

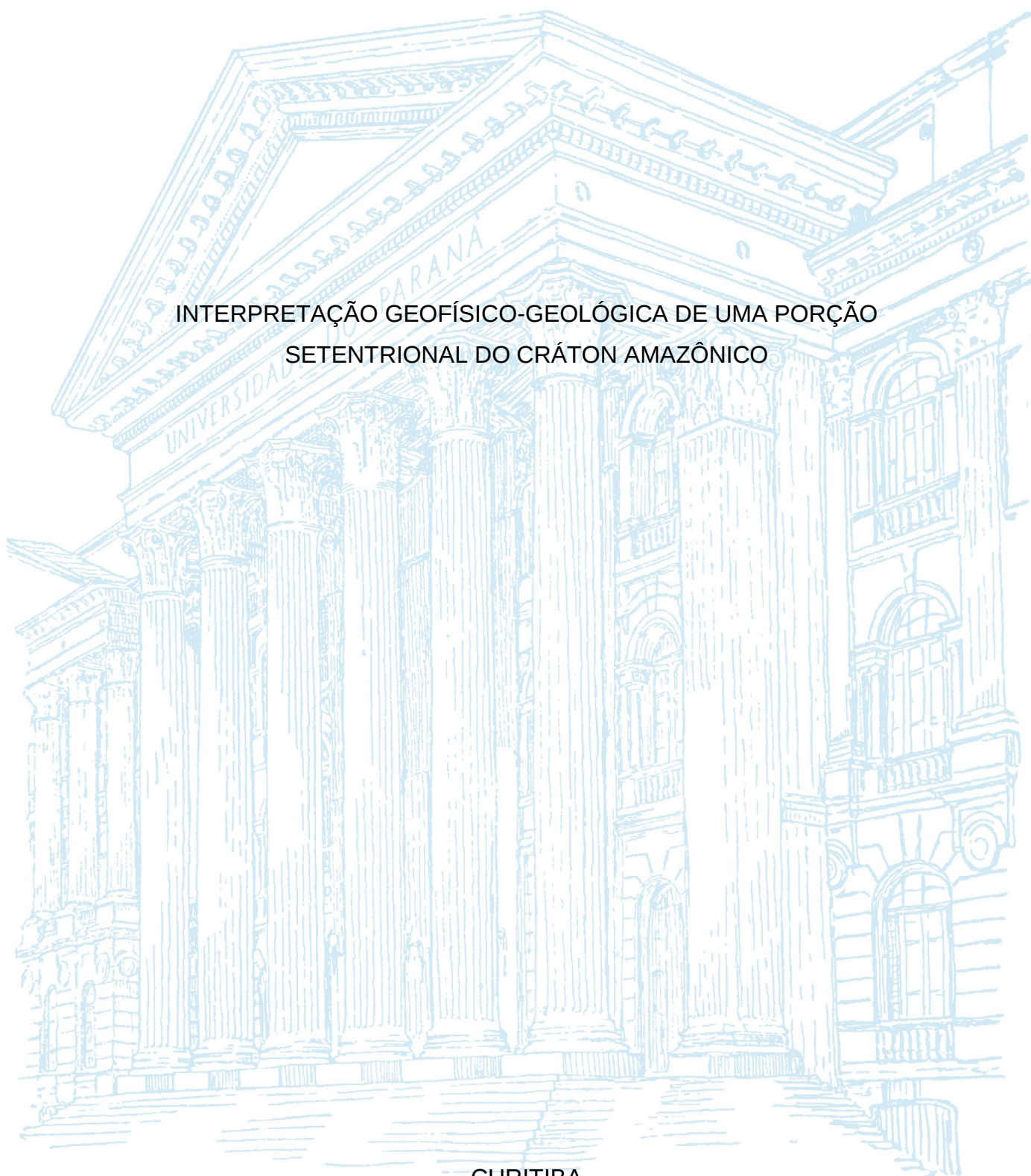
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

VANESSA DA SILVA OLIVEIRA

INTERPRETAÇÃO GEOFÍSICO-GEOLÓGICA DE UMA PORÇÃO
SETENTRIONAL DO CRÁTON AMAZÔNICO

CURITIBA

2018



VANESSA DA SILVA OLIVEIRA

INTERPRETAÇÃO GEOFÍSICO-GEOLÓGICA DE UMA PORÇÃO
SETENTRIONAL DO CRÁTON AMAZÔNICO

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre, Curso de Pós-Graduação em Geologia, Área de Concentração Geologia Exploratória, Departamento de Geologia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

Orientador:

Prof. Dr. Francisco José Fonseca Ferreira

Coorientadores:

Roberto Gusmão de Oliveira

Nelson Joaquim Reis

CURITIBA

2018

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

048i

Oliveira , Vanessa da Silva

Interpretação geofísico-geológica de uma porção setentrional do cráton amazônico / Vanessa da Silva Oliveira . – Curitiba, 2018.

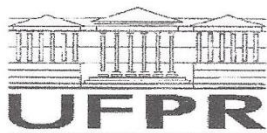
Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Geologia, 2018.

Orientador: Francisco José Fonseca Ferreira – Coorientador: Roberto Gusmão de Oliveira. - Coorientador: Nelson Joaquim Reis

1. Crátons – Amazônia 2. Magnetometria 3. Gamaespectrometria . I. Universidade Federal do Paraná. II. Ferreira, Francisco José Fonseca . III. Oliveira, Roberto Gusmão de . IV. Reis, Nelson Joaquim. V. Título.

CDD: 551.7208113

Bibliotecária: Vanusa Maciel - CRB - 9/1928



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR CIÊNCIAS DA TERRA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO GEOLOGIA

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GEOLOGIA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **VANESSA DA SILVA OLIVEIRA** intitulada: **INTERPRETAÇÃO GEOFÍSICO-GEOLÓGICA DE UMA PORÇÃO SETENTRIONAL DO CRÁTON AMAZÔNICO**, após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 28 de Maio de 2018.


FRANCISCO JOSÉ FONSECA FERREIRA
Presidente da Banca Examinadora (UFPR)


WALTER MALAGUTTI FILHO
Avaliador Externo (UNESP/RC)


CARLOS EDUARDO DE MESQUITA BARROS
Avaliador Interno (UFPR)

AGRADECIMENTO

Ao corpo docente, técnico e administrativo do Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Paraná - UFPR, pela oportunidade da realização deste trabalho.

Ao meu orientador, Francisco José Fonseca Ferreira pela atenção, dedicação, sempre me incentivando a continuar.

Aos meus coorientadores Roberto Gusmão de Oliveira e Nelson Joaquim Reis pela confiança.

Ao Serviço Geológico do Brasil – SGB/CPRM pela liberação parcial das atividades da empresa.

Aos colegas do Laboratório de Pesquisas em Geofísica Aplicada - LPGA pelas sugestões no decorrer do trabalho.

Aos meus grandes amigos da SGB/CPRM, Rafaelly Rocha Cavalcanti, Paulo Roberto Santos Lopes, Michele Zorzetti Pitarello, Leonardo Aguiar, Lucas Balsini Garcindo, Lila Queirós, Tereza Costa Dias, Miqueas Barroso Silva, equipe de Geoprocessamento (Dida, Miguel e Cristiano) e a Divisão de Sensoriamento e Geofísica - DISEGE pelas valiosas contribuições em geologia, geofísica e geoquímica, mas principalmente pela companhia e amizade.

Ao meu grande amigo da graduação do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas - IAG, Marcelo Vitor Queiros pelas correções e sugestões.

Em especial, à minha família pela cumplicidade, compreensão e incentivos constantes.

RESUMO

Nas últimas décadas o Serviço Geológico do Brasil - CPRM desenvolveu programas de levantamentos aerogeofísicos no território nacional, os quais recobrem 86% do estado de Roraima. A área de estudo incluiu quatro folhas na escala de 1:250.000 (aproximadamente 72.600 km²), de um trato setentrional do Cráton Amazônico, situada na porção central do estado de Roraima (RR), no extremo norte do Brasil. Abrange parte das províncias Rio Negro (1,82-1,52 Ga) e Tapajós-Parima (2,03-1,88 Ga) e respectivos domínios Serra Imeri (DSI), Parima (DPA), Surumu (DSU), Uatumã-Anauá (DUA) e Guiana Central (DGC), este, com maior recobrimento na área de estudo. A integração geofísico-geológica foi realizada através da sobreposição das informações aeromagnetométricas, aerogamaespectrométricas e geológicas disponíveis na literatura. Essas informações foram utilizadas para indicar áreas ao mapeamento e assim apoiar a cartografia e fomentar o conhecimento geológico do estado, contribuindo para o desenvolvimento da região. A interpretação do mapa litogeofísico permitiu indicar assinaturas gamaespectrométricas para unidades ígneas plutônicas, metamórficas e sedimentares e respectivos produtos intempéricos. Em subsuperfície foram interpretados seis domínios magnetométricos. Quando comparados àqueles tectonoestratigráficos, observa-se que apenas um domínio comparece integralmente no DGC. Com a finalidade de estimar a profundidade das fontes magnéticas foi empregada à técnica do espectro de potência, a qual indicou profundidades rasas (até 1 km), intermediárias (entre 1 e 12 km) e profundas (entre 12 e 40 km), observando-se os limites dos domínios magnéticos nos três intervalos estimados. Foi realizada uma modelagem de áreas potenciais para mineralização Fe-Ti-V a partir de dados geofísicos e geoquímicos disponíveis. Destacam-se cinco áreas favoráveis cuja classificação de alvos está em concordância com o grau de favorabilidade obtido tanto pela modelagem espacial quanto pela compatibilidade de unidades geológicas.

Palavras-chave: Roraima, Magnetometria, Gamaespectrometria.

ABSTRACT

In the last decades, the Geological Service of Brazil has been conducting geophysical survey in the national territory, which already covers 86% of the state of Roraima. The study area included four leaves in the 1: 250,000 (approximately 72,600 km²) scale of a northern tract of the Amazonian Craton, located in the central portion of the state of Roraima (RR), in the extreme north of Brazil. It covers part of the Rio Negro (1.82-1.52 Ga) and Tapajós -Parima (2.03-1.88 Ga) and respective Sierra Imeri (DSI), Parima (DPA), Surumu (DSU), Uatumã - Anauá (DUA) and Central Guyana (DGC), this one, with greater overlap in the study area. Geophysical-geological integration was performed through the overlapping of magnetometric, gamma ray spectrometry and geological information available in the literature. This information was used to indicate areas for mapping and thus to support cartography and to foster geological knowledge of the state, contributing to the development of the region. The interpretation of the litogeophysical map allowed indicating radiometric signatures for plutonic, metamorphic and sedimentary igneous units and respective weathering products. Six subscriber domains were interpreted in subsurface. When compared to those tectonostratigraphy, it is observed that only one domain appears integrally in the DGC. In order to estimate the depth of the magnetic sources, it was used the power spectrum technique, which indicated shallow (up to 1 km), intermediate (1 to 12 km) and deep (12 to 40 km) depths, the limits of the magnetic domains in the three estimated intervals. A modeling of potential areas for Fe-Ti-V mineralization was performed from available geophysical and geochemical data. We highlight five favorable areas whose classification of targets is in agreement with the degree of favorability obtained by both the spatial modeling and the compatibility of geological units.

Keywords: Roraima, Magnetometry, Gamma-ray spectrometry.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – MAPA AEROMAGNETOMÉTRICO DO BRASIL PERTENCENTE AO PROJETO AEROMAG BRASIL.....	2
FIGURA 2 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO E PRINCIPAIS VIAS DE ACESSO À ÁREA DE ESTUDO.....	4
FIGURA 3 - BLOCOS CRUSTAIS NA REGIÃO AMAZÔNICA.(HASUI ET AL. 1984).	5
FIGURA 4 - EVOLUÇÃO DOS MODELOS DE COMPARTIMENTO DO CRÁTON AMAZÔNICO (CPRM,2003).....	7
FIGURA 5 - DOMÍNIOS TECTONOESTRATIGRÁFICOS PROPOSTOS POR REIS E FRAGA (2000) E REIS ET AL. (2003; 2006)	8
FIGURA 6 - FAIXAS PAL.EO A MESOPROTEROZOICAS AO NORTE E SUL DO CINTURÃO CAUARANE-COEROENI (CCC).....	9
FIGURA 7 – MAPA GEOLÓGICO SIMPLIFICADO DO PROJETO GEODIVERSIDADE DO ESTADO DE RORAIMA (CPRM, 2014).....	11
FIGURA 8– AEROLEVANTAMENTOS PARIMA-URARIQUERA (1058), ANAUÁ (1077), PITINGA (1075), CARARÁ-JATAPU (1096).....	12
FIGURA 9 – MAPA DA COBERTURA DE DADOS GEOQUÍMICOS NA ÁREA DE TRABALHO.....	14
FIGURA 10 – FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA ADOTADA PARA MONTAGEM DA BASE DE DADOS, PROCESSAMENTO E INTERPRETAÇÃO..	16
FIGURA 11 – OS CÍRCULOS REPRESENTAM AS CORES PRIMÁRIAS DO SISTEMA ADITIVO RGB, SUBTRATIVO CMY E SUAS COMBINAÇÕES NAS INTERSECÇÕES.....	17
FIGURA 12 - ANOMALIAS MAGNÉTICAS ESPERADAS PARA A REGIÃO DE ESTUDO (A) (D) E (E).....	20

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 1 - ÍNDICE MÁFICO.....	16
EQUAÇÃO 2 - INDUÇÃO MAGNÉTICA.	18
EQUAÇÃO 3 - MAGNETIZAÇÃO TOTAL.....	18
EQUAÇÃO 4 - CAMPO MAGNÉTICO ANÔMALO.....	19

EQUAÇÃO 5 - GRADIENTE HORIZONTAL DX (nT/m).....	21
EQUAÇÃO 6 - GRADIENTE HORIZONTAL DY (nT/m).....	21
EQUAÇÃO 7 - GRADIENTE VERTICAL DZ (nT/m)	21
EQUAÇÃO 8 - AMPLITUDE DO SINAL ANALÍTICO.....	21
EQUAÇÃO 9 - GRADIENTE HORIZONTAL TOTAL..	21
EQUAÇÃO 10 - INCLINAÇÃO DO SINAL ANALÍTICO.....	22
EQUAÇÃO 11 - INCLINAÇÃO DO GRADIENTE HORIZONTAL.....	22
EQUAÇÃO 12 - PROFUNDIDADE CALCULADA PELO ESPECTRO DE POTÊNCIA RADIAL.....	22
EQUAÇÃO 13 - PROBLEMA INVERSO.....	23
EQUAÇÃO 14 - FUNÇÃO OBJETIVA	23
EQUAÇÃO 15 - <i>FUZZY SMALL</i>	24
EQUAÇÃO 16 - <i>FUZZY LARGE</i>	24
EQUAÇÃO 17 - <i>FUZZY PRODUTO</i>	24
EQUAÇÃO 18 - <i>FUZZY SOMA</i>	24
EQUAÇÃO 19 - <i>FUZZY GAMMA</i>	25

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - EVOLUÇÃO DOS PRINCIPAIS MODELOS DE INTERPRETAÇÃO E SUBDIVISÃO DO CRÁTON AMAZÔNICO. (CPRM,2003).....	6
TABELA 2 - CONFIGURAÇÃO DOS AEROLEVANTAMENTOS UTILIZADOS NA INTERPRETAÇÃO.....	13
TABELA 3 - COMBINAÇÃO RGB SIMPLIFICADA COM 27 TONALIDADES.....	18

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO, JUSTIFICATIVAS, OBJETIVOS E ESTRUTURA.....	1
1.1. Introdução.....	1
1.2. Justificativa.....	1
1.3. Objetivos	2
1.3.1. Geral.....	2
1.3.2. Específicos.....	3
1.4. Estrutura da Dissertação.....	3
CAPÍTULO 2 – LOCALIZAÇÃO E ACESSO.....	4
2.1. Localização e Acesso.....	4
CAPÍTULO 3 – CONTEXTO GEOTECTÔNICO E GEOLÓGICO	5
3.1 Contexto Geotectônico.....	5
3.2 Geologia e Recursos Minerais....	9
CAPÍTULO 4 – MATERIAL E MÉTODOS.....	11
4.1. Dados Geofísicos	11
4.2. Dados Geológicos..	13
4.3. Dados Geoquímicos	13
4.4. Métodos	14
4.4.1 Gamaespectrometria.	15
4.4.1.1 Processamento	15
4.4.1.1.1 Índice máfico	16
4.4.1.1.2 RGB simplificado	16
4.4.2 Magnetometria	18
4.4.2.1 Processamento	20
4.4.2.1.1 Redução ao polo e ao equador magnético	20
4.4.2.1.2 Gradiente horizontal D_x, D_y (nT/m) e Gradiente vertical D_z (nT/m).....	20
4.4.2.1. Amplitude do Sinal Analítico (nT/m)	21

4.4.2.1.4 Gradiente horizontal total – GHT (nT/m).....	21
4.4.2.1.5 Inclinação do gradiente – ISA (rad)	21
4.4.2.1.6 Inclinação do gradiente horizontal IGHT (rad)	22
4.4.2.1.7 Espectro de potência ponderado radialmente SPC.....	22
4.4.2.1.8 Inversão dos dados	22
4.4.3 Favorabilidade	23
CAPÍTULO 5 – ARTIGOS	26
5.1. Caracterização magnética e gamaespectrométrica da geologia e do arca-bouço tectônico do extremo norte da província Tapajó – Parima, cráton amazônico, norte do Brasil.....	26
5.2. Mapa de favorabilidade da associação Fe-Ti-V em uma porção setentrional do Cráton Amazônico, Roraima.....	76
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO.....	106
REFERÊNCIAS.....	107

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO, JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS

1.1. INTRODUÇÃO

A área de estudo reúne quatro folhas na escala de 1:250.000 (aproximadamente 72.600 km²), de um trato setentrional do Cráton Amazônico, situada na porção central do estado de Roraima (RR), no extremo norte do Brasil, onde os principais bens minerais são elementos terras-raras, titânio, ouro, fosfato, diamante, columbita-tantalita, cassiterita e nióbio, cujas áreas de distribuição poderiam ser ampliadas com o detalhamento do conhecimento geofísico-geológico.

O Cráton Amazônico tem sido abordado através de modelos de províncias geológicas, geocronológicas e/ou tectônicas, mencionando-se Amaral (1974), Cordani et al. (1979), Cordani & Brito Neves (1982), Lima (1982), Hasui et al. (1984), Teixeira et al. (1986), Costa & Hasui (1997), Tassinari & Macambira (1999; 2004), Reis e Fraga (2000), Santos et al. (2000, 2006), Reis et al. (2003; 2006), Cordani & Teixeira (2007), Fraga et al. (2008), e Reis et al. (2017).

Neste trabalho, os dados de gamaespectrometria e magnetometria, disponibilizados pelo SGB/CPRM foram interpretados de modo a contribuir com a cartografia geológica das áreas sobrevoadas e sugerir áreas potenciais para mineralizações da associação Fe-Ti-V com base na integração geofísico-geológica.

1.2. JUSTIFICATIVAS

Nas últimas décadas, SGB/CPRM realizou uma série de levantamentos aerogeofísicos (magnetometria e gamaespectrometria) que somados recobrem cerca de 95% do embasamento cristalino brasileiro (Fig. 1).

O objeto da pesquisa detém-se na disponibilidade de dados aerogeofísicos de alta resolução espacial, com espaçamento de 500 metros entre as linhas de voo, passíveis de interpretação em áreas de densa cobertura florestal, via-de-regra, com limitada informação geológica devido à dimensão das áreas indígenas, p.ex., Yanomâmi (Fig. 2).

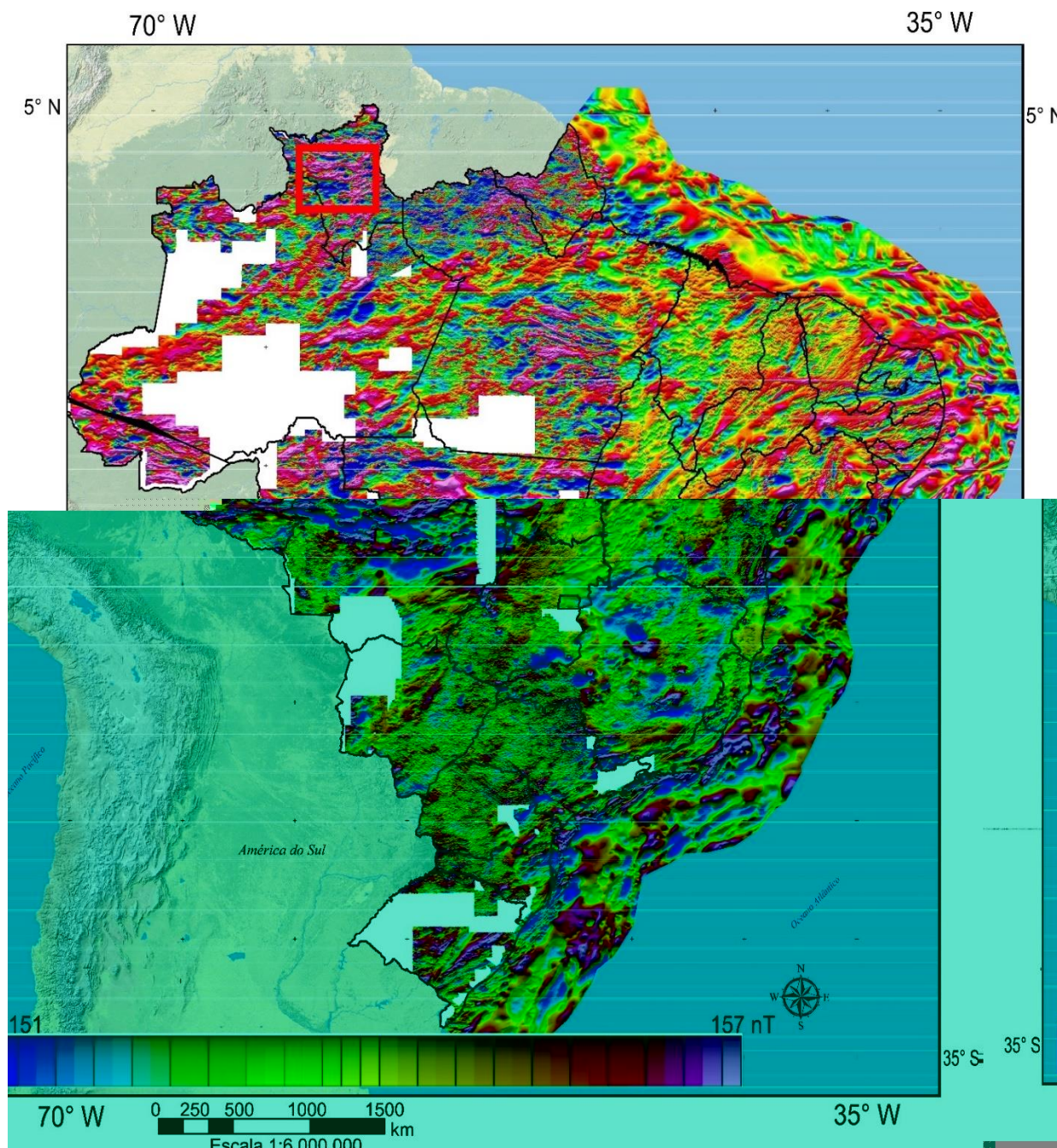


Figura 1 – Mapa aeromagnetométrico do Brasil pertencente ao Projeto AEROMAG Brasil apresentado pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Combustível (ANP) em parceria com Serviço Geológico do Brasil - CPRM. Em destaque no retângulo vermelho, a área de trabalho – adaptado de CPRM (2011).

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. GERAL

O objetivo deste trabalho é integrar os dados geofísicos e geológicos disponíveis, de forma a contribuir com a cartografia geológica e o arcabouço geofísico-estrutural, além de propor áreas com potencial para a prospecção mineral.

1.3.2. ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos propõem-se:

- (i) Pré-processamento (avaliação da distribuição e qualidade do banco de dados geofísicos);
- (ii) Processamento, interpolação, geração de mapas e aplicação de filtros de realce;
- (iii) Interpretação qualitativa e semiquantitativa;
- (iv) Integração de todas as informações, incluindo dados geológicos digitais em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) em escala regional;
- (v) Interpretação do mapa de favorabilidade de depósitos da associação Fe-Ti-V.

1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Os capítulos iniciais se referem à introdução, objetivos gerais e específicos, localização da área de estudo e metodologia.

O contexto geológico é abordado no capítulo 3 na forma de uma síntese bibliográfica das províncias tectônicas e descrição do arcabouço geológico da área. Os procedimentos de pré-processamento, processamento dos dados geofísicos são mostradas em detalhes no capítulo 4.

O capítulo 5.1 é dedicado ao primeiro artigo onde são interpretadas e caracterizadas as assinaturas magnéticas dominantes do arcabouço estrutural do Domínio Guiana Central, além das assinaturas gamaespectrométricas de suas unidades geológicas.

O segundo artigo indicado no ao capítulo 5.2 apresenta mapas de favorabilidade, cuja técnica tem como objetivo sobrepor assinaturas dos métodos indiretos que, associadas ao conhecimento geológico, selecionam áreas de maior favorabilidade para associação Fe-Ti-V.

As figuras e tabelas da dissertação estão referenciadas a cada capítulo. Os capítulos 5.1 e 5.2 são referentes aos artigos com numeração de figuras e tabelas próprias.

CAPÍTULO 3

CONTEXTO GEOTECTÔNICO E GEOLÓGICO

3.1 CONTEXTO GEOTECTÔNICO

A área de estudo está situada na porção norte do Cráton Amazônico, em trato central dos escudos das Guianas, mantendo limites com a Venezuela e Guiana, e os estados do Amazonas e Pará. Seu entendimento tem grande importância para o estudo do escudo das Guianas, onde se encontram exposições de rochas cuja evolução foi relacionada ao longo do Paleo e Mesoproterozoico, estendendo-se ao Fanerozoico (CPRM, 2014).

A evolução geotectônica da área contemplou três enfoques distintos. O primeiro, estrutural de Hasui et al. (1984) e Costa & Hasui (1997) (Fig.3), é baseado em um modelo geofísico-estrutural de compartimentação do Cráton Amazônico em diversos blocos crustais, formados predominantemente por terrenos do tipo granito-*greenstone* que constituíam paleoplacas ou núcleos de sutura arqueanos.

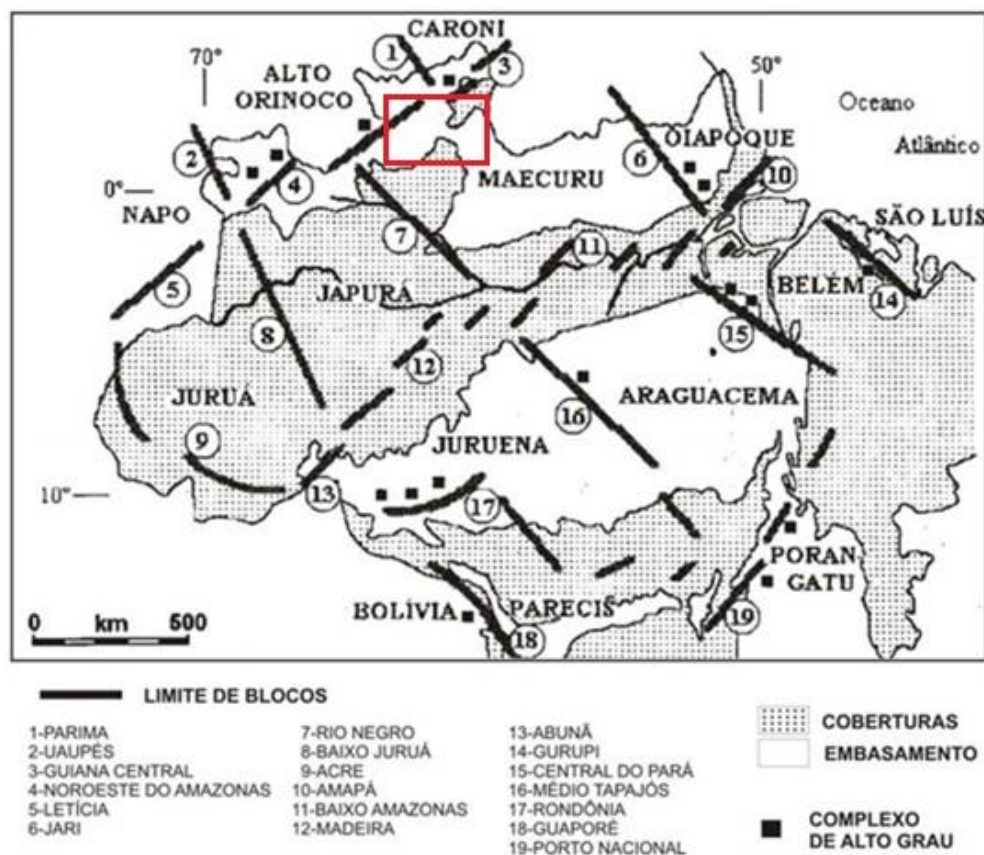


Figura 3 - Blocos crustais na Região Amazônica (Hasui et al. 1984). Em destaque no retângulo vermelho, a área de estudo.

Estes blocos separados por cinturões ou zonas de sutura arqueanas ou paleoproterozoicas são representadas por terrenos de alto grau metamórfico como os cinturões Parima e Guiana Central.

O segundo enfoque é baseado em modelos geocronológicos propostos a partir de Amaral (1974), que se desenvolveram em adição de datações radiométricas (Rb-Sr, K-Ar, U-Pb, Pb-Pb e Ar-Ar), contribuindo para a definição dos limites e evolução das províncias do Cráton Amazônico, sintetizado na Tabela 1 e na Figura 4.

Tabela 1 - Evolução dos principais modelos de interpretação e subdivisão do Cráton Amazônico. (CPRM 2003).

Evolução dos Principais Modelos de Interpretação e Subdivisão do Cráton Amazônico									
Amaral (1974)	Cordani et al. (1979)	Teixeira et al. (1989)	Tassinari et al (1996)	Tassinari (1996)	Tassinari & Macambira (1999)	Santos et al. (2000)	CPRM(2003)	Tassinari & Macambira (2004)	Santos et al.(2006)
Amazônia Oriental	Maroni-Itacaiúnas 2100-1800 Ma (com Carajás)	Faixa Móvel Maroni-Itacaiúnas (incluindo a faixa K'Mudku) 2250-1900 Ma	Maroni-Itacaiúnas (incluindo apenas parte da faixa K'Mudku) 2200-1900 Ma	Maroni-Itacaiúnas (incluindo apenas parte da faixa K'Mudku) 2200-1900 Ma	Maroni-Itacaiúnas (incluindo apenas parte da faixa K'Mudku) 2200-1950 Ma	Maroni-Itacaiúnas (incluindo apenas parte da faixa K'Mudku) 2250-2000 Ma	Transamazônica 2250-2000 Ma (excluindo a faixa K' Mudku)	Maroni-Itacaiúnas 2200-1900 Ma	Transamazônica 2260-2010 Ma (e blocos Imataca e Bakhuís)
Amazônia Central	Amazoniana Central > 2100 Ma	Província Amazoniana Central (incluindo Carajás) > 2500 Ma	Amazoniana Central (incluindo Carajás) > 2200 Ma	Amazoniana Central (incluindo Carajás) > 2300 Ma	Amazoniana Central (incluindo Carajás) > 2300 Ma	Amazoniana Central (incluindo Carajás) > 2300 Ma	Carajás 2530 - 3100 Ma	Amazoniana Central > 2500 Ma	Carajás 3000- 2500 Ma
Amazônia Ocidental	Rio Negro - Juruema 1700-1450 Ma	Faixa Móvel Rio Negro-Juruema 1750-1500 Ma	Rio Negro-Juruema 1800-1550 Ma	Tapajós-Venturi 1900-1800 Ma	Tapajós-Venturi 1950-1850 Ma	Tapajós-Venturi 1900-1850 Ma	Amazonas Central 2600-1700 Ma	Tapajós-Venturi 1900-1800 Ma	Amazoniana Central > 2500 Ma
				Rio Negro-Juruema 1800-1550 Ma	Rio Negro-Juruema 1800-1550 Ma	Rio Negro-Juruema 1860-1550 Ma	Tapajós - Parima 2100-1870 Ma Rio Negro 1860 - 1520 Ma	Rio Negro - Juruema 1800 - 1550 Ma	Rio Negro - 1820 - 1520 Ma
	Rondoniana 1400-1100 Ma	Faixa Móvel Rondonia 1450-1250 Ma	Rondoniana-San Ignácio 1450-1300 Ma	Rondoniana-San Ignácio 1500-1300 Ma	Rondoniana-San Ignácio 1500-1300 Ma	Rondoniana-San Ignácio 1500-1300 Ma	Rondônia- Juruena 1810 - 1520 Ma	Rondônia- San Ignácio 1550- 1300 Ma	Rondônia- Juruena 1820- 1540 Ma
		Faixa Móvel Sunsás 1100-900 Ma	Sunsás 1250-1000 Ma	Sunsás 1250-1000 Ma	Sunsás 1300-1000 Ma	Sunsás 1300-1000 Ma	Sunsás 1450-990 Ma	Sunsás 1250-1000 Ma	Sunsás 1450-1100 Ma

Em Roraima e parte do Amazonas, outro enfoque geodinâmico tem sido admitido por Reis et al. (2003; 2006), com base na identificação de domínios tectonoestratigráficos no interior das províncias, por sua vez, denominados de Serra Imeri (DSI), Alto Rio Negro (DAR) , Uatumã–Anauá (DUA), Parima (DPA), Surumu (DSU) e Guiana – Central (DGC). (Fig. 5). Neste trabalho, o Domínio Guiana Central (DGC) está inserido na maior parte da área, como destacado na Figura 5.

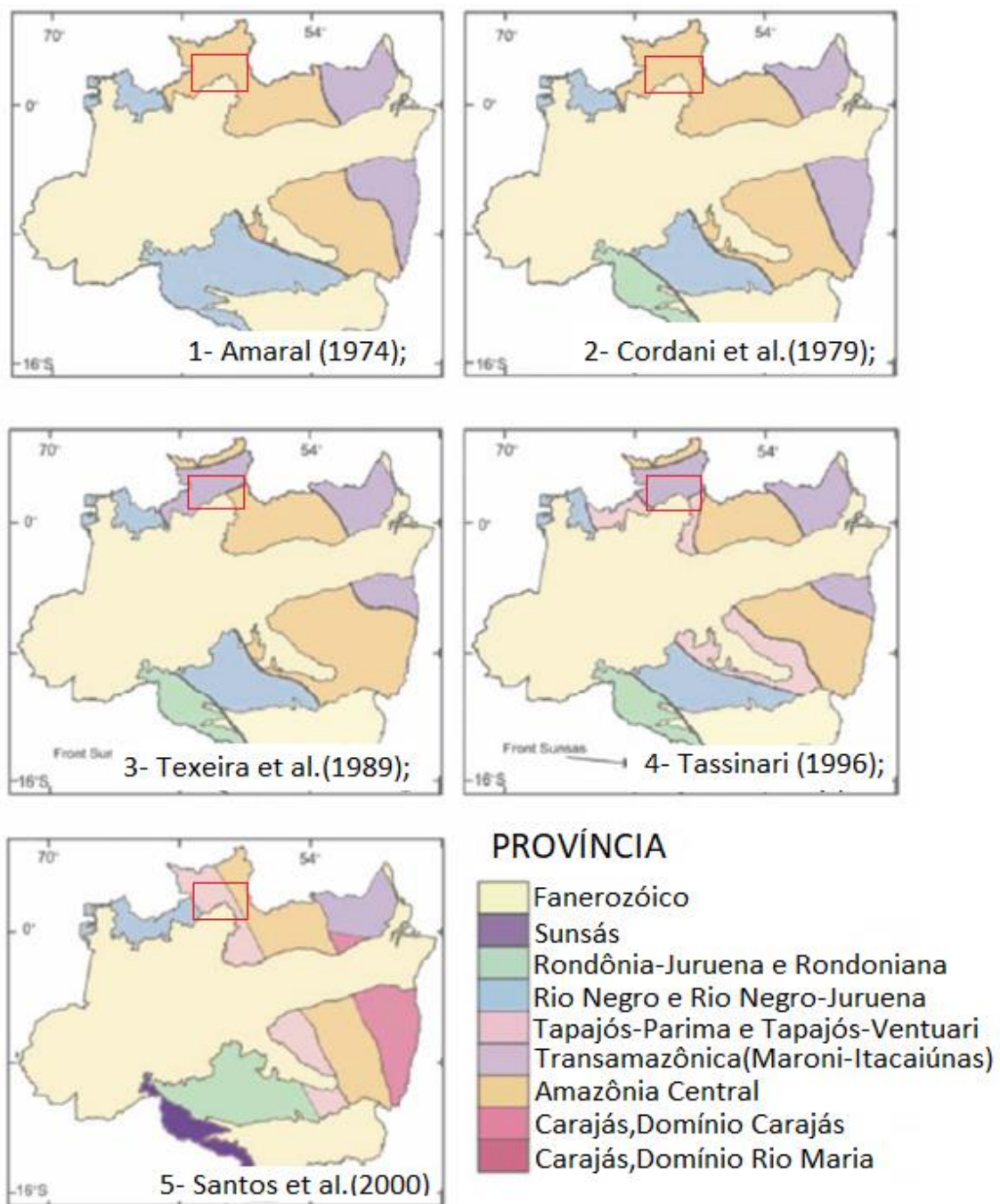


Figura 4 - Evolução dos modelos de compartimentação do Cráton Amazônico (CPRM, 2003). Em destaque no retângulo vermelho a área de trabalho.

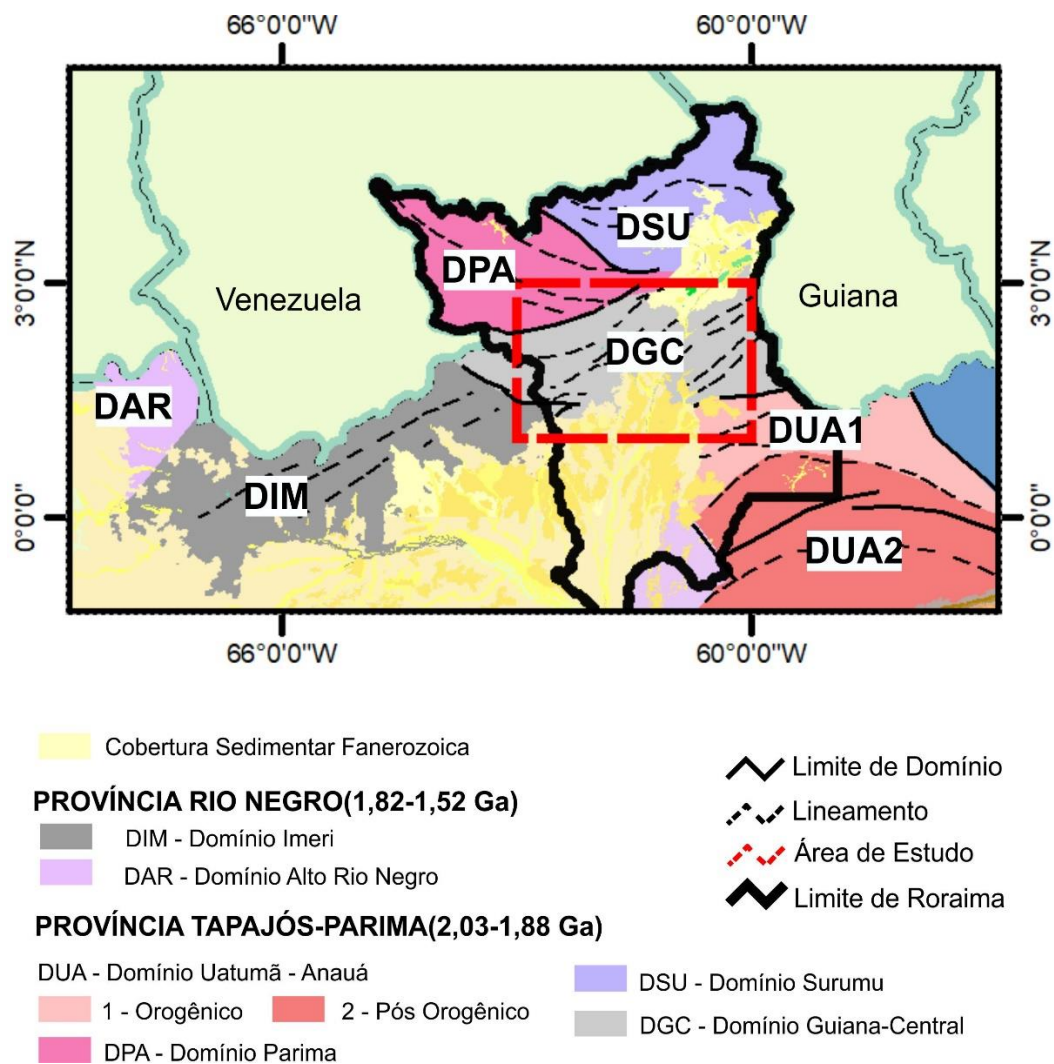


Figura 5 - Domínios tectonoestratigráficos propostos por Reis et al. (2003,2006). Em linha vermelha tracejada a área de estudo. Adaptado de CPRM (2014).

Em adição aos modelos de províncias e domínios tectonoestratigráficos, Fraga et al.(2008, 2009) estabeleceram um cinturão metamórfico de alto grau, considerado como representativo de uma megaestrutura sinuosa e descontínua que prolonga-se por Roraima, Guiana e Suriname, denominada de Cinturão Cauarane–Coeroeni. Esta principal feição tectônica do escudo das Guianas registra distintas evoluções crustais ao norte e sul do cinturão (Fig. 6).

Neste estudo é dada ênfase à compartimentação tectonoestratigráfica proposta por Reis et al. (2003; 2006), cujos domínios e respectivas estruturas são interpretados à luz da integração geofísica (Fig.5).

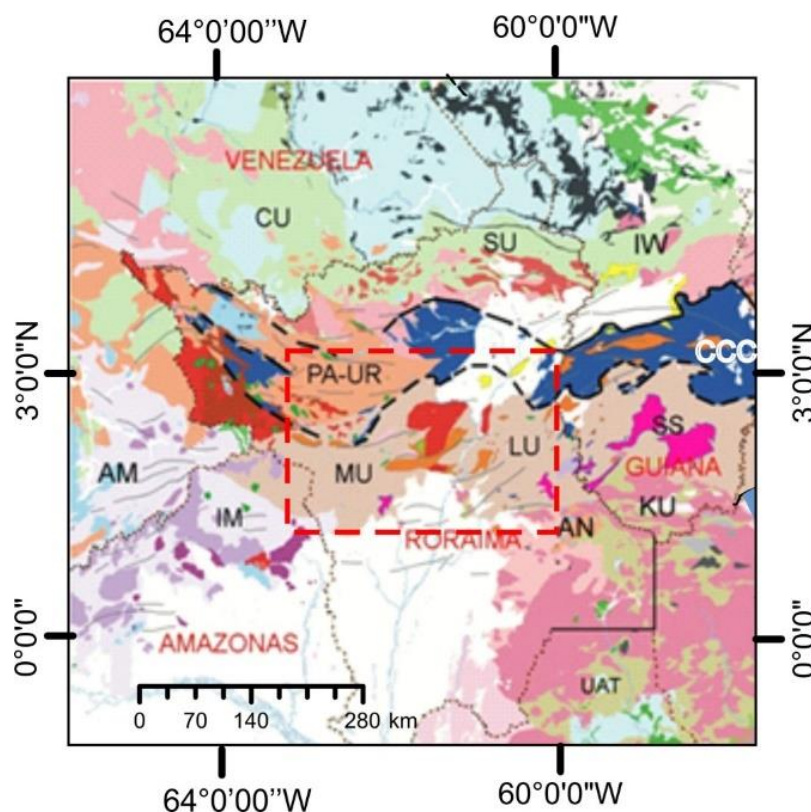


Figura 6 - Faixas paleo a mesoproterozoicas ao norte e sul do Cinturão Cauarane-Coeroeni (CCC): Domínio Cuchivero-Surumu-Iwokrama-Dal.bana-Erepecuru/Trombetas (CU-SU-IW-DA-ET); Domínio Parima-Urariquera (PA-UR); Domínio Mucajaí-Lua-South Savannas (MU-LU-SS); Domínio Amazonas-Imeri (AM-IM); Domínio Anauá-Kuyuwini (AN-KU); Domínio Uatumã (UAT). Os limites entre os domínios são aproximados. Limites internacionais/estaduais por linha pontilhada. Área de estudo em linha tracejada vermelha. Adaptado de CPRM (2014).

3.2 CONTEXTO GEOLÓGICO E RECURSOS MINERAIS

Dentre os seis domínios de Reis et al.(2003) a área de estudo envolve os domínios Parima (DPA) e Guiana Central (DGC) predominantemente e Uatumã-Anauá (DUA) (Fig. 5).

O DGC de idade paleoproterozoica é representado pelo Complexo Rio Urubu (PP3ru_) composto por granulitos, ortognaisses e augen-gnaisses (1,96 a 1,92 Ga; Pb-Pb evaporação Gaudette et al. 1996; Fraga, 2002; CPRM, 2003), de acordo com a Figura 7.

Também estão expostas no DGC rochas da Suíte Intrusiva Serra da Prata - PP34_{γsp} - (1,94-1,93 Ga; Pb-Pb em zircão, método de evaporação) (Fraga, 2002) constituída de charnockitos, charnoenderbitos e mangeritos. Suíte Intrusiva Mucajaí - MP_{γm}- (quartzo sienitos, sienogranitos, monzogranitos) (1,54-1,52 Ga; Pb-Pb evaporação em zircão) (Fraga, 2002) e por anortositos e gabros da unidade Repartimento – MP_{δr}- (1,54-1,52; U-Pb em badeleíta) (Santos et al.1999) correspondendo a uma associação AMG (Anortosito-Mangerito-Granito Rapakivi) mesoproterozoica conhecidas por hospedar importantes depósitos de Sn, Fe-Cu e Cr-Ti-V (Charlier et al. 2014)

Como representante do Mesozoico (Jurássico-Cretáceo) e Cenozoico (Neogeno) tem-se os diabásios e andesitos basálticos da Formação Apoteri (135 Ma, Ar-Ar) (Menezes Leal et al.2000) e rochas alcalinas da Suíte Intrusiva Apiaú (monzonitos e traquitos) (107 Ma) (CPRM, em elaboração) sendo as últimas consideradas alvos importantes para ETR, Th-U, Ba e fosfatos, além da Bacia do Tacutu. A Formação Boa Vista (arenito arcoseano, conglomerado) (23,03 Ma) é do Neogeno e a Formação Areias Brancas representa o Quaternário.

O DPA é representado pelas rochas paraderivadas e calcissilicáticas do Grupo Cauarane (2.05 Ga; U-Pb SHRIMP) (Fraga et.al. 2017).

O DUA possui direções predominantes NW-SE e NE-SW relacionado a um conjunto de granitoides pouco deformados, variando entre foliados e isotrópicos, correspondendo ao Complexo Anauá com metatonalitos, metagranito e enclaves de máficas-ultramáficas.

Ainda no DUA tem-se o Granito Martins Pereira com idade de 1,97 Ga (U-Pb em zircão, método da evaporação, Almeida et al. 2002). Afloram também a Suíte Água Branca com os granitos Caroebe 1,9 Ga (U-Pb evaporação, Almeida 2006) e Igarapé Azul 1,89 Ga (U-Pb evaporação, Almeida 2006) com tantalita columbita aluvionar. Completam o cenário geológico, os granitos Mapuera 1,87 Ga, (Pb-Pb evaporação, Almeida 2006) e Moderna 1,82 Ga (U-Pb evaporação, Almeida 2006), ambos com ocorrências de ametistas.

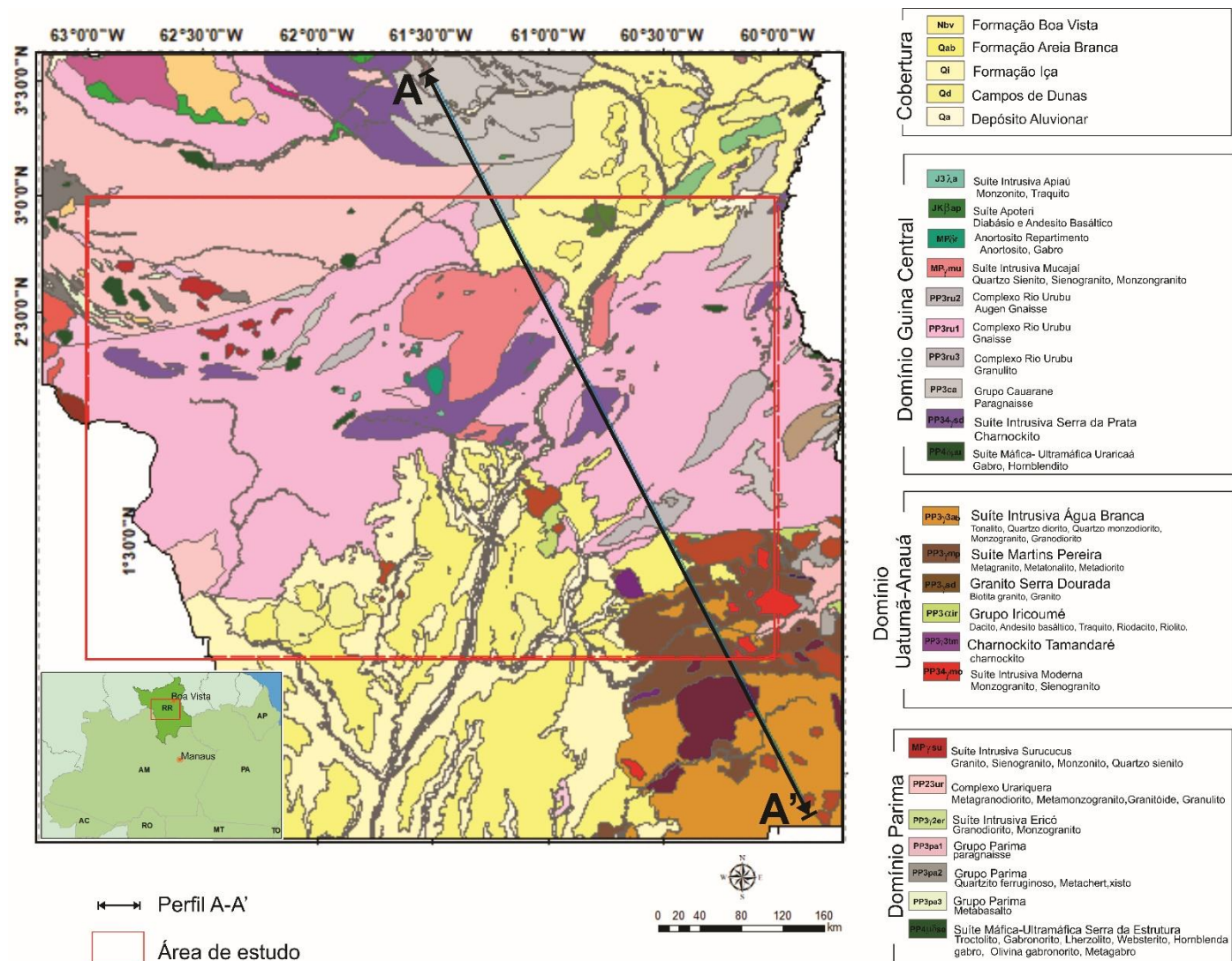


Figura 7 – Mapa geológico adaptado de CPRM (2014), indicando a área de estudo no retângulo vermelho e o perfil A-A' em linha preta (vide Figura 38).

CAPÍTULO 4

MATERIAL E MÉTODOS

4.1 DADOS AEROGEOFÍSICOS

Os dados aerogeofísicos utilizados nesse trabalho são provenientes do Serviço Geológico do Brasil – SGB/CPRM, cedidos na forma de arquivos digitais tomados dos levantamentos Parima-Urariquera (CPRM, 2001), Anauá (CPRM, 2007a), Pitinga (CPRM, 2007b), Carará-Jatapu (CPRM, 2010a), Centro Sudeste de Roraima (CPRM, 2010b), Centro-Leste de Roraima (CPRM, 2011) e Catrimâni - Aracá (CPRM, 2012b) cujas áreas e atributos encontram-se representadas na Figura 8 e Tabela 2.

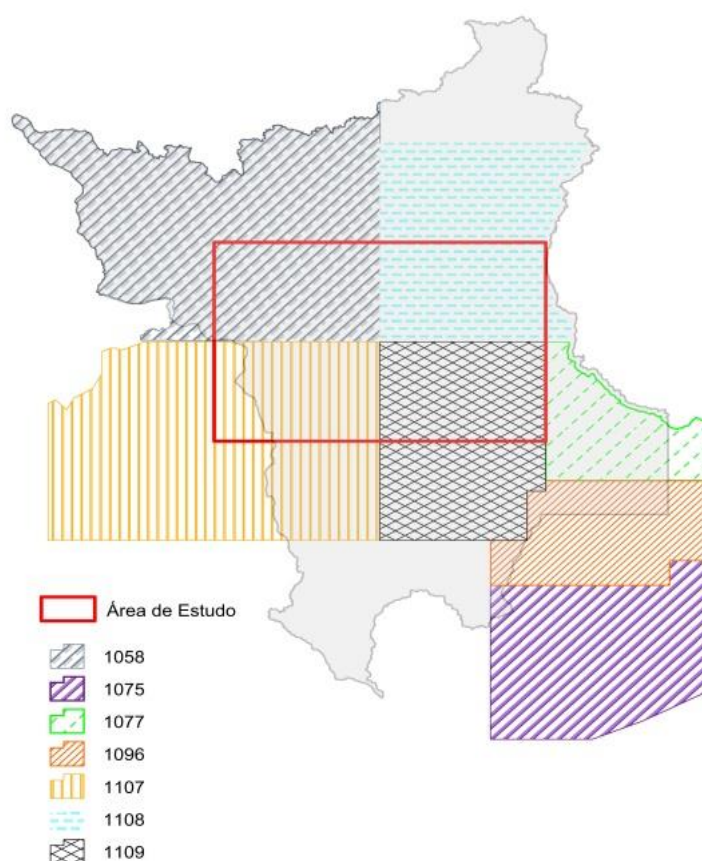


Figura 8– Representação espacial da cobertura dos levantamentos aerogeofísicos em tramas com os seus respectivos código de registro na SGB/CPRM. Parima-Urariquera (1058), Anauá (1077), Pitinga (1075), Carará-Jatapu (1096), Centro Sudeste de Roraima (1109), Centro-Leste de Roraima (1108) e Catrimâni - Aracá (1107), configurações na Tabela 2.

Os dados dos aerolevantamentos envolvem intervalos de amostragens de 0,1 s (magnetômetro) e 1,0 s (gamaespectrômetro), nas configurações descritas na Tabela 2.

Tabela 2– Configuração dos aerolevantamentos utilizados na interpretação.

Projeto	ANO	Direção das linhas de voo	Espaçamento entre linhas de voo (m)	Direção das linhas de controle	Espaçamento entre linha de controle (km)	Altura média do voo (m)
1058-Parima - Uraricoera	2001	N-S	500	E - W	10	100
1077-Anauá	2007	N-S	500	E - W	10	100
1096-Carará - Jatapu	2010	N-S	500	E - W	10	100
1108-Centro-Leste Roraima	2011	N-S	500	E - W	10	100
1109-Centro Sudeste de Roraima	2010	N-S	500	E - W	10	100
1107-Catrimâni- Aracá	2012	N-S	500	E - W	10	400
1075-Pitinga	2007	N-S	500	E - W	10	100

4.2 DADOS GEOLÓGICOS

O arcabouço geológico utilizado no estudo é baseado no mapa de Geodiversidade de Roraima (CPRM, 2014) representado na Figura 7.

4.3 DADOS GEOQUÍMICOS

Parte da integração foi realizada com junção de dados geofísicos e geoquímicos, os quais permitiram criar mapas de favorabilidade. Os dados geoquímicos utilizados estão disponíveis na base de dados do Serviço Geológico do Brasil - GeoSGB.

Os dados geoquímicos utilizados no mapa de favorabilidade foram provenientes de amostras coletadas pela empresa Brasil Explore, contratada pela CPRM, em campanhas realizadas entre 2012 e 2014. As amostras de solo foram coletadas, sempre que as condições de acesso assim permitiram, na forma de malha regular com intervalo de 5 km, enquanto as amostras de sedimentos de corrente representam áreas de influência com, no mínimo, 10km². Na área de estudo foram selecionadas 867 amostras de solo e 1230 amostras de sedimentos de corrente. Os elementos Fe, Ni, Sc, Ti e V foram então selecionados devido a sua afinidade com rochas máficas e ultramáficas.

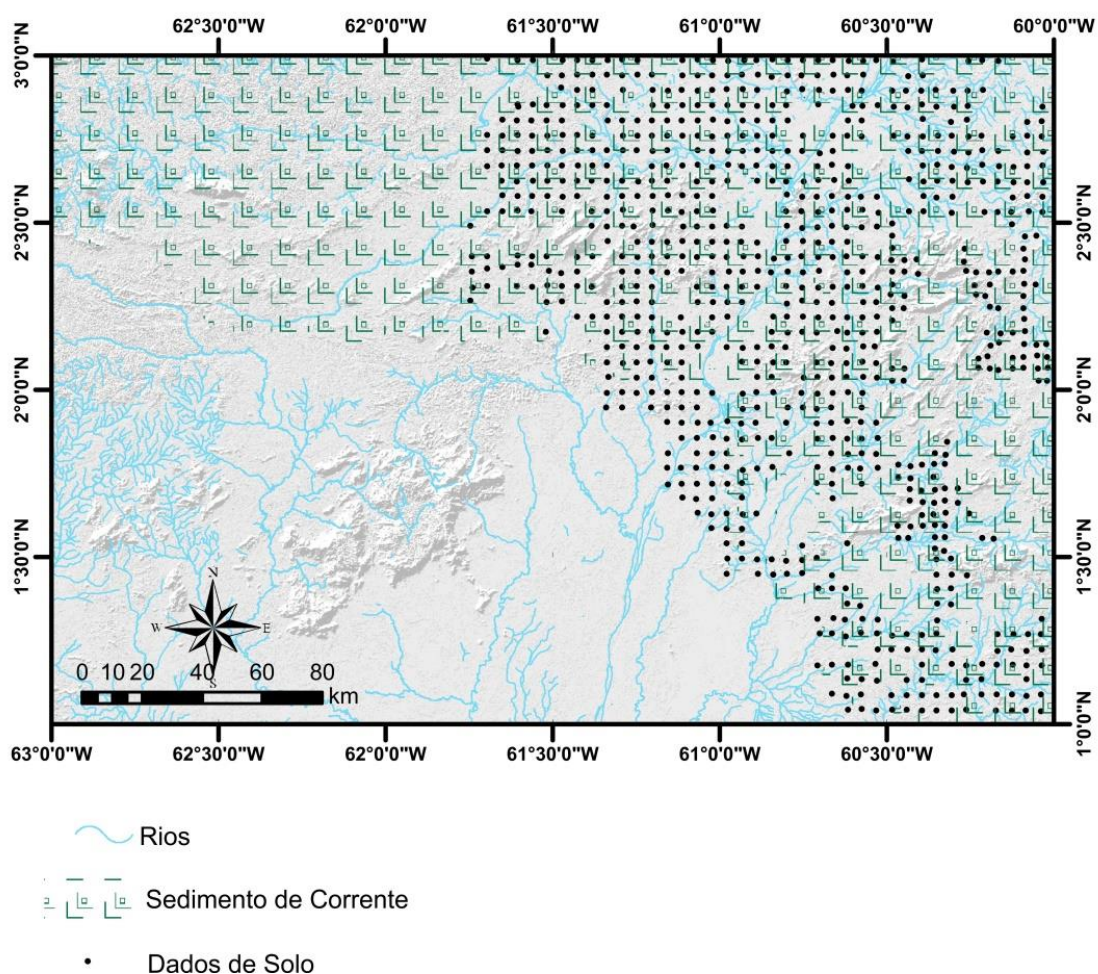


Figura 9 – Mapa da cobertura de dados geoquímicos na área de estudo indicando as 867 amostras de solo as 1230 amostras de sedimentos de corrente distribuídos pelas bacias as quais a área encontra-se representada pelos símbolos verdes.

4.4 MÉTODOS

O fluxograma da Figura 10 representa os métodos utilizados, que resumidamente podem ser descritos como: (i) pré-processamento (avaliação da distribuição e qualidade do banco de dados); (ii) processamento, interpolação, geração de mapas e aplicação de filtros de realce; (iii) interpretação qualitativa e semiquantitativa e (iv) integração das informações, incluindo dados geológicos em escala regional, seguida da (v) interpretação em detalhe e inferência de áreas favoráveis para associação Fe-Ti-V.

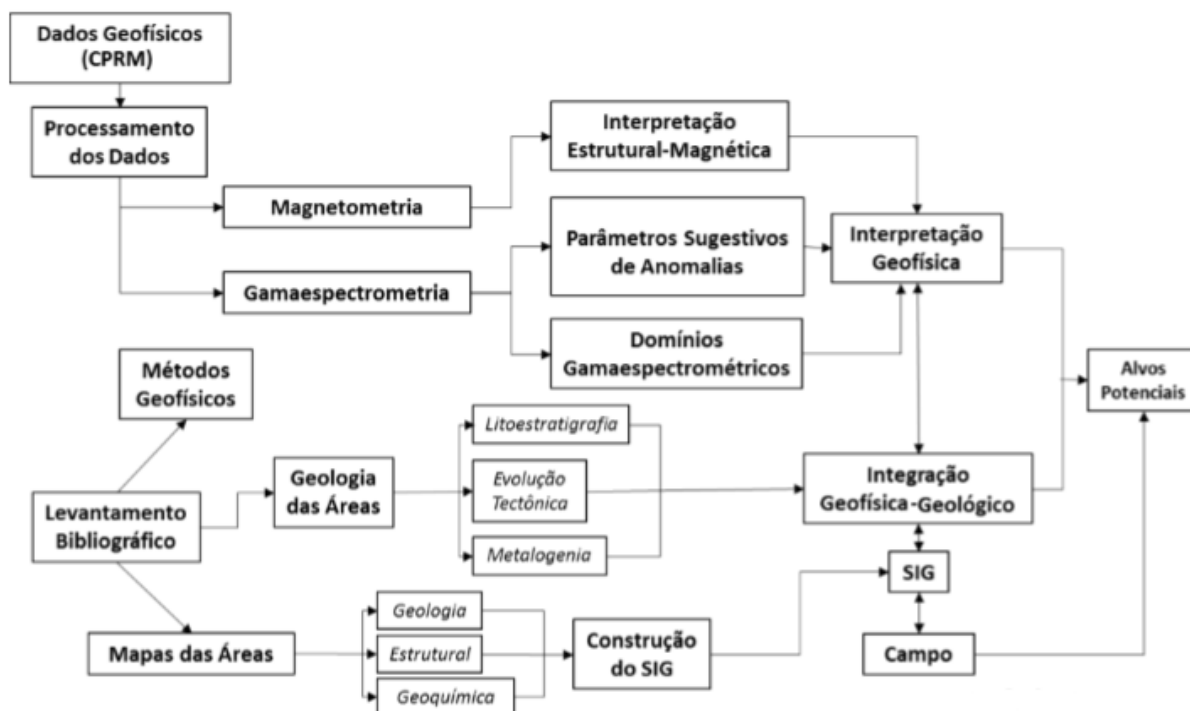


Figura 10 – Fluxograma dos métodos adotados para a montagem da base de dados, processamento e interpretação.

4.4.1 GAMAESPECTROMETRIA

Pelo método gamaespectrométrico é possível medir a radiação emitida naturalmente pelas rochas e seus produtos de alteração. Apesar de vários elementos emitirem radiação, nos levantamentos gamaespectrométricos são detectadas as desintegrações dos isótopos de potássio (K-40), bismuto (Bi-214) e tálio (TI-208), das respectivas séries de decaimento radioativo do potássio (K, %), tório (eTh, ppm) e urânio (eU, ppm).

A partir dos dados e do comportamento geoquímico destes elementos nas rochas e solos, é possível relacionar suas concentrações à geologia local. A radiação detectada é limitada em aproximadamente 30 a 40 cm em subsuperfície, pela perda de energia dos raios gama (Minty, 1988; IAEA,1991; Ulbrich et al. 2002; IAEA,2003).

4.4.1.1 PROCESSAMENTO

Foram gerados mapas básicos de contagem total (CT, $\mu\text{R/h}$), potássio (K, %), equivalente de tório (eTh, ppm) e equivalente de urânio (eU, ppm) foram interpolados. E a partir dos mapas bases, mapas transformados de razões (eTh/K, eU/K, eU/eTh), índice máfico $\text{IM} = \text{ASA} / (\text{K} * \text{eU} * \text{eTh})$, composições ternárias RGB/K-eTh-eU, CMY/K-eTh-eU e RGB simplificado.

Um mapa litogeofísico foi delineando a partir da interpretação dos domínios gamaespectrométricos na imagem RGB simplificada (RGB-S) com base na metodologia aplicada por Chiarini et al.(2013) e exemplificada por Oliveira et. al. (2015).

4.4.1.1.1 ÍNDICE MÁFICO

O índice máfico (Pires & Moraes, 2006) foi utilizado para delimitar corpos máficos e ultramáficos. O produto tende a eliminar a influência de matérias ricas em Fe presentes em solos lateríticos.

$$IM = \frac{ASA}{(K * eU * eTh)} \quad (1)$$

Onde IM , índice máfico

ASA , amplitude do sinal analítico

K , potássio

eU , equivalente de urânio

eTh , equivalente de tório

4.4.1.1.2 RGB simplificado

Na geofísica a técnica de composição de imagens ternárias é empregada principalmente na interpretação de dados gamaespectrométricos. Esse procedimento consiste em utilizar as concentrações de K (%), eTh (ppm) e eU (ppm) em uma única imagem, sendo que cada concentração é relacionada a uma cor primária do sistema aditivo RGB (*Red, Green, Blue*) ou subtrativo CMY (*Cyan, Magenta, Yellow*) (Fig.11).

A composição da imagem colorida revela nuances não percebidas pelo olho humano nas imagens monocromáticas, auxiliando na interpretação (Envi, 2000).

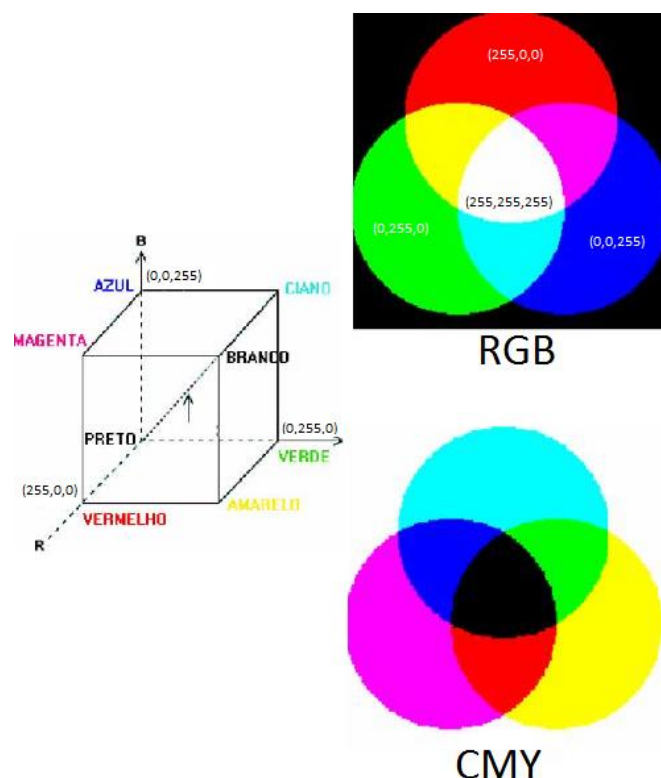


Figura 11 – Representação das composições ternárias. Os círculos representam as cores primárias do sistema aditivo RGB, subtrativo CMY e suas combinações nas intersecções. O cubo traduz o comportamento dos círculos em três dimensões, onde cada vértice possui a variação da tonalidade de 0 para mínimo (preto) e 255 para o máximo (branco). Fonte Envi (2000).

Uma imagem ternária possui 24bits por pixel, uma combinação de aproximadamente 16 milhões de tonalidades graduais, que tende ser de difícil representação geológica.

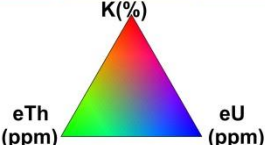
O SGB/CPRM em seus mapas de integração geofísico-geológica vem interpretando os domínios gamaespectrométricos com concentrações de K, eU e eTh relativas a partir da composição RGB simplificada (RGB-S).

Essa adaptação é realizada da análise do histograma das concentrações de K, eTh e eU em uma reclassificação por três intensidades:

- Baixo 1
- Médio 2
- Alto 3

Com a reclassificação é criada uma paleta de cores onde temos três intensidades, para três concentrações (C_3^3), ou seja, para cada concentração (K, eTh, eU) há três possibilidades de intensidade (alto, médio e baixo) e suas combinações podem gerar 27 cores de acordo a Tabela 3.

Tabela 3 – Combinação RGB simplificada com 27 tonalidades.

Canais da Imagem Ternária			Composição Ternária	111	211	311
Red	Green	Blue		112	212	312
K(%)	eTh(ppm)	eU(ppm)		113	213	313
1- baixo K < M	1- baixo eTh < M	1- baixo eU < M		121	221	321
2- médio M < K < M+2sd	2- médio M < eTh < M+2sd	2- médio M < eU < M+2sd		122	222	322
3- alto K < M+2sd	3- alto eTh < M+2sd	3- alto eU < M+2sd		123	223	323
				131	231	331
				132	232	332
				133	233	333

(M) mediana (sd) desvio padrão

4.4.2 MAGNETOMETRIA

Quando um corpo é inserido em um campo magnético externo, o mesmo sofre uma indução magnética ($\vec{M}_i$), indicada pela Equação 2.

$$\vec{M}_i = \chi \times \vec{H} \quad (2)$$

Onde M_i , magnetização induzida

χ , susceptibilidade magnética

$\vec{H}$, campo magnético externo

A susceptibilidade magnética (χ) é uma propriedade física que está diretamente relacionada à quantidade de minerais magnéticos presentes em um corpo. O corpo pode ser de material diamagnético com fraca magnetização e sentido contrário ao campo, paramagnético com fraca magnetização e sentido igual ao campo e ferromagnético alta magnetização com mesmo sentido do campo.

Segundo Blakely (1995), a magnetização total dos corpos tridimensionais é calculada pela Equação 3. Sendo a magnetização total ($\vec{M}$) do corpo dada pela somatória dos momentos magnéticos ($\vec{m}_i$) em função do seu volume (V).

$$\vec{M} = \frac{1}{V} \sum_i \vec{m}_i \quad (3)$$

Onde $\vec{M}$, magnetização total.

V , volume

$\vec{m}_i$, momento magnético

Levantamentos magnetométricos são realizados com o objetivo de investigar anomalias do campo magnético terrestre. Medidas magnéticas envolvem três componentes de acordo a Equação 4, o campo magnético total (CMT), o campo magnético externo (IGRF- *International Geomagnetic Reference Field*) e o campo magnético crustal ou anômalo (CMA), sendo o último de interesse para as interpretações.

$$CMA = CMT - IGRF \quad (4)$$

Onde CMT, campo magnético total.

CMA, campo magnético anômalo

IGRF, modelo de previsão para variação quinquenal do campo magnético total.

Correções para ressaltar as feições geológicas visando diminuir as variações na aquisição e pré-processamento são necessários (Reeves, 2005). Nos parágrafos seguintes são indicadas breves das principais correções. Entretanto, para melhores detalhes recomendam-se bibliografias da literatura geofísica, como Telford et al. (1990), Nabighian & Macnae (1991), Blakely (1995) e Nabighian (2005)

- Erro de paralaxe: é a defasagem entre os tempos da leitura das medidas do magnetômetro e o sistema de posicionamento;
- Variação magnética diurna: é a interação entre ventos solares e o campo geomagnético no período curto de um dia. Seu comportamento tende a ser linear, alcançando o seu valor máximo entre às 12h e 13h nas regiões próximas aos trópicos e valores mínimos no começo e final de cada dia;
- Nivelamento: se faz pelas diferenças sistemáticas entre as linhas de aquisição adjacentes, ocasionando um desnível entre as linhas de voo;
- Micronivelamento visa minimizar de curtos comprimentos de onda que não foram removidos durante o nivelamento.
- Remoção do IGRF: o campo geomagnético apresenta uma variação para longos períodos, tendo os polos uma trajetória irregular sobre a superfície do planeta. Essa variação é prevista pelo IGRF, obtida a partir de previsões quinquenais.

4.4.2.1 PROCESSAMENTO

4.4.2.1.1 REDUÇÃO AO POLO E AO EQUADOR MAGNÉTICO

Estudos a respeito de centralização da anomalia no corpo magnético foram realizados a fim de diminuir a ambiguidade da interpretação, considerando que a região se encontra em baixa latitude, ao norte do equador. Na Figura 12 é apresentada a simulação das anomalias magnéticas esperadas para a região (Fig.12A), juntamente com a comparação das anomalias reduzidas ao polo (RP) (Fig.12B) e ao equador magnético (RE) (Fig.12C), centralizando o máximo (no polo) e o mínimo (no equador) em relação ao centro do corpo magnético.

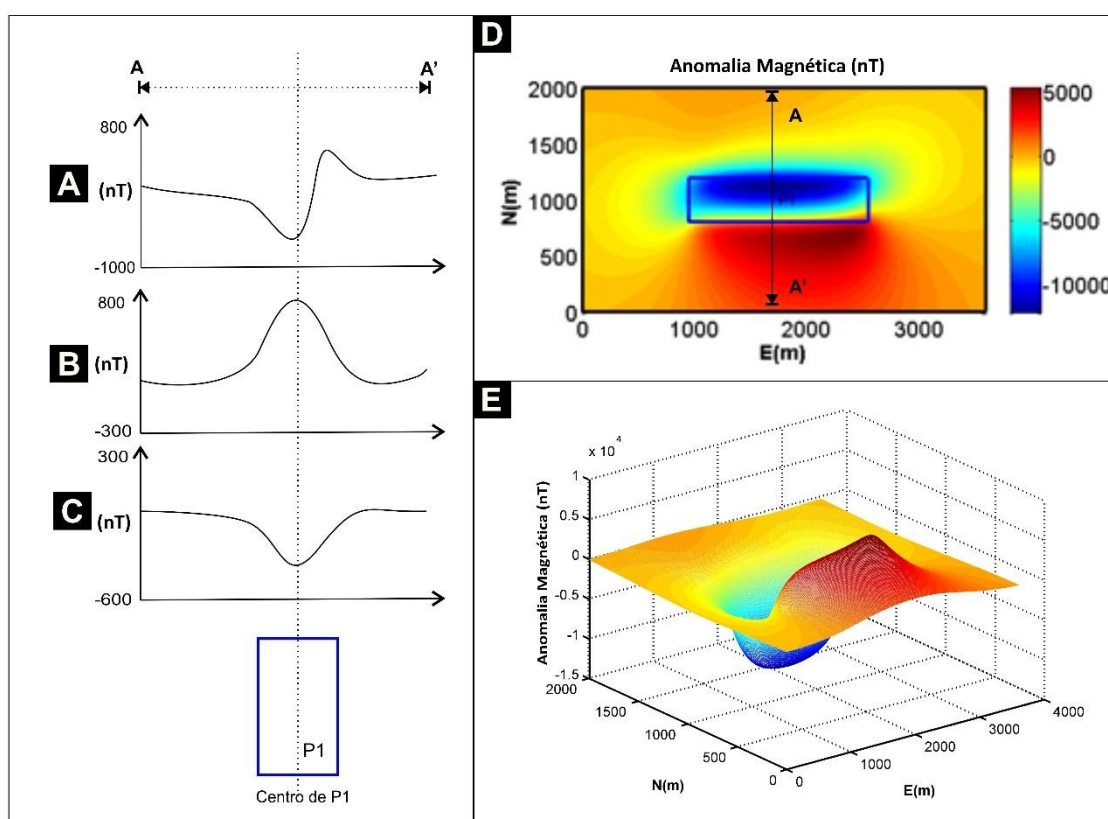


Figura 12 - Anomalias magnéticas esperadas para a região de estudo (A) (D) e (E). Observe que o centro do corpo coincide com o máximo na anomalia reduzida ao polo (B) e com o mínimo na anomalia reduzida ao equador (C).

4.4.2.1.2 GRADIENTES HORIZONTAIS D_x , D_y (nT/m) E GRADIENTE VERTICAL D_z (nT/m)

Os gradientes horizontais são obtidos através da derivada da anomalia magnética com o intuito de realçar estruturas perpendiculares às direções das derivadas. São realizadas preferencialmente no domínio do espaço para diminuir o sinal de altas frequências,

realçando bordas de anomalias de fontes rasas, enquanto o gradiente vertical é calculado no domínio da frequência.

$$Dx = \frac{\partial M}{\partial x} \quad (5)$$

$$Dy = \frac{\partial M}{\partial y} \quad (6)$$

$$Dz = \frac{\partial M}{\partial z} \quad (7)$$

4.4.2.1.3 AMPLITUDE DO SINAL ANALÍTICO, ASA (nT/m)

A amplitude do sinal analítico (Nabighian, 1972; Roest et al. 1992; Nabighian, 2005), ou gradiente total, de acordo a Equação 8 é resultante da somatória dos quadrados dos gradientes horizontais (Dx e Dy) e vertical (Dz), onde o máximo da amplitude do sinal indica o centro do corpo magnético, em corpos estreito e simétricos ou bordas em corpos extensos não simétricos.

$$ASA = \sqrt{\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial z}\right)^2} \quad (8)$$

A amplitude do sinal analítico foi utilizada para delinear o contorno de corpos e estruturas magnéticas, observando que a amplitude do sinal decresce com o aumento da profundidade do corpo.

4.4.2.1.4 HORIZONTAL TOTAL, GHT (nT/m)

O gradiente horizontal total (Cordell & Grauch, 1985) é indicado na Equação 9, onde os máximos da amplitude estão centrados nas bordas das fontes. GHT é utilizado para indicar mudanças laterais de propriedades físicas mas , assim como ASA , a amplitude decresce com o aumento da profundidade da estrutura ou corpo magnético.

$$GHT = \sqrt{\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2} \quad (9)$$

4.4.2.1.5 INCLINAÇÃO DO SINAL ANALÍTICO, ISA (rad)

No método ISA (Miller & Singh, 1994) os ângulos positivos estão acima da fonte magnética, os próximos do zero indicam borda do corpo magnético, enquanto valores

negativos representam ausência fonte magnética. O método normaliza as amplitudes do sinal das fontes anômalas, capaz de realçar anomalias profundas nas mesmas intensidades de fontes rasas.

$$\theta = tg^{-1} \left(\frac{Gz}{GHT} \right) \quad (10)$$

A ISA centraliza os valores máximos no centro da fonte magnética, portanto o método não é um indicador de borda.

4.4.2.1.6 INCLINAÇÃO DO GRADIENTE HORIZONTAL , IGHT (rad)

A inclinação do sinal do gradiente horizontal (IGHT) (Cooper & Cowan, 2006) indicado na Equação 11, normaliza a amplitude de fontes rasas e profundas, onde o máximo da amplitude localiza-se nas bordas do corpo magnético e o mínimo no centro da fonte magnética.

$$IGHT = \tan^{-1} \left(\frac{GHT}{|Gz|} \right) \quad (11)$$

4.4.2.1.7 ESPECTRO DE POTENCIA RADIAL, SPC

O espectro de potência radial corresponde à relação direta entre o logaritmo da densidade da energia espectral, número de onda e profundidade do topo das fontes magnéticas, sua interpretação permite estimar a profundidade e definir quantitativamente componentes regionais e residuais. A profundidade é expressa pela Equação 12.

$$h = \frac{-s}{4\pi} \quad (12)$$

Onde h, profundidade do topo da fonte

s, inclinação de um determinado ajuste de reta do logaritmo de densidade de energia.

(Blakely, 1995; Geosoft,2009)

4.4.2.1.8 INVERSÃO DOS DADOS

A inversão dos dados magnéticos foi aplicada na plataforma de inversão de dados potenciais VOXI do software Oasis Montaj (Geosoft®).

Na geofísica, a inversão de dados é realizada na tentativa de criar um modelo que reproduza uma resposta semelhante aos dados observados. O problema inverso pode ser descrito na Equação 13 (Williams, 2006).

$$Gm = d^{obs} \quad (13)$$

Onde G, operador direto (descreve o problema físico)

m , modelo

d^{obs} , dado observado (medido)

O modelo é discretizado em um espaço tridimensional ortogonal composto por células de tamanhos predefinidos. Para cada célula é atribuído um valor de susceptibilidade magnética em uma determinada topografia.

Interações automáticas no algoritmo são realizadas a cada ajuste (função objetiva), onde o modelo tende a ser aproximar da resposta do dado observado até atingir um erro já estabelecido pelo usuário.

O grau de ajuste é dado pela minimização da função objetiva descrita na Equação 14 (Shearer, 2005).

$$\phi = \phi_d + \beta \phi_m \quad (14)$$

Onde ϕ , a função objetiva.

ϕ_d , função de erro no ajuste dos dados.

β , parâmetro que define o grau de importância entre as funções no modelo.

ϕ_m , função do modelo.

4.4.3 FAVORABILIDADE – Lógica Fuzzy

Mapas de favorabilidade sugerem áreas potenciais para um determinado bem mineral. A favorabilidade é obtida por modelos que indicam condições necessárias para se encontrar associação ou bem mineral, a partir da integração dados multifonte. Os modelos previsionais encontram-se descritos em Wright & Bonham-Carter (1996), Raines (1999), Venkataraman et al. (2000), Carranza & Hale (2001) e Harris et al. (2001).

Neste trabalho, a integração dos dados foi realizada a partir da extensão *Spatial Data Modeller* (SDM) do software ArcGIS, desenvolvida inicialmente por Don Sawatzky (USGS), Gary L. Raines (USGS) e Graeme F. Bonham-Carter (GSC).

A lógica *fuzzy* foi o algoritmo utilizado por tratar-se de uma área de *greenfield*, em estágio de reconhecimento regional. O algoritmo envolve uma ferramenta matemática sofisticada, que converte a probabilidade de uma determinada característica relacionada com os processos de interesse em espectros contínuos (Boham-Carter, 1995; Brown et al., 2003).

Os dados de entradas são previamente “rasterizados” e simplificados pelas funções de pertinência *fuzzy* (*small-Equação 15*, *large-Equação 16* e *categorical*), que a partir de parâmetros do ponto médio (pertinência) e espalhamento são usado para indicar altos e baixos valores.

- *small*,

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x}{f_2}\right)^{f_1}} \quad (15)$$

Onde $\mu(x)$ é a possibilidade *fuzzy*

x é o valor *original*.

f_1 é o espalhamento da transição de valores de pertinência

f_2 consiste no ponto médio do valor de pertinência escolhido

- *large*

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x}{f_2}\right)^{-f_1}} \quad (16)$$

Onde $\mu(x)$ é a possibilidade *fuzzy*

x é o valor *original*.

f_1 é o espalhamento da transição de valores de pertinência

f_2 consiste no ponto médio do valor de pertinência escolhido

Os mapas de evidências foram combinados por meios das escolhas de operadores como *fuzzy produto*, *fuzzy soma* e *fuzzy gamma* (Boham-Carter, 1995).

- *fuzzy produto* ($\mu_{produto}$)

$$\mu_{produto} = \prod_{i=1}^n \mu_i \quad (17)$$

Onde μ_i é a possibilidade *fuzzy* para o i-ésimo mapa, $i = 1, 2, \dots, n$ mapas combinados, e produto é a possibilidade *fuzzy* resultante (An et al., 1991; Bonham-Carter, 1994).

- *fuzzy soma* (μ_{soma})

$$\mu_{soma} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i) \quad (18)$$

Onde μ_i é a possibilidade *fuzzy*.

- *fuzzy gamma* (μ_{gamma})

$$\mu_{gamma} = (\mu_{soma})^\gamma x (\mu_{produto})^{1-\gamma} \quad (19)$$

Onde γ é o parâmetro escolhido entre 0 e 1. Quanto mais próximo de 1 for o valor escolhido o *fuzzy gamma* se comportará como uma soma (Eq.18). Se o valor escolhido for próximo de zero a equação 19 terá o comportamento de produto algébrico (Eq.17)

Foram realizados modelos de áreas potenciais para mineralizações de Fe-Ti-V, a partir de dados geofísicos e geoquímicos disponíveis.

Como critérios geológicos, temos os anortositos de associações do tipo AMCG, complexos máficos estratificados, lentes de rochas ultramáficas (e.g. dunitos, harzburgitos) e corpos gabróicos e anortosíticos (Fig.7)

Sistemas de mineralização Fe-Ti-V são caracterizados por apresentarem altas quantidades de minerais máficos e, conseqüentemente, baixas concentrações de sílica e altas concentrações de Fe e Mg, além de elementos como Cu, Co, Cr, Ni, Ti e V. Podem ser hospedeiros de depósitos importantes como, por exemplo, cromita, Ni-Cu-PGE e Fe-Ti-V em complexos magmáticos estratificados, talco e magnesita em rochas ultramáficas, asbestos, Fe-Ti-V-P em anortositos de complexos AMCG, entre outros (Albers, 1986; Singer & Page, 1986; Naldrett et al., 1987, Mosier et al., 2012; Ziantek, 2012; Charlier et al., 2014).

5.1 CARACTERIZAÇÃO MAGNÉTICA E GAMAESPECTROMÉTRICA DA GEOLOGIA E DO ARCABOUÇO TECTÔNICO DO EXTREMO NORTE DA PROVÍNCIA TAPAJÓS-PARIMA, CRÁTON AMAZÔNICO, NORTE DO BRASIL

Vanessa da Silva Oliveira^{1,2*}, Francisco José Fonseca Ferreira¹, Nelson Joaquim Reis²,
Roberto Gusmão de Oliveira²

1-Universidade Federal do Paraná - UFPR

2-Serviço Geológico do Brasil - CPRM

* e-mail: vanessa.silva@cprm.gov.br

Título Menor: Interpretação Geofísica da Porção Setentrional do Cráton Amazônico.

Resumo

Nas últimas décadas o Serviço Geológico do Brasil - CPRM desenvolveu programas de levantamentos aerogeofísicos no território nacional, os quais recobrem 86% do estado de Roraima. A área de estudo incluiu quatro folhas na escala de 1:250.000 (aproximadamente 72.600 km²), de um trato setentrional do Cráton Amazônico, situada na porção central do estado de Roraima (RR), no extremo norte do Brasil. Abrange parte das províncias Rio Negro (1,82-1,52 Ga) e Tapajós-Parima (2,03-1,88 Ga) e respectivos domínios Serra Imeri (DSI), Parima (DPA), Surumu (DSU), Uatumã-Anauá (DUA) e Guiana Central (DGC), este, com maior recobrimento na área de estudo. A integração geofísico-geológica foi realizada através da sobreposição das informações aeromagnetométricas, aerogamaespectrométricas e geológicas disponíveis na literatura. Essas informações foram utilizadas para indicar áreas ao mapeamento e assim apoiar a cartografia e fomentar o conhecimento geológico do estado, contribuindo para o desenvolvimento da região. A interpretação do mapa litogeofísico permitiu indicar assinaturas gamaespectrométricas para unidades ígneas plutônicas, metamórficas e sedimentares e respectivos produtos intempéricos. Em subsuperfície foram interpretados seis domínios magnetométricos. Quando comparados àqueles tectonoestratigráficos, observa-se que apenas um domínio comparece integralmente no DGC. Com a finalidade de estimar a profundidade das fontes magnéticas foi empregada à técnica do espectro de potência, a qual indicou profundidades rasas (até 1 km), intermediárias (entre 1 e 12 km) e profundas (entre 12 e 40 km), observando-se os limites dos domínios magnéticos nos três intervalos estimados.

Palavra Chave: Roraima, Magnetometria, Gamaespectrometria

Abstract

In the last decades, the Geological Service of Brazil has been conducting geophysical survey in the national territory, which already cover 86% of the state of Roraima. The study area included four leaves in the 1: 250,000 (approximately 72,600 km²) scale of a northern tract of the Amazonian Craton, located in the central portion of the state of Roraima (RR), in the extreme north of Brazil. It covers part of the Rio Negro (1.82-1.52 Ga) and Tapajós - Parima (2.03-1.88 Ga) and respective Sierra Imeri (DSI), Parima (DPA), Surumu (DSU), Uatumã - Anauá (DUA) and Central Guyana (DGC), this one, with greater overlap in the study area. Geophysical-geological integration was performed through the overlapping of magnetometric, gamma-ray spectrometry and geological information available in the literature. This information was used to indicate areas for mapping and thus to support cartography and to foster geological knowledge of the state, contributing to the development of the region. The interpretation of the litogeophysical map allowed indicating radiometric signatures for plutonic, metamorphic and sedimentary igneous units and respective weathering products. Six subscriber domains were interpreted in subsurface. When compared to those tectonostratigraphy, it is observed that only one domain appears integrally in the DGC. In order to estimate the depth of the magnetic sources, it was used the power spectrum technique, which indicated shallow (up to 1 km), intermediate (1 to 12 km) and deep (12 to 40 km) depths, the limits of the magnetic domains in the three estimated intervals.

Keyword: Amazonian Craton, Magnetometry, Gamma – ray spectrometry

Pb,Pb-Pb e Ar-Ar), contribuindo para a definição dos limites e evolução das províncias do Cráton Amazônico.

No âmbito da área de estudo um terceiro enfoque foi proposto por Reis e Fraga (2000) e Reis et al. (2003; 2006), com base na compartimentação tectonoestratigráfica relacionadas aos domínios Serra do Imeri (DSI), Alto Rio Negro(DAR), Uatumã–Anauá(DUA), Parima(DPA), Surumu (DSU) e Guiana Centra (DGC)(Fig. 2).

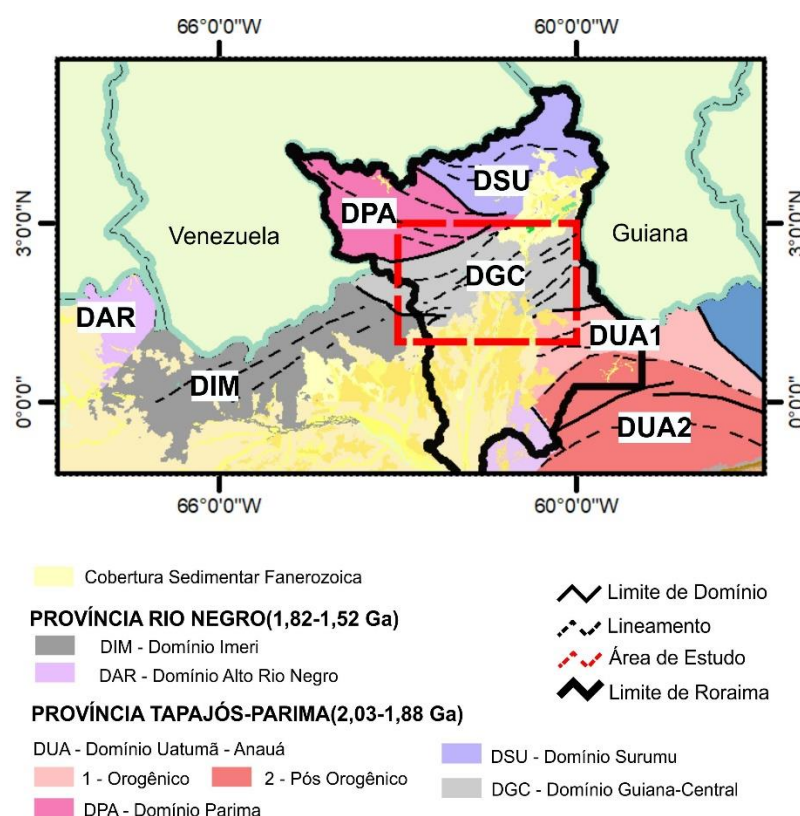


Figura 2 - Domínios tectonoestratigráficos propostos por Reis e Fraga (2000) e Reis et al. (2003; 2006). A área de estudo corresponde à região delimitada pelo quadro com traço vermelho. Modificado de CPRM (2014).

A compartimentação tectonoestratigráfica apresentada na Figura 2 foi utilizada como referência para os trabalhos de interpretação dos dados geofísicos deste artigo. Dentre os seis domínios de Reis et al. (2003) a área de estudo envolve os domínios Parima (DPA), Guiana Central (DGC) (predominante) e Uatumã-Anauá (DUA) (Fig. 2).

O DGC de idade paleoproterozoica é representado pelo Complexo Rio Urubu (PP3ru_) composto por granulitos, ortognaisses e augen-gnaisses (1,96 a 1,92 Ga; Pb-Pb evaporação Gaudette et al., 1996; Fraga, 2002; CPRM, 2003), de acordo com a Figura 3

Também afloram no DGC rochas da Suíte Intrusiva Serra da Prata - PP34_{γsp} - (1,94-1,93 Ga; Pb-Pb em zircão, método de evaporação) (Fraga, 2002) constituída de

charnockitos, charnoenderbitos e mangeritos. Suíte Intrusiva Mucajá - MP γ m- (quartzo sienitos, sienogranitos, monzogranitos) (1,54-1,52 Ga; Pb-Pb evaporação em zircão) (Fraga, 2002) e por anortositos e gabros da unidade Repartimento – MP δ r- (1,54-1,52 Ga; U-Pb em badeleíta) (Santos et al., 1999) correspondendo a uma associação AMG (Anortosito-Mangerito-Granito Rapakivi) mesoproterozoica conhecidas por hospedar importantes depósitos de Sn, Fe-Cu e Cr-Ti-V (Charlier et al., 2014)

Como representante do Mesozoico (Jurássico-Cretáceo) e Cenozoico (Neogeno) tem-se os diabásios e andesitos basálticos da Formação Apoteri (135 Ma, Ar-Ar) (Menezes Leal et al. 2000) e rochas alcalinas da Suíte Intrusiva Apiaú (monzonitos e traquitos) (107 Ma) (CPRM, em elaboração) sendo as últimas consideradas alvos importantes para ETR, Th-U, Ba e fosfatos, além da Bacia do Tacutu. A Formação Boa Vista (arenito arcoseano, conglomerado) (23,03 Ma) é do Neogeno e a Formação Areias Brancas representa o Quaternário (Fig. 3).

O DPA (Figs. 2 e 3) é representado pelas rochas paraderivadas e calcissilicáticas do Grupo Cauarane (2.05 Ga; U-Pb SHRIMP) (Fraga et al., 2017).

O DUA indica direções predominantes segundo NW-SE e NE-SW correspondendo a um conjunto de granitoides pouco deformados, variando entre foliados e isotrópicos, relacionados ao Complexo Anauá com metatonalitos, metagranitos e enclaves de rochas máficas-ultramáficas.

Ainda no DUA tem-se o Granito Martins Pereira com idade de 1,97 Ga (U-Pb em zircão, método da evaporação, Almeida et al., 2002). Afloram também a Suíte Água Branca com os granitos Caroebe 1,9 Ga (U-Pb evaporação, Almeida 2006) e Igarapé Azul 1,89 Ga (U-Pb evaporação, Almeida 2006) com tantalita e columbita aluvionar. Completam o cenário geológico, os granitos Mapuera 1,87 Ga, (Pb-Pb evaporação, Almeida 2006) e Moderna 1,82 Ga (U-Pb evaporação, Almeida 2006), ambos com ocorrências de ametista.

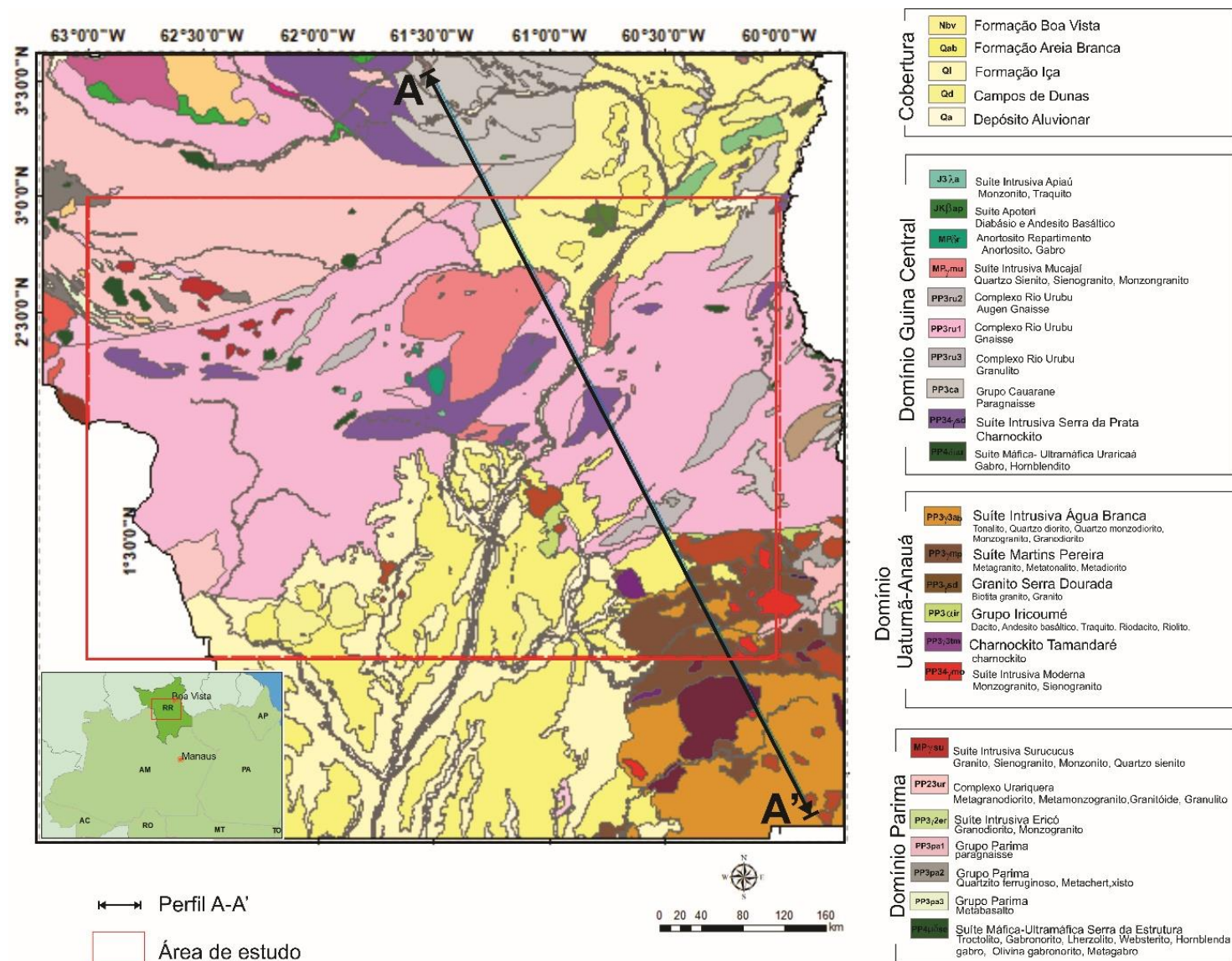


Figura 3 – Mapa geológico simplificado do projeto Geodiversidade do Estado de Roraima (CPRM, 2014), indicando a área de estudo no retângulo vermelho e perfil A-A' em linha preta.

2. Material

2.1 Dados Geofísicos

Os dados geofísicos utilizados nesse trabalho foram cedidos pela CPRM, na forma de arquivos digitais, provenientes dos projetos aerogeofísicos Parima-Urariquera (CPRM, 2001), Anauá (CPRM, 2007a), Pitinga (CPRM, 2007b), Carará-Jatapu (CPRM, 2010a), Centro Sudeste de Roraima (CPRM, 2010b), Centro-Leste de Roraima (CPRM, 2011) e Catrimâni - Aracá (CPRM, 2012) representados na Figura 4. Os intervalos de amostragem foram de 0,1s (magnetômetro) e 1,0 s (gamaespectrômetro).

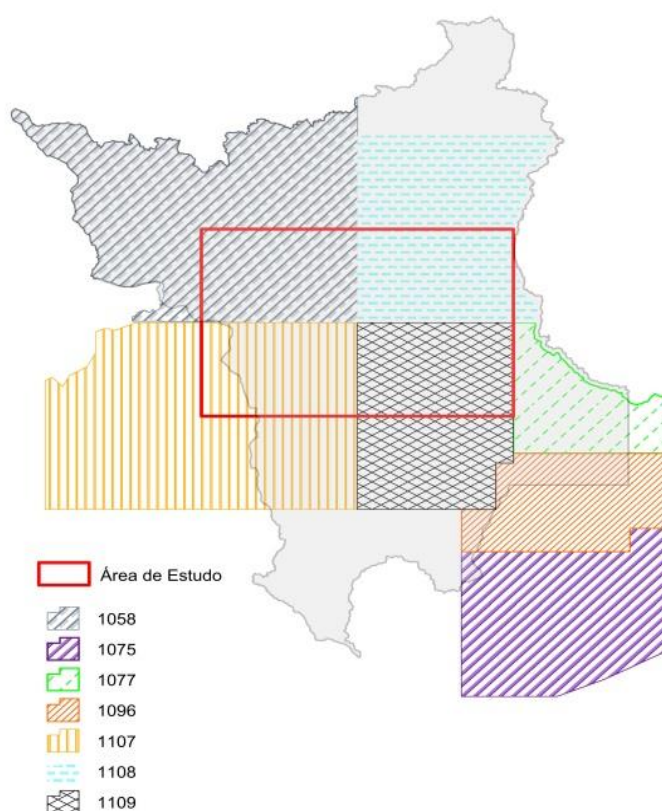


Figura 4– Aerolevantamentos Parima-Urariquera (1058), Pitinga (1075), Anauá (1077), Carará-Jatapu (1096), Catrimâni - Aracá (1107), Centro-Leste de Roraima (1108) e Centro Sudeste de Roraima (1109).

Todos os aerolevantamentos da Figura 4 possuem a mesma configuração, ou seja, linhas de aquisição na direção N-S espaçadas de 500 m, linhas de controle na direção E-W espaçadas de 10 km e altura nominal de voo de 100m.

2.2 DADOS GEOLÓGICOS

A geologia utilizada como base para esse trabalho é indicada no mapa geológico da Figura 3 (CPRM, 2014).

3. Métodos

O fluxograma da Figura 5 representa os métodos utilizados, que resumidamente pode ser descrito como: (i) pré-processamento (avaliação da distribuição e qualidade do banco de dados); (ii) processamento, interpolação, geração de mapas e aplicação de filtros de realce; (iii) interpretação qualitativa e semiquantitativa e (iv) integração das informações, incluindo dados geológicos em escala regional.

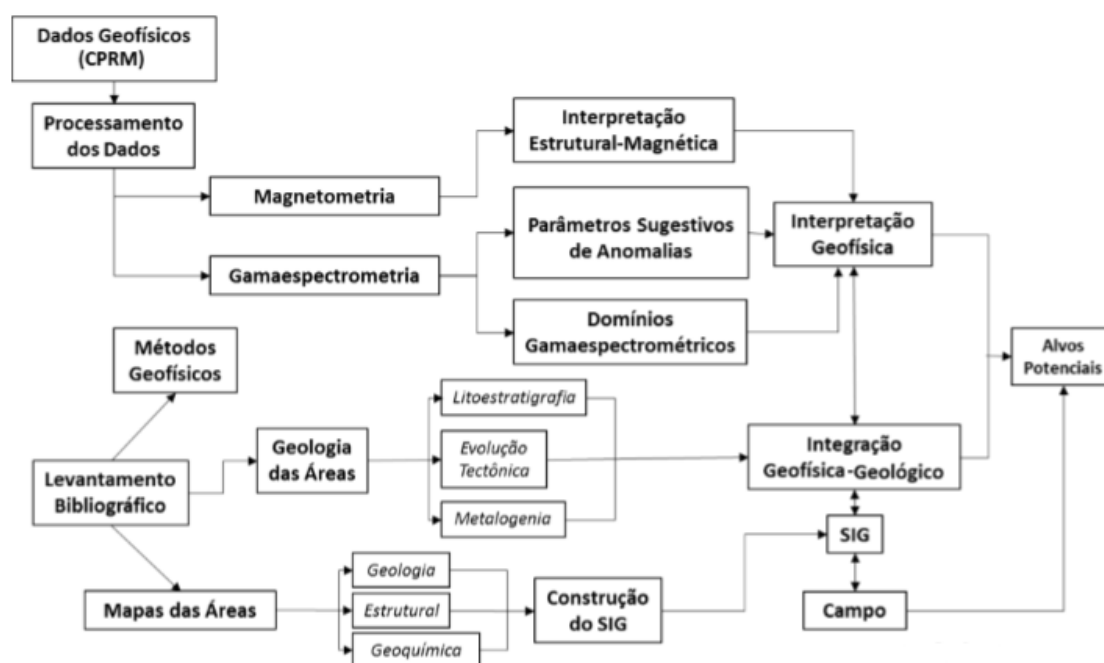


Figura 5 – Fluxograma da metodologia adotada para montagem da base de dados, processamento e interpretação.

3.1 GAMAESPECTROMETRIA

O método gamaespectrométrico mede a radiação emitida naturalmente das rochas e solos. Apesar de vários elementos emitirem radiação, nos levantamentos gamaespectrométricos são detectadas as desintegrações do isótopo de potássio (K-40), Bismuto (Bi-214) e Tório (Th-232), das respectivas séries de decaimento radioativo do potássio (K, %), tório (eTh, ppm) e urânio (eU, ppm).

Pela análise do comportamento geoquímico dos elementos nas rochas e solos nas rochas e solos, é possível relacionar suas concentrações à geologia local. A radiação

detectada é limitada em aproximadamente 30 a 40 cm em subsuperfície, pela perda de energia do raio gama (Minty, 1988; Ulbrich et al., 2002; IAEA,1991; IAEA,2003).

Mapas bases de contagem total (CT, $\mu\text{R/h}$), potássio (K, %) equivalente de tório (eTh, ppm) e equivalente de urânio (eU, ppm) foram interpolados pelo método de bigrid com célula de 125x125 m . E a partir dos mapas bases seguindo o fluxograma da Figura 6 gerou-se os mapas transformados de razões, (eTh/K, eU/K, eU/eTh), índice máfico $\text{IM}=\text{ASA}/(\text{K}*\text{eU}*\text{eTh})$, composições ternárias RGB/K-eTh-eU, CMY/K-eTh-eU e RGB simplificado (RGB-S).

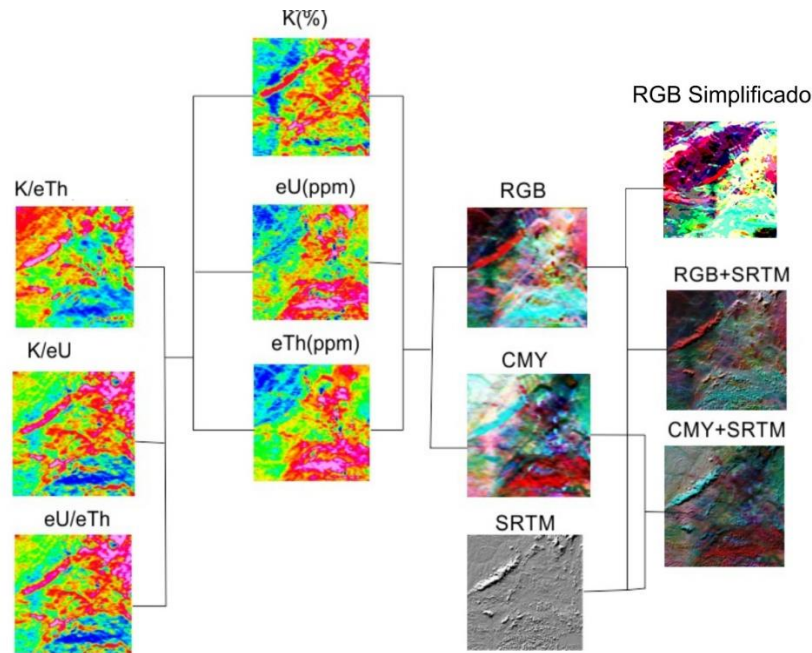


Figura 6 - Fluxograma do processamento dos dados gamaespectrométricos. K (%), eTh (ppm), eU (ppm), RGB (Ternário Vermelho (K, %), Verde (eTh, ppm) e o Azul (eU, ppm)), CMY (Ternário onde Ciano (eU, ppm), Magenta (K, %) e o amarelo (eTh, ppm) e RGB 27 cores (Ternário Simplificado- RGB-S).

O índice máfico (Pires & Moraes, 2006) foi utilizado para delimitar corpos máficos e ultramáficos. O produto tende a eliminar a influência de matérias ricas em Fe presentes em solos lateríticos.

$$\text{IM}=\text{ASA}/(\text{K}*\text{eU}*\text{eTh}) \quad (1)$$

Onde IM, índice máfico

ASA, amplitude do sinal analítico

K, potássio

eU, equivalente de urânio

eTh, equivalente de tório

Um mapa litogeofísico foi preparado por meio da interpretação da imagem RGB simplificada (RGB-S) (Chiarini et al., 2013; Oliveira et. al., 2015, como exemplos).

Na geofísica utiliza-se técnica de composição de imagens ternária, principalmente na interpretação de dados gamaespectrométricos. Esse procedimento consiste em utilizar as concentrações de K (%), eTh (ppm) e eU (ppm) em uma única imagem. Onde cada concentração é relacionada a uma cor primária do sistema aditivo RGB (*Red, Green, Blue*) ou subtrativo CMY (*Cyan, Magenta, Yellow*).

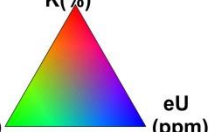
A composição da imagem colorida revela nuances não percebidas, pelo olho humano nas imagens monocromáticas, auxiliando na interpretação (Envi, 2000). Uma imagem ternária possui 24 bits por pixel, uma combinação de aproximadamente 16 milhões de tonalidades graduais, que tende ser de difícil representação geológica.

O Serviço Geológico do Brasil em seus mapas de integração geofísica geológica vem interpretando domínios gamaespectrométricos, com concentrações de K, eU e eTh, relativas a partir do RGB-S. Essa adaptação é realizada da análise do histograma das concentrações de K, eTh e eU em uma reclassificação por três intensidade:

- Baixo 1
- Médio 2
- Alto 3

Com a reclassificação é criada uma paleta de cores onde temos três intensidades, para três concentrações (C_3^3), ou seja, para cada concentração (K, eTh, eU) há três possibilidades de intensidade (alto, médio e baixo) e suas combinações podem gerar 27 cores de acordo a Tabela 1.

Tabela 1 – Combinação RGB-S com 27 tonalidades. (M) mediana, (sd) desvio padrão

Canais da Imagem Ternária			Composição Ternária	111	211	311
R ed	G reen	B lue		112	212	312
K(%)	eTh(ppm)	eU(ppm)		113	213	313
1- baixo K < M	1- baixo eTh < M	1- baixo eU < M		121	221	321
2- médio M < K > M+2sd	2- médio M < eTh > M+2sd	2- médio M < eU > M+2sd		122	222	322
3- alto K < M+2sd	3- alto eTh < M+2sd	3- alto eU < M+2sd		123	223	323
				131	231	331
				132	232	332
				133	233	333

3.2 MAGNETOMETRIA

Levantamentos magnetométricos são realizados com o objetivo de medir o campo magnético total da Terra. Suas anomalias podem ser usadas nos trabalhos de mapeamento geológico, prospecção mineral e estudos geotectônicos. O campo magnético total (CMT) é composto pelo campo magnético produzido no núcleo externo da Terra (IGRF - *International Geomagnetic Reference Field*) mais os campos magnéticos produzidos pelas rochas da crosta terrestre. Para estudos geológicos é necessário remover o IGRF do CMT, deixando um resíduo denominado campo magnético anômalo (CMA), de acordo com a equação 2.

$$\text{CMA} = \text{CMT} - \text{IGRF} \quad (2)$$

Onde CMT, campo magnético total.

CMA, campo magnético anômalo.

IGRF, modelo de previsão para variação quinquenal do campo magnético total.

O realce de assinaturas do CMA com o objetivo de facilitar a interpretação de feições associadas com corpos ou estruturas geológicas é efetuado por meio de filtros, geralmente aplicado no domínio do número de onda por meio da Transformada de Fourier. (Reeves, 2005). Nos parágrafos seguintes breves descrições de correção, foram listados, e para melhores detalhes recomendam-se bibliografias da literatura geofísica, como Telford et al. (1990), Nabighian & Macnae (1991), Blakely (1995) e Nabighian (2005).

Neste trabalho, estudos a respeito da centralização da anomalia no corpo magnético foram realizados, a fim de diminuir a ambiguidade da interpretação, já que a área de estudo é uma região que se encontra em baixa latitude, ao norte do equador magnético, onde podem ocorrer anomalias com polarização invertida. Na Figura 7 é apresentada a simulação das anomalias magnéticas esperadas para a região (Fig.7A), juntamente com a comparação das anomalias reduzidas ao polo (RP) (Fig.7B) e ao equador magnético (RE) (Fig.7C), centralizando o máximo (no polo) e mínimo (no equador) quando comparado com o centro do corpo magnético.

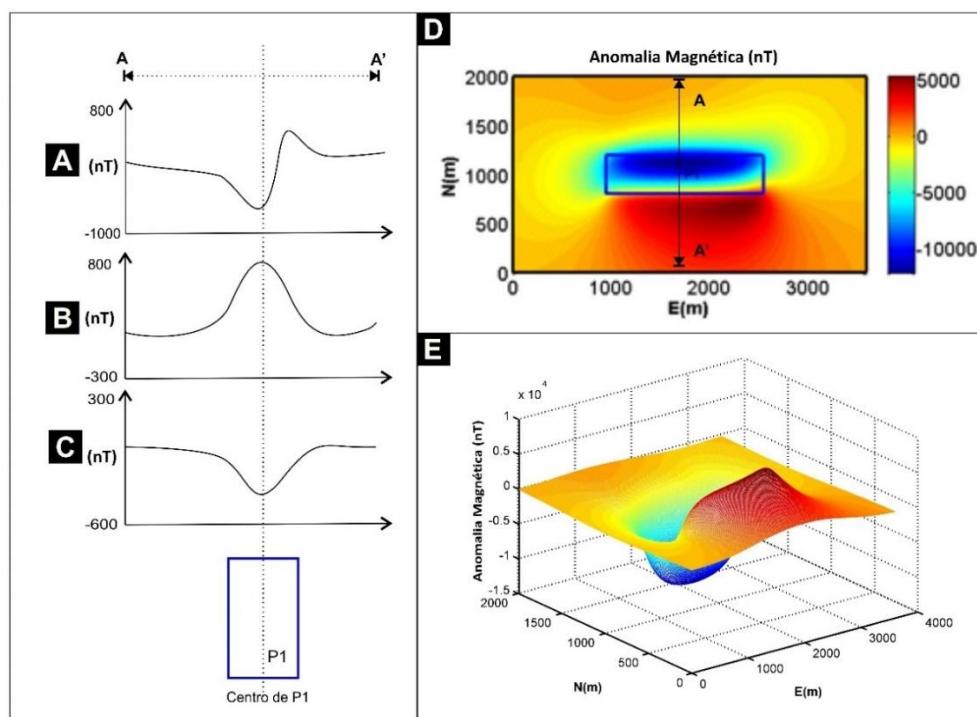


Figura 7 - Anomalias magnéticas esperadas para a região de estudo (A) (D) e (E), juntamente com a comparação com o centro do corpo magnético no máximo na reduzidas ao polo RP (B) e no mínimo no equador magnético RE(C).

Após as reduções, domínios magnéticos e tendências estruturais-magnéticas foram traçadas a partir da combinação de produtos de realce, como o gradiente vertical D_z (nT/m) , gradiente horizontal total GHT (nT/m - Cordell & Grauch, 1985), inclinação do gradiente total IGHT(rad - Cooper & Cowan, 2006), amplitude do sinal analítico ASA(nT/m – Nabighian,1972; Roest et al.,1992), inclinação do sinal analítico ISA (rad – Miller & Singh,1994).

Com o objetivo de identificar os parâmetros das dimensões e profundidades dos corpos geofisicamente anômalos uma inversão dos dados magnéticos foi realizada na plataforma de inversão de dados potenciais VOXI do software Oasis Montaj (Geosoft®). No procedimento de inversão é criado um modelo discretizado em um espaço tridimensional ortogonal composto por células de tamanhos pré-definidos. Para cada célula é atribuído um valor de susceptibilidade magnética em um determinado ponto da topografia. Em seguida são efetuadas interações automáticas no algoritmo a cada ajuste (função objetiva), fazendo com que o modelo tenda a se aproximar da resposta do dado observado até atingir um erro já estabelecido pelo usuário.

O grau de ajuste é dado pela minimização da função objetiva descrita na Equação 3 (Shearer, 2005).

$$\phi = \phi_d + \beta \phi_m \quad (3)$$

Onde ϕ , a função objetiva.

ϕ_d , função de erro no ajuste dos dados.

β , parâmetro que define o grau de importância entre as funções no modelo.

ϕ_m , função do modelo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Gamaespectrometria

Os dados (CT, K, eTh, eU) de cada projeto indicado na Figura 4 foram interpolados em malhas quadradas com células de 125 m pelo método bidirecional (BIGRID, Geosoft, 2010). Posteriormente, tais malhas foram unidas por meio da rotina GRID KNITING (Geosoft, 2010).

Para minimizar os erros decorrentes do nivelamento, foi realizado o micronivelamento dos dados através da técnica desenvolvida por Minty (1991), cuja rotina foi estabelecida por Blum (1999). A Figura 8 mostra os mapas de CT, K, eTh e eU, assim obtidos.

O micronivelamento minimizou apenas parte dos ruídos de aquisição, distorções ocasionadas por alturas de voos maiores que 100m em relação ao terreno ainda estão presentes nos produtos, mas não comprometem a qualidade das interpretações qualitativas (Figs.13 e 14).

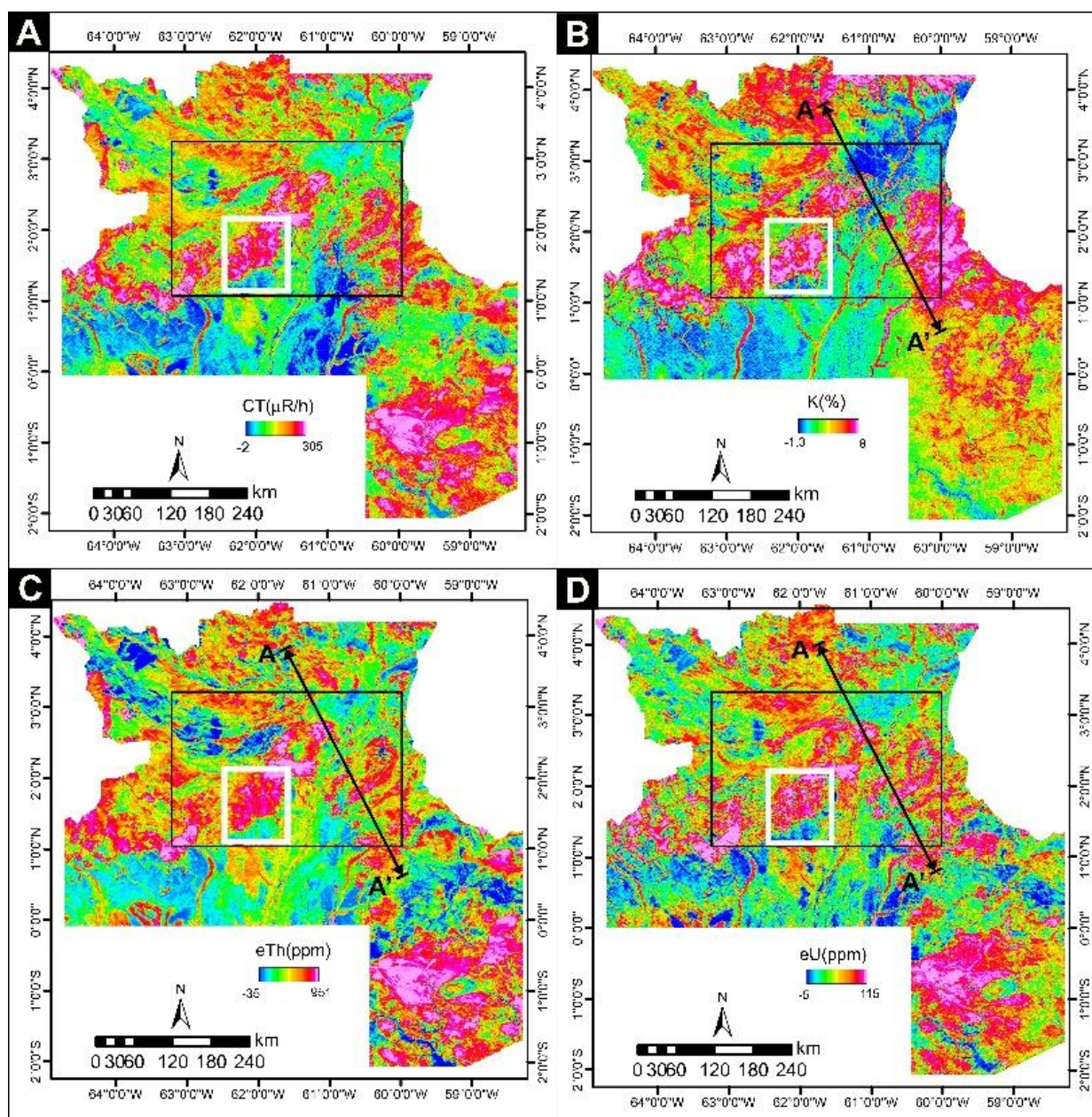


Figura 8- Imagens da CT ($\mu\text{R/h}$) (A), K (%) (B), eU (ppm) (C) e eTh (ppm) (D) dos projetos indicados na Figura 4. Retângulo em linha preta representa a área de estudo, o quadrado em linha branca a área da Serra da Mocidade (Fig. 9). Perfil A-A' em linha preta (vide Figura 30).

As imagens da Figura 8 foram recortadas nas dimensões da área de estudo e, em continuidade, corrigidas as concentrações negativas de K (%), eTh (ppm) e eU (ppm), relacionadas, provavelmente, a erros cumulativos durante as correções de rotina e a interpolação dos dados. Para eliminar os valores negativos foram adicionadas constantes aos dados de forma a resultar em valores mínimos iguais a 0,01 (Ulbrich et al. 2009) (Tab. 4).

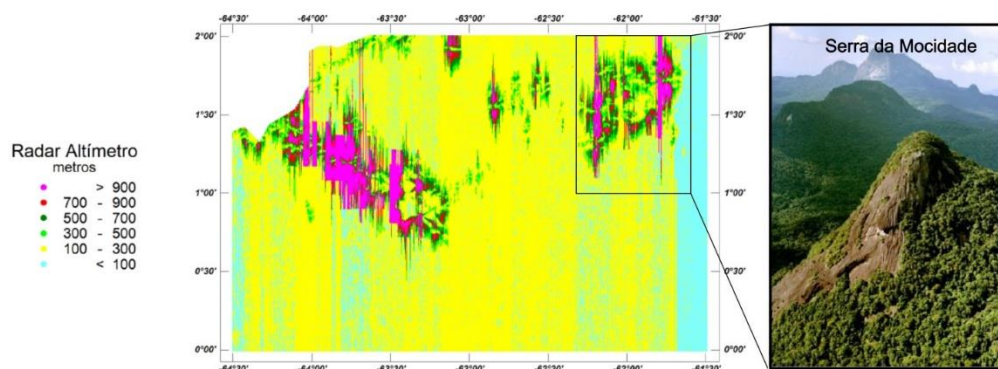


Figura 9- Imagem do radar altímetro de parte da Serra da Mocidade, onde não foi possível manter a altura nominal (100 m) de voo do aerolevantamento Catrimâni – Aracá (CPRM, 2013). Em destaque foto da Serra da Mocidade.

Tabela 4– Valores corrigidos das concentrações negativas de K (%), eTh (ppm) e eU (ppm).

Canal.	Valor mínimo	Valor adicionado	Mínimo corrigido
K (%)	-0,32	0,33	0,01
eTh (ppm)	-13,33	13,34	0,01
eU (ppm)	-1,81	1,82	0,01

Imagens das concentrações de K (%), eTh (ppm) e eU (ppm) corrigidas e CT ($\mu\text{R}/\text{h}$) estão representados na Figura 10 com suas respectivas estatísticas na Tabela 5.

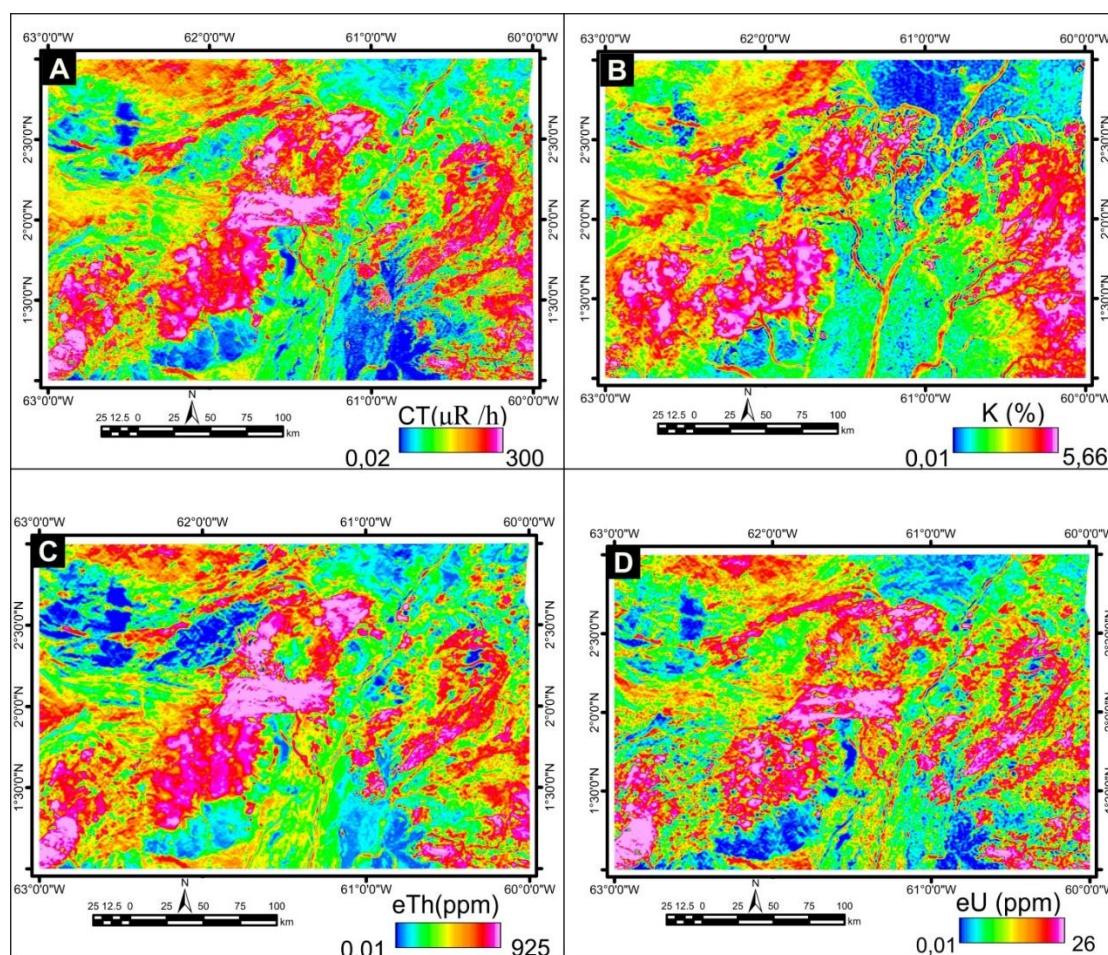


Figura 10 - Imagens de CT ($\mu\text{R/h}$) (A) e das concentrações de K (%) (B), eTh (ppm) (C) e eU (ppm) (D).

Tabela 5 – Estatística básica

Canal.	Mínimo valor	Máximo valor	Mediana (*M)	Desvio (**Sd)	M +(2xSd)
K (%)	0,01	5,76	0,87	0,62	2,11
eTh (ppm)	0,01	925	36	13	62
eU (ppm)	0,01	26	2	1	4
CT ($\mu\text{R/h}$)	0,02	299,80	10,07	4,98	20,03

*M = mediana, **Sd = desvio padrão da média.

Com base nos dados da Figura 10 (B, C, D) foram geradas as imagens ternárias CMY, RGB e RGB simplificada (RGB-S). A Figura 11 mostra os mapas geológico (CPRM, 2014) (A), a composição ternária RGB (B), a composição ternária RGB simplificada RGB-S (C) e os domínios gamaespectrométricos interpretados (D).

A imagem RGB-S (Fig. 11C), associada às estatísticas apresentadas na Tabela 6, serviram de base para delimitar os seguintes intervalos de K, eTh e eU (Fig. 11D):

- **Baixo (1):** valores menores que a mediana,
- **Médio (2):** valores entre a mediana mais duas vezes o desvio padrão
- **Alto (3):** valores maiores que a mediana mais duas vezes o desvio padrão.

Tabela 6– Classificação de intervalos para cada radioelemento.

Canal.	Baixo (1*)	Médio (2**)	Alto (3***)
K (%)	K<0,87	0,87 <K>2,11	K>2,11
eTh (ppm)	eTh<36	36<eTh>62	eTh>62
eU (ppm)	eU<2	2<eU>4	eU>4

*mínimo, **médio, ***máximo.

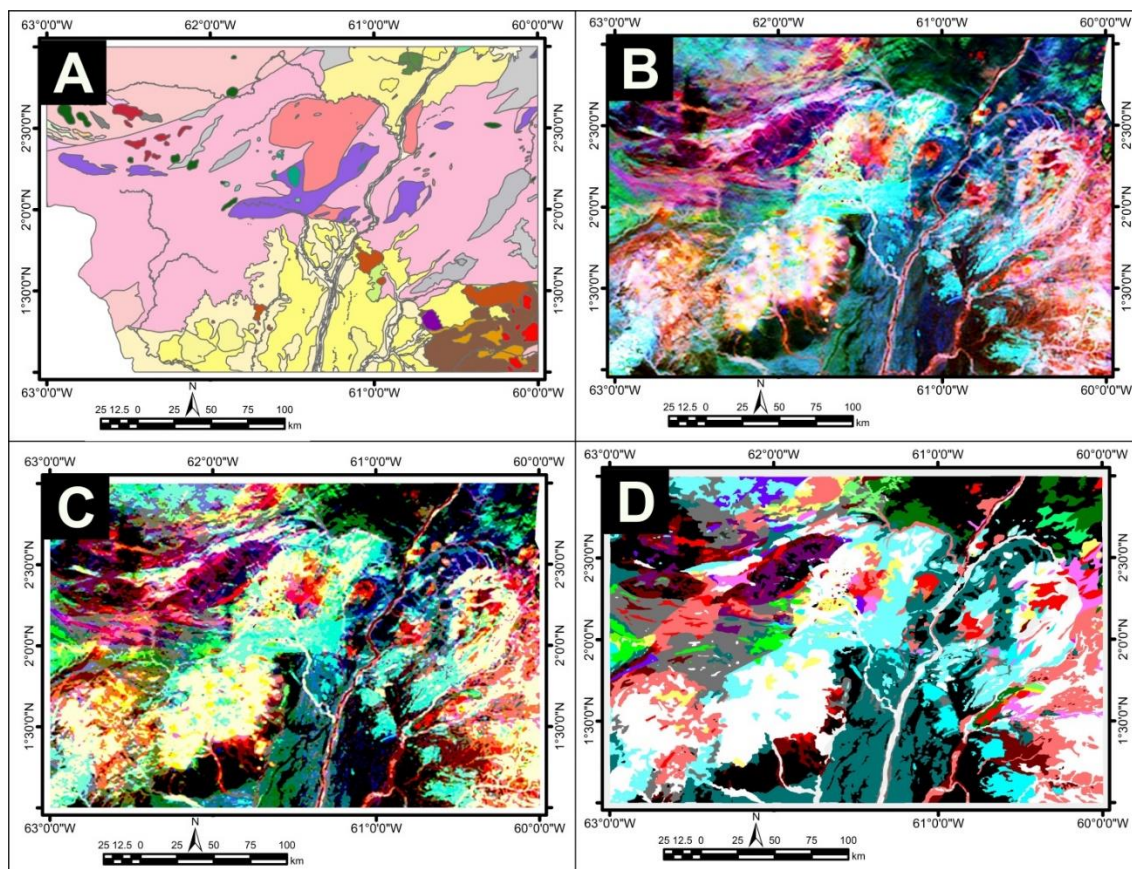


Figura 11 – (A) Mapa geológico da área de estudo (CPRM, 2014) (vide legenda na Fig. 3). (B) Imagem de composição ternária RGB. (C) Imagem de composição ternária RGB simplificada. (D) Domínios gamaespectrométricos interpretados (vide legenda na Fig. 12).

É possível observar a similaridade das imagens de composição ternária (Figs. 11 B e C) com a geologia cartografada na Figura 11 A e os domínios interpretados da Figura 12.

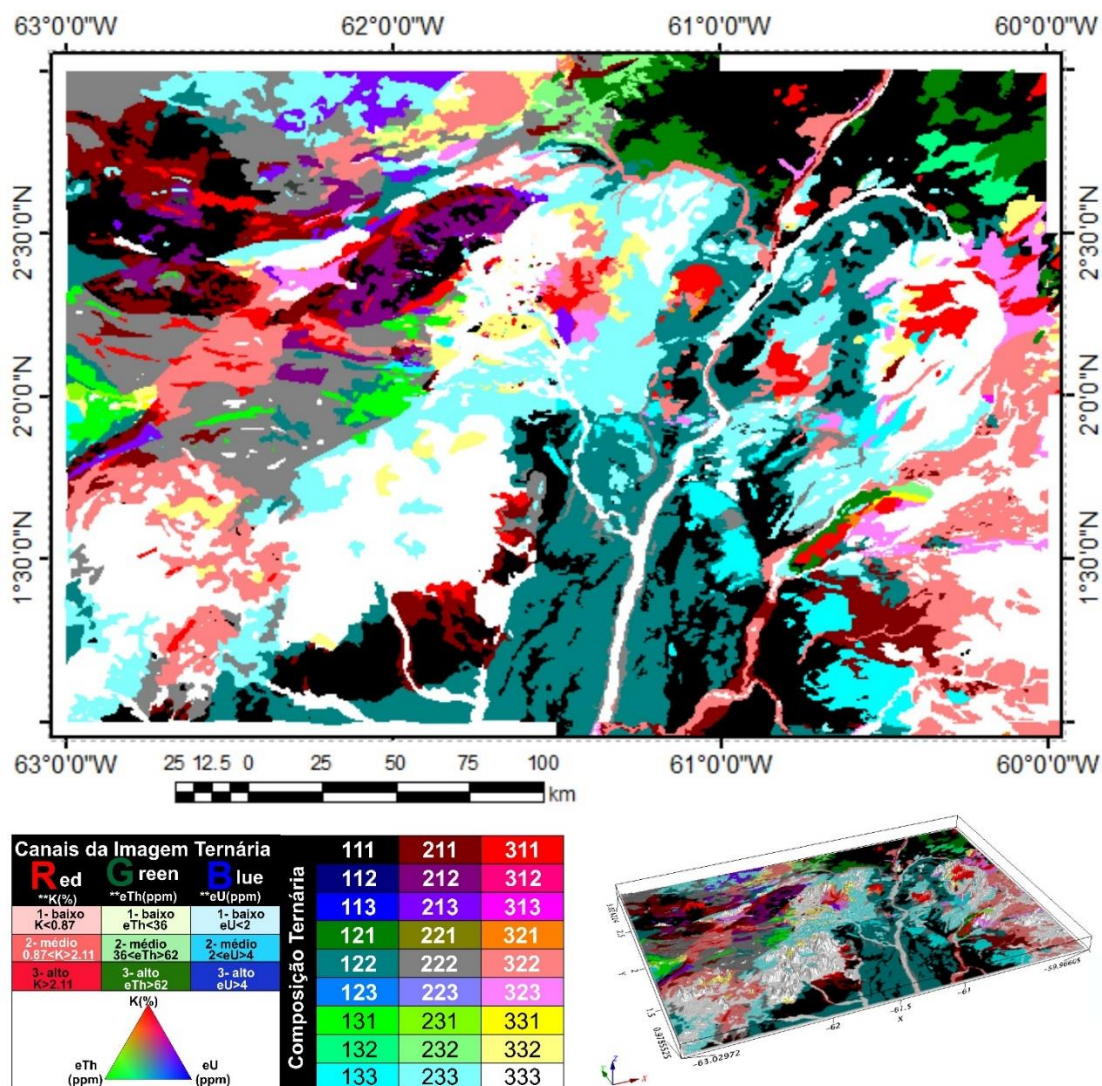


Figura 12 – Domínios gamaespectrométricos interpretados a partir da composição RGB simplificada (RGB-S).

Durante a interpretação dos dados notou-se que uma mesma unidade geológica apresenta mais de uma assinatura radiométrica, sugerindo eventuais variações composicionais de K, eTh e eU. Os principais resultados obtidos permitiram delinear as seguintes relações:

Coberturas e depósitos aluvionares: em geral são caracterizadas por topografia suave e baixas concentrações dos radionuclídeos.

a) Formação Boa Vista (Nbv) sedimentos - caracterizados pelo domínio 111 (preto). Na Figura 13 observa-se, no ponto (1), que a extensão da formação (Fig. 13A) está

possivelmente superestimada (verifique o domínio 121, verde escuro, na Fig. 13B), enquanto no ponto (2) a mencionada formação está aparentemente subestimada (veja domínio 111 na Fig. 13B)

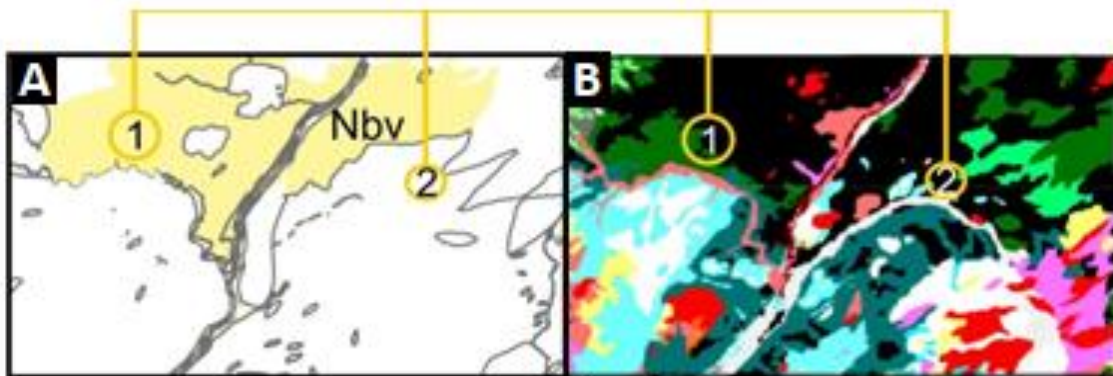


Figura 13 – Formação Boa Vista (Nbv) e sua assinatura gamaespectrométrica. (A) Formação Boa Vista (amarela). (B) domínios gamaespectrométricos.

- b) Coberturas sedimentares semiconsolidadas a inconsolidadas (planícies aluvionares), detrito-lateríticas e solos (arenosos). - caracterizadas pelo domínio 122 (verde azulado). Na Figura 14A nota-se no ponto 1 que concentrações médias de tório e urânio combinadas com teores baixos de potássio estão relacionadas a depósitos arenosos em topografia suave. A área do Complexo Rio Urubu (PP3ru_) indicada pelo ponto 2 na Figura 14A exibe a mesma assinatura gamaespectrométrica (ponto 2, Fig. 14B) dos depósitos arenosos de áreas alagadas (Qa) (ponto 1, Fig. 14A) , neste ponto, as respostas gamaespectrométricas das coberturas (Qa) são semelhantes aos produtos resultantes do intemperismo do Complexo Rio Urubu (PP3ru_).

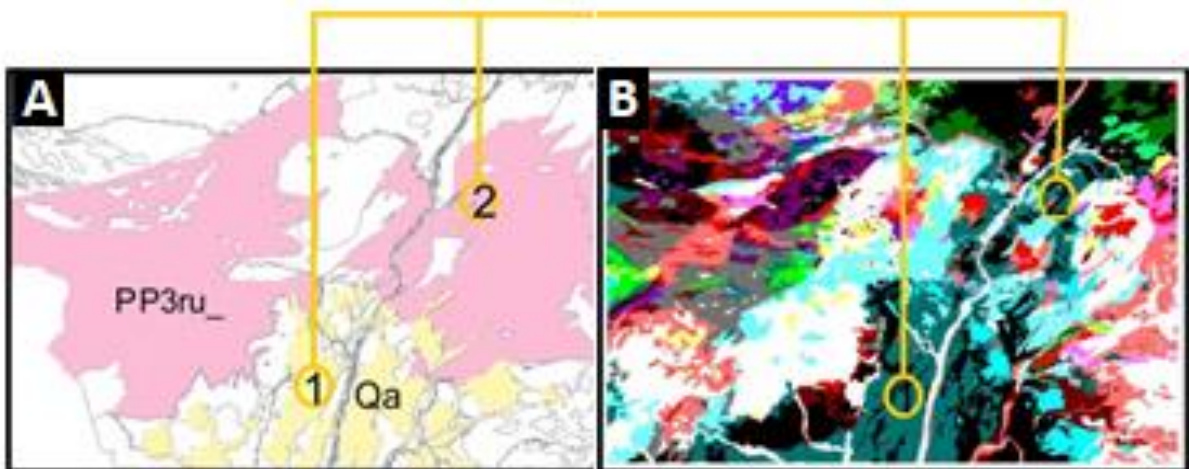


Figura 14 – Complexo Rio Urubu (PP3ru_), depósitos arenosos (Qa) e suas assinaturas gamaespectrométricas. (A) Complexo Rio Urubu e depósitos arenosos. (B) Domínios gamaespectrométricos.

Rochas charnockíticas - mostram, em geral, altas concentrações de potássio associadas a altos topográficos.

Charnockitos (PP34_γsp) pertencentes a Suíte Intrusiva Serra da Prata exibem assinaturas nos domínios 311, 313, 322 e 323, sendo o primeiro o mais expressivo em área. Na janela 1 da Figura 15A, os corpos de charnockito mostram assinaturas distintas. A ocorrência ocidental foge ao padrão de alto potássio, característico destas rochas, exibindo uma assinatura próxima de 111 (preto, Fig. 15B), talvez refletindo um charnockito básico. Já o corpo oriental está vinculado ao domínio 311 (vermelho). Na janela 2 o corpo exibe concentrações elevadas de eU e eTh, em detrimento do K (domínio 233, ciano), enquanto o domínio característico (311) é representado apenas no extremo nordeste do corpo. Na janela 3 o corpo (Fig. 15B) é bem caracterizado pelo domínio típico (311, vermelho), conforme a Figura 15B. Na janela 4, os corpos cartografados estão dispersos, porém envolvidos por assinaturas semelhantes (domínios 311 e 313). Portanto, tais corpos podem ser reagrupados conforme suas assinaturas geofísicas. Na janela 5, o corpo cartografado corresponde a um domínio do tipo 333 (altos K, eTh e eU), portanto com composição mais semelhante aos granitos do que as demais ocorrências de charnockitos já descritas. Por fim, na janela 6, dois domínios, típicos de charnockitos (311), não encontram correspondência no mapa geológico da Figura 15A.

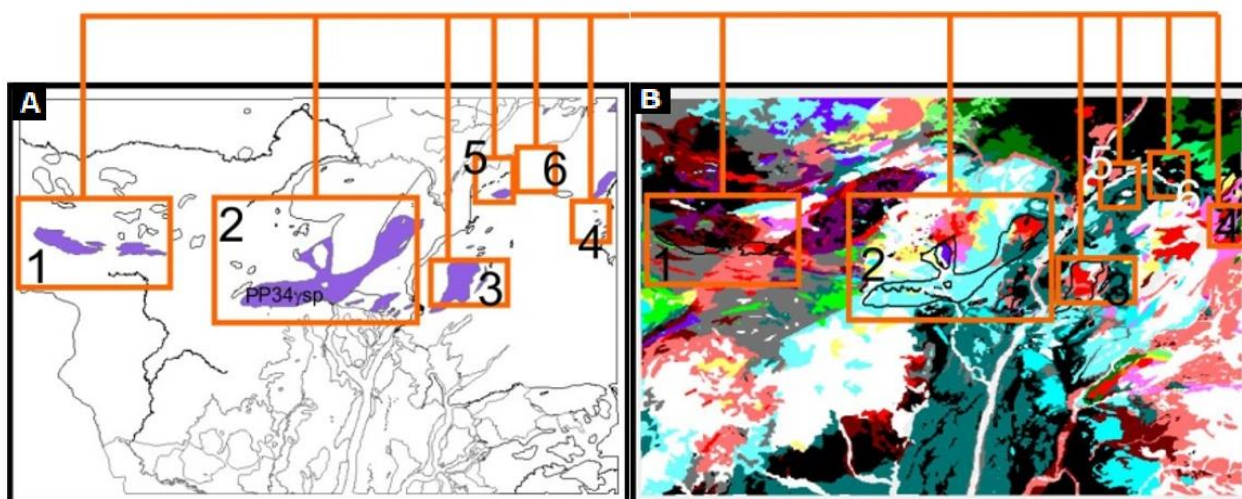


Figura 15 – (A) Charnockitos da Suíte Serra da Prata (PP34_γsp) (em roxo) e (B) suas respostas gamaespectrométricas.

Rochas ígneas

a) Formação Apoteri (JK1 β ap): é representada por diabásios e andesitos, geralmente no formato elipsoidal e com destaque na topografia. Sua assinatura é do tipo 311, diferenciando-se dos charnockitos típicos por serem mais magnéticos.

b) Quartzo sienito, Monzogranito e Granito: em geral mostram altas concentrações de eU e eTh, com variação de teores de potássio, conforme os domínios 133, 233 e 333.

Rochas metamórficas – Provenientes de rochas sedimentares, os paragneisses se destacam por seus altos teores de tório em relação aos outros radioelementos. Já os derivados de rochas ígneas, os ortogneisses são representados por altas concentrações dos três elementos, com exceção dos granulitos, que se diferenciam do mencionado padrão pelas altas concentrações de potássio em relação ao demais radioelementos.

a) Paragneisses (Grupo Cauarane - PP3ca): aflorantes em regiões planas são caracterizados por altas concentrações de tório em relação aos outros elementos, com amplas variações de domínios (121, 131, 132, 231 e 232). Nas janelas 1 e 2 (Fig. 16A) os paragneisses são representados, predominantemente, pelos domínios 121 e 131 (Fig. 16B). Nas janelas 3 (domínio 121) e 4 (domínios 231 e 232), o mapa geológico indica rochas ortognáissicas do Complexo Rio Urubu, embora sua assinatura corresponda aos paragneisses, o que deverá ser objeto de futuras verificações de campo.

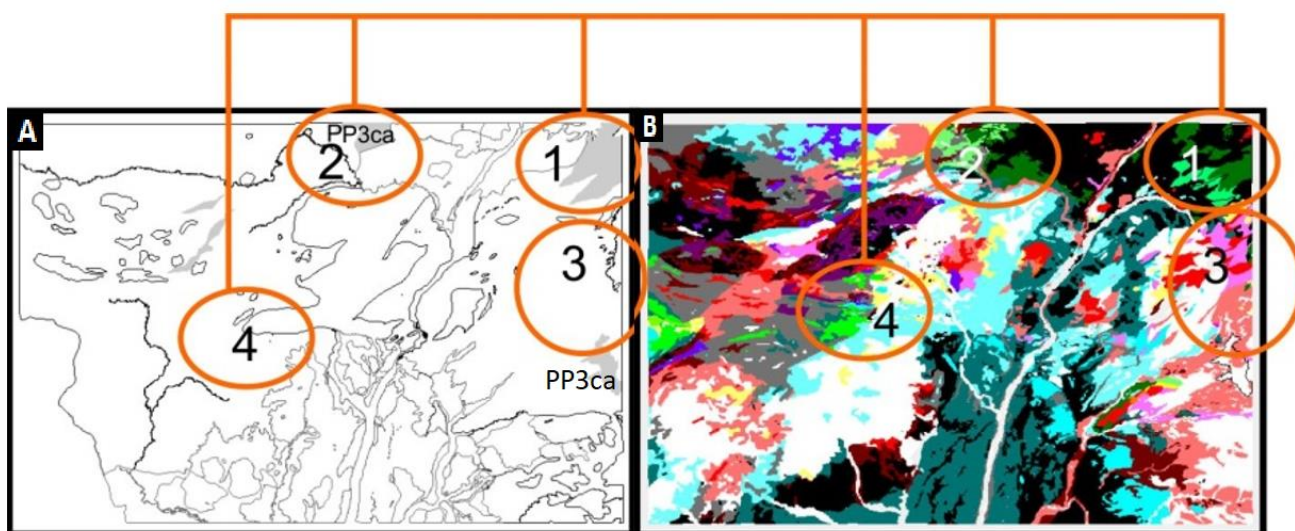


Figura 16 – (A) Paragneisses do Grupo Cauarane (PP3ca) e (B) suas respostas gamaespectrométricas.

b) Ortognaisses, metagranitoides, metamonzogranitoides, dioritos, granitoides, granitos e metatonalitos (deformados e relacionados ao Complexo Urariquera (PP23ur) (Fig. 17A). São representadas pelos domínios 122 e 222, identificadas conforme a Figura 17B, janela 1. Na janela 2 apesar de assinaturas gamaespectrométricas semelhantes, o mapa geológico indica rochas do Complexo Rio Urubu (PP3ru_) (Fig. 17A).

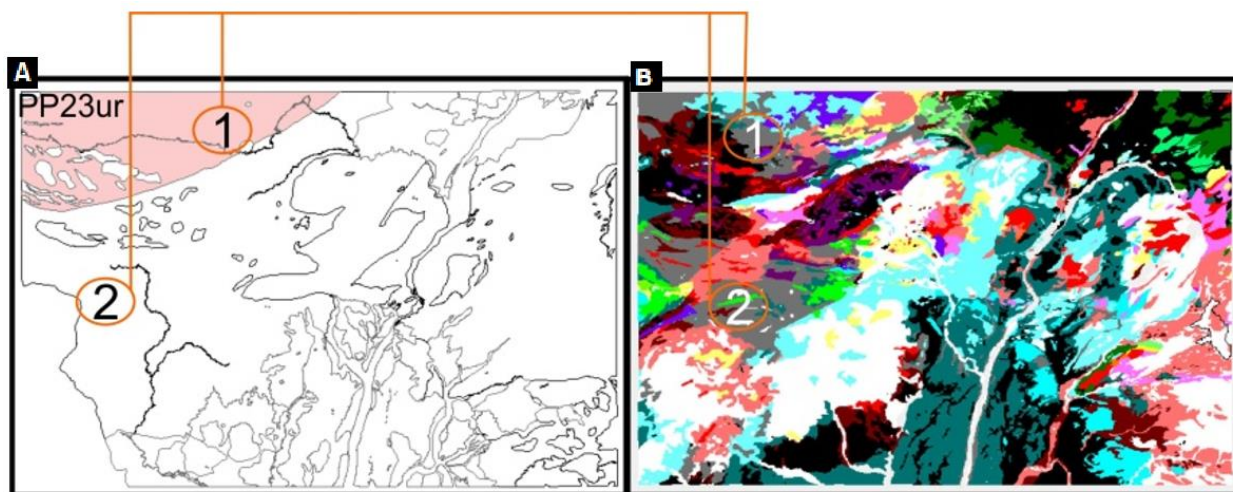


Figura 17- (A) Ortognaisses dos complexos Urariquera (PP23ur) e Rio Urubu (PP3ru_) e (B) suas respostas gamaespectrométricas.

c) Augen gnaisses, gnaisses, metagranitoides e leucognaisses (intensamente deformados) do Complexo Rio Urubu (PP3ru_): na Figura 18A, estas litologias são sustentadas por altos topográficos correlacionadas a elevadas concentrações dos três elementos. Entretanto, mostram pequenas variações composicionais dos radioelementos, do que resultaram os seguintes domínios: 133, 233, 331, 332 e 333. Na Figura 18A as janelas 1 e 2 estão cartografadas como augen gnaisses. Entretanto, se observa que na janela 1 predomina o domínio 333, enquanto na janela 2 são indicados os domínios 322 e 323, sugerindo variação composicional nesta unidade. Na janela 3, o domínio 311 (vermelho) não representa as litologias do Complexo Rio Urubu, o que deve ser verificado em campo. O domínio 222, correspondente à janela 4, não reflete as assinaturas típicas do Complexo Rio Urubu, apesar de nele está inserido, podendo indicar litologias do Complexo Urariquera.

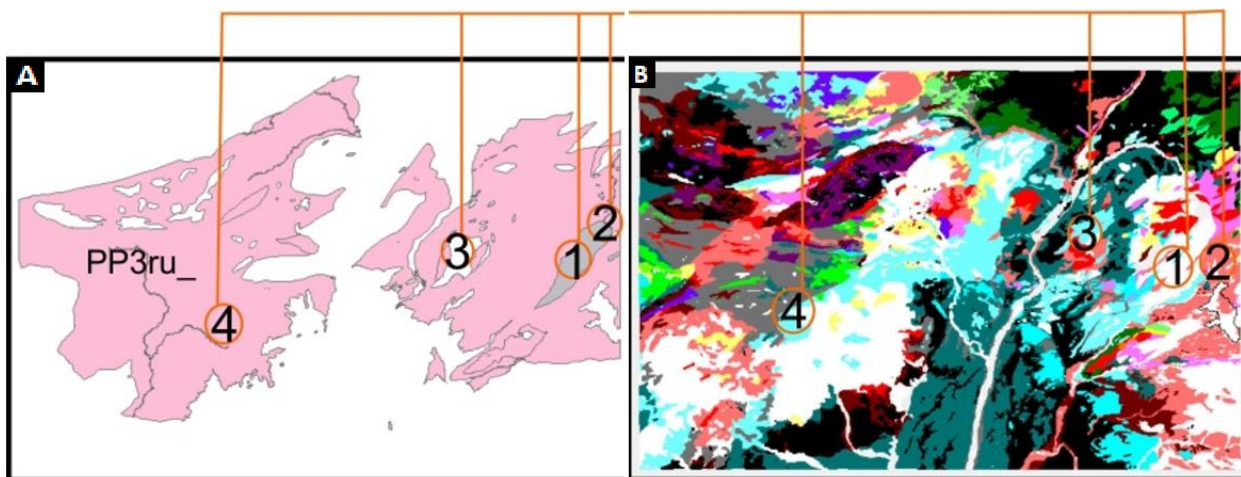


Figura 18 – (A) Ortognaisses do Complexo Rio Urubu (PP3ru_) e (B) suas respostas gamaespectrométricas.

d) Granulitos do Complexo Rio Urubu (PP3ru_) (Fig. 19A): são sustentados pelo relevo e mostram, em geral, formas elipsoidais com altas concentrações de potássio (311) e bordas enriquecidas em tório (121 e 131), indicados nas janelas 1 e 2 (Fig. 19B). O enriquecimento em potássio, na parte central dos corpos, talvez seja decorrente da composição original do protólito (rocha ígnea), enquanto as bordas sofrem influência das rochas encaixantes ricas em tório.

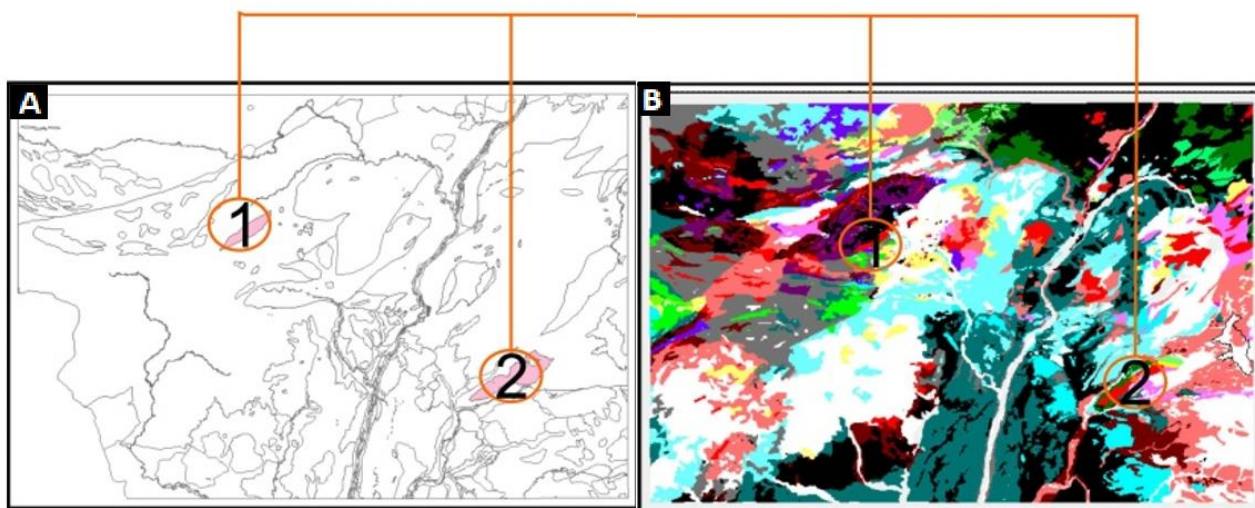


Figura 19 -(A) Granulitos do Complexo Rio Urubu (PP3ru_) e (B) suas respostas gamaespectrométricas.

4.2 MAGNETOMETRIA

Os dados magnéticos foram incorporados ao banco de dados e organizados no programa Oasis Montaj da Geosoft®, com arquivos dispostos no formato .gdb para redução da componente principal do Campo Geomagnético (*International Geomagnetic*

Reference Field - IGRF). Os dados foram interpolados em malhas quadradas de 125 m pelo método bidirecional (Bigrid, Geosoft, 2010) para cada projeto (Fig. 4) e posteriormente integradas por meio da rotina *grid knitting* (Geosoft, 2010), de acordo com a Figura 20.

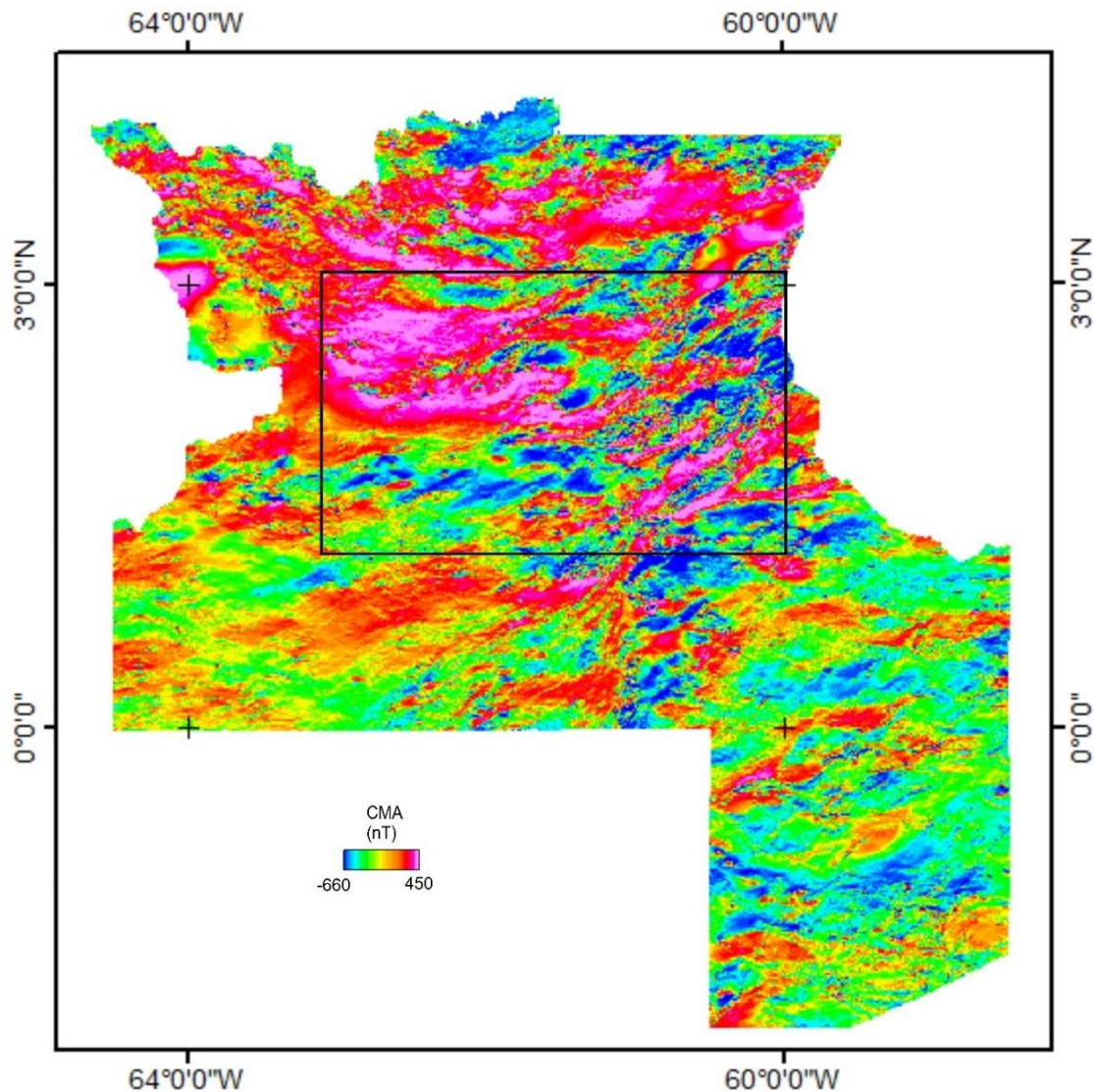


Figura 20- Imagem do CMA integrado dos projetos indicados na Figura 4 e Tabela 2. Em destaque a área de estudo (retângulo preto).

Em continuidade, os dados da Figura 31 foram reduzidos ao polo pelo método de MacLeod et al. (1993), o qual considera apenas a magnetização induzida, usando uma inclinação de 19° e uma declinação de -14° , para uma data média (20/05/2008) de um ponto central da área de estudo ($60^\circ30' W$, $2^\circ0' N$), resultando no mapa da Figura 21.

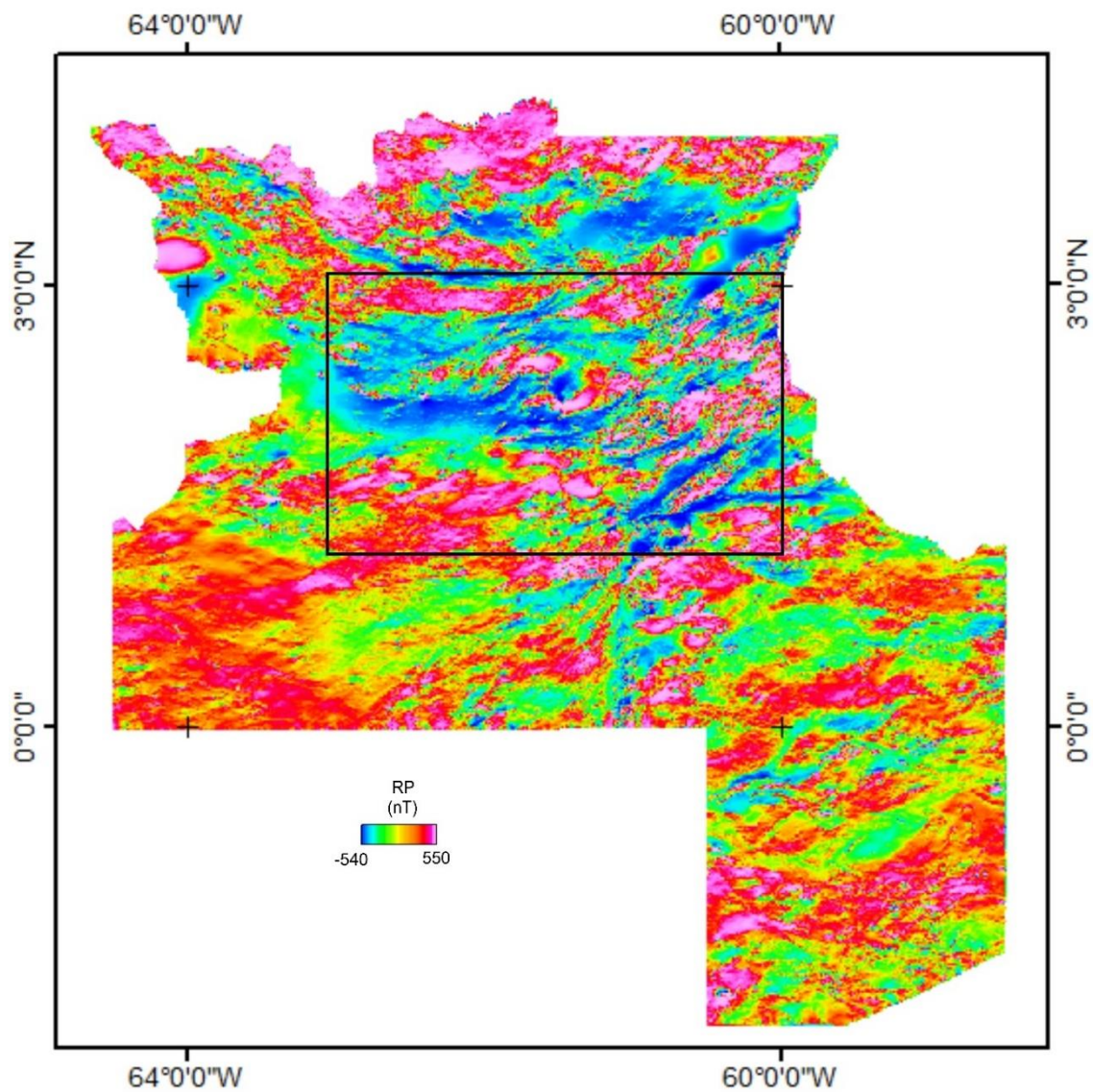


Figura 21- Imagem do CMA reduzido ao polo (CMA-RP) integrado dos projetos indicados na Figura 4. Em destaque a área de estudo (retângulo preto).

Para avaliar o desempenho do método de redução ao polo, considerando apenas a magnetização induzida, foi isolada uma anomalia do CMA e sua resposta RP. Como se observa na Figura 22, após a redução ao polo, à anomalia é quase simétrica (Fig. 22B), sugerindo que a contribuição da magnetização remanescente é desprezível.

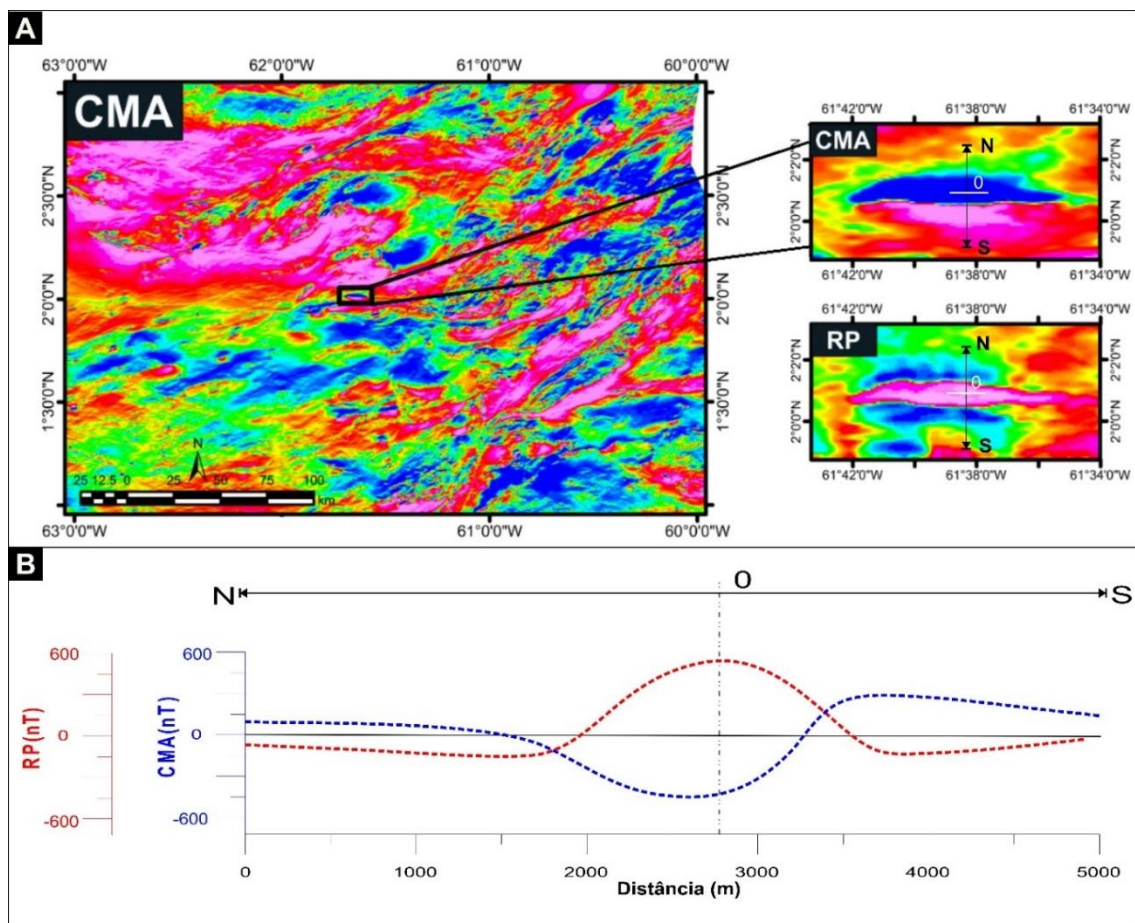


Figura 22- Estudo do comportamento típico das anomalias na área de estudo. (A) Imagem do CMA onde foi isolada uma anomalia típica e reduzida ao RP. (B) Perfis N-S comparativos do CMA e RP. Verificar, no ponto O, a coincidência aproximada entre o máximo do RP e o mínimo do CMA.

Em essência, a natureza dipolar das anomalias magnéticas é removida. Os valores máximos do RP correspondem o mais próximo possível ao centro das fontes magnéticas, enquanto as assimetrias nas imagens RP refletem mais precisamente as estruturas e os mergulhos dos corpos (Isles & Ranking, 2013).

Inicialmente fez-se um estudo levando em consideração todo o território de Roraima, em função da disponibilidade de dados (Fig. 4).

Com a finalidade de observar a profundidade fontes lineares utilizamos a técnica do espectro de potência ponderado radialmente (Spector e Grant, 1970 e Geosoft, 2009), método que avalia a profundidade estatística média dos topos das fontes. No espectro representado na Figura 23, foi possível ajustar três retas, onde a vermelha representa o sinal de fontes profundas com média de 40 km, a segunda azul com profundidades intermediárias de 12 km e a terceira verde, a mais rasa, com profundidade média de 1 km.

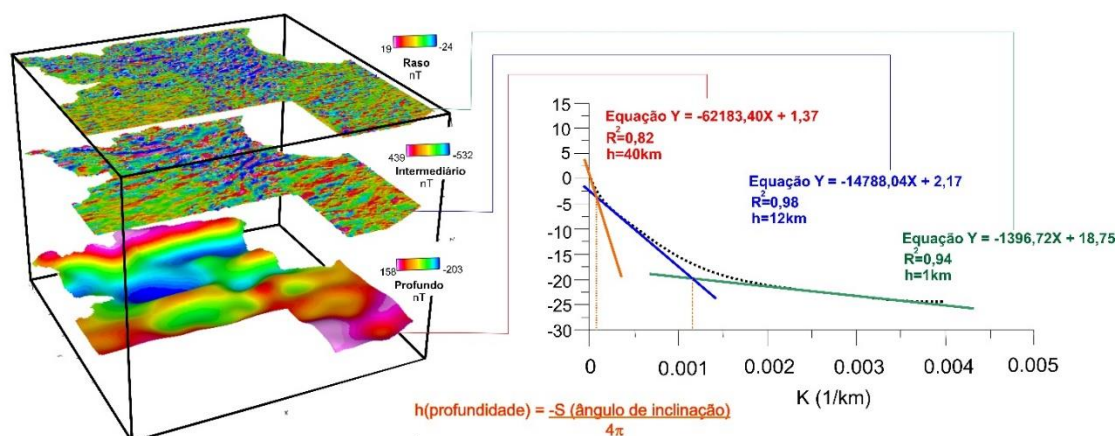


Figura 23- Espectro de potência e mapas respectivos no estudo regional com os dados RP dos projetos integrados da Figura 4.

A área de estudo encontra-se na intersecção de dois grupos de fluxo de calor que variam de 30 até 50 mW/m² (Hamza et al. 2008). Considerando a média de 40 mW/m² e uma condutividade térmica de 3 W/(m°C) (rochas ígneas e metamórficas), o gradiente geotérmico médio será de 13°C/km².

Com base neste gradiente geotérmico, a temperatura de Curie (definida como a temperatura segundo a qual os minerais perdem suas propriedades magnéticas. No caso da magnetita esta temperatura é de 585°) só seria alcançada em torno da profundidade de 42 km. Portanto, a estimativa de 40 km das fontes profundas, derivada do espectro da Figura 23, parece consistente, sobretudo se levarmos em conta estimativas semelhantes baseadas em dados sísmicos (Albuquerque et al. 2017).

Com base na análise dos dados das figuras 21 e 23, foi possível interpretar seis domínios magnetométricos (Figs. 24 e 25).

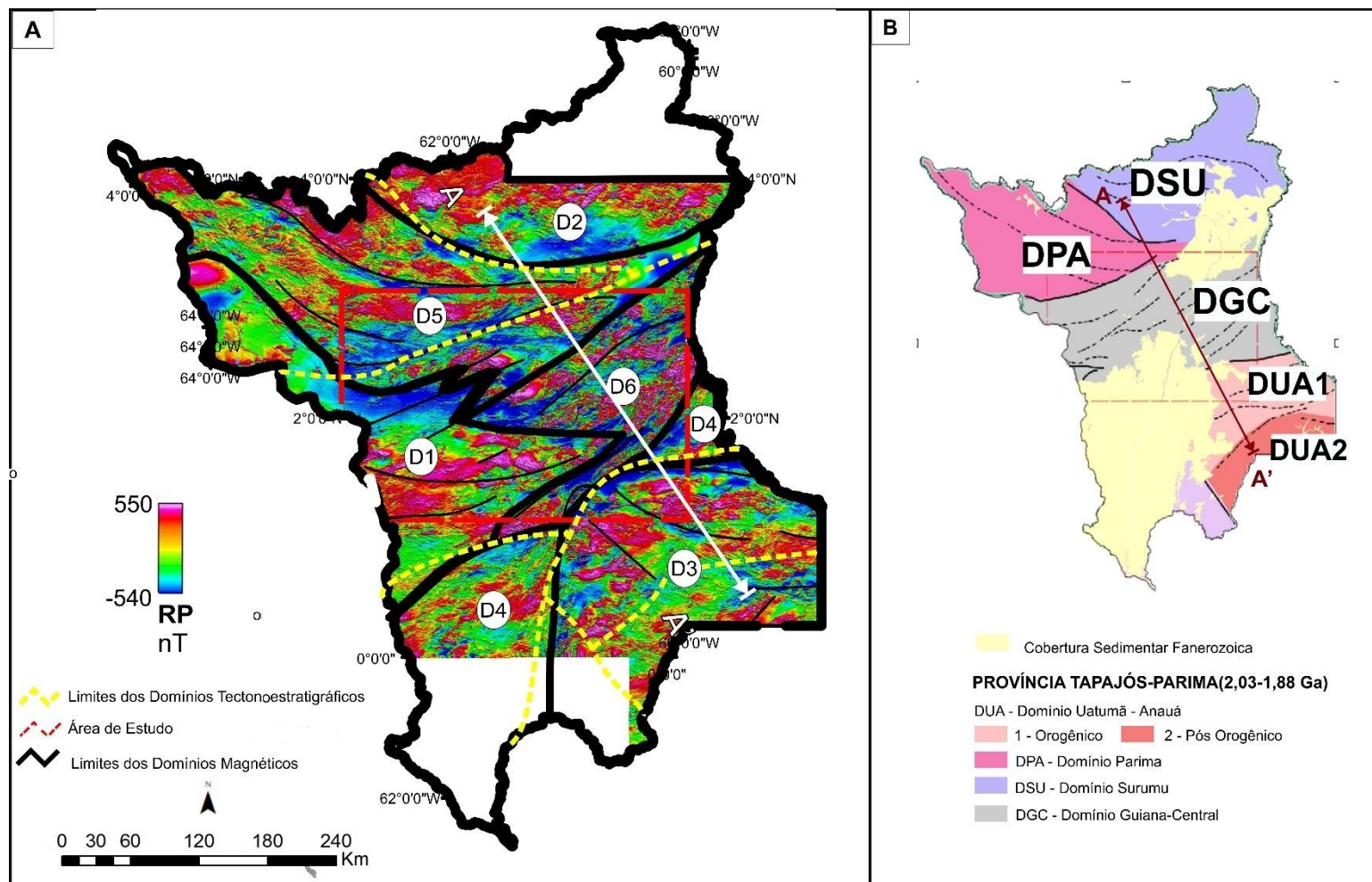


Figura 24 – Comparação dos domínios magnéticos interpretados e os limites dos domínios tectonoestratigráficos propostos por Reis et al. (2006). **(A)** Imagem RP com linhas em vermelho destacando a área de estudo, pretas grossas os domínios magnéticos e as principais tendências estruturais. Linhas amarelas tracejadas indicam os domínios tectonoestratigráficos; **(B)** Domínios tectonoestratigráficos (Reis, 2014).

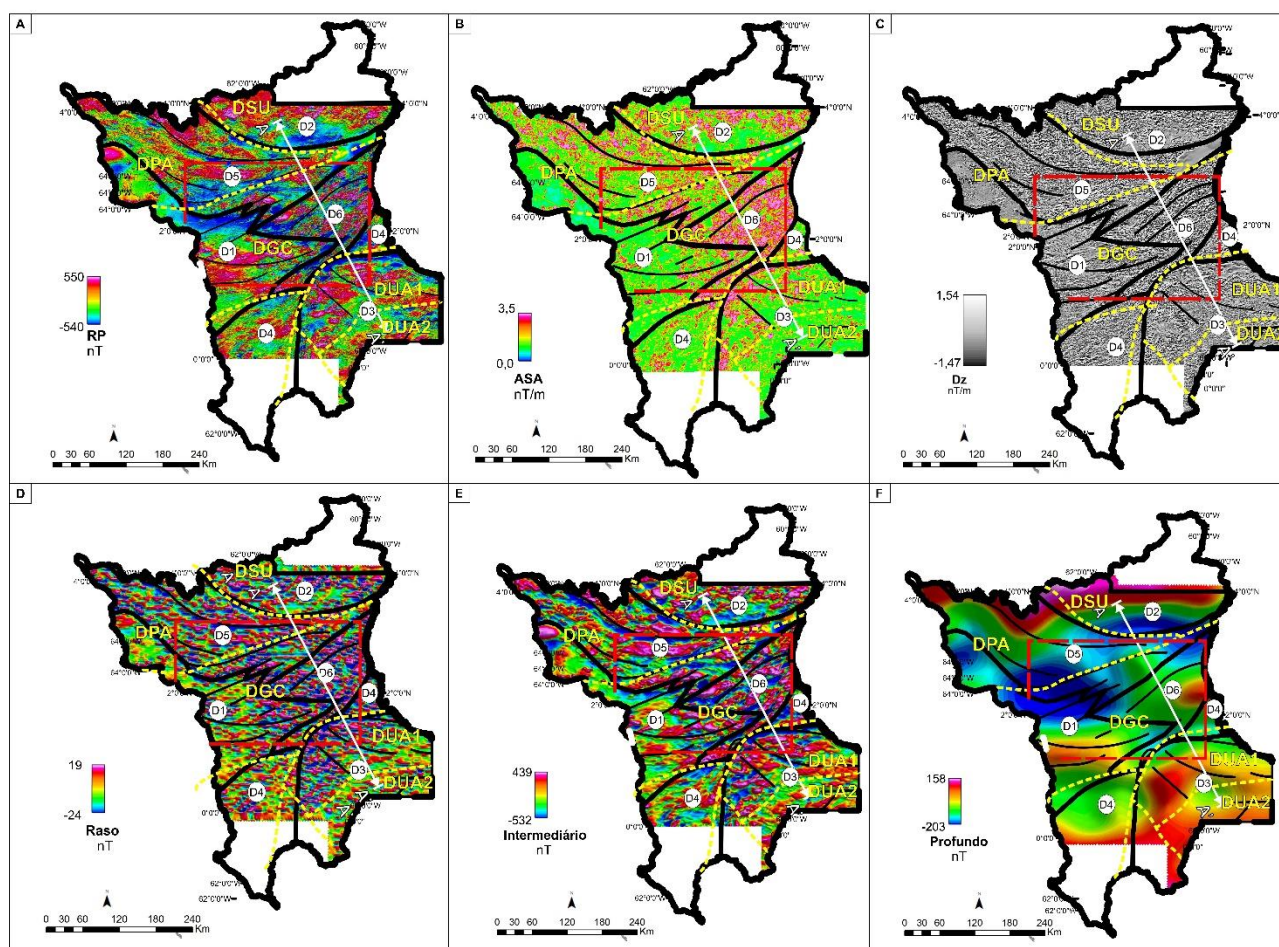


Figura 25 – Limites dos domínios magnéticos (linhas pretas), domínios tectonoestratigráficos (linhas amarelas tracejadas) e área de estudo (linhas vermelhas) sobrepostos às seguintes imagens: **(A)** reduzida ao polo (RP), **(B)** amplitude do sinal analítico (ASA), **(C)** derivada vertical (Dz) e os produtos do espectro do RP **(D)** fontes rasas (médias de 1 km), **(E)** fontes intermediárias (médias de 12 km) e **(F)** fontes profundas (médias de 40 km). Em linhas brancas a localização do perfil.

Comparando os limites dos domínios tectonoestratigráficos com os magnéticos (Figs. 24 e 25), observa-se que:

- DSU está integralmente no D2.
- DPA está parcialmente nos domínios D1 e D5.
- DGC está parcialmente nos domínios D1, D4 e D5 e integralmente no D6.
- DUA1 e DUA2 estão integralmente em D3.

Uma inversão dos dados magnéticos foi realizada para se compreender os limites dos domínios magnéticos em profundidade (Fig. 26).

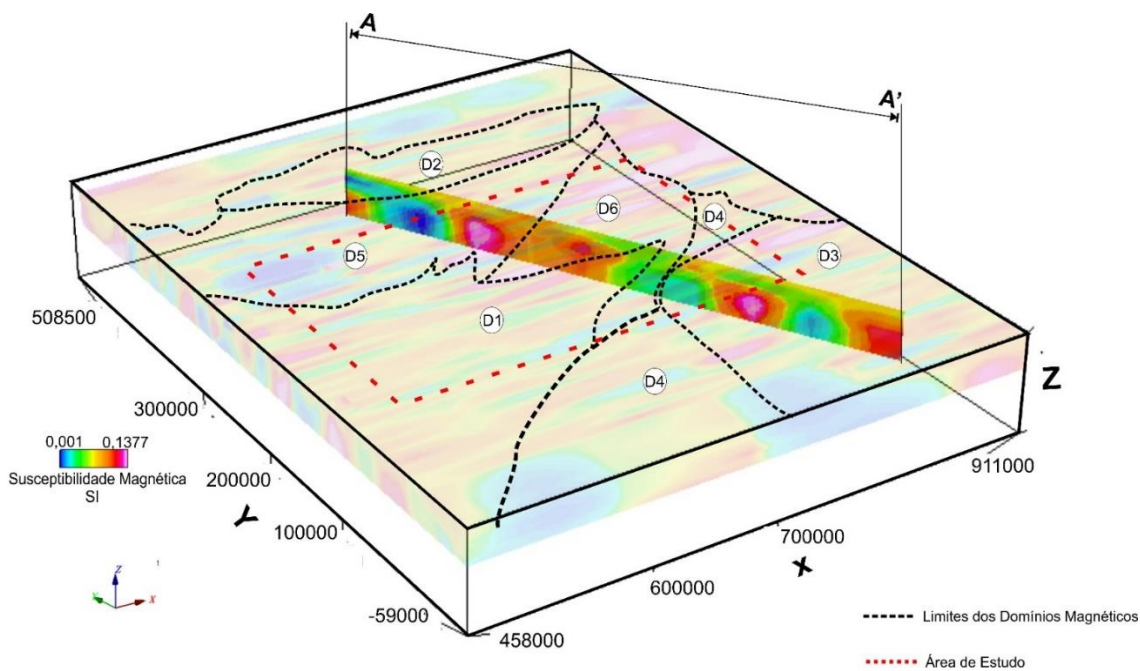


Figura 26 - Bloco de inversão dos dados magnéticos indicando o perfil A-A' (Fig. 24A) que corta todo o DGC (Fig. 24B). Os domínios magnéticos são indicados por linhas pretas tracejadas e a área de estudo por linhas vermelhas tracejadas.

Para auxiliar a interpretação do perfil A-A' foram utilizados os mapas da Figura 26, os perfis radiométricos (K, eTh, eU), vide localização na Figura 8, e magnetométricos (CMA, ASA, Dz), vide localização na Figura 25.

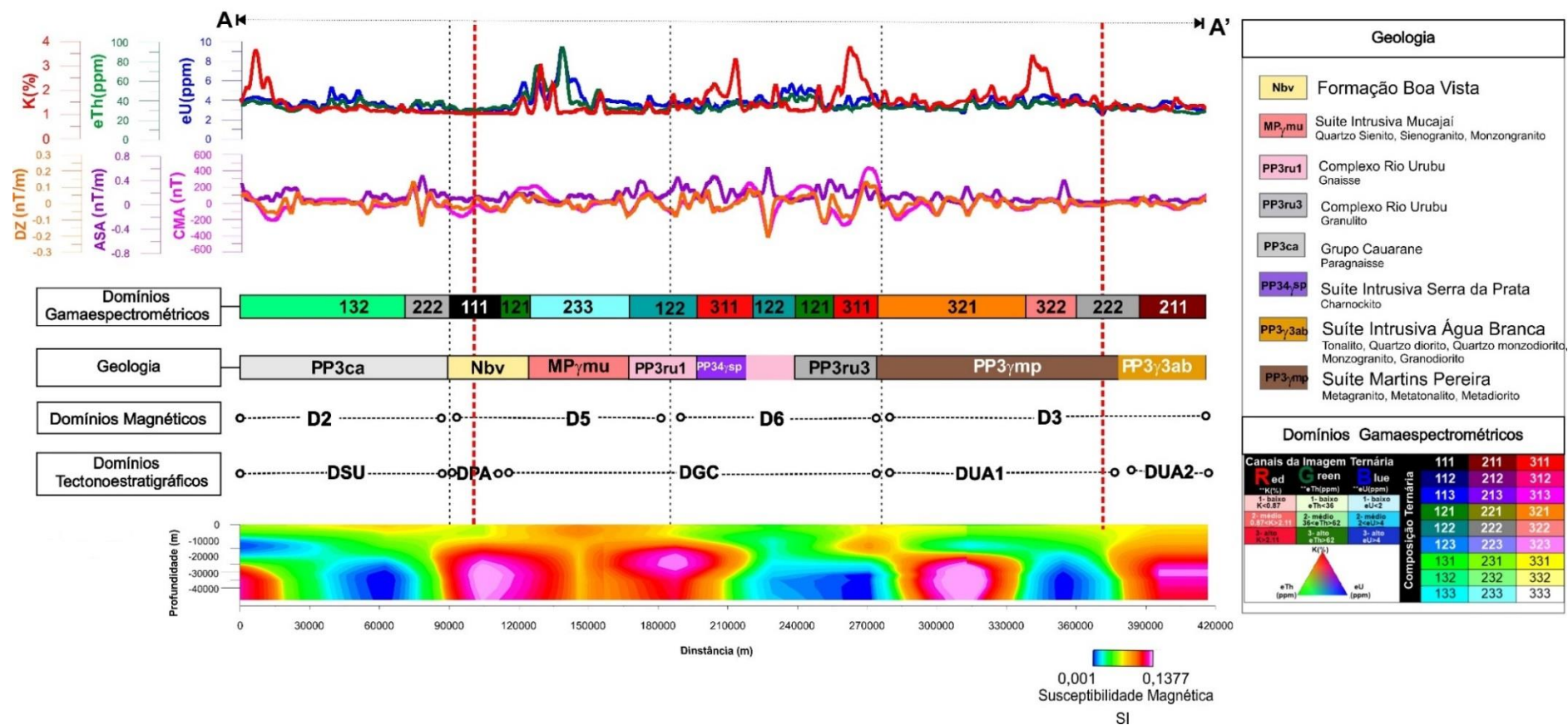


Figura 27 – Perfil A-A' indicando os domínios tectonoestratigráficos (DSU, DPA, DGC, DUA1 e DUA2), magnéticos (D2, D5, D6 e D3), geológicos (PP3ca, Nbv, MP_γmu, PP3ru1, PP34_{sp}, PP3ru3, PP3_γmp e PP3_γ3ab) e gamaespectrométricos (132, 222, 111, 121, 233, 122, 311, 321, 322 e 211). Limites da área de estudo em linhas vermelhas tracejadas.

A seguir são descritos os domínios magnéticos, em correspondência aos domínios tectonoestratigráfico da Província Tapajós-Parima, com base nas Figuras 24 e 27.

Domínio magnético 1 (D1) – Envolve os domínios tectonoestratigráficos DPA e DGC (Fig. 24 B). Caracterizado por uma textura magnética levemente rugosa, está associado às anomalias de longo comprimento de onda com amplitudes que variam entre -309 nT e 301 nT, aparentemente associado a estruturas médias a profundas (Fig. 25 C e D), na direção NW-SE que infletem para E-W. Anomalias dipolares dispersas são provavelmente associadas a corpos intrusivos.

Domínio magnético 2 (D2) – Localizado integralmente no domínio tectonoestratigráfico DSU, exhibe anomalias de longo comprimento de onda associadas a estruturas magnéticas médias a profundas (Fig. 25 C e D), preferencialmente na direção E-W. As amplitudes variam entre -265 nT a 205 nT. Na seção A-A' (Fig. 27) registra susceptibilidades $< 0,07$ SI em subsuperfície e médias concentrações de K, eTh e eU em superfície, relacionadas a paragneisses intercalados por rochas calcissilicáticas, xistos e anfibolitos.

Domínio magnético 3 (D3) – Está integralmente situado nos domínios tectonoestratigráficos DUA1 e DUA2, com amplitudes máxima de 270 nT e mínima de - 297nT, longos comprimentos de onda associados a altas e médias profundidades (Fig. 25 C e D), alinhadas na direção NW-SE. Na seção A-A' (Fig. 27) é possível observar susceptibilidades magnéticas distintas. O domínio DUA1 é caracterizado por altas e baixas susceptibilidades em profundidade, enquanto no DUA2 dominam elevados valores. Em superfície as contagens de K, eTh e eU são superiores no DUA1, em relação ao DUA2, que podem estar relacionadas à composição química das rochas descritas por Almeida (2006), como rochas cálcio-alcalinas, metaluminosas a peraluminosas e de alto-K, com textura porfirítica e normalmente afetadas por deformação heterogênea de escala regional, associada às zonas de cisalhamento dextrais de direção ENE-WSW. Ainda segundo Almeida (2006), o DUA2 não registra os mesmos efeitos deformacionais encontrados em DUA1, o que pode explicar em subsuperfície o bloco de alta susceptibilidade e menores variações dos perfis magnéticos CMA, ASA e DZ (Fig. 25).

Domínio magnético 4 (D4) – É dividido em duas partes, uma delas está situada no DGC e a outra está sob a cobertura sedimentar (Fig. 24b). Ambas as partes

refletem um relevo magnético suave com amplitudes entre -195 nT e 107 nT, cujas estruturas se dispõem preferencialmente na direção NE-SW.

Domínio magnético 5 (D5) – Localizado nos domínios DSU, DPA e DGC, exhibe tendências magnéticas na direção NW-SE que infletem para E-W (Fig. 24 e 25C). As amplitudes variam de -333 nT a 384 nT. Na Figura 27, em superfície, a Suíte Intrusiva Mucajaí (vide Fig. 7) é representada por elevados teores de K, eTh e eU (vide Fig. 7). Em profundidade, à suíte, aparentemente, separa dois núcleos de elevada susceptibilidade, o que corrobora com Anderson (1983) & Windley (1983), que indicam que suítes ígneas nesta região estão associadas aos estágios iniciais do desenvolvimento de riftes abortados. Neste contexto, a descompressão leva a fusão parcial do manto litosférico, sendo que o aporte destes magmas à base da crosta provoca instabilidades térmicas que resultam em fusões crustais, indicadas pelas altas susceptibilidades no perfil (Fig.27). Fraga (2002) afirma que a suíte Mucajaí representa um magmatismo mesoproterozoico, anorogênico, encaixado ao longo do DGC, após o último evento de geração de rochas ígneas deste setor crustal, representado pelo magmatismo em torno de 1,94 Ga. E ainda segundo Fraga (2002) a colocação da associação AMG (anortosito-mangerito-granito) na região de Mucajaí foi acompanhada pela intrusão de diversos corpos de granitoides rapakivi (e rochas básicas) devendo refletir assim um processo extensional regional, que possivelmente pode ser associado com a separação dos dois núcleos de susceptibilidade no perfil (Fig.27).

Domínio magnético 6 (D6) – Terreno intensamente deformado, com estruturas magnéticas e enxame de diques na direção preferencial NE-SW, e amplitudes entre -500 nT e 400 nT. Em superfície, os teores de potássio são mais elevados refletindo os charnockitos da Serra da Prata (PP34_{γsp}) e granulitos do Complexo do Rio Urubu (PP3ru3). As maiores variações dos perfis magnéticos CMA, ASA e Dz (Fig. 27) são verificadas nesta região. Em profundidade, as baixas susceptibilidades podem ser correlacionadas com rochas ortometamórficas, que segundo Almeida (2006) são divididos em dois grandes grupos. O primeiro é constituído por ortognaisses granulíticos polideformados e metamorfizados em alto grau, sendo correlacionáveis aos charnockitoides sintectônicos da Suíte Serra da Prata como identificado no perfil do domínio gamaespectrométrico (311). O segundo são milonitos e granitos foliados os quais, além de serem mais jovens, exibem apenas uma fase de deformação

normalmente associada a amplas zonas de cisalhamento NE-SW, em baixo a médio grau metamórfico (preservando muitas vezes suas características ígneas como, por exemplo, fluxo magmático, segundo Fraga, 2002).

Na segunda fase das interpretações dos dados magnéticos, fez-se um estudo levando em consideração apenas a área de trabalho indicada pelo retângulo em vermelho na Figura 24.

Os métodos de realce foram aplicados ao campo magnético anômalo reduzido ao polo e continuado para cima (500 m). (Fig.28A), apenas na área de trabalho.

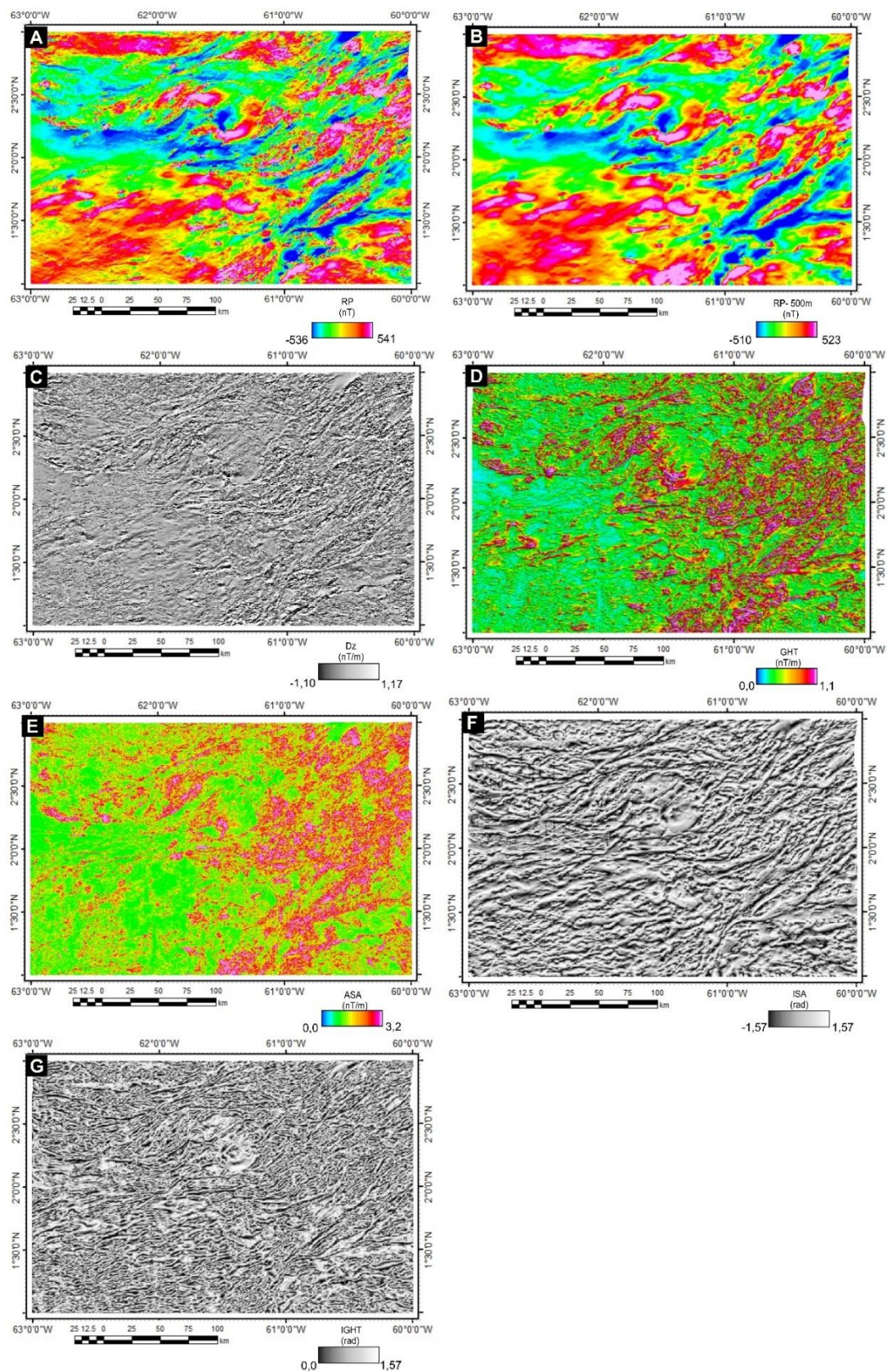


Figura 28 – Imagens dos dados magnéticos da área de trabalho: **(A)** RP(nT), **(B)** RP continuada para cima (500 m), **(C)** Dz, **(D)** GHT, **(E)** ASA, **(F)** ISA e **(G)** IGHT.

Produtos de realce identificados na Figura 28 permitiram interpretar a origem das anomalias, concentrando os picos nos centros e nas bordas dos corpos magnéticos, associados a falhas e fraturas.

Lineamentos magnéticos de primeira e segunda ordem foram interpretados com base na combinação de mais de um produto de realce. No entanto imagens de inclinação do sinal analítico - ISA (Fig.28F) e gradiente vertical - Dz (Fig.28C) tiveram um peso maior na interpretação, já que a primeira equaliza o pico das anomalias de fontes situadas a diferentes profundidades e a segunda por destacar as anomalias rasas.

Cálculo da direção preferencial dos lineamentos de 2º ordem indicou a direção NE-SW como predominante. Posteriormente os dados foram agrupados (Fig.29) em direções NE-SW, NW-SE e E-W, mas não para N-S, já que é a direção coincidente com as linhas de aquisição do aerolevantamento.

A separação dos lineamentos por direção permitiu observar que a direção NW-SE trunca os lineamentos E-W. Os diques interpretados possuem a mesma direção preferencial da área de trabalho NE-SW à norte do domínio magnético D3 (Fig.29) NW-SE.

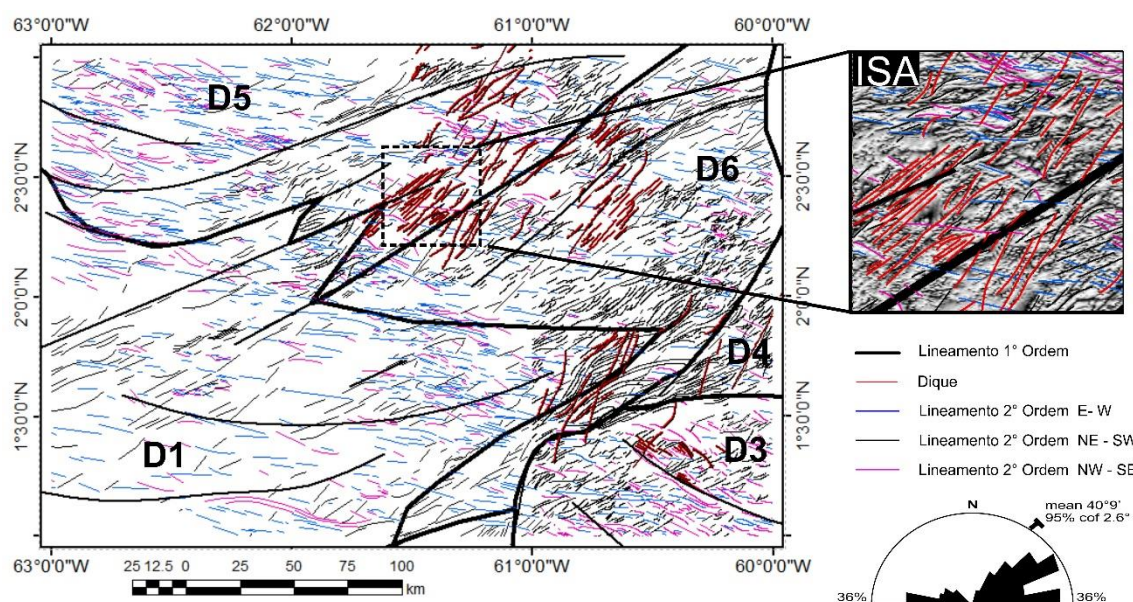


Figura 29 – Imagens da interpretação dos lineamentos magnéticos da área de trabalho. Em destaque janela da ISA, de onde foi realizada parte das interpretações.

5. Conclusões

Devido à área de estudo estar inserida no contexto amazônico, as interpretações por métodos indiretos, aerogamespectrométricos e aeromagnetométricos, contribuíram para complementação e confirmação de feições geológicas já mapeadas ou indicar novos corpos.

Foi confeccionado o mapa litogeofísico, interpretação de superfície, o qual indicou assinaturas gamaespectrométricas da Formação Boa Vista (Nbv,111), Coberturas (122) , Suíte Serra da Prata (PP34 γ sp, 311, 313, 322 e 323), Formação Apoteri (JK1 β ap,311), paragnaisses Cauarane (PP3ca,121, 131, 132, 231 e 232), Complexo Urariquera (PP23ur,122 e 222) e Complexo Rio Urubu (PP3ru_,133, 233, 331, 332 e 333).

Em subsuperfície, foram interpretados seis domínios magnetométricos para o estado de Roraima. Quando comparados os limites dos domínios tectonoestratigráficos, observa-se que DGC está disposto em quatro domínios magnéticos dos seis interpretados e apenas o domínio seis está integralmente no DGC.

Com a finalidade de observar as profundidades das tendências lineares, principalmente as que delimitam os domínios, realizou a técnica do espectro de potência, indicou profundidades rasa (até 1 km), intermediária (1 até 12 km) e profundas (12 até 40 km), onde limites dos domínios prevalecem nos três intervalos.

Agradecimentos

Ao corpo docente, técnico e administrativo do Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Paraná (UFPR), pela oportunidade da realização deste trabalho. À empresa CPRM pela liberação parcial das atividades da empresa. Aos colegas do Laboratório de Geofísica Aplicada (LPGA), SUREG-Manaus e DISEGE pelas sugestões durante o decorrer do trabalho. Francisco José Fonseca Ferreira agradece ao CNPq pela bolsa de produtividade em pesquisa (processo nº 305810/2010-3).

Referências

- ALBERS, J.P., 1986. **Descriptive model of podiform chromite**, in Cox, D.P., and Singer, D.A., eds., **Mineral deposit models**: U.S. Geological Survey Bulletin 1693, p.34
- ALBUQUERQUE D. F, FRANÇA G. S., LUCAS, MOREIRA L. P, ASSUMPÇÃO M., BIANCHI M., BARROS L.V., QUISPE C.C, OLIVEIRA M.E., 2017. **Crustal structure of the Amazonian Craton and adjacent provinces**, Journal. of South American Earth Sciences, Vol.79, pages 431-442. Brazil.
- ALMEIDA, M.E, MACAMBIRA, M.J.B., FARIA, M.S.G. DE, 2002. **A Granitogênese Paleoproterozóica do Sul de Roraima**. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 41, Anais. Sociedade Brasileira de Geologia, p. 434.
- ALMEIDA, MARCELO ESTEVES. **Evolução geológica da porção centro-sul do Escudo Guianas com base no estudo geoquímico, geocronológico (evaporação de Pb e U-Pb ID-TIMS em zircão) e isótopo (Nd-Pb) dos granitoides paleoproterozóicos do sudeste de Roraima, Brasil**. 2006. 223 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 2006. Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica.
- AMARAL, G. 1974. **Geologia Pré-Cambriana da Região Amazonas**. São Paulo: USP, 212 p., Tese (Livre Docência) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- ANDERSON, J.L. 1983. **Proterozoic anorogenic granite plutonism of North America**. In: Medaris, L.G., Jr ; Byers, C.W.; Mickelson, D.M.; Shanks, W.C. (Eds.), **Proterozoic Geology: Selected Papers from an International Proterozoic Symposium**. Geol. Soc. Am. Mem., 161: 133-154.
- AN P, MOON WM & RENCZ A. 1991. **Application of fuzzy set theory to integrated mineral exploration**. Canadian Journal of Exploration Geophysics, 27(1): 1-11.
- ANP and CPRM, 2011. Projeto Aeromag Brasil. Brasil.
- BLAKELY, R. J., 1995. **Potential theory in gravity and magnetic applications**. Cambridge University Press, New York, 437p.
- CARRANZA E. J., HALE M. 2001. **Geologically constrained fuzzy mapping of gold mineralization potential, Baguio district, Philippines**. Natural Resources Research, 10(2): 125-136.
- COOPER GRJ & COWAN DR. 2006. **Enhancing potential field data using filters based on the local phase**. Computers & Geosciences, 32(10):1585-1591.

CORDANI, U. G.; TASSINARI, C. G.; TEXEIRA, W.; BASEI, M. A. S.; KAWASHITA, K. 1979. **Evolução tectônica da Amazônia com base nos dados geocronológicos.** In: Congresso Geológico Chileno, 2, 1979, Arica. Anais (sn). 1979. p. 137-138.

CORDANI, U. G. & BRITO NEVES, B. B. - 1982 - **The Geologic Evolution of South America during the Archean and Early Proterozoic.** Revista Brasileira de Geociências, 12 (1-3): 78-88.

CORDANI, U.G., Teixeira, W., 2007. **Proterozoic accretionary belts in the Amazonian Craton.** Geol. Soc. Am. Memoir 200, 297–320

CORDELL L & GRAUNCH VJS. 1985. **Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan Basin, New Mexico.** In: HINZE WJ (ed). The Utility of Regional Gravity and Magnetic Anomalies Maps. Society of Exploration Geophysicists, p.181-197.

COSTA, J. B. S.; HASUI, Y.; BORGES, M. S.; BEMERGUY, R. L. **Arcabouço tectônico mesozóico-cenozóico da região da calha do Amazonas.** Geociências (UNESP), 14, n. 2, p. 77-83, 1997.

CHARLIER, B.; NAMUR, O.; BOLLE, O.; LATYPOV, R.; DUCHESNE, J. 2014. **Fe-Ti-V-P deposits associated with Proterozoic massif-type anorthosites and related rocks.** Earth-Science Reviews, 141: 56-81.

CPRM. 2000. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Caracará, Folhas NA.20-Z-B e NA.20-Z-D, NA.20-Z-A, NA.21-Y-A, NA.20-Z-C e NA.21-Y-C.** Escala 1:500.000. Estado de Roraima. Manaus, CPRM, 157 p. (em CD-ROM).

CPRM, 2001. **Projeto Aerogeofísico Parima Uraricoera: relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos.** Manaus: Lasa Prospecções, 15 v. Programa Geologia do Brasil (PGB).

CPRM, 2003. **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas & SIG.** Brasília, CPRM, 673 p.

CPRM, 2007a. **Projeto Aerogeofísico Anauá: relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos.** Manaus: Lasa Prospecções, 15 v. Programa Geologia do Brasil(PGB).

CPRM, 2007b. **Projeto Aerogeofísico Pitinga: relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos.** Manaus: Lasa Prospecções, 15 v. Programa Geologia do Brasil(PGB).

CPRM, 2010a. **Projeto Aerogeofísico Carará - Jatapu: relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos.** Manaus: Lasa Prospecções, 15 v. Programa Geologia do Brasil (PGB).

CPRM, 2010b. **Projeto Aerogeofísico Sudeste de Roraima: relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos**. Manaus: Lasa Prospecções, 15 v. Programa Geologia do Brasil (PGB).

CPRM, 2011. **Projeto Aerogeofísico Centro Leste de Roraima: relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos**. Manaus: Lasa Prospecções, 15 v. Programa Geologia do Brasil(PGB).

CPRM, 2012a. **Mapa Geodiversidade de Roraima**. Roraima, 15 v. 68 p. Inclui 1 CD ROM.

CPRM, 2012b. **Projeto Aerogeofísico Catrinania-Araça: relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos**. Manaus: Lasa Prospecções, 15 v. Programa Geologia do Brasil(PGB).

CPRM,2014. **Geodiversidade do estado de Roraima**. Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade Manaus, 212 p.

DANESHFAR, B.; CAMERON, E (1997). **Leveling geochemical data between map sheets**. Journal of Geochemical. Exploration, v. 63, p. 189-201.

DICKSON, B. L.; SCOTT, K. M.,1997, **Interpretation of aerial gamma-ray surveys - adding the geochemical factors**. AGSO Journal. of Australia Geology and Geophysics, v. 17, n. 2, p. 187-200.

EFIMOV A.V. 1978. **Multiplikativniyi pokazatel dlja vydelenija endogennykh rud aerogammaspeyctmetriceskim dannym**.In: **Metody rudnoj geofiziki, Leningrado,Naucnoproizvodstvennojc objedinenie geophysical**. Ed.,59-68.

ENVI, 2000. **ENVI User's Guide**. Research Systems Inc., Boulder, Colorado, 930 p

FRAGA, L.M.B.; AL.MEIDA, M.E.; MACAMBIRA, M.J.B. 1997a. **First lead-lead zircon ages of charnockitic rocks from Central Guiana Belt (CGB) in the state of Roraima, Brazil**. In: South-American Symposium on Isotopoe Geology, Campos do Jordão. Resumos. Campos do Jordão, São Paulo, p. 115-117.

FRAGA, L.M.B.; ARAÚJO, R.V. de; DUARTE, B.P. 1997b. **Igneous charnockitic rocks of the Kanuku Complex and Serra da Prata Suite in the Central. Guiana Belt (CGB), Roraima State, Brazil**. In: International. Symposium on Granites and Associated Rocks (ISGAM), 2, Salvador. Resumos. Salvador, 3p.

FRAGA, L.M.B.; DAL.L`AGNOL, ROBERTO; COSTA, JOÃO BATISTA SENA .2000. **The first complete AMCG Association of the Amazon Craton - Coeval. Anorthosite, mangerites,**

Charnockites and rapakivi Granites in Roraima - Guyana Shield. In: International Geological Congress 31, 2000, Rio de Janeiro. Abstracts.

FRAGA, L.M.B. 2002. **A associação anortosito-mangerito-granito rapakivi (AMG) do Cinturão Guiana Central, Roraima, e suas encaixantes paleoproterozóicas: evolução estrutural, geocronologia e petrologia.** Tese de Doutorado, UFPA, Belém.

FRAGA, L.M.B.; DREHER, A. M.; GRAZZIOTIN, H. Orosirian, 2008. **A- and I-type acid volcanism in the Guyana Shield, northern Amazonian Craton.** In: International. Geological. Congress, 33, 2008, Oslo. International. Geological. Congress, 33. Oslo, Norway. Abstract, [CD-ROM].

FRAGA, L.M.B.; MACAMBIRA, M. J. B.; DAL'L'AGNOL, R.; COSTA, J. B. S. **1.94-1.93 Ga charnockitic magmatism from the central part of the Guyana Shield, Roraima, Brazil: Single-zircon evaporation data and tectonic implications.** Journal of South American Earth Sciences, v. 27, p. 247-257, 2009.

FRAGA, L.M.; REIS, N.J.; AGNOL, R.D.; 2017. **CAUARANE - COEROENI BELT – THE MAIN TECTONIC FEATURE OF THE CENTRAL GUYANA SHIELD, NORTHERN AMAZONIAN CRATON** .In: XI Simpósio de Geologia da Amazônia, 2 a 5 de agosto de 2009, Manaus – AM

FERREIRA F. J. F.; SOUZA J; BONGIOLO A.B.S; CASTRO L.G.; ROMEIRO M.A.T. 2010. **Realce do gradiente horizontal total de anomalias magnéticas usando a inclinação do sinal analítico. Parte I: Aplicação a dados sintéticos.** In: IV Simpósio Brasileiro de Geofísica, SBGf Brasília, *Anais*, p. 1-6.

FERREIRA, F. J. F., SOUZA, J, BONGIOLO, A.B.S, CASTRO, L. G. 2013. **Enhancement of the total horizontal gradient of magnetic anomalies using the tilt angle.** *Geophysics*. **78**, J33-J41

GAUDETTE, H.E.; OLSZEWSKI JR., W.J.; SANTOS, J.O.S. 1996. **Geochronology of Precambrian rocks from the northern part of Guiana Shield, State of Roraima, Brazil.** Journal of South American Earth Sciences, 9 (3 e 4):183-195.

GEOSOFT INC., 2009. **Filtragem montaj MAGMAP. Processamento de dados de campos potenciais no domínio da frequência. Extensão para o Oasis Montaj**, v. 7.1. Tutorial. e guia do usuário. Toronto, ON Canadá.

GEOSOFT INC., 2010. **Filtragem montaj MAGMAP. Processamento de dados de campos potenciais no domínio da frequência. Extensão para o Oasis Montaj**, v. 7.1. Tutorial. e guia do usuário. Toronto, ON Canadá, 77p.

HAMZA, V. M; CARDOSO, R. R.; PONTE NETO, C. F. **Spherical. harmonic analysis of earth's conductive heat flow.** International. Journal. of Earth Sciences, 2008. Disponível em: < <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00531-007-0254-3#page-1>>. Acesso em: 15 mar. 2013.

HARRIS, J.R., WILKINSON, L., HEATHER, K., FUMERTON, S., BERNIER, M.A., AYER, J. AND DAHN, R., 2001. **Application of GIS processing techniques for producing mineral prospectivity maps; a case study; mesothermal Au in the Swayze greenstone belt**, Ontario, Canada. Natural Resources Research 10, 91-124.

HASUI, Y.; HARAL.YI, N. L.; SCHOBENHAUS, C .1984. **Elementos geofísicos e geológicos da região Amazônia: subsídios para o modelo geotectônico.** Simpósio Amazônico, 2, Manaus, 1984. Anais. Manaus, DNPM/MME, p.129-147.

IAEA. 1991. **Airborne gamma ray spectrometer surveying.** Technical. Reports Series nº 323. Vienna: Intern. Atomic Energy Agency.

IAEA. 2003. **Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data.** Vienna: Intern. Atomic Energy Agency. 179 p.

ISLES D. J. AND RANKIN L. R., 2013. **Geological interpretation of aeromagnetic data.** Australian Society of Exploration Geophysicists, Australia. 365 p.

LIMA, M.I.C.; OLIVEIRA, E.P.; TASSINARI, C.C.G. 1982. **Cinturões granulíticos da porção setentrional do Craton Amazônico.** In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 1, Belém. Anais, SBG-NO, v.1, p. 147-162.

MENEZES LEAL., A.B.; GIRARDI, V.A.V.; BASTOS LEAL., L.R. **Petrologia e Geoquímica do Magmatismo Básico Mesozóico da Suíte Básica Apoteri, Estado de Roraima, Brasil.** Geochemical. Brasiliensis, v.14, n.2, 2000. pp.155-174.

MINTY, B R. S. **A review of airborne gamma-ray spectrometric data-processing techniques.** Canberra: Australian Government Publishing Service, 1988. 48 p.

MINTY, B. R. S., 1991. **Simple micro-levelling for aeromagnetic data.** Exploration Geophysics, 22: 591-592.

MILLER HG & SINGH V. 1994. **Potential field tilt – a new concept for location of potential field sources.** Journal. of Applied Geophysics, 32(2-3): 213-217

MOSIER, D.L., SINGER, D.A., MORING, B.C., GALLOWAY, J.P., 2012. **Podiform chromite deposits; database and grade and tonnage models.** U.S.Geological. Survey Scientific Investigations Report 2012-5157. 45 (and database., Available at <http://pubs.usgs.gov/sir/2012/5157/>).

NABIGHIAN MN. 1972. **The analytic signal of two dimensional magnetic bodies with polygonal crossection: Its properties and use for automated anomaly interpretation.** Geophysics, 37(3): 507-517.

NABIGHIAN, M. N., and Macnae, J. C., 1991, **Time domain electromagnetic prospecting methods, in Nabighian, M. N., Ed., Electromagnetic methods in applied geophysics, Vol II, Part A: Soc. Expl. Geophys., 427-509**

NABIGHIAN M. N., ANDER M.E., GRAUCH V. J.S., HANSEN R.O., LAFEHR T.R., LI Y., PEARSON W.C., PEIRCE J.W., PHILLIPS J.D. , RUDER M. E., 2005. **Historical development of the magnetic method in exploration, Geophysics.**

NAL.DRETT A.J., CAMERON G., VON GRUENEWALDT G., SHARPE M.R. (1987) **The Formation of Stratiform PGE Deposits in Layered Intrusions.** In: Parsons I. (eds) *Origins of Igneous Layering.* NATO ASI Series (Series C: Mathematical and Physical. Sciences), vol 196. Springer, Dordrecht

Oliveira V.,Oliveira A.C.S,Silva M.B.,Lopes P.R.,Reis,N.R.,(2015) **Geophysical-Geological Integration Map the of Boa Vista Grid (NA.20-X-D), Central Portion of Roraima state, Brazil.** 14th International Congress of the Brazilian Geophysical Society & EXPOGEF, Rio de Janeiro, Brazil, 3-6 August 2015: pp. 278-283.

PORWAL., A. K., CARRANZA, E. J. M., & HALLE, M. (2003). **Knowledge - driven and data - drive fuzzy models for predictive mineral potential mapping.** Natural resources research, 12(1), 1-1-2025. DOI: 10.1023/A:1022693220894

PIRES, A. C. B. **Identificação geofísica de áreas de alteração hidrotermal, Crixás-Guarinos, Goiás. Revista Brasileira de Geociências,** v.1, n.25, p. 61-68, mar. 1995.

PIRES A.C.B. & MORAES R.A.V. 2006. **New processing technologies applied do airborne geophysical data: impact on interpretation.** In: 2º Simpósio Brasileiro de Exploração Mineral, SIMEXMIN, 2006, Ouro Preto, MG.

PITARELLO, M.Z. 2015. **Aplicação preliminar de técnicas de nivelamento estatístico em dados geoquímicos de projetos históricos da CPRM no estado de Roraima.** Anais do XV Congresso Brasileiro de Geoquímica, Brasília – DF.

RAINES G.L., 1999. **Evolution of weight of evidence to predict epithermal gold deposits in the Great Basin of the western United States.** Natural. Resources Research,8(4),257-276.

REID,A. B., ALLSOP,J.M., GRANSER,H.,MILLETT,A.J.,SOMERTON,I.W.,1990.**Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution.**Geophysics,55:80-91.

Reeves, 2005. **Aeromagnetic surveys: Principles, practice & interpretation**. E-book publicado por Geosoft Inc., 155 p.

REIS, N. J.; FRAGA, L. M.; FARIA, M. S. G.; ALMEIDA, M. E. **Geologia do Estado de Roraima, Brasil**. In: Geology of France and Surrounding Areas - Special. Guiana Shield, n. 2-3-4, p. 121-134, 2003.

REIS, N. J.; ALMEIDA, M. E.; RIKER, S. R. L.; FERREIRA, A.L. **Geologia e Recursos minerais do Estado do Amazonas**. Manaus, CPRM, 2006 (Convênio CPRM/CIAMA). 125 p., il. Escala 1:1.000.000

REIS, NELSON JOAQUIM, NADEAU, SERGE, FRAGA, LEDA MARIA, BETIOLLO, LEANDRO MENEZES, FARACO, MARIA TELMA LINS, REECE, JIMMY, LACHHMAN, DEOKUMAR, & AULT, RANDY. 2017. **Stratigraphy of the Roraima Supergroup along the Brazil-Guyana border in the Guiana shield, Northern Amazonian Craton - results of the Brazil-Guyana Geology and Geodiversity Mapping Project**. Brazilian Journal. of Geology, 47(1), 43-57

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

ROEST WR, VERHOEF J & PILKINGTON M. 1992. **Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal**, Geophysics, 57(1):116-125.

SANTOS, J.O.S.; REIS, N.J.; HARTMAN, L.A.; McNAUGHTON, N.J.; FLETCHER, I.R. 1999. **Associação Anortosito-Charnockito-Granito Rapakivi no Calimiano do Norte do Cráton Amazônico, Estado de Roraima: Evidências Obtidas por Geocronologia U-Pb (SHRIMP) em zircão e baddeleyíta**. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 6, Manaus. Anais. Manaus: SBG, Núcleo Norte, p. 503-506.

SANTOS, J.O.S.; HARTMANN L. A.; GAUDETTE, H. E.; GROVES, D. I.; McNAUGHTON, N. J.; FLETCHER, I. R. 2000. **A new understanding of the provinces of the Amazon Craton based on Integration of Field Mapping and U-Pb and Sm-Nd Geochronology**. Gondwana Research, 3 (4):453-488.

SANTOS, J.O.S.; POTTER, P.E.; REIS, N.R.; HARTMANN, L.A.; FLETCHER, I.R.; McNAUGHTON, N. J. 2003. **Age, source, and regional stratigraphic of the Roraima Supergroup and Roraima-like outliers in northern South America based on U-Pb geochronology**. Geol. Soc. Amer. Bull., 115(3):331-348.

SANTOS, J.O.S. DOS; HARTMANN, L.A.; FARIA, M.S.G. DE; RIKER, S.R.L.; SOUZA, M.M. DE; ALMEIDA, M.E.; McNAUGHTON, N.J. 2006. **A Compartimentação do Cráton Amazonas em**

Províncias: Avanços ocorridos no período 2000-2006. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 9, Belém, Anais, SBG. (CD-ROM).

SHEARER, S. E.; 2005. **Three-dimensional inversion of magnetic data in presence of remanent magnetization.** 2005. 148 f. Dissertação de Mestrado em Geofísica – Departamento de Geofísica do Center for Gravity, Electrical and Magnetic Studies, Colotado School of Mines.

SINGER, D.A., PAGE, N.J. 1986. Grade and tonnage model of minor podiform chromite, in Cox, D.P., and Singer, D.A., eds., Mineral. deposit models: U.S. Geological. Survey Bulletin 1693. p34-38.

SPECTOR, A. & GRANT, F.S. 1970. **Statistical models for interpreting aeromagnetic data Geophysics**, 35(2):293-302.

TASSINARI, C. G. C.; MACAMBIRA, M.J.B. 1999. **Geochronological Provinces of the Amazonian Cráton. Episodes**, 22(3):174-182.

TASSINARI, C.C.G.; MUNHÁ, J.M.V.; TEIXEIRA, W.; PALÁCIO, T.; NUTMAN, A.P.; SOUSA, C.S.; SANTOS, A.P.; CALADO, B.O. 2004. **The Imataca Complex, NW Amazonian Craton, Venezuela: crustal evolution and integration of geochronological and petrological cooling histories.** Episodes, 27: 3-12.

TEIXEIRA, W., TASSINARI, C.C.G., CORDANI, U.G. & KAWASHITA, K. 1986. **A review of the geochronology of the Amazonian Craton: tectonic implications.** Precambrian Research, 42: 213 – 227.

TELFORD, W. M., Geldart, L. P. & Sheriff, R. E., 1990. **Applied Geophysics** - Second Edition. Cambridge University Press, Cambridge, 784 p.

THOMPSON, D.T. 1982. EULDPH: **A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data.** Geophysics, 47(1): 31–37.

ULBRICH, H.H.G.J.; VLACH, S.R.F.; ULBRICH, M.N.C.; KAWASHITA, K. 2002. **Penecontemporaneous syenitic-phonolitic and basic-ultrabasic-carbonatitic rocks at the Poços de Caldas alkaline massif, SE Brazil: geologic and geochronologic evidence.** Rev. Bras. Geoc., 32(1):15-26

VERDUZCO, B., FAIRHEAD, J.D., GREEN, C.M. & MACKENZIE, C. 2004. **New insights into magnetic derivatives for structural mapping.** The Leading Edge, 23(2): 116-119.

VENKATARAMAN, G., MADHAVAN, B.B., RATHA, D.S., ANTONY, J.P., GOYAL, R. S., BANGLANI, S., ROY, S. S. 2000. **Spatial modeling for base-metal mineral exploration through integration of geological data sets.** Natural Resources Research, 9(1):27-42.

WRIGHT D.F., BONHAM-CARTER G.F. 1996. **VHMS favorability mapping with GIS-based integration models, Chisel Lake- Anderson Lake area.** In: Bonham- Carter G.F., Galley A.G., Hall G.E.M.(eds).EXTECH I: A multidisciplinary approach to massive sulphide research in the Rusty Lake-Snow Lake greenstone belts, Manitoba. Geological. Survey of Canada, Bulletin 426,p.339-376,387-401.

WINDLEY, B.F. 1983. **A tectonic review of the Proterozoic.** Geol. Soc. Am. Mem., 161:1-10.

WILLIAMS, N.C., 2006. **Applying UBC-GIF potential. field inversions in Greenfields or Brownfields exploration.** Artigo apresentado durante o AESC2006, Melbourne,Austrália, 10 p.

WIJNS C, PEREZ C & KOWAL.CZYK P. 2005. **Theta map: Edge detection in magnetic data.** **Geophysics**, 70(4): L39-L43

ZHANG, Y.; XIONG, S.; TIANYOU C. **Application of airborne gamma-ray spectrometry to geoscience in China.** Department of Applied Geophysics, the China University of Geosciences, Xue Yuan Lu, v. 49, n. 1-2, mar. 1997.

ZIENTEK, M.L., 2012, **Magmatic ore deposits in layered intrusions—Descriptive model for reef-type PGE and contact-type Cu-Ni-PGE deposits:** U.S. Geological. Survey Open-File Report 2012–1010, 48 p.

5.2 FAVORABILIDADE PARA ASSOCIAÇÃO Fe-Ti-V EM UMA PORÇÃO SETENTRIONAL DO CRÁTON AMAZÔNICO

Vanessa da Silva Oliveira^{1,2*}, Francisco José Fonseca Ferreira ¹, Michele Zorzetti Pitarello ²

1-Universidade Federal. do Paraná (UFPR)

2-Serviço Geológico do Brasil (Companhia de Recursos Mineiras – CPRM)

* e-mail: vanessa.silva@cprm.gov.br

Título: Favorabilidade para associação Fe-Ti-V em uma Porção Setentrional. do Cráton Amazônico, Roraima.

Resumo

O objetivo deste trabalho foi destacar áreas com potencial metalogenético para associação Fe-Ti-V na porção setentrional do Cráton Amazônico, com proposição de alvos obtidos através da integração de dados geofísicos e geoquímicos. Nesse sentido, optou-se pela utilização de técnicas de modelagem espacial em ambiente de Sistema de Informações Georreferenciadas (SIG), possibilitando a identificação de sobreposições de assinaturas geofísicas e geoquímicas que, associadas ao conhecimento geológico da área, podem indicar o grau de favorabilidade para prospecção das associações minerais de interesse. Durante a preparação e modelagem dos dados foi utilizado o software ArcGIS, assim como as extensões *Geostatistical Analyst*, *Spatial Analyst* e *Spatial Data Modeller* (SDM). A metodologia adotada consistiu na interpretação independente dos dados em escala regional e de detalhe, seguida de seleção de critérios prospectivos e desenvolvimento de modelo exploratório para geração de possíveis alvos. Como resultado, são apresentados mapas potencias integrados com classificação de 5 alvos de acordo com o grau de favorabilidade, determinado tanto pela modelagem espacial quanto pela compatibilidade com ocorrências previamente mapeadas. Ao final, são sugeridas possibilidades de continuação do trabalho e verificação dos alvos encontrados.

Palavra Chave: Mapa de favorabilidade, Associação Fe-Ti-V, Integração de dados.

Abstract

The objective of this work was to highlight the determination of areas with metallogenic potential for Fe-Ti-V association in the Amazonian Craton. To integrate the available data for the region, we have chosen the use of spatial modeling techniques in a Georeferenced Information System (GIS) environment, allowing the identification of overlaps of geophysical and geochemical signatures that, associated to the geological knowledge of the area, can indicate the degree of favorability for prospecting of the mineral associations of interest. During the data preparation and modeling, ArcGIS software was used, as well as Geostatistical. *Analyst Spatial Data Modeller (SDM) extensions were used as a tool.* The methodology adopted consisted in the independent interpretation of the data on a regional and detail scale, followed by selection of prospective criteria and development of an exploratory model to generate possible targets. As a result, integrated potential maps with 5 target ratings are presented according to the degree of favorability, determined both by spatial modeling and by compatibility with previously mapped occurrences.

Keyword: Favorability map, Fe-Ti-V Association, Data integration.

1. Introdução

A área de estudo envolve um trato setentrional do Cráton Amazônico, situada na porção central do estado de Roraima (RR), no extremo norte do Brasil, onde as principais ocorrências minerais são elementos terras-raras, titânio, ouro, fosfato, diamante, columbita – tantalita, cassiterita e rochas alcalinas, as quais poderiam ser ampliadas com maior detalhamento do conhecimento geológico (Fig. 1).

Foram selecionados para estudo de favorabilidade espacial, em decorrência da escala de trabalho regional, ocorrências minerais, anomalias geoquímicas Fe-Ti-V de sedimentos ativos de corrente e solos desta associação, acrescida de Sc e Ni e disponibilidade de dados geofísicos (gamaespectrométricos e magnetométricos).

A associação Fe-Ti-V é comumente relacionada a complexos gabro-anortosito-noritos intrudidos em ambientes extensionais e/ou anorogênicos, metavulcano-sedimentares, graníticos e gnáissicos. Alguns depósitos também podem ocorrer ao longo de falhas profundas formando faixas alongadas contendo complexos intrusivos. As intrusões são colocadas em níveis crustais relativamente profundos. A diferenciação (em resposta a processos gravitacionais) de fluidos residuais a partir do fracionamento do magma resultou em intrusões tardias que foram enriquecidas em óxidos de Fe e Ti.

Os depósitos podem ocorrer como lentes massivas, camadas, *pods*, *sills*, diques e intrusões irregulares e como corpos de óxidos disseminados e intersticiais.

1.1 Contexto Geotectônico e Geológico

O Cráton Amazônico é descrito por modelos de províncias geológicas, geocronológica e/ou tectônicas propostos por Amaral. (1974); Cordani et al. (1979); Cordani & Brito Neves (1982); Lima (1982), Hasui et al. (1984), Teixeira et al.. (1986), Costa & Hasui (1997), Tassinari & Macambira (1999; 2004), Reis e Fraga (2000); Santos et al. (2000, 2006), Reis et al. (2003; 2006); Cordani & Teixeira (2007), Fraga et al. (2008), e Reis et al., (2017).

No âmbito da área de trabalho (Fig.1), a evolução geotectônica foi estudada dando o enfoque proposto por Reis e Fraga 2000 e Reis et al. (2003; 2006), com base na compartimentação tectonoestratigráfica relacionados aos domínios Serra

[illegible]

No DGC idade paleoproterozóica é representado pelo Complexo Rio Urubu (PP3ru_) composto por granulitos, ortognaisses e augen-gnaisses (1,96 a 1,92 Ga; Pb-Pb evaporação Gaudette et al., 1996; Fraga, 2002; CPRM, 2003), de acordo com a Figura 3.

80

mesoproterozoica conhecidos por hospedar importantes depósitos de Sn, Fe-Cu e Cr-Ti-V (Charlier et al., 2014)

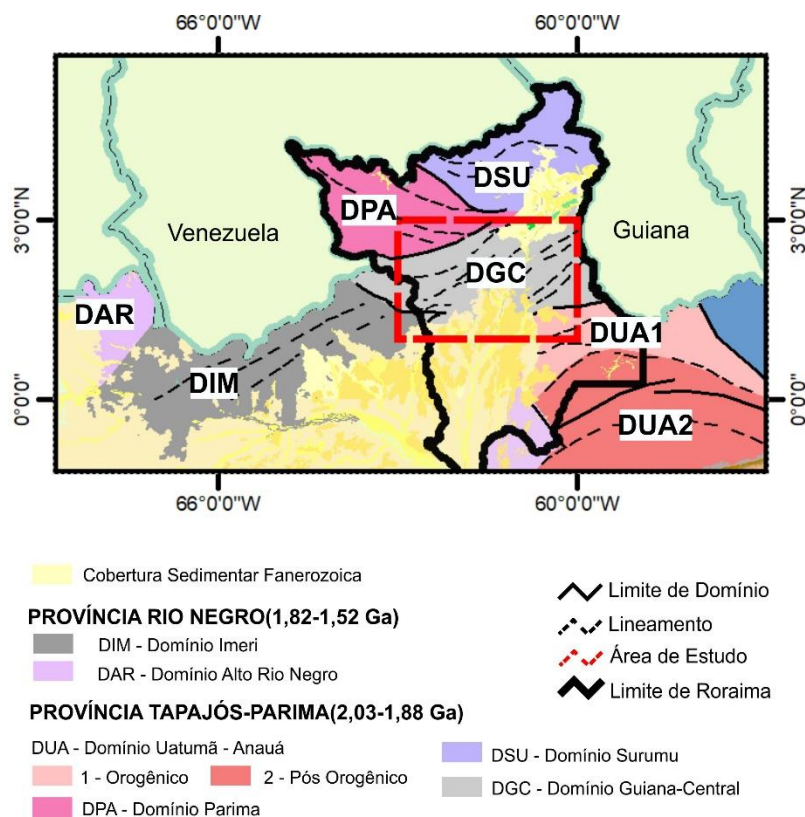


Figura 2 - Domínios tectonoestratigráficos propostos por Reis e Fraga (2000) e Reis et al. (2003; 2006). Em linha vermelha tracejada área de estudo. Modificado (CPRM, 2014).

Como representante do Mesozoico (Jurássico-Cretáceo) e Cenozoico (Neogeno) tem-se os diabásios e andesitos basálticos da Formação Apoteri (135 Ma, Ar-Ar, Menezes Leal. et al., 2000) e rochas al.calinas da Suíte Intrusiva Apiaú (monzonitos e traquitos) (107 Ma) (CPRM, em elaboração) sendo as últimas consideradas alvos importantes para ETR, Th-U, Ba e fosfatos, além da Bacia do Tacutú. A Formação Boa Vista (arenito arcoseano, conglomerado) (23,03 Ma) é do Neógeno e a Formação Areias Brancas representa o Quaternário.

O DPA representado pelas rochas paraderivadas e calcissilicáticas do Grupo Cauarane (2.05 Ga; U-Pb SHRIMP) (Fraga et.al., 2017).

O DUA possui direção predominante NW-SE e NE-SW correspondendo a um conjunto de granitoides pouco deformados, variando entre foliados e isotrópicos, correspondendo ao Complexo Anauá com metatonalitos, metagranito e enclaves de máficas-ultramáficas.

Ainda no DUA tem-se o Granito Martins Pereira com idade de 1,97 Ga (U-Pb em zircão, método da evaporação, Almeida et al., 2002). Afloram também a Suíte Água Branca com os granitos Caroebe 1,9 Ga (U-Pb evaporação, Almeida 2006) e Igarapé Azul 1,89 Ga (U-Pb evaporação, Almeida 2006) com tantalita columbita aluvionar. Completam o cenário geológico, os granitos Mapuera 1,87 Ga, (Pb-Pb evaporação, Almeida 2006) e Moderna 1,82 Ga (U-Pb evaporação, Almeida 2006), ambos com ocorrências de ametistas.

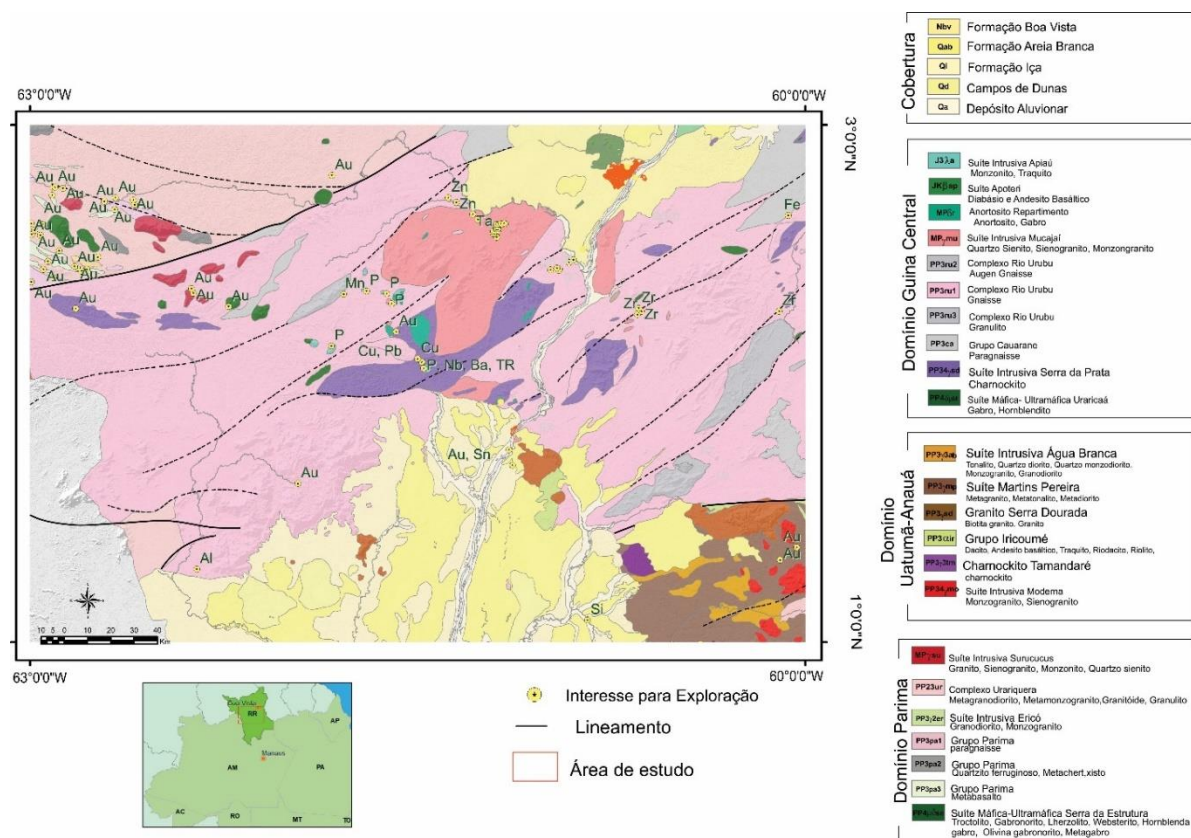


Figura 3 – Mapa geológico simplificado do projeto Geodiversidade do Estado de Roraima (CPRM, 2014), indicando a área de estudo no retângulo vermelho e perfil A-A' em linha preta.

2. Material

2.1 Dados Geofísicos

Os dados geofísicos utilizados nesse trabalho foram cedidos pelo Serviço Geológico do Brasil SGB/CPRM, na forma de arquivos digitais, provenientes dos projetos Parima-Uruquerá (CPRM, 2001), Anauá (CPRM, 2007a), Pitinga (CPRM, 2007b), Carará-Jatapu (CPRM, 2010a), Centro Sudeste de Roraima (CPRM, 2010b), Centro-Leste de Roraima (CPRM, 2011) e Catrimâni - Aracá (CPRM, 2012b)

representados na Figura 4. Dados são de aerolevantamentos com intervalos de 0,1 s (magnetômetro) e 1,0 s (gamaespectrômetro).

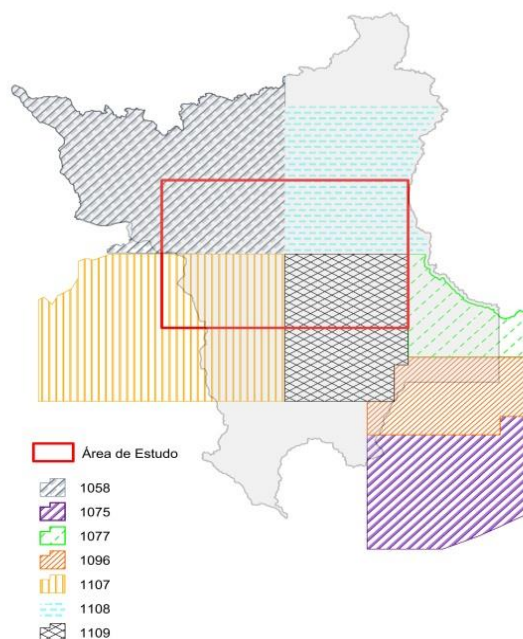


Figura 4– Aerolevantamentos Parima-Urariquera (1058/ano), Anauá (1077), Pitinga (1075), Carará-Jatapu (1096), Centro Sudeste de Roraima (1109), Centro-Leste de Roraima (1108) e Catrimâni - Aracá (1107).

Todos os aerolevantamentos da Figura 4 possuem a mesma configuração, sendo linha de aquisição na direção N-S espaçadas a cada 500 m, linhas de controle na direção E-W a cada 10 km e altura nominal 100 m.

2.2 Dados geológicos

A geologia utilizada como base para esse trabalho foi simplificada de Geodiversidade de Roraima (CPRM,2014) (Figura 3).

2.3 Dados geoquímicos

Parte da integração foi realizada com junção de dados geofísicos e geoquímicos, os quais permitiram criar mapas de favorabilidade. Os dados geoquímicos utilizados estão disponíveis na base de dados do Serviço Geológico do Brasil - GeoSGB.

Os dados geoquímicos utilizados no mapa de favorabilidade foram provenientes de amostras coletadas pela empresa Brasil Explore, contratada pela CPRM, em campanhas realizadas entre 2012 e 2014. As amostras de solo foram coletadas,

sempre que as condições de acesso assim permitiram, na forma de malha regular com intervalo de 5 km, enquanto as amostras de sedimentos de corrente representam áreas de influência com, no mínimo, 10 km². Na área de estudo, foram selecionadas 867 amostras de solo e 1230 amostras de sedimentos de corrente (Fig.5). Os elementos Fe, Ni, Sc, Ti e V foram então selecionados devido a sua afinidade com rochas máficas e ultramáficas.

O tratamento foi realizado segundo os parâmetros descritos em Tukey (1997). Os dados brutos foram log-normalizados e confeccionados gráficos *box-plot* para todos os elementos, cujas classes definiram a caracterização dos dados em faixas de background e anomalias e seus respectivos pesos na modelagem. Os mapas de solo foram gerados a partir de interpolação pelo IDW (*Inverse Distance Weighting*) e os mapas de sedimentos de corrente pela área das bacias hidrográficas representadas pelas amostras.

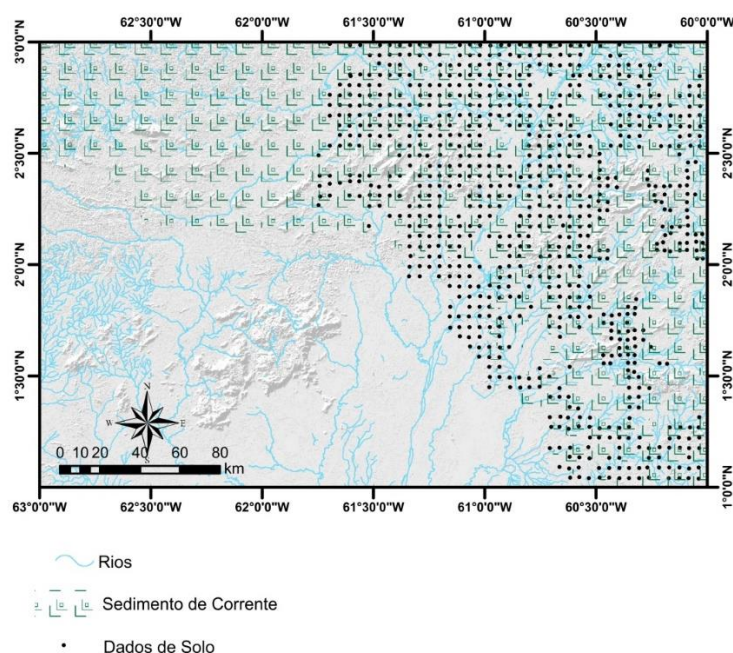


Figura 5 – Mapa da cobertura de dados geoquímicos na área de estudo indicando os 867 pontos de amostras de solo (símbolos pretos) e os 1230 amostras de sedimentos de corrente (símbolos verdes).

A geologia não foi utilizada como dado de entrada na modelagem, mas sim para aferir os resultados do modelo.

3. MÉTODOS

3.2 Gamaespectrometria

Pelo método gamaespectrométrico é possível medir a radiação emitida naturalmente das rochas e solos. Apesar de vários elementos emitirem radiação, nos levantamentos gamaespectrométricos são detectadas as desintegrações do isótopo de potássio (K-40), Bismuto (Bi-214) e Tório (Th-232), das respectivas séries de decaimento radioativo do potássio (K, %), tório (eTh, ppm) e urânio (eU, ppm).

A partir destes dados e do comportamento geoquímico destes elementos nas rochas e solos, é possível relacionar suas concentrações à geologia local.. A radiação detectada é limitada em aproximadamente 30 a 40 cm em subsuperfície, pela perda de energia do raio gama (Minty, 1988; Ulbrich et al., 2002; IAEA,1991; IAEA,2003).

Os mapas bases foram recortados nas dimensões da área de estudo e, em continuidade, corrigidas as concentrações negativas de K (%), eTh (ppm) e eU (ppm), relacionadas, provavelmente, a erros cumulativos durante as correções de rotina e a interpolação dos dados. Para eliminar os valores negativos foram adicionadas constantes aos dados de forma a resultar em valores mínimos iguais a 0,01 (Ulbrich et al. 2009).

Mapas bases de contagem total. (CT, $\mu\text{R/h}$), potássio (K, %) equivalente de tório (eTh, ppm) e equivalente de urânio (eU, ppm) foram interpolados. E a partir dos mapas bases, mapas transformados de razões, (eTh/K, eU/K, eU/eTh), índice máfico $IM=ASA/(K \cdot eU \cdot eTh)$ (Pires & Moraes, 2006), composições ternárias RGB/K-eTh-eU, CMY/K-eTh-eU e RGB simplificado, foram gerados.

Um mapa litogeofísico foi delineando, a partir da interpretação dos domínios gamaespectrométrico na imagem RGB simplificada (RGB-S) metodologia aplicada por Chiarini et al., (2013) e exemplificada por Oliveira et. al. (2015).

3.3 MAGNETOMETRIA

Levantamentos magnetométricos são realizados com objetivo de investigar a geologia identificando anomalias no campo magnético terrestre. Medidas magnéticas são compostas de três componentes de acordo a Equação 4, o campo magnético total. (CMT), campo magnético externo (IGRF- *International Geomagnetic Reference Field*) e campo magnético crustal ou anômalo (CMA), sendo o último de interesse para as interpretações.

$$CMA = CMT - IGRF \quad (4)$$

Onde CMT, campo magnético total;

CMA, campo magnético anômalo;

IGRF, modelo de previsão para variação do campo magnético total.

Após as reduções, domínios magnéticos e tendências estruturais-magnéticas foram traçadas a partir da combinação de produtos de realce, como o gradiente vertical Dz (nT/m) , gradiente horizontal total GHT (nT/m - Cordell & Grauch, 1985), inclinação do gradiente total IGHT(rad - Cooper & Cowan, 2006), amplitude do sinal analítico ASA(nT/m – Nabighian,1972; Roest et al.,1992) e inclinação do sinal analítico ISA (rad – Miller & Singh,1994).

Para se observar em subsuperfície, uma inversão dos dados magnéticos foi realizada neste trabalho na plataforma de inversão de dados potenciais VOXI do software Oasis Montaj (Geosoft), onde é criado um modelo discretizado em um espaço tridimensional ortogonal composto por células de tamanhos pré-definidos. Para cada célula é atribuído um valor de susceptibilidade magnética em uma determinada topografia.

Interações automáticas no algoritmo são realizadas a cada ajuste (função objetiva), onde o modelo tende a ser a aproximar da resposta do dado observado até atingir um erro já estabelecido pelo usuário.

3.4 FAVORABILIDADE

A previsão de uma área favorável é determinada pela integração de dados, por meio de diferentes técnicas em Sistemas de Informações Georreferenciadas (SIGs). Wright & Bonham-Carter (1996), Raines (1999), Venkataraman et al. (2000), Carranza & Hale (2001) e Harris et al. (2001).

Neste trabalho, a integração dos dados foi realizada a partir da extensão Spatial Data Modeller (SDM) do software ArcGIS, desenvolvida inicialmente por Don Sawatzky (United States Geological Survey - USGS), Gary L. Raines (USGS) e Graeme F. Bonham-Carter (Geological Survey of Canada - GSC).

A lógica *fuzzy* foi o algoritmo utilizado por tratar-se de uma área de *greenfield*, em estágio de reconhecimento regional. O algoritmo envolve uma ferramenta matemática sofisticada, que converte a probabilidade de uma determinada característica relacionada com os processos de interesse em espectros contínuos (Boham-Carter, 1995; Brown *et al.*, 2003).

Os modelos de áreas potenciais para mineralização Fe-Ti-V, foram obtidos a partir de dados geofísicos geoquímicos e geológicos disponíveis na área.

Como critérios geológicos, temos os anortositos de associações do tipo AMCG (Anortosito-Mangerito-Charnockito-Granito), complexos máficos estratificados, lentes de rochas ultramáficas (e.g. dunitos, harzburgitos) e corpos gabróicos e anortosíticos (Fig.3)

Sistema de mineralização Fe-Ti-V são caracterizados por apresentarem, baixas concentrações de sílica e de Fe e Mg, além de elementos como Cu, Co, Cr, Ni, Ti e V. Podem ser hospedeiros de depósitos importantes como, por exemplo, cromita, Ni-Cu-PGE e Fe-Ti-Va em complexos magmáticos estratificados, talco e magnesita em rochas ultramáficas, asbestos, Fe-Ti-V-P em anortositos de complexos AMCG, entre outros (Albers, 1986; Singer & Page, 1986; Naldrett *et al.*, 1987, Mosier *et al.*, 2012; Ziantek, 2012; Charlier *et al.*, 2014).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Dados geoquímicos

Os mapas de solo foram gerados por interpolação pelo método IDW (*inverse distance weighted*), enquanto os mapas de sedimentos de corrente mostram a distribuição dos elementos nas bacias hidrográficas. A classificação e atribuição dos valores de pertinência para Fe, Ni, Sc, Ti e V foram feitas de acordo com as classes dos gráficos *box-whiskers* dos dados log-normalizados para ambas as matrizes (Figura 7).

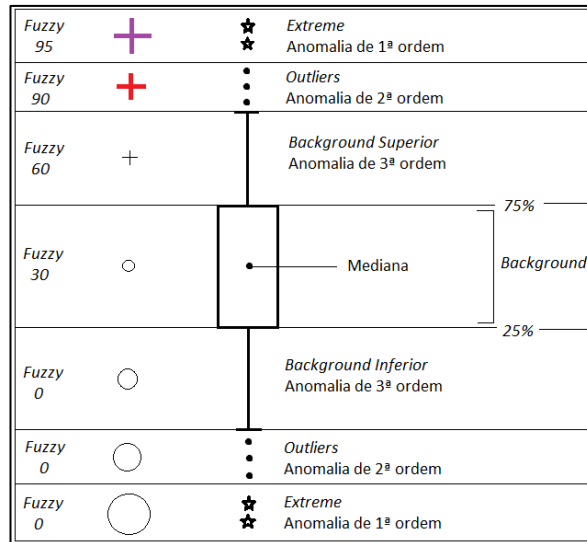


Figura 7 – Diagrama *box-whishers* para reclassificação de dados geoquímicos. Os dados são reclassificados para números inteiro no intervalo de 1 - 100 (Pitarello,2015).

Os resultados analíticos de Fe-Ti-V-Sc-Ni de ambos os conjuntos de dados foram reclassificados de acordo o diagrama *box-whishers plot* (AIQ) (Fig.7) os quais foram delimitados pelo 1º e 3º quartil dos dados (Q1 e Q3) :

$$\text{box-whishers plot} = \text{AIQ} = \text{Q3} - \text{Q1} \quad (5)$$

$$\text{whisker superior} = \text{Q3} + 1,5 \text{ AIQ} \quad (6).$$

$$\text{outliers extremos positivos} = \text{Q3} + 3,0 \text{ AIQ} \quad (7).$$

$$\text{whisker inferior} = \text{Q1} - 1,5 \text{ AIQ} \quad (8).$$

$$\text{outliers extremos negativos} = \text{Q1} - 3 \text{ AIQ} \quad (9).$$

As anomalias de primeira ordem representam os limites superiores externos ($\text{Q3} + 3[\text{Q3} - \text{Q1}]$) e as de segunda ordem representam os limites superiores internos ($\text{Q3} + 1,5[\text{Q3} - \text{Q1}]$).

A partir das classificações foram gerados interpolação das anomalias para cada elemento de sedimentos de corrente (Fig.8) e solo (Fig.9).

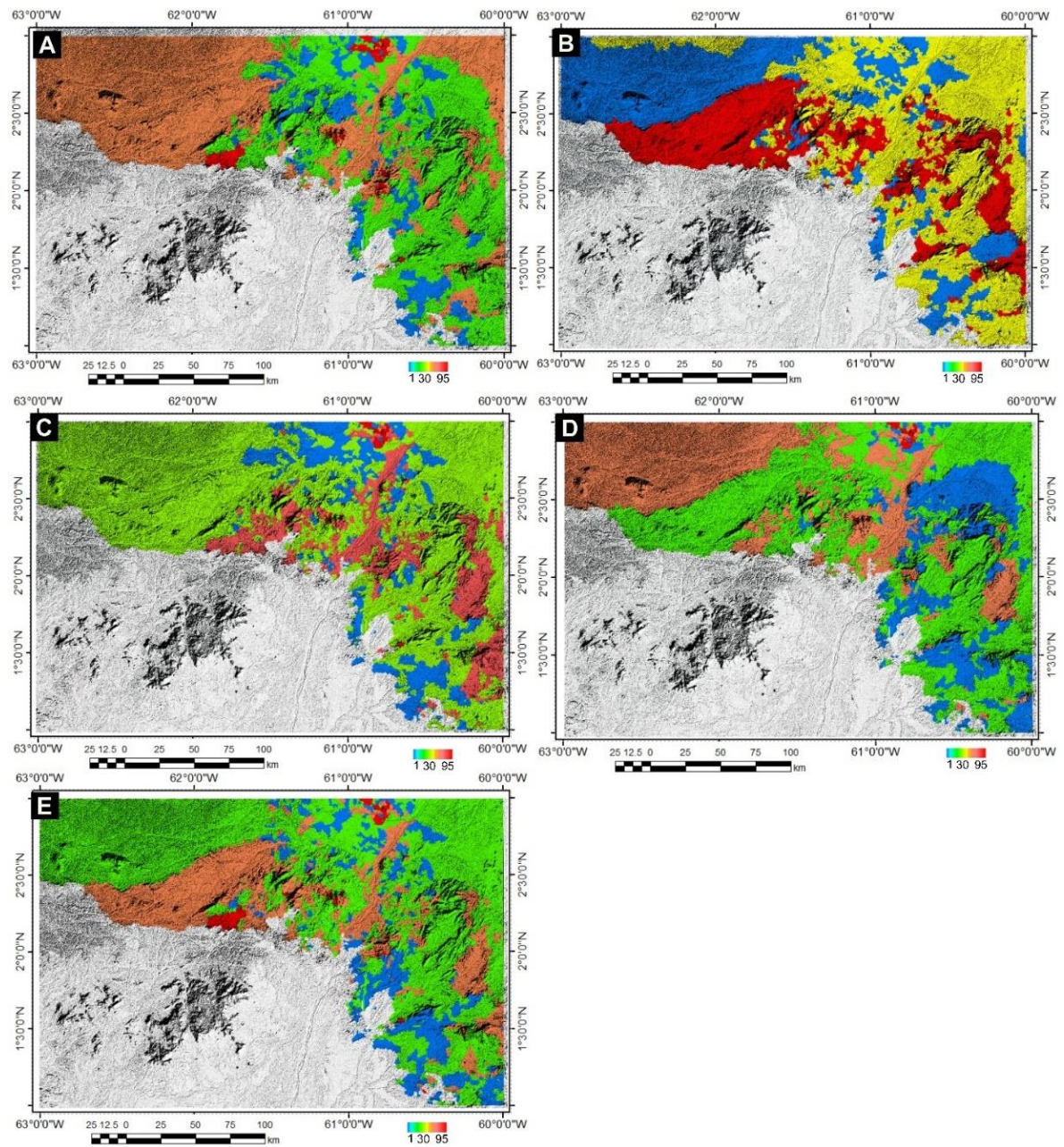


Figura 8 – Reclassificação das anomalias de sedimentos de corrente de V(A), Ti (B), Sc (C), Ni (D) e Fe (E).

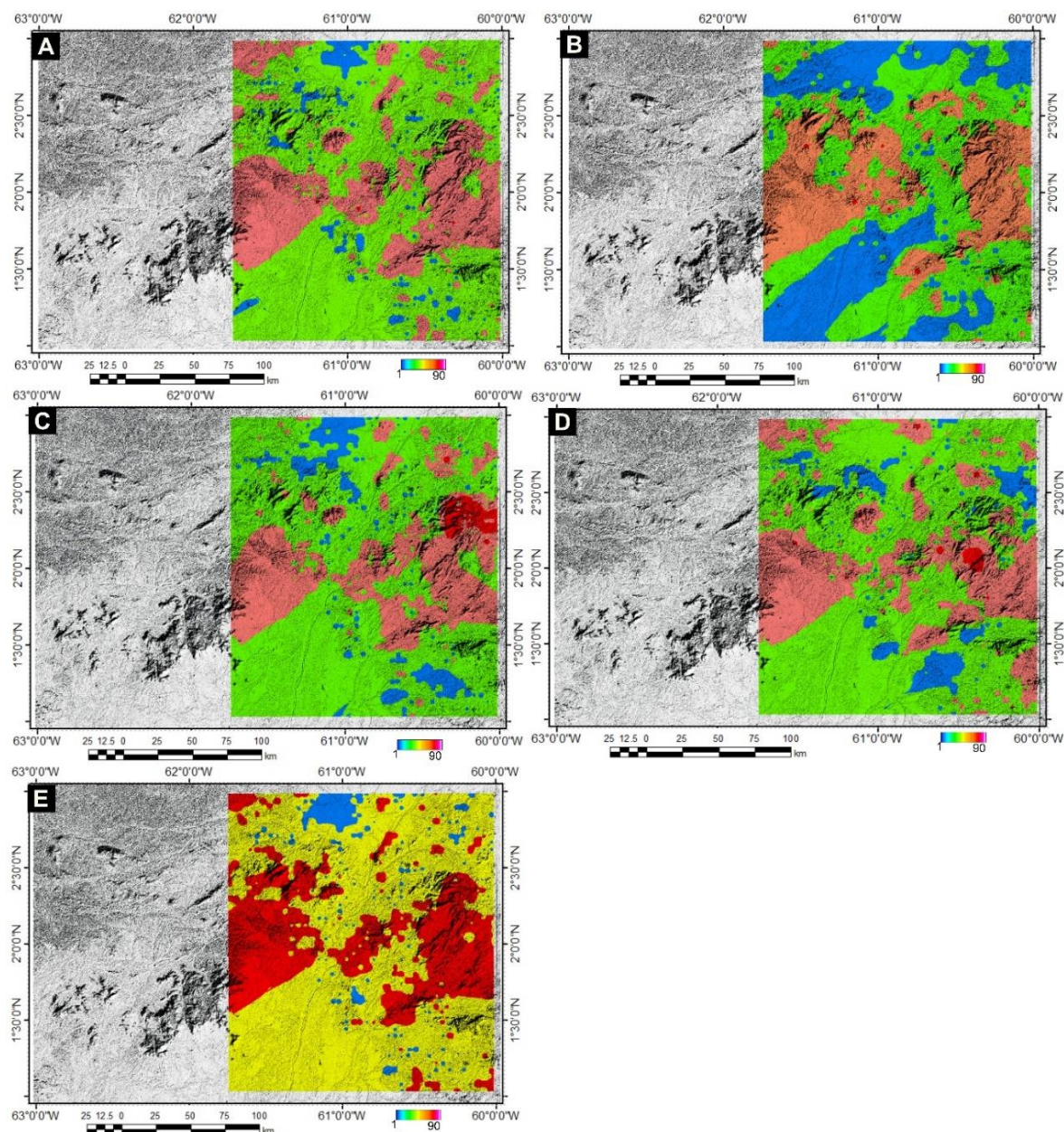


Figura 9 – Reclassificação das anomalias de solo de V(A), Ti (B), Sc (C), Ni (D) e Fe (E).

Observa-se que a distribuição espacial das anomalias de sedimentos de corrente e solos são distintas, portanto a intersecção das áreas limitará a resolução espacial final (Figuras 8, 9).

4.2 Dados geofísicos

Os dados magnéticos do gradiente horizontal total (GHT, Fig. 10A), da amplitude do sinal analítico (ASA, Fig.10B). Gamaespectrométricos da contagem total (CT, Fig.10F), da razão eTh/eU (Fig.10E) e da composição ternária R(K)-

G(eTh)-B(eU) interpretada (Fig.10D). Além e do índice máfico (IM, Fig.10C).Foram reclassificados para valores inteiros entre 1 e 10, conforme a Figura 11

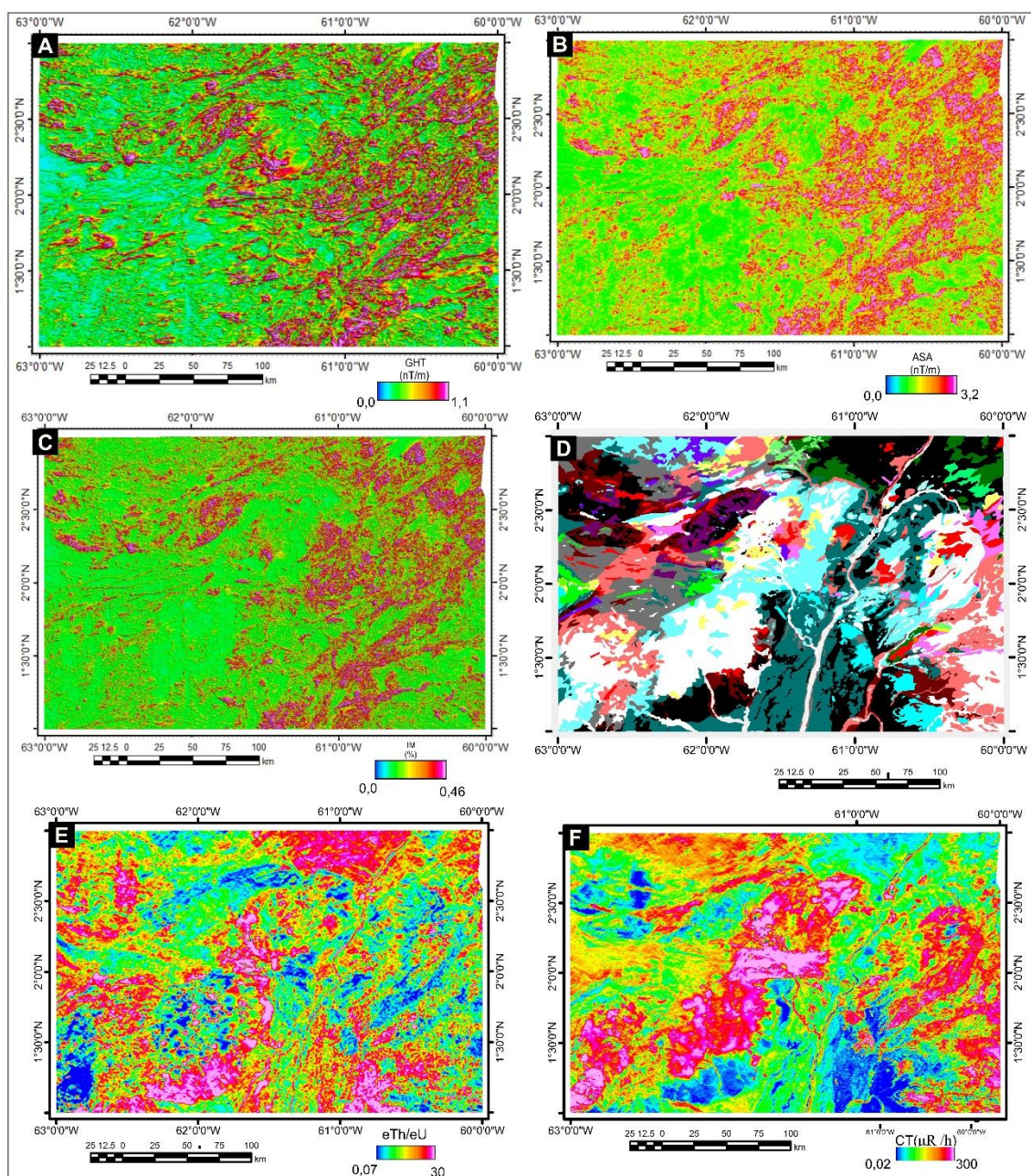


Figura 10 – Dados do GHT (A), ASA (B), IM (C), RGB, legenda na Tabela 3 (D), eTh/eU (E) e CT(F).

As assinaturas geofísicas de anortositos de associações do tipo AMCG, complexos máficos estratificados, lentes de rochas e corpos gabróicos estão associadas com intensidades médias a altas do GHT (Fig.11A) e da ASA (nT/m)

(Fig.11B), a elevados índices máficos (Fig. 11C), e baixos valores de CT (Fig. 11F) e RGB (Fig. 11D), e altos da razão eTh/eU (Fig. 11E).

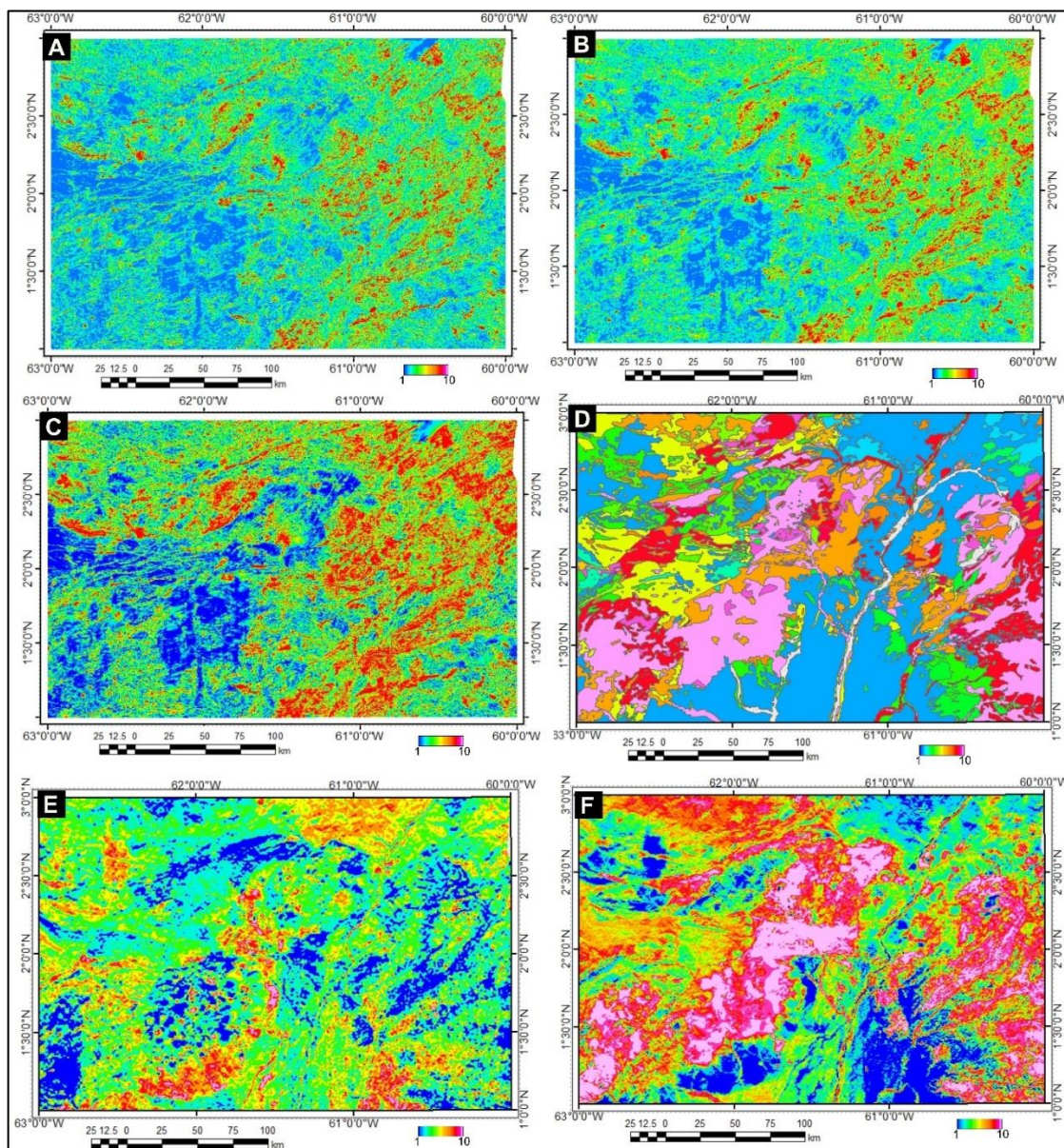


Figura 11 – Reclassificação dos dados do GHT (A), ASA (B), IM (C), RGB (D), eTh/eU (E) e CT(F).

A favorabilidade foi realizada a partir da extensão *Geostatistical Analyst*, *Spatial Analyst* e *Spatial Data Modeller* (SDM) (Sawatzki et al., 2009) onde características geoquímicas e geofísicas das associações Fe-Ti-V foram sobrepostas pelo algoritmo *fuzzy* e seus operadores (*and* e *gamma*), como representado pelo fluxograma da Figura 12.

No fluxograma da Figura 12 observa-se alguns produtos parciais, mapas de evidências dos dados geoquímicos, junção dos elementos de sedimentos de corrente (Fig.13A) e solos (Fig.13 B).

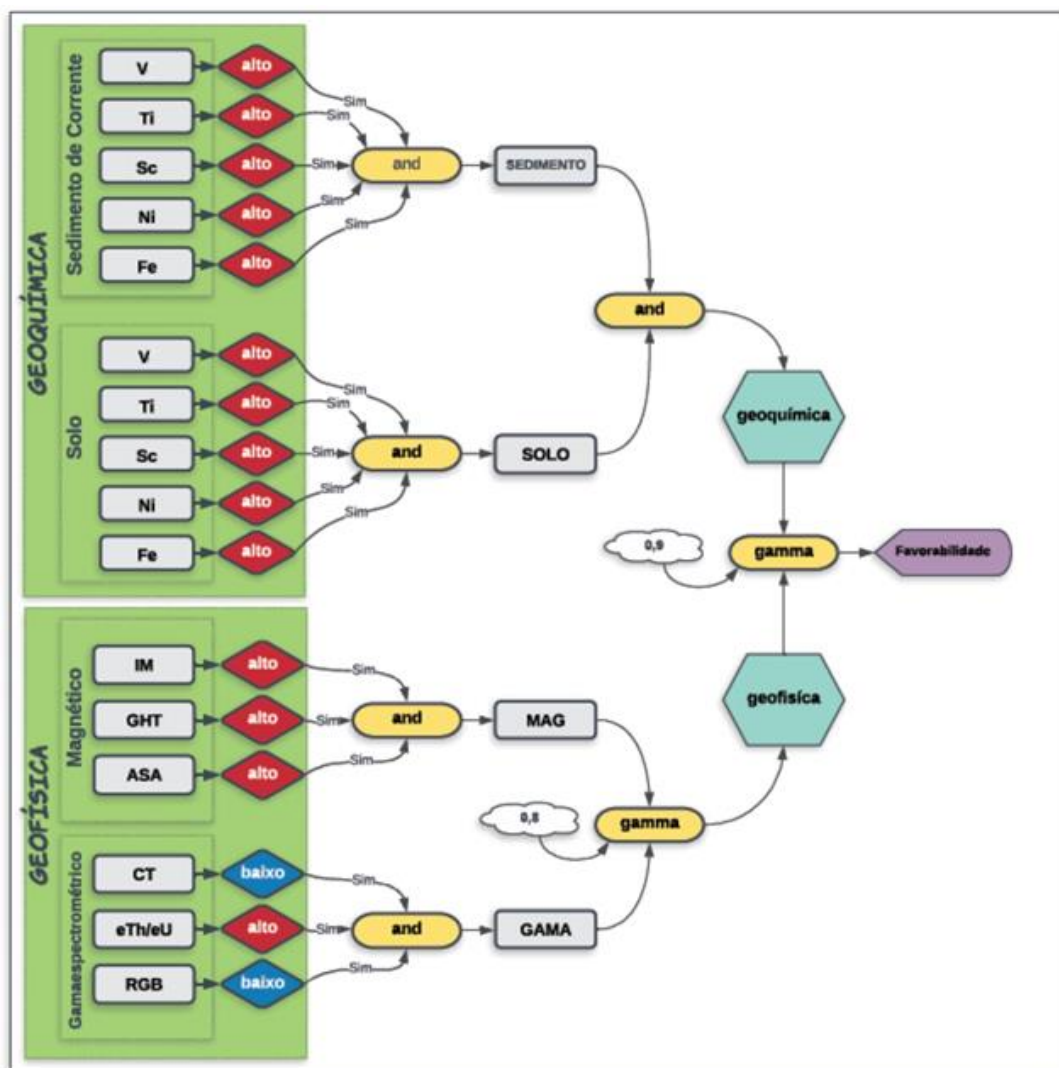


Figura 12 – Fluxograma do modelo de favorabilidade para associação de Fe-Ti-V, com assinaturas geoquímicas e geofísicas.

Resultados parciais para dados de sedimento de corrente foram obtidos com o operador "and" (Fig.13 A), destacando apenas regiões onde coexistem valores de V, Ti, Sc, Ni e Fe acima ou igual a 60, classificados como valores de "background superior" (Fig.7). O procedimento indicado para os dados de sedimentos de corrente foi replicado para os dados de solo e o resultado parcial é apresentado na Figura 13B.

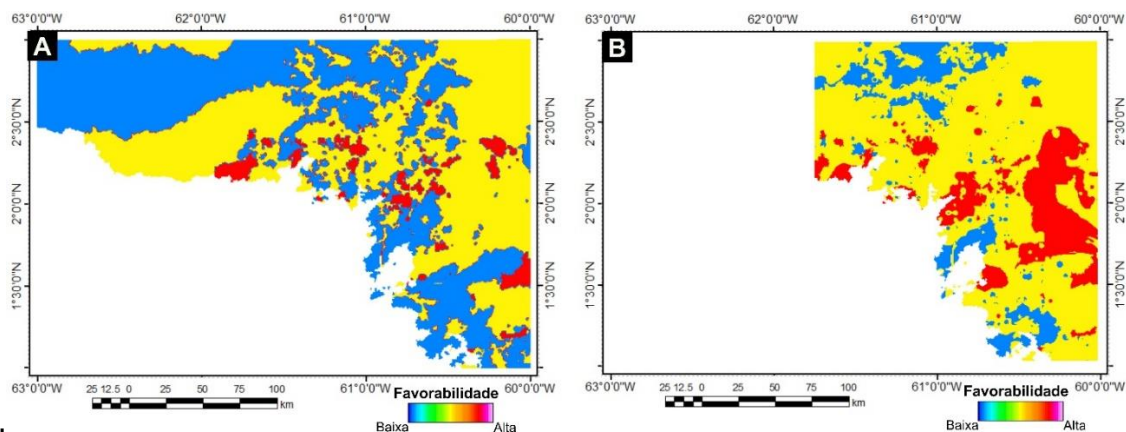


Figura 13 – Mapas de evidências dos dados de sedimento de corrente (A) e solos (B).

A integração geoquímica foi realizada com os dados de sedimentos de corrente (Fig.13 A) e solos (Fig.13 B) através do operador “and” destacando alta favorabilidade apenas quando coincidirem altos valores em ambas as imagens (Fig.14).

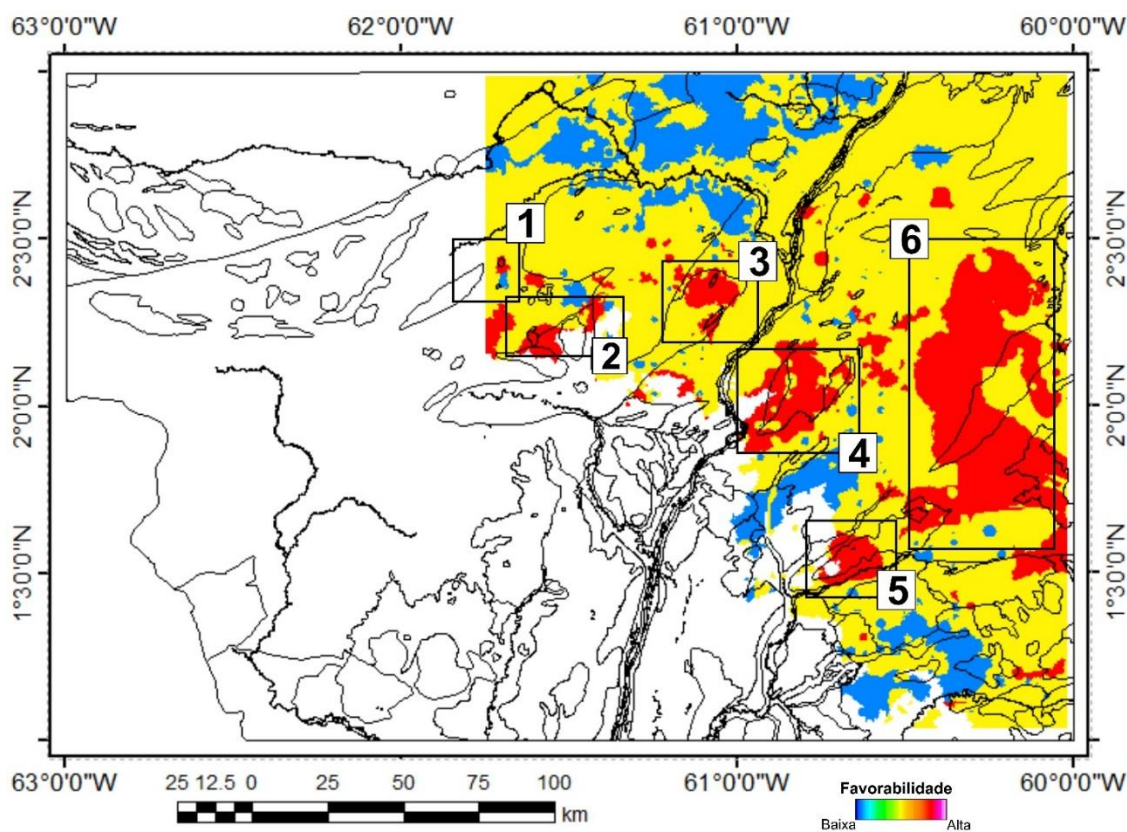


Figura 14 – Mapa de evidências geoquímicas (sedimentos de corrente e solos) indicando classificação de áreas favoráveis (1 à 6) para mapeamento da associação Fe-Ti-V. Em preto o contorno da geologia.

Relação de áreas favoráveis no mapa de evidência geoquímica (Fig.14), para associação Fe-Ti-V, com a geologia mapeada:

- 1, 2, 3 e 4** - Lentes mapeadas como gabro da unidade Repartimento (MP δ r) e charnockito de Suíte Intrusiva Serra da Prata (PP34 γ sp).
- 5** - Granulito da unidade Rio Urubu (PP3ru $_$).
- 6** – Ortognaisses da unidade Rio Urubu (PP3ru $_$).

No fluxograma da Figura 12 observa-se mapas de evidências com base em dados geofísicos (magnetométricos e gamaespectrométricos).

Assim, produtos parciais de integração de dados magnéticos (Fig.15 A) foram obtidos pelo operador “*and*”, onde através da coincidência de altos valores, acima de 8, na reclassificação das imagens GHT (Fig.11 A), ASA (Fig.11B) e IM (Fig.11C) são indicadas áreas de alta favorabilidade.

O mapa evidencial dos dados gamaespectrométricos (Fig.15B) foi realizado com operador “*and*”, destacando valores acima de 8 na imagem reclassificada de razão eTh/eU (Fig.11E) e valores abaixo de 3 na reclassificação, das imagens CT (Fig.11F) e RGB (Fig.11D).

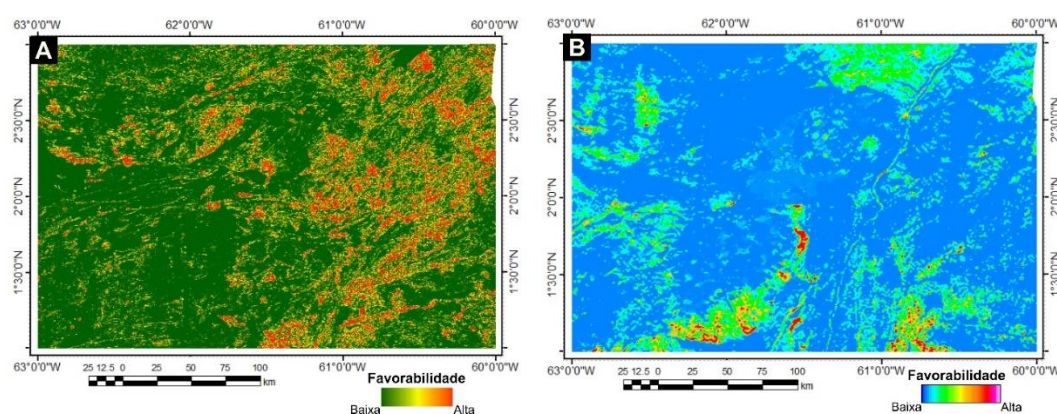


Figura 15 – Mapas de evidências dos dados magnéticos (A) e gamaespectrométricos (B).

O mapa evidencial geofísico com os dados magnéticos e gamaespectrométricos (Fig.16) sucedeu-se com o operador “*gamma*” de 0,8, o qual permitiu destacar corpos magnéticos, diminuindo a influência de diques e lineamentos magnéticos.

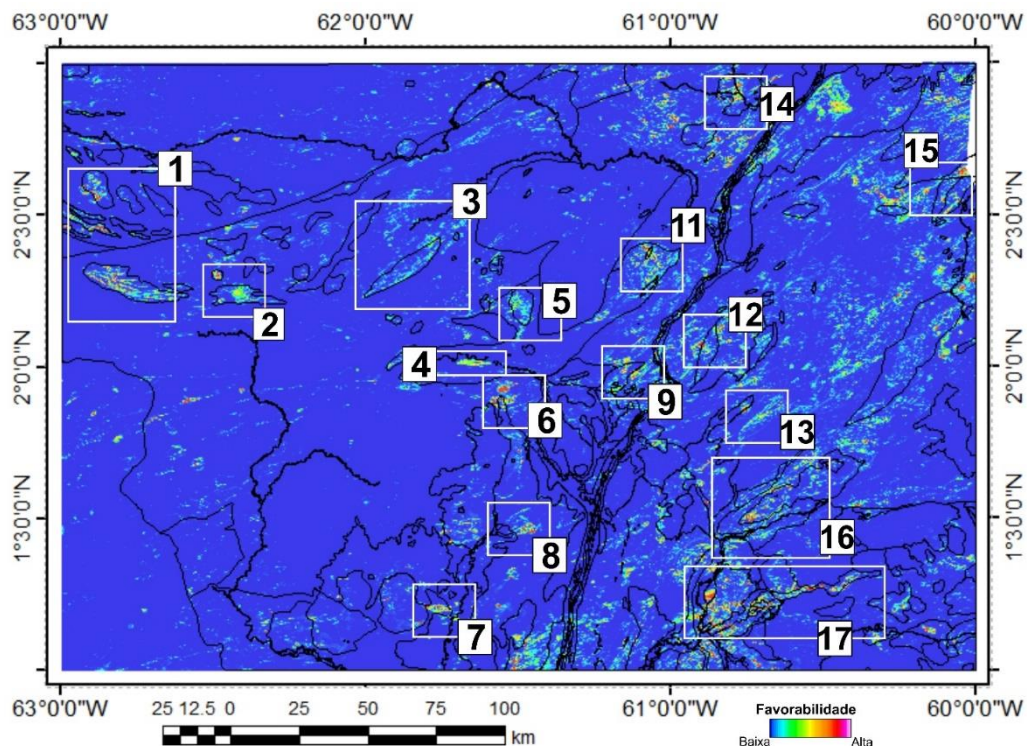


Figura 16 – Mapa evidencial geofísico (magnéticos e gamaespectrométricos) e a classificação de áreas favoráveis (1 à 17). Em contorno preto a geologia.

Relação de áreas favoráveis pela geofísica, com a geologia mapeada:

- 1 ,2,4, 9,11,12 e 15** - Se destacam lentes de charnockitos da suíte intrusiva Serra da Prata (PP34 γ sp).
- 3** - Região mapeada como suíte intrusiva Serra da Prata e conhecida pelas ocorrências de kimberlitos.
- 5** - Gabro e Anortosito Repartimento (componente de associação AMG).
- 6, 7,8 e 13**– Corpos magnéticos não mapeados.
- 14** - Diabásio da Formação Apoteri (JK β ap).
- 16** - Granulito da unidade Rio Urubu (PP3ru_).
- 17** - Região dos sistemas de falha nomeada de Itã.

A integração geoquímica e geofísica (Fig.17) sucedeu-se com o operador “*gamma*” de 0,9, o qual permitiu destacar áreas favoráveis com a classificação de alvos de acordo com o grau de favorabilidade, determinado tanto pela modelagem espacial quanto pela compatibilidade com ocorrências mapeadas.

Foram classificadas 5 áreas favoráveis para associação Fe-Ti-V:

- 1 e 2** – Se destacam sobre a localização da Suíte intrusiva Serra da Prata (PP34_{γsp}).
- 3** – Região central do corpo cartografado como granulito da unidade Rio Urubu (PP3ru_γ).
- 4 e 5** – Ocorrem em áreas cartografadas como Complexo Rio Urubu (PP3ru_γ) e Cauarane (PP3ca), podendo indicar presença de rochas máficas, não mapeadas.

Inversões individualizadas, utilizando o VOXI, nas áreas indicadas pela favorabilidade (Fig.17) foram realizadas, com objetivo de se estudar a reposta magnética em subsuperfície (Fig.17).

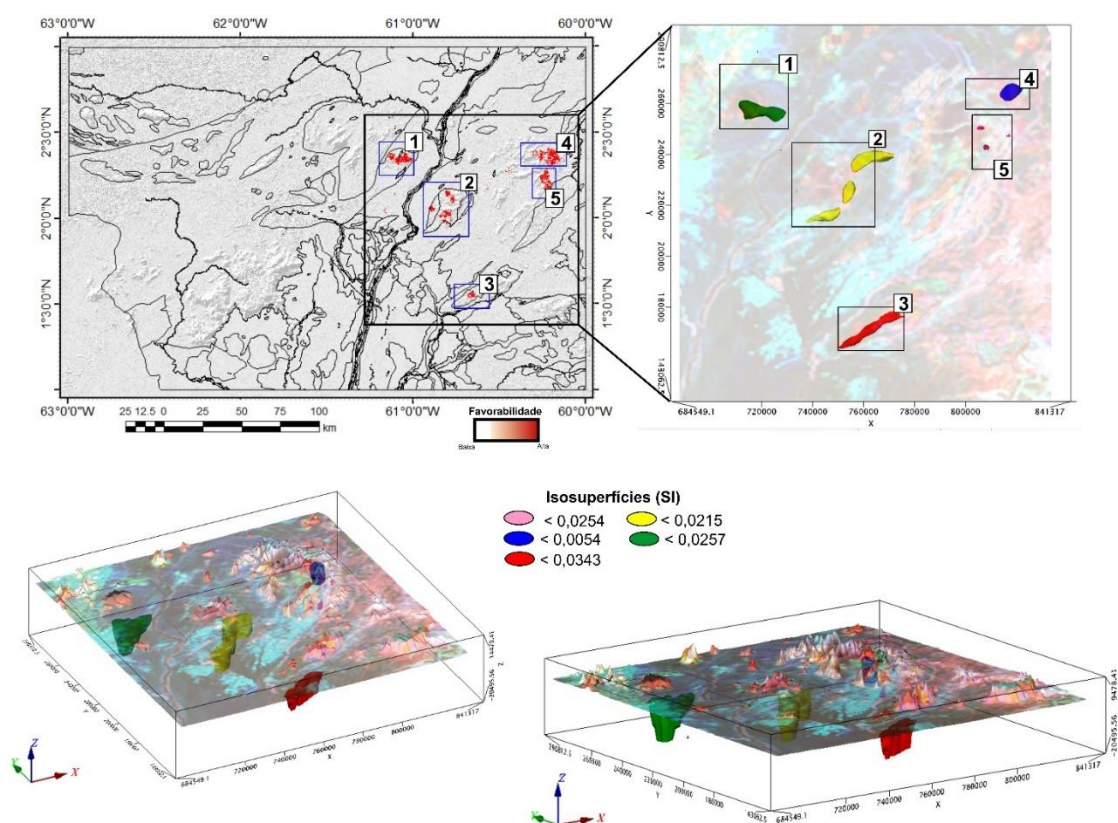


Figura 17 – Mapa de favorabilidade para a associação Fe-Ti-V e a classificação de áreas (1 a 5) com as susceptibilidades magnéticas.

Foi observado na Figura 17 que as áreas:

1, 2 e 5 – Apresentaram suscetibilidades semelhantes (1 - 0,0257SI, 2 - 0,0215SI e 5 - 0,0254SI). As áreas 1 e 2 foram cartografadas como Suíte Intrusiva Serra da Prata (PP34 γ sp) e a área 5 como Complexo Rio Urubu (PP3ru $_$). Como descrito anteriormente a favorabilidade na área 5 mostra indícios de um corpo máfico ainda não mapeado. Na área 1, o topo da isosuperfície está em torno de 170 m, com extensão de 20 km e espessura de 5 km. A área 2 está à aproximadamente 1,5 km do topo das três isosuperfícies individualizadas nas inversões. Na área 5, uma das três isosuperfícies é aflorante e possui em média diâmetro de 2 km.

3 – Região central do corpo cartografado como granulito da unidade Rio Urubu (PP3ru3), indica a maior susceptibilidade entre as 5 áreas favoráveis. A inversão resultou em uma isosuperfície de 30 km e espessura de 5 km, encaixado no sistema da falha Itã, onde seu topo encontra-se a 800m de profundidade.

4 – Ocorrem em áreas cartografadas como Grupo Cauarane (PP3ca) o que contribui para a resposta de rochas máficas. Apresenta o menor valor de susceptibilidade das 5 isosuperfícies, mas chama a atenção por se localizar na região do eixo da dobra da Serra da Lua. A isosuperfície tem como características ser aflorante, com diâmetro médio de 2 km.

5. Conclusões

Levando-se em consideração os mapas de favorabilidade gerados e as unidades cartografadas, o método com algoritmo da lógica *fuzzy* apresentou resultados satisfatórios para a análise regional, mas ressalta-se a necessidade de aferí-los, o que só será possível com verificações de campo.

O mapa de favorabilidade para a associação Fe-Ti-V foi classificado em 5 áreas, sendo que as áreas 1, 2 e talvez 5 são consideradas como as de mais alta prioridade, pois além de serem geradas a partir da sobreposição tanto de dados geoquímicos quanto de dados geofísicos estão localizadas em regiões cartografadas como Grupo Cauarane, Complexo Urariquera e Suíte Intrusiva Serra da Prata e possuem altos teores nos dados geoquímicos.

Agradecimentos

Ao corpo docente, técnico e administrativo do Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Paraná (UFPR), pela oportunidade da realização deste trabalho. À CPRM pela liberação parcial das atividades na empresa. Aos colegas do Laboratório de Geofísica Aplicada (LPGA), SUREG-Manaus e DISEGE pelas sugestões ao decorrer do trabalho. Francisco José Ferreira agradece ao CNP pela bolsa de produtividade na pesquisa (processo nº 305810/2010-3).

Referências

- AL.BUQUERQUE D. F, FRANÇA G. S., LUCAS, MOREIRA L. P, ASSUMPÇÃO M., BIANCHI M., BARROS L.V., QUISPE C.C, OLIVEIRA M.E., 2017. **Crustal structure of the Amazonian Craton and adjacent provinces.**, Journal. of South American Earth Sciences, Vol.79, pages 431-442. Brazil.
- ALMEIDA, M.E, MACAMBIRA, M.J.B., FARIA, M.S.G. DE, 2002. **A Granitogênese Paleoproterozóica do Sul de Roraima.** In: Congresso Brasileiro de Geologia, 41, Anais. Sociedade Brasileira de Geologia, p. 434.
- ALMEIDA, M.E. **Evolução geológica da porção centro-sul do Escudo Guianas com base no estudo geoquímico, geocronológico (evaporação de Pb e U-Pb ID-TIMS em zircão) e isótopo (Nd-Pb) dos granitoides paleoproterozóicos do sudeste de Roraima, Brasil.** 2006. 223 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 2006. Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica.
- AMARAL. G. 1974. **Geologia Pré-Cambriana da Região Amazonas.** São Paulo: USP, 212 p., Tese (Livro Docência) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- ANDERSON, J.L. 1983. **Proterozoic anorogenic granite plutonism of North America.** In: Medaris, L.G., Jr ; Byers, C.W.; Mickelson, D.M.; Shanks, W.C. (Eds.), *Proterozoic Geology: Selected Papers from an International. Proterozoic Symposium.* Geol. Soc. Am. Mem., 161: 133-154.
- BLAKELY, R. J., 1995. **Potential theory in gravity and magnetic applications.** Cambridge University Press, New York, 437p.
- CHIARINI, M. F. N. et al. **Proposição de Métodos de Representação e de Interpretações de Aerogamaespectrometria e Aeromagnetometria.** Brasília: CPRM, Relatório Interno, 29p, 2013.
- COOPER GRJ & COWAN DR. 2006. **Enhancing potential field data using filters based on the local phase.** *Computers & Geosciences*, 32(10):1585-1591.
- CORDANI, U. G; TASSINARI, C. G.; TEXEIRA, W.; BASEI, M. A. S.; KAWASHITA, K. 1979. **Evolução tectônica da Amazônia com base nos dados geocronológicos.** In: Congresso Geológico Chileno, 2, 1979, Arica. Anais (sn). 1979. p. 137-138.

CORDANI, U. G. & BRITO NEVES, B. B. - 1982 - **The Geologic Evolution of South America during the Archean and Early Proterozoic**. Revista Brasileira de Geociências, 12 (1-3): 78-88.

CORDANI, U.G., Teixeira, W. 2007. **Proterozoic accretionary belts in the Amazonian Craton**. Geol. Soc. Am. Memoir 200, 297–320

CORDELL L & GRAUNCH VJS. 1985. **Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan Basin, New Mexico**. In: HINZE WJ (ed). The Utility of Regional Gravity and Magnetic Anomalies Maps. Society of Exploration Geophysicists, p.181-197.

COSTA, J. B. S.; HASUI, Y.; BORGES, M. S.; BEMERGUY, R. L. **Arcabouço tectônico mesozóico-cenozóico da região da calha do Amazonas**. Geociências (UNESP), 14, n. 2, p. 77-83, 1997.

CPRM. 2000. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Caracará, Folhas NA.20-Z-B e NA.20-Z-D, NA.20-Z-A, NA.21-Y-A, NA.20-Z-C e NA.21-Y-C**. Escala 1:500.000. Estado de Roraima. Manaus, CPRM, 157 p. (em CD-ROM).

CPRM, 2001. **Projeto Aerogeofísico Parima Uraricoera: relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos**. Manaus: Lasa Prospecções, 15 v. Programa Geologia do Brasil (PGB).

CPRM, 2003. **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas & SIG**. Brasília, CPRM, 673 p.

CPRM, 2007a. **Projeto Aerogeofísico Anauá: relatório final. do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos**. Manaus: Lasa Prospecções, 15 v. Programa Geologia do Brasil(PGB).

CPRM, 2007b. **Projeto Aerogeofísico Pitinga: relatório final. do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos**. Manaus: Lasa Prospecções, 15 v. Programa Geologia do Brasil(PGB).

CPRM, 2010a. **Projeto Aerogeofísico Carará - Jatapu: relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos**. Manaus: Lasa Prospecções, 15 v. Programa Geologia do Brasil (PGB).

CPRM, 2010b. **Projeto Aerogeofísico Sudeste de Roraima: relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos**. Manaus: Lasa Prospecções, 15 v. Programa Geologia do Brasil (PGB).

CPRM, 2011. **Projeto Aerogeofísico Centro Leste de Roraima: relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos**. Manaus: Lasa Prospecções, 15 v. Programa Geologia do Brasil(PGB).

CPRM, 2012. **Projeto Aerogeofísico Catrinania-Araça: relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos.** Manaus: Lasa Prospecções, 15 v. Programa Geologia do Brasil(PGB).

CPRM,2014. **Geodiversidade do estado de Roraima.** Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade Manaus, 212 p.

DICKSON, B. L.; SCOTT, K. M.,1997, **Interpretation of aerial gamma-ray surveys - adding the geochemical factors.** AGSO Journal. of Australia Geology and Geophysics, v. 17, n. 2, p. 187-200.

EFIMOV A.V. 1978. **Multiplikativniyi pokazatel dlja vydelenija endogennykh rud aerogammaspeçymetricheskim dannym.**In: **Metody rudnoj geofiziki, Leningrado,Naucnoproizvodstvennojc objedinenie geophysical.** Ed.,59-68.

ENVI, 2000. **ENVI User's Guide. Research Systems Inc.,** Boulder, Colorado, 930 p

FRAGA, L.M.B.; AL.MEIDA, M.E.; MACAMBIRA, M.J.B. 1997a. **First lead-lead zircon ages of charnockitic rocks from Central. Guiana Belt (CGB) in the state of Roraima, Brazil.** In: South-American Symposium on Isotopo e Geology, Campos do Jordão. Resumos. Campos do Jordão, São Paulo, p. 115-117.

FRAGA, L.M.B.; ARAÚJO, R.V. de; DUARTE, B.P. 1997b. **Igneous charnockitic rocks of the Kanuku Complex and Serra da Prata Suite in the Central. Guiana Belt (CGB), Roraima State, Brazil.** In: International. Symposium on Granites and Associated Rocks (ISGAM), 2, Salvador. Resumos. Salvador, 3p.

FRAGA, L.M.B.; DAL.L'AGNOL, ROBERTO; COSTA, JOÃO BATISTA SENA .2000. **The first complete AMCG Association of the Amazon Craton - Coeval. Anorthosite, mangerites, Charnockites and rapakivi Granites in Roraima - Guyana Shield.** In: International. Geological. Congress 31, 2000, Rio de janeiro. Abstracts.

FRAGA, L.M.B. 2002. **A associação anortosito-mangerito-granito rapakivi (AMG) do Cinturão Guiana Central, Roraima, e suas encaixantes paleoproterozóicas: evolução estrutural, geocronologia e petrologia.** Tese de Doutorado, UFPA, Belém.

FRAGA, L.M.B.; DREHER, A. M.; GRAZZIOTIN, H. Orosirian,2008.**A- and I-type acid volcanism in the Guyana Shield, northern Amazonian Craton.** In: International. Geological Congress, 33, 2008, Oslo, Norway. Abstract, [CD-ROM], 2008.

FRAGA, L.M.B.; MACAMBIRA, M. J. B.; DAL'L'AGNOL, R.; COSTA, J. B. S. **1.94-1.93 Ga charnockitic magmatism from the central part of the Guyana Shield, Roraima, Brazil: Single-zircon evaporation data and tectonic implications.** Journal of South American Earth Sciences, v. 27, p. 247-257, 2009.

FRAGA, L.M.B.; REIS, N.J.; AGNOL, R.D.; 2017. **CAUARANE - COEROENI BELT—THE MAIN TECTONIC FEATURE OF THE CENTRAL. GUYANA SHIELD, NORTHERN AMAZONIAN CRATON**. In: XI Simpósio de Geologia da Amazônia, 2 a 5 de agosto de 2009, Manaus - AM

GEOSOFT INC., 2009. **Filtragem montaj MAGMAP. Processamento de dados de campos potenciais no domínio da frequência. Extensão para o Oasis Montaj**, v. 7.1. Tutorial e guia do usuário. Toronto, ON Canadá.

GEOSOFT INC., 2010. **Filtragem montaj MAGMAP. Processamento de dados de campos potenciais no domínio da frequência. Extensão para o Oasis Montaj**, v. 7.1. Tutorial e guia do usuário. Toronto, ON Canadá, 77p.

HAMZA, V. M; CARDOSO, R. R.; PONTE NETO, C. F. **Spherical harmonic analysis of earth's conductive heat flow.** International Journal of Earth Sciences, 2008. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00531-007-0254-3#page-1>>. Acesso em: 15 mar. 2013.

HASUI, Y.; HARALYI, N. L.; SCHOBENHAUS, C .1984. **Elementos geofísicos e geológicos da região Amazônia: subsídios para o modelo geotectônico. Simposium Amazônico, 2, Manaus, 1984.** Anais. Manaus, DNPM/MME, p.129-147.

IAEA. 1991. **Airborne gamma ray spectrometer surveying.** Technical. Reports Series nº 323. Vienna: Intern. Atomic Energy Agency.

IAEA. 2003. **Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data.** Vienna: Intern. Atomic Energy Agency. 179 p.

ISLES D. J. AND RANKIN L. R., 2013. **Geological interpretation of aeromagnetic data.** Australian Society of Exploration Geophysicists, Australia. 365 p.

LIMA, M.I.C.; OLIVEIRA, E.P.; TASSINARI, C.C.G. 1982. **Cinturões granulíticos da porção setentrional. do Craton Amazônico.** In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 1, Belém. Anais, SBG-NO, v.1, p. 147-162.

MACLEOD, I. N.; VIEIRA, S.; CHAVES, A. C. **Analytic signal. and reduction to the pole in the interpretation of total. magnetic field data at low magnetic latitudes.** 3rd International. Congress of the Brazilian Geophysical. Society, 1993.

MENEZES LEAL., A.B.; GIRARDI, V.A.V.; BASTOS LEAL., L.R. **Petrologia e Geoquímica do Magmatismo Básico Mesozóico da Suíte Básica Apoteri, Estado de Roraima, Brasil.** Geochemical. Brasiliensis, v.14, n.2, 2000. pp.155-174.

MINTY, B R. S. **A review of airborne gamma-ray spectrometric data-processing techniques.** Canberra: Australian Government Publishing Service, 1988. 48 p.

MINTY, B. R. S., 1991. **Simple micro-levelling for aeromagnetic data.** Exploration Geophysics, 22: 591-592.

MILLER HG & 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 MN. 1972. **The analytic signal of twodimensional magnetic bodies with polygonal crossection: Its properties and use for automated anomaly interpretation.** Geophysics, 37(3): 507-517.

NABIGHIAN, M. N., and Macnae, J. C., 1991, **Time domain electromagnetic prospecting methods, in Nabighian, M. N., Ed., Electromagnetic methods in applied geophysics, Vol II, Part A: Soc. Expl. Geophys, 427-509**

NABIGHIAN M. N., ANDER M.E., GRAUCH V. J.S., HANSEN R.O., LAFEHR T.R., LI Y., PEARSON W.C., PEIRCE J.W., PHILLIPS J.D. , RUDER M. E., 2005. **Historical development of the magnetic method in exploration, Geophysics.**

OLIVEIRA, V. *et al.*. 2015. **Geophysical-Geological Integration Map the of Boa Vista Grid (NA.20-X-D), Central Portion of Roraima state, Brazil.** 14th International. Congress of the Brazilian Geophysical Society & EXPOGEF, Rio de Janeiro, Brazil, 3-6 August 2015: 278-283.

PIRES, A. C. B. **Identificação geofísica de áreas de alteração hidrotermal, Crixás-Guarinos, Goiás. Revista Brasileira de Geociências,** v.1, n.25, p. 61-68, mar. 1995.

PIRES A.C.B. & MORAES R.A.V. 2006. **New processing technologies applied do airborne geophysical data: impact on interpretation.** In: 2º Simpósio Brasileiro de Exploração Mineral, SIMEXMIN, 2006, Ouro Preto, MG.

REID, A. B., ALLSOP, J.M., GRANSER, H., MILLETT, A.J., SOMERTON, I.W., 1990. **Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution.** Geophysics, 55: 80-91.

REIS, N. J.; FRAGA, L. M.; FARIA, M. S. G.; ALMEIDA, M. E. **Geologia do Estado de Roraima, Brasil.** In: Geology of France and Surrounding Areas - Special. Guiana Shield, n. 2-3-4, p. 121-134, 2003.

REIS, N. J.; ALMEIDA, M. E.; RIKER, S. R. L.; FERREIRA, A.L. **Geologia e Recursos minerais do Estado do Amazonas**. Manaus, CPRM, 2006 (Convênio CPRM/CIAMA). 125 p., il. Escala 1:1.000.000

REIS, N.J.; NADEAU, S.; FRAGA, L. M.; BETIOLLO, L. M.; FARACO, M.T. L.; REECE, J.; LACHHMAN, D.; AULT, R.; 2017. **Stratigraphy of the Roraima Supergroup along the Brazil-Guyana border in the Guiana shield, Northern Amazonian Craton - results of the Brazil-Guyana Geology and Geodiversity Mapping Project**. Brazilian Journal. of Geology, 47(1), 43-57

ROEST WR, VERHOEF J & PILKINGTON M. 1992. **Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal**, *Geophysics*, 57(1):116-125.

SANTOS, J.O.S.; REIS, N.J.; HARTMAN, L.A.; MCNAUGHTON, N.J.; FLETCHER, I.R. 1999. **Associação Anortosito-Charnockito-Granito Rapakivi no Calimiano do Norte do Cráton Amazônico, Estado de Roraima: Evidências Obtidas por Geocronologia U-Pb (SHRIMP) em zircão e baddeleyíta**. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 6, Manaus. Anais... Manaus: SBG, Núcleo Norte, p. 503-506.

SANTOS, J.O.S.; HARTMANN L. A.; GAUDETTE, H. E.; GROVES, D. I.; MCNAUGHTON, N. J.; FLETCHER, I. R. 2000. **A new understanding of the provinces of the Amazon Craton based on Integration of Field Mapping and U-Pb and Sm-Nd Geochronology**. *Gondwana Research*, 3 (4):453-488.

SANTOS, J.O.S.; POTTER, P.E.; REIS, N.R.; HARTMANN, L.A.; FLETCHER, I.R.; MCNAUGHTON, N. J. 2003. **Age, source, and regional stratigraphy of the Roraima Supergroup and Roraima-like outliers in northern South America based on U-Pb geochronology**. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 115(3):331-348.

SANTOS, J.O.S. DOS; HARTMANN, L.A.; FARIA, M.S.G. DE; RIKER, S.R.L.; SOUZA, M.M. DE; ALMEIDA, M.E.; MCNAUGHTON, N.J. 2006. **A Compartimentação do Cráton Amazonas em Províncias: Avanços ocorridos no período 2000-2006**. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 9, Belém, anais, SBG. (CD-ROM).

SHEARER, S. E.; 2005. **Three-dimensional inversion of magnetic data in presence of remanent magnetization**. 2005. 148 f. Dissertação de Mestrado em Geofísica – Departamento de Geofísica do Center for Gravity, Electrical and Magnetic Studies, Colorado School of Mines.

SPECTOR, A. & GRANT, F.S. 1970. **Statistical models for interpreting aeromagnetic data** *Geophysics*, 35(2):293-302.

TASSINARI, C. G. C.; MACAMBIRA, M.J.B. 1999. **Geochronological Provinces of the Amazonian Cráton. Episodes**, 22(3):174-182.

TASSINARI, C.C.G.; MUNHÁ, J.M.V.; TEIXEIRA, W.; PALÁCIO, T.; NUTMAN, A.P.; SOUSA, C.S.; SANTOS, A.P.; CALADO, B.O. 2004. **The Imataca Complex, NW Amazonian Craton, Venezuela: crustal evolution and integration of geochronological and petrological cooling histories**. *Episodes*, 27: 3-12.

TEIXEIRA, W., TASSINARI, C.C.G., CORDANI, U.G. & KAWASHITA, K. 1986. **A review of the geochronology of the Amazonian Craton: tectonic implications**. *Precambrian Research*, 42: 213 – 227.

TELFORD, W. M., Geldart, L. P. & Sheriff, R. E., 1990. **Applied Geophysics** - Second Edition. Cambridge University Press, Cambridge, 784 p.

THOMPSON DT. 1982. EULDPH: **A new technique for making computer assisted depth estimates from magnetic data**. Geophysics, 47(1): 31–37.

TUKEY, J.W. (1977) **Exploratory Data Analysis**, Reading, MA: Addison Wesley.

ULBRICH ,H.H.G.J; VLACH, S.R.F.; ULBRICH, M.N.C; KAWASHITA, K. 2002. **Penecontemporaneous syenitic-phonolitic and basic-ultrabasic-carbonatitic rocks at the Poços de Caldas alkaline massif, SE Brazil:geologic and geochronologic evidence**. Rev. Bras. Geoc.,32(1):15-26

VERDUZCO B, FAIRHEAD JD, GREEN CM & Mackenzie C. 2004. **New insights into magnetic derivatives for structural mapping**. The Leading Edge, 23(2): 116-119.

WILLIAMS, N.C., 2006. **Applying UBC-GIF potential. field inversions in Greenfields or Brownfields exploration**. Artigo apresentado durante o AESC2006, Melbourne, Austrália, 10 p.

ZHANG, Y.; XIONG, S.; TIANYOU C. **Application of airborne gamma-ray spectrometry to geoscience in China**. Department of Applied Geophysics, the China University of Geosciences, Xue Yuan Lu, v. 49, n. 1-2, mar. 1997.

ZIENTEK, M.L., 2012, **Magmatic ore deposits in layered intrusions—Descriptive model for reef-type PGE and contact-type Cu-Ni-PGE deposits**: U.S. Geological. Survey Open-File Report 2012–1010, 48 p.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

Devido à área de estudo estar inserida em contexto amazônico, as interpretações por métodos indiretos de aerogamaespectrometria e aeromagnetometria, possibilitaram a confirmação e complementação de reconhecidas feições geológicas regionais, bem como a indicação e extensão de novas unidades.

Foram confeccionados os mapas litogeofísico e de interpretação de superfície, os quais indicaram assinaturas gamaespectrométricas distintas para a Formação Boa

Vista (Nbv,111), coberturas indiscriminadas (122) , Suíte Serra da Prata (PP34γsp, 311, 313, 322 e 323), Formação Apoteri (JK1βap,311), Grupo Cauarane (PP3ca,121, 131, 132, 231 e 232), Complexo Urariquera (PP23ur,122 e 222) e Complexo Rio Urubu (PP3ru_,133, 233, 331, 332 e 333).

Em subsuperfície foram interpretados seis domínios magnetométricos para o estado de Roraima. Quando comparados os limites dos domínios tectonoestratigráficos, observa-se que DGC está disposto em quatro domínios magnéticos dos seis interpretados e apenas o domínio seis está integralmente no DGC.

Com a finalidade de observar a profundidade das tendências lineares, principalmente as que delimitam os domínios, realizou-se a técnica do espectro de potência, o qual indicou as profundidades rasa (até 1 km), intermediária (1 até 12 km) e profundas (12 até 40 km), onde limites dos domínios prevaleceu nos três intervalos.

Levando-se em consideração os mapas de favorabilidade gerados e as unidades cartografadas, o método com algoritmo da lógica *fuzzy* apresentou resultados satisfatórios para a análise regional, mas ressalta-se a necessidade de aferir a metodologia, o que só será possível com checagem das anomalias citadas no texto.

O mapa de favorabilidade para associação Fe-Ti-V foi classificado em 5 áreas, sendo que as áreas 1, 2 e talvez 5 são consideradas como as de mais alta prioridade, pois além de serem geradas a partir da sobreposição tanto de dados geoquímicos quanto de dados geofísicos estão localizadas em regiões cartografadas como Grupo Cauarane, Complexo Urariquera e Suíte Intrusiva Serra da Prata e possuem altos teores na geoquímica. Como sugestões gerais para a continuidade do trabalho, sugerem-se:

- Realização de etapas de campo para checagem de alvos e validação do método *fuzzy*;
- Adensamento da malha de dados geoquímicos, coleta de novas amostras em áreas ainda não amostradas ou de maior interesse mineral;
- Levantamentos terrestres de métodos geofísicos para detalhamento das áreas favoráveis;

REFERÊNCIAS

AL.BERS, J.P., 1986. Descriptive **model of podiform chromite**, in Cox, D.P., and Singer, D.A., eds., **Mineral deposit models**: U.S. Geological Survey Bulletin 1693, p.34

AL.BUQUERQUE D. F, FRANÇA G. S., LUCAS, MOREIRA L. P, ASSUMPÇÃO M., BIANCHI M., BARROS L.V., QUISPE C.C, OLIVEIRA M.E., 2017. **Crustal structure of the Amazonian Craton and adjacent provinces**., Journal. of South American Earth Sciences, Vol.79, pages 431-442. Brazil.

AL.MEIDA, M.E, MACAMBIRA, M.J.B., FARIA, M.S.G. DE, 2002. **A Granitogênese Paleoproterozóica do Sul de Roraima**. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 41, Anais. Sociedade Brasileira de Geologia, p. 434.

AL.MEIDA, MARCELO ESTEVES. **Evolução geológica da porção centro-sul do Escudo Guianas com base no estudo geoquímico, geocronológico (evaporação de Pb e U-Pb ID-TIMS em zircão) e isótopo (Nd-Pb) dos granitoides paleoproterozóicos do sudeste de Roraima, Brasil**. 2006. 223 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 2006. Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica.

AMARAL., G. 1974. **Geologia Pré-Cambriana da Região Amazonas**. São Paulo: USP, 212 p., Tese (Livro Docência) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

ANDERSON, J.L. 1983. **Proterozoic anorogenic granite plutonism of North America**. In: Medaris, L.G., Jr ; Byers, C.W.; Mickelson, D.M.; Shanks, W.C. (Eds.), **Proterozoic Geology: Selected Papers from an International Proterozoic Symposium**. Geol. Soc. Am. Mem., 161: 133-154.

AN P, MOON WM & RENCZ A. 1991. **Application of fuzzy set theory to integrated mineral exploration**. Canadian Journal of Exploration Geophysics, 27(1): 1-11.

BLAKELY, R. J., 1995. **Potential theory in gravity and magnetic applications**. Cambridge University Press, New York, 437p.

CARRANZA E. J., HALE M. 2001. **Geologically constrained fuzzy mapping of gold mineralization potential, Baguio district, Philippines**. Natural Resources Research, 10(2): 125-136.

COOPER GRJ & COWAN DR. 2006. **Enhancing potential field data using filters based on the local phase**. Computers & Geosciences, 32(10):1585-1591.

CORDANI, U. G; TASSINARI, C. G.; TEXEIRA, W.; BASEI, M. A. S.; KAWASHITA, K. 1979. **Evolução tectônica da Amazônia com base nos dados geocronológicos**. In: Congresso Geológico Chileno, 2, 1979, Arica. Anais (sn). 1979. p. 137-138.

CORDANI, U. G. & BRITO NEVES, B. B. - 1982 - **The Geologic Evolution of South America during the Archean and Early Proterozoic**. Revista Brasileira de Geociências, 12 (1-3): 78-88.

CORDANI, U.G., Teixeira, W., 2007. **Proterozoic accretionary belts in the Amazonian Craton**. Geol. Soc. Am. Memoir 200, 297–320

CORDELL L & GRAUNCH VJS. 1985. **Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan Basin, New Mexico**. In: HINZE WJ (ed). The Utility of Regional Gravity and Magnetic Anomalies Maps. Society of Exploration Geophysicists, p.181-197.

COSTA, J. B. S.; HASUI, Y.; BORGES, M. S.; BEMERGUY, R. L. **Arcabouço tectônico mesozóico-cenozóico da região da calha do Amazonas**. Geociências (UNESP), 14, n. 2, p. 77-83, 1997.

CHARLIER, B.; NAMUR, O.; BOLLE, O.; LATYPOV, R.; DUCHESNE, J. 2014. **Fe-Ti-V-P deposits associated with Proterozoic massif-type anorthosites and related rocks**. Earth-Science Reviews, 141: 56-81.

CPRM. 2000. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Caracará, Folhas NA.20-Z-B e NA.20-Z-D, NA.20-Z-A, NA.21-Y-A, NA.20-Z-C e NA.21-Y-C**. Escala 1:500.000. Estado de Roraima. Manaus, CPRM, 157 p. (em CD-ROM).

CPRM, 2001. **Projeto Aerogeofísico Parima Uraricoera: relatório final. do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos**. Manaus: Lasa Prospecções, 15 v. Programa Geologia do Brasil (PGB).

CPRM, 2003. **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas & SIG**. Brasília, CPRM, 673 p.

CPRM, 2007a. **Projeto Aerogeofísico Anauá: relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos**. Manaus: Lasa Prospecções, 15 v. Programa Geologia do Brasil(PGB).

CPRM, 2007b. **Projeto Aerogeofísico Pitinga: relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos**. Manaus: Lasa Prospecções, 15 v. Programa Geologia do Brasil(PGB).

CPRM, 2010a. **Projeto Aerogeofísico Carará - Jatapu: relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos**. Manaus: Lasa Prospecções, 15 v. Programa Geologia do Brasil (PGB).

CPRM, 2010b. **Projeto Aerogeofísico Sudeste de Roraima: relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos**. Manaus: Lasa Prospecções, 15 v. Programa Geologia do Brasil (PGB).

CPRM, 2011a. **Projeto Aerogeofísico Centro Leste de Roraima: relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos**. Manaus: Lasa Prospecções, 15 v. Programa Geologia do Brasil(PGB).

CPRM,2011b. **Mapa aeromagnetométrico do Brasil**. Apresentado pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Combustível (ANP) em parceria com Serviço Geológico do Brasil (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM). Projeto AEROMAG.

CPRM, 2012. **Projeto Aerogeofísico Catrinania-Araça: relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos**. Manaus: Lasa Prospecções, 15 v. Programa Geologia do Brasil(PGB).

CPRM,2014. **Geodiversidade do estado de Roraima**. Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade Manaus, 212 p.

DANESHFAR, B.; CAMERON, E (1997). **Leveling geochemical data between map sheets**. Journal of Geochemical. Exploration, v. 63, p. 189-201.

DICKSON, B. L.; SCOTT, K. M.,1997, **Interpretation of aerial gamma-ray surveys - adding the geochemical factors**. AGSO Journal of Australia Geology and Geophysics, v. 17, n. 2, p. 187-200.

EFIMOV A.V. 1978. **Multiplikativniyi pokazatel dlja vydelenija endogennykh rud aerogammaspecytmetriceskim dannym**.In: **Metody rudnoj geofiziki, Leningrado,Naucnoproizvodstvennojc objedinenie geophysical**. Ed.,59-68.

ENVI, 2000. **ENVI User's Guide**. Research Systems Inc., Boulder, Colorado, 930 p

FRAGA, L. M.; DAL.L'AGNOL, ROBERTO; COSTA, JOÃO BATISTA SENA .2000. **The first complete AMCG Association of the Amazon Craton - Coeval Anorthosite, mangerites, Charnockites and rapakivi Granites in Roraima - Guyana Shield**. In: International Geological Congress 31, 2000, Rio de janeiro. Abstracts.

FRAGA, L.M.; DREHER, A. M.; GRAZZIOTIN, H. Orosirian, **A- and I-type acid volcanism in the Guyana Shield, northern Amazonian Craton**. In: International Geological Congress, 33, 2008, Norway. Abstract, [CD-ROM]., 2008.

FRAGA, L. M.; MACAMBIRA, M. J. B.; DAL.L'AGNOL, R.; COSTA, J. B. S. **1.94-1.93 Ga charnockitic magmatism from the central part of the Guyana Shield, Roraima, Brazil: Single-zircon evaporation data and tectonic implications**. Journal of South American Earth Sciences, v. 27, p. 247-257, 2009.

FERREIRA F. J. F.; SOUZA J; BONGIOLO A.B.S; CASTRO L.G.; ROMEIRO M.A.T. 2010. **Realce do gradiente horizontal total de anomalias magnéticas usando a inclinação do sinal analítico. Parte I: Aplicação a dados sintéticos.** In: IV Simpósio Brasileiro de Geofísica, SBGf Brasília, *Anais*, p. 1-6.

FERREIRA, F. J. F., SOUZA, J, BONGIOLO, A.B.S, CASTRO, L. G. 2013. **Enhancement of the total horizontal gradient of magnetic anomalies using the tilt angle.** *Geophysics*. **78**, J33-J41

FRAGA, L.M. 2002. **A associação anortosito-mangerito-granito rapakivi (AMG) do Cinturão Guiana Central, Roraima, e suas encaixantes paleoproterozóicas: evolução estrutural, geocronologia e petrologia.** Tese de Doutorado, UFPA, Belém.

FRAGA, L.M; ALMEIDA, M.E.; MACAMBIRA, M.J.B. 1997a. **First lead-lead zircon ages of charnockitic rocks from Central. Guiana Belt (CGB) in the state of Roraima, Brazil.** In: South-American Symposium on Isotopes and Geology, Campos do Jordão. Resumos... Campos do Jordão, São Paulo, p. 115-117.

FRAGA, L.M.; ARAÚJO, R.V. de; DUARTE, B.P. 1997b. **Igneous charnockitic rocks of the Kanuku Complex and Serra da Prata Suite in the Central Guiana Belt (CGB), Roraima State, Brazil.** In: International. Symposium on Granites and Associated Rocks (ISGAM), 2, Salvador. Resumos. Salvador, 3p.

FRAGA,L.M.;REIS,N.J.;AGNOL,R.D.;2017. **CAUARANE - COEROENI BELT–THE MAIN TECTONIC FEATURE OF THE CENTRAL GUYANA SHIELD, NORTHERN AMAZONIAN CRATON** .In: XI Simpósio de Geologia da Amazônia, 2 a 5 de agosto de 2009, Manaus - AM

GEO SOFT INC., 2009. **Filtragem montaj MAGMAP. Processamento de dados de campos potenciais no domínio da frequência. Extensão para o Oasis Montaj**, v. 7.1. Tutorial e guia do usuário. Toronto, ON Canadá.

GEO SOFT INC., 2010. **Filtragem montaj MAGMAP. Processamento de dados de campos potenciais no domínio da frequência. Extensão para o Oasis Montaj**, v. 7.1. Tutorial e guia do usuário. Toronto, ON Canadá, 77p.

HAMZA, V. M; CARDOSO, R. R.; PONTE NETO, C. F. **Spherical harmonic analysis of earth's conductive heat flow.** International Journal of Earth Sciences, 2008. Disponível em: < <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00531-007-0254-3#page-1>>. Acesso em: 15 mar. 2013.

HARRIS, J.R., WILKINSON, L., HEATHER, K., FUMERTON, S., BERNIER, M.A., AYER, J. AND DAHN, R., 2001. **Application of GIS processing techniques for producing mineral prospectivity**

maps; a case study; mesothermal Au in the Swayze greenstone belt, Ontario, Canada. *Natural Resources Research* 10, 91-124.

HASUI, Y.; HARALYI, N. L.; SCHOBENHAUS, C. 1984. **Elementos geofísicos e geológicos da região Amazônica: subsídios para o modelo geotectônico**. *Simpósio Amazônico*, 2, Manaus, 1984. Anais. Manaus, DNPM/MME, p.129-147.

IAEA. 1991. **Airborne gamma ray spectrometer surveying**. Technical. Reports Series nº 323. Vienna: Intern. Atomic Energy Agency.

IAEA. 2003. **Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data**. Vienna: Intern. Atomic Energy Agency. 179 p.

ISLES D. J. AND RANKIN L. R., 2013. **Geological interpretation of aeromagnetic data**. Australian Society of Exploration Geophysicists, Australia. 365 p.

LIMA, M.I.C.; OLIVEIRA, E.P.; TASSINARI, C.C.G. 1982. **Cinturões granulíticos da porção setentrional do Craton Amazônico**. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 1, Belém. Anais, SBG-NO, v.1, p. 147-162.

MACLEOD, I. N.; VIEIRA, S.; CHAVES, A. C. **Analytic signal and reduction to the pole in the interpretation of total magnetic field data at low magnetic latitudes**. 3rd International. Congress of the Brazilian Geophysical. Society, 1993.

MENEZES LEAL., A.B.; GIRARDI, V.A.V.; BASTOS LEAL., L.R. **Petrologia e Geoquímica do Magmatismo Básico Mesozóico da Suíte Básica Apoteri, Estado de Roraima, Brasil**. *Geochemical. Brasiliensis*, v.14, n.2, 2000. pp.155-174.

MINTY, B R. S. **A review of airborne gamma-ray spectrometric data-processing techniques**. Canberra: Australian Government Publishing Service, 1988. 48 p.

MINTY, B. R. S., 1991. **Simple micro-levelling for aeromagnetic data**. *Exploration Geophysics*, 22: 591-592.

MILLER HG & SINGH V. 1994. **Potential field tilt – a new concept for location of potential field sources**. *Journal. of Applied Geophysics*, 32(2-3): 213-217

MOSIER, D.L., SINGER, D.A., MORING, B.C., GALLOWAY, J.P., 2012. **Podiform chromite deposits; database and grade and tonnage models**. U.S. Geological. Survey Scientific Investigations Report 2012-5157. 45 (and database. Available at <http://pubs.usgs.gov/sir/2012/5157/>).

NABIGHIAN MN. 1972. **The analytic signal of twodimensional. magnetic bodies with polygonal crossection: Its properties and use for automated anomaly interpretation.** Geophysics, 37(3): 507-517.

NABIGHIAN, M. N., and Macnae, J. C., 1991, **Time domain electromagnetic prospecting methods, in Nabighian, M. N., Ed., Electromagnetic methods in applied geophysics, Vol II, Part A: Soc. Expl. Geophys, 427-509**

NABIGHIAN M. N., ANDER M.E., GRAUCH V. J.S., HANSEN R.O., LAFEHR T.R., LI Y., PEARSON W.C., PEIRCE J.W., PHILLIPS J.D. , RUDER M. E., 2005. **Historical development of the magnetic method in exploration, Geophysics.**

NAL.DRETT A.J., CAMERON G., VON GRUENEWALDT G., SHARPE M.R. (1987) **The Formation of Stratiform PGE Deposits in Layered Intrusions.** In: Parsons I. (eds) *Origins of Igneous Layering.* NATO ASI Series (Series C: Mathematical and Physical Sciences), vol 196. Springer, Dordrecht

Oliveira V.,Oliveira A.C.S,Silva M.B.,Lopes P.R.,Reis,N.R.,(2015) **Geophysical-Geological Integration Map the of Boa Vista Grid (NA.20-X-D), Central Portion of Roraima state, Brazil.** 14th International Congress of the Brazilian Geophysical Society & EXPOGEF, Rio de Janeiro, Brazil, 3-6 August 2015: pp. 278-283.

PORWAL., A. K., CARRANZA, E. J. M., & HAL E, M. (2003). **Knowledge - driven and data - drive fuzzy models for predictive mineral potential mapping.** Natural. resources research, 12(1), 1-1-2025. DOI: 10.1023/A:1022693220894

PIRES, A. C. B. **Identificação geofísica de áreas de alteração hidrotermal, Crixás-Guarinos, Goiás. Revista Brasileira de Geociências,** v.1, n.25, p. 61-68, mar. 1995.

PIRES A.C.B. & MORAES R.A.V. 2006. **New processing technologies applied do airborne geophysical data: impact on interpretation.** In: 2º Simpósio Brasileiro de Exploração Mineral, SIMEXMIN, 2006, Ouro Preto, MG.

PITARELLO, M.Z. 2015. **Aplicação preliminar de técnicas de nivelamento estatístico em dados geoquímicos de projetos históricos da CPRM no estado de Roraima.** Anais do XV Congresso Brasileiro de Geoquímica, Brasília – DF.

RAINES G.L., 1999. **Evolution of weight of evidence to predict epithermal gold deposits in the Great Basin of the western United States.** Natural. Resources Research,8(4),257-276.

REID,A. B., ALLSOP,J.M., GRANSER,H.,MILLETT,A.J.,SOMERTON,I.W.,1990.**Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution.**Geophysics,55:80-91.

REIS, N. J.; FRAGA, L. M.; FARIA, M. S. G.; ALMEIDA, M. E. **Geologia do Estado de Roraima, Brasil**. In: Geology of France and Surrounding Areas - Special. Guiana Shield, n. 2-3-4, p. 121-134, 2003.

REIS, N. J.; ALMEIDA, M. E.; RIKER, S. R. L.; FERREIRA, A.L. **Geologia e Recursos minerais do Estado do Amazonas**. Manaus, CPRM, 2006 (Convênio CPRM/CIAMA). 125 p., il. Escala 1:1.000.000

REIS, NELSON JOAQUIM, NADEAU, SERGE, FRAGA, LEDA MARIA, BETIOLLO, LEANDRO MENEZES, FARACO, MARIA TELMA LINS, REECE, JIMMY, LACHHMAN, DEOKUMAR, & AULT, RANDY. 2017. **Stratigraphy of the Roraima Supergroup along the Brazil-Guyana border in the Guiana shield, Northern Amazonian Craton - results of the Brazil-Guyana Geology and Geodiversity Mapping Project**. Brazilian Journal of Geology, 47(1), 43-57

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

ROEST WR, VERHOEF J & PILKINGTON M. 1992. **Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal**, Geophysics, 57(1):116-125.

SANTOS, J.O.S.; REIS, N.J.; HARTMAN, L.A.; MCNAUGHTON, N.J.; FLETCHER, I.R. 1999. **Associação Anortosito-Charnockito-Granito Rapakivi no Calimiano do Norte do Cráton Amazônico, Estado de Roraima: Evidências Obtidas por Geocronologia U-Pb (SHRIMP) em zircão e baddeleyíta**. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 6, Manaus. Anais. Manaus: SBG, Núcleo Norte, p. 503-506.

SANTOS, J.O.S.; HARTMANN L. A.; GAUDETTE, H. E.; GROVES, D. I.; MCNAUGHTON, N. J.; FLETCHER, I. R. 2000. **A new understanding of the provinces of the Amazon Craton based on Integration of Field Mapping and U-Pb and Sm-Nd Geochronology**. Gondwana Research, 3 (4):453-488.

SANTOS, J.O.S.; POTTER, P.E.; REIS, N.R.; HARTMANN, L.A.; FLETCHER, I.R.; MCNAUGHTON, N.J. 2003. **Age, source, and regional stratigraphy of the Roraima Supergroup and Roraima-like outliers in northern South America based on U-Pb geochronology**. Geol. Soc. Amer. Bull., 115(3):331-348.

SANTOS, J.O.S. DOS; HARTMANN, L.A.; FARIA, M.S.G. DE; RIKER, S.R.L.; SOUZA, M.M. DE; ALMEIDA, M.E.; MCNAUGHTON, N.J. 2006. **A Compartimentação do Cráton Amazonas em Províncias: Avanços ocorridos no período 2000-2006**. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 9, Belém, Anais., SBG. (CD-ROM).

SAWATZKY, D.L., RAINES, G.L., BONHAM-CARTER, G.F., LOONEY, C.G. 2009. **Spatial Data Modeller (SDM): ArcMAP 9.3 geoprocessing tools for spatial data modelling using weights of**

evidence, logistic regression, fuzzy logic and neural networks.
<http://arcscripts.esri.com/details.asp?dbid=15341>.

SHEARER, S. E.; 2005. **Three-dimensional inversion of magnetic data in presence of remanent magnetization**. 2005. 148 f. Dissertação de Mestrado em Geofísica – Departamento de Geofísica do Center for Gravity, Electrical and Magnetic Studies, Colotado School of Mines.

SINGER,D.A., PAGE,N.J.1986.Grade and tonnage model of minor podiform chromite, in Cox,D.P.,and Singer,D.A.,eds.,Mineral. deposit models:U.S.Geological Survey Bulletin 1693.p34-38.

SPECTOR, A. & GRANT,F.S. 1970.**Statiscal models for interpreting aeromagnetic data Geophysics**,35(2):293-302.

TASSINARI, C. G. C.;MACAMBIRA,M.J.B. 1999. **Geochronological Provinces of the Amazonian Cráton Episodes**,22(3):174-182.

TASSINARI, C.C.G.; MUNHÁ, J.M.V.; TEIXEIRA, W.; PAL.ÁCIOS, T.; NUTMAN, A.P.; SOUSA, C.S.; SANTOS, A.P.; CAL.ADO, B.O. 2004. **The Imataca Complex, NW Amazonian Craton, Venezuela: crustal evolution and integration of geochronological and petrological cooling histories**. Episodes, 27: 3-12.

TEIXEIRA, W., TASSINARI, C.C.G., CORDANI, U.G. & KAWASHITA, K. 1986. **A review of the geochronology of the Amazonian Craton: tectonic implications**. Precambrian Research, 42: 213 – 227.

TELFORD, W. M., Geldart, L. P. & Sheriff, R. E., 1990. **Applied Geophysics** - Second Edition. Cambridge University Press, Cambridge, 784 p.

THOMPSON DT. 1982. EULDPH: **A new technique for making computer assisted depth estimates from magnetic data**. Geophysics, 47(1): 31–37.

TUKEY, J.W. (1977) **Exploratory Data Analysis**, Reading, MA: Addison Wesley.

ULBRICH ,H.H.G.J; VLACH, S.R.F.; ULBRICH, M.N.C; KAWASHITA, K. 2002. **Penecontemporaneous syenitic-phonolitic and basic-ultrabasic-carbonatitic rocks at the Poços de Caldas alkaline massif, SE Brazil: geologic and geochronologic evidence**. Rev. Bras. Geoc.,32(1):15-26

VERDUZCO B, FAIRHEAD JD, GREEN CM & Mackenzie C. 2004. **New insights into magnetic derivatives for structural mapping**. The Leading Edge, 23(2): 116-119.

VENKATARAMAN G., MADHAVAN B.B., RATHA D.S., ANTONY J.P.,GOYAL. R. S., BANGLANI S., ROY S. S.2000.**Spatial modeling for base-metal mineral exploration through integration of geological data sets**. Natural Resources Research, 9(1):27-42.

WRIGHT D.F., BONHAM-CARTER G.F. 1996. **VHMS favorability mapping with GIS-based integration models, Chisel Lake- Anderson Lake area**. In: Bonham- Carter G.F., Galley A.G., Hall G.E.M.(eds).EXTECH I: A multidisciplinary approach to massive sulphide research in the Rusty Lake- Snow Lake greenstone belts, Manitoba. Geological Survey of Canada, Bulletin 426,p.339-376,387-401.

WINDLEY, B.F. 1983. **A tectonic review of the Proterozoic**. Geol. Soc. Am. Mem., 161:1-10.

WILLIAMS, N.C., 2006. **Applying UBC-GIF potential field inversions in Greenfields or Brownfields exploration**. Artigo apresentado durante o AESC2006, Melbourne,Austrália, 10 p.

WIJNS C, PEREZ C & KOWAL.CZYK P. 2005. **Theta map: Edge detection in magnetic data. Geophysics**, 70(4): L39-L43

ZHANG, Y.; XIONG, S.; TIANYOU C. **Application of airborne gamma-ray spectrometry to geoscience in China**. Department of Applied Geophysics, the China University of Geosciences, Xue Yuan Lu, v. 49, n. 1-2, mar. 1997.

ZIENTEK, M.L., 2012, **Magmatic ore deposits in layered intrusions—Descriptive model for reef-type PGE and contact-type Cu-Ni-PGE deposits**: U.S. Geological. Survey Open-File Report 2012–1010, 48 p.