mGal	74,26 mGal
Desvio Padrão	24,94 mGal	39,13 mGal

Por ser uma malha irregularmente distribuída no espaço, foram realizados testes para a interpolação das anomalias gravimétricas com o método de krigagem e mínima curvatura,

alternando as dimensões da malha em uma faixa de 2.3 km a 2.7 km. Tal intervalo foi obtido de acordo com $1/4$ das distâncias médias observadas entre os pontos de medidas nos mapas, contabilizadas em cerca de 10 km. Assim, o melhor resultado obtido foi alcançado a partir do método de mínima curvatura e com espaçamento de 2.5 km, visto na Figura 1.4. Tal etapa, foi executada com o auxílio do módulo *Grid Image* integrado ao software *Oasis Montaj* da *©Sequent*. Por conseguinte, realizou-se a separação regional-residual para retirar a influência de tendências regionais do dado e refinar informações das fontes gravimétricas desejadas através do método do polinômio robusto de Beltrão et al. (1991). Dessa forma, o melhor resultado alcançado foi obtido utilizando para ajuste do campo regional uma função polinomial de grau 3 (Figura 1.7).

O mapa de anomalia Bouguer total varia entre -5,56 mGal a + 158,76 mGal, apresentando os valores mais positivos na seção superior da área de estudo.

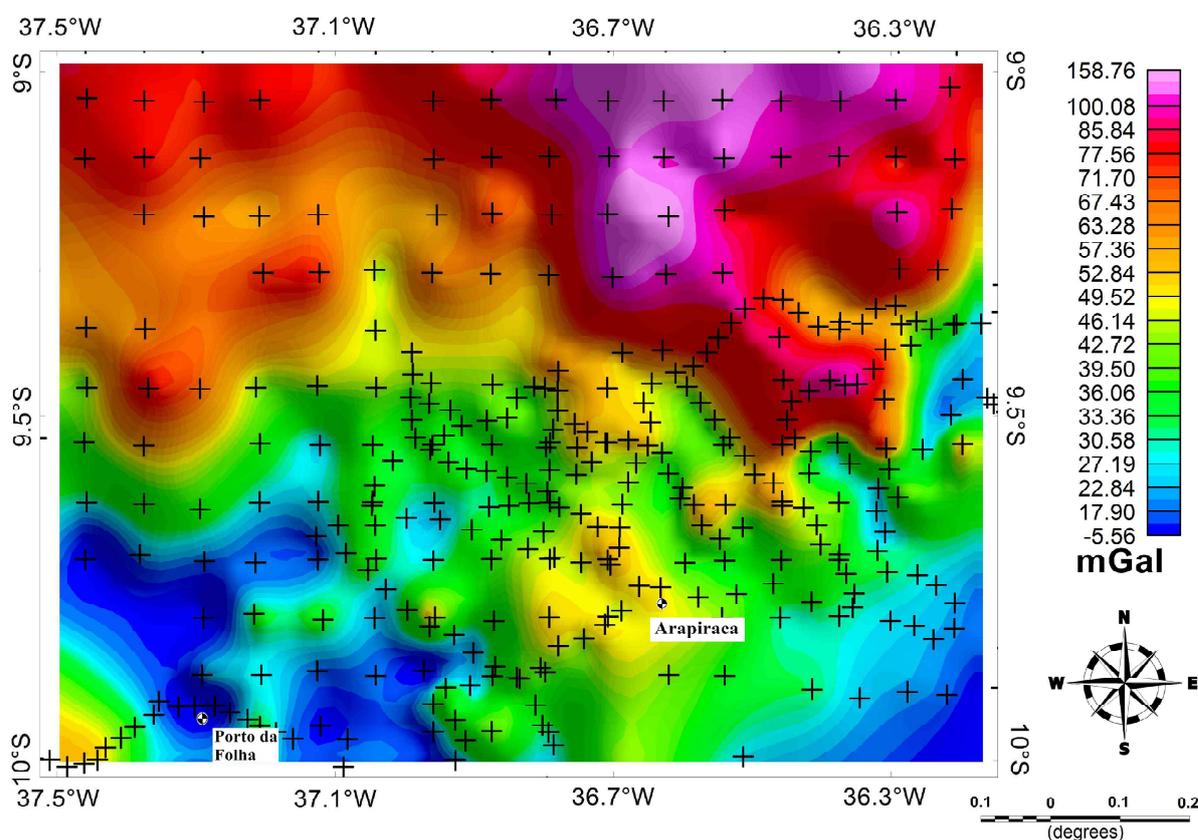


Figura 1.4: Mapa de anomalia Bouguer total com plotagem da distribuição da estações gravimétricas de coleta de dado representadas pelo símbolo +

Base de Dados Magnéticos

A magnetometria é um método geofísico que emprega medições do campo magnético da Terra e suas variações espaciais para identificar anomalias relacionadas a características e estruturas geológicas em subsuperfície. Essas medições são realizadas por meio de campanhas terrestres, aéreas e marítimas, utilizando instrumentos conhecidos como magnetômetros. A análise baseia-se na diferença de susceptibilidade magnética (χ) entre materiais geológicos e o substrato rochoso. Por exemplo, a presença de minerais magnéticos, como magnetita ou hematita, pode produzir anomalias magnéticas positivas, enquanto rochas com baixa magnetização resultam em anomalias magnéticas negativas a depender da formação geológica no entorno.

As aplicações da magnetometria na exploração mineral englobam estudos relacionados à caracterização magnética de depósitos minerais, com o objetivo de facilitar futuras associações entre levantamentos geofísicos e alvos exploratórios, como demonstrado no trabalho de Gunn and Dentith (1997). Os dados magnéticos também podem ser usados para extrair informações que auxiliam os intérpretes, como distinguir lineamentos, bordas e profundidades de fontes magnéticas no subsolo. O método magnético também inclui aplicações na quantificação e delimitação de corpos minerais por meio de modelagem multidimensional e inversões, como exemplificado em Soullaimani et al. (2020).

Outros estudos exploram a identificação de zonas de alteração hidrotermal por meio de assinaturas magnéticas combinadas com outros dados geofísicos, conforme observado em Clark e Schmidt (1994), Airo (2002) e Lawal (2020). No que diz respeito à exploração de minérios de ferro e cobre, as pesquisas existentes usualmente se concentram na caracterização dos ambientes de formação desses corpos minerais, como demonstrado em Oladunjoye et al. (2016), Fu et al. (2020) e Zhang et al. (2020).

Os dados magnéticos processados neste estudo originam-se do projeto aerogeofísico Paulo Afonso-Teotônio Vilela (código 1104) (CPRM, 2011). O levantamento cobriu uma área de 40.819 quilômetros quadrados, abrangendo partes dos estados de Pernambuco, Bahia, Sergipe e Alagoas, sendo este último o foco deste artigo. Os parâmetros de aquisição podem ser encontrados na tabela 1.2.

Tabela 1.2: Parâmetros de aquisição do levantamento aeromagnético extraídos de CPRM (2011).

Parâmetros de aquisição	Especificações
Altura nominal de voo	100 m
Direção das linhas de voo	N-S
Espaçamento entre as linhas de voo	500 m
Quantidade de linhas de voo	639
Direção das linhas de controle	E-W
Espaçamento entre as linhas de controle	10.000 m
Quantidade de linhas de controle	14
Intervalo de leitura	0,01 s
Velocidade média da aeronave	265 km/h

Para mitigar potenciais distorções na interpretação e processamento de dados, foram aplicadas correções, incluindo a correção da variação magnética diurna e a remoção do Campo Magnético de Referência Geomagnética Internacional (IGRF), usando o modelo de referência de 2010-2015. Posteriormente, o conjunto de dados a ser processado foi importado no software *Oasis Montaj* ©Seequent, e interpolado utilizando-se de ferramentas do programa escolhido. Foram geradas grades regulares de dados, empregando o método da Mínima Curvatura, de dimensões 125 metros x 125 metros, equivalente a um quarto do espaçamento entre as linhas de voo.

Por serem informações oriundas de uma região de baixa latitude, os dados foram submetidos a uma redução ao equador para centralizar as anomalias dipolares resultantes das aquisições magnéticas. O valor de declinação e inclinação magnética utilizados nesta transformação, de acordo com o período e coordenadas da aquisição, foram de 22.63 ° e -0.40 ° respectivamente. Em conjunto com a correção de amplitudes Norte-Sul, a fim de evitar alongamentos das anomalias magnéticas reduzidas ao Equador, o mapa final derivado desse processamento foi gerado e pode ser observado na Figura 1.5.

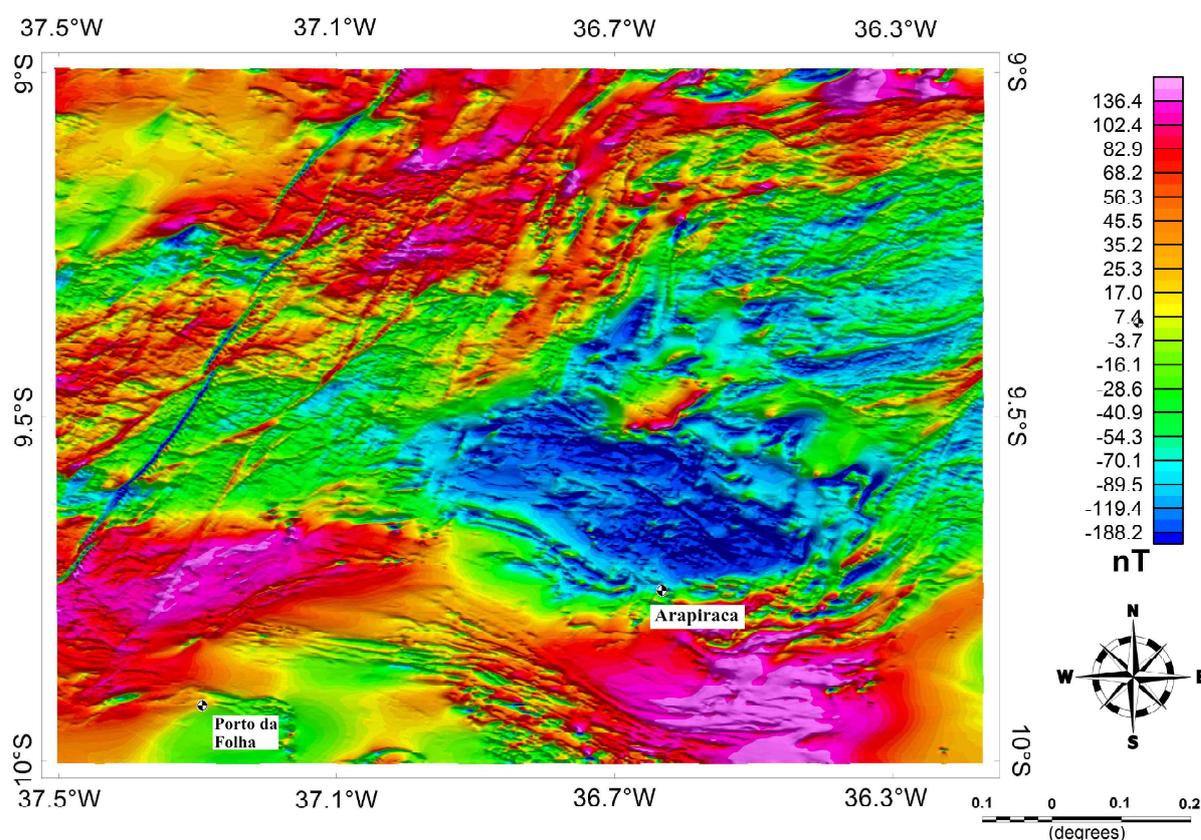


Figura 1.5: Mapa de Anomalia Magnética Total.

Com base na figura 1.5 os valores de anomalia magnética total variam de -188,2 nT a +136,4 nT, apresentando dipolos expressivos nas regiões proximais da cidade de Arapiraca.

Análise conjunta de assinaturas magnéticas e gravimétricas

A análise conjunta de assinaturas magnéticas e gravimétricas desempenhou um papel crucial, especialmente na caracterização de estruturas em subsuperfície e na identificação de características geológicas. Ao integrar dados de levantamentos magnéticos e gravimétricos, pode-se obter uma compreensão mais abrangente das propriedades do subsolo e inferir informações valiosas sobre a geologia subjacente.

As transformações nos campos gravimétricos e magnéticos residuais foram aplicadas para realçar e destacar as bordas, bem como delimitar a geometria das principais fontes. Algumas das técnicas mais utilizadas atualmente na localização de corpos são: Gradiente Horizontal Total (GHT), Amplitude do Sinal Analítico (ASA), *Tilt Angle* (TA) e *Analytic Signal of Tilt Angle* (ASTA).

Gradiente Horizontal Total (GHT)

O Gradiente Horizontal Total (GHT) é utilizado na detecção de bordas de corpos fontes de anomalias de campos potenciais (ΔP). Este gradiente posiciona as anomalias positivas diretamente sobre as bordas do corpo caso este seja vertical e baixas amplitudes na parte central da fonte. Quanto mais profundo o corpo, menor a intensidade do sinal (Blakely, 1996). Este artifício é definido matematicamente pela equação 1.1

$$|\vec{GHT}(x, y)| = \sqrt{\left(\frac{\partial \Delta P}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial \Delta P}{\partial y}\right)^2}. \quad (1.1)$$

O Gradiente Horizontal Total foi aplicado ao dado gravimétrico como ferramenta auxiliar ao realce das bordas das fontes encontradas no mapa de Amplitude do Sinal Analítico (ASA), a fim de centralizar as zonas de interesse para a inversão 3D.

Amplitude do Sinal Analítico (ASA)

Uma das técnicas mais utilizadas atualmente na localização de corpos é a Amplitude do Sinal Analítico (ASA) que tem por principal objetivo determinar parâmetros geométricos da fonte como limites geológicos e estruturais, dimensões e até a profundidade. Na prática, é a melhor ferramenta para localizar bordas de corpos com contraste magnético ressaltando os limites na superfície destas fontes com máximos sob seus contatos. Esta ferramenta foi aplicada sobre o dado magnético deste trabalho.

Segundo Nabighian (1972), o ASA pode ser caracterizado como envelopes de energia e independe da direção de magnetização da fonte, o que favorece a interpretação de dados locados próximo ao equador magnético, os quais são geralmente difíceis e complexos devido a influência maior do vetor natural do campo geomagnético em baixas latitudes. O método é mais eficiente aplicado à fontes rasas por ressaltar altas frequências e ser mais susceptível a ruído e distorções com o aumento da profundidade. Esta característica o torna interessante para a exploração mineral, uma vez que depósitos rasos são os mais almejados para desenvolvimento de um empreendimento neste ramo (Araújo, 2018).

Também é relativamente simples determinar a profundidade das fontes a partir da distância entre os pontos de inflexão das anomalias do sinal analítico, inclusive o método foi primariamente proposto por Nabighian (1991) para estimar profundidade a partir do conceito de que a amplitude é máxima em cada borda de corpos bidimensionais e que a largura da metade da amplitude máxima é igual a duas vezes a profundidade da borda.

Blakely (1996) define o sinal analítico (\vec{A}) pela combinação de gradientes verticais e horizontais da anomalia de campo total (ΔT) para o caso tridimensional

$$\vec{A}(x, y, z) = \frac{\partial \Delta T}{\partial x} \hat{\mathbf{i}} + \frac{\partial \Delta T}{\partial y} \hat{\mathbf{j}} + \frac{\partial \Delta T}{\partial z} \hat{\mathbf{k}}. \quad (1.2)$$

Usualmente descrito pela equação

$$|\vec{A}(x, y, z)| = \sqrt{\left(\frac{\partial \Delta T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial \Delta T}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial \Delta T}{\partial z}\right)^2}, \quad (1.3)$$

o valor absoluto do ASA tende a ter o pico centrado na fonte e é dado em nT/m para o caso magnético.

Inclinação do Sinal Analítico (ISA) ou *Tilt Angle* (TA)

A Inclinação do Sinal Analítico (ISA) também conhecida como *Tilt Derivative* (TDR) ou apenas *Tilt Angle* (ângulo de inclinação) é um dos mais convencionais filtros de fase para detecção de bordas de fontes magnéticas ou gravimétricas. Aplicada inicialmente por Miller and Singh (1994), o filtro é definido pela equação 1.4, sendo a razão entre a derivada vertical e a amplitude absoluta da derivada horizontal da anomalia de campo total (ΔT)

$$TA = \theta = \arctan \left(\frac{\frac{\partial \Delta T}{\partial z}}{\sqrt{\left(\frac{\partial \Delta T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial \Delta T}{\partial y}\right)^2}} \right). \quad (1.4)$$

O *Tilt Angle* (θ) é positivo sobre a fonte, negativo fora da região magnética e nulo quando está acima ou próximo da borda. É amplamente utilizado para fontes rasas e profundas por apresentar pouca sensibilidade à profundidade do alvo, além de ser isenta de informações sobre a força do campo geomagnético.

Analytic Signal of Tilt Angle (ASTA)

Apesar das vantagens da aplicação do *Tilt Angle* (TA), este trabalho propôs a *Analytic Signal of Tilt Angle* (ASTA) como metodologia auxiliar à delimitação de bordas. Tal filtro representa uma técnica empregada inicialmente por Ansari and Alamdar (2011) e que apresenta resultados mais precisos que o ASA e o TA.

Ansari and Alamdar (2011) explicam que a ideia de produzir este novo filtro é a de que o valor zero do TA determina bordas do corpo que situam-se entre os máximos e mínimos e complicam o delineamento das arestas do corpo. Quanto ao sinal analítico, seus valores

positivos encontram-senas bordas do corpo. Logo, com o cálculo do ASTA foi produzida uma transformação que possui o seu valor máximo sobre as bordas do corpo, aumentando-a sem muitas complicações. Esta ferramenta, descrita pela equação 1.5, foi aplicada sobre o dado magnético deste trabalho

$$ASTA = \sqrt{\left(\frac{\partial\theta}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial\theta}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial\theta}{\partial z}\right)^2}. \quad (1.5)$$

Inversão Gravimétrica 3D

Atualmente, configuram no cenário de exploração mineral dois diferentes tipos de modelagem geofísica: a modelagem direta e a inversão. Há décadas, a modelagem inversa vem sendo largamente utilizada para aprimorar interpretações de dados geofísicos nos mais variados problemas, apresentando melhorias e adaptações que contribuem para a resolução de problemas em uma, duas ou até três dimensões. A construção do método é influenciada por diversos fatores, como a natureza do dado, a linearidade ou não do problema, a acurácia das medições e o ambiente do processo de inversão. Neste projeto, trataremos da realização de uma inversão gravimétrica tridimensional, para estimar um modelo de densidade em subsuperfície que auxilie nas conclusões buscadas para área de estudo.

Segundo Oldenburg e Pratt (2007), em um problema inverso típico, o interprete possui uma base de dados medidos, entendimento das incertezas associadas e uma relação matemática conhecida que permitirá a geração de um modelo que represente a distribuição espacial da propriedade requerida. Usualmente a inversão pode ser descrita em forma matricial pela equação 1.6, onde ρ (matriz de parâmetros a serem determinados) tende a ser determinado pela matriz ψ contendo as variáveis independentes de posição (x, y, z) e parâmetros conhecidos como a constante gravitacional e a semi-largura da célula elementar ao longo do eixo x.

$$\psi\rho = \mathbf{g}, \quad (1.6)$$

De posse destas informações, o objetivo principal é encontrar a solução que melhor se adeque a uma representação geológica do substrato em estudo, levando em conta o menor erro entre o dado observado e o dado calculado pelo algoritmo de inversão. Existem diversas metodologias desenvolvidas atualmente para alcançar a solução que apresente o menor erro possível, a exemplo do método de mínimos quadrados.

Por ser um problema mal posto, a solução matemática da inversão geofísica pode produzir diversas possibilidades de modelos que se ajustarão aos dados observados, caracterizando a sua não-unicidade (Dentith e Mudge, 2014; Oldenburg e Pratt, 2007). Para melhorar a eficácia do processo é adequado utilizar informações geológicas a priori que auxiliem na construção de um modelo matemático inicial representativo da geologia local. A exemplo, podem ser utilizadas informações petrofísicas de amostras coletadas na região como empregado neste trabalho e nas pesquisas de McGaughey and Milkereit (2007) e Sun and Li (2011).

Para os modelos tridimensionais da área de estudo, as informações petrofísicas foram utilizadas como restrição para designar um limite máximo e mínimo de contrastes de densidade nos processamentos a serem realizados (Tabela 1.4).

As inversões 3D foram realizadas através do software *Oasis Montaj* ©*Seequent*, utilizando-se o módulo VOXI, o qual emprega o algoritmo de inversão de reponderação iterativa *Cartesian Cut Cell*, desenvolvido por Ingram et al. (2003). O algoritmo foi simplificado por Ellis and MacLeod (2013) para representar superfícies geológicas com maior precisão (Roy et al., 2017). A plataforma permite a utilização de diversas configurações de malhas, dados geofísicos e restrições a serem aplicadas no processamento.

É importante notar que a inversão de dados gravimétricos é um desafio complexo devido à não unicidade da solução (múltiplos modelos podem explicar os mesmos dados) e à presença de ruídos nos dados observados. Portanto, uma interpretação cuidadosa e uma abordagem integrada com outros métodos geofísicos e geológicos são muitas vezes necessárias para obter resultados confiáveis.

Resultados e Discussões

Após o processamento dos dados petrofísicos, gravimétricos e magnéticos, realizou-se a interpretação qualitativa da área de estudo destes mapas e a delimitação das áreas de recorte para a inversão de acordo com focos de interesse mineral e centralização de fontes gravimétricas. Associando os parâmetros de inversão com os dados petrofísicos foi possível obter modelos inversos mais condizentes com o esperado. Em seguida, com os resultados da distribuição de densidade tridimensional em subsuperfície discutiu-se para as áreas individualmente os contrastes entre corpos encontrados integrando sempre as interpretações à geologia conhecida da região.

Avaliação Petrofísica

O conhecimento obtido por meio de medições de propriedades físicas em amostras coletadas no campo é de grande importância para a integração e validação das interpretações alcançadas. Com exceção do domínio Marancó-Poço Redondo, estas informações de densidade foram utilizadas como informações a priori para modelagem tridimensional das áreas de cada domínio respectivo e como um fator crucial para compreender as diferentes unidades geológicas que compõem a zona de transição destacada.

A análise desses dados envolveu medições de campo e laboratório. As principais informações aplicadas nesta pesquisa incluem a densidade e a susceptibilidade magnética das amostras, embora outros dados, como teores de potássio, urânio e tório, tenham auxiliado em interpretações específicas no conjunto geral do trabalho. No total, medições foram feitas em aproximadamente 507 amostras, contendo elementos de localização, litologia, petrografia, composição mineral e dados petrofísicos. Tal tabela de dados pode ser encontrada no Anexo A deste trabalho.

O banco petrofísico usado neste estudo foi oriundo de um levantamento do projeto Geoterm com amostras fornecidas por empresas de mineração e/ou coletadas em campo. O procedimento para determinar a densidade das amostras, realizado no Laboratório de Física Nuclear da Universidade Federal da Bahia, utilizou um picnômetro com água, e a metodologia definida desenvolvido por Oliveira (2013) (Alves, 2009). Mais detalhes sobre o processamento de dados e o processo de calibração das medidas podem ser encontrados no trabalho de Alves (2009).

Nesta seção do artigo, realizamos uma análise mais detalhada dos dados de densidade e susceptibilidade magnética, que são informações essenciais para o estudo em questão. Utilizamos esses dados para construir os histogramas apresentados na figura 1.6. A partir desses histogramas, é possível obter algumas conclusões sobre as características da região como um todo. Observa-se que a susceptibilidade magnética nas amostras é relativamente baixa, sendo menor que 0,1, salvo algumas discrepâncias. Além disso, os dois picos no gráfico indicam a existência de duas faixas com frequências mais significativas na área centradas em $0,1 \times 10^{-3}$ e 10×10^{-3} . Em relação à densidade, nota-se apenas um pico, centrado próximo a $2,60 \text{ g/cm}^3$, além de valores que variam de $2,50$ a $3,20 \text{ g/cm}^3$.

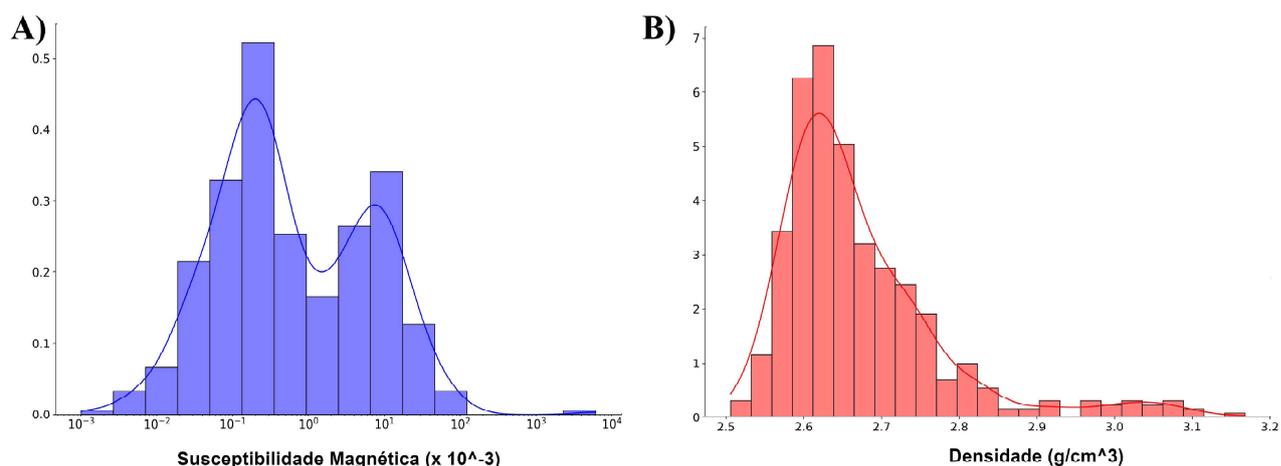


Figura 1.6: A) Histograma dos dados de susceptibilidade magnética medidos em amostras da região. B) Histograma dos dados de densidade medidos em amostras da região.

Os valores encontrados na tabela 1.4 para mínimos e máximos foram utilizados como restrições na modelagem tridimensional de densidade em subsuperfície, variando de acordo com o domínio em que encontra-se a seção a ser representada.

Tabela 1.3: Estatísticas do banco de dados de medidas de susceptibilidade magnética ($\times 10^{-3}$).

Domínio Geotectônico	Max	Min	Média	Mediana	Desvio Padrão
Pernambuco-Alagoas	6141.15	-0.04	48.64	4.70	506.01
Rio Coruripe	85.57	0.00	7.85	0.24	18.69
Macururé	16.49	-0.02	0.43	0.17	1.83
Canindé	27.72	0.00	1.34	0.19	5.08
Domo Girau do Ponciano	31.68	0.00	2.99	0.42	5.44
Área Total	6141.15	-0.04	18.81	0.35	294.75

Tabela 1.4: Estatísticas do banco de dados de medidas de densidade (g/cm^3).

Domínio Geotectônico	Max	Min	Média	Mediana	Desvio Padrão	Amplitude
Pernambuco-Alagoas	3.11	2.52	2.67	2.64	0.11	0.59
Rio Coruripe	3.17	2.50	2.69	2.65	0.14	0.67
Macururé	2.84	2.53	2.67	2.66	0.08	0.31
Canindé	3.06	2.56	2.68	2.65	0.10	0.50
Domo Girau do Ponciano	2.98	2.54	2.65	2.62	0.08	0.44
Área Total	3.17	2.50	2.67	2.64	0.11	0.67

Alguns pontos notáveis das propriedades físicas para os principais domínios da região de Coruripe incluem os valores máximos e médios de densidade, além do menor valor mínimo, evidenciando uma considerável heterogeneidade. Em contrapartida, Macururé apresentou valores médios e medianos mais próximos, demonstrando uma distribuição espacial mais uniforme, o que indica a provável predominância de uma litologia específica.

Em relação à suscetibilidade magnética, os maiores valores máximos, mínimos, e médios foram encontrados no Domínio Pernambuco-Alagoas. O Rio Coruripe, por sua vez, apresentou valores dessa propriedade acima da média regional.

Quanto às litologias, as amostras extraídas de rochas gnáissicas com presença de biotita e diopsiditos apresentaram valores de suscetibilidade magnética maiores em comparação com as demais rochas, na ordem de 1×10^{-3} , especialmente nos domínios Rio Coruripe (Complexo Arapiraca), Pernambuco-Alagoas (Complexo Cabrobó) e no domo Girau do Ponciano (GP). Em relação à densidade, destacaram-se as rochas gnáissicas, granitos e anfíbolitos presentes em diferentes domínios geotectônicos.

Avaliação Gravimétrica e Magnética

A análise dos dados de anomalia Bouguer residual da região de estudo (Figura 1.7) forneceu uma perspectiva sobre as fontes gravimétricas distribuídas na Folha Arapiraca. Essa análise, juntamente com os dados magnéticos, orientou a seleção das áreas escolhidas para modelagem em subsuperfície, representadas por retângulos na Figura 1.7.

Os valores Bouguer variaram de -22,62 a +75,63 mGal. Destacam-se no mapa grandes massas de altos valores Bouguer ($> 4,76$ mGal) na seção relacionada ao Domínio Pernambuco-Alagoas, indicando grandes contrastes de densidade. Essa tendência pode ser explicada pela geologia local, que é composta de grandes intrusões graníticas e de litologias com densidades variadas, além da presença do Complexo Cabrobó, conhecido por suas ocorrências de ferro, destacando-se na região representada por um alto gravimétrico (A1).

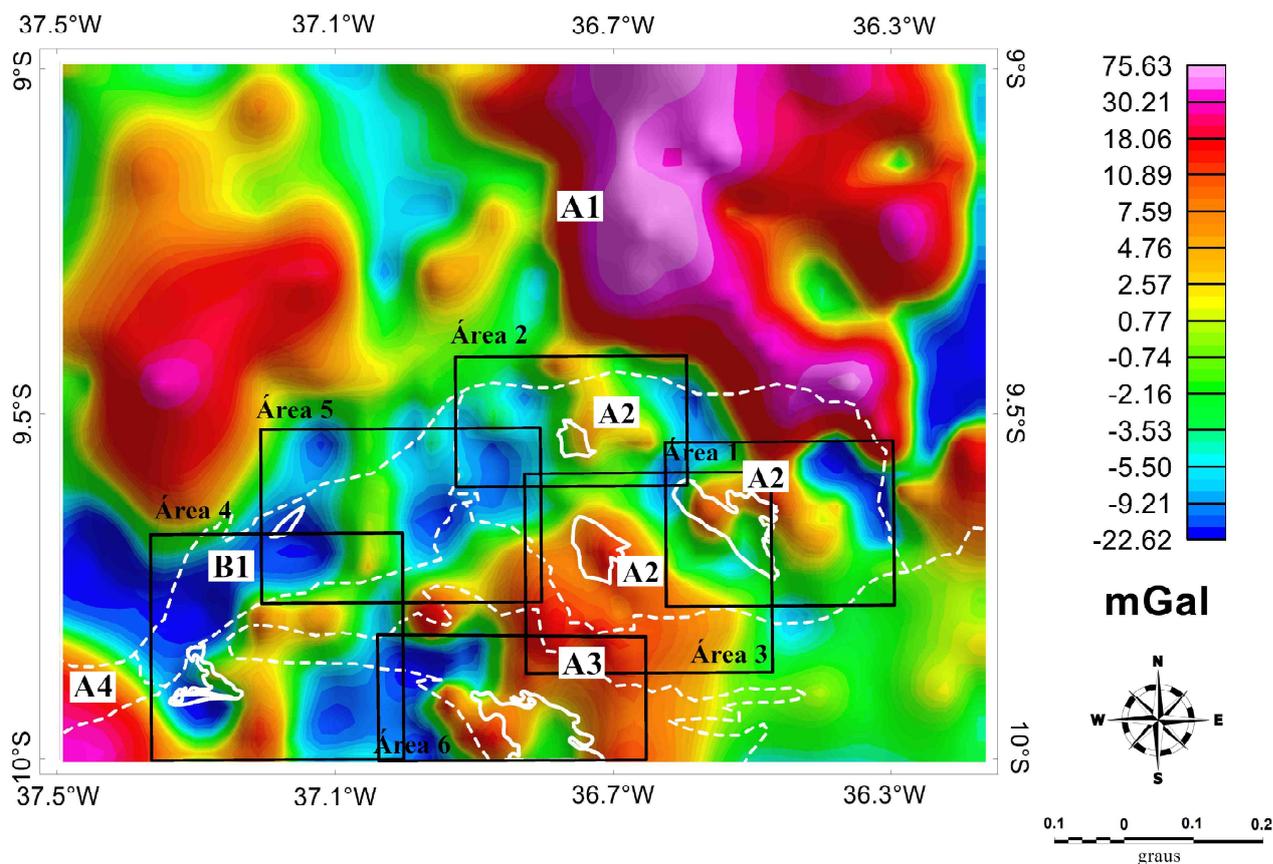


Figura 1.7: Mapa de anomalia Bouguer residual com retângulos pretos representando as áreas selecionadas para inversão tridimensional de densidade (áreas de 1 a 6). Linhas pontilhadas em branco delimitam as áreas entre os domínios geotectônicos, e as linhas brancas contínuas perfazem os contornos das áreas potenciais estudadas. A1, A2, A3 e A4 representam anomalias gravimétricas positivas que se destacaram no mapa, enquanto B1 representa um baixo gravimétrico realçado.

O Domínio Rio Coruripe também apresentou anomalias positivas (A2), especialmente próximo às áreas potenciais com corpos mineralizados. O mesmo ocorre com o domo Girau do Ponciano e a região de transição entre Macururé e Rio Coruripe (A3). O Domínio Canindé é caracterizado por baixos gravimétricos (B1), que podem ser explicados pela geologia, predominada por intercalações de paragneisses com rochas de baixa densidade, como os mármore. Em contraste com a área adjacente, existem altos gravimétricos (A4) no Domínio Marancó-Poço Redondo, onde se localizam os ortogneisses migmatíticos do seu complexo geológico.

Passando à avaliação da anomalia magnética total na figura 1.5, percebe-se a existência de feições que remetem a lineamentos magnéticos e alguns dipolos na região, em especial a assinatura magnética que circunda a cidade de Arapiraca.

Avançando com as interpretações, explorou-se a técnica da Amplitude do Sinal Analítico (ASA), objetivando a localização de bordas de corpos com contraste magnético, a partir do realce dos limites na superfície destas fontes com máximos sob seus contatos. No mapa da figura 1.8, observa-se grandes estruturas alongadas (L1) no domínio Pernambuco Alagoas com direção SW-NE, denotando a presença de lineamentos magnéticos, também observados no mapa 1.5. Os maiores destaques em relação aos domínios geotectônicos com distribuições espaciais de altas amplitudes (L2), ocorrem no Rio Coruripe, com suas formações ferríferas, rochas máficas-ultramáficas e granulitos com magnetita, e na região do Girau do Ponciano, associados às rochas metamáficas-metaultramáficas e formações ferríferas bandadas do Complexo Nicolau Campo Grande (Nitzschia et al., 2023). Com relação às áreas potenciais de cobre e ferro verifica-se para as áreas RC1 e RC2 o delineamento dos seus limites com contornos de altos valores do ASA (L3). Para a área RC3 não existe uma definição de limites dessa assinatura magnética, no entanto percebe-se a centralização da estrutura sob uma alta anomalia (L4), assim como no recorte potencial do Girau do Ponciano, o qual encontra-se em um meio completamente acidentado magneticamente com dipolos magnéticos alinhados, localizados na sua parte central.

Para a área potencial do domínio Canindé, o relevo magnético é percebido na direção SW-NE, com exceção da estrutura alongada (L5) em SE-NW localizada perpendicular ao limite lateral da principal fonte. Por fim, no domínio Macururé, ao Sul, não existem assinaturas magnéticas relevantes, comportamento já esperado por tratar-se de um depósito venular de cobre em quartzo, e pela falta de minerais magnéticos observada na bibliografia. Os valores de amplitude do sinal analítico variaram de 0 a + 4,290 nT/m.

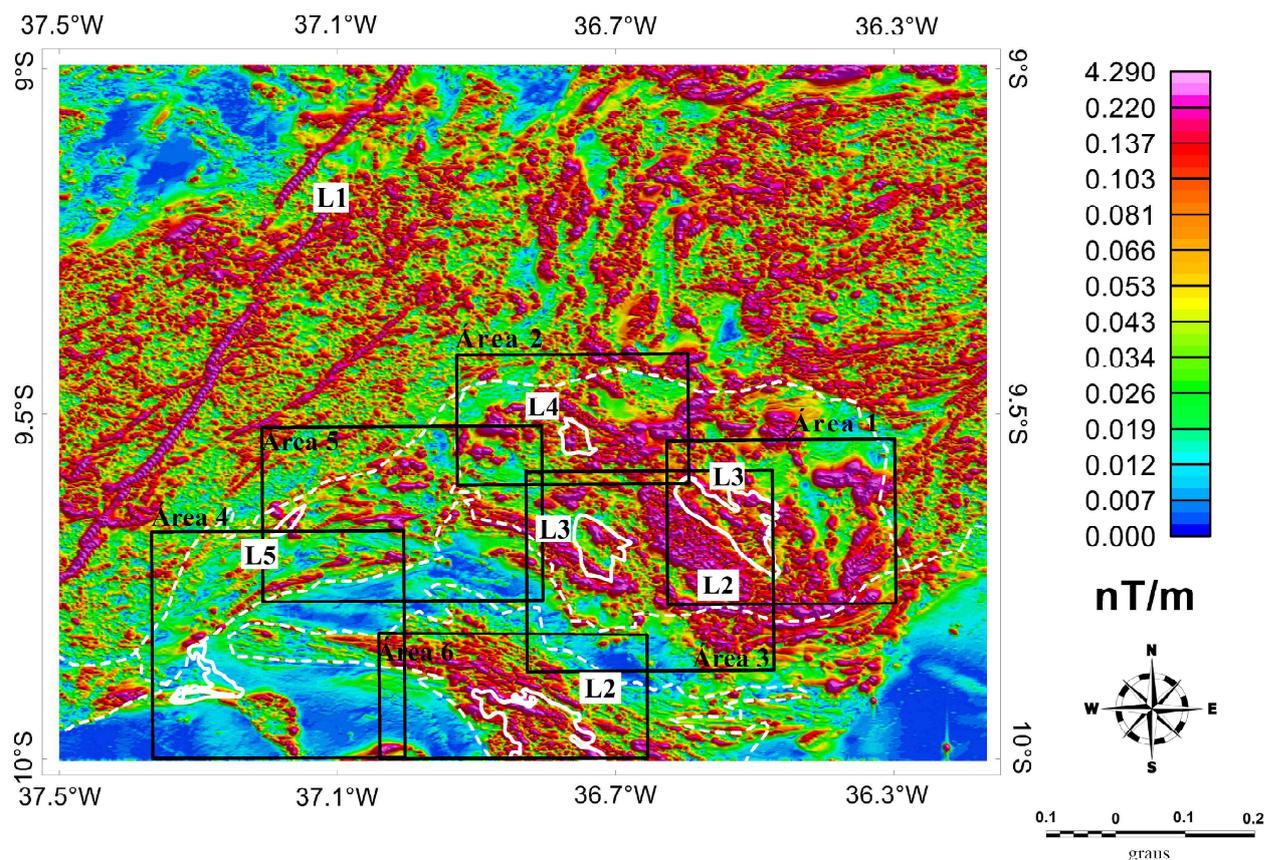


Figura 1.8: Mapa da Amplitude do Sinal Analítico do dado magnético com retângulos pretos representando as áreas selecionadas para inversão tridimensional de densidade. Linhas pontilhadas em branco delimitam as áreas entre os domínios geotectônicos, e as linhas brancas contínuas perfazem os contornos das áreas potenciais estudadas. L1, L2, L3, L4 e L5 representam destaques nos lineamentos observados neste mapa.

Além dos dados de fontes gravimétricas, magnéticas, e delineamento dos seus contornos observados nas imagens das figuras 1.7 e 1.8, torna-se importante conhecer as estruturas de falhas e contatos da região, uma vez que mineralizações formadas por enriquecimentos hidrotermais podem ser um foco para pesquisa mineral em determinados depósitos de ferro e cobre, especialmente quando combinada com outras informações geológicas e geoquímicas. O estudo do controle estrutural pode ser útil ainda para entender os processos de tectonismo local, os quais podem ter relação direta com a formação de depósitos dos minérios de interesse desta pesquisa.

Dessa forma, foram extraídas informações públicas, disponibilizadas pela CPRM em seu acervo digital (SGB, 2017), acerca das estruturas de falhas e zonas de cisalhamento da área de estudo, para, em associação com o mapa da primeira derivada vertical do dado magnético, produzir a imagem interpretativa de lineamentos magnéticos vista na figura 1.9 (A).

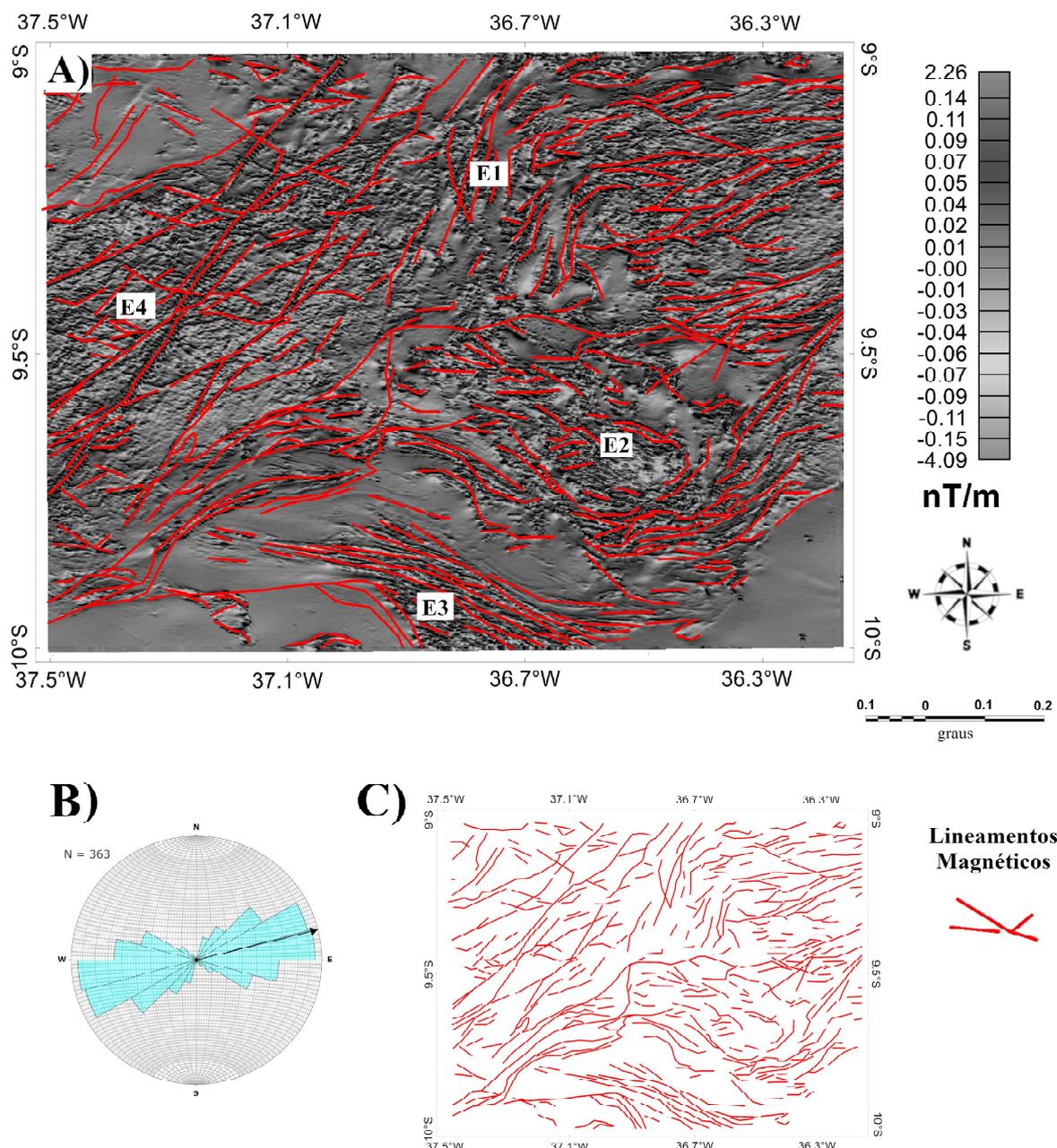


Figura 1.9: A) Mapa da Primeira Derivada Vertical com sobreposições de lineamentos magnéticos. B) Rosa dos ventos com predominância de direções E-W. C) Traçados Magnéticos da área de estudo. E1, E2, E3 e E4 representam destaques nos lineamentos observados neste mapa.

Os lineamentos mostrados na imagem, foram construídos com base nos eixos da primeira derivada vertical, representando gradientes entre anomalias que podem significar contatos entre rochas com diferentes magnetizações. Com o auxílio de uma rosa dos ventos, apresentada na figura 1.9 (B), constatou-se a predominância de uma orientação na direção E-W, com inclinação de 20° NW-SE, para estas estruturas. No entanto, existem regiões que vão

de encontro a este padrão, a exemplo dos emaranhados de traços de direções N-S do bloco central no domínio DPA (E1), correlato à região do Complexo Cabrobró, e a seção de lineamentos NW-SE que engloba o terreno do Complexo Arapiraca (E2). Destacam-se ainda os lineamentos do domo Girau do Ponciano (E3), com orientações em NW-SE, coincidindo com a hipótese levantada em Sampaio (2019), de que esta direção seria equivalente ao movimento de empurrão deste bloco arqueano em seu desprendimento do Cráton do São Francisco durante o Brasiliano. No oeste da área, lineamentos alongados e retilíneos de direção NE-SW estão principalmente correlacionados com falhas, fraturas e diques de diabásio (E4) (Nitzschia et al., 2023).

A integração das medições de propriedades físicas, como densidade e susceptibilidade magnética, é essencial para validar e aprimorar as interpretações geológicas. Com base na análise de cerca de 507 amostras, que incluíram dados de campo e laboratório, foi possível identificar padrões significativos nas propriedades físicas das rochas estudadas. As distribuições de densidade e susceptibilidade magnética revelaram insights importantes sobre a heterogeneidade e distribuição espacial das unidades geológicas, destacando áreas como Coruripe, Macururé e o Domínio Pernambuco-Alagoas. A relação entre essas propriedades e as litologias evidenciou padrões distintos, como a associação de rochas gnáissicas e diopsiditos com maior susceptibilidade magnética, enquanto granitos e anfibolitos se destacaram em termos de densidade. As altas anomalias gravimétricas e magnéticas observadas em certas regiões indicam a possível presença de corpos rochosos densos e magnéticos, especialmente ao longo do Rio Coruripe.

A análise das medições de propriedades físicas fornece uma compreensão detalhada das características geológicas da região estudada, destacando a importância da anomalia Bouguer residual, anomalia magnética total e amplitude do sinal analítico. Esses dados revelam domínios geotectônicos distintos, como Pernambuco-Alagoas e Rio Coruripe, apontando áreas potenciais de depósitos minerais, como ferro e cobre. A análise das estruturas de falhas e zonas de cisalhamento é crucial para a pesquisa mineral, auxiliando na compreensão dos processos tectônicos locais e na identificação de depósitos enriquecidos hidrotermalmente.

Inversões Gravimétricas 3D

Diante do extenso conhecimento geofísico e geológico previamente explorado nas seções anteriores, avançamos para a etapa final do estudo: a geração de modelos inversos tridimensionais de densidade na subsuperfície. O procedimento foi conduzido em etapas, começando pela seleção das áreas a serem processadas e pela definição dos parâmetros para a inversão, incluindo as restrições petrofísicas aplicáveis.

Os resultados obtidos foram então avaliados quanto aos contrastes de densidade, variações verticais e laterais dessa propriedade física, bem como quanto ao volume, direção de inclinação e profundidade das fontes gravimétricas, e foram também associados aos depósitos minerais presentes na área.

Os recursos computacionais disponíveis e as limitações do software de modelagem tridimensional são fatores que influenciaram diretamente a dimensão dos limites de seleção das áreas de interesse para inversão. Áreas menores e mais restritas foram preferidas por garantir a viabilidade computacional da modelagem tridimensional.

Devido à dimensão da área de estudo e composição geológica de diferentes domínios geotectônicos, além das existentes restrições computacionais para o tamanho do dado de anomalia Bouguer de entrada, optou-se pela construção de seis polígonos, abrangendo todos os pontos de interesse mineral exposto neste trabalho.

Cada recorte, visto nas figuras 1.7 e 1.8, abrangeu ao menos uma área potencial para exploração mineral, buscando sempre a centralização da anomalia gravimétrica, de forma a compreender também a fonte magnética, quando esta possuir delimitações claras a partir dos dados de amplitudes do sinal analítico.

Os polígonos das áreas a serem modeladas foram traçados de acordo com os seguintes critérios:

- Possuir anomalia Bouguer positiva e de destaque;
- Apresentar feições dipolares no dado de anomalia de campo total magnético;
- Exibir magnitudes classificadas como altas a partir do dado de amplitude do sinal analítico;
- Englobar ao menos uma área potencial estudada dentro de seus limites;

Dos seis retângulos delimitados, três situam-se predominantemente no domínio Rio Coruripe (área 1, 2 e 3) e um compreende o domo Girau do Ponciano (área 6). O domínio Canindé é abrangido em 2 polígonos (área 4 e 5), enquanto o Macururé insere-se com expressividade em apenas uma das seções (área 4). O domínio Marancó-Poço redondo não atendeu a todos os critérios de seleção pois não possui nenhuma área potencial dentro dos seus limites.

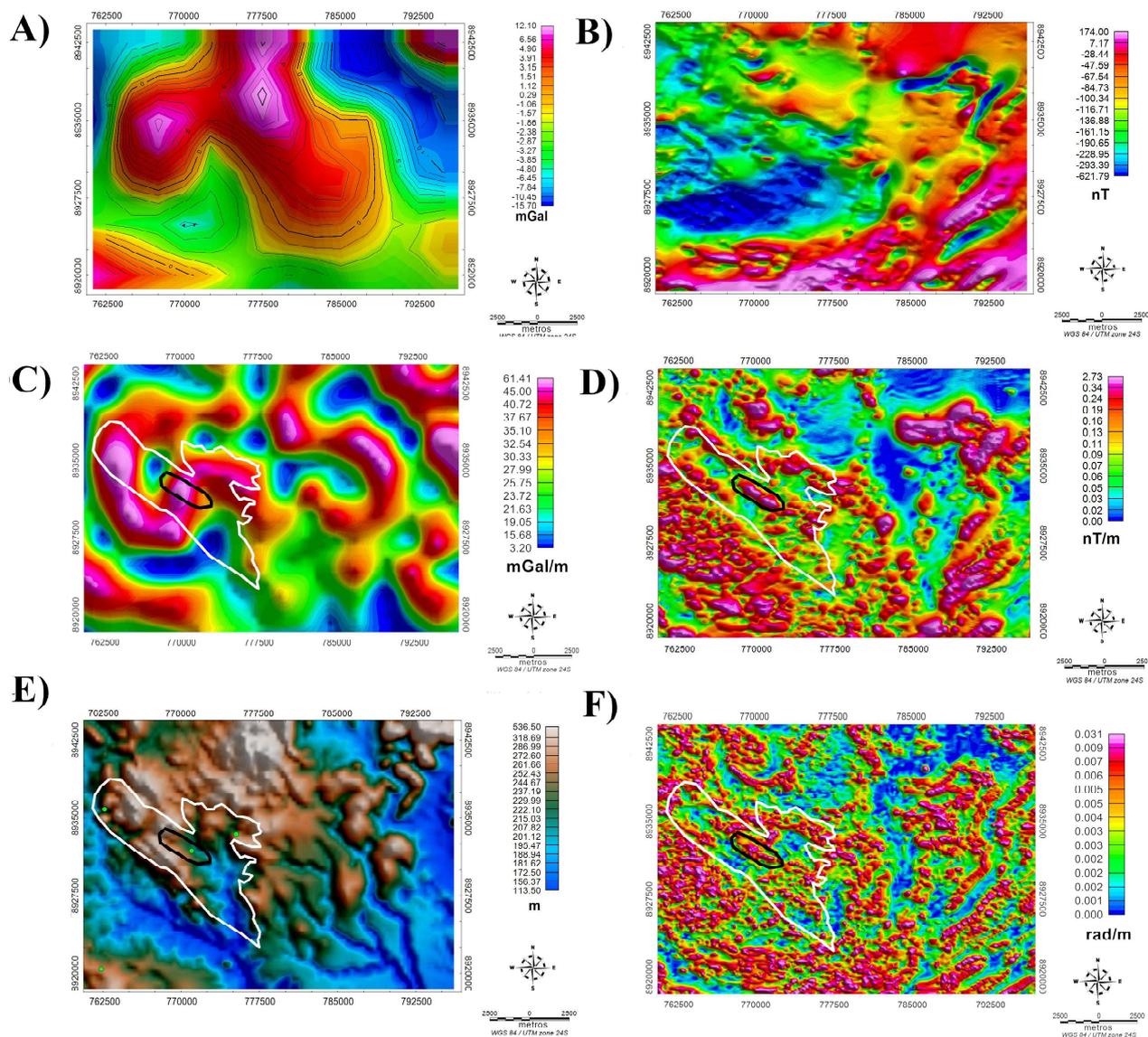


Figura 1.10: Área 1 selecionada para inversão tridimensional de densidade. A) Mapa da Anomalia Bouguer com linhas de contorno da seção. B) Mapa da Anomalia Magnética Total da seção. C) Mapa do Gradiente Horizontal Total da Anomalia Bouguer com polígono branco da área potencial RC1 - Ferro Bandado sobreposto. D) Mapa da Amplitude do Sinal Analítico da seção com polígono branco da área potencial RC1 - Ferro Bandado sobreposto. E) Mapa Topográfico (SRTM) da seção com polígono branco da área potencial RC1 - Ferro Bandado sobreposto e ocorrência de ferro (círculos verdes). F) Mapa do ASTA, com polígono branco da área potencial RC1 - Ferro Bandado sobreposto.

Detalhando o primeiro recorte a ser modelado, a área 1 (Figura 1.10) compreende a área potencial RC1, caracterizada por depósitos de ferro bandado. O mapa de anomalia Bouguer (Figura 1.10 (A)) apresenta altos gravimétricos na região central da imagem, com valores

que alcançam até + 12,10 mGals, enquanto seus entornos apresentam valores de baixa a média expressividade de anomalia Bouguer, atingindo até -15,70 mGals.

No mapa do gradiente horizontal total (Figura 1.10 (C)) é possível perceber uma anomalia positiva coincidente com o contorno da assinatura gravimétrica positiva central observada em 1.10 (A), ademais, verifica-se que as ocorrências de ferro exibidas na figura 1.10 (E) encontram-se sobrepostas a esta anomalia de Gradiente Horizontal Total.

Os dados magnéticos nas imagens 1.10 (B), (D) e (E) expõem relevos magnéticos acidentados. Em 1.10 (D), altas amplitudes localizam-se sob os contornos de RC1, enquanto nas regiões internas ao limite dessa área potencial, a concentração de valores positivos é baixa. Tal comportamento é novamente observado em 1.10 (F), com assinaturas semelhantes ao ASA, porém exibindo padrões lineares mais definidos.

Dentre o padrão de baixos valores magnéticos nos mapas das figuras 1.10 (D) e (F) na região interna ao contorno de RC1, destaca-se uma anomalia positiva, delineada por um polígono preto nos mapas 1.10 (C), (D), (E) e (F). Percebe-se que esta assinatura é espacialmente associada a uma das ocorrências de ferro sinalizadas na figura 1.10 (E), identificada como um depósito de ferro bandado do Sítio Olho d'Água de Baixo. Para esta formação ferrífera, Mendes e Brito (2017) indica a presença de associações psamíticas do Complexo Arapiraca e presença de magnetita a partir das observações microscópicas, logo, é esperado o destaque no mapa magnético.

Por fim, correlacionando as anomalias expostas nos mapas da figura 1.10, evidencia-se uma tendência onde os altos gravimétricos, visualmente associados a altos topográficos, situam-se em áreas com baixas amplitudes do sinal analítico.

Analisando a área 2 selecionada (Figura 1.11), observamos no mapa de anomalia Bouguer (Figura 1.11 (A)) uma concentração de valores positivos próximo ao centro da figura. Tal anomalia positiva atinge valores de até +4,21 mGal, e engloba a região da zona alvo RC3 (ferro maciço magmático), delineada por um polígono branco nos demais mapas da figura 1.10 e situada no município de Caboclos (Al).

Dentro dos limites de RC3 observa-se alta amplitude magnética, percebidos na figura 1.11 (B), (D) e (F), destacando-se valores do ASA em torno de 0,85 nT/m, semelhantes ao relatado em Nitzschia et al. (2023), onde foram associados à presença de rochas magnéticas aflorantes parcialmente formando altos sustentados pelo ferro maciço.

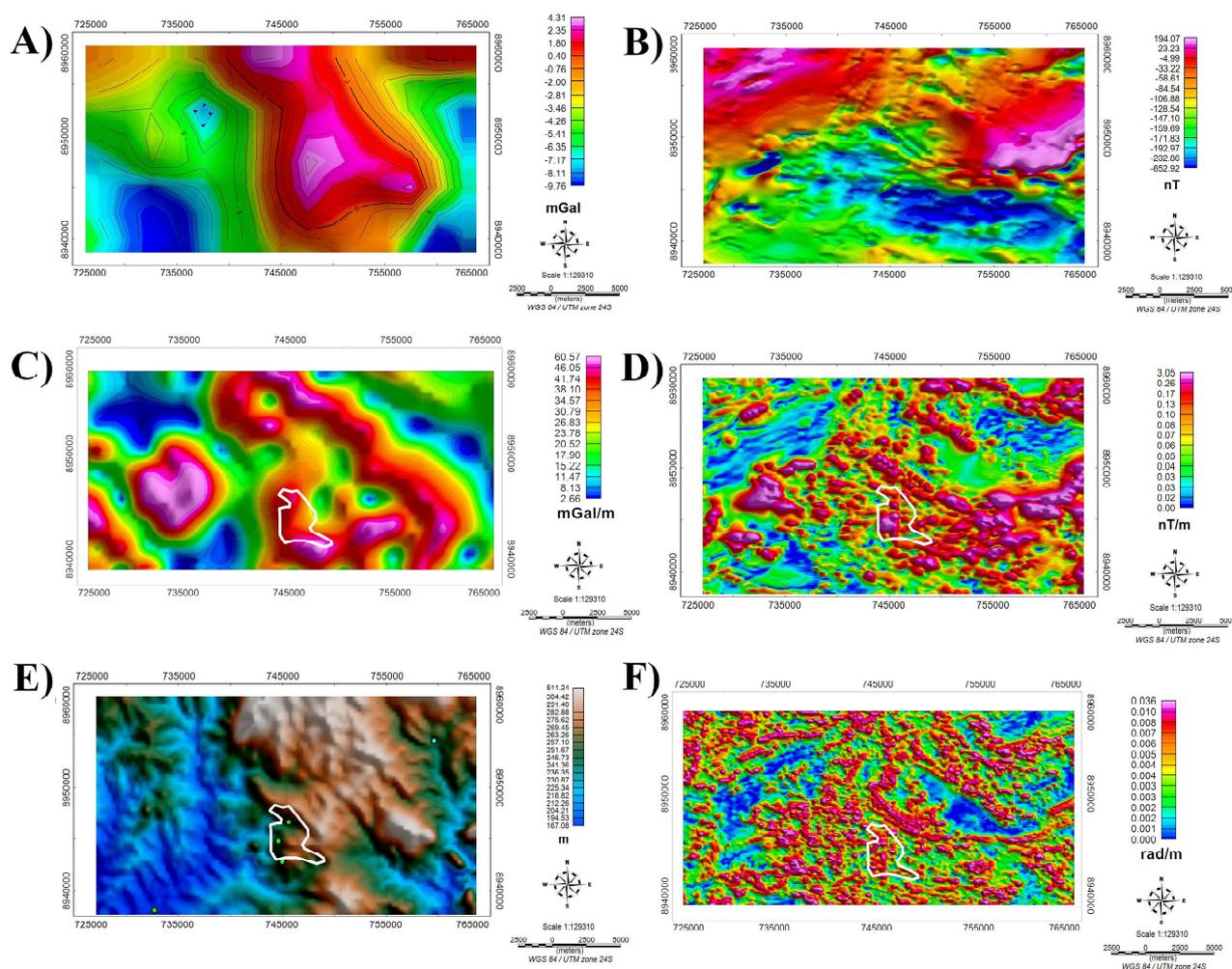


Figura 1.11: Área 2 selecionada para inversão tridimensional de densidade. A) Mapa da Anomalia Bouguer com linhas de contorno da seção. B) Mapa da Anomalia Magnética Total da seção. C) Mapa do Gradiente Horizontal Total da Anomalia Bouguer com polígono em branco da área potencial RC3 - Ferro Maciço sobreposto. D) Mapa da Amplitude do Sinal Analítico da seção com polígono em branco da área potencial RC3 - Ferro Maciço sobreposto. E) Mapa Topográfico (SRTM) da seção com polígono da área potencial RC3 - Ferro Maciço sobreposto e ocorrência de ferro (círculos verdes) e de cobre (círculos azuis). F) Mapa do ASTA, com polígono em branco da área potencial RC3 - Ferro Maciço sobreposto.

Observando o mapa do GHT (Figura 1.11 (C)), visualiza-se a zona alvo RC3 sobreposta a picos positivos do gradiente horizontal. Este comportamento indica a presença desta zona em uma região com variações expressivas de anomalia Bouguer, e que podem estar intimamente relacionadas ao fato deste alvo situar-se dentre intrusões de granitóides indiscriminados no terreno (Mendes et al., 2009).

No mapa topográfico (Figura 1.11 (E)) é possível observar tendências de distribuições espaciais semelhantes ao dado de anomalia Bouguer, além das três principais ocorrências de ferro magmático da Fazenda Caboclos, investigadas pela DOCEGEO com o objetivo de detectar novos depósitos cupro-auríferos na região, uma vez que as assinaturas geofísicas e associações geológicas são semelhantes a outro depósito da mesma natureza no Complexo Arapiraca, em Serrote da Laje (Mendes e Brito, 2017). Desta forma, além dos depósitos de ferro conhecidos, podem existir associações em quantidades exploratórias de cobre e ouro nessa zona alvo.

A área da Seção 3 (Figura 1.12), situada no domínio Rio Coruripe, engloba a área potencial RC2 (cobre, ouro e ferro) e parte de RC1 (ferro bandado). Sob RC2, localiza-se um alto gravimétrico relevante que se estende em uma anomalia com formato de U aberto para NW. Embora tal área potencial apresente esta assinatura, depósitos de sulfetos disseminados não podem ser associados à tais variações gravimétricas devido à sua distribuição e associação a outros minerais, logo, presume-se que o alto gravimétrico esteja relacionado às rochas encaixantes e diferenças de densidade com as rochas adjacentes. Isolado na seção NE do recorte, existe um outro alto gravimétrico correspondente a uma parte da anomalia causada pelo depósito localizado em RC1, e previamente discutido nos detalhes da figura 1.10.

Quanto ao mapa do ASA (Figura 1.12 (D)) nota-se anomalias alongadas com uma tendência NW-SE, incluindo uma estrutura magnética situada entre as duas fortes anomalias gravimétricas do mapa (polígono preto). Tais aspectos podem significar a existência de uma transição entre litologias com características diferentes, ou contatos que podem indicar a separação e individualidade entre as fontes, principalmente se consideramos que está localizado na região de transição entre o domínio Macururé e Rio Cururipe.

No mapa do ASTA (Figura 1.12 (F)) é percebida tendência semelhante ao ASA e o relevo magnético acidentado fica evidente. Nesta seção predomina a disposição de altos gravimétricos associados a baixos de amplitude magnética, enquanto altos magnéticos concentram-se em regiões com gradientes negativos de anomalia Bouguer.

Referente ao depósito RC2, conhecido como Serrote da Laje (Craíbas-AL), as mineralizações cupríferas ocorrem em dois tipos: magmática (primária), associada a sulfetos disseminados nas rochas máficas e ultramáficas; e hidrotermal (secundária), associada à remobilização parcial dos sulfetos primários em veios e/ou brechas nas máficas-ultramáficas alteradas (Mendes e Brito, 2017).

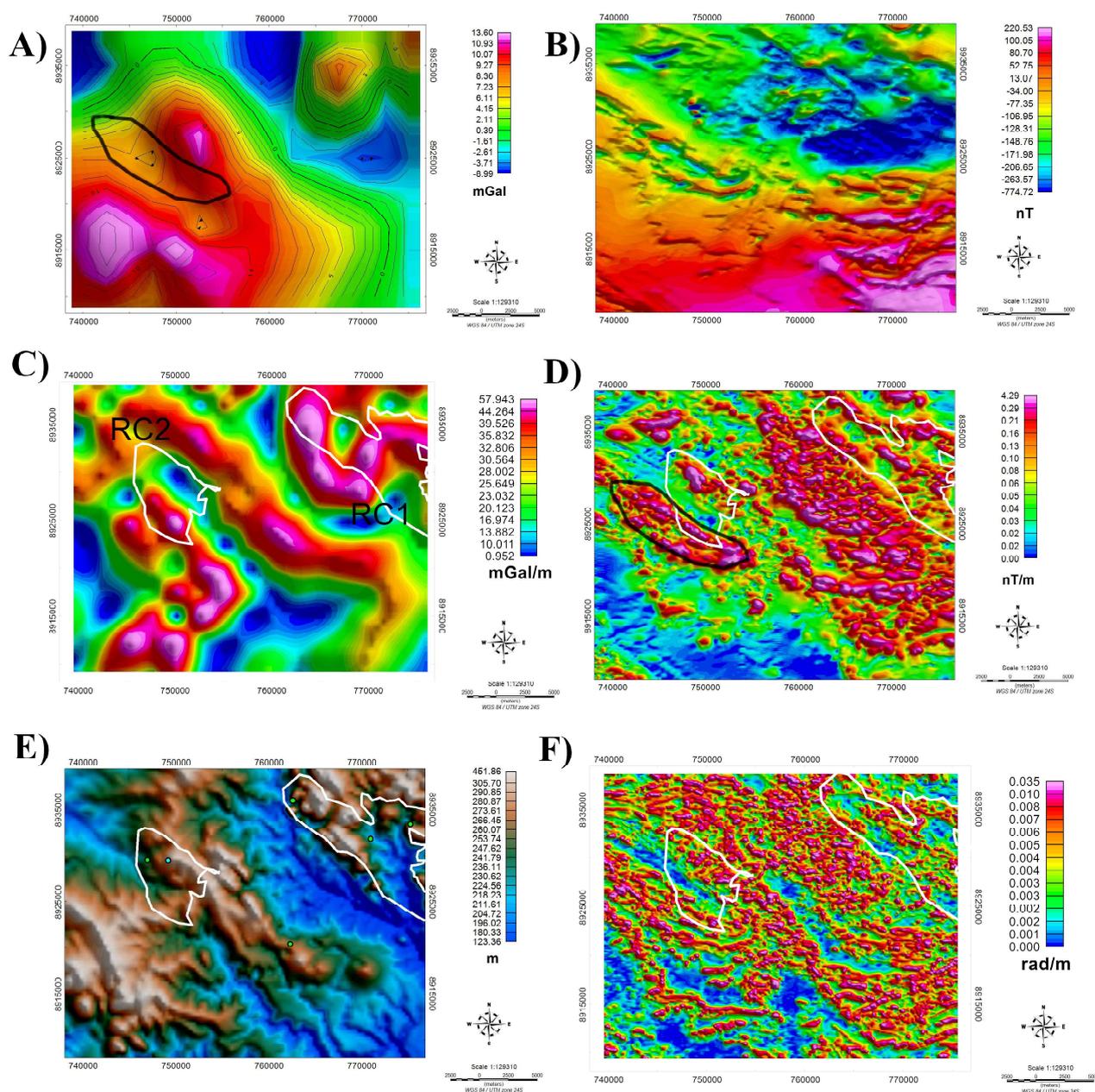


Figura 1.12: Área 3 selecionada para inversão tridimensional de densidade. A) Mapa da Anomalia Bouguer com linhas de contorno da seção. B) Mapa da Anomalia Magnética Total da seção. C) Mapa do Gradiente Horizontal Total da Anomalia Bouguer com polígono em branco da área potencial RC1 - Ferro Bandado e RC2 - Cobre, ouro e ferro maciço sobreposto. D) Mapa da Amplitude do Sinal Analítico da seção com polígono em branco da área potencial RC1 - Ferro Bandado e RC2 - Cobre, ouro e ferro maciço sobreposto. E) Mapa Topográfico (SRTM) da seção com polígono em branco da área potencial RC1 - Ferro Bandado e RC2 - Cobre, ouro e ferro maciço sobreposto e ocorrência de ferro (círculos verdes) e de cobre (círculos azuis). F) Mapa do ASTA, com polígono em branco da área potencial RC1 - Ferro Bandado e RC2 - Cobre, ouro e ferro maciço sobreposto.

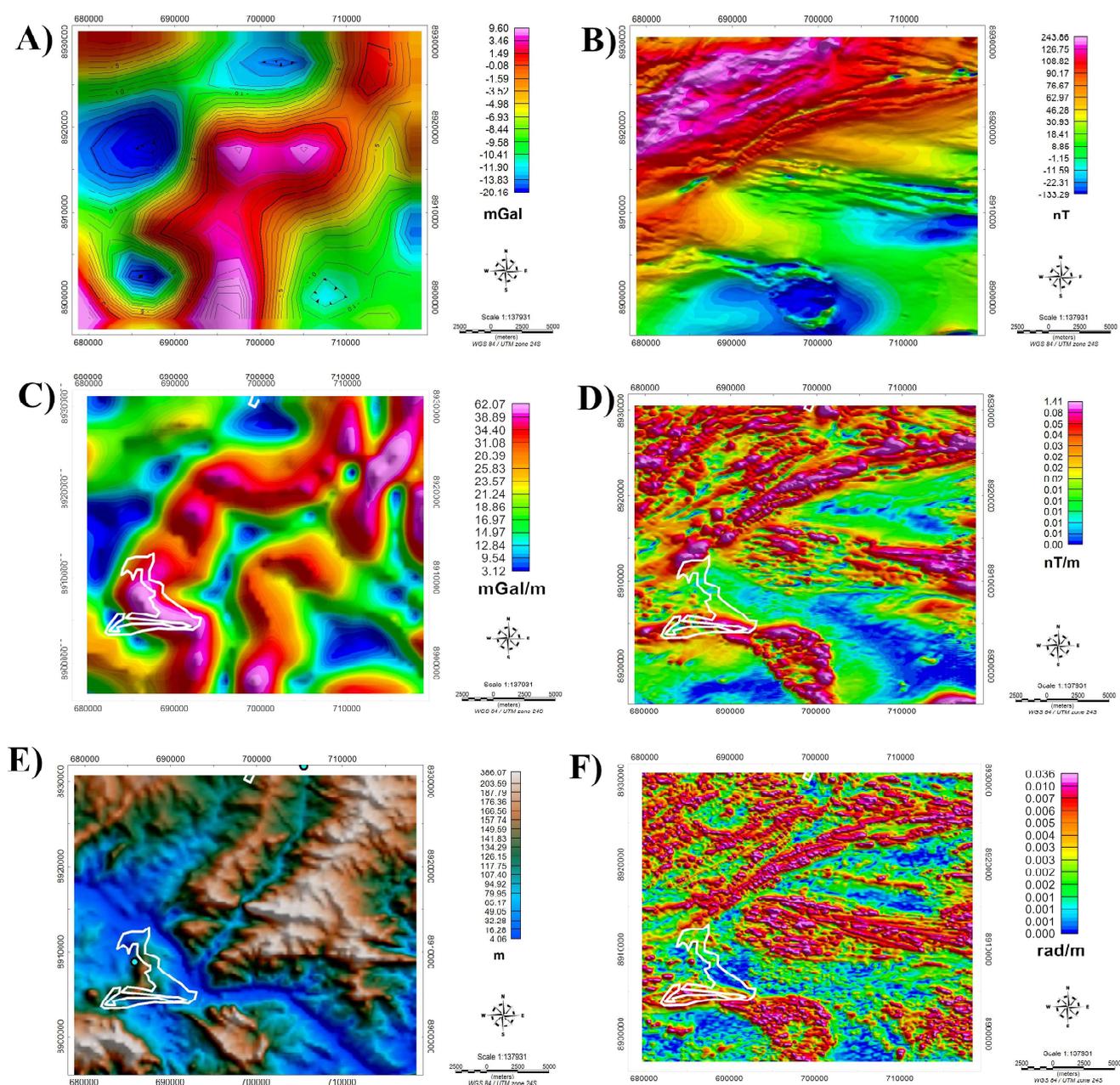


Figura 1.13: Área 4 selecionada para inversão tridimensional de densidade. A) Mapa da Anomalia Bouguer com linhas de contorno da seção. B) Mapa da Anomalia Magnética Total da seção. C) Mapa do Gradiente Horizontal Total da Anomalia Bouguer com polígono em branco da área potencial MC1 - Cobre e Fluorita sobreposto. D) Mapa da Amplitude do Sinal Analítico da seção com polígono em branco da área potencial MC1 - Cobre e Fluorita sobreposto. E) Mapa Topográfico (SRTM) da seção com polígono em branco da área potencial MC1 - Cobre e Fluorita sobreposto e ocorrência de cobre (círculos azuis). F) Mapa do ASTA, com polígono em branco da área potencial MC1 - Cobre e Fluorita sobreposto.

As encaixantes das mineralizações são, principalmente, ortopiroxenitos, magnetitos, noritos e gabronoritos, que ocorrem como pequenos corpos rasos e irregulares, resultantes do desmembramento tectônico de um *sill*. Os direitos minerários deste depósito foram concedidos à Mineração Vale Verde S/A por meio do Projeto Serrote, primeiro empreendimento de metais básicos de Alagoas (Mendes e Brito, 2017).

A área da Seção 4 (Figura 1.13) exhibe no mapa Bouguer uma anomalia positiva centralizada na imagem e que se alonga para o sul. O mapa de anomalia magnética total apresenta áreas com um relevo magnético acidentado, assim como o observado no mapa de amplitude do sinal analítico e ASTA, onde a presença de estruturas alongadas positivas de diferentes direções destacam-se.

Na seção mais à norte temos a predominância de orientações NE-SW, enquanto mais ao sul as anomalias encontram-se orientadas em E-W, sobretudo na porção do domínio Macururé associada ao domo Girau do Ponciano (porção leste do recorte). Tal característica possivelmente é mais um indício da orientação do deslocamento deste bloco arqueano durante a compartimentação do terreno estudado.

Observa-se ainda a que a área potencial MC1 encontra-se majoritariamente em um baixo gravimétrico, enquanto possui uma assinatura magnética contornando o sul dos seus domínios. Por ser um depósito de cobre e fluorita que ocorre em veios mineralizados com associações a alterações hidrotermais e tectônica de cisalhamento intensa, a densidade dos corpos presentes pode ter sido alterada e a variação magnética associada a contatos ter sido ressaltada.

Mais ao sul desta seção encontra-se uma anomalia positiva gravimétrica, associada a um forte sinal magnético, e que pode ser observada nas figuras 1.13 (A) e (F) delimitada por um polígono preto. Esta fonte, é correlacionada geograficamente com uma unidade geológica distinta no domínio Macururé, definida por associações de granada-biotíta-muscovita xistos (metagrauváquicos), com delgadas intercalações de quartzitos, leucogranitóides e níveis de quartzo leitoso.

A Figura 1.14 representa a área 5, que exhibe uma anomalia gravimétrica centralizada em Figura 1.14 (A), cuja direção principal é N-S, e com magnitude mediana, enquanto o maior alto gravimétrico concentra-se na porção sudeste atingindo até +10,36 mGals. Por sua vez, o mapa de amplitude sinal analítico é caracterizado por um relevo acidentado e estruturas magnéticas com direção E-W predominante.

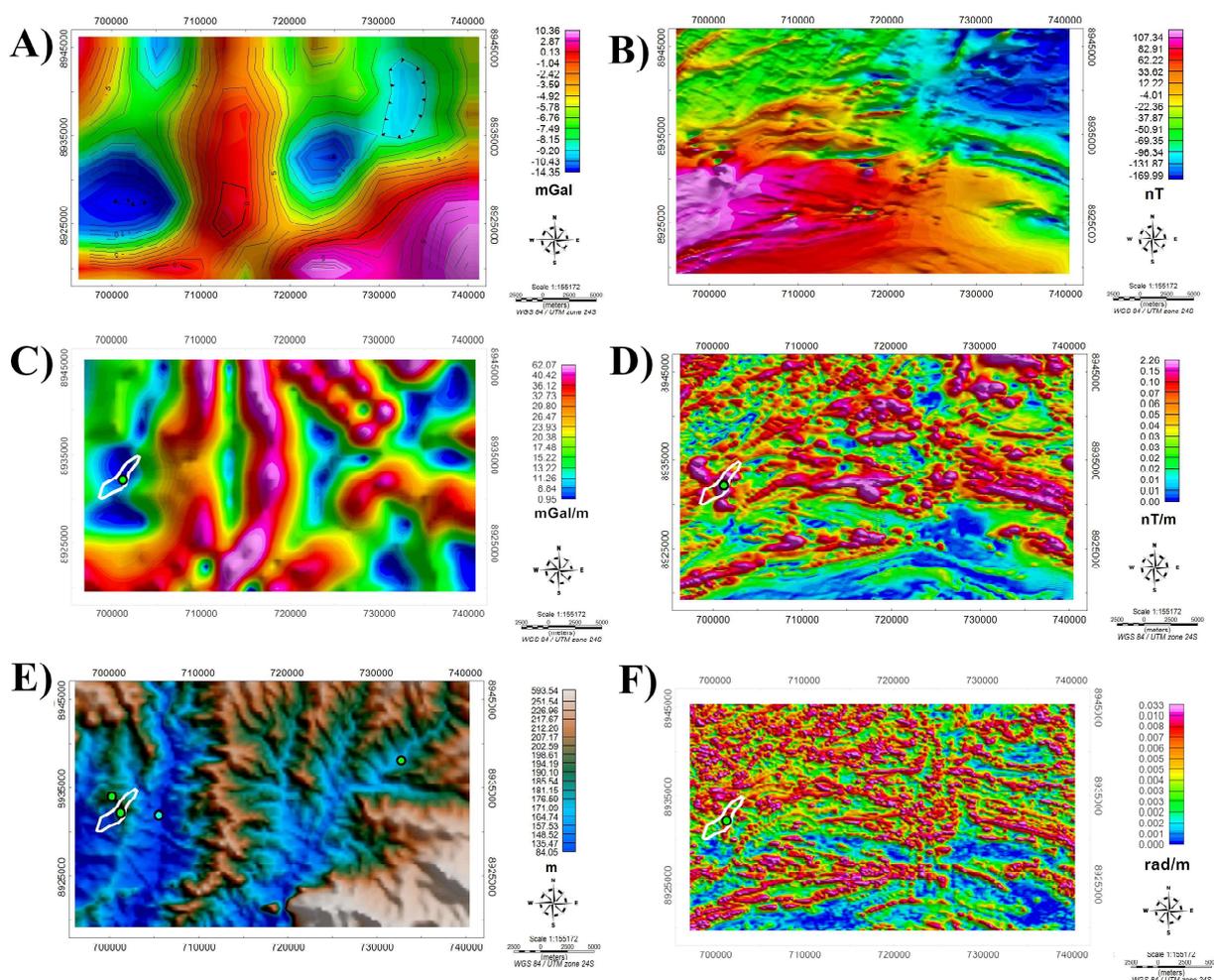


Figura 1.14: Área 5 selecionada para inversão tridimensional de densidade. A) Mapa da Anomalia Bouguer com linhas de contorno da seção. B) Mapa da Anomalia Magnética Total da seção. C) Mapa do Gradiente Horizontal Total da Anomalia Bouguer com polígono em branco da área potencial CN1 - Ferro Bandado sobreposto. D) Mapa da Amplitude do Sinal Analítico da seção com polígono em branco da área potencial CN1 - Ferro Bandado sobreposto. E) Mapa Topográfico (SRTM) da seção com polígono em branco da área potencial CN1 - Ferro Bandado sobreposto e ocorrência de ferro (círculos verdes) e de cobre (círculos azuis). F) Mapa do ASTA com polígono em branco da área potencial CN1 - Ferro Bandado sobreposto.

Na Figura 1.14 representando a área 5, situa-se uma área potencial denominada CN1 (ferro bandado), traçada com orientação NE-SW, ocorre uma anomalia de alta amplitude orientada perpendicularmente ao delineamento de CN1 e divergente de todas as principais estruturas magnéticas observadas. Tal anomalia, se assemelha à direção observada para o Serrote do Galvão, compreendido por CN1, inteiramente sustentado por uma formação ferrífera bandada sob a forma de uma crista encurvada Mendes e Brito (2017).

O mapa topográfico por sua vez expõe alinhamento de tendências entre altos topográficos e altos de anomalia Bouguer, enquanto o ASA não possui nenhuma correlação com ambos os mapas citados.

Por fim, a área 6 (Figura 1.15) encontra-se inserida no domínio Macururé, mais especificamente na região do domo Girau do Ponciano. No mapa de anomalia Bouguer existe um alto centralizado mais para o sul, isolado dos demais pontos positivos da seção e contornado por gradientes de baixos gravimétricos.

O relevo magnético no mapa 1.15 (D) destaca-se por apresentar relevo magnético acidentado com uma intercalação de vários dipolos. Tal característica pode estar associada ao domo em análise apresentar diversas intercalações entre litologias diferentes, além do complexo Nicolau Campo Grande (área potencial GP1) ser um depósito de ferro bandado. A soma destes aspectos pode provocar intensa variação de características magnéticas.

No mapa da amplitude do sinal analítico observam-se altos sob os limites e contornos da área potencial GP1, além de formações magnéticas alongadas orientadas em NW-SE. A direção dessas anomalias compreende uma direção noroeste, sudeste, uma direção de empurrão, de surgimento desse bloco arqueano. O polígono de GP1 associa-se com baixos topográficos e gravimétricos.

Foi observado que o gradiente total da anomalia magnetométrica coincide com a direção das principais zonas de cisalhamento, sugerindo que esse conjunto de rochas foi fortemente deformado pela tectônica transcorrente. Os dados da anomalia magnetométrica referentes à área (Figura 21B) mostram essa correlação de forma clara.

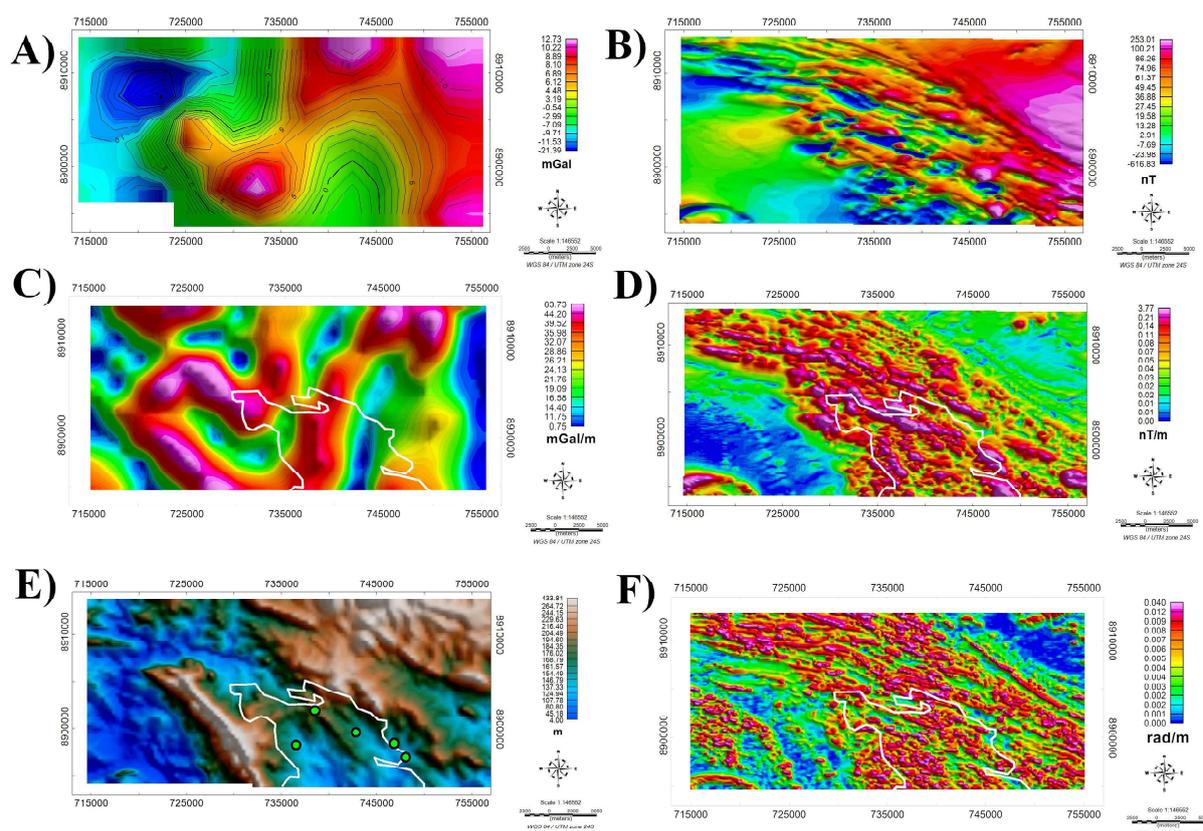


Figura 1.15: Área 6 selecionada para inversão tridimensional de densidade. A) Mapa da Anomalia Bouguer com linhas de contorno da seção. B) Mapa da Anomalia Magnética Total da seção. C) Mapa do Gradiente Horizontal Total da Anomalia Bouguer com polígono em branco da área potencial GP1 - Ferro Bandado sobreposto. D) Mapa da Amplitude do Sinal Analítico da seção com polígono em branco da área potencial GP1 - Ferro Bandado sobreposto. E) Mapa Topográfico (SRTM) da seção com polígono em branco da área potencial GP1 - Ferro Bandado sobreposto e ocorrência de ferro (círculos verdes). F) Mapa do ASTA com polígono em branco da área potencial GP1 - Ferro Bandado sobreposto.

Para executar o processo de inversão tridimensional de densidade são necessários dados de entrada de cada área a ser modelada. O procedimento executado no módulo VOXI (*©Seequent*) segue um fluxo de definição inicial da propriedade física a ser representada, o tipo de dado geofísico e a modalidade de ajuste de erro, sendo estabelecido respectivamente densidade, anomalia gravimétrica e erro absoluto. Em seguida, existe a opção de realizar remoção de campo regional automático ou pré-definido, no entanto o dado gravimétrico utilizado não necessitou destas transformações, uma vez que já havia passado por uma filtragem com o mesmo intuito.

Por fim são determinados os parâmetros associados à malha tridimensional a ser gerada, também conhecida como voxel. Os dados necessários são o polígono que representa o contorno da área selecionada, o grid de anomalia Bouguer e a informação de elevação de terreno, todos em coordenadas UTM.

A resolução dos modelos foram estabelecidas em 1000 m para corresponderem aos critérios de restrição da versão do software disponibilizada para a modelagem. Como descrito em de Lima Barbosa (2021), o VOXI utiliza uma otimização de amostragem que ao menos vai garantir 1 amostra medida por célula (XY).

Para aprimorar os resultados da inversão, foram adicionados limites superiores e inferiores de densidade como atributo restritivo à distribuição da propriedade física em subsuperfície. Tais informações, baseadas nos valores de máximos e contraste de densidade de cada domínio geotectônico exposto na tabela 1.4, podem ser observados nas tabelas 1.5 e 1.6, assim como os valores de erro absoluto aceitável para os ajustes e números de células em cada eixo da malha 3D.

Tabela 1.5: Parâmetros empregados para a inversão 3D das áreas 1, 2 e 3.

Parâmetro	Área 1	Área 2	Área 3
Erro Absoluto (mGal)	0,251	0,167	0,2033
Número de células em X	37	37	40
Número de células em Y	27	22	33
Número de células em Z	9	9	10
Limite superior de densidade (g/cm^3)	3,17	3,17	3,17
Limite inferior de densidade (g/cm^3)	-0,67	-0,67	-0,67

Tabela 1.6: Parâmetros empregados para a inversão 3D das áreas 4, 5 e 6.

Parâmetro	Área 4	Área 5	Área 6
Erro Absoluto (mGal)	0,303	0,2079	0,250
Número de células em X	41	45	43
Número de células em Y	37	29	22
Número de células em Z	10	10	9
Limite superior de densidade (g/cm^3)	2,84	3,06	2,98
Limite inferior de densidade (g/cm^3)	-0,31	-0,50	-0,44

Após convergidos e finalizados os processamento das inversões tridimensionais, observa-se na tabela 1.7 os bons ajustes avaliados pelo erro entre o dado observado e o dado gerado a partir da anomalia provocada pelo modelo de densidade invertido. Em seguida, os resultados foram interpretados do ponto de vista geofísico-geológico e discutidos no decorrer desta seção.

Tabela 1.7: Parâmetros computacionais resultantes das inversões 3D.

Área	Tempo de Processamento	Ajuste do Dado	Número de Iterações
Área 1	30,78 segundos	0,983 mGal	13548
Área 2	18,31 segundos	0,910 mGal	9944
Área 3	50,65 segundos	0,945 mGal	12308
Área 4	57,55 segundos	1,025 mGal	5067
Área 5	13,20 segundos	1,029 mGal	2278
Área 6	27,70 segundos	0,978 mGal	12506

Distribuição de Densidades

A seleção das áreas para modelagem foi guiada por critérios geofísicos específicos, priorizando-se áreas com anomalias Bouguer positivas. Feições dipolares nas anomalias magnéticas totais também foram consideradas, assim como magnitudes positivas em amplitude do sinal analítico, visando uma melhor definição das fontes magnéticas. A presença de áreas potenciais dentro dos polígonos selecionados foi um fator essencial, garantindo uma abordagem focada nas regiões de maior interesse mineral.

Os resultados das inversões gravimétricas produziram modelos poligonais de distribuição de densidade em subsuperfície interpretados em uma perspectiva de contrastes de densidade. A partir da malha poligonal resultante, foram traçadas isosuperfícies buscando sempre interfaces que isolem as fontes com maiores contrastes de densidade (Figuras 1.16 a 1.21)

Os resultados das inversões e interpretações geofísicas revelaram características distintas em seis áreas investigadas. Na Área 1, foram identificados três corpos principais (RC1A, RC1B e RC1C) associados a altos gravimétricos e possíveis depósitos de ferro bandado. Na Área 2, a zona alvo RC3 sugere a presença de ferro maciço magmático, indicando também a possibilidade de depósitos de cobre e ouro.

A Área 3 exibe altos gravimétricos associados a baixos magnéticos, com mineralizações cupríferas de origem magmática e hidrotermal. Na Área 4, a anomalia Bouguer centralizada aponta para um depósito de cobre e fluorita, enquanto na Área 5 destaca-se uma anomalia de alta amplitude magnética relacionada ao ferro bandado. Finalmente, na Área 6, um alto gravimétrico isolado e um relevo magnético acidentado sugerem a presença de diferentes litologias e deposição de ferro bandado no complexo Nicolau Campo Grande.

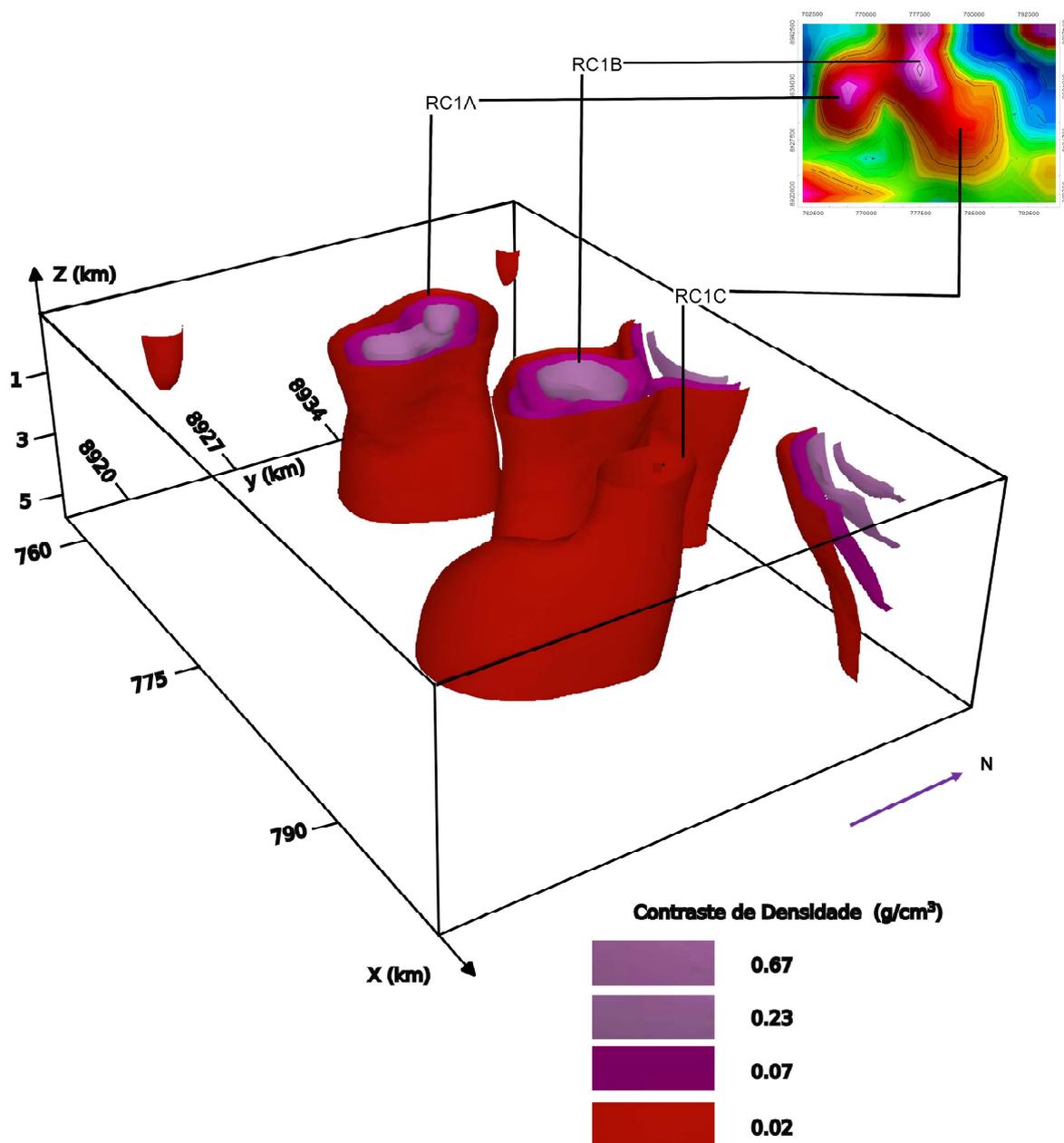


Figura 1.16: Modelo 3D derivado do procedimento de inversão gravimétrica da área selecionada 1, e composto por isosuperfícies com contrastes de densidade positivos. O resultado é apresentado em conjunto com o mapa da anomalia Bouguer da seção em questão.

O modelo da área 1 (Figura 1.16) apresentou estruturas com maiores contrastes de densidade nas regiões com valores sobressalentes de anomalia Bouguer positiva. Foram traçados para esse modelo as isosuperfícies associadas às regiões com valores da propriedade acima de 0,67, 0,23, 0,07 e 0,02 g/cm^3 . Da composição destas interfaces, observa-se três corpos principais na figura 1.16, RC1A, RC1B e RC1C, com características a serem discutidas nesta seção localizada no domínio Rio Coruripe.

O corpo RC1A, localizado dentro dos limites da área potencial RC1, apresenta um gradiente positivo de contraste de densidade do seu exterior para o interior, assim como RC1B. A interface mais positiva nestes dois corpos ($0,67 \text{ g/cm}^3$) alcança uma profundidade de até 2 km, indicando a existência de fontes rasas e densas na região.

Quanto a RC1C, este não possui variações expressivas desta propriedade física internamente, logo, exibe apenas uma isosuperfície, de contraste $0,02 \text{ g/cm}^3$. Apesar de todos os corpos apresentarem continuidade aparente em profundidade ($> 6 \text{ km}$), apenas RC1C exibe variação no mergulho do corpo, estando orientado em N-S. O volume estimado para os corpos isolados pela interface de $0,02 \text{ g/cm}^3$ e o plano horizontal de 6 Km é de aproximadamente 780 km^3 .

No que se refere à associação dos modelos com os depósitos de ferro bandado conhecidos da área potencial RC1, apenas o corpo RC1A encontra-se sob uma ocorrência mapeada, localizada em Coité do Noia (Alagoas). Tal formação ferrífera pertence ao Complexo Arapiraca, e ocorre associada à rochas metassedimentares e metavulcânicas máficas e ultramáficas, estas últimas comumente mais densas, e que resultam em anomalias Bouguer positivas.

Outra característica do complexo Arapiraca, utilizada em Mendes e Brito (2017) como critério propício à procura das camadas ferríferas intercaladas, é o destaque topográfico das alongadas serras quartzíticas. A partir desta ideia, e observando em conjunto o mapa de anomalia Bouguer e de terreno (Figuras 1.10 (A) e (E)), além do conhecimento de informações retiradas de Mendes et al. (2009) no que se refere à localização de quartzitos no Complexo Arapiraca, é evidente que nas regiões dos corpos RC1B e RC1C existem indicativos favoráveis à busca de depósitos de ferro bandado. Os indícios são a presença de quartzitos em regiões com elevação topográfica, anomalias Bouguer positivas e com amplitudes semelhantes à região anômala do corpo RC1A, e por fim resultados similares de contraste de densidade exibidos na figura 1.16. Desta forma aconselha-se estudos geológicos e geofísicos de detalhe na região destes corpos.

Apesar de ter sido destacada na discussão sobre as assinaturas geofísicas da área 1, a ocorrência mineral situada no Sítio Olho d'água de Baixo não produziu resultados significativos no modelo de distribuição de densidade. No entanto, observa-se que o corpo RC1A, possui a mesma direção de alongamento em XY (NW-SE) que a anomalia magnética do corpo mineral citado. Por ambos estarem inseridos no complexo Arapiraca, e compartilhando da associação com serras quartzíticas, levanta-se a hipótese de que a assinatura gravimétrica, possivelmente positiva, produzida por esta fonte possa ter sido mascarada por fatores geológicos. Seguindo este pensamento, aconselha-se levantamentos gravimétricos de detalhe ao longo da extensão da anomalia magnética do polígono assinalado em 1.10 (D), e conseguinte

modelagem tridimensional.

O modelo de contraste de densidade 3D da área 2 (Figura 1.17), exibiu estruturas densas associadas a regiões de altos valores de anomalia Bouguer. De acordo com a distribuição de densidade alcançada foram definidas 3 isosuperfícies com valores da propriedade de 0,67, 0,027, e 0,02 g/cm^3 . Resultante da composição destas interfaces, observa-se quatro corpos principais na figura 1.17, RC3A, RC3B, RC3C e RC3D.

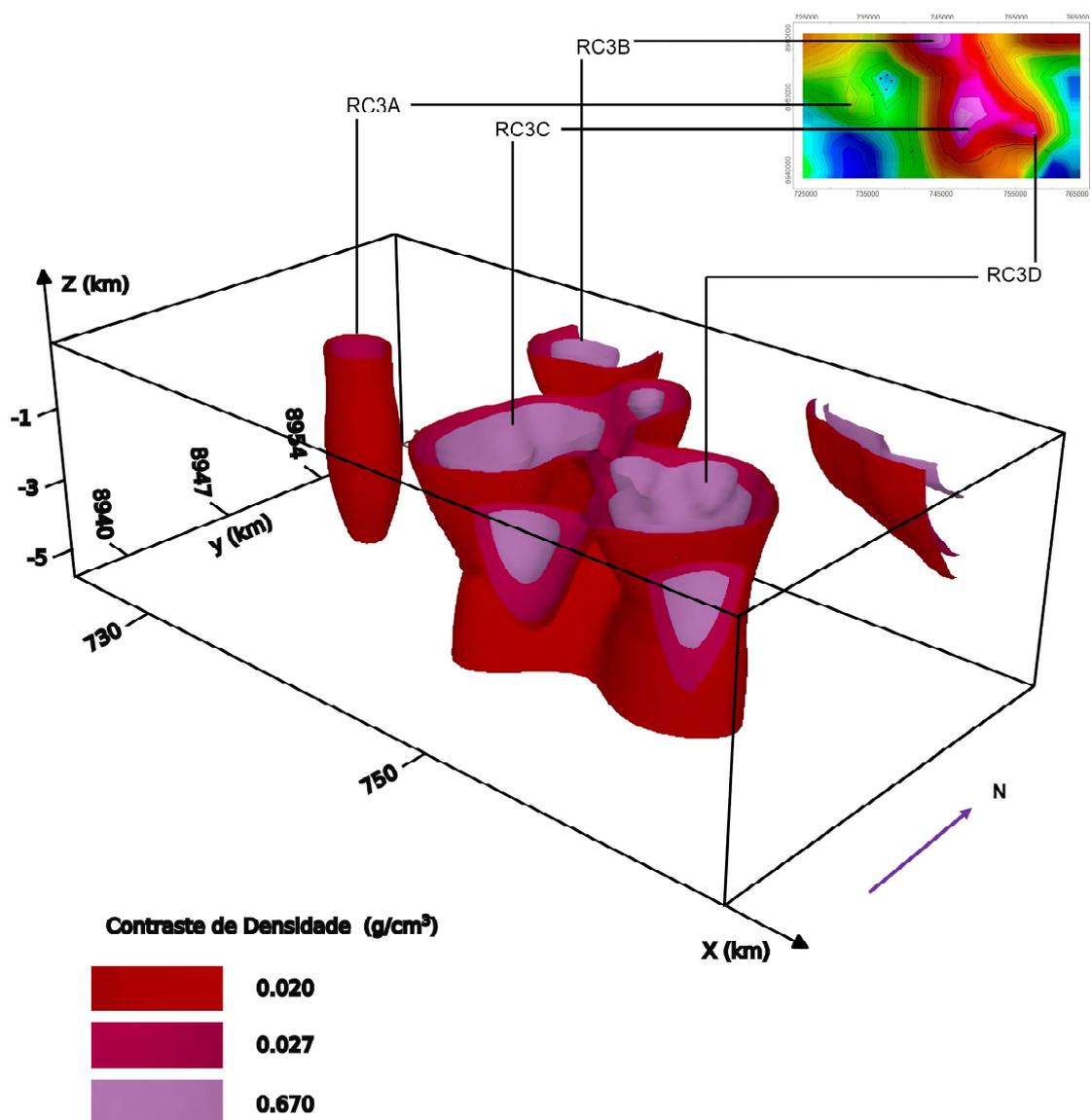


Figura 1.17: Modelo 3D derivado do procedimento de inversão gravimétrica da área selecionada 2, e composto por isosuperfícies com contrastes de densidade positivos. O resultado é apresentado em conjunto com o mapa da anomalia Bouguer da seção em questão.

O corpo RC3A, apresenta uma forma alongada e com continuidade em profundidade. Espacialmente, está associada a intrusões de granitóides indiscriminados que possuem duas ocorrências de Titânio mapeadas e situadas muito próximas das manifestações plutônicas máfica-ultramáficas ocorridas na área de Caboclos, a leste (corpo RC3C). O corpo RC3B também está associado a mais um dos granitóides do neoproterozóico, inserido no domínio Rio Coruripe.

Observando RC3C, localizado dentro dos limites da área potencial RC3, percebe-se um gradiente positivo de contraste de densidade do seu exterior para o interior. De acordo com a interface de maior contraste de densidade neste corpo ($0,67 \text{ g/cm}^3$), nota-se que o seu alcance atinge uma profundidade de pouco mais de 3 km.

Tal profundidade é maior que a obtida através da inversão de magnetização realizada em Nitzschia et al. (2023), onde encontraram-se corpos com profundidade de até 1,5 Km em Caboclos. Para leste, encontra-se o corpo RC3D, correlacionado com uma pequena anomalia gravimétrica, mas, que possui valores e geometrias similares ao RC3C, sugerindo semelhanças entre as composições de suas geologias. Dessa forma, poderia ser levantada a hipótese de extensão do depósito estudado em RC3, incentivando a pesquisa mineral na localidade do RC3C.

Todas as 4 estruturas sobressalentes possuem ao menos uma isosuperfície com continuidade em profundidade ($>5 \text{ km}$), e todas encontram-se em formato perpendicular, sem aparentes direções de mergulho. O volume estimado para os corpos isolados pela interface de $0,02 \text{ g/cm}^3$ e o plano horizontal de 5 km é de aproximadamente 370 km^3 .

O resultado da inversão de densidade da área 3, encerrando as compartimentações do Complexo Arapiraca, podem ser vistas na figura 1.18. Neste modelo, destacam-se várias zonas com altos valores de contraste de densidade, e que em sua maioria apresentam um gradiente positivo de contraste de densidade da interface mais externa para o interior. Os valores das isosuperfícies desta seção foram definidas em 0,020, 0,035 e $0,670 \text{ g/cm}^3$. Destacam-se 3 corpos de interesse por suas associações geológicas e assinaturas geofísicas.

O corpo RC1A observado no modelo da área 3 é oriundo da mesma fonte apresentada na figura 1.18, estando correlacionada ao depósito de ferro bandado RC1, e representando o mesmo corpo com características similares de profundidade e orientação N-S do modelo de densidade.

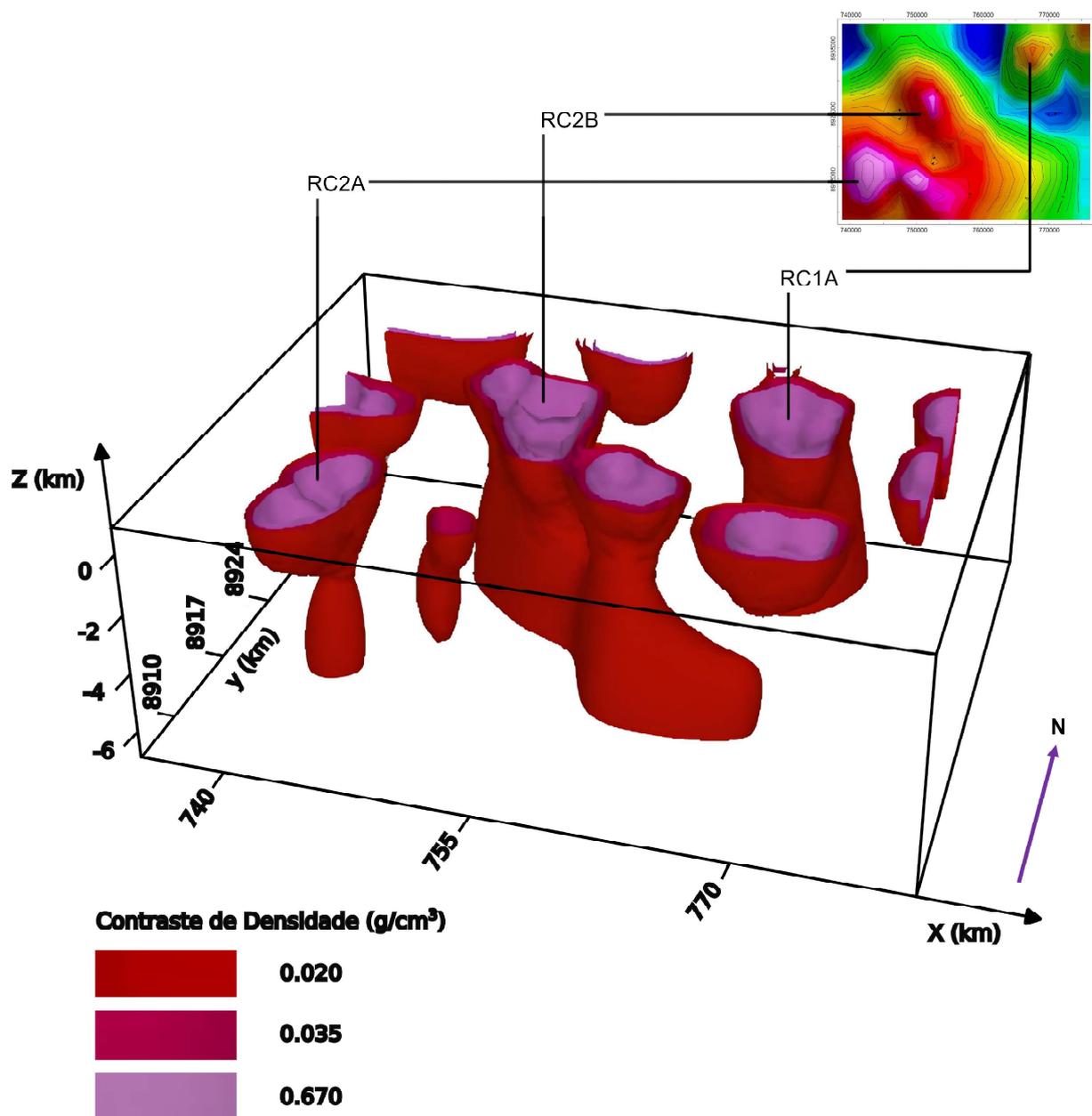


Figura 1.18: Modelo 3D derivado do procedimento de inversão gravimétrica da área selecionada 3, e composto por isosuperfícies com contrastes de densidade positivos. O resultado é apresentado em conjunto com o mapa da anomalia Bouguer da seção em questão.

A fonte RC2A é oriunda de uma forte anomalia gravimétrica e possui extensão em profundidade de sua isosuperfície de menor contraste de densidade ($0,020 g/cm^3$). A anomalia citada é geograficamente sobreposta à rochas do Complexo Arapiraca, onde existem paragneisses bandados, frequentemente migmatizados com intercalações de lentes quartzíticas. Tais unidades geológicas são observadas em outras áreas potenciais e com depósitos de ferro, assim, sugere-se pesquisas de detalhe também na região do corno RC2A.

Quanto a RC2B, o corpo possui extensão em profundidade acima de 6 km e forte contraste de densidade nas regiões mais rasas. Está localizado dentro dos limites da área potencial RC3 e pode ser correlacionado com o depósito de ferro ortomagmático associado a cobre e ouro, Serrote da Laje. Visualizando-se o mesmo padrão de distribuição de densidade de RC2B na direção NW-SE, e apresentando mergulho em profundidade para SE, o corpo adjacente a RC2B pode ser considerado uma extensão da mesma fonte ou semelhante, percebida em Serrote da Laje.

As estruturas de distribuição de densidade formadas pelas isosuperfícies da figura na figura 1.18e o plano horizontal de 6 Km totalizam cerca de aproximadamente 860 km^3 .

A distribuição de densidade da área 4 apresentou conjuntos de contrastes de densidade entre $0,02$ e $0,31 \text{ g/cm}^3$ localizados sob as anomalias gravimétricas positivas, na figura 1.19. Todas as estruturas mapeadas com a isosuperfície $0,02$, expuseram prolongamentos em profundidades maiores que 7 km, além de estarem perpendiculares ao plano X, assemelhando-se com corpos venulares, que possuem gradiente positivo de densidade da interface externa para a interna.

O corpo relacionado à MC1A está localizado sob a estrutura do domínio Macururé delimitada por um polígono preto na figura 1.13 (A). Esta fonte aparenta formato em Y e densidades nas regiões mais rasas superiores às mais profundas. Quanto ao corpo MC1B, este está na zona de transição entre o domínio Canindé e Rio Coruripe, denotando grande contraste de densidade entre estes dois blocos geotectônicos.

O corpo MC1C está situado sob a zona potencial MC1, em que as ocorrências de Cu e F ocorrem na intersecção entre intrusões e cisalhamentos, sugerindo um modelo prospectivo que inclui intrusões magmáticas como produtoras dos fluidos mineralizantes e a participação das zonas de cisalhamento como condutoras desses fluidos (Mendes e Brito, 2017). Relacionando este ambiente de mineralização com os corpos modelados para essa zona, existe bastante semelhança quando percebe-se as isosuperfícies como intrusões magmáticas.

As estruturas de distribuição de densidade formadas pelas isosuperfícies da figura 1.19 e o plano horizontal de 7 Km totalizam cerca de aproximadamente 1330 km^3 .

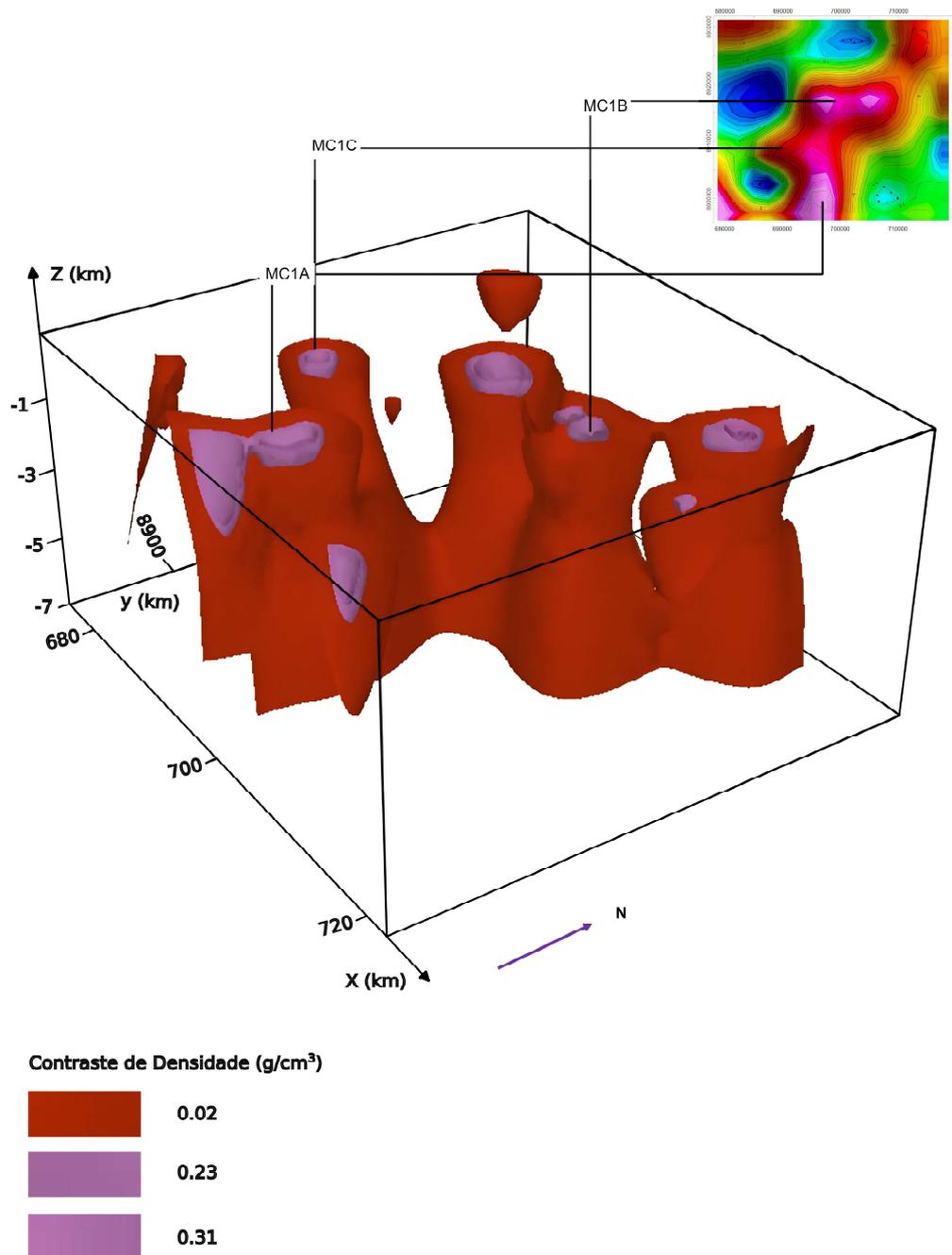


Figura 1.19: Modelo 3D derivado do procedimento de inversão gravimétrica da área selecionada 4, e composto por isosuperfícies com contrastes de densidade positivos. O resultado é apresentado em conjunto com o mapa da anomalia Bouguer da seção em questão.

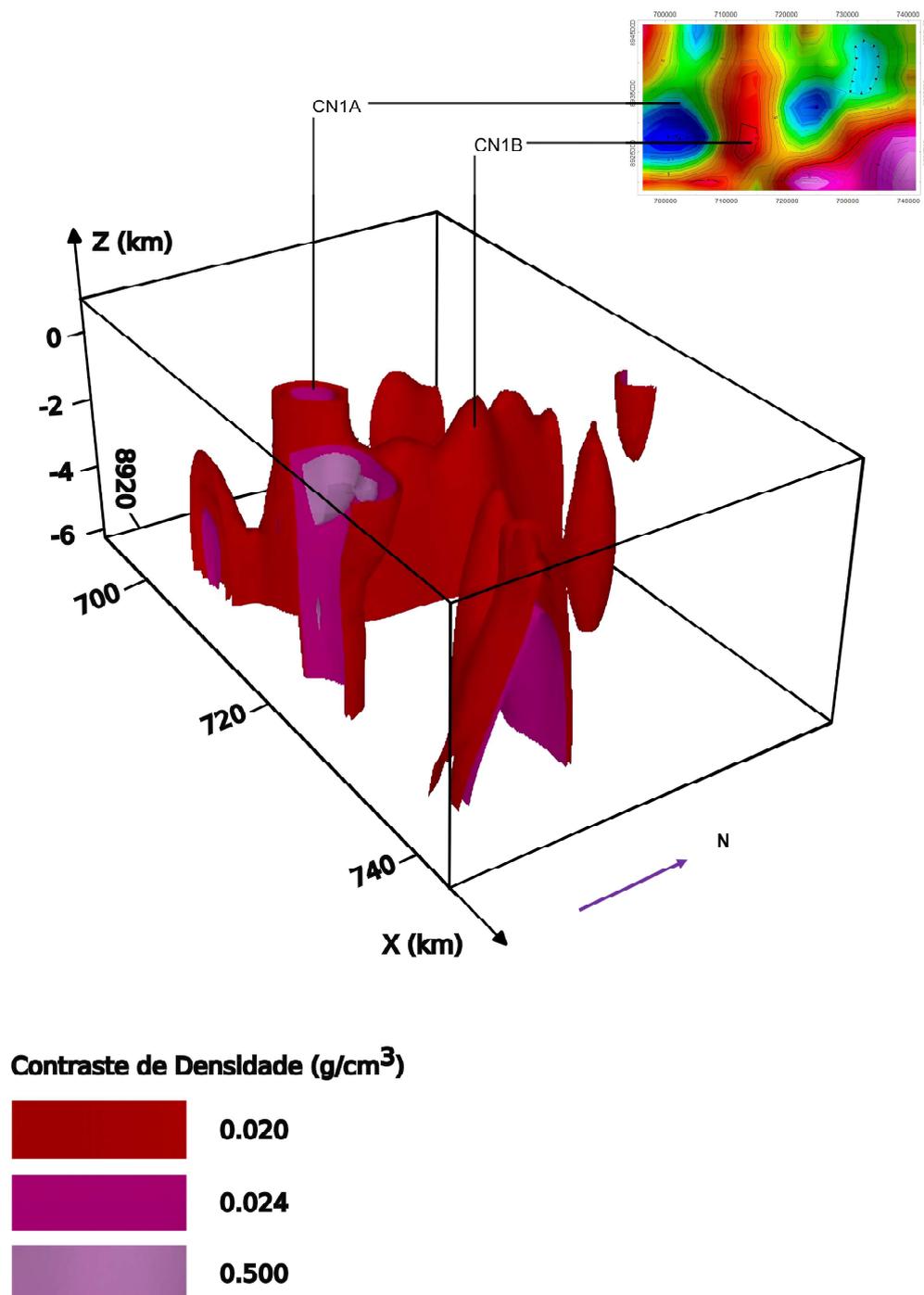


Figura 1.20: Modelo 3D derivado do procedimento de inversão gravimétrica da área selecionada 5, e composto por isosuperfícies com contrastes de densidade positivos. O resultado é apresentado em conjunto com o mapa da anomalia Bouguer da seção em questão.

Nas áreas de estudo, o resultados da inversão 3D apresentados nas Figuras 1.20 e 1.21 as distribuições de densidade mostram a existência de uma grande quantidade de rochas densas na crosta superior da região. Os corpos densos volumosos, que se estendem até profundidades superiores a 5 km, ocorrem principalmente nas porções centrais das áreas.

O modelo de inversão da área 5 apresentou corpos verticais com fortes contrastes de densidade e extensão em profundidade maior que 6 km. As isosuperfícies definidas foram aquelas de 0,020, 0,024 e 0,50 g/cm^3 . A área potencial CN1, referente ao depósito de ferro bandado Serrote do Galvão, no Complexo Araticum, foi representada pelo corpo CN1A, de acordo com o sinal mediano da sua anomalia gravimétrica. Apesar do contraste de densidade positivo, possivelmente causado pelas bandas ferríferas, a inversão para o CN1 não resultou em interpretações satisfatórias.

O corpo CN1B por sua vez situa-se no domínio Canindé e não tem associações geológicas com unidades de destaque. As estruturas de distribuição de densidade formadas pelas isosuperfícies 0,020 g/cm^3 da figura 1.18 e o plano horizontal de 6 Km totalizam cerca de aproximadamente 730 km^3 .

O modelo resultante da inversão da área 6, expôs valores positivos de contrastes de densidade sob as anomalias gravimétricas positivas, apresentou corpos GP1A, GP1B e GP3A com fortes contrastes de densidade e extensão em profundidade maior que 6 km. As isosuperfícies definidas foram aquelas de 0,17, 0,020, 0,073 e 0,550 g/cm^3 . Esta seção compreende o domo Girau do Ponciano e sua respectiva área potencial mineral, GP1, abrangida pelo Complexo Nicolau-Campo Grande e seus depósitos de ferro bandado.

Foram destacados no modelo 3 diferentes regiões, GP1A, GP1B e GP1C, definidas pelas isosuperfícies distintas, mas com todas as características de contraste de densidade e formas semelhantes, além de possuírem conexão entre si através da interface de menor valor da propriedade física. A estrutura que representa a seção noroeste do Girau do Ponciano apresenta continuidade em subsuperfície para profundidades maiores que 5 km.

Diferentemente dos resultados magnéticos para esta seção apresentados neste trabalho, e visualizados nos modelos inversos de susceptibilidade magnética dispostos em Nitzschia et al. (2023), a modelagem gravimétrica não evidenciou direções de mergulho ou orientações dos corpos encontrados. No entanto, conhecendo-se a geologia local, e sabendo que o domo possui orientação na direção NW-SE, é válido afirmar que a porção noroeste desta unidade é a que apresenta maiores contrastes de densidade, ou pode-se supor que exista um soerguimento mais acentuado do domo nesta porção, indicando um mergulho expressivo na direção SE.

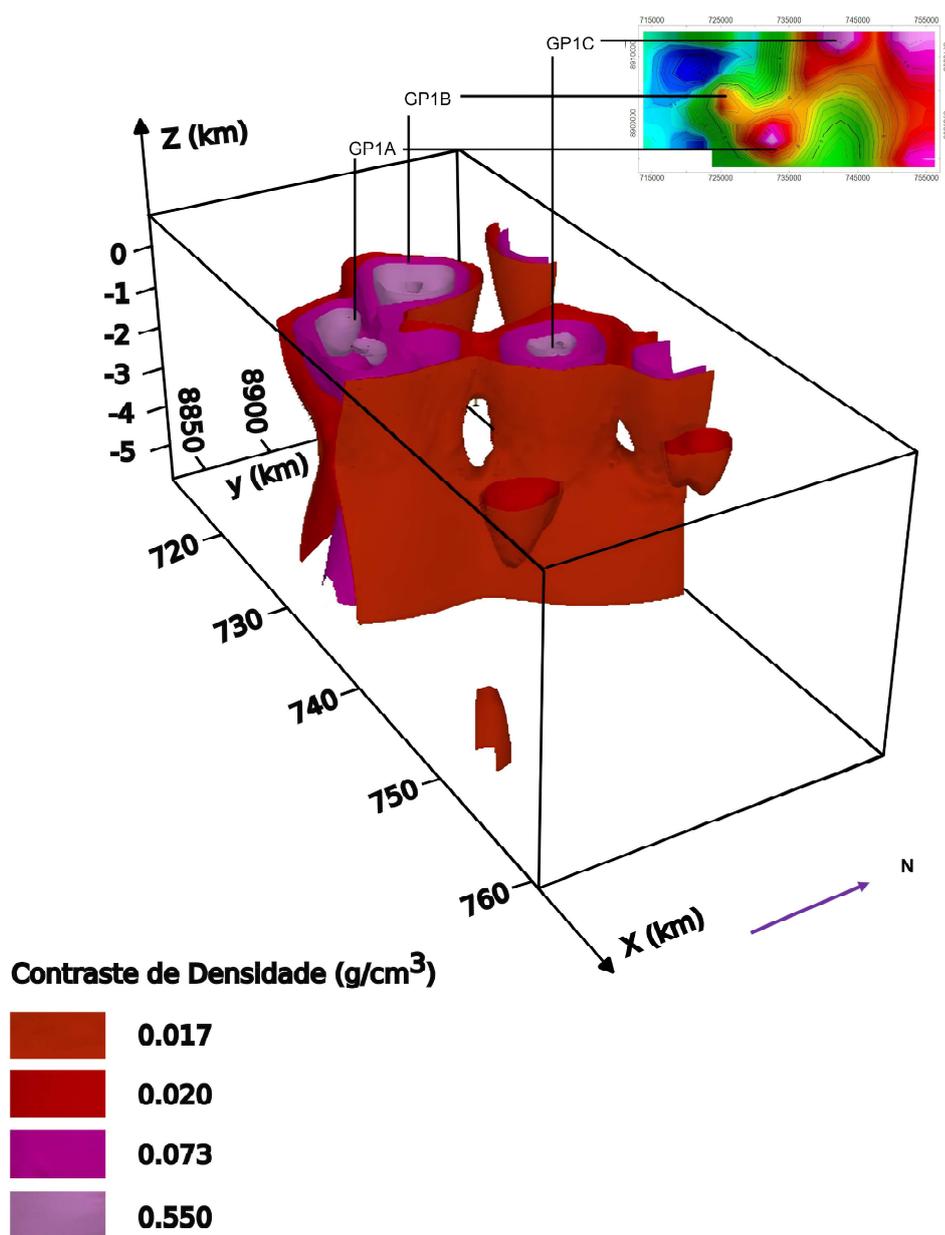


Figura 1.21: Modelo 3D derivado do procedimento de inversão gravimétrica da área selecionada 6, e composto por isosuperfícies com contrastes de densidade positivos. O resultado é apresentado em conjunto com o mapa da anomalia Bouguer da seção em questão.

As figuras 1.22 a 1.27 mostram as anomalias gravimétricas calculadas a partir do modelo de distribuição de densidade final e a anomalia gravimétrica observada. Visualmente os sinais estão bem correlacionados, uma vez que apresentam erros de ajuste pequenos entre o dado modelado e o medido original, observados na tabela 1.5.

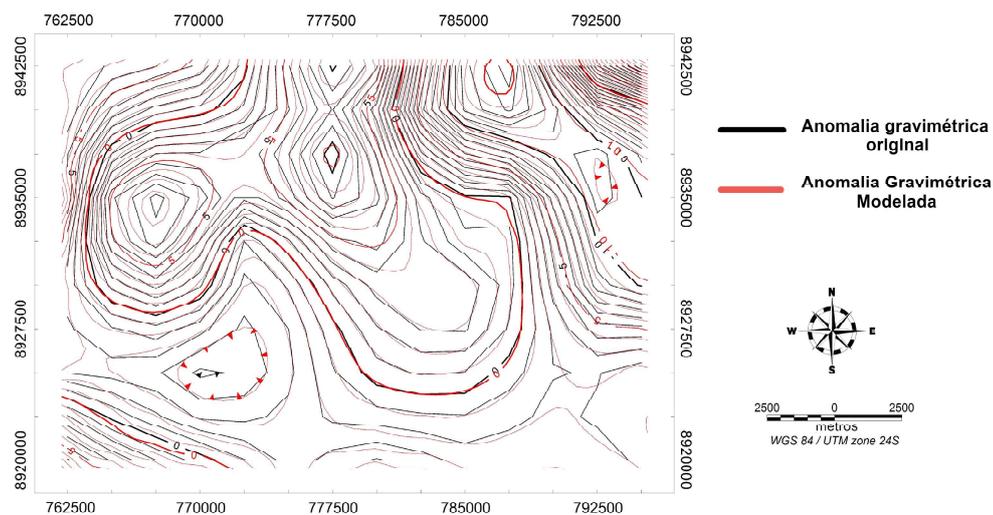


Figura 1.22: Mapa com curvas de contorno pretas da anomalia Bouguer do dado original a ser invertido e a curva de contorno vermelha produzida pelo modelo de densidade resultante do processo de inversão gravimétrica referentes ao modelo da área 1.

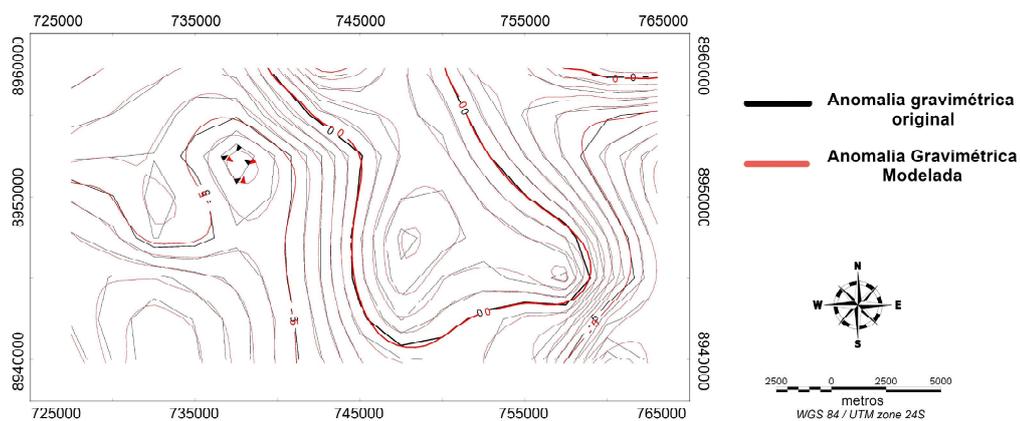


Figura 1.23: Mapa com curvas de contorno pretas da anomalia Bouguer do dado original a ser invertido e a curva de contorno vermelha produzida pelo modelo de densidade resultante do processo de inversão gravimétrica referentes ao modelo da área 2.

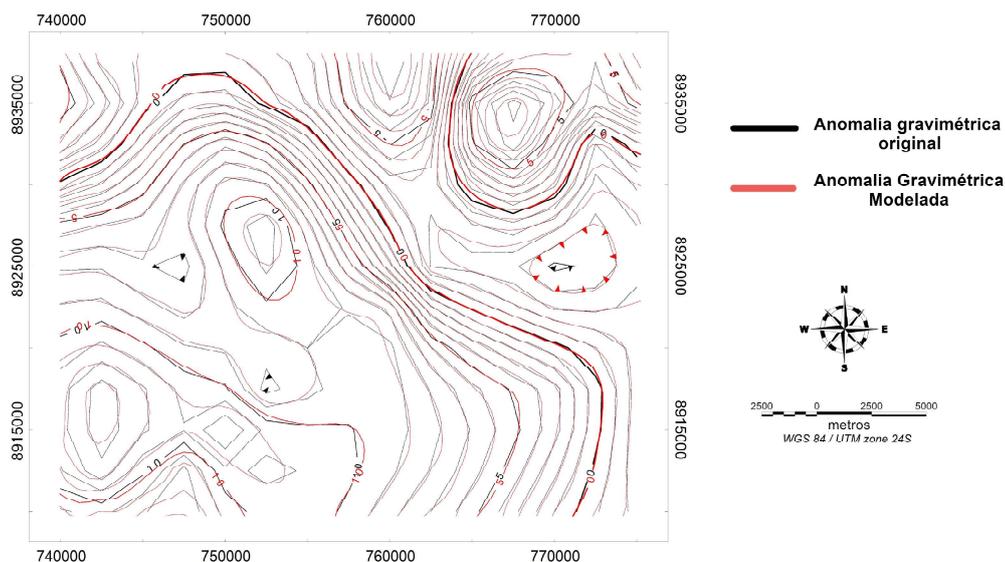


Figura 1.24: Mapa com curvas de contorno pretas da anomalia Bouguer do dado original a ser invertido e a curva de contorno vermelha produzida pelo modelo de densidade resultante do processo de inversão gravimétrica referentes ao modelo da área 3.

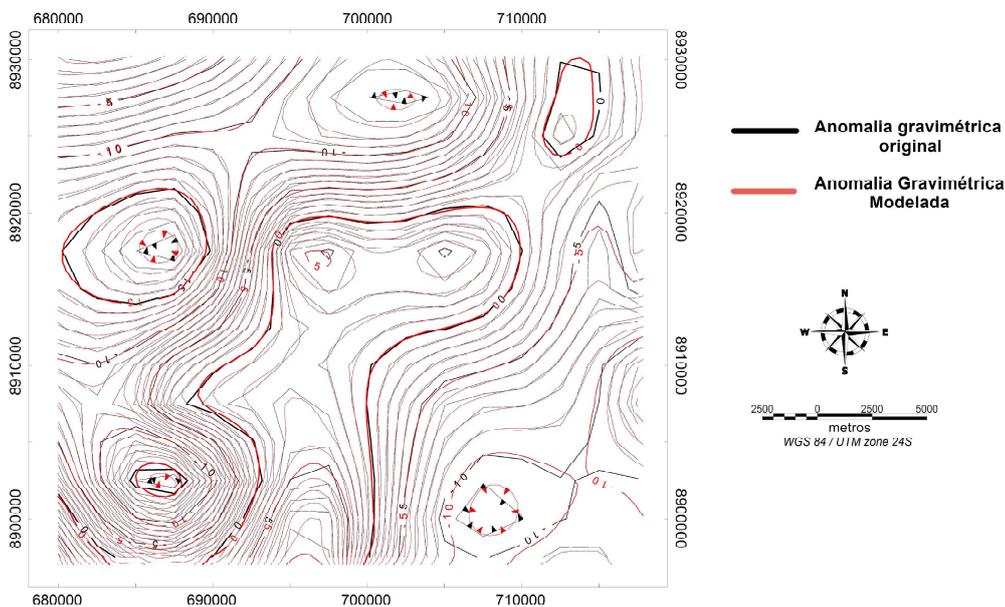


Figura 1.25: Mapa com curvas de contorno pretas da anomalia Bouguer do dado original a ser invertido e a curva de contorno vermelha produzida pelo modelo de densidade resultante do processo de inversão gravimétrica referentes ao modelo da área 4.

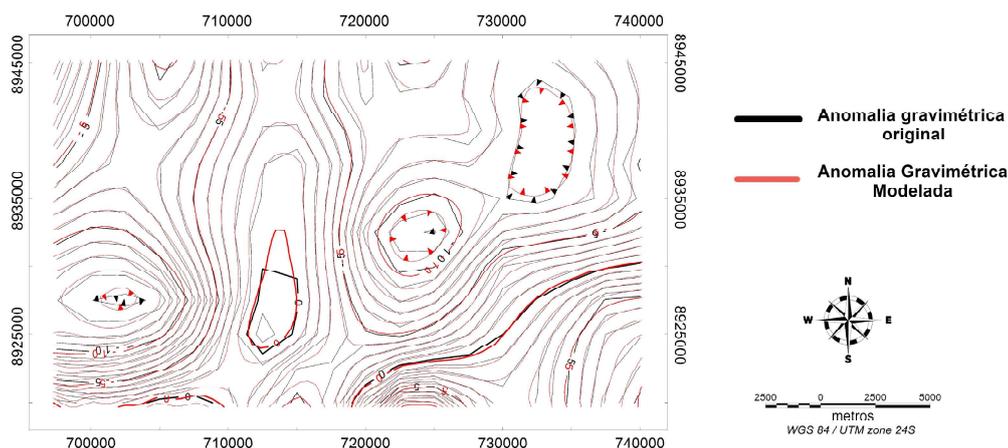


Figura 1.26: Mapa com curvas de contorno pretas da anomalia Bouguer do dado original a ser invertido e a curva de contorno vermelha produzida pelo modelo de densidade resultante do processo de inversão gravimétrica referentes ao modelo da área 5.

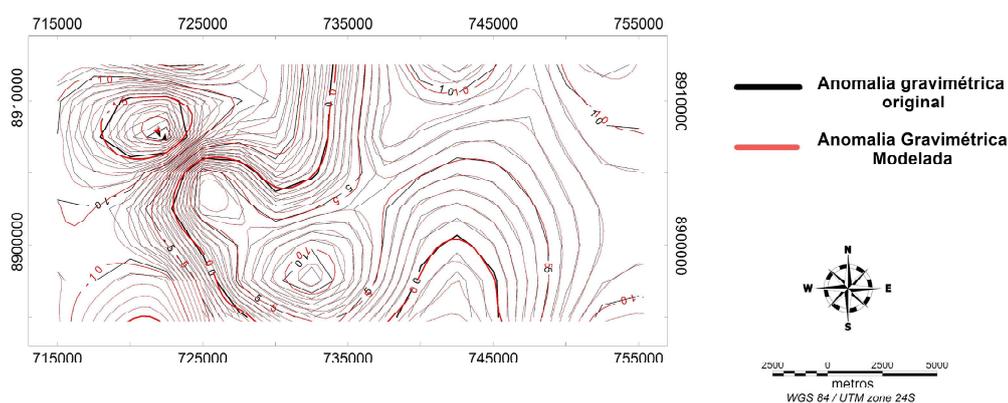


Figura 1.27: Mapa com curvas de contorno pretas da anomalia Bouguer do dado original a ser invertido e a curva de contorno vermelha produzida pelo modelo de densidade resultante do processo de inversão gravimétrica referentes ao modelo da área 6.

Conclusões

De acordo com os dados geofísicos empregados nesta pesquisa foram extraídas interpretações acerca das áreas potenciais para exploração de cobre e ferro na região de Alagoas, Brasil. A partir dos dados magnéticos foi possível destacar as principais anomalias e lineamentos na região, obtendo a principal direção destas estruturas como NE-SW. Através dos dados gravimétricos obtivemos informações tais como zonas de anomalias positivas e que se correlacionam com a geologia e topografia de forma coerente.

Na etapa final do estudo, foram gerados modelos inversos tridimensionais de densidade na subsuperfície, começando pela seleção das áreas a serem processadas e pela definição dos parâmetros de inversão com restrições petrofísicas. As anomalias gravimétricas e magnéticas foram analisadas para identificar regiões com características geofísicas distintas. Seis polígonos foram delimitados para modelagem tridimensional, com áreas menores e mais restritas, a fim de garantir a viabilidade computacional. Cada polígono abrangia ao menos uma área potencial de exploração mineral, centralizando as anomalias gravimétricas para melhor compreensão das fontes magnéticas. As inversões gravimétricas foram realizadas considerando dados de densidade de amostras coletadas em campo como condição limitante para os valores de máximos e mínimos de contrastes de densidade encontrados durante as iterações ocorridas no processo, e assim, obtendo resultados mais alinhados com a realidade.

Os resultados das inversões gravimétricas foram avaliados em termos de contrastes de densidade, variações verticais e laterais, volume, direção de inclinação e profundidade das fontes gravimétricas. A análise revelou que os modelos tridimensionais apresentaram estruturas com contrastes de densidade mais acentuados nas regiões de anomalias Bouguer positivas. Por exemplo, na área 1, três corpos principais, RC1A, RC1B e RC1C, foram identificados, com RC1A apresentando maiores gradientes de densidade e associando-se a ocorrências de depósitos de ferro bandado. Outros corpos, como RC1C, exibiram variações menos expressivas, mas ainda indicaram profundidades significativas. A utilização de dados petrofísicos foi fundamental para calibrar os modelos de densidade e aumentar a precisão da localização e características dos corpos minerais e caracterização das rochas encaixantes.

As interpretações geofísicas e geológicas sugerem que há uma correlação entre os altos gravimétricos e as formações geológicas, como serras quartzíticas e rochas metassedimentares. As áreas modeladas exibiram potenciais depósitos de ferro, cobre e ouro, com algumas regiões mostrando assinaturas geofísicas que podem indicar a presença de novos depósitos minerais. A modelagem tridimensional, aliada ao conhecimento geológico e à integração com dados petrofísicos, proporciona uma base robusta para futuras investigações detalhadas, reforçando a importância de levantamentos geofísicos adicionais para confirmar e expandir as descobertas preliminares. A abordagem combinada de gravimetria, magnetometria e dados petrofísicos se mostrou eficaz para delinear estruturas subterrâneas complexas e identificar áreas de alto potencial mineral.

Agradecimentos

Os autores gostariam de expressar seus sinceros agradecimentos às instituições e organizações que contribuíram para a realização deste estudo. Em particular, gostaríamos de agradecer ao Programa de Pós-Graduação em Geofísica do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia (UFBA), pelo apoio acadêmico prestado ao longo deste projeto. Através da sua excelência acadêmica e dos seus recursos, realizamos uma investigação de alta qualidade e obtivemos conhecimentos valiosos para melhorar o nosso trabalho.

Gostaríamos também de agradecer ao Serviço Geológico do Brasil - CPRM por fornecer os dados geológicos e geofísicos desta pesquisa. A sua generosa contribuição de dados foi fundamental para o desenvolvimento e conclusão deste estudo.

Além disso, agradecemos profundamente à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pela bolsa de pesquisa concedida. O apoio financeiro fornecido pela FAPESB foi fundamental para a realização deste estudo, permitindo-nos dedicar o tempo e os recursos necessários para a coleta de dados, análise e preparação do manuscrito.

Gostaríamos de enfatizar que a colaboração e o apoio dessas instituições foram fundamentais para o sucesso desta pesquisa. Agradecemos sinceramente a todos os envolvidos e esperamos continuar com esta parceria e contribuir para avanços significativos na geofísica e nas geociências.

Referências

- Almeida, F. F. M. d.; Hasui, Y.; de Brito Neves, B. e Fuck, R. A. (1981) Brazilian structural provinces: an introduction, *Earth-Science Reviews*, **17**(1-2):1–29.
- Alves, R. V. S. (2009) Propriedades térmicas do embasamento adjacente à Bacia de Sergipe, Trabalho de Graduação em Geofísica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.
- Araújo, P. A. (2018) Inversão 2d de dados magnéticos e modelagem gravimétrica para caracterização do embasamento adjacente à Bacia Sergipe-Alagoas, Rel. Téc., Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.
- Blakely, R. J. (1996) *Potential theory in gravity and magnetic applications*, Cambridge University Press.
- Caxito, F. e Dias, T. G. (2018) Ferro, <http://recursomineralmg.codemge.com.br/substancias-minerais/ferro/>, Accessed: 2022-01-30.
- Center, N. M. I. (2022) Copper statistics and information.

- Clark, D. A. e Schmidt, P. W. (1994) Magnetic properties and magnetic signatures of bifs of the hamersley basin and yilgarn block, western australia, *Exploration Geophysics*, **25**(3):169–169.
- CPRM, S. G. d. B. (2011) Projeto aerogeofísico paulo afonso-teotônio vilela, Rel. Téc., CPRM.
- CVRD, C. V. D. R. D. S. (2000) Exploração de cobre no município de craíbas – al. relatório de impacto sobre o meio ambiente – rima. maceio: Geocon – serviços especializados ltda., Rel. Téc., CVRD.
- CVRD, C. V. D. R. D. S. (2001) Relatório preliminar de pesquisa. Alagoas: DNPM., Rel. Téc., CVRD.
- Dentith, M. e Mudge, S. T. (2014) *Geophysics for the mineral exploration geoscientist*, Cambridge University Press.
- Mendes, V. A. e Brito, M. d. F. L. (2017) Geologia e recursos minerais da Folha Arapiraca sc. 24-xd: estado de Alagoas escala 1: 250.000., Rel. Téc., CPRM.
- Mendes, V. A.; Brito, M. d. F. L. e Paiva, I. P. (2009) Programa Geologia do Brasil-PGB. folha SC.24-X-D. Estados de Alagoas, Pernambuco e Sergipe. Mapa Geológico. Recife:CPRM, 2009, 1 mapa, color, 112,37 cmx 69,42 cm.Escala - 1 :250.000., Rel. Téc., CPRM.
- Moss, R.; Tzimas, E.; Willis, P.; Arendorf, J.; Thompson, P.; Chapman, A.; Morley, N.; Sims, E.; Bryson, R. e Peason, J. (2013) Critical metals in the path towards the decarbonisation of the eu energy sector, Assessing rare metals as supply-chain bottlenecks in low-carbon energy technologies. JRC Report EUR, **25994**.
- Neves, S. p.; Rangel Da Silva, J. M. e BRUGUIER, O. (2016) The transition zone between the Pernambuco-Alagoas Domain and the Sergipano Belt (Borborema Province, NE Brazil): Geochronological constraints on the ages of deposition, tectonic setting and metamorphism of metasedimentary rocks, *Journal of South American Earth Sciences*, **72**:266–278.
- Nitzschia, R. R. D.; Oliveira, R. G. d.; Leite, P. R. e Rodrigues, M. d. A. C. (2023) Interpretação e modelagem de dados geofísicos integradas com dados geoquímicos dos domínios jirau do ponciano e rio coruripe da província borborema, ne brasil, Informe de geofísica aplicada 8, CPRM.
- Oldenburg, D. e Pratt, D. (2007) Geophysical inversion for mineral exploration: A decade of progress in theory and practice, In: Proceedings of exploration, vol. 7, pp. 61–95.

- Oliveira, E. P.; Windley, B. F. e Araújo, M. N. C. (2010) The neoproterozoic Sergipano orogenic belt, ne brazil: a complete plate tectonic cycle in western Gondwana, *Precambrian Research*, **181**(1-4):64–84.
- Rodrigues, M. d. A. C. e Oliveira, R. G. (2019) Atlas aerogeofísico do estado de Alagoas., Rel. Téc., SGB-CPRM-Serviço Geológico do Brasil.
- Roy, R.; Benedicto, A.; Grare, A.; Béhaegel, M.; Richard, Y. e Harrison, G. (2017) 3d gravity modelling applied to the exploration of uranium unconformity-related basement hosted deposits: the contact prospect case study, kiggavik, ne thelon region (nunavut, canada).
- Saga, C. (2021) Minério de cobre: Contexto econômico e sua importância.
- Santos, L. C. M. d. L. e Caxito, F. (2021) Accretionary models for the neoproterozoic evolution of the borborema province: advances and open questions, *Brazilian Journal of Geology*, **51**.
- SGB, S. G. d. B. (2017) Serviço geológico do brasil - portal geosgb, Accessed on June, 2022.
- Silva, L. J. H. D.-R. (1999) Basin infilling in the southern-central part of the sergipano belt (ne brazil) and implications for the evolution of pan-african/brasiliano cratons and neoproterozoic sedimentary cover, *Journal of South American Earth Sciences*, **12**(5):453–470.
- U.S.G.S., U. S. G. S. (2022) Mineral commodity summaries - iron ore.
- USP, U. d. S. P. (2021) Seção de materiais didáticos.
- Van Schmus, W. R.; Kozuch, M. e Brito Neves, B. B. d. (2011) Precambrian history of the zona transversal of the Borborema Province, ne Brazil: insights from sm–nd and u–pb geochronology, *Journal of South American Earth Sciences*, **31**(2-3):227–252.

2

Método de Espectrometria-Gama

Artigo publicado na *Brazilian Journal of Geophysics*:

Gamma spectrometry data suggest opportunities for mineral research in Alagoas, Brazil.

Abstract

This article presents the processing and quantitative interpretation outcomes of aerogamma-spectrometric data within six regions renowned for copper and iron occurrences in Alagoas State, Brazil, situated within the geological framework of the Sergipian Orogen. The study primarily focuses on radioelement concentration data and its derived relationships, encompassing the creation of a ternary map and the utilization of targeting techniques to identify radiometric anomalies, such as potassium and anomalous uranium, along with the Factor F. These relationships enable the identification of behaviors associated with distinct geological models of mineralization, establishing connections between geophysical anomalies and well-known mineral occurrences. By integrating concentration information of radioelements K, Th, and U, in conjunction with geological data and existing mineralizations, the radiometric distributions of the region are thoroughly scrutinized. Radiometric ratios and ternary maps serve to facilitate the identification of enrichment centers for target minerals and the observation of desirable radiometric signatures. Hydrothermal enrichment enhancement techniques unveil a more pronounced correlation between copper targets and potassium (K) anomalies, whereas iron targets exhibit a relationship with uranium (U) en-

richment. A ternary map, amalgamating anomalous potassium, K/Th ratio, and Factor F, aids in the identification of hydrothermal alterations. Magnetic maps emphasize anomalies near significant indications, accentuating structurally advantageous contours for hydrothermal enrichment and contacts with magnetic minerals associated with iron deposits. Future exploration endeavors should accord priority to these selected areas to unveil their mineral potential. Furthermore, the findings from this study offer valuable insights into the radiometric characteristics and their associations with ore deposits, thereby guiding investigations in other mineral-rich regions, always considering local geology as a vital initial datum.

Keywords: Gamma-ray Spectrometry Data; Mining Geophysics; Iron and Copper Ore Mineralization

Introduction

Copper and iron mining is an important activity in the mining industry. The concentration of radioelements is a subject that is also related to mining, as many minerals contain small amounts of radioactive elements, such as potassium, uranium, and thorium. Concerning Uranium and thorium, these elements are found in many minerals, including some iron ores. Specific laws and regulations regulate uranium and thorium mining due to risks associated with radiation exposure. When these minerals are mined and processed, radio elements can become concentrated in mining waste and cause health and environmental concerns.

The current work was developed based on the processing and interpreting of aero-gamma-spectrometric data to characterize copper and iron occurrence zones and the correlation with new targets favorable for mineral exploration in state of Alagoas, northeastern Brazil. Inserted in the geotectonic context of the Borborema Province, this section is distinguished by shear features, which, according to Mendes and Brito (2017), represent passages between different geotectonic domains that comprise the studied region. This set includes the Pernambuco-Alagoas domain to the north, and the Canindé, Macururé, Marancó-Poço-Redondo, and Rio Coruripe domains, which compose the Sergipano Orogen to the south (Fig. 2.1). The region also features geological complexes with known iron formations, such as the Cabrobró Complex.

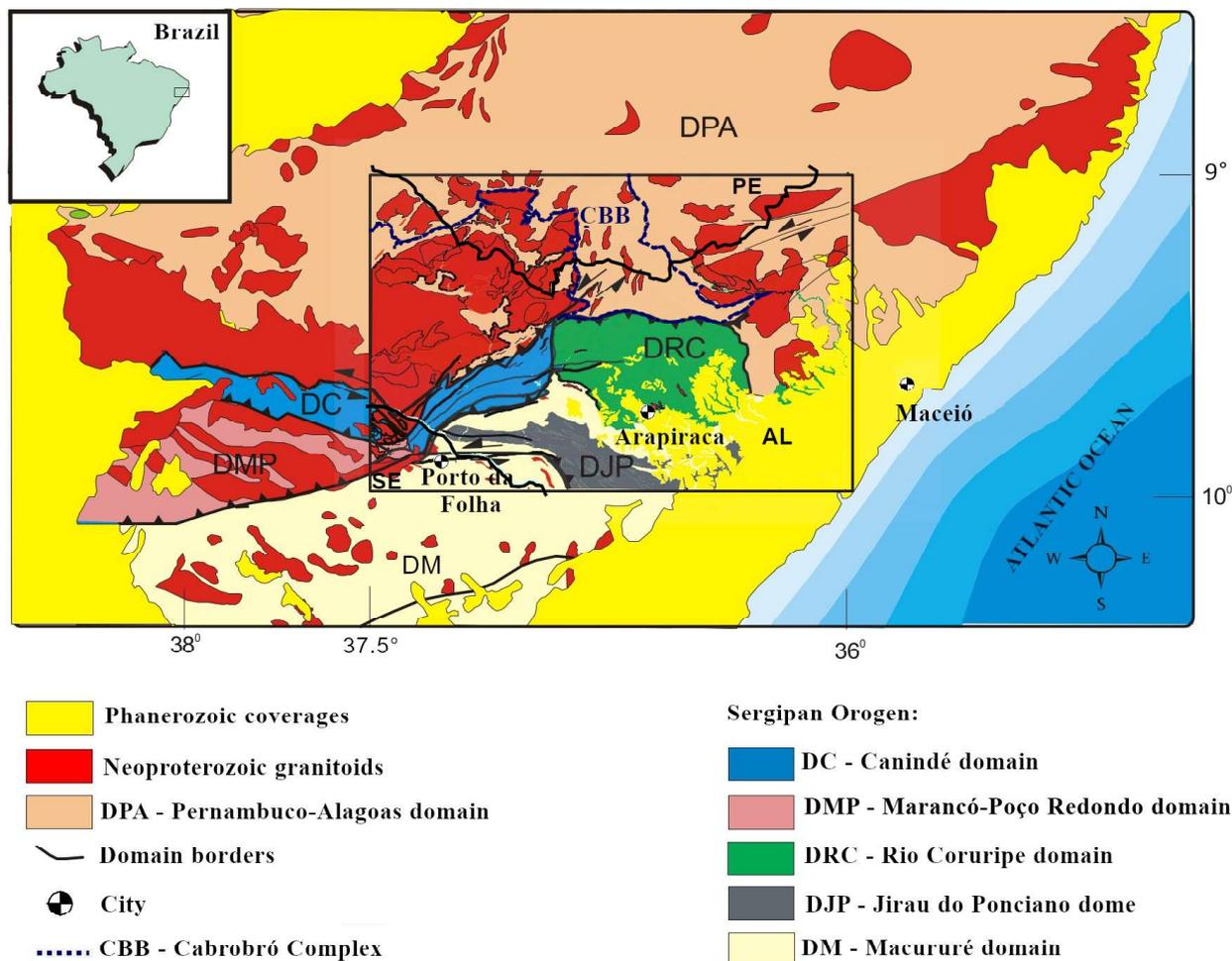


Figure 2.1: Geotectonic clipping of the Transition Zone between the Pernambuco-Alagoas (DPA) and the domains pertaining to the Sergipano Orogen. Modified from Mendes et al. (2009) and Santos et al. (2021)

The gamma-spectrometric method refers to measurements of naturally occurring radioactive elements such as uranium, thorium, and potassium in rocks and soil. These elements emit radiation that specialized instruments can detect. Radiometric data is used to understand rocks' composition and identify areas of interest for mineral exploration. On the other hand, magnetic data is collected by measuring the magnetic field of the Earth's surface. This type of data can help identify the presence and distribution of magnetic minerals, such as magnetite, which can be used to infer geological structures and the history of tectonic activity.

As observed in work by Sato et al. (2013), an index (TC-ASA) based on total radio element count data and analytical signal amplitude of magnetic data is developed, intending to reduce large areas with a probability of iron occurrence too small targets with higher

favorability. The success of the methodology, applied to accurate data, occurs because of the geological characteristics of the analyzed iron formations. The increased presence of magnetite associated with metabasic rocks with a low concentration of radioactive elements allows the identification of environments with a higher potential for its occurrence.

It is worth highlighting here some studies that showed the feasibility of integrating gamma-spectrometric methods with other alternative methodologies in mineral exploration; one of these studies was developed in the mineral province of Carajás, developed by Ferreira et al. (2016), in which the efficiency of using unsupervised classification in radiometric data to differentiate ferritic formations from adjacent mafic rocks are noted. Still dealing with this same region, the paper published by Hühn and Silva (2018) uses gamma-spectrometry and its derived relationships as essential components for constructing the integrated mineral favorability map of the area.

The study carried out by Ba et al. (2020) promoted the integration of radiometric and magnetometric data in the mapping of dikes and structures favorable to the emergence of hydrothermal areas, thus verifying potentialities for the occurrence of minerals such as copper, with a greater focus on the identification of sulfide zones. Works like this, employing gamma-spectrometry in the identification of hydrothermal alterations, are common in the search for gold, as can be seen in the article published by El-Sadek (2022) in which the author applies methodologies such as the F-Factor and the anomalous K, also applied in the current work.

Given the variability of characteristics and results that can be extracted from aero-gamma-spectrometric data, this paper proposes to explore such versatility through quantitative and qualitative analyses that provide information associated with iron and copper occurrences in the northeastern part of Brazil, employing only gamma spectrometry as the primary method. The chosen study area has intense geological research and aero-geophysical data availability.

Thus, to characterize the areas of interest of the radiometric potential, analyses based on the statistical evaluation of the potassium, uranium, and thorium contents, ratios between these elements, and other methodologies associated with the identification of radiometric anomalies and their possible correlation with the mineral complex under study was used. According to the geophysical signatures to be determined, it becomes possible to prioritize mapping other areas inserted in this same geological context with a probability of presenting correlated mineralizations, stimulating new investigations and discoveries in the whole region. This work aimed to develop the geophysical characterization of the area using data from gamma-spectrometry, magnetometric campaigns, and auxiliary materials made available to

accomplish this project.

Data and Methods

The gamma-spectrometric data used in this research come from the Paulo Afonso-Teotônio Vilela aero-geophysics project (code 1104), carried out from September 16, 2010, to June 5, 2011, totaling 560 flight hours performed by *Microsurvey Aerogeophysics and Scientific Consulting Ltda*, in the service of Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais do Brasil. The survey covered an area of 40,819 Km^2 , encompassing sections of the states of Alagoas, Pernambuco, Bahia, and Sergipe (CPRM, 2011).

The main gamma-spectrometric information consists of the potassium, thorium and uranium concentrations obtained in the referred survey (CPRM, 2011). Acquisition parameters employed for the project can be found in the table 2.1.

Table 2.1: Acquisition parameters extracted from CPRM (2011)

Acquisition Parameters	Specifications
Nominal height	100 m
Flight lines direction	N-S
Flight lines spacing	500 m
Flight lines amount	639
Control lines direction	E-W
Control lines spacing	10,000 m
Control lines amount	14
Gamma-spectrometer model	Pico Envirotec model GRS410/512-channel
Measurement interval	1 second
Airplane average speed	265 km/h

For this research, the information was grouped in a database and made available in corresponding formats, extracting the channels relative to the geographic positions and the contents of the radioelements K , eTh , and eU . The area defined for the research was reduced concerning the original acquisition coverage, aiming for more specific focuses by removing part of the Pernambuco-Alagoas domain.

Magnetic data directly relate to mineralizations and host rock's magnetic susceptibility variation. The interpretation of magnetic signatures helped characterize crustal structures and contact zones, evidencing possible exploratory targets.

Gamma-Ray spectrometry

The gamma-spectrometric method is based on the local count of the potassium, thorium, and uranium radioelements content from the energy measurement emitted due to their respective natural disintegrations (Minty, 1998). Despite its low depth range, it is the primary geophysical method used in geological mapping, providing lithological information as good as on-site surveys.

The total count is obtained by measuring gamma radiation within the energy window of 0.41-2.81 MeV. In this range, each radioelement is associated with a spectrometer channel with a peak energy signature of the isotope to be detected. In the case of uranium and thorium contents, these are, in practice, estimated from the radiation emitted by their daughter elements, bismuth (^{214}Bi) and titanium (^{208}Ti) respectively. Due to this measurement procedure, concentration values are given in thorium and uranium equivalents (Grasty, 1991).

The differentiated features among a K, Th, and U radioelements in rocks are attributed to their mineralogical composition, caused by internal factors, such as the geological evolution of the unit, or external ones, such as erosive processes that modify the recorded rates of each concentration. For example, the increased presence of silica in igneous rocks is usually related to elevations in U and Th contents. Thus, felsic rocks commonly have higher concentrations of these radioelements if compared to mafic or ultrabasic igneous rocks (Dickson, 1997; Ribeiro et.al, 2014).

In mining, applying radiometric methods extends beyond visualizing a lithological scheme. It allows interpreters to differentiate granitic bodies, secondary processes of surface coverage transformation, and possible mineralizations by hydrothermal fluids. These interpretations are facilitated by generating ratios and factors that evidence the anomalous values of these concentrations (Ribeiro et al., 2014).

Data Processing

The work was built following the flow presented in Figure 2.2, starting with processing the original gamma-spectrometric database. Then, the interpolation of the channels related to the potassium, uranium, and thorium contents was performed using the method of minimum curvature with a square and regular mesh with grid dimensions of 125 m x 125 m, equivalent to $\frac{1}{4}$ of the spacing between the flight lines.

Subsequently, the radiometric data were mean normalized to facilitate comparisons be-

tween sets of elements, eliminating the effects of influences and facilitating the visualization of anomalies. This way, ranges were established to classify the data into high, medium, and low concentration rates. For the range with high contents, the whole portion with contents higher than the average value of the set increased by one standard deviation is included. To be classified as an area with low concentration, the levels must be below the result of one standard deviation subtracted from the average value. The other regions that do not meet the above criteria were categorized as having medium concentrations.

The radiometric ratios K/eTh and eU/eTh were spatially constructed from the initial maps generated. These tools are usually employed to highlight differences in lithological compositions, especially in granitic (Ribeiro et al., 2014) bodies. Then, these products were also submitted to mean normalization procedures, aiming for more efficient visualization and behavioral mapping of these parameters in the study area.

The ternary map of the region was produced by applying histogram equalization using the RGB (Red, Green, and Blue) pattern. This composition associates red, green, and blue with the radiometric concentrations of potassium, thorium, and uranium. The interpretation of this map is widely used for geological mapping, highlighting contrasts between areas with different concentrations of the three elements. Furthermore, based on the concentration ranges of radioelements, a map of radiometric domains was made.

Additionally, the methodologies F-factor and anomalous potassium-uranium were applied. These are widely used in mineral research, especially in areas with hydrothermal fluid influence, a condition in some prominent regional mineral targets.

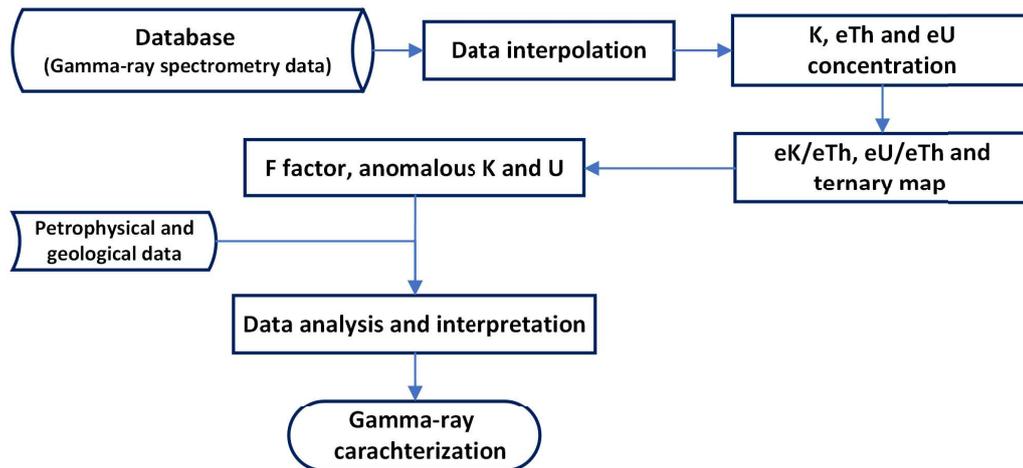


Figure 2.2: Flowchart applied to work.

To generate the **Factor F** (F) map, the equation 2.1 is employed. Originally proposed

by Efimov (1978) where K represents the potassium concentration (%), eU , the equivalent uranium concentration (ppm) and, eTh , the equivalent thorium concentration (ppm). This factor was used to analyze the enrichment of potassium and uranium relative to thorium, another feature commonly observed in hydrothermal fluids due to the difference in mobility between radioelements (Ribeiro et al., 2014) .

$$F = K \times \frac{eU}{eTh}. \quad (2.1)$$

The second step applied, known as **Anomalous Potassium** (K_d), was initially used in Brazil by Pires (1995). The methodology is based on suppressing primary contributions of gamma radiation associated with factors such as lithology, soils, and environmental conditions. This effect is obtained through the equation 2.2, from which values of potassium (K_i) are generated as a function of Thorium (eTh) contents, the least mobile radioelement among the three, thus, hypothetically, preserving the primary contributions in the observed values of K .

$$K_i = \frac{K_{medio}}{eTh_{medio}} \times eTh, \quad (2.2)$$

The sought anomalous values (K_d), as shown in the equation 2.3, result from the difference between the predicted values of potassium (K_i) and the measured ones (K), whose anomalies represent the areas where secondary accumulations of this element can occur, a common factor in hydrothermally altered environments.

$$K_d = \frac{K - K_i}{K_i}. \quad (2.3)$$

Similar to the previously described methodology, the **Anomalous Uranium** (U_d) assumes the removal of primary gamma-spectrometric influences on the uranium concentration data. Thus, from obtaining the U_i (Eq. 2.4),

$$U_i = \frac{U_{medio}}{eTh_{medio}} \times eTh, \quad (2.4)$$

and deducing it from the observed values of eU , it is possible to obtain the anomalous contents (U_d), which theoretically represent uranium concentrations correlated to secondary enrichments (Eq. 2.5).

$$U_d = \frac{eU - U_i}{U_i}. \quad (2.5)$$

Results and Discussion

The database used in this study played a pivotal role in providing essential statistical data for an assessment of the region under analysis, detailed in the table 2.2. In this article, a comprehensive analysis of these statistics was first carried out, shedding light on the key trends and patterns that emerged, providing valuable information on the dynamics and characteristics of the region.

Table 2.2: Statistical of gamma-ray measures database. Reference values extracted from Ribeiro et al. (2014) and Sampaio and Silva (2017)

Radioelement	Max	Min	Mean	Median	Std. Dev.	Reference value
K (%)	7.11	0.00	1.47	1.29	1.19	2.00 - 2.50
eTh (ppm)	50.34	0.00	14.98	12.79	8.26	5.80 - 12.00
eU (ppm)	14.32	0.00	1.67	1.50	1.10	1.30 - 3.00

The maximum values found in the gamma-spectrometric database presuppose the presence of positive anomalies in the region since they are above the reference ranges for such concentrations in the Earth's crust. However, a simple observation of the average and median values in the table shows that most of the area is below or within the base values for potassium and uranium contents, a trend not verified for thorium. This behavior of Th can be associated with the significant presence of gneissic and granitoid rocks in the geotectonic domains or with the relief characteristics, which strongly influence the concentrations of this radioelement.

Furthermore, concerning the values presented in the table 2.2, there is a proximity between the means and medians of the radioelements. This fact suggests that the gamma-spectrometric distributions are similar to normal histogram distributions. However, they have asymmetric silhouettes to the right since the median values are lower than the mean ones. Based on the standard deviations found, it can be stated that, except for thorium, there are no large dispersions of gamma-spectrometric contents in the area.

In a more accurate analysis, the geochemical database was divided into specific groups related to the main tectonic domains of interest and histograms were created to study the distribution of data among the main elements eU, eTh and K. Figure 2.3 presents the histograms of the databases of each of the radioelements of the main domains.

In Figure 2.3, for each geotectonic section, their own histograms related to thorium and uranium are visually similar, with the exception of the Macururé domain. Such a

characteristic is not noticed with potassium. Furthermore, a higher density of both elements is noticed in DRC and DPA plots, mainly impacted by the large number of measurements in these areas.

Most of these histograms are asymmetric, with the mean outside the range's middle. When the skewness is towards the right, the median is smaller than the mean, while the asymmetry to the left means a median more significant than the mean, as in the thorium histograms. Through the scatter plots, it is possible to see a predominantly linear trend relationship between the distribution of thorium and uranium. However, for the distributions of DPA and DRC, the largest geotectonic domains in extension, the aforementioned relationship is not well defined.

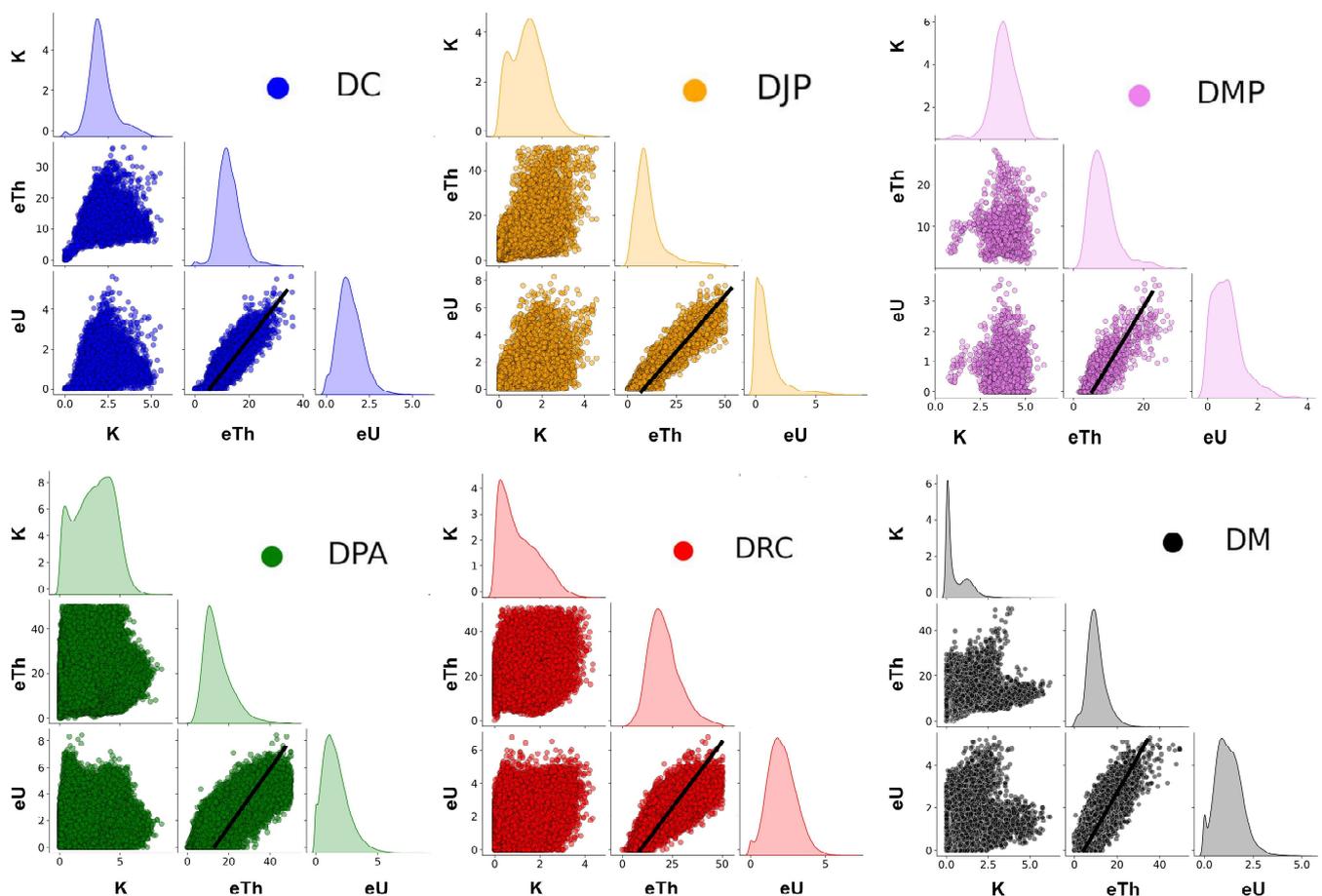


Figure 2.3: Histograms and scatter plots per geotectonic domain of the database. DC - Canindé Domain, DJP - Jirau do Ponciano Dome, DMP - Marancó Poço Redondo Domains, DPA - Pernambuco Alagoas Domin, DRC - Rio Coruripe Domain, DM - Macururé Domain.

Figure 2.4 shows a view of the potassium concentration map of the study area. In addition, Figure 2.5 shows the other two concentrations, related to the radio elements Th (A)

and U (B), with the thorium map overlaid on the terrain relief to optimize interpretation. Examined by the Geological Service of Brazil, the region reports approximately 160 mineral occurrences, 181 mineralization highlights, 133 geochemically anomalous stations, and evidence of hydrothermal alterations (Mendes and Brito, 2017). From extensive on-site geologic mapping work, 11 mineral complexes have been restricted in the region, including six essential indications of a ferritic and/or cupriferous nature, explored throughout this paper. These selections, seen in Figure 2.4, fall within the Rio Coruripe (RC1, RC2, and RC3), Canindé (CN1), and Macururé (MC1) domains, and the dome structure of the Ponciano Jirau (JP1).

The mineral highlights in the center Figure 2.4 are associated with banded iron (RC1), copper, gold and massive iron (RC2), and massive magmatic iron (RC3) deposits of the Arapiraca Complex, in addition to iron concentrations in the Araticum Complex (CN1). In the lower section of the referred area, there are indications of copper and fluorite mineralizations within quartz veins in the Macururé domain (MC1) and the presence of iron within the Nicolau-Campo Grande Complex (JP1) (Lima et al, 2017).

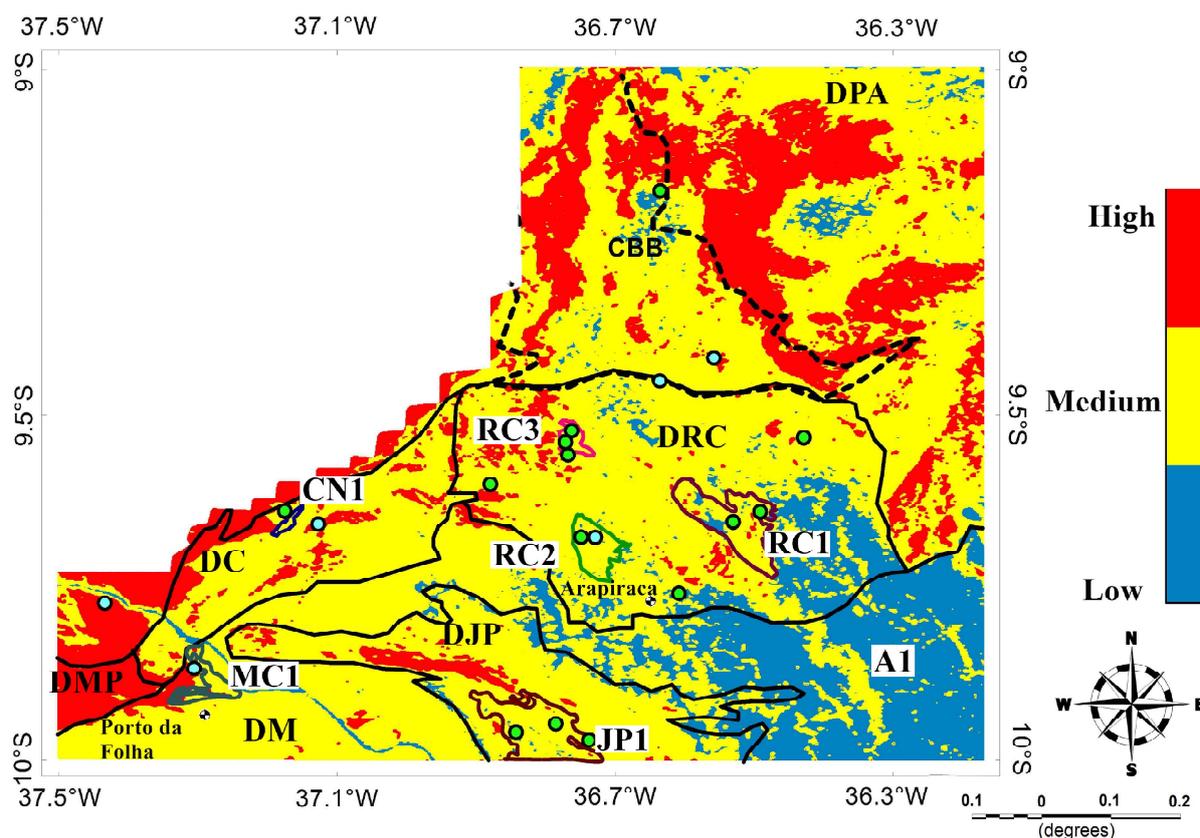
For the observation of radiometric concentration maps, the values exposed in the table 2.3 were used to establish the ranges of high, medium, and low classification values.

Table 2.3: Intensity of radiometric ranges used in the interpretation maps.

Radioelement	Low	Medium	High
K (%)	<0.28	0.28 - 2.66	>2.66
eTh (ppm)	<6.72	6.72 - 23.24	>23.24
eU (ppm)	<0.57	0.57 - 2.77	>2.77

Figure 2.4 shows the geographic distribution of potassium according to its concentration rates in the region, which ranges from 0 to 7.11 (%).

Observing the K map makes it possible to visualize the significant relationship between areas with recent sedimentary and hydrographic coverings with low potassium contents situated further to the southeast (A1). This behavior, present in areas with transported material, occurs due to the easy remobilization of this radioelement by erosive factors. Focusing on the portions with high K contents, the Marancó-Poço Redondo (DMP) and Pernambuco-Alagoas (DPA) domains stand out with alkaline intrusive suites, especially in the region of the Cabrobró complex (CBB) in the DPA. It is also the association between positive K anomalies and the mineral occurrence points classified by CPRM and represented on the map by blue circles for Cu occurrences and green circles for Fe occurrences, mainly located in the Rio Coruripe domain.



- | | | | |
|---|----------------------------------|---|--|
|  | JP1 - Banded iron potential area |  | CN1 - Banded iron potential area |
|  | RC1 - Banded iron potential area |  | RC2 - Copper, iron and gold potential area |
|  | RC3 - Iron potential area |  | Cu occurrences |
|  | MC1 - Copper potential area |  | Fe occurrences |
| | |  | Domain borders |

Figure 2.4: A) Potassium Concentration Map. Blue and green circles represent respectively indications of copper and iron occurrences extracted from Mendes and Brito (2017). DC - Canindé Domain, DJP - Jirau do Ponciano Dome, DMP - Marancó Poço Redondo Domains, DPA - Pernambuco Alagoas Domin, DRC - Rio Coruripe Domain, DM - Macururé Domain and CBB - Cabrobró complex.

The thorium spatial distribution map, shown in Figure 2.5 (A), displays high concentrations of this radioelement spread over the Rio Coruripe (DRC) and Pernambuco Alagoas (DPA) domains. The ppm content range is from 0.00 to 50.34 ppm. An essential feature of thorium is its lower ionic mobility among the three radioelements, tending its accumulations to regions with higher topographic elevations, noticed on the map in certain altitude points of the DRC and DPA (A2). Due to this more excellent resistance to weathering and erosion,

areas with leaked material have lower thorium content than potassium and uranium. As a highlight on the map, we also notice a high concentration of eTh along an elongated band in the Ponciano dome (A3). Such a signature might be related to TTG-type granitic rocks, common in Archean/Paleoproterozoic rock complexes, previously noted by Rodrigues and Oliveira (2019).

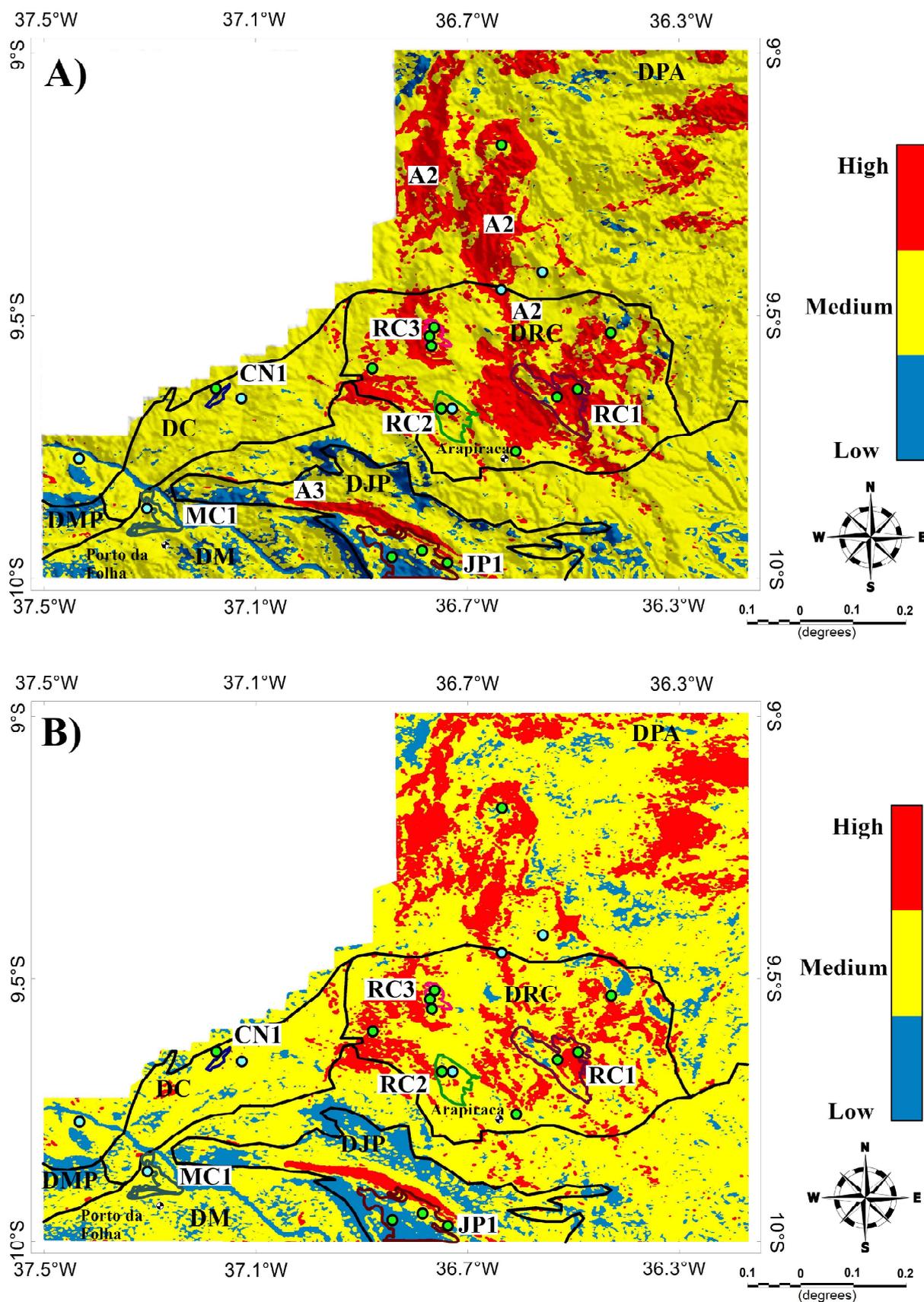


Figure 2.5: A) Thorium Concentration Map overlaid on the terrain relief. B) Uranium Concentration Map. Blue and green circles represent respectively indications of copper and iron occurrences extracted from Mendes and Brito (2017). DC - Canindé Domain, DJP - Jirau do Ponciano Dome, DMP - Marancó Poço Redondo Domains, DPA - Pernambuco Alagoas Domin, DRC - Rio Coruripe Domain, DM - Macururé Domain.

Despite its common correlation with thorium, uranium is a highly mobile element, forming soluble minerals and easily leached. This radioelement is usually related to pegmatites, syenites, carbonatites, granites, gneisses, and some shales but is seldom present in sandy sediments. The distribution of U in the map of Figure 2.5 (B) shows high concentrations in the Pernambuco-Alagoas DPA and Rio Coruripe DRC domains, as well as noted in the eTh map. Another expected movement can be visualized by looking at the more scattered patterns of high uranium concentrations similar to and associated with the hydrography of the region (Fig. 2.4 (A)). The ppm content range for Uranium is 0.00 to 14.32 ppm.

Ratios and Ternary Map

The variation in concentration among radioelements results from the local geology, especially the enrichment process (for example, by magmatic differentiation and/or hydrothermal action) and the degree of weathering suffered. Thus, images were generated representing the concentration of these elements and the ratios among them. Out of these, only a satisfactory view was obtained between the K/eTh and eU/eTh ratios, aiming at a better interpretation of the behavior of these elements in the study region.

The first mentioned ratio, shown in Figure 2.6 (A), stands out for its high values of this index allocated over the alkaline intrusive suites (A4) of the Pernambuco-Alagoas (DPA) and Marancó-Poço Redondo red(DMP) domains. Medium to high distribution patterns associated with hydrography is also seen since potassium enrichment in leaked areas is more common than thorium. In the Canindé domain (DC), high potassium values are observed beneath mineral indication points, forming linear bands oriented SW-NE. K enrichment in the MC1 deposit, associated with potassic hydrothermal alteration, and in JP1 in the Archean terrain of the Jirau do Ponciano dome (DJP), may also be pointed out.

The map of Figure 2.6 (B) is about a relationship between eU and eTh , radioelements with generally similar distributions but divergent mobility characteristics. Thus, this ratio's high values are expected in weathered areas, since uranium is more mobile than thorium. Another possibility associated with positive anomalies is the enrichment of uranium associated with potassium along the hydrothermal processes as opposed to thorium, a phenomenon between K and Th known as Ostrovsky antagonism (Ostrovsky, 1975). From that principle, some points stood out on the map and were flagged (white boundaries). These points are geologically associated with a region characterized by undifferentiated granitoids resulting from late-stage plutonism (in the DPA domain) and a banded iron occurrence in the Arapiraca complex (DRC domain).

For the k/eTh ratio the range of values varies from -0.76 to 2.22 , while for eU/eTh it ranges from -0.87 to 0.69.

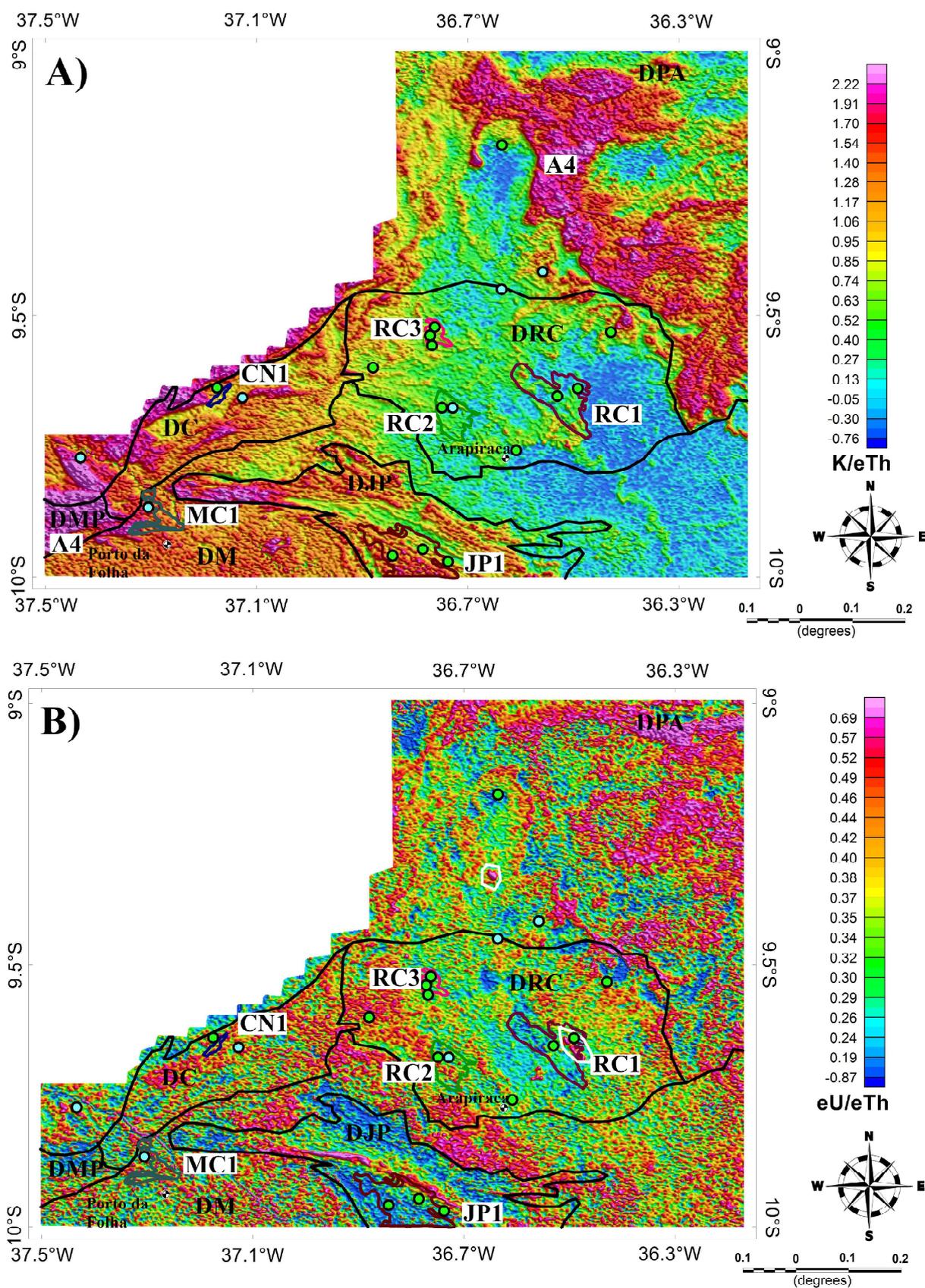


Figure 2.6: A) Potassium/Thorium Map. B) Uranium/Thorium Map. Blue and green circles represent respectively indications of copper and iron occurrences extracted from Mendes and Brito (2017). DC - Canindé Domain, DJP - Jirau do Ponciano Dome, DMP - Marancó Poço Redondo Domains, DPA - Pernambuco Alagoas Domin, DRC - Rio Coruripe Domain, DM - Macururé Domain.

In the ternary map (Figure 2.7 (A)), produced from the RGB color pattern, the colors representing the radiometric elements are associated with each of the vertices of an equilateral triangle. With varying gradations according to the three factor's content, white represents high counts of all elements. In contrast, the black color is associated with the low counts of the same ones (Ribeiro et al., 2014). In Figure 2.7 (A), a clear similarity (S1) is observed between the Rio Coruripe domain (DRC) and the central part of the Pernambuco-Alagoas domain (DPA), where the rocks of the Cabrobró Complex (CBB) are found. This terrain is more recent than the Arapiraca Complex, but both are known for hosting iron formations.

Still pointing out similarities, there is a high potassium concentration in the northeast region of the DPA in competition with the southwest of the map, in the Marancó Poço-Redondo (DMP), Canindé (DC), and Macururé (DM) domains, both regions with K-rich granites (S2). The southeast of the sheet is associated with surface coverings, sand, or leaching, with the bluish color showing uranium dominance. A quick observation can also bring us the perception of the prominence of the Jirau do Ponciano dome (DJP) in the area, with a brownish coloring in its edges, and enrichment of radioelements in its central region. The mineral occurrences of the paper, indicated by blue and green dots, are predominantly in light to bluish or reddish regions, strengthening the idea of metallic mineralization by secondary enrichments.

To enhance the analysis and better distinguish radiometric units with different compartments, a map of radiometric domains were made and arranged in Figure 2.7 (B). At first sight, practically homogeneous regions like the Canindé domain (DC), and more heterogeneous regions like the Coruripe River domain (DRC) are viewed. Most mineral occurrences are also associated with regions with colors representing the MHH, MMM and HMM categories. Based on this observation and recognizing that the same applies to the potential regions, the search for mineral targets should focus on areas with high/medium concentrations that exhibit similarities between thorium and uranium and high/medium concentrations of potassium.

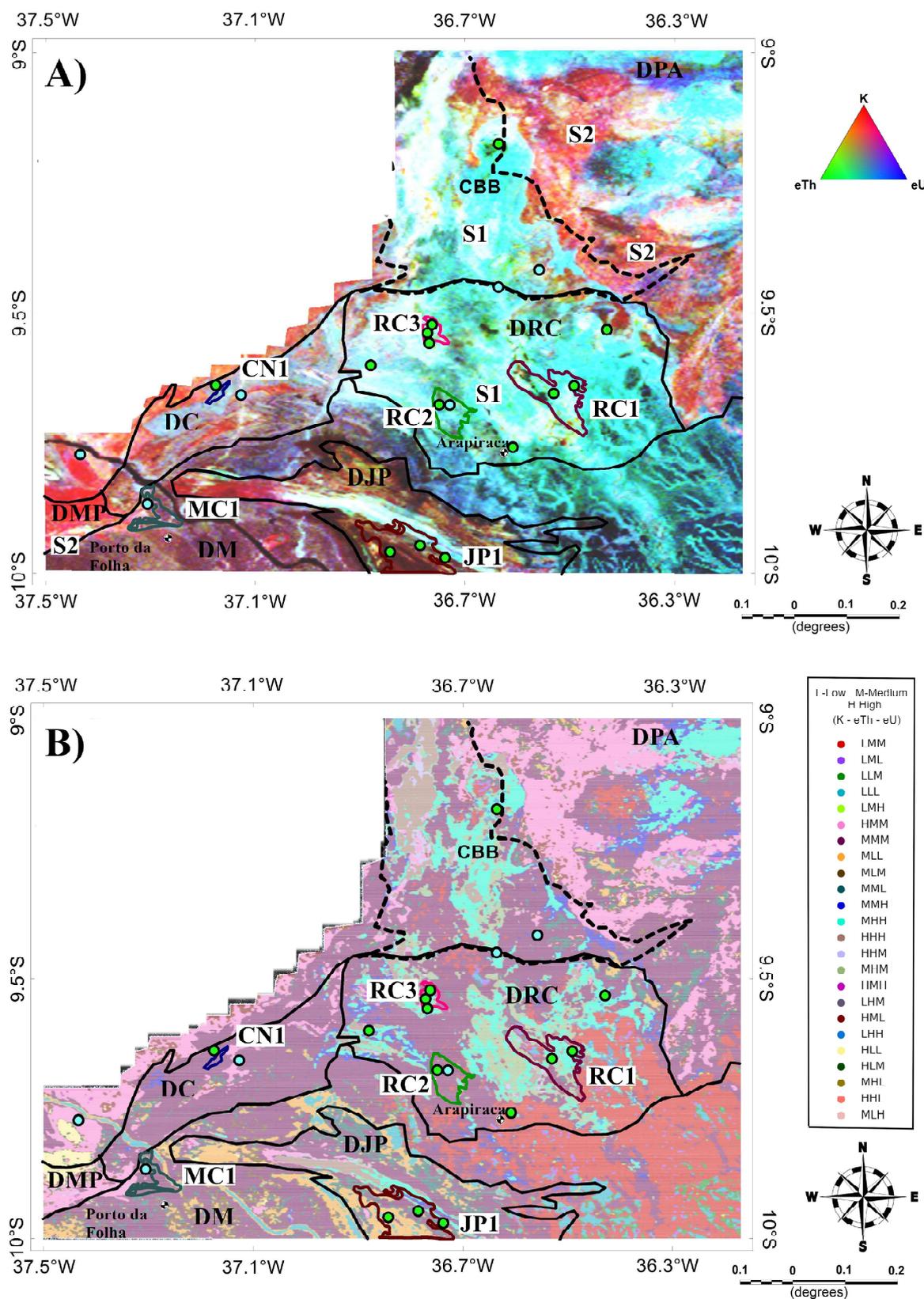


Figure 2.7: A) Ternary Map. B) Radiometric Domain Map. Blue and green circles represent respectively indications of copper and iron occurrences extracted from Mendes and Brito (2017). DC - Canindé Domain, DJP - Jirau do Ponciano Dome, DMP - Marancó Poço Redondo Domains, DPA - Pernambuco Alagoas Domin, DRC - Rio Coruripe Domain, DM - Macururé Domain and CBB - Cabrobró Complex.

F Factor, Anomalous K and U

In order to identify possible secondary hydrothermal enrichments, the maps shown in Figures 2.8 and 2.9 were elaborated.

The first map, named Factor F (Fig. 2.8 (A)), mainly highlights areas with increases in potassium associated with a decrease in thorium concentration. The values of this parameter range from -0.05 to 0.19, and this approach emphasizes the intrusive suites of the DPA and evenly the Canindé and Marancó-Poço Redondo domains. The area with the highest highlight is located near MC1, characterized by veins enriched with copper due to secondary factors. Furthermore, there is a significant correlation between mineral occurrence points with high values of this parameter. However, some exceptions near JP1 are associated with the Nicolau-Campo Grande banded iron complex's quartzitic, ultramafic, and metamafic rocks.

The second map (Fig. 2.8 (B)) results from the application of the anomalous K methodology. With values ranging from -4.92 to 4.47, the result shows again a high correlation between mineral occurrence points and peaks of this anomaly. It is important to note that JP1 was prominently featured in this analysis, suggesting that the correlation between potassium and thorium measurements may have influenced the results presented by Factor F. Once this influence is removed, it becomes clear that the presence of potassium enrichment in this potential area is a possibility.

The third applied methodology (Fig. 2.9 (A)) was based on the idea that potassium enrichment could be accompanied by secondary uranium enrichment due to its high mobility. However, although the mineral occurrences were positioned well under average to high values of Ud, the result was not satisfactorily correlated with the other two parameters, Factor F and Anomalous K. The values in this map range from -2.72 to 2.26.

Therefore, considering the two better results (Anomalous K and Factor F) taking into account the existing relationship between high K /eTh values and hydrothermally altered zones (MC1), a ternary RGB map was constructed, with the colors associated red, green, and blue, respectively, with Kd, Factor F, and K/eTh ratio. This map is presented in Figure 2.9 (B).

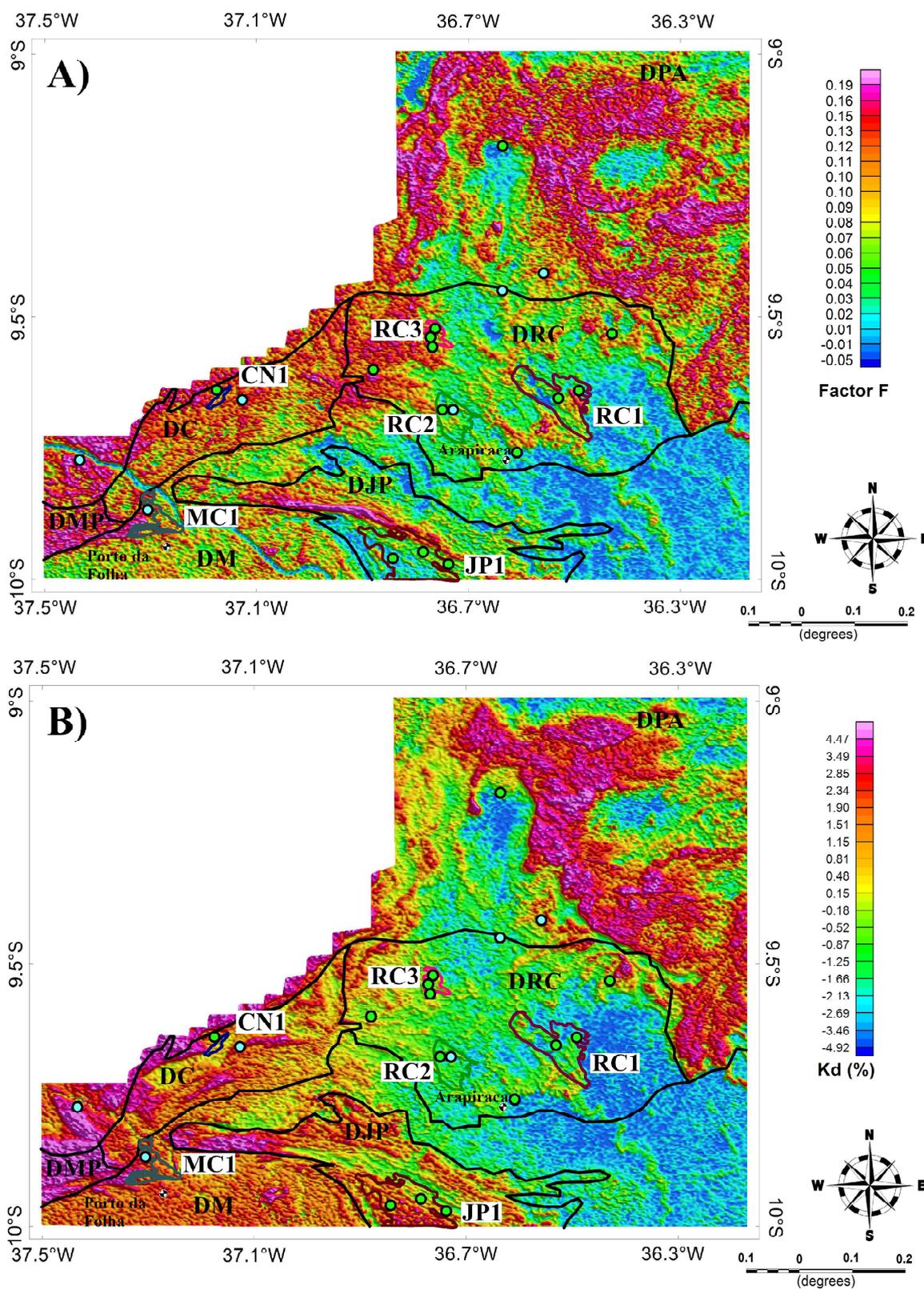


Figure 2.8: A)F Factor Map. B) Anomalous K Map. Blue and green circles represent respectively indications of copper and iron occurrences extracted from Mendes and Brito (2017). DC - Canindé Domain, DJP - Jirau do Ponciano Dome, DMP - Marancó Poço Redondo Domains, DPA - Pernambuco Alagoas Domin, DRC - Rio Coruripe Domain, DM - Macururé Domain.

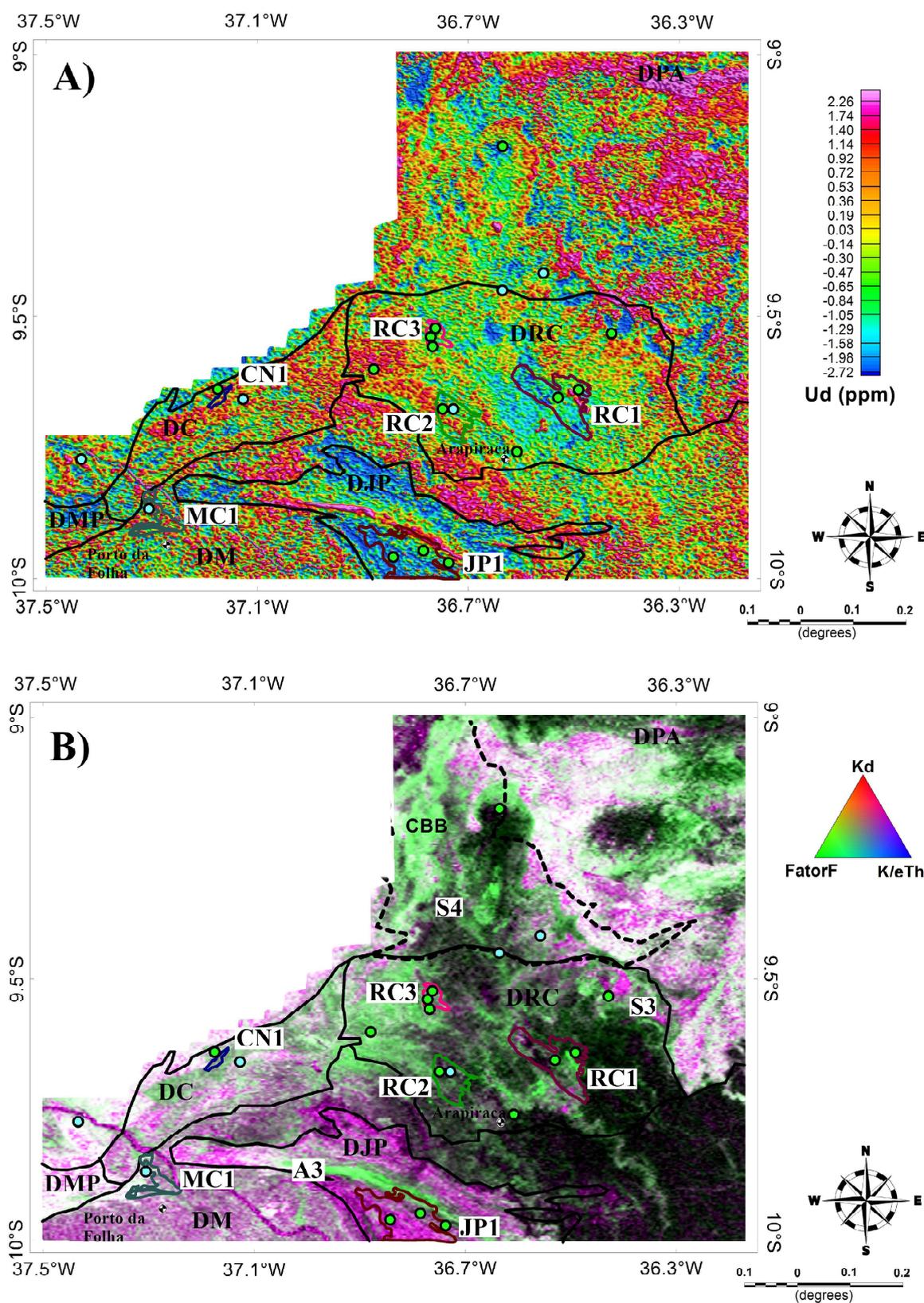


Figure 2.9: A) Anomalous U Map. B) Ternary Methodology. Blue and green circles represent respectively indications of copper and iron occurrences extracted from Mendes and Brito (2017). DC - Canindé Domain, DJP - Jirau do Ponciano Dome, DMP - Marancó Poço Redondo Domains, DPA - Pernambuco Alagoas Domin, DRC - Rio Coruripe Domain, DM - Macururé Domain and CBB - Cabrobró Complex.

When analyzing the new version of the ternary map (Fig. 2.9 (B)), it is observed that the majority of regions are filled with dark shades, indicating a lack of significant evidence for the components of the map. In addition to this pattern, three main trends can be identified in the study area: regions with high concentrations of the factor F (represented in shades of green), regions with high presence of Kd combined with the K/eTh ratio (shades of purple), and regions with a significant presence of all relationships (shades of white).

The Rio Coruripe domain (DRC) is notably associated with higher concentrations of the Factor F, as evidenced by the predominance of green shades in its area, encompassing the potential regions RC1, RC2, and RC3. However, there are exceptions with predominantly purple areas, especially in the region near the contact with Pernambuco-Alagoas at its northeastern border (S3). This trend in the transition zone between the domains extends throughout the rest of the terrain, up to the limits where the rocks of the Cabrobró Complex are found in the central portion of this area (S4). This visual correlation strengthens the hypotheses of common mineral associations between the regions, reinforcing the importance of these coincident signatures.

Along the regions near MC1, there is a strong relationship with white and purple shades, suggesting a high possibility of hydrothermal alteration. On the other hand, the Jirau do Ponciano dome exhibits distinct regions with the three main observed trends, highlighting the Nicolau Campo Grande complex in shades of purple and the anomalous region cutting across its structure, displaying shades of green (A3). Furthermore, the map delineates the boundaries of DJP, as this structure is an extrusive body in the region, distinct from the Macururé domain in which it is embedded. The contacts of this structure with other lithological units, outlined by strong shades of purple on the map, may provide spaces for the infiltration of hydrothermal fluids.

While primarily employed for detecting hydrothermal alterations, the association of copper with purple regions and iron with green regions can be established. As such, applying this correlation may offer a broader range of functionalities than initially anticipated.

Targets Selection

Upon completing and interpreting all previously generated maps, an exploration endeavor was initiated to uncover new prospects for iron and copper in light of the radiometric data. The methodological process entailed the extraction of values about the variables discussed throughout the article, including anomalous K (Kd) and K/eTh ratio, at locations corresponding to potential iron and copper mineral occurrences. Consequently, the data were

segregated into two distinct databases, one dedicated to investigating iron-related patterns and the other to examining copper-related patterns.

An analysis of correlation coefficients and scatter plots among the investigated variables revealed that areas exhibiting copper mineralization display a significant spatial linear relationship among pairs of Factor F, anomalous potassium, and K/Th ratio data. Conversely, in the case of iron, this phenomenon was more pronounced between uranium concentration, anomalous uranium, and U/Th ratio. The specific values corresponding to these relationships for iron and copper can be observed in Figures 2.10 (A) and 2.10 (B), respectively.

Among the selected correlations for iron, the most notable is the association between U/Th ratio and Ud (0.84). Conversely, in the copper mapping, the focal point lies on Kd and K/Th ratio (0.99). These findings indicate that uranium enrichment plays a significant role in regions with iron occurrences, while in copper-rich regions, potassium assumes greater importance.

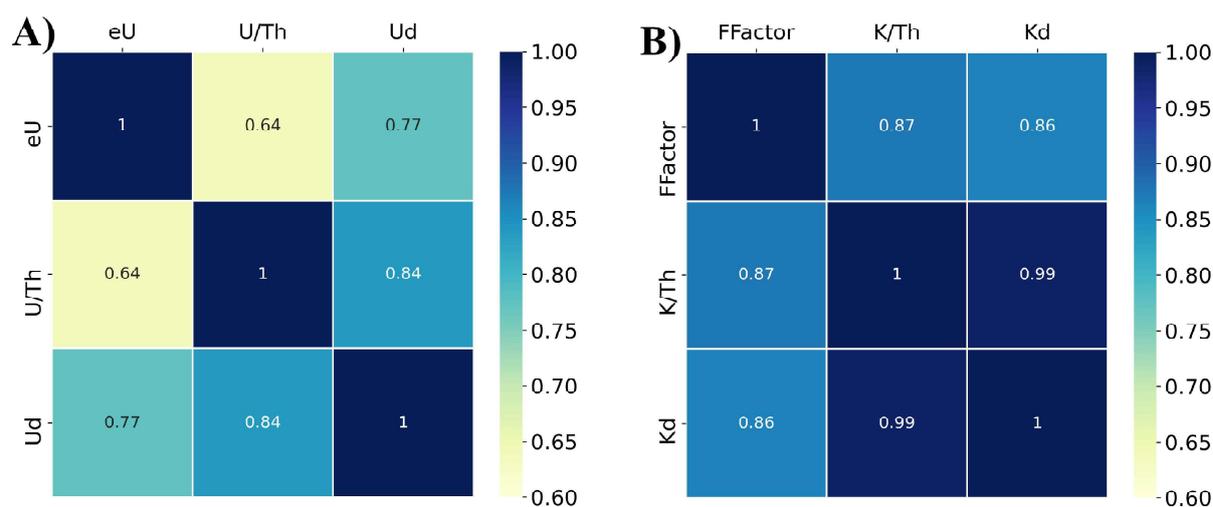


Figure 2.10: A) Prominent correlation indices were observed among the areas with iron occurrences. B) Prominent correlation indices observed among the areas with copper occurrences

The selection of areas was conducted through statistical means, utilizing specific relationship values for each type of ore, as depicted in Figure 2.10. Employing a filtering criterion, areas were chosen when their concentrations surpassed the threshold defined by the mean values of regions with copper and iron mineral occurrences, augmented by 2 standard deviations. This meticulous approach ensured a more precise identification of areas of interest.

Magnetic Results and Potential Area Evaluation

Combining the results of magnetic surveys can create detailed maps of the subsurface geology, which can help identify areas where mineral deposits may be present. These techniques were instrumental in mineral exploration because they can detect mineral deposits that may be hidden beneath layers of sediment or other types of rock.

However, it's important to note that magnetic surveys alone cannot determine mineral deposits' exact location or quality. They are typically used with gamma-spectrometry and geological sampling to provide a more comprehensive picture of the subsurface geology and the potential for mineral resources.

Integrating these techniques also helps to reduce exploration risks and costs by enabling more focused exploration efforts. For instance, if a magnetic anomaly is detected in an area of high gamma radiation, and geological sampling indicates the presence of mineralization, further exploration efforts can be targeted to determine the size, quality, and potential economic viability of the deposit.

In short, combining the results of magnetic surveys with gamma-spectrometry and geological sampling can provide a more comprehensive and accurate understanding of the subsurface geology and potential mineral resources and help focus exploration efforts on areas with the highest potential for success.

Since magnetic data provides results of bipolarized anomalies, one of the best ways to define and map relevant magnetic contours, contacts, and bodies is through the Amplitude of Analytic Signal (ASA) linear transformation applied to the original data. Such derivation can be observed in the map depicted in Figure 2.11, ranging from 0.011 to 0.629 nT/m. High amplitude sections are highlighted in pink, while low magnetic values are represented in green to enhance visualization contrast.

Upon observing the studied region, we note a highly rugged magnetic relief, particularly in the Pernambuco-Alagoas domains (DPA), characterized by various SW-NE magnetic lineaments in the outer portions of the Cabrobró Complex (CBB), and in the Rio Coruripe Domain (DRC) with NW-SE oriented structures. Another noteworthy point is that, in addition to similar radiometric signatures, the CBB and DRC exhibit comparable magnetic anomaly distributions. Moving on to the potential areas, we observe high ASA values outlining RC1, RC2, RC3, and MC1, suggesting the delineation of ore body contacts. As for CN1, this section is intersected perpendicularly by a magnetic structure, and MC1 does not display significant magnetic prominence, except for the elongated structure to the southeast (A5), as an extension of the body further southwest at the boundary between DM and DMP.

Overlaying the target indications from the aero-gamma-spectrometric data survey onto the Amplitude of Analytic Signal (ASA) map (Fig. 2.11), we notice the coincidence between high magnetic anomalies and indications primarily related to Iron (green circles).

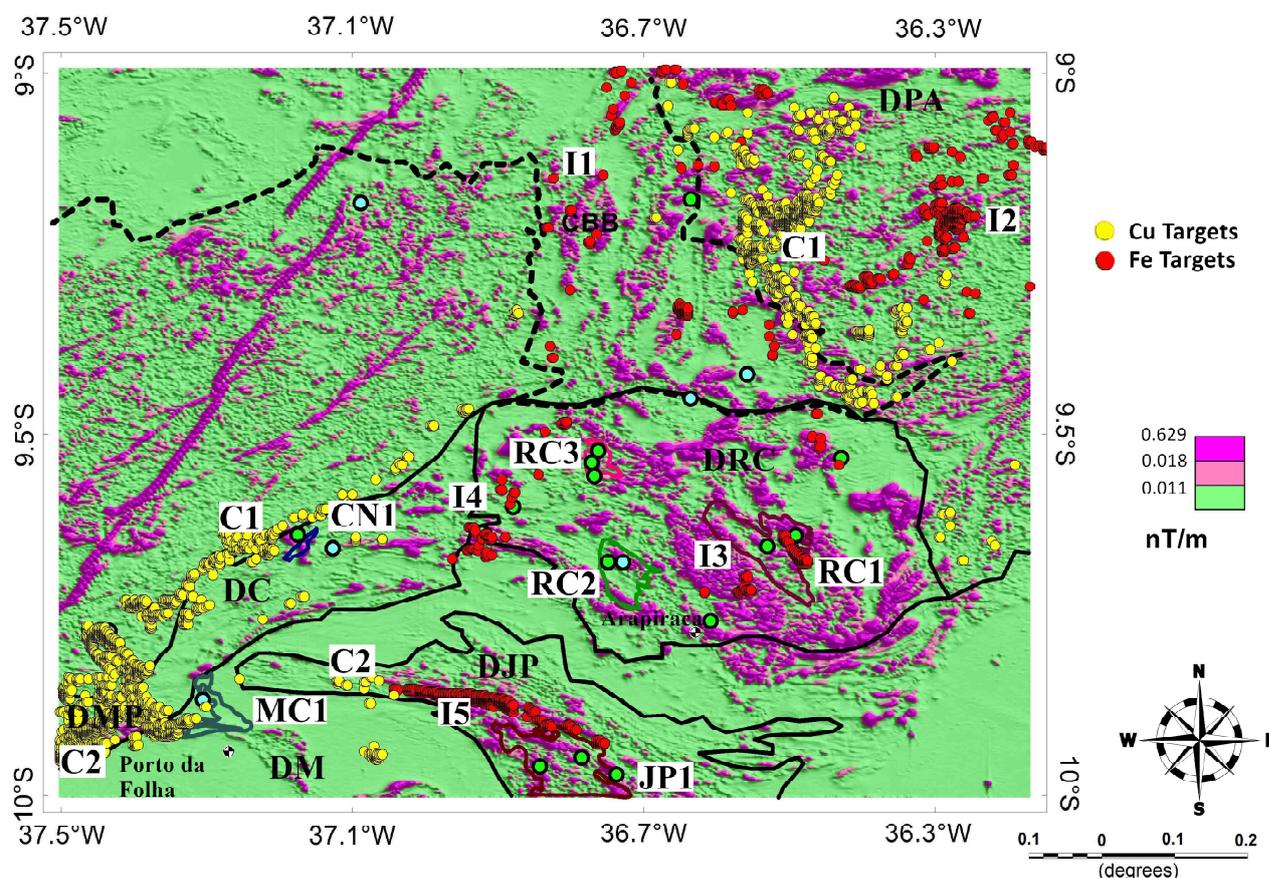


Figure 2.11: Map of the analytical signal amplitude of the magnetic datum with overlays of the iron targets, in red, and copper, in yellow. Blue and green circles represent respectively indications of copper and iron occurrences extracted from Mendes and Brito (2017). DC - Canindé Domain, DJP - Jirau do Ponciano Dome, DMP - Marancó Poço Redondo Domains, DPA - Pernambuco Alagoas Domain, DRC - Rio Coruripe Domain, DM - Macururé Domain and CBB - Cabrobró Complex.

Regarding the iron targets, they were prominently identified along the lithological units of the Cabrobró Complex (I1), indiscriminate granitoids (I2) in the Pernambuco-Alagoas domain, and the RC1 regions (I3) in the Rio Coruripe domain, as well as their boundaries with the Canindé Domain (I4). Additionally, notable indications were also observed near the Nicolau-Campo Grande Complex (I5), close to JP1.

Concerning copper targets, the emphasis is mainly on the regions with higher potassium concentration, such as the Pernambuco-Alagoas domain, with potassium-rich granitic

intrusions (C1), and the southwestern boundary (C1) between the Canindé domain and the Pernambuco-Alagoas domain. Despite the wide distribution of potential copper indications masked by lithologies with high potassium concentrations, the targets distributed along the Jirau do Ponciano dome's western tip (C2) and the numerous spots (C2) in the Marancó-Poço Redondo domain stand out. In addition to all the targets near MC1 in the Porto da Folha region, official observations of potassium alteration and copper mineralization in veins were made.

In order to filter the targets obtained in this study and better delineate the new areas with iron and copper mineral potential, the map shown in Figure 2.12 was generated. The criteria used favored regions with rugged magnetic relief, proximity to peaks of the analytic signal amplitude, and faults or shear zones. Regions with verified mineral occurrences (represented by white circles) and the zones of original potential areas were also highlighted. Furthermore, regions with a significant lithological influence from the granitic intrusions in the region were not entirely considered.

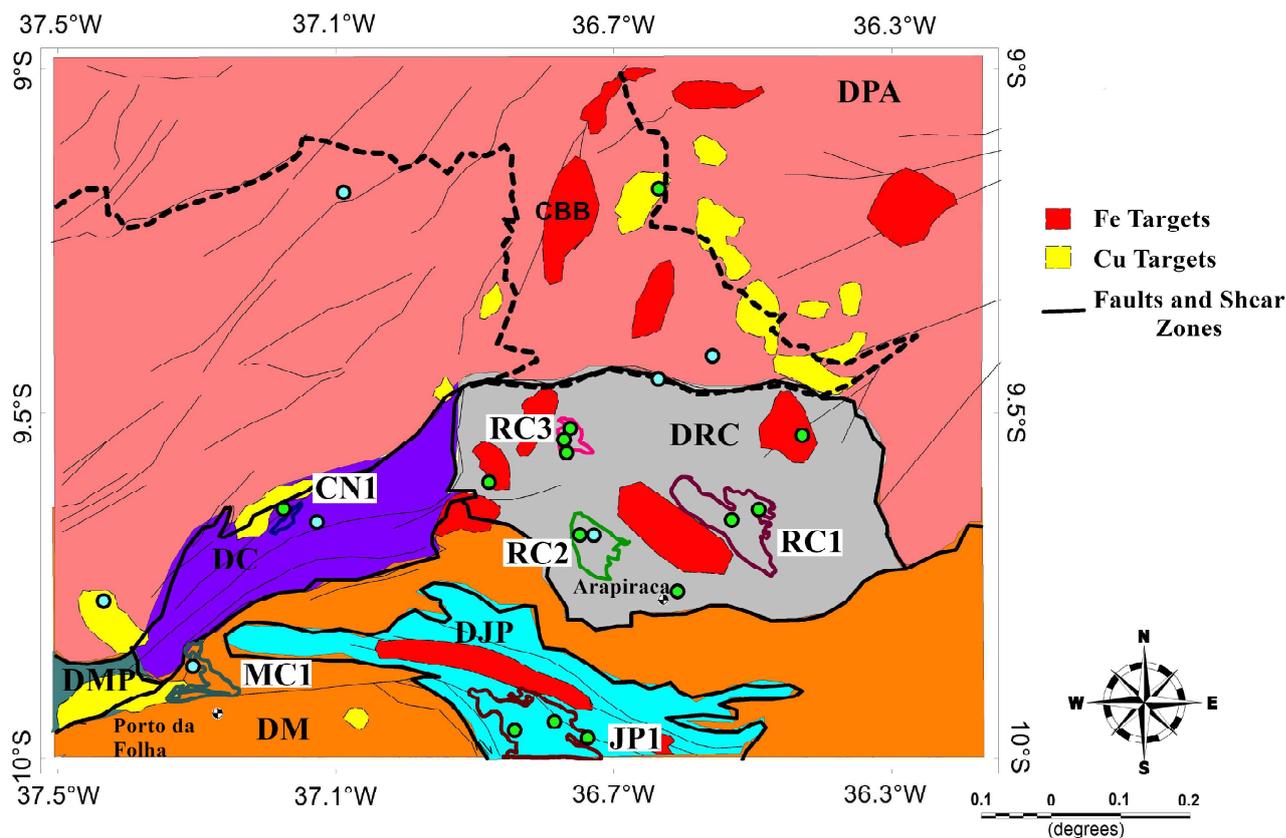


Figure 2.12: Illustrative map of the investigated region with indications of potential areas for the occurrence of Iron, in red, and Copper, in yellow. Blue and green circles represent respectively indications of copper and iron occurrences extracted from Mendes and Brito (2017). DC - Canindé Domain, DJP - Jirau do Ponciano Dome, DMP - Marancó Poço Redondo Domains, DPA - Pernambuco Alagoas Domin, DRC - Rio Coruripe Domain, DM - Macururé Domain and CBB - Cabrobró Complex.

Conclusion

In conclusion, mineral exploration is important for economic development and sustainable growth. Identifying and developing mineral deposits is crucial to meet the rising global demand for natural resources. This study used geophysical techniques to investigate new possible mineralization targets for iron and copper, two essential products in modern industries. It is important to point out that geophysical research has contributed with insights and information that are highly useful in the search for minerals. However, consolidations of occurrences must be made by field geological surveys.

By utilizing concentration information of the radioelements K, Th, and U, we were able

to gain insights related to the radiometric distributions of the region, along with geological information and pre-existing mineralizations in the area. The use of radiometric ratios and ternary maps aided in identifying desired radiometric signatures, possibly associated with the target minerals.

As a complementary methodology, hydrothermal enrichment enhancement procedures were crucial, showing that copper targets had a stronger correlation with potassium (K) anomalies, while iron targets were directed towards regions with uranium (U) enrichment. Among these, the ternary map composed of anomalous potassium, K/Th ratio, and F factor was highlighted for hydrothermal alteration identification. This relationship was important in indicating the occurrence patterns of areas with iron and copper indications, as the present radiometric associations were displayed in shades of green for Fe and purple for Cu.

The association with the magnetic map highlighted the presence of anomalies near important indications, emphasizing structurally favorable contours for hydrothermal enrichment and contacts between bodies that may contain magnetic minerals, geologically associated with iron deposits.

As a suggestion for future work, it would be interesting to integrate a broader and more detailed range of data, especially petrophysical data located in the target areas selected for final investigation. Furthermore, considering the significant lithological potential of the region and its spatial extent, it is recommended to explore artificial intelligence methods to enhance research. Utilizing or testing such methods could provide more efficient and accurate results in the search for relevant information.

Additionally, it would be important to refine the criteria for target indication, considering not only geological and geophysical factors but also social and environmental information that can contribute to minimizing potential impacts in implementing a mineral project.

Overall, it can be said that integrating radiometric geophysical techniques into the mineral exploration workflow offers significant efficiency, cost-effectiveness, and environmental management benefits. These methods play a key role in optimizing exploration efforts, improving the accuracy of resource assessment, and promoting sustainable practices in the mining industry. As such, they should be considered essential tools in the toolbox of modern mineral exploration strategies.

Acknowledgments

The authors would like to express their sincere gratitude to the institutions and organizations that have contributed to the realization of this study. In particular, we would like to acknowledge the Graduate Program in Geophysics at the Institute of Geosciences, Federal University of Bahia (UFBA), for the academic support provided throughout this project. Through their academic excellence and resources, we conducted high-quality research and gained valuable insights to enhance our work.

We would also like to thank the Geological Survey of Brazil - CPRM for providing this research's geological and geophysical data. Their generous contribution of data was pivotal to the development and completion of this study.

Furthermore, we deeply thank the Bahia State Research Support Foundation (FAPESB) for the research scholarship awarded. The financial support provided by FAPESB was instrumental in conducting this study, enabling us to dedicate the necessary time and resources to data collection, analysis, and manuscript preparation.

We want to emphasize that the collaboration and support of these institutions have been instrumental in the success of this research. We sincerely thank all those involved and look forward to continuing this partnership and contributing to significant advancements in geophysics and geosciences.

References

- Ba, M. H., M. Jaffal, K. Lo, N. Youbi, M. E. M. Dahmada, H. Ibouh, M. A. Boumehdi, T. Aïfa, M. Amara, M. Jessell, et al., 2020, Mapping mafic dyke swarms, structural features, and hydrothermal alteration zones in atar, ahmeyim and chami areas (reguibat shield, northern mauritania) using high-resolution aeromagnetic and gamma-ray spectrometry data: *Journal of African Earth Sciences*, **163**, 103749, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2019.103749>.
- CPRM, S. G. d. B., 2011, Projeto aerogeofísico paulo afonso-teotônio vilela: Technical report, Microsurvey Aerogeofísica e Consultoria Científica.
- Dickson, B. L., and K. Scott, 1997, Interpretation of aerial gamma-ray surveys-adding the geochemical factors: *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics*, **17**, 187–200.
- Efimov, A. V., 1978, Multiplikativnyj pokazatel dlja vydelenija endogennyh rud poaerogammaspektrometriceskim dannym: *Metody rudnoj geofiziki*. Leningrad, Naucno-proizvodstvennoje objedinenie geofizika, **163**, 59–68.
- El-Sadek, M. A., 2022, Using of airborne gamma-ray spectrometric data to the exposure of potassic alterationrecognition of alteration relates to gold mineralization: *Applied Radiation and Isotopes*, **190**, 110511, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2022.110511>.
- Ferreira, M. P., A. Grondona, and S. B. A. Rolim, 2012, Spectral discrimination of brazilian atlantic forest tree species.
- Grasty, R. L., 1991, Airborne gamma-ray spectrometer surveying: Technical Report 97, International Atomic Energy Agency.
- Hühn, S. R. B., and A. M. Silva, 2018, Favorability potential for iocg type deposits in the riacho do pontal belt: new insights for identifying prospects of iocg-type deposits in ne brazil: *Brazilian Journal of Geology*, **48**, 703–719, doi: <https://doi.org/10.1590/2317-4889201820180029>.
- Lima, H. M., M. M. Pimentel, L. C. M. d. Lira Santos, and V. A. Mendes, 2017, Análise tectônica da porção nordeste da Faixa Sergipana, Província Borborema: Dupla vergência em resposta a colisão oblíqua entre o Cráton do São Francisco e o terreno Pernambuco-Alagoas: *Geonomos*, **25**, 20–30, doi: <https://doi.org/10.18285/geonomos.v25i2.1078>.

- Mendes, V. A., and M. d. F. L. Brito, 2017, Geologia e recursos minerais da Folha Arapiraca sc. 24-xd: estado de Alagoas escala 1: 250.000.: Technical report, CPRM.
- Mendes, V. A., M. d. F. L. Brito, and I. P. Paiva, 2009, Programa Geologia do Brasil-PGB. folha SC.24-X-D. Estados de Alagoas, Pernambuco e Sergipe. Mapa Geológico. Recife:CPRM, 2009, 1 mapa, color, 112,37 cmx 69,42 cm.Escala - 1 :250.000.: Technical report, CPRM.
- Minty, B. R. S., 1988, A review of airborne gamma-ray spectrometric data processing techniques: Australian Government Public Service, Bureau of Mineral Resources.
- Ostrovskiy, E. Y., 1975, Antagonism of radioactive elements in wallrock alterations fields and its use in aerogamma spectrometric prospecting: *International Geology Review*, 17, 461–468, doi: <https://doi.org/10.1080/00206817509471687>.
- Pires, A. C. B., 1995, Identificação geofísica de áreas de alteração hidrotermal, crixás-guarinos, goiás: *Brazilian Journal of Geology*, **25**, 61–68.
- Ribeiro, V. B., M. S. M. Mantovani, and V. H. A. Louro, 2014, Aerogamaespectrometria e suas aplicações no mapeamento geológico: *Terræ Didática*, **10**, 29–51, doi: <https://doi.org/10.20396/td.v10i1.8637386>.
- Rodrigues, M. d. A. C., and R. G. Oliveira, 2019, Atlas aerogeofísico do estado de Alagoas.: Technical report, SGB-CPRM-Serviço Geológico do Brasil.
- Sampaio, E. E. S., and R. W. S. Silva, 2017, Geofísica na Bahia: estudos geológicos e exploração mineral: Companhia Baiana de Pesquisa Mineral.
- Santos, F. G., T. R. G. Pineo, V. C. Medeiros, J. S. Santana, D. M. F. Morais, J. A. R. Vale, and A. A. Wanderley, 2021, Projeto Geologia e Potencial Mineral da Província Borborema. Mapa Geológico da Província Borborema. Escala 1:1.000.000. Recife: SGB - CPRM, 2021, 1 mapa.: Technical report, CPRM.
- Sato, E. N., T. I. R. de Almeida, V. M. Dias, J. K. Yamamoto, F. de Assis Cavallaro, and W. R. R. Santana, 2013, Index and probability maps of occurrence of iron ore deposits: A proposed geophysical approach developed in curral novo do piauã (pi) state-brazil: *Brazilian Journal of Geophysics*, **31**, 365–374, doi: <http://dx.doi.org/10.22564/rbgf.v31i3.311>.

Agradecimentos

Não é do meu feitio ser breve, mas todas as palavras não ditas serão sempre mostradas.

Agradeço à minha família, Geovana, Marcos, Marcos Jr e Melissa, pelo apoio incondicional desde o berço, e que com certeza não terminará no mestrado. Aos meus avós, Maria e Argemiro, por me acompanharem sempre no coração.

Agradeço aos meus amigos, que incansavelmente me apoiaram durante esses anos e nunca deixaram de me impulsionar, mesmo que eu até tentasse desistir. Felizmente tive sorte nessa vida. Sou realizada por encontrar vocês.

Agradeço ao meu amor, Rafael, por sempre me amparar nos momentos mais difíceis. Seu impacto foi gigantesco nesse ciclo.

Agradeço à minha orientadora, Dra Alanna Dutra, por todos os ensinamentos, puxões de orelha e principalmente abraços nestes anos.

Ao meu grande amigo Onofre, ao Vinicius e à Annie, companheiros de pesquisa, por todo o suporte imensurável já concedido e de que ainda hei de precisar. Ao professor Sato pela ajuda inestimável de última hora.

Ao Dr. Marcos Vasconcelos e à Dra. Alice Lau, lhes dirijo meu muitíssimo obrigada por aceitarem participar da banca, e avaliar a minha pesquisa. As correções, discussões e sugestões apontadas pelos senhores serão muito bem aproveitadas.

Agradeço à ANP, IBGE, CPRM e PETROBRAS pelos dados cedidos para este trabalho. Ao Programa de Pós-Graduação em Geofísica da Universidade Federal da Bahia, e seus componentes, por todo o suporte disponibilizado. À FAPESB - Fundo de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia, pela bolsa concedida e que teve grande importância, especialmente nos tempos pandêmicos. Ao CPGG - Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia pela infraestrutura.

Finalmente, à todos os meus professores de Geofísica que simplesmente me fizeram querer.

Referências

- Airo, M.-L. (2002) Aeromagnetic and aeroradiometric response to hydrothermal alteration, *Surveys in Geophysics*, **23**(4):273–302.
- Alves, R. V. S. (2009) Propriedades térmicas do embasamento adjacente à Bacia de Sergipe, Trabalho de Graduação em Geofísica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.
- Ansari, A. H. and Alamdar, K. (2011) A new edge detection method based on the analytic signal of tilt angle (asta) for magnetic and gravity anomalies, *Iranian Journal of Science and Technology (Sciences)*, **35**(2):81–88.
- Araújo, P. and Dutra, A. (2021) 2-d inversion of magnetic data and gravity modelling of the transition zone between the pernambuco-alagoas domain and the northern portion of the sergipano belt (ne, brazil), *Revista de Geociências do Nordeste*, **7**:11–23.
- Ba, M. H.; Jaffal, M.; Lo, K.; Youbi, N.; Dahmada, M. E. M.; Ibouh, H.; Boumehdi, M. A.; Aïfa, T.; Amara, M.; Jessell, M. et al. (2020) Mapping mafic dyke swarms, structural features, and hydrothermal alteration zones in Atar, Ahmeyim and Chami areas (Reguibat Shield, Northern Mauritania) using high-resolution aeromagnetic and gamma-ray spectrometry data, *Journal of African Earth Sciences*, **163**:103749.
- Beltrão, J. F.; Silva, J. B. C. and Costa, J. C. (1991) Robust polynomial fitting method for regional gravity estimation, *Geophysics*, **56**(1):80–89.
- Blakely, R. J. (1996) *Potential theory in gravity and magnetic applications*, Cambridge University Press.
- Clark, D. A. and Schmidt, P. W. (1994) Magnetic properties and magnetic signatures of bifs of the hamersley basin and yilgarn block, western australia, *Exploration Geophysics*, **25**(3):169–169.
- CPRM, S. G. d. B. (2011) Projeto aerogeofísico paulo afonso-teotônio vilela, Tech. Rep., CPRM.

- Dutra, A. C. and Argollo, R. (2017) Determinação da espessura da interface sedimento-embasamento da bacia sergipe-alagoas a partir da assinatura gravimétrica., *Revista de Geociências do Nordeste*, **3**(1):28–47.
- Efimov, A. V. (1978) Multiplikativnyj pokazatel dlja vydelenija endogennykh rud po aerogamma-spektrometricheskim dannym, *Metody rudnoj geofiziki*. Leningrad, Nauchno-proizvodstvennoje objedinenie geofizika, **163**:59–68.
- El-Sadek, M. A. (2022) Using of airborne gamma-ray spectrometric data to the exposure of potassic alteration-recognition of alteration relates to gold mineralization, *Applied Radiation and Isotopes*, **190**:110511.
- Ellis, R. and MacLeod, I. (2013) Constrained voxel inversion using the cartesian cut cell method, *ASEG Extended Abstracts*, **2013**(1):1–4.
- Ferreira, V. N.; Silva, A. M.; Toledo, C. L. B.; Jácomo, M. H.; de Assis, L. M. and Pires, A. C. B. (2016) The use of alternative methods for differentiation of banded iron formations and iron ore in the body n4ws, serra norte-carajás mineral province, *Revista Brasileira de Geofísica*, **34**(1):1–31.
- Fries, M.; Zago, M. M. and da Silva, F. G. (2020) A geophysical study contributing to analysis and characterization of a localized copper occurrence, *Journal of Applied Geophysics*, **179**:104129.
- Fu, J.; Jia, S. and Wang, E. (2020) Combined magnetic, transient electromagnetic, and magnetotelluric methods to detect a bif-type concealed iron ore body: A case study in gongchangling iron ore concentration area, southern liaoning province, china, *Minerals*, **10**(12):1044.
- Gunn, P. and Dentith, M. (1997) Magnetic responses associated with mineral deposits, *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics*, **17**:145–158.
- Gusmão de Oliveira, R.; Eugênio de Medeiros, W.; Rodrigues Domingos, N. R. and de Araújo Costa Rodrigues, M. (2023) A review of the geophysical knowledge of the borborema province, ne-brazil, and tectonic implications, *Journal of South American Earth Sciences*, **126**:104360.
- Hühn, S. R. B. and Silva, A. M. (2018) Favorability potential for iocg type deposits in the riacho do pontal belt: new insights for identifying prospects of iocg-type deposits in NE brazil, *Brazilian Journal of Geology*, **48**:703–719.
- Hühn, S. R. B.; Silva, A. M.; Ferreira, F. J. F. and Braitenberg, C. (2020) Mapping new IOCG mineral systems in Brazil: The Vale do Curaçá and Riacho do Pontal copper districts, *Minerals*, **10**(12):1074.

- Ingram, D. M.; Causon, D. M. and Mingham, C. G. (2003) Developments in cartesian cut cell methods, *Mathematics and Computers in Simulation*, **61**(3-6):561–572.
- Lawal, T. O. (2020) Integrated aeromagnetic and aeroradiometric data for delineating lithologies, structures, and hydrothermal alteration zones in part of southwestern nigeria, *Arabian Journal of Geosciences*, **13**(16):1–19.
- Lima, S. S.; da Silva Filho, A. F.; de Pinho Guimarães, I.; Farias, D. J. S. and Almeida, G. M. (2021) Aerogeophysical systematics applied to the geological reconnaissance of the eastern pernambuco-alagoas domain, borborema province: The ipojuca-atalaia batholith, *Journal of South American Earth Sciences*, **112**:103628.
- de Lima Barbosa, R. D. (2021) Modelagem e Inversão de Dados Potenciais da Região do Parque dos Gaviões na Bacia do Parnaíba., tipogeofm, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ.
- Maden, N. and Akaryalı, E. (2015) Gamma ray spectrometry for recognition of hydrothermal alteration zones related to a low sulfidation epithermal gold mineralization (eastern pontides, ne türkiye), *Journal of Applied Geophysics*, **122**:74–85.
- Mantovani, M. S.; Shukowsky, W.; Neves, B. D. B. and Rugenski, A. (2008) Gravimetric study of a potential mineral deposit in the itapororoca region, brazil, *Geophysical prospecting*, **56**(5):751–760.
- McGaughey, J. and Milkereit, B. (2007) Geological models, rock properties, and the 3d inversion of geophysical data, in: *Proceedings of exploration*, vol. 7, pp. 473–483.
- Mekkawi, M. M.; ElEmam, A. E.; Taha, A. I.; Deep, A.; AbdelSabour, M.; Araffa, S. A. S.; Massoud, U. S. and Abbas, A. M. (2021) Integrated geophysical approach in exploration of iron ore deposits in the north-eastern aswan-egypt: a case study, *Arabian Journal of Geosciences*, **14**(8):1–11.
- Mendes, V. A. and Brito, M. d. F. L. (2017) Geologia e recursos minerais da Folha Arapiraca sc. 24-xd: estado de Alagoas escala 1: 250.000., Tech. Rep., CPRM.
- Mendes, V. A.; Brito, M. d. F. L. and Paiva, I. P. (2009) Programa Geologia do Brasil-PGB. folha SC.24-X-D. Estados de Alagoas, Pernambuco e Sergipe. Mapa Geológico. Recife:CPRM, 2009, 1 mapa, color, 112,37 cmx 69,42 cm.Escala - 1 :250.000., Tech. Rep., CPRM.
- Merdith, A. S.; Landgrebe, T. C. and Müller, R. D. (2015) Prospectivity of western australian iron ore from geophysical data using a reject option classifier, *Ore Geology Reviews*, **71**:761–776.

- Miller, H. G. and Singh, V. (1994) Potential field tilt—a new concept for location of potential field sources, *Journal of Applied Geophysics*, **32**(2-3):213–217.
- Nabighian, M. N. (1972) The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: its properties and use for automated anomaly interpretation, *Geophysics*, **37**(3):507–517.
- Nabighian, M. N. (1991) *Electromagnetic methods in applied geophysics-theory*, vol. 1, 2nd publication, Tulsa, OK.
- Nitzschia, R. R. D.; Oliveira, R. G. d.; Leite, P. R. and Rodrigues, M. d. A. C. (2023) Interpretação e modelagem de dados geofísicos integradas com dados geoquímicos dos domínios jirau do ponciano e rio coruripe da província borborema, ne brasil, *Informe de geofísica aplicada* 8, CPRM.
- Oladunjoye, M. A.; Olayinka, A. I.; Alaba, M. and Adabanija, M. A. (2016) Interpretation of high resolution aeromagnetic data for lineaments study and occurrence of banded iron formation in ogbomoso area, southwestern nigeria, *Journal of African Earth Sciences*, **114**:43–53.
- Oldenburg, D. and Pratt, D. (2007) Geophysical inversion for mineral exploration: A decade of progress in theory and practice, in: *Proceedings of exploration*, vol. 7, pp. 61–95.
- Oliveira, N. (2013) Efeitos do gradiente do campo magnético na determinação da porosidade por ressonância magnética nuclear, Ph.D. thesis, Doctorate thesis, Universidade Federal da Bahia, Brazil, 114 pp. Available
- Parasnis, D. S. (2013) Mining geophysics, vol. 3 of *Methods in Geochemistry and Geophysics* **3**, Elsevier, ISBN 9781483230306; 1483230309.
- Pereira, H. G.; Moreira, C. A.; Ferreira, F. J. F.; Camarero, P. L. and da Silva, V. A. F. (2021) Geophysical characterization of a potentially mineralized target in copper sulfides in the northwest limit of camaquã basin, brazil, *Pure and Applied Geophysics*, **178**(8):3111–3130.
- Pereira, L. C. L.; Santos, L. C. M. d. L. and Carrino, T. A. (2019) The role of airborne geophysics in the investigation of gold occurrences in the itapetim region, borborema province, northeast brazil, *Brazilian Journal of Geology*, **49**.
- Pires, A. C. B. (1995) Identificação geofísica de áreas de alteração hidrotermal, crixás-guarinos, goiás, *Brazilian Journal of Geology*, **25**(1):61–68.
- Ribeiro, V. B.; Mantovani, M. S. M. and Louro, V. H. A. (2014) Aerogamaespectrometria e suas aplicações no mapeamento geológico, *Terræ Didatica*, **10**(1):29–51.

- Rodrigues, M. d. A. C. and Oliveira, R. G. (2019) Atlas aerogeofísico do estado de Alagoas., Tech. Rep., SGB-CPRM-Serviço Geológico do Brasil.
- Sahoo, S.; Singh, A.; Biswas, S. and Sharma, S. (2021) 3d subsurface characterization of banded iron formation mineralization using large-scale gravity data: A case study in parts of Bharatpur, Dausa and Karauli districts of Rajasthan, India, *Natural Resources Research*, **30**(5):3121–3138.
- Sampaio, E. E.; Batista, J. C. and Santos, E. S. (2021) Interpretation of geophysical data for iron ore detailed survey in laje, bahia, brazil, *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **93**.
- Sampaio, E. E. S. and Silva, R. W. S. (2017) Geofísica na Bahia: estudos geológicos e exploração mineral, Companhia Baiana de Pesquisa Mineral, Salvador.
- Sampaio, M. R. C. (2019) Interpretação e modelagem de dados geofísicos no embasamento adjacente à bacia de sergipe-alagoas, Trabalho de Graduação em Geofísica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.
- Santos, F. G.; Pineo, T. R. G.; Medeiros, V. C.; Santana, J. S.; Morais, D. M. F.; Vale, J. A. R. and Wanderley, A. A. (2021) Projeto Geologia e Potencial Mineral da Província Borborema. Mapa Geológico da Província Borborema. Escala 1:1.000.000. Recife: SGB - CPRM, 2021, 1 mapa., Tech. Rep., CPRM.
- Sato, E. N.; de Almeida, T. I. R.; Dias, V. M.; Yamamoto, J. K.; de Assis Cavallaro, F. and Santana, W. R. R. (2013) Index and probability maps of occurrence of iron ore deposits: A proposed geophysical approach developed in Curral Novo do Piauí (PI) state-Brazil, *Brazilian Journal of Geophysics*, **31**(3):365–374.
- Shives, R. B.; Charbonneau, B. and Ford, K. L. (2000) The detection of potassic alteration by gamma-ray spectrometry—recognition of alteration related to mineralization detecting ore using grs and k alteration, *Geophysics*, **65**(6):2001–2011.
- Mota-e Silva, J.; Filho, C. F. F. and Giustina, M. E. S. D. (2013) The limoeiro deposit: Ni-cu-pge sulfide mineralization hosted within an ultramafic tubular magma conduit in the borborema province, northeastern brazil, *Economic Geology*, **108**(7):1753–1771.
- Silva, M. d. G. d.; ROCHA NETO, M. B. d.; JOST, H. and KUYUMJIAN, R. M. (2014) Metalogênese das províncias tectônicas brasileiras, CPRM.
- Silva Filho, A.; Guimarães, I.; Armstrong, R.; Schmus, W.; Farias, D.; Ferreira, V.; Amorim, J. and Cocentino, L. (2021) A major neoproterozoic crustal boundary in the borborema province of ne brazil, *International Geology Review*, pp. 1–27.

- Soulaimani, S.; Chakiri, S.; Manar, A.; Soulaimani, A.; Miftah, A. and Boujamaoui, M. (2020) Gravity and magnetic data processing further constrained inversion for 3d modelling and tonnage calculation, *Applied Earth Science*, **129**(3):133–146.
- Sousa*, F. R.; Früchting, A.; Silva, A. M.; Toledo, C. L. and Aisengart, T. (2019) 3d magnetization vector inversion applied to the rio capibaribe terrain, borborema province, ne/brazil: Modeling ni-cu-pge ore bodies and proposing new exploratory targets, in: International Workshop on Gravity, Electrical & Magnetic Methods and Their Applications, Xi'an, China, May 19–22, 2019, pp. 460–463, Society of Exploration Geophysicists and Chinese Geophysical Society.
- Sun, J. and Li, Y. (2011) Geophysical inversion using petrophysical constraints with application to lithology differentiation, in: 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society, pp. cp–264, European Association of Geoscientists & Engineers.
- Telford, W. M.; Geldart, L. P.; Sheriff, R. E. and Keys, D. A. (1976) *Applied Geophysics*, Cambridge Un. Press, Cambridge.
- USP, U. d. S. P. (2021) Seção de materiais didáticos.
- Woolrych, T. R.; Christensen, A. N.; McGill, D. L. and Whiting, T. (2015) Geophysical methods used in the discovery of the kitumba iron oxide copper gold deposit, *Interpretation*, **3**(2):SL15–SL25.
- Zhang, J.; Zeng, Z.; Zhao, X.; Li, J.; Zhou, Y. and Gong, M. (2020) Deep mineral exploration of the jinchuan cu–ni sulfide deposit based on aeromagnetic, gravity, and csamt methods, *Minerals*, **10**(2):168.

3

Anexo 1

Tabela com Informações das Amostras Utilizadas no Trabalho

Amostra	Codigo Unidade	Domínio Geotectônico	Lat	Long	Macropetrografia
GeAl 035-A	NPcbmi	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,3456512	-36,512995	Biotita granodiorito porfírico (neossoma)
GeAl 364	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,6938646	-36,580097	Kinzigito
GeAl 619	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,9354464	-36,671125	Biotita gnaissé
GeAl 387	PPcac	Unidade Rio Coruripe	-9,6966288	-36,600489	Dlopsidito
GeAl 385	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,7049268	-36,634533	Granada biotita gnaissé
GeAl 096	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,6120945	-36,315526	Hornblenda biotita gnaissé e anfibolito (migmatito)
GeAl 517	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,9132345	-36,646864	Hornblenda biotita gnaissé
GeAl 388	PPcac	Unidade Rio Coruripe	-9,6918676	-36,592963	Diopsidito
GeAl 383	PPcac	Unidade Rio Coruripe	-9,6869053	-36,634405	Diopsidito
GeAl 543	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4695233	-36,08782	Biotita gnaissé
GeAl 366	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,4460861	-36,642815	Granada biotita gnaissé (mesossoma)
GeAl 066	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,5208762	-36,589246	Biotita gnaissé granodiorítico
GeAl 402	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,5214558	-36,588104	Biotita hornblenda gnaissé
GeAl 225-A	NP3?it	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,1425199	-36,246465	Biotita gnaissé
GeAl 129	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,0779918	-36,04767	Biotita ortognaissé
GeAl 551	NPar	Domínio Canindé	-9,544762	-36,968761	Biotita gnaissé xistoso
GeAl 537	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,3495219	-36,083795	Biotita ortognaissé porfírico
GeAl 458	NParu	Domínio Canindé	-9,7095466	-37,014443	Amianto

GeAl 022	NPcb	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4213623	-36,466216	Biotita granito porfirítico
GeAl 219	NP?i	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,1368486	-36,108636	Biotita ortognaisse granodiorítico
GeAl 473	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,8081327	-36,887471	Biotita gnaisse estirado
GeAl 226	NP3?it	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,1394072	-36,258972	Biotita augen gnaisse
GeAl 089	NP3?it	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,3655437	-36,171297	Granito shonshonítico
GeAl 027	NPcb	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4452081	-36,417607	Biotita ortognaisse
GeAl 031	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4461845	-36,335387	Biotita ortognaisse granodiorítico
GeAl 032	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4319655	-36,326251	Biotita ortognaisse granodiorítico
GeAl 023	NPcb	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,425575	-36,453918	Biotita granito porfirítico
GeAl 216	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,1436395	-36,037813	Biotita gnaisse (mesossoma)
GeAl 457	NPar	Domínio Canindé	-9,7118459	-36,990221	Granada biotita gnaisse
GeAl 092	NP3?i	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,2669091	-36,296797	Biotita granito
GeAl 100	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,6906121	-36,284625	Biotita gnaisse granítico (mesossoma)
GeAl 242	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4007785	-36,15005	Biotita granito
GeAl 114	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,5328946	-36,435985	Biotita ortognaisse (paraderivado)
GeAl 549	NPar	Domínio Canindé	-9,584751	-36,994936	Biotita gnaisse
GeAl 471	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,7987009	-36,87809	Augen gnaisse xistoso

GeAl 656	APPn1	Domo Jirau do Ponciano	-9,9663421	-36,802553	Biotita gnaiss bandado
GeAl 132	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,029808	-36,028817	Hornblenda granodiorito (anatexia)
GeAl 461	NPar	Domínio Canindé	-9,7262057	-37,048824	Moscovita biotita gnaiss
GeAl 592	NPm1	Domínio Macururé	-9,8078523	-37,072492	Granada biotita gnaiss
GeAl 030	NPcb	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4503	-36,361091	Biotita granito gnaissico fino
GeAl 229	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,1046266	-36,088526	Biotita ortognaiss porfirítico
GeAl 525	NP?i	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,2191907	-36,332746	Biotita granito
GeAl 215	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,0221402	-36,045799	Biotita gnaiss granítico (mesossoma)
GeAl 510	NPm1	Domínio Macururé	-9,9384348	-37,020299	Biotita augen gnaiss
GeAl 001	NPcb	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4303476	-36,642212	Ortognaiss granítico
GeAl 218	NP?i	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,1424101	-36,086765	Hornblenda granodiorito
GeAl 506	NPm1	Domínio Macururé	-9,9481359	-36,984271	Granada biotita gnaiss
GeAl 539	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,3685618	-36,118712	Biotita granito porfirítico gnaissoso
GeAl 088	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,3901467	-36,165957	Biotita granito gnaissoso
GeAl 401	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,5258847	-36,609194	Granada biotita gnaiss (mesossoma)
GeAl 111	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,5044929	-36,03098	Biotita gnaiss granítico
GeAl 042-A	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,3668018	-36,420118	Ortognaiss cinza claro
GeAl 501	APPjp	Domo Jirau do Ponciano	-9,8878787	-36,899889	Biotita gnaiss fitado (estirado)
GeAl 408	PPcaq	Unidade Rio Coruripe	-9,5832052	-36,750455	Silixito

GeAl 084	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4724395	-36,169189	Biotita augen ortognaisse granítico
GeAl 112	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4802884	-36,145583	Hornblenda granodiorito
GeAl 258	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-8,9905394	-36,052407	Biotita hornblenda augen ortognaisse
GeAl 511	NPm1	Domínio Macururé	-9,9240461	-37,031408	Biotita gnaissé
GeAl 061	NP3?it	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,3879833	-36,260518	Biotita granodiorito
GeAl 134	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-8,9767949	-36,024852	Biotita gnaissé estirado
GeAl 624	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,9613691	-36,617749	Biotita ortognaisse
GeAl 669	APPn1a	Domo Jirau do Ponciano	-9,9792474	-36,880514	Anfibolito
GeAl 095	NP?i	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,1754458	-36,301858	Granito
GeAl 328	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,2363615	-36,018493	Hornblenda biotita augen gnaissé (mesossoma)
GeAl 052	NP3?it	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,5052566	-36,259208	Biotita ortognaisse granodiorítico
GeAl 057	NP3?it	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,428099	-36,267508	Biotita ortognaisse granodiorítico
GeAl 535	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,3328053	-36,054803	Biotita granito porfirítico
GeAl 240	NP3?it	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,3482515	-36,1397	Biotita granito
GeAl 131	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,0435042	-36,037919	Biotita ortognaisse

GeAl 223	NP?i	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,1680486	-36,198853	Biotita ortognaisse granodiorítico
GeAl 047	NP3?i	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,3396491	-36,298713	Biotita granito grosseiro
GeAl 529	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,3324241	-36,122966	Moscovita biotita ortognaisse
GeAl 083	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4798544	-36,200359	Biotita augen ortognaisse granítico
GeAl 130	NP3?it	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,0610669	-36,035894	Biotita ortognaisse
GeAl 230	NPyi	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,1048827	-36,06082	Biotita ortognaisse granítico
GeAl 082	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4972419	-36,213422	Biotita augen gnaisse granítico (neossoma)
GeAl 542	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4528504	-36,077361	Ortognaisse
GeAl 448	NPar	Domínio Canindé	-9,7088628	-36,971825	Granada biotita gnaisse
GeAl 488	APPjp	Domo Jirau do Ponciano	-9,8415552	-36,923415	Granito neossoma
GeAl 534	NP3?i	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,3051853	-36,066311	Granito porfíritico
GeAl 224-A	NP?i	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,1637595	-36,230854	Hornblenda biotita quartzo-monzonito
GeAl 416	NPm1	Domínio Macururé	-9,6556403	-36,932536	Moscovita biotita gnaisse
GeAl 572	NPm1	Domínio Macururé	-9,7966991	-37,225331	Granada biotita gnaisse
GeAl 103	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,6625544	-36,234289	Biotita augen ortognaisse granítico
GeAl 497-B	NPm1	Domínio Macururé	-9,7920115	-37,06243	Biotita ortognaisse
GeAl 518	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,9078954	-36,639419	Hornblenda biotita gnaisse
GeAl 221	NP?i	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,1428332	-36,162896	Biotita augen ortognaisse

GeAl 036	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,3332823	-36,495323	Biotita granodiorito porfirítico (anatexia)
GeAl 234	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,2182478	-36,1395	Hornblenda ortognaisse granítico (mesossoma)
GeAl 098	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,6711306	-36,307346	Granito gnaissoso
GeAl 463	NPm1	Domínio Macururé	-9,7624246	-37,013866	Biotita gnaisse
GeAl 241	NP3?it	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,3647147	-36,15352	Granito
GeAl 093	NP3?i	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,2461192	-36,30767	Biotita granito
GeAl 099	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,6829207	-36,295733	Biotita augen gnaisse
GeAl 085	NP3?it	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4629259	-36,184845	Biotita gnaisse
GeAl 245	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4216911	-36,059738	Granito fino
GeAl 239	NP3?i	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,31887	-36,14165	Granito (protomilonito)
GeAl 048	NP3?i	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,3640617	-36,26328	Hornblenda granito porfirítico
GeAl 220	NP?i	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,1254553	-36,132389	Hornblenda quartzo-sienito
GeAl 257	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,0130563	-36,058677	Biotita hornblenda ortognaisse
GeAl 108	NP3?i	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,6087247	-36,134418	Biotita granito
GeAl 228	NP?i	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,1162743	-36,118392	Biotita ortognaisse granítico
GeAl 442	NPm1	Domínio Macururé	-9,7512697	-36,881716	Granada biotita gnaisse
GeAl 450	NPm1	Domínio Macururé	-9,7175441	-36,916769	Granada biotita gnaisse

GeAl 254	NP3?it	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,5896074	-36,003029	Biotita granito
GeAl 567	NPar	Domínio Canindé	-9,6583842	-37,099568	Biotita xisto
GeAl 059-A	NP3?it	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4012075	-36,27529	Granito
GeAl 382-B	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,6795159	-36,646698	Granada biotita gnaiss cinza
GeAl 355	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,5064783	-36,041391	Biotita gnaiss
GeAl 530	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,3223504	-36,108387	Biotita ortognaiss
GeAl 026	NPcb	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4593739	-36,417228	Biotita granitóide porfírico
GeAl 024	NPcb	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4329604	-36,446811	Biotita augen gnaiss
GeAl 094	NP?i	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,2321917	-36,309558	Granito
GeAl 386	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,7005838	-36,623351	Biotita gnaiss grosseiro
GeAl 231	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,1822295	-36,044311	Hornblenda ortognaiss granítico (mesossoma)
GeAl 528	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,3263921	-36,137859	Moscovita biotita ortognaiss
GeAl 672	APPn1	Domo Jirau do Ponciano	-9,9256081	-36,836135	Gnaiss bandado
GeAl 540	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,3796067	-36,157337	Biotita ortognaiss
GeAl 062	NP?i	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,3244051	-36,280737	Biotita granito
GeAl 585	NPm1	Domínio Macururé	-9,8734062	-37,240465	Biotita gnaiss
GeAl 029	NPcbmi	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4482089	-36,385951	Biotita gnaiss (diatexito)

GeAl 233	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,1921867	-36,128454	Hornblenda ortognaisse granítico (mesossoma)
GeAl 527	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,3403134	-36,134462	Moscovita biotita ortognaisse
GeAl 128	NPyi	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,0987136	-36,054217	Biotita ortognaisse
GeAl 531	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,3120901	-36,103115	Biotita ortognaisse
GeAl 391	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,6421341	-36,551652	Biotita gnaisse (mesossoma)
GeAl 079	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,5412557	-36,247097	Biotita augen gnaisse (neossoma)
GeAl 101	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,6877762	-36,266564	Biotita augen gnaisse granítico
GeAl 639	APPn1	Domo Jirau do Ponciano	-10,013049	-36,796668	Biotita gnaisse migmatizado
GeAl 499	APPjp	Domo Jirau do Ponciano	-9,8754097	-36,866115	Granito porfirítico
GeAl 232	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,1843867	-36,06623	Hornblenda ortognaisse granítico
GeAl 286	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,1443537	-36,00272	Biotita augen gnaisse granítico
GeAl 072	PPcaf	Unidade Rio Coruripe	-9,5851833	-36,433026	Ferro-manganês
GeAl 044	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,3644415	-36,384124	Hornblenda granodiorito
GeAl 410	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,7125083	-36,746874	Biotita gnaisse (mesossoma)
GeAl 526	?yab	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,2327164	-36,355872	Granito
GeAl 253	NP3?it	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,6013872	-36,015641	Biotita granito
GeAl 105	NP3?i	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,6253398	-36,193952	Biotita granito porfirítico

GeAl 133	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,0017413	-36,028837	Biotita gnaiss granodiorítico (mesossoma)
GeAl 509	NPm1	Domínio Macururé	-9,9497681	-37,007757	Biotita augen gnaiss
GeAl 040-B	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,3494716	-36,435249	Biotita gnaiss
GeAl 582	NPm1	Domínio Macururé	-9,8558106	-37,241707	Biotita gnaiss
GeAl 536	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,3421522	-36,067558	Biotita ortognaiss porfírico
GeAl 545	NPar	Domínio Canindé	-9,6349632	-36,999204	Biotita granada gnaiss xistoso
GeAl 623	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,9636639	-36,608817	Biotita ortognaiss
GeAl 512	NPm1	Domínio Macururé	-9,894012	-37,044551	Granada biotita gnaiss
GeAl 399	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,5812073	-36,621765	Biotita gnaiss xistoso
GeAl 037	NP3?o	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,3249426	-36,480135	Granito rosa (à duas micas)
GeAl 008	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,4724031	-36,522228	Biotita gnaiss bandado
GeAl 021	NPcb	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4198039	-36,473189	Biotita ortognaiss
GeAl 236-A	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,2734783	-36,138908	Biotita ortognaiss granítico (mesossoma)
GeAl 376	PPcaf	Unidade Rio Coruripe	-9,6509095	-36,686297	Formação ferrífera bandada
GeAl 374	PPcam	Unidade Rio Coruripe	-9,6145793	-36,683831	Mármore
GeAl 102	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,6777593	-36,245456	Biotita augen gnaiss granítico
GeAl 050	NP3?it	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,5043744	-36,242396	Biotita granodiorito gnaissoso
GeAl 370	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,5242528	-36,638939	Biotita augen gnaiss (mesossoma)
GeAl 041	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,3651039	-36,426454	Ortognaiss granítico
GeAl 235	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,2353589	-36,147482	Biotita ortognaiss granodiorítico (mesossoma)

GeAl 500	APPjp	Domo Jirau do Ponciano	-9,8782184	-36,881492	Granito porfírico
GeAl 584	NPm1	Domínio Macururé	-9,8688746	-37,245239	Biotita gnaissé
GeAl 462	NPm1	Domínio Macururé	-9,7498657	-37,028931	Biotita gnaissé xistoso
GeAl 635	APPn1	Domo Jirau do Ponciano	-9,9241864	-36,810674	Granito
GeAl 502	NPmsc	Domínio Macururé	-9,896968	-36,926924	Biotita gnaissé fitado
GeAl 020	NPcbmi	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4055162	-36,485696	Biotita gnaissé porfírico (mesossoma)
GeAl 081-A	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,5163467	-36,228858	Anfibólio augen gnaissé quartzo-diorítico (mesossoma)
GeAl 244	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,3974989	-36,111122	Biotita augen gnaissé granítico
GeAl 541	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4200006	-36,074781	Ortognaisse
GeAl 507	NPm1	Domínio Macururé	-9,9717329	-37,00456	Granada biotita gnaissé
GeAl 456	NPar	Domínio Canindé	-9,7140256	-36,981215	Granada biotita gnaissé
GeAl 573	NPmsc	Domínio Macururé	-9,8010973	-37,227923	Moscovita xisto
GeAl 609	APPpsc	Domo Jirau do Ponciano	-9,9047867	-36,766256	Ortognaisse estirado
GeAl 106	NP3?i	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,6128558	-36,173099	Biotita granito
GeAl 446	NPm1	Domínio Macururé	-9,7217987	-36,928204	Biotita gnaissé
GeAl 564	NPara	Domínio Canindé	-9,6363015	-37,048168	Anfibolito
GeAl 074	PPcau	Unidade Rio Coruripe	-9,5684358	-36,382962	Gabronorito
GeAl 521	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,9320958	-36,577199	Biotita gnaissé xistoso
GeAl 532	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,3127638	-36,09155	Biotita ortognaisse granodiorítico

GeAl 597	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,7961418	-36,907031	Biotita gnaissse
GeAl 436	PPcaa	Unidade Rio Coruripe	-9,6231046	-36,818837	Metabasito (anfíbolito)
GeAl 553	NPara	Domínio Canindé	-9,5606738	-36,947648	Anfíbolito
GeAl 119	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,4822582	-36,398354	Biotita gnaissse granodiorítico/diorítico
GeAl 524	?yab	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,206708	-36,341916	Granito
GeAl 045	NP3?o	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,365606	-36,357194	Granito fino
GeAl 508	NPm1	Domínio Macururé	-9,9608919	-37,002592	Biotita augen gnaissse
GeAl 441	NPm1	Domínio Macururé	-9,7652558	-36,882211	Biotita gnaissse
GeAl 090	NP3?i	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,367877	-36,224132	Leucogranito (à duas micas)
GeAl 080	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,523874	-36,235851	Biotita augen granito gnaissoso
GeAl 434	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,6353642	-36,83947	Biotita gnaissse fino (mesossoma)
GeAl 025	PPca	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4704991	-36,44211	Hornblenda biotita gnaissse (mesossoma)
GeAl 622	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,9464239	-36,651303	Biotita gnaissse xistoso
GeAl 674	APPjp	Domo Jirau do Ponciano	-9,9514295	-36,869653	Ortognaisse cinza claro
GeAl 018-A	NPcb	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4226747	-36,524968	Biotita gnaissse
GeAl 077	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,5675382	-36,286092	Biotita gnaissse (mesossoma)
GeAl 003	NPcb	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4033339	-36,696902	Granada biotita gnaissse
GeAl 042-B	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,3668018	-36,420118	Anfíbolito
GeAl 607	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,8800341	-36,750391	Moscovita biotita xisto

GeAl 118	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,5143981	-36,400651	Biotita gnaiss granodiorítico (mesossoma)
GeAl 533	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,3111372	-36,079349	Biotita ortognaiss porfírico
GeAl 451	NPm1	Domínio Macururé	-9,7184523	-36,850282	Biotita gnaiss xistoso
GeAl 360	PPcac	Unidade Rio Coruripe	-9,6378213	-36,483586	Calciossilicática (diopsidito)
GeAl 043	NP3yo	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,3716865	-36,403522	Granito fino
GeAl 522	NPm1	Domínio Macururé	-9,8989338	-36,650229	Granada biotita gnaiss xistoso
GeAl 496	NPm1	Domínio Macururé	-9,8049959	-37,047253	Biotita gnaiss
GeAl 475	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,8152499	-36,940896	Biotita gnaiss
GeAl 637	APPn1	Domo Jirau do Ponciano	-9,9800727	-36,786368	Biotita gnaiss (migmatito)
GeAl 227	NP?i	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,1279049	-36,147469	Biotita augen gnaiss granítico
GeAl 378	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,6461814	-36,67938	Biotita gnaiss (mesossoma)
GeAl 594	NPm1	Domínio Macururé	-9,7798022	-37,019131	Biotita gnaiss xistoso
GeAl 449	NPm1	Domínio Macururé	-9,7149155	-36,922999	Biotita gnaiss
GeAl 390	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,6383393	-36,565777	Biotita granito porfírico
GeAl 435	NP?i	Unidade Rio Coruripe	-9,6343131	-36,823246	Biotita gnaiss xistoso
GeAl 091	NP3?i	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,2850599	-36,293047	Hornblenda granito
GeAl 058	NP3?it	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4122116	-36,271701	Granito
GeAl 394	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,6060816	-36,526926	Biotita gnaiss (mesossoma)
GeAl 505	NPm1	Domínio Macururé	-9,9233123	-36,961576	Moscovita granada biotita gnaiss
GeAl 556	NPar	Domínio Canindé	-9,5777155	-36,925314	Biotita gnaiss
GeAl 369	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,5113434	-36,64774	Biotita augen gnaiss (mesossoma)

GeAl 068	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,5815371	-36,509186	Biotita granada gnaiss (paraderivado)
GeAl 452	NPm1	Domínio Macururé	-9,7139545	-36,863821	Biotita gnaiss xistoso
GeAl 583	NPm1	Domínio Macururé	-9,8626656	-37,240404	Granada biotita gnaiss
GeSe 472-A	qt	Domínio Macururé	-9,9701422	-37,190093	Xisto
GeAl 097	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,6501559	-36,314943	Granada biotita gnaiss (mesossoma)
GeAl 671	APPn1	Domo Jirau do Ponciano	-9,9531411	-36,829436	Biotita gnaiss bandado (mesossoma)
GeAl 472	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,7968213	-36,888317	Moscovita biotita gnaiss
GeAl 002	NPcb	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4248884	-36,662463	Biotita ortognaiss
GeSe 477	NPm1	Domínio Macururé	-9,9502928	-37,120226	Xisto arenoso
GeAl 431	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,6582944	-36,823547	Biotita gnaiss bandado
GeAl 514-A	NPm1	Domínio Macururé	-9,8569856	-37,06651	Biotita gnaiss bandado
GeAl 127	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,1404074	-36,017106	Biotita gnaiss estirado
GeAl 586	NPm1	Domínio Macururé	-9,784008	-37,196506	Biotita gnaiss xistoso
GeAl 421	NPar	Domínio Canindé	-9,675435	-37,001069	Moscovita biotita gnaiss (neossoma)
GeAl 359	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,6300522	-36,465395	Granada biotita gnaiss (mesossoma)
GeAl 426	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,6908858	-36,729911	Biotita gnaiss (mesossoma)
GeSe 474	NPm1	Domínio Macururé	-9,9686112	-37,164677	Xisto arenoso
GeAl 483	APPjp	Domo Jirau do Ponciano	-9,8691552	-36,864743	Biotita gnaiss granoblástico
GeAl 439	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,7344119	-36,768173	Biotita gnaiss (mesossoma)
GeSe 604-B	NP3ylgr	Domínio Macururé	-10,012245	-37,090258	Tonalito gnaissoso +encravo
GeAl 638	APPn1	Domo Jirau do Ponciano	-9,996185	-36,795487	Biotita gnaiss migmatizado

GeAl 104	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,643782	-36,223289	Biotita augen gnaiss granítico
GeAl 559	NPar	Domínio Canindé	-9,5960119	-36,942162	Biotita gnaiss
GeAl 429	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,6606202	-36,792808	Granada biotita gnaiss
GeAl 033	NPcbmi	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,3714355	-36,536598	Biotita gnaiss (mesossoma)
GeAl 019	NPcb	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4136554	-36,513339	Biotita gnaiss
GeAl 382-A	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,6795159	-36,646698	Biotita granito rosa
GeAl 494	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,8192259	-37,017949	Biotita gnaiss fitado
GeAl 616	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,8977012	-36,725898	Biotita gnaiss
GeAl 480	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,8376646	-36,976431	Biotita gnaiss
GeAl 444	NPm1	Domínio Macururé	-9,7393868	-36,905663	Moscovita / sericita quartzito
GeAl 579	NPm1	Domínio Macururé	-9,8289179	-37,277474	Clorita xisto
GeSe 478-A	NPm1	Domínio Macururé	-9,9573861	-37,103681	Xisto arenoso
GeSe 473	NPm1	Domínio Macururé	-9,9637284	-37,181009	Xisto
GeAl 121	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,6112768	-36,416877	Granada biotita gnaiss xistoso
GeAl 474	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,8080466	-36,904176	Biotita gnaiss
GeAl 593	NPm1	Domínio Macururé	-9,8034505	-37,030119	Moscovita biotita gnaiss
GeAl 430	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,6535144	-36,799604	Biotita gnaiss bandado
GeAl 067	PPcaa	Unidade Rio Coruripe	-9,5321938	-36,532877	Biotita anfibolito (paleossoma)
GeAl 373	PPcau	Unidade Rio Coruripe	-9,6042168	-36,704737	Piroxenito
GeAl 428	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,6607729	-36,774426	Biotita gnaiss (mesossoma)
GeSe 471	NPm1	Domínio Macururé	-9,9838906	-37,211512	Xisto arenoso

GeAl 563	NPar	Domínio Canindé	-9,595344	-36,965263	Granito leucocrático
GeAl 596	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,7876583	-36,906227	Biotita gnaiss xistoso
GeAl 422	NPm1	Domínio Macururé	-9,6518839	-36,921191	Moscovita biotita gnaiss
GeAl 445	NPm1	Domínio Macururé	-9,7308639	-36,931019	Sericita/ moscovita quartzito
GeAl 618	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,9110172	-36,674935	Biotita gnaiss xistoso
GeAl 464	NPm1	Domínio Macururé	-9,7782805	-37,007776	Moscovita biotita gnaiss
GeAl 415	NPm1	Domínio Macururé	-9,661865	-36,914033	Biotita moscovita Gnaiss
GeAl 657	APPn1	Domo Jirau do Ponciano	-9,979125	-36,808466	Biotita gnaiss bandado
GeAl 581	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,8368551	-37,243959	Biotita gnaiss
GeAl 389	PPcac	Unidade Rio Coruripe	-9,6732947	-36,565817	Calciossilicática/diopsidito
GeAl 358	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,5917556	-36,440761	Granada biotita gnaiss (mesossoma)
GeAl 487	APPjp	Domo Jirau do Ponciano	-9,8427118	-36,910156	Granito neossoma
GeSe 469	NPm1	Domínio Macururé	-9,9978345	-37,22062	Xisto
GeAl 372	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,57043	-36,669015	Biotita gnaiss granodiorítico (mesossoma)
GeAl 116	NP?i	Unidade Rio Coruripe	-9,4835589	-36,446146	Biotita gnaiss granodiorítico
GeAl 107	NP3?i	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,6117069	-36,14873	Granito grosseiro
GeAl 437	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,6600376	-36,797795	Granada biotita gnaiss
GeAl 617	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,9133032	-36,731615	Biotita gnaiss fitado
GeAl 054	NP3?it	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4792509	-36,280837	Biotita granodiorito
GeAl 611	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,9077719	-36,784376	Biotita gnaiss

GeAl 548	NPar	Domínio Canindé	-9,5983681	-36,998672	Granada biotita gnaïsse
GeAl 380	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,6537285	-36,658125	Biotita gnaïsse
GeAl 538	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,3604779	-36,101168	Biotita ortognaïsse
GeAl 554	NPar	Domínio Canindé	-9,5641912	-36,941734	Moscovita biotita gnaïsse
GeSe 468	NPm1	Domínio Macururé	-10,013653	-37,208367	Xisto arenoso
GeAl 515	APPjp	Domo Jirau do Ponciano	-9,8466285	-37,103615	Biotita gnaïsse
GeAl 414-A	NPm1	Domínio Macururé	-9,6687175	-36,89344	Biotita gnaïsse
GeAl 384	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,7008543	-36,635017	Granada biotita granito gnáïssico
GeAl 120	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4740609	-36,413997	Biotita gnaïsse xistoso
GeAl 070	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,5951387	-36,471983	Granada biotita gnaïsse (mesossoma)
GeAl 587	NPm1	Domínio Macururé	-9,7935208	-37,185052	Biotita moscovita Gnaïsse
GeAl 393	PPcac	Unidade Rio Coruripe	-9,6443917	-36,506075	Calciossilicática/diopsidito
GeAl 447-A	NPm1	Domínio Macururé	-9,7131386	-36,932594	Moscovita granito grosseiro
GeAl 381	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,661104	-36,646334	Augen gnaïsse
GeAl 600	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,8458738	-36,849435	Biotita gnaïsse
GeAl 007	NPcb	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4640944	-36,534503	Moscovita biotita ortognaïsse
GeAl 005	NPcbmi	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4548588	-36,56951	Biotita gnaïsse (neossoma)
GeAl 427	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,6714875	-36,758397	Biotita gnaïsse xistoso
GeAl 006	NPcbmi	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4420398	-36,549349	Biotita gnaïsse (neossoma)
GeAl 443	NPm1	Domínio Macururé	-9,7424476	-36,888988	Sericita/ moscovita quartzito
GeAl 405	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,5593135	-36,73873	Biotita gnaïsse bandado
GeAl 368	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,4981332	-36,650835	Biotita granito (anatexia)
GeSe 470	NPm1	Domínio Macururé	-10,003867	-37,226123	Xisto

GeAl 392	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,6426397	-36,5288	Biotita gnaiss (nebulito)
GeAl 568	NPar	Domínio Canindé	-9,6611243	-37,117828	Biotita gnaiss xistoso
GeAl 493	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,8238291	-37,012143	Moscovita biotita gnaiss
GeAl 397	NP?i	Unidade Rio Coruripe	-9,5984849	-36,583664	Biotita granito médio
GeAl 489	APPjp	Domo Jirau do Ponciano	-9,8439429	-36,936917	Biotita gnaiss estromatico
GeAl 356	NPyi	Unidade Rio Coruripe	-9,546745	-36,328856	Biotita granodiorito
GeAl 243	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4056653	-36,128795	Biotita granito fino gnaissoso
GeAl 612	APP?sc	Domo Jirau do Ponciano	-9,9058423	-36,782328	Ortognaiss
GeAl 613	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,8950694	-36,789292	Biotita ortognaiss
GeAl 516	NPmsc	Domínio Macururé	-9,811599	-36,666365	Biotita gnaiss
GeAl 576	APPjp	Domo Jirau do Ponciano	-9,8249648	-37,247103	Biotita gnaiss
GeSe 479	NPm1	Domínio Macururé	-9,9602561	-37,090151	Xisto arenoso
GeAl 476	APPn1	Domo Jirau do Ponciano	-9,808033	-36,9137	Biotita gnaiss
GeAl 365-A	PPcac	Unidade Rio Coruripe	-9,7225378	-36,60556	Calciossilicática/diopsidito
GeAl 075	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,5694237	-36,350027	Granada biotita gnaiss (paraderivada)
GeSe 476	NPm1	Domínio Macururé	-9,9469495	-37,13664	Xisto arenoso
GeAl 078	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,5556055	-36,266852	Biotita gnaiss (mesossoma)
GeAl 478	APPn1	Domo Jirau do Ponciano	-9,8116468	-36,971458	Augen gnaiss
GeAl 655	APPn1	Domo Jirau do Ponciano	-9,9878649	-36,792014	Biotita gnaiss bandado

GeAl 038	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,3251699	-36,463793	Biotita gnaiss (mesossoma)
GeAl 071	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,5894459	-36,452277	Granada biotita gnaiss
GeAl 113	NPyi	Unidade Rio Coruripe	-9,5525865	-36,414289	Biotita granito
GeAl 575	APPjp	Domo Jirau do Ponciano	-9,8221868	-37,23617	Biotita gnaiss
GeAl 432	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,6625265	-36,841082	Gnaiss grosseiro
GeAl 411	NPm1	Domínio Macururé	-9,6846586	-36,850597	Granada biotita gnaiss xistoso
GeAl 087	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4144125	-36,17716	Biotita granito gnaissoso
GeAl 069	NP?i	Unidade Rio Coruripe	-9,5627103	-36,4999	Moscovita biotita granada granito
GeAl 375-B	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,6289314	-36,687904	Gnaiss fino xistoso
GeAl 395	PPcaq	Unidade Rio Coruripe	-9,5801551	-36,572958	Quartzito bandado
GeAl 117	NP?i	Unidade Rio Coruripe	-9,534693	-36,411584	Biotita granito fino
GeAl 591	NPmsc	Domínio Macururé	-9,8166775	-37,116291	Moscovita augen gnaiss
GeAl 560	NPar	Domínio Canindé	-9,5861369	-36,947558	Moscovita ortognaiss
GeSe 475	NPm1	Domínio Macururé	-9,9557399	-37,155192	Xisto
GeAl 109	NP3?i	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,575957	-36,099496	Biotita granito/granodiorito
GeAl 455	NPm1	Domínio Macururé	-9,6980499	-36,855714	Moscovita gnaiss
GeAl 503	NPmsc	Domínio Macururé	-9,896325	-36,938478	Biotita gnaiss fitado
GeAl 523	NPm1	Domínio Macururé	-9,883973	-36,645805	Biotita granito fino
GeAl 588	NPm1	Domínio Macururé	-9,798611	-37,17334	Moscovita biotita gnaiss
GeAl 482	APPjp	Domo Jirau do Ponciano	-9,8795775	-36,837941	Biotita gnaiss
GeAl 251	NP3?it	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,2444963	-36,003904	Granito gnaiss fino

GeAl 076	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,5835388	-36,31617	Ortognaisse granodiorítico (mesossoma)
GeAl 519	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,9136437	-36,630527	Moscovita biotita quartzito
GeAl 557	NPar	Domínio Canindé	-9,5890083	-36,930319	Biotita gnaïsse
GeAl 566	NPar	Domínio Canindé	-9,6584834	-37,091359	Biotita gnaïsse xistoso
GeAl 398	NPyi	Unidade Rio Coruripe	-9,5882425	-36,593579	Moscovita granito grosseiro
GeAl 440	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,7540555	-36,786729	Biotita gnaïsse
GeAl 010	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,5095192	-36,523791	Biotita gnaïsse bandado (mesossoma)
GeSe 603-A	NP3ylgr	Domínio Macururé	-10,016631	-37,076506	Granodiorito gnaïssoso
GeAl 367	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,4867289	-36,655045	Biotita gnaïsse
GeAl 628	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,9810488	-36,559836	Biotita gnaïsse xistoso
GeAl 625	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,9743504	-36,627172	Gnaïsse estirado
GeAl 406	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,574897	-36,74318	Biotita gnaïsse bandado
GeAl 363	PPcaq	Unidade Rio Coruripe	-9,6819365	-36,552184	Quartzito
GeAl 626	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,9841951	-36,633966	Augen moscovita xisto
GeAl 580	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,8302384	-37,247659	Moscovita biotita gnaïsse
GeAl 513	NPm1	Domínio Macururé	-9,8715287	-37,069342	Biotita granito gnaïssoso
GeAl 615	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,8897517	-36,723792	Moscovita granito
GeAl 555	NPar	Domínio Canindé	-9,5721105	-36,929729	Moscovita biotita gnaïsse
GeAl 608	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,8910022	-36,755193	Biotita gnaïsse
GeAl 015-B	NPcbmi	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,3850324	-36,543854	Biotita gnaïsse (mesossoma)

GeAl 073	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,5825334	-36,418123	Granodiorito
GeAl 602	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,8118042	-36,868984	Gnaiss
GeSe 604-A	NP3ylgr	Domínio Macururé	-10,012245	-37,090258	Granodiorito gnaissoso
GeAl 589	NPm1	Domínio Macururé	-9,8064027	-37,156453	Augen gnaiss
GeAl 677	NPm1	Domínio Macururé	-9,9813641	-36,922408	Moscovita biotita gnaiss
GeAl 497-A	NPm1	Domínio Macururé	-9,7920115	-37,06243	Granada biotita gnaiss xistoso (crenulado)
GeAl 658	APPn1	Domo Jirau do Ponciano	-9,9993086	-36,83068	Biotita gnaiss bandado
GeAl 055	NP3?it	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4652878	-36,278026	Granada biotita granito
GeAl 467	NPmscx	Domínio Macururé	-9,7780957	-36,937379	Biotita gnaiss
GeAl 357	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,5655267	-36,321427	Biotita gnaiss
GeAl 562	NPar	Domínio Canindé	-9,5745627	-36,977673	Granito leucocrático
GeAl 675	APPn1	Domo Jirau do Ponciano	-9,9671277	-36,870764	Biotita gnaiss bandado
GeAl 492	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,8329786	-36,998599	Biotita gnaiss fitado
GeAl 481	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,8459603	-36,950558	Biotita gnaiss (mesossoma)
GeAl 547	NP3?i	Domínio Macururé	-9,6022969	-36,999651	Granito leucocrático
GeAl 598	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,8731781	-36,835112	Biotita gnaiss
GeAl 574	APPjp	Domo Jirau do Ponciano	-9,81272	-37,232455	Biotita gnaiss
GeAl 371	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,5592217	-36,662062	Biotita ortognaiss
GeAl 404-A	PPcaq	Unidade Rio Coruripe	-9,5322391	-36,749088	Quartzito/calciossilicática

GeAl 362	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,6664984	-36,524	Gnaiss pegmatoidal
GeAl 485	APPjp	Domo Jirau do Ponciano	-9,8521583	-36,866939	Biotita gnaiss
GeAl 424	NPm1	Domínio Macururé	-9,6295484	-36,918213	Gnaiss grosseiro
GeAl 610	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,9094873	-36,77317	Biotita gnaiss (paraderivado)
GeAl 407	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,5833047	-36,750473	Biotita gnaiss
GeAl 603	APPjp	Domo Jirau do Ponciano	-9,8627751	-36,825327	Biotita gnaiss
GeAl 470	NPmsc	Domínio Macururé	-9,787795	-36,861428	Sericita quartzito
GeAl 550	NP3?i	Domínio Macururé	-9,5730641	-36,992017	Granito leucocrático
GeAl 017	NPcb	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4085458	-36,533378	Granada gnaiss
GeAl 053	NP3?it	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4879959	-36,270266	Biotita granito
GeAl 013	NPcbmi	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4341164	-36,557451	Biotita ortognaiss
GeAl 425	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,6347172	-36,870588	Moscovita granito grosseiro
GeAl 479	APPjp	Domo Jirau do Ponciano	-9,826098	-36,969511	Biotita gnaiss
GeAl 676	NPmsc	Domínio Macururé	-9,9813796	-36,888907	Sericita quartzito
GeAl 599	APPjp	Domo Jirau do Ponciano	-9,8536186	-36,846395	Biotita gnaiss bandado
GeAl 459	NParm	Domínio Canindé	-9,7084472	-37,040134	Mármore
GeAl 396	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,5600398	-36,59915	Granito grosseiro (nebulito)
GeAl 569	NPar	Domínio Canindé	-9,7496845	-37,193665	Moscovita gnaiss
GeAl 673	APPn1	Domo Jirau do Ponciano	-9,938702	-36,858166	Biotita gnaiss bandado
GeAl 491	APPjp	Domo Jirau do Ponciano	-9,8373681	-36,985812	Biotita gnaiss fino
GeAl 015-A	NPcbmi	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,3850324	-36,543854	Pegmatito
GeAl 561	NPar	Domínio Canindé	-9,5652696	-36,955971	Granito leucocrático

GeAl 469	NPmsc	Domínio Macururé	-9,7904578	-36,852262	Biotita Gnaiss e Sericita Quartzito
GeAl 601	APPn2q	Domo Jirau do Ponciano	-9,8327195	-36,857485	Quartzito
GeAl 375-A	PPcac	Unidade Rio Coruripe	-9,6289314	-36,687904	Calciossilicática
GeAl 490	APPjp	Domo Jirau do Ponciano	-9,840715	-36,963579	Biotita gnaiss
GeAl 565	NParm	Domínio Canindé	-9,6587213	-37,069193	Mármore
GeAl 498	NPm1	Domínio Macururé	-9,765509	-37,094844	Granito gnaissoso
GeAl 412	NPm1	Domínio Macururé	-9,6765443	-36,874224	Moscovita gnaiss
GeAl 460	NParm	Domínio Canindé	-9,7085166	-37,065045	Mármore
GeAl 252	NP3?it	Domínio Macururé	-9,905935	-36,468382	Sericita quartzito (milonito)
GeAl 379-A	PPcac	Unidade Rio Coruripe	-9,6529037	-36,663086	Calciossilicática
GeAl 004	NPcbmi	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4571895	-36,594306	Pegmatito (neossoma)
GeAl 504	NPm1	Domínio Macururé	-9,9109934	-36,952918	Quartzito
GeAl 011	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,4842504	-36,571233	Biotita gnaiss bandado
GeAl 454	NPm1	Domínio Macururé	-9,7030361	-36,871151	Granada biotita gnaiss
GeAl 590	NPm1	Domínio Macururé	-9,8119895	-37,138238	Moscovita gnaiss
GeAl 453	NPm1	Domínio Macururé	-9,7119391	-36,87402	Gnaiss leucocrático fino
GeAl 377	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,6878324	-36,68149	Gnaiss
GeSe 472-B	qt	Domínio Macururé	-9,9701422	-37,190093	Quartzito xistoso
GeAl 438	PPcaq	Unidade Rio Coruripe	-9,7471503	-36,711447	Sericita quartzito
GeAl 604	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,855973	-36,817533	Biotita gnaiss bandado
GeAl 420	NPar	Domínio Canindé	-9,6927057	-37,005067	Moscovita granito grosseiro
GeAl 544	NP3?i	Domínio Macururé	-9,6429643	-36,997836	Pegmatito
GeAl 558	NPar	Domínio Canindé	-9,5979077	-36,940229	Granito leucocrático
GeSe 426	NPm1	Domínio Macururé	-10,009632	-37,239226	Xisto
GeAl 468	NPmsc	Domínio Macururé	-9,7698366	-36,893545	Quartzito

GeAl 571	NPm1	Domínio Macururé	-9,774505	-37,21679	Quartzo sericita xisto
GeAl 009	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,4756811	-36,507878	Pegmatito (neossoma)
GeAl 016	NPcbmi	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4088465	-36,554498	Ortognaisse
GeAl 477	NPmscx	Domínio Macururé	-9,8000386	-36,96966	Quartzito
GeAl 419	NP3?i	Domínio Macururé	-9,6425702	-36,98606	Moscovita granito grosseiro
GeAl 237	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,2877206	-36,134955	Gnaiss granítico (neossoma)
GeAl 486	APPjp	Domo Jirau do Ponciano	-9,8438766	-36,89686	Biotita gnaiss ritmito
GeAl 012	NPcb	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4534728	-36,535325	Biotita granito
GeAl 014-A	NPcbmi	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4077179	-36,566418	Biotita gnaiss
GeAl 014-B	NPcbmi	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4077179	-36,566418	Granada biotita xisto (mesossoma)
GeAl 018-B	NPcb	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4226747	-36,524968	Granada biotita gnaiss
GeAl 028	NPcb	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4514447	-36,403136	Biotita ortognaisse granítico
GeAl 034-A	NPcbmi	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,3579729	-36,522671	Granada biotita gnaiss (mesossoma)
GeAl 034-B	NPcbmi	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,3579729	-36,522671	Granodiorito porfírico
GeAl 035-B	NPcbmi	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,3456512	-36,512995	
GeAl 039	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,3404269	-36,45039	Biotita gnaiss
GeAl 040-A	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,3494716	-36,435249	Hornblenda ortognaisse

GeAl 046	NP3?i	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,3405911	-36,320484	Granito médio
GeAl 049	NP3?it	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,5034127	-36,236179	Biotita gnaiss granodiorítico
GeAl 051	NP3?it	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,5141785	-36,255169	Biotita granodiorito porfírico gnaissoso
GeAl 056	NP3?it	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4445471	-36,271556	Biotita granito
GeAl 059-B	NPcb	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,4012075	-36,27529	Biotita gnaiss porfírico xistoso
GeAl 060-A	NP3?it	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,402654	-36,291847	Granito
GeAl 060-B	NPcb	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,402654	-36,291847	Biotita gnaiss xistoso
GeAl 063	NP?i	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,3099831	-36,276955	Biotita granito
GeAl 064	NP?i	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,2934884	-36,284542	Biotita granito
GeAl 065	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,4829609	-36,575548	Biotita gnaiss porfírico (paragnaisse) (mesossoma)
GeAl 081-B	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,5163467	-36,228858	Biotita augen gnaiss granodiorítico (neossoma)
GeAl 086	NP3?it	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,442413	-36,186522	Biotita granito gnaissoso
GeAl 110	NP3?i	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,5222	-36,052485	Granito
GeAl 115	NPyi	Unidade Rio Coruripe	-9,495094	-36,452996	Biotita granito/granodiorítico
GeAl 217	NP?i	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,1435346	-36,059321	Biotita granito granodiorito porfírico

GeAl 222	NP?i	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,1595753	-36,179246	Biotita quartzo-monzonito (porfírico)
GeAl 224-B	NP?i	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,1637595	-36,230854	
GeAl 225-B	NP3?it	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,1425199	-36,246465	
GeAl 236-B	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,2734783	-36,138908	
GeAl 238	NP3?i	Domínio Pernambuco-Alagoas	-9,3044303	-36,131153	Biotita ortognaisse granítico
GeAl 259	PPbf	Domínio Pernambuco-Alagoas	-8,9827885	-36,077366	Biotita gnaissé estirado
GeAl 260	NPcb	Domínio Pernambuco-Alagoas	-8,968658	-36,103547	Moscovita quartzito
GeAl 361	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,6572677	-36,507156	Biotita gnaissé (mesossoma)
GeAl 365-B	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,7225378	-36,60556	Pegmatito
GeAl 379-B	PPcac	Unidade Rio Coruripe	-9,6529037	-36,663086	
GeAl 484	APPjp	Domo Jirau do Ponciano	-9,8608087	-36,868424	Biotita gnaissé ritimito
GeAl 404-B	PPcac	Unidade Rio Coruripe	-9,5322391	-36,749088	
GeAl 409-B	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,7199237	-36,691937	
GeAl 414-B	NP3?i	Domínio Macururé	-9,6687175	-36,89344	Moscovita granito grosseiro
GeAl 546	NPar	Domínio Canindé	-9,6190721	-36,997712	Moscovita biotita gnaissé
GeAl 495	NPm1	Domínio Macururé	-9,8086988	-37,029486	Moscovita biotita granito
GeAl 413	NP3?i	Domínio Macururé	-9,6756371	-36,864938	Biotita granito médio
GeAl 627	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,9997818	-36,603302	Biotita gnaissé bandado
GeAl 577	APPjp	Domo Jirau do Ponciano	-9,8221308	-37,25853	Biotita moscovita Gnaissé
GeAl 570	NPar	Domínio Canindé	-9,7678972	-37,211776	Moscovita biotita gnaissé
GeAl 418	NPar	Domínio Canindé	-9,6425351	-36,97236	Biotita gnaissé fino

GeAl 605	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,8757532	-36,823765	Biotita gnaiss bandado
GeAl 447-B	NPm1	Domínio Macururé	-9,7131386	-36,932594	
GeAl 423	NPm1	Domínio Macururé	-9,6425668	-36,920055	Moscovita biotita gnaiss
GeAl 614	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,8975653	-36,781263	Biotita gnaiss
GeAl 400	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,5534628	-36,629752	Biotita granito médio
GeAl 403	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,5276391	-36,699333	Biotita granito (anatexia)
GeAl 636	APPn1	Domo Jirau do Ponciano	-9,9380442	-36,806835	Biotita ortognaiss (mesossoma)
GeAl 465	NPmscx	Domínio Macururé	-9,781074	-36,972655	Moscovita quartzito
GeAl 621	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,9418239	-36,669403	Biotita gnaiss bandado
GeAl 417	NPar	Domínio Canindé	-9,6517599	-36,950241	Moscovita biotita gnaiss
GeAl 552	NPar	Domínio Canindé	-9,5551576	-36,954948	Moscovita biotita gnaiss
GeAl 606	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,8736675	-36,747126	Biotita gnaiss xistoso
GeAl 595	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,7786604	-36,908489	Biotita gnaiss
GeAl 514-B	NPm1	Domínio Macururé	-9,8569856	-37,06651	
GeAl 466	NPmscx	Domínio Macururé	-9,7868085	-36,950667	Biotita moscovita Gnaiss
GeAl 520	APPn2	Domo Jirau do Ponciano	-9,9250739	-36,620045	Biotita gnaiss
GeAl 620	APPjp	Domo Jirau do Ponciano	-9,9578669	-36,6865	Biotita granada gnaiss
GeAl 409-A	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,7199237	-36,691937	Biotita gnaiss (mesossoma)
GeAl 578	NPm1	Domínio Macururé	-9,8245233	-37,268463	Granada biotita/clorita xisto
GeAl 433	PPca	Unidade Rio Coruripe	-9,6400095	-36,826434	Moscovita biotita gnaiss
GeAl 667	NPmsc	Domínio Macururé	-10,011575	-36,874268	Moscovita quartzito

GeAl 668	NPmscx	Domínio Macururé	-9,9961019	-36,888612	moscovita gnaiss xistoso
GeAl 670	APPn1	Domo Jirau do Ponciano	-9,9552233	-36,836925	Gnaiss bandado
GeAl 447-C	NPm1	Domínio Macururé	-9,7131386	-36,932594	Biotita gnaiss
GeSe 478-B	NPm1	Domínio Macururé	-9,9573861	-37,103681	Calcicossilicática
GeSe 603-B	NP3ylgr	Domínio Macururé	-10,016631	-37,076506	Tonalito gnaissoso + encravo

Micropetrografia	Unidade Geológica	Densidade	Susceptibilidade Magnética
	Complexo Cabrobó - Unidade 1 mig. (Palmeira dos índios)	2,64287819	6141,15
Cordierita gnaiss (kinzigito)	Complexo Arapiraca	2,745858841	85,57481176
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,975876428	1,319332353
	Complexo Arapiraca	2,734029177	81,06288235
	Complexo Arapiraca	2,956385902	0,478888235
Agmatito: Banda máfica: anfibolítica e banda félsica:biotita gnaiss quartzo diorítico	Complexo Belém do São Francisco	2,762	54,59533529
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,858942841	1,192870588
	Complexo Arapiraca	2,724611609	45,57790588
	Complexo Arapiraca	2,721802665	44,53553824
	Complexo Belém do São Francisco	2,621778563	40,11927353
Biotita cordierita gnaiss (mesossoma)	Complexo Arapiraca	2,847242839	0,350361765
	Complexo Arapiraca	2,621134694	32,32912941
	Complexo Arapiraca	2,683271134	32,21601765
	Suite Intrusiva Tipo Itaporonga- Corpo 2 - Munguba	2,724	31,98519118
	Complexo Belém do São Francisco	2,631888304	31,89235
	Complexo Araticum	2,845850139	
	Complexo Belém do São Francisco	2,6409469	27,98331765
	Complexo Araticum - ultramáficas	2,573291444	27,71592059

	Complexo Cabrobó - Unidade 1 (Palmeira dos Índios)	3,065345987	25,32308529
	Granitóides Indiscriminados Pré Brasílios - Santana do Mundaú	2,676255403	23,27547059
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,829787788	16,20127059
Biotita augen gnaisse (sienogranítico)	Suite Intrusiva Tipo Itaporonga- Corpo 2 - Munguba	2,685756828	19,76600588
	Suite Intrusiva Tipo Itaporonga- Corpo 1 - Viçosa	2,625607424	19,16419412
	Complexo Cabrobó - Unidade 1 (Palmeira dos Índios)	3,002506177	19,06027941
Biotita ortognaisse (granodiorítica)	Complexo Belém do São Francisco	2,688283288	18,91545294
	Complexo Belém do São Francisco	2,629814247	18,88556765
	Complexo Cabrobó - Unidade 1 (Palmeira dos Índios)	2,732	18,46990857
	Complexo Belém do São Francisco	2,64255386	18,39089943
	Complexo Araticum	2,822701827	
	Granitóides Indiscriminados Brasílios - Chã Preta	2,618786214	17,93372353
Biotita augen ortognaisse (monzogranítico) (mesossoma)	Complexo Belém do São Francisco	2,629312445	17,27396765
	Complexo Belém do São Francisco	2,689459326	17,24584857
	Complexo Arapiraca	2,506210476	17,07528529
	Complexo Araticum	2,822003697	0,531223529
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,73276116	16,59962647

	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 1	2,817335925	1,137982353
Biotita quartzo-monzodiorito	Complexo Belém do São Francisco	2,627283594	16,35028824
	Complexo Araticum	2,813621016	
Granada biotita gnaissé	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,809132445	0,386355882
	Complexo Cabrobó - Unidade 1 (Palmeira dos Índios)	2,579654372	14,81164412
	Complexo Belém do São Francisco	2,80603365	14,74928824
Biotita monzogranito	Granitóides Indiscriminados Pré Brasílianos - Santana do Mundaú	2,572420728	14,43354118
	Complexo Belém do São Francisco	2,729338426	14,40594412
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,8071722	0,388829412
Ortognaisse (sienogranítico a monzogranítico)	Complexo Cabrobó - Unidade 1 (Palmeira dos Índios)	2,64615706	13,45612353
Hornblenda granodiorito	Granitóides Indiscriminados Pré Brasílianos -Santana do Mundaú	2,725368924	13,03418235
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,797712062	0,404067647
	Complexo Belém do São Francisco	2,59631142	12,55616765
	Complexo Belém do São Francisco	2,535237589	12,44271471
	Complexo Arapiraca	2,793832006	0,304635294
	Complexo Belém do São Francisco	2,58346054	12,03615294
	Complexo Belém do São Francisco	2,603217391	11,92683333
	Complexo Jirau do Ponciano	2,781824352	
	Complexo Arapiraca	2,600797558	11,01084118

Augen ortognaisse (quartzo-sienítico)	Complexo Belém do São Francisco	2,630898406	10,71469706
Biotita monzogranito	Complexo Belém do São Francisco	2,905408436	10,69317941
Protomilonito de biotita hornblenda quartzo-monzodiorito	Complexo Belém do São Francisco	2,63290458	10,56019118
	Grupo Macururé - Unidade NPM1	2,774456239	
Biotita granodiorito	Suite Intrusiva Tipo Itaporonga- Corpo 1 - Viçosa	2,630574576	10,29201471
	Complexo Belém do São Francisco	2,622590965	10,17606176
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,766787891	10,43282941
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 1 metamáficas	2,912673932	9,759041176
	Granitóides Indiscriminados Pré Brasílios - Santana do Mundaú	2,597295542	9,719737143
Hornblenda biotita augen gnaisse (tonalítico a quartzo-diorítico) (mesossoma),	Complexo Belém do São Francisco	2,791842881	9,504741176
	Suite Intrusiva Tipo Itaporonga- Corpo 1 - Viçosa	2,706196237	9,456114286
	Suite Intrusiva Tipo Itaporonga- Corpo 1 - Viçosa	2,639791749	9,330138235
	Complexo Belém do São Francisco	2,671814255	9,021022857
	Suite Intrusiva Tipo Itaporonga- Corpo 1 - Viçosa	2,599669393	8,915917647
	Complexo Belém do São Francisco	2,517315578	8,870535294

	Granitóides Indiscriminados Pré Brasílios - Santana do Mundaú	2,631135314	8,791791176
	Granitóides Indiscriminados Brasílios - Chã Preta	2,65191925	8,610344118
	Complexo Belém do São Francisco	2,614943596	8,545517647
Biotita augen ortognaisse (quartzo- monzonítico)	Complexo Belém do São Francisco	2,635511194	8,483638235
	Suite Intrusiva Tipo Itaporonga- Corpo 2 - Munguba	2,578736604	8,472317143
	Granitóides Indiscriminados Pré Brasílios - Santana do Mundaú	2,742927003	8,295297059
	Complexo Belém do São Francisco	2,654	8,286755882
	Complexo Belém do São Francisco	2,613370639	8,265458824
	Complexo Araticum	2,765690004	0,397897059
	Complexo Jirau do Ponciano	2,564205696	8,104211765
	Granitóides Indiscriminados Brasílios - Branquinha	2,654981911	8,090068571
Anfibólio alcalino biotita quartzo- monzonito	Granitóides Indiscriminados Pré Brasílios - Santana do Mundaú	2,672	8,035071429
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,761720649	
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,761196584	0,328258824
Augen ortognaisse monzogranítico	Complexo Belém do São Francisco	2,593611104	7,735117647
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,758583782	
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,755536727	1,380709438
	Granitóides Indiscriminados Pré Brasílios - Santana do Mundaú	2,746663605	7,4013

Biotita augen gnaisse (quartzo-monzonítico)	Complexo Belém do São Francisco	2,684108327	7,292711765
	Complexo Belém do São Francisco	3,111225696	7,089821637
Biotita augen ortognaisse (monzogranítico)	Complexo Belém do São Francisco	2,668248523	7,068794118
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,754411176	0,230105882
Sienogranito	Suite Intrusiva Tipo Itaporonga- Corpo 1 - Viçosa	2,658204981	6,639338235
Sienogranito	Granitóides Indiscriminados Brasílios - Chã Preta	2,698325	6,570061765
	Complexo Belém do São Francisco	2,754492854	6,563094286
	Suite Intrusiva Tipo Itaporonga- Corpo 1 - Viçosa	2,652	6,518523529
Monzogranito aplítico	Complexo Belém do São Francisco	2,583358457	6,476318966
Monzogranito (protomilonito)	Granitóides Indiscriminados Brasílios - Chã Preta	2,616738288	6,251894118
Hornblenda quartzo-monzonito	Granitóides Indiscriminados Brasílios - Chã Preta	2,628542519	6,152067647
Anfibólio alcalino quartzo-sienito	Granitóides Indiscriminados Pré Brasílios -Santana do Mundaú	2,586883263	5,953623529
Biotita hornblenda ortognaisse (quartzo-diorítico)	Complexo Belém do São Francisco	2,71528633	5,859691176
	Granitóides Indiscriminados Brasílios Boca da Mata	2,568568737	5,829355882
	Granitóides Indiscriminados Pré Brasílios -Santana do Mundaú	2,643787013	5,784485294
Biotita granada gnaisse	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,752753403	0,395573529
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,752452595	0,179402941

	Suite Intrusiva Tipo Itaporonga- Corpo 15	2,568746822	5,409805882
	Complexo Araticum	2,749907185	
	Suite Intrusiva Tipo Itaporonga- Corpo 1 - Viçosa	3,030333627	5,367055882
	Complexo Arapiraca	2,74984997	0,100517647
	Complexo Belém do São Francisco	2,645140536	5,014334286
	Complexo Belém do São Francisco	2,543194564	4,982264706
Biotita anfibólio augen ortognaisse (monzogranítico)	Complexo Cabrobó - Unidade 1 (Palmeira dos Índios)	2,593622918	4,971385294
Biotita augen ortognaisse (sienogranítico)	Complexo Cabrobó - Unidade 1 (Palmeira dos Índios)	2,784816405	4,717859195
	Granitóides Indiscriminados Pré Brasilianos - Santana do Mundaú	2,996786743	4,701079412
	Complexo Arapiraca	2,749563267	5,441629412
	Complexo Belém do São Francisco	2,612010586	4,475667647
	Complexo Belém do São Francisco	2,586059896	4,459044118
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 1	2,59937494	4,359426471
	Complexo Belém do São Francisco	2,624658545	4,164697143
	Granitóides Indiscriminados Pré Brasilianos - Santana do Mundaú	2,631730191	4,091697059
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,748792331	0,318976471
	Complexo Cabrobó - Unidade 1 mig (Palmeira dos índios)	2,627989162	4,001776471

	Complexo Belém do São Francisco	2,744169892	3,972997059
	Complexo Belém do São Francisco	2,60534053	3,809135294
	Granitóides Indiscriminados Pré Brasílios - Santana do Mundaú	2,613240096	3,790691176
	Complexo Belém do São Francisco	2,601510625	3,743082353
	Complexo Arapiraca	2,645259711	3,588943853
	Complexo Belém do São Francisco	2,606	3,578920588
	Complexo Belém do São Francisco	2,545390469	3,576741176
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 1	2,688341414	3,508276471
	Complexo Jirau do Ponciano	2,660623894	3,496314706
	Complexo Belém do São Francisco	2,717808734	3,259217143
Biotita augen ortognaisse (monzogranítico)	Complexo Belém do São Francisco	2,685845038	3,098738235
	Complexo Arapiraca	2,569884284	3,042525714
Anfibólio alcalino quartzo-monzodiorito	Complexo Belém do São Francisco	2,551521898	3,014014706
	Complexo Arapiraca	2,74750055	85,3271
	Plutonismo Pós Brasileiro - Águas Belas - eo-cambriano	2,524020836	2,87605
	Suite Intrusiva Tipo Itaporonga- Corpo 15	2,558621393	2,839129412
	Granitóides Indiscriminados Brasílios - Boca da Mata	2,601694108	2,832882353

	Complexo Belém do São Francisco	2,670993326	2,7294
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,74649483	0,335835294
	Complexo Belém do São Francisco	2,979568519	2,363038235
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,745158825	
	Complexo Belém do São Francisco	2,622926129	2,270370588
Granada biotita gnaiss	Complexo Araticum	2,744841597	0,301552941
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,743891031	31,67860294
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,741197071	0,148213068
	Complexo Arapiraca	2,739824491	0,338276471
	Suite Intrusiva Tipo Ouro Branco - Quebrângulo	2,632225626	1,913320588
	Complexo Arapiraca	2,668669714	1,875855882
	Complexo Cabrobó - Unidade 1 (Palmeira dos Índios)	2,834890873	1,863290882
	Complexo Belém do São Francisco	2,764	1,826332353
	Complexo Arapiraca	2,925350685	1,748441176
	Complexo Arapiraca	2,771826865	1,676208824
	Complexo Belém do São Francisco	2,775467664	1,578276471
	Suite Intrusiva Tipo Itaporonga- Corpo 1 - Viçosa	2,638472704	1,572361212
Biotita augen gnaiss (mesossoma)	Complexo Arapiraca	2,738480326	48,39926149
Ortognaisse sienogranítico	Complexo Belém do São Francisco	2,626161551	1,4373
	Complexo Belém do São Francisco	2,658708142	1,435274286

	Complexo Jirau do Ponciano	2,578275316	1,393105726
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,737292082	0,402276471
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,736868802	
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 1	2,585097505	1,193582353
	Grupo Macururé – Formação Sta. Cruz	2,736124631	16,49315429
Biotita gnaïsse (tonalítica) (mesossoma)	Complexo Cabrobó - Unidade 1 mig. (Palmeira dos índios)	2,698770304	1,188438235
Biotita anfibólio sódico augen gnaïsse (quartzo-diorítico) (mesossoma)	Complexo Belém do São Francisco	3,076858333	1,168708824
	Complexo Belém do São Francisco	2,728589573	1,164882353
	Complexo Belém do São Francisco	2,576824333	1,147600579
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,733187774	0,232326471
	Complexo Araticum	2,730732897	0,225361765
	Grupo Macururé – Formação Sta. Cruz	2,666336719	1,0801
	Ortognaïsses Serra das Cabaças	2,583485431	0,933682353
	Granitóides Indiscriminados Brasileiros Boca da Mata	2,606149731	0,927564706
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,728431025	0,313708824
	Complexo Araticum - anfibólito	2,737619091	0,897647412
	Complexo Arapiraca	2,596844323	0,873641176
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,656319978	0,761602941
	Complexo Belém do São Francisco	2,754743185	0,758476471

	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,725787732	16,63202353
	Complexo Arapiraca	2,958402578	0,690614706
	Complexo Araticum - anfibolito	3,057981902	0,666531429
	Complexo Arapiraca	2,547403015	0,605258824
Quartzo-monzonito	Plutonismo Pós Brasileiro - Águas Belas - eo-cambriano	2,590087966	0,603679412
Monzogranito	Suite Intrusiva Tipo Ouro Branco - Quebrângulo	2,663470087	0,596761765
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,722773104	
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,722665432	0,319929412
	Granitóides Indiscriminados Brasílios - Chã Preta	2,629468835	0,559208571
Sienogranito	Complexo Belém do São Francisco	2,663637746	0,559158824
	Complexo Arapiraca	2,718873343	
	Complexo Arapiraca	2,679691153	0,528720588
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,715768044	0,908188235
	Complexo Jirau do Ponciano	2,591200484	0,510702941
	Complexo Cabrobó - Unidade 1 (Palmeira dos Índios)	2,615833188	0,487852941
	Complexo Belém do São Francisco	2,594777454	0,481808824
	Complexo Cabrobó - Unidade 1 (Palmeira dos Índios)	2,714839516	
	Complexo Belém do São Francisco	2,643940057	0,467735294
Moscovita biotita gnaiss	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,713833802	0,406191429

	Complexo Arapiraca	2,90230448	0,431708824
	Complexo Belém do São Francisco	2,609474558	0,429402941
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,711896533	
Diopsidito	Complexo Arapiraca	3,028082984	0,410879412
	Suite Intrusiva Tipo Ouro Branco - Quebrângulo	2,587964164	0,410111765
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,7098268	0,314779412
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,709795444	0,382285294
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,708151089	1,997408046
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 1	2,707460263	6,793668571
	Granitóides Indiscriminados Pré Brasileiros -Santana do Mundaú	2,714309956	0,397423529
	Complexo Arapiraca	2,703582053	14,12628161
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,702376089	0,228276471
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,702251423	0,238102857
	Complexo Arapiraca	2,587546631	0,385573529
	Granitóides Indiscriminados Pré Brasileiros - Craíbas	2,70198	
	Granitóides Indiscriminados Brasileiros - Chã Preta	2,541231233	0,374132353
Anfibólio quartzo sienito	Suite Intrusiva Tipo Itaporonga- Corpo 1 - Viçosa	3,052135586	0,367926471
	Complexo Arapiraca	2,725463516	0,363635294
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,698316768	0,319432353
	Complexo Araticum	2,698110356	0,243323529
Cordierita biotita augen gnaiss (mesossoma)	Complexo Arapiraca	2,695713738	0,323485294

Biotita granada gnaissse, (paraderivado)	Complexo Arapiraca	2,611001657	0,342814706
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,694631708	0,214344118
Granada biotita gnaissse	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,693060565	0,229502941
Granada-biotita-moscovita xisto	Grupo Macururé	2,7426026	0,328835294
Granada biotita gnaissse (mesossoma)	Complexo Arapiraca	2,609444882	0,328261765
Biotita gnaissse (tonalítico)	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 1	2,692782868	12,73111176
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,6926833	
	Complexo Cabrobó - Unidade 1 (Palmeira dos Índios)	2,691495684	0,091320588
	Grupo Macururé	2,83293759	0,319861765
	Complexo Arapiraca	2,691376941	7,438676471
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,686399669	0,061373529
	Complexo Belém do São Francisco	2,662	0,317132353
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,685013795	0,184717647
	Complexo Araticum	2,682154285	0,045835294
Cordierita silimanita biotita granada gnaissse (kinzigito)	Complexo Arapiraca	2,826860873	0,310088235
	Complexo Arapiraca	2,677477419	0,202317647
Granada-biotita-moscovita xisto arenoso	Grupo Macururé	2,82297494	0,302602941
	Complexo Jirau do Ponciano	2,676589556	5,517358824
	Complexo Arapiraca	2,673799043	55,50506176
(Moscovita)-biotita tonalito gnaissoso	Leucogranitóides		0,300355882
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 1	2,672834579	2,131057143

	Complexo Belém do São Francisco	2,639518835	0,294344118
	Complexo Araticum	2,67248211	0,186529412
	Complexo Arapiraca	2,671296234	
Biotita gnaiss (tonalítico) (mesossoma)	Complexo Cabrobó - Unidade 1 mig. (Palmeira dos índios)	2,538484543	0,276008824
	Complexo Cabrobó - Unidade 1 (Palmeira dos Índios)	2,671126142	0,273470588
	Complexo Arapiraca	2,670931238	18,05594412
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,670134146	15,2166
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,669992897	0,186364706
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,668747365	0,279014706
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,616927424	0,264908824
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,651874727	0,262682353
Granada-biotita-moscovita xisto arenoso	Grupo Macururé	2,809175225	0,262576471
	Grupo Macururé	2,837870961	0,261911765
Cordierita granada biotita gnaiss (kinzigito)	Complexo Arapiraca	2,620760332	0,247497059
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,668707744	0,426177143
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,668231077	0,115761765
	Complexo Arapiraca	2,667824827	
Metagabro	Complexo Arapiraca	2,663344977	0,241629412
Diopsidito tremolitizado	Complexo Arapiraca	3,015733632	0,240852941
	Complexo Arapiraca	2,664954722	
Moscovita-granada-biotita xisto arenoso	Grupo Macururé	2,712028306	0,237185294

	Complexo Araticum	2,643861494	0,234882353
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,662483258	0,122094828
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,659949084	0,045235294
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,67014249	0,229697143
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,658895931	0,194655882
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,655759394	0,229458824
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,655269641	
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 1	2,654790566	2,271617647
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,654538626	0,173082353
Diopsidito	Complexo Arapiraca	3,046994071	0,224191176
Biotita gnaiss (kinzigito) (mesossoma)	Complexo Arapiraca	2,811992836	0,224054286
	Complexo Jirau do Ponciano	2,570620068	0,220968391
	Grupo Macururé	2,764133572	0,214573529
	Complexo Arapiraca	2,653729167	1,975679412
	Granitóides Indiscriminados Pré Brasileiros - Belém	2,614165713	0,213541176
	Granitóides Indiscriminados Brasileiros Boca da Mata	2,578622577	0,208371429
	Complexo Arapiraca	2,651385031	
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,651173888	0,079729412
Biotita ortognaisse (quartzo-monzonítico)	Suite Intrusiva Tipo Itaporonga- Corpo 1 - Viçosa	2,696	0,196477011
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,65078719	7,862297059

	Complexo Araticum	2,649348599	0,358926471
	Complexo Arapiraca	2,646	0,183311765
	Complexo Belém do São Francisco	2,632598048	0,185014706
	Complexo Araticum	2,645679927	7,750882353
Moscovita-granada-biotita xisto arenoso	Grupo Macururé	2,745367223	0,183958824
	Complexo Jirau do Ponciano	2,643938678	0,015167647
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,643715094	0,023867647
	Complexo Arapiraca	2,643280457	0,118451429
Biotita augen ortognaisse (tonalítico)	Complexo Belém do São Francisco	2,715	0,172223529
Cordierita granada biotita gnaiss (kinzigito) (mesossoma)	Complexo Arapiraca	2,590968986	0,171441176
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,64054388	0,04325
Diopsidito	Complexo Arapiraca	3,074810099	0,16808
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,615247764	0,166985294
	Complexo Arapiraca	2,615404224	0,165126471
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,639563735	0,171420588
	Complexo Cabrobó - Unidade 1 (Palmeira dos Índios)	2,617	0,162455882
	Complexo Cabrobó - Unidade 1 mig. (Palmeira dos índios)	2,691973953	0,159167647
	Complexo Arapiraca	2,637444693	0,086802941
	Complexo Cabrobó - Unidade 1 mig. (Palmeira dos índios)	2,6464308	0,151697059
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,654424771	0,148541176
	Complexo Arapiraca	2,63503566	36,14069883
Biotita granodiorito (anatexia)	Complexo Arapiraca	2,633568978	0,090823529
Granada-biotita-moscovita xisto	Grupo Macururé	2,807386669	0,146152941

	Complexo Arapiraca	2,578472119	0,146088235
	Complexo Araticum	2,633179822	0,268373529
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,632386281	0,13014
	Granitóides Indiscriminados Pré- Brasiliãos - Serra da Mubuca	2,590063302	0,141105882
	Complexo Jirau do Ponciano	2,631520439	0,146273529
Biotita granodiorito	Granitóides Indiscriminados Pré- Brasiliãos - Marimbondo	2,651305418	0,139614706
	Complexo Belém do São Francisco	2,632849029	0,138876471
	Ortognaisses Serra das Cabaças	2,567398079	0,138191176
Biotita gnaiss (tonalítico)	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,631108268	5,372532353
	Grupo Macururé – Formação Sta. Cruz	2,629026832	0,225126471
	Complexo Jirau do Ponciano	2,628990407	0,101529412
Granada-biotita xisto arenoso	Grupo Macururé	2,795561011	0,130511765
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 1	2,628787898	0,575394118
Diopsidito	Complexo Arapiraca	3,168	0,1297
Biotita gnaiss (tonalítico)	Complexo Arapiraca	2,654425719	0,129238235
Granada-biotita-moscovita xisto arenoso	Grupo Macururé	2,657652854	0,126908824
	Complexo Belém do São Francisco	2,703617722	0,125758824
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 1	2,628188198	0,122411765
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 1	2,62802362	0,447444118

	Complexo Belém do São Francisco	2,708216634	0,118982353
	Complexo Arapiraca	2,647380501	0,118855882
Biotita monzogranito	Granitóides Indiscriminados Pré Brasílios - SE Tanque d'Arca	2,870062274	0,118782353
	Complexo Jirau do Ponciano	2,62698735	0,140351429
	Complexo Arapiraca	2,601271314	0,117629412
	Grupo Macururé - Unidade NPM1	2,625859273	0,284308824
	Complexo Belém do São Francisco	2,678463808	0,115688235
	Granitóides Indiscriminados Pré Brasílios - Belém	2,776745647	0,115288235
	Complexo Arapiraca	2,566081784	0,115120588
	Complexo Arapiraca	2,608653793	0,111255882
	Granitóides Indiscriminados Pré Brasílios - SE Tanque d'Arca	2,588483382	0,1106
Quartzo moscovita gnaisse	Grupo Macururé - Formação Sta. Cruz	2,603784204	0,108341176
	Complexo Araticum	2,645307799	0,108029412
Granada-biotita-moscovita xisto	Grupo Macururé	2,813982278	0,107332353
	Granitóides Indiscriminados Brasílios Boca da Mata	2,566803339	0,106691176
	Grupo Macururé - Unidade NPM1	2,65714179	0,104247059
	Grupo Macururé - Formação Sta. Cruz	2,625659408	4,663155882
	Grupo Macururé - Unidade NPM1	2,62565197	0,130985714
	Grupo Macururé - Unidade NPM1	2,625446511	
	Complexo Jirau do Ponciano	2,622756063	12,33215588
Biotita ortognaisse (sienogranítico)	Granitóides Indiscriminados Brasílios - Branquinha	2,616964719	0,097714706

Biotita ortognaisse (tonalítico) (mesossoma)	Complexo Arapiraca	2,619370814	0,096608824
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,621517021	0,023017647
	Complexo Araticum	2,621364712	0,299522989
	Complexo Araticum	2,620970352	0,27265
	Granitóides Indiscriminados Pré- Brasílios - Serra da Mubuca	2,587973802	0,091277143
	Complexo Arapiraca	2,620574976	23,10648824
Biotita gnaisse (granodiorítico)	Complexo Arapiraca	2,642071669	0,089226471
(Moscovita)-biotita granodiorito gnaissoso	Leucogranitóides	2,557437283	0,087002941
	Complexo Arapiraca	2,620050226	7,500164706
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,574505783	0,085815341
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,594266549	0,084285714
	Complexo Arapiraca	2,619436979	4,002135294
	Complexo Arapiraca	2,594205695	0,077591176
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,589841368	0,076726471
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,619322721	0,044564706
	Grupo Macururé - Unidade NPM1	2,61930325	1,103611765
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,638550663	0,072664706
	Complexo Araticum	2,61742311	0,560491176
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,617169395	
Biotita gnaisse (tonalítico)	Complexo Cabrobó - Unidade 1 mig. (Palmeira dos índios)	2,656	0,06928125

	Complexo Arapiraca	2,594726291	0,068108824
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,594299397	0,066744118
Biotita-moscovita granodiorito gnaissoso	Leucogranitóides	2,563517522	0,066382353
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,590341782	0,065726471
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,616193219	0,030952941
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,616162597	0,271520588
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 1	2,615418778	2,879814286
	Suite Intrusiva Tipo Itaporonga- Corpo 1 - Viçosa	3,02155917	0,053111765
	Grupo Macururé - Formação Sta. Cruz - c/ xistos	2,614350041	0,360379412
Biotita gnaiss (monzogranítico)	Complexo Arapiraca	2,622325023	0,047205882
	Complexo Araticum	2,636040344	0,046111765
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 1	2,613103848	0,103844118
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,613099877	0,245311765
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,612417558	0,131435294
	Granitóides Indiscriminados Brasileiros - Jaramataia N	2,630765602	0,044857955
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,612265855	11,80293529
	Complexo Jirau do Ponciano	2,610246431	0,073344118
Biotita ortognaisse (monzogranítico)	Complexo Arapiraca	2,609714372	0,074602941
	Complexo Arapiraca	3,1	0,04295

	Complexo Arapiraca	2,563061243	0,042167647
	Complexo Jirau do Ponciano	2,609210929	5,047288235
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,621566458	0,040670588
Biotita gnaiss (granodiorítico)	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,608023494	0,245717647
	Complexo Arapiraca	2,607872267	0,756023529
	Complexo Jirau do Ponciano	2,606982224	
	Grupo Macururé – Formação Sta. Cruz	2,593290673	0,039220588
	Granitóides Indiscriminados Brasileiros - Jaramataia NW	2,585953182	0,037811765
	Complexo Cabrobó - Unidade 1 (Palmeira dos Índios)	3,008587681	0,036620588
Biotita sienogranito	Suite Intrusiva Tipo Itaporonga- Corpo 1 - Viçosa	2,90038987	0,036032353
	Complexo Cabrobó - Unidade 1 mig. (Palmeira dos índios)	2,649487658	0,033170455
	Complexo Arapiraca	2,575453081	0,032773529
	Complexo Jirau do Ponciano	2,604364613	0,136420588
	Grupo Macururé – Formação Sta. Cruz	2,593237253	0,03208046
	Complexo Jirau do Ponciano	2,603567013	2,0399
	Complexo Araticum - mármore	2,676343921	0,030073529
	Complexo Arapiraca	2,588347109	0,027923529
	Complexo Araticum	2,624613699	0,027208824
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 1	2,603	
	Complexo Jirau do Ponciano	2,601966719	2,623441176
	Complexo Cabrobó - Unidade 1 mig. (Palmeira dos índios)	2,692002782	0,024452941
	Complexo Araticum	2,643373404	0,023885294

	Grupo Macururé – Formação Sta. Cruz	2,601965264	0,040376471
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2 - quartzito	2,620045635	0,023679412
	Complexo Arapiraca	2,922190421	0,023626471
	Complexo Jirau do Ponciano	2,601430406	0,070273529
	Complexo Araticum - mármore	2,69891185	0,022402941
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,594582709	0,021926471
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,601833621	0,020717647
	Complexo Araticum - mármore	2,695982431	0,017764205
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,568727002	0,017717647
	Complexo Arapiraca	2,57128548	0,017297143
	Complexo Cabrobó - Unidade 1 mig. (Palmeira dos índios)	2,602	0,016929412
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,539825508	0,016702857
	Complexo Arapiraca	2,653396186	0,015352941
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,601132733	0,145879412
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,620001881	0,013723529
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,560373904	0,011291176
	Complexo Arapiraca	2,547518141	0,011264706
Moscovita quartzito xistoso	Grupo Macururé	2,624458503	0,010141176
	Complexo Arapiraca	2,573781778	0,007229412
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,600554859	0,142108824
	Complexo Araticum	2,603107828	0,005982353
	Granitóides Indiscriminados Brasílios - Jaramataia	2,605361756	0,005641176
	Complexo Araticum	2,564080182	0,004588235
Granada-biotita-moscovita xisto	Grupo Macururé	2,613674168	0,004438235
	Grupo Macururé – Formação Sta. Cruz	2,560618867	0,003076471

	Grupo Macururé - Unidade NPM1	2,574819762	0,001011765
	Complexo Arapiraca	2,679	-0,001605882
Sienogranito	Complexo Cabrobó - Unidade 1 mig. (Palmeira dos Índios)	2,668895965	-0,003579412
	Grupo Macururé – Formação Sta. Cruz - c/ xistos	2,5914582	-0,013985294
	Granitóides Indiscriminados Brasílianos - Jaramataia	2,722	-0,020502941
	Complexo Belém do São Francisco	2,623427384	-0,035566092
	Complexo Jirau do Ponciano	2,60055108	0,525011765
	Complexo Cabrobó - Unidade 1 (Palmeira dos Índios)	2,668752445	
	Complexo Cabrobó - Unidade 1 mig. (Palmeira dos índios)	2,743490324	
	Complexo Cabrobó - Unidade 1 mig. (Palmeira dos índios)	2,541	
	Complexo Cabrobó - Unidade 1 (Palmeira dos Índios)	2,650417184	
	Complexo Cabrobó - Unidade 1 (Palmeira dos Índios)	2,675870512	
	Complexo Cabrobó - Unidade 1 mig. (Palmeira dos índios)	2,646817168	
	Complexo Cabrobó - Unidade 1 mig. (Palmeira dos índios)	2,665144055	
	Complexo Cabrobó - Unidade 1 mig. (Palmeira dos índios)	2,577660691	
	Complexo Belém do São Francisco	2,633621362	
	Complexo Belém do São Francisco	2,646943687	

	Granitóides Indiscriminados Brasileiros - Chã Preta	2,536595545	
	Suite Intrusiva Tipo Itaporonga- Corpo 1 - Viçosa	2,600336929	
	Suite Intrusiva Tipo Itaporonga- Corpo 1 - Viçosa	2,618320921	
	Suite Intrusiva Tipo Itaporonga- Corpo 1 - Viçosa	3,062161447	
	Complexo Cabrobó - Unidade 1 (Palmeira dos Índios)	2,61	
	Suite Intrusiva Tipo Itaporonga- Corpo 1 - Viçosa	2,691362268	
	Complexo Cabrobó - Unidade 1 (Palmeira dos Índios)	2,559	
	Granitóides Indiscriminados Pré Brasileiros - Santana do Mundaú	2,639100314	
	Granitóides Indiscriminados Pré Brasileiros - Santana do Mundaú	2,613958595	
Cordierita granada biotita gnaiss (kinzigito)	Complexo Arapiraca	2,650720373	
Biotita augen gnaiss (granodiorítico) (neossoma)	Complexo Belém do São Francisco		
	Suite Intrusiva Tipo Itaporonga- Corpo 1 - Viçosa	2,69872804	
	Granitóides Indiscriminados Brasileiros Boca da Mata	2,626992533	
	Granitóides Indiscriminados Pré Brasileiros - Belém	2,608633349	
Biotita monzogranito porfírico	Granitóides Indiscriminados Pré Brasileiros -Santana do Mundaú	2,58196609	

Anfibólio alcalino biotita quartzo-monzonito	Granitóides Indiscriminados Pré Brasileiros -Santana do Mundaú	2,724190893	
	Granitóides Indiscriminados Pré Brasileiros -Santana do Mundaú		
	Suite Intrusiva Tipo Itaporonga- Corpo 2 - Munguba		
	Complexo Belém do São Francisco		
	Granitóides Indiscriminados Brasileiros - Chã Preta	2,657973711	
Biotita augen gnaiss (quartzo-monzonítico)	Complexo Belém do São Francisco	2,618140443	
Moscovita quartzito	Complexo Cabrobó - Unidade 1 (Ibateguara-Canastra)	2,649734469	
	Complexo Arapiraca	2,653301429	
	Complexo Arapiraca	2,612	
	Complexo Arapiraca		
	Complexo Jirau do Ponciano	2,5993	0,045596591
	Complexo Arapiraca		
	Complexo Arapiraca		
	Granitóides Indiscriminados Brasileiros - Maravilha	2,586228664	
	Complexo Araticum	2,598414778	0,040301136
	Grupo Macururé - Unidade NPM1	2,59755978	0,071232353
	Granitóides Indiscriminados Brasileiros - Maravilha	2,596057719	0,053014706
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,593406608	0,054658824
	Complexo Jirau do Ponciano	2,592548468	0,040620588
	Complexo Araticum	2,591982648	0,025785294
	Complexo Araticum	2,58913566	0,163017647

	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,588760656	0,269094118
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,741105611	
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,588621038	0,041305882
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,586781528	0,044458824
	Complexo Arapiraca	2,586757303	
	Complexo Arapiraca	2,586229752	10,11788529
Ortognaisse (monzogranítico) (mesossoma)	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 1	2,583630133	1,537071839
	Grupo Macururé – Formação Sta. Cruz - c/ xistos	2,595310405	
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,582164877	0,060520588
	Complexo Araticum	2,58174641	0,101088235
	Complexo Araticum	2,577329697	0,024664706
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,576569769	0,032255882
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,573994006	0,204017647
	Grupo Macururé - Unidade Npm1		
	Grupo Macururé – Formação Sta. Cruz - c/ xistos	2,573188976	0,095361765
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 2	2,571555739	8,190776471
Granada gnaisse	Complexo Jirau do Ponciano	2,563634888	0,007039524
	Complexo Arapiraca	2,563534984	0,152931429
	Grupo Macururé - Unidade Npm1	2,560832078	0,300755882
	Complexo Arapiraca	2,50610698	0,095311765
	Grupo Macururé – Formação Sta. Cruz	2,588031134	

	Grupo Macururé – Formação Sta. Cruz - c/ xistos	2,579285854	
	Complexo Nicolau Campo Grande - Unidade 1	2,53618822	
	Grupo Macururé - Unidade NPM1		
Calciossilicática	Grupo Macururé		
(Moscovita)-biotita tonalito gnaissoso	Leucogranitóides		