

## Processamento e interpretação de dados magnetométricos e gamaespectrométricos aéreos da Região de Morrinhos-Buriti Alegre, Goiás

Davi Resende Messias (\*), Marco Tulio Guimarães (\*), Silvencler Batista Bezerra (\*), Marcelo Henrique Leão Santos, Tereza Cristina Junqueira Brod UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS, FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA, Brasil

Copyright 2019, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 16<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 19-22 August 2019.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 16<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

### Abstract

This work is related to geophysical processing and interpretation, from the Morrinhos (SE.22-X-D) and Uberlândia (SE.22-Z-B) cartographic maps areas.

The results allow the inference of geological structures, kinematic indicators, correlation of domains (magnetic and radiometric) with geological units and a better understanding of the tectonic system of the region. The main purpose is support the graduate UFG (Universidade Federal de Goiás) geological mapping and opening possibilities to locate mineral resources.

The production of the maps was done through data processing, applying methods such as quality control, 2-D interpolation and linear transformation of the data to generate several products: Total Gradient (Amplitude of Analytical Signal), Vertical Derivative, Horizontal Gradient (magnetic) and K, U and Th channels, Total Count and RGB-KThU Ternary Image (radiometric).

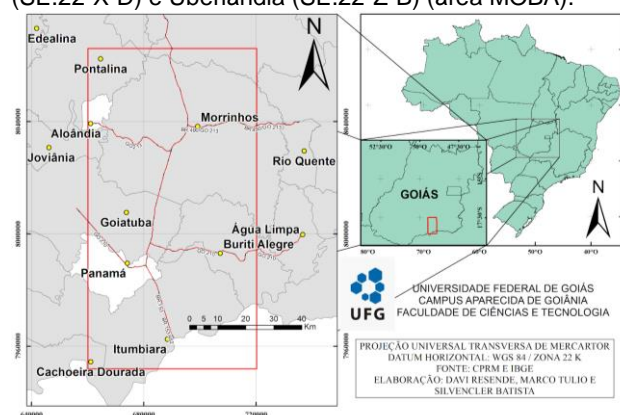
The interpretation of magnetic data allowed the delimitation of magnetic structures and domains, while the interpretation of radiometric data allowed the delimitation of several radiometric domains correlated with geological characteristics. The correlation with geological information yield final products, which contribute to the knowledge of the areas mapped in the region and help to understand the relations of the anomalies to the local geology.

### Introdução

A interpretação geofísica é uma ferramenta rápida e relativamente barata que pode ser utilizada em mapeamentos geológicos, para auxiliar na obtenção de informações geotectônicas e de potencialidade mineral de um local. O presente resumo tem como objetivo apresentar os resultados das interpretações e processamentos de dados geofísicos obtidos na região de Morrinhos-Buriti Alegre, que é alvo de mapeamentos geológicos de escala 1:15.000 realizados pelos alunos da disciplina de Trabalho de Campo de Instrumentação e Desenho Geológico ofertada pelo curso de Geologia da Universidade Federal de Goiás (TCIG). As imagens e processamentos apresentados neste resumo são

relevantes para a melhor compressão da resposta geofísica da região de forma a aumentar a qualidade dos mapas locais e fornecer dados complementares aos mapeamentos geológicos.

A área de estudo (Fig. 1) se encontra na porção sul do estado de Goiás, entre Pontalina (Norte) e Cachoeira Dourada (Sul), a até cerca de 20 km a leste de Buriti Alegre. Na literatura geológica da região, a área de estudo corresponde às cartas cartográficas de Morrinhos (SE.22-X-D) e Uberlândia (SE.22-Z-B) (área MOBA).



**Figura 1** - Área de estudo das interpretações de levantamentos aerogeofísicos da região.

Os dados dos aerolevantamentos geofísicos (magnetométricos e gamaespectrométricos) foram realizados entre 2004 e 2006, e adquiridos em parceria realizada pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) com o Governo de Goiás através do Fundo de Fomento à Mineração (Funmineral). A área utilizada neste resumo corresponde a área 5 - Faixa Brasília Sul, voado em 2005, com espaçamento de 500 m entre as linhas de voo, altura de voo de 100 m e direção das linhas de voo N-S.

### Métodos

O primeiro passo efetuado foi a conversão do DATUM dos dados aerogeofísicos para SIRGAS 2000 no próprio Geosoft (2018), uma vez que os dados do aerolevanteamento foram obtidos no período em que o DATUM SAD 69 estava em vigor. Em seguida, no Geosoft (2018), foi realizado o controle de qualidade no quesito de distribuição de dados, de análises de desvios nas especificações técnicas do levantamento (espaçamento das linhas de voo e altitude de voo efetuadas) e de inconsistências nos dados (efeitos pepita, spike, valores gamaespectrométricos negativos, entre outros) com uso da derivada de 4<sup>a</sup> ordem (Blum,

1999). Algumas linhas de voo tiveram eventuais desvios, mas o padrão geral das mesmas não apresentou maiores problemas, fato também observado quanto as variações barométricas. No geral os dados não apresentaram inconsistências significativas.

No que tange ao processamento dos dados aereogeofísicos, anteriormente à escolha do método de interpolação, é importante definir a dimensão da célula de interpolação, uma vez que esta etapa é vital para que se evite a perda de informação, aparecimento do efeito *aliasing* ou à incorporação de frequências altas sem solução nas frequências baixas (Blum, 1999). Segundo Vasconcelos et al. (1990), para o caso de linhas de voo, sugerem-se valores entre 1/4 e 1/8 do espaçamento médio entre as linhas de voo. Neste trabalho a dimensão ideal da célula de interpolação foi tida como 100 m. Posteriormente à definição da célula de interpolação, foram analisadas as opções de métodos de interpolação (Geosoft, 2018), devidamente aplicados levando em consideração tanto respaldo teórico do tratamento dos dados como por comparação visual. Os dois métodos de interpolação escolhidos, após testes de eficácia de interpolação, para o processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos, foram, respectivamente:

- Método de *splines* bi-cúbicos (Bi-Direcional): é ideal para dados orientados em linha, pois tende a fortalecer a tendência perpendicular à direção das linhas do levantamento.

- Curvatura mínima: é o método mais usado nas geociências por sua rapidez de processamento. A superfície gerada é análoga a uma placa fina e linearmente elástica deformada de forma a passar pelos valores dos dados com uma quantidade mínima de flexão. A curvatura mínima gera uma superfície suavizada com os valores o mais próximo possível dos dados originais (Blum, 1999).

Sobre os dados magnetométricos interpolados foi necessário o uso do filtro de convolução 3x3 aplicado 5 vezes para melhor apresentação dos dados. Como etapa final no Geosoft (2018), realizou-se o tratamento dos GeoTiffs (dados magnetométricos e gamaespectrométricos interpolados), para melhor análise de domínios geofísicos, e foram produzidos isocontornos de intensidade magnética e contagem gamaespectrométrica para diferentes intervalos (Moura, 2007).

No ArcGis 10.5.1, foram dispostos os GeoTiffs e importados os isocontornos, e, em seguida, interpretados os lineamentos e domínios geofísicos. Para correlação geofísica-geológica foi utilizada a técnica de drapejamento ou superposição de imagens (*draping of images*) dos produtos geofísicos associados aos dados geológicos da CPRM, disponibilizados nos portais online GEOSGB e SIEG-GO, e literatura geológica da região (Fig. 2.1, 2.2 e 2.3).

## Resultados

O trabalho obteve como resultados quatro produtos finais: caracterização de lineamentos magnéticos,

delimitação e caracterização de domínios magnéticos, caracterização de lineamentos gamaespectrométricos, mapa de domínios gamaespectrométricos (Fig. 3.1, 3.2 e 3.3).

### Interpretação das imagens magnetométricas

Tanto as rochas quanto as anisotropias da região podem apresentar características como assinaturas magnéticas, geradas por sua composição mineralógica (minerais magnéticos como a magnetita), a falta destes minerais que realçam o contraste entre as litologias ou em anisotropias como falhas pode ocorrer percolação de fluido aumentando o magnetismo.

A fim de definir os domínios magnéticos (Fig. 3.1) foi utilizado o mapa de gradiente total (amplitude do sinal analítico), atrelado aos seus contornos de intensidade. A área de estudo foi dividida em três domínios magnéticos contrastantes, sendo possível através de comparação com mapas geológicos regionais a caracterização quanto a litologias.

Domínio magnético I: Abrange majoritariamente a porção centro-sul e pequena porção a leste da área, este domínio é caracterizado por altas amplitudes magnéticas da ordem de valores  $> 0,258$  nT/m e alto relevo magnético. Estas assinaturas quando comparadas com o mapa geológico regional, estão associados a rochas de derrames basálticos (Fm. Serra Geral) e intrusões máfico-ultramáficas (Suíte Intrusiva Máfica-Ultramáfica Tipo Morro Feio), que possuem em sua composição minerais magnéticos. As rochas deste domínio apresentam grande concentração de magnetita.

Domínio magnético II: Engloba em sua maioria a parte centro-norte e pequenas porções entre o domínio de alta intensidade e o de baixa (transição), no sul da área de estudo. Este domínio é caracterizado por média amplitude magnética da ordem de valores  $< 0,258$  e  $> 0,036$  nT/m e médio relevo magnético. A assinatura magnética está relacionada a corpos graníticos (Navarro et al. 2014), rochas basálticas (derrames do Serra Geral sob forte lixiviação) e feições não mapeadas do Grupo Araxá.

Domínio magnético III: Abrange majoritariamente norte e nordeste e pequena porção ao sul da área, este domínio é caracterizado por baixa amplitudes magnéticas da ordem de valores  $< 0,036$  nT/m, com baixo a muito baixo (vales até 0,013 nT/m) relevo magnético. A assinatura magnética associada a este domínio se relaciona com o Grupo Araxá e com o Complexo Plutônico do Arco Magmático de Goiás - Unidade Ortognaisses, rochas com pequena porcentagem de minerais magnéticos.

### Interpretação dos lineamentos magnéticos

O método magnético é um excelente marcador de lineamentos, que em sua maioria se relacionam facilmente com falhas, fraturas e dobras, neste caso o mapa de sinal analítico com sobreposição de sua inclinação em tons de cinza foi o utilizado para marcar tais estruturas.

No geral a área apresenta três famílias de lineamentos de direções distintas, sendo para NE, EW e NW. Os lineamentos de direção NE sobre o embasamento (Grupo Araxá e Arco Magmático) se correlacionam com o evento Transbrasiliano (importantes contribuições dúcteis transcorrentes), que é uma importante zona de falhamentos, influenciando todo o estado de Goiás, se propagando posteriormente para o Grupo São Bento por

reativação e ajustes isostáticos em regime rúptil. Já os lineamentos de direção E-W não apresentam correspondência com os dados já mapeados, no entanto, dispostos sobre o embasamento, aparenta significar zonas de cisalhamento e/ou empurrão (contatos entre litofácies do Grupo Araxá e o contato deste com o Arco Magmático). Por fim, os lineamentos de direção NW no embasamento, correspondem a zonas de cisalhamento e empurrão (principalmente no grupo Araxá) pode-se associar estruturalmente ao Transbrasiliano, em que posteriormente também se propagaram para o Grupo São Bento na forma de ajustes isostáticos e reativações.

#### **Interpretação das imagens gamaespectrométricas**

A proporção relativa de K, U e Th, obtida pela quantificação dos raios gama emitidos pelos isótopos desses elementos, é muito útil na delimitação litológica rasa.

Apesar da ampla quantidade de ambiguidades geológicas para uma mesma combinação desses elementos, a utilidade desse método se alcança com auxílio do conhecimento geológico da região estudada. Através das linhas de contorno para cada canal dos radioisótopos supracitados, foi possível delimitar domínios com variadas proporções para K, U e Th, e correlacionar com as unidades já mapeadas e geologia regional (Fig. 3.2). As atribuições qualitativas, baixo, médio e alto, nessa ordem, foram estabelecida da seguinte forma: K (< 0,2%; > 0,2% e < 1,52%; > 1,52%), Th (< 5,31 ppm; > 5,31 e < 14,14 ppm; > 14,14 ppm) e U (< 144 ppm; > 144 e < 408 ppm; > 408 ppm).

Domínio gamaespectrométrico I: Abrange a parte nordeste da área, este domínio é caracterizado por possuir de médio a alto potássio, alto urânio e de médio a alto tório. Quando comparamos estes parâmetros com a geologia regional o domínio está associado a rochas metassedimentares do Grupo Araxá, que são compostas principalmente por quartzitos e metapelitos, os metapelitos que é maioria no Grupo possui muscovita que possui potássio além de minerais com urânio e tório como zircão, allanita e apatita, além de possuir dados geoquímicos de enriquecimento de urânio e tório.

Domínio gamaespectrométrico II: Engloba a parte centro-sudoeste da área, e este domínio é caracterizado por possuir baixo potássio, médio urânio e tório. Os parâmetros deste domínio o correlacionam, na geologia regional, aos derrames basálticos da formação Serra Geral. Devido às leituras gamaespectrométricas, principalmente de tório, característico de rochas basálticas e por ser um elemento resistato.

Domínio gamaespectrométrico III: Está disperso por toda área, o domínio é caracterizado por possuir baixo potássio, de baixo a médio urânio e baixo tório. Geologicamente está relacionado com o Complexo Plutônico do Arco Magmático de Goiás - Unidade Ortognaisse (em mapa regional), sendo esta litologia composta por minerais com baixo teor de potássio já que que predomina é o quartzo e plagioclásio, que no caso do quartzo não possui potássio, e o plagioclásio possui pouco, o mineral com maior teor de potássio é a biotita. O urânio e tório é de média a baixa pois os minerais que possuem os elementos são acessórios nessas rochas como zircão.

Domínio gamaespectrométrico IV: Se refere à porção norte dos basaltos, com pequenas ocorrências

disseminadas na região oeste do domínio 2, e apresenta alto urânio e tório e baixo potássio. Corresponde provavelmente a basaltos embora apresente aumento (em relação ao domínio 2) na concentração de U e Th, porém sem significar uma nova/ litologia, já que, os derrames basálticos da Formação Serra Geral não são homogêneos, por exemplo, existência de duas províncias geoquímicas de alto e baixo TiO<sub>2</sub>, além da própria variação na intensidade do magnetismo observada neste relatório, alto no domínio 2, e médio associado ao domínio 4.

Domínio gamaespectrométrico V: Ocorre de maneira disseminada por toda a área e se caracteriza por representar alto urânio e potássio e médio tório (comumente chegando a alto tório no Grupo Araxá e raramente em baixo tório no Arco Magmático).

Se relaciona aos granitos tipo Rio Piracanjuba nas porções sobre o Arco Magmático, de geometria irregular a levemente arredondada. No entanto, este domínio ocorre também no Grupo Araxá, na forma de sigmoides, corpos pequenos irregulares e outros alongados por vezes arqueados. Os corpos irregulares e sigmoidais podem ser classificados também como Suíte Tipo Rio Piracanjuba, além da concentração de radioisótopos semelhante, devido a geometria. As porções de geometria alongada desse domínio podem significar diferentes litofácies do Grupo Araxá (BLUM, 1999) ou até mesmo stocks graníticos.

Domínio gamaespectrométrico VI: Abrange pequena parte no centro da área, este domínio é caracterizado por alto potássio, alto urânio e médio tório. Este corpo não possui correspondência nas litologias que estão inseridas no mapa da geologia regional. Devido sua assinatura de potássio pode se tratar de um granito rico em K-feldspato, e pobre em urânio e com médias razões de tório, sendo apenas supositório já que a área não possui mapeamento de detalhe e não está inserido em mapeamentos regionais.

Domínio gamaespectrométrico VII: Abrange pequena parte no norte da área, este domínio é caracterizado por médio potássio, alto urânio e baixo tório. O domínio ocorre sobre uma porção com médio potássio e urânio e baixo tório (assinatura de ortognaises do Arco magmático). No entanto não possui correspondentes em mapa da geologia regional e mapeamentos de detalhe, mas este domínio pode ser relacionado com médio a alto magnetismo, reforçando se tratar de um corpo ainda não mapeado. Somada à anomalia magnética de domínio médio a alto, a grande concentração de urânio pode ser resultado de possível processo de alteração, por exemplo, hidrotermalismo.

Domínio gamaespectrométrico VIII: Ocorre de maneira disseminada por toda a área e se caracteriza por representar baixo potássio, baixo urânio e baixo a médio tório. As razões deste domínio o relacionam geologicamente, em mapa regional das cartas geológicas utilizadas, a Suíte Intrusiva Máfica-Ultramáfica Tipo Morro Feio (BLUM, 1999), o domínio não possui em sua mineralogia minerais que possuem em teores os elementos radioativos, dando a coloração negra no diagrama ternário.

#### **Interpretação de lineamentos gamaespectrométricos**

O método gamaespectrométrico é ruim como marcador de lineamentos, devido à própria limitação do método. No

entanto, os grandes domínios, por exemplo, puderam ser delimitados por lineamentos gamaespectrométricos (porções de forte contraste) através dos mapas de Contagem Total e imagem ternária KThU.

No geral a área apresenta 2 famílias de lineamentos de direções distintas, para NE e NW. As direções são semelhantes às das estruturas magnéticas, tendo as mesmas associações geológicas, tanto ao Transbrasiliano quanto às reativações rúpteis na Formação Serra Geral.

## Conclusões

A interpretação dos mapas magnéticos e gamaespectrométricos permitiu a delimitação regional de unidades geológicas e elementos estruturais, por meio de domínios e anomalias características (Fig. 3.3). A validade dos esboços delimitados, entretanto exige verificação de campo, ainda mais relevante devido às discrepâncias parciais com a literatura da região.

Pode-se notar que os métodos de interpolação 2-D apresentaram resultados diferentes, sendo o método splines bi-cúbicos interessante no tratamento dos dados magnéticos, com poucas perdas de dados, se confirmando um ótimo método interpolador para linhas orientadas nessas condições. No entanto na interpolação dos dados gamaespectrométricos provou-se superior o método de curvatura mínima devido a presença de orientação com o tratamento bidirecional.

O sinal analítico associado aos produtos de derivada vertical e gradiente horizontal aplicados aos dados magnéticos se mostraram eficientes na delimitação principalmente de estruturas e domínios altamente magnéticos. Já as imagens digitais geradas pelos espectros de potássio, urânio e tório, se mostraram ineficientes quanto a delimitação de estruturas, entretanto permitiram a delimitação de diversos domínios gamaespectrométricos com correlações geológicas (assinaturas características). As correlações geológicas com os produtos interpretados magnéticos e gamaespectrométricos (Fig. 3.3) permitiram a inferência de estruturas geológicas com suas respectivas cinemáticas, alocamento de domínios em unidades geológicas e melhor compreensão do sistema tectônico da região.

O trabalho, portanto, permitiu a avaliação da qualidade de levantamentos, aplicação de métodos/técnicas de tratamento de dados e desenvolvimento de bagagem interpretativa de respostas geofísicas com demarcação de estruturas anômalas, delimitação de domínios e correlações geológicas. Além disso, os dados obtidos contribuem para o maior conhecimento prévio das áreas de estudo dos mapeamentos realizados na região de forma a gerar pontos de interesse e melhorar o planejamento prévio destes.

## Agradecimentos

A Universidade Federal de Goiás em especial ao Prof. Marcelo Henrique Leão-Santos e a Profa. Tereza Cristina Junqueira Brod pelo fornecimento de informações e suporte para a produção deste trabalho.

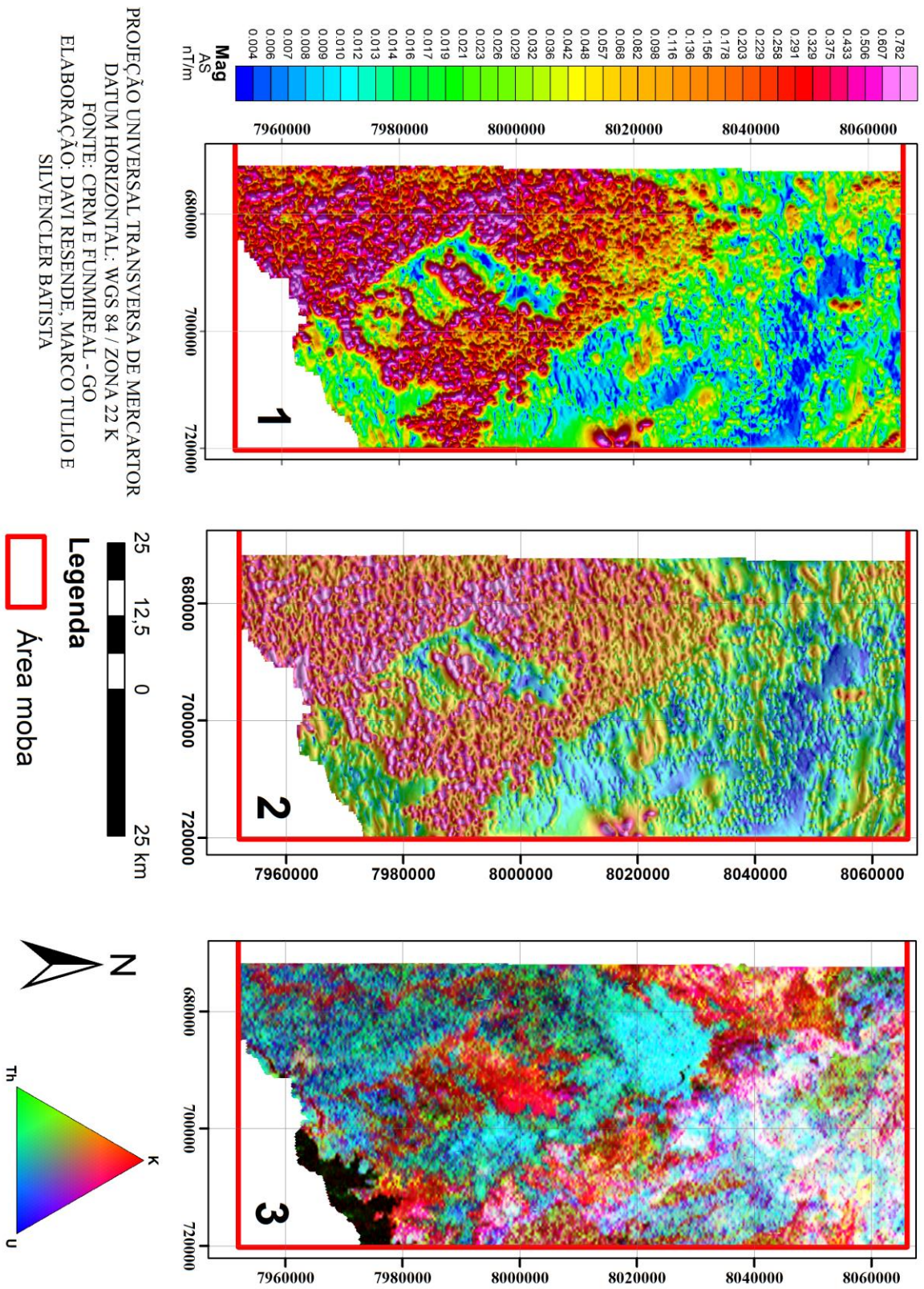
A empresa Geosoft Inc., pelo fornecimento de licença estudantil para utilização do software "OASIS Montaj" durante o período de confecção do trabalho.

Ao Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e ao governo de Goiás, pela cessão e permissão do uso dos dados dos levantamentos aerogeofísicos.

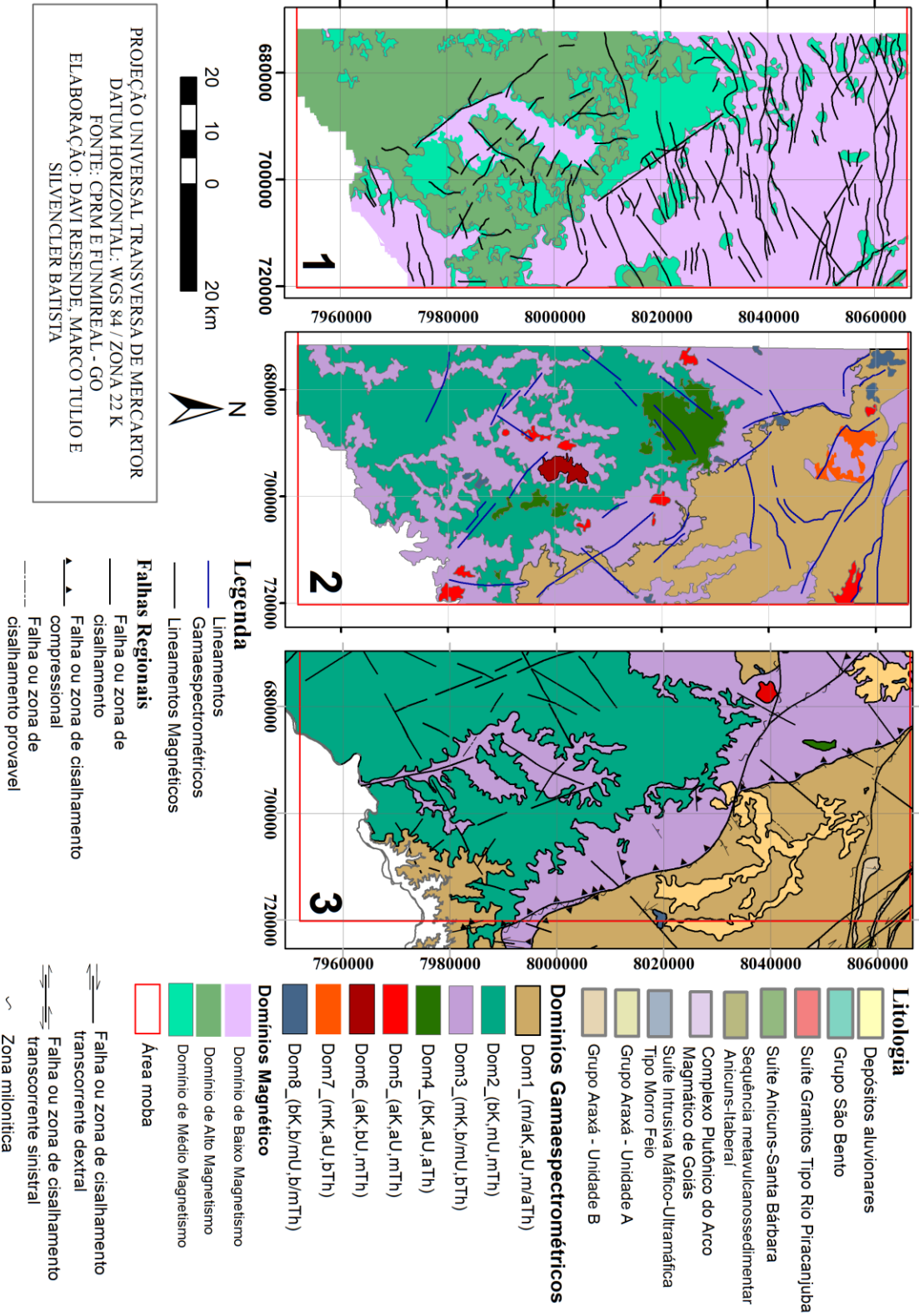
## Referências

- BLUM, M.L.B. 1999. Processamento e interpretação de dados de geofísica aérea no Brasil Central e sua aplicação à geologia regional e à prospecção mineral. Instituto De Geociências, Universidade De Brasília, Brasília, Tese de Doutorado, 229p.
- DEPARTAMENTO DE CARTOGRAFIA DO IBGE E DIRETORIA DO SERVIÇO GEOGRÁFICO DO MINISTÉRIO DO EXÉRCITO (DSG). 2009. Corte cartográfico - 1:100.000; (UBERLÂNDIA SE-22-Z-B) E (MORRINHOS SE-22-XD). Secretaria de Indústria e Comércio do Estado de Goiás - Superintendência de Geologia e Mineração e Fundo de Fomento à Mineração (SIC/SGM/FUNMINERAL). SIC - Superintendência de Geologia e Mineração; MME - Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral; CPRM - Serviço Geológico Do Brasil. Levantamento Aerogeofísico do Estado De Goiás.
- MOREIRA, M.L.O., MORETON, L.C., ARAÚJO, V.A., LACERDA FILHO, J.V. DE, COSTA, H.F. DA. 2008. Geologia do Estado de Goiás e Distrito Federal: Texto explicativo do mapa geológico do estado de Goiás e Distrito Federal. Escala 1:500.000. Convênio Ministério de Minas e Energia (MME) / Serviço Geológico do Brasil (CPRM) - Secretaria de Indústria e Comércio (SIC) / Fundo de Fomento à Mineração (FUNMINERAL) / Governo do Estado de Goiás, 143p.
- NAVARRO, G. R. B.; ZANARDO, A.; CONCEIÇÃO, F. T. da. 2014. Ortognaisses peraluminosos associados ao Grupo Araxá na região de Mairipotaba-Prof. Jamil Safady, Goiás. Brazilian Journal of Geology. Sociedade Brasileira de Geologia, 44 (2), 235-248.
- PIMENTEL, M. M., 2016, The tectonic evolution of the neoproterozoic Brasília belt, central Brazil: a geochronological and isotopic approach. Brazil. J. Geol. 46 (Suppl. 1): 67 – 82.
- MOURA, C. O. 2007. geologia do sudoeste do estado de goiás: integração de dados geológicos e aerogeofísicos de alta densidade. 135 F. Dissertação (Mestrado em Geologia) - UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, BRASÍLIA.
- VASCONCELOS, R.M.; METELO, M.S.; MOTA, A.C. & GOMES, R.D. 1990. Geofísica em levantamentos geológicos. Rio de Janeiro, DIGEOF-CPRM.





**Figura 2** - GeoTiffs dos produtos geofísicos: 1) sinal analítico do campo magnético total, 2) sobreposição da inclinação do sinal analítico sobre o sinal analítico e 3) composição terrária RGB dos canais gamaespectrométricos de K, Th e U.



**Figura 3 – Mapas interpretados de correlação geofísica-geológica: 1) lineamentos e domínios magnéticos, 2) lineamentos e domínios magnéticos, 3) domínios magnéticos e domínios magnéticos**