

Integração de dados geológicos e aeromagnetométricos na região de Cavalcante - Goiás

João Cândido Magalhães ¹
Ana Clara Alves de Melo ¹
Carlos Tadeu Carvalho do Nascimento ¹

¹ Universidade de Brasília – Campus Planaltina
CEP 73345-010 – Planaltina - DF, Brasil

candido.magalhaes@hotmail.com; aanaclara_alves@hotmail.com; carlostadeu@unb.br

Abstract. The purpose of this work is to show the integration between geologic and airborne magnetic data of the Northeast of Goiás. The area of study locates at the município of Cavalcante and shows potential in mineral exploration areas for gold and manganese, besides conservation unities like Reserva Natural do Tombador. The airborne magnetic data originated from the Projeto Paleo Neoproterozoico do Nordeste de Goiás and was provided by the Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais for research purposes. Magnetic method is a geophysical tool that measures the intensity of the Earth Magnetic Field, seeking the identification of anomalies within the average values of this field, usually associated to ferrous materials in subsurface. In this work were produced images of magnetic field anomalies and one of these images is associated to Analytic Signal Amplitude, which was correlated to Digital Terrain Model and to the geological map available to the study area. The integration of the geophysical and elevation data using the statistical procedure cluster analysis allowed to produce maps of statistical groups that have a good correlation with the geological units of the Cavalcante area. Anomalous areas (high values of signal) are overlapping the metasediments of the Paranoá Group and matches with Ticunzal Formation areas. The occurring areas of the granite gneiss, low altitudes, match the low values of the signal (absence of anomalies).

Palavras-chave: geofísica, cartografia, magnetometria, geophysics, cartography, magnetometry

1. Introdução

A magnetometria é o método geofísico no qual se trabalha com medições da intensidade do campo magnético terrestre, visando identificar anomalias no valor médio deste campo normalmente associadas com materiais ferrosos em subsuperfície. Este tipo de informação pode ser utilizado como auxílio ao mapeamento geológico porque os minerais ferrosos presentes nas rochas podem causar anomalias nos valores regionais do campo magnético terrestre.

Acredita-se que o campo magnético terrestre seja conhecido a pelo menos 900 anos. Já o reconhecimento do planeta Terra como um ímã ocorreu a cerca de 400 anos. No início do século XIX concluiu-se que a origem deste campo é interna ao planeta, e desde 1950 supõem-se que a movimentação de matéria na porção externa do núcleo terrestre gera corrente elétrica, a qual por sua vez induz o campo magnético. Também em meados do século XX observou-se que este campo tem sua polaridade invertida em média uma vez a cada milhão de anos, no mínimo desde o início do Cretáceo, constatação esta que veio fortalecer a teoria da deriva continental.

O mapa global da intensidade do campo magnético não mostra uma relação óbvia com a distribuição dos continentes ou com cadeias de montanhas. Em levantamentos relativamente detalhados, com até algumas centenas de quilômetros, os contornos globais são sobrepostos por campos locais causados por concentrações de minerais magnéticos e algumas correntes elétricas na crosta. Estas anomalias normalmente correspondem a uma pequena percentagem do campo normal, mas acima de jazidas de minerais ferríferos, estas anomalias podem exceder o campo da Terra.

O IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*) é a representação teórica para um dado intervalo de tempo, do campo magnético normal da Terra. Para gerar o IGRF usa-se uma função de várias variáveis, entre elas, latitude, longitude, tempo e raio terrestre.

A intensidade média do campo é de aproximadamente 50000 nT ou 50000 gamas. No Brasil, situa-se entre 23000 e 30000 nT. Trata-se de um valor relativamente pequeno, contudo, ele ocupa um volume grande, cerca de 10 vezes o raio da Terra. A região ocupada pelo campo magnético recebe o nome de magnetosfera e tem a forma assimétrica em relação à Terra, assemelhando-se a uma gota comprida. Esta forma é o resultado da pressão do "vento solar", um fluxo contínuo de átomos de hidrogênio emitidos pelo sol, a uma velocidade de aproximadamente 400 km/s, e que atinge o hemisfério terrestre iluminado pelo sol naquele momento.

A atividade solar normalmente causa variações da ordem de 1/1000 da intensidade do campo em um dado local. Esta variação é pequena ao amanhecer e ao entardecer e máxima ao meio dia, recebendo o nome de variação diurna. Têm-se observado aumentos na atividade solar, separados por intervalos de 11 anos, que também afetam o campo terrestre. Eventualmente ocorrem erupções na superfície do sol que causam variações de até 1000 nT, variações estas conhecidas como tempestades magnéticas.

Um levantamento aerogeofísico consiste na execução de linhas de vôo paralelas e regularmente espaçadas, com orientação norte-sul ou leste-oeste, dependendo da orientação das estruturas geológicas. Em situações específicas, a orientação é escolhida de modo a maximizar a resposta magnética.

Para nivelar os dados com relação aos mesmos referenciais, e possibilitar a remoção de erros cometidos durante a aquisição, executam-se algumas linhas de vôo ortogonais às linhas de vôo principais. De modo geral, o espaçamento entre as linhas de controle é 10 vezes maior que aquele entre as linhas de vôo principais.

O espaçamento entre as linhas de vôo é determinado pelo grau de detalhe do levantamento e pela disponibilidade financeira. Normalmente é da ordem de 400 metros, podendo ser menor. A altura de vôo é da ordem de 100 metros, sendo que quanto mais próximas as linhas, menor a altura.

A altura de vôo tem influência na largura da faixa do terreno que é imageada a cada linha de vôo. Por exemplo, a uma altura de 60 metros, 75% das contagens registradas no terreno são produzidas numa faixa com 240 metros de largura. A uma altura de 100 metros, 75% das contagens têm origem numa faixa com 300 metros de largura.

A extensão imageada do terreno é função da velocidade e da altura de vôo e da taxa de amostragem do magnetômetro. Uma taxa de amostragem de 1 leitura por segundo, num vôo a 250 km/h e 100 metros de altura, implica numa extensão de 70 metros de comprimento, por 300 metros de largura.

As principais etapas do processamento de dados aeromagnéticos correspondem a: conferência e edição dos dados brutos; posicionamento (x,y) das leituras; correções de paralaxe; remoção da variação diurna; remoção do IGRF; nivelamento dos dados; micronivelamento; interpolação e contorno.

A conferência dos dados consiste essencialmente na checagem de valores anormalmente altos ou baixos, que podem refletir problemas durante a aquisição. Além disto, verifica-se a distribuição dos pontos de amostragem, sendo que quanto mais regular, melhor.

O posicionamento dos dados consiste no cruzamento dos bancos de dados de campo magnético, de altitude do terreno e de coordenadas espaciais.

Após o cruzamento destes dados, torna-se possível a construção dos primeiros "grids". Um "grid" é um conjunto de valores regularmente distribuídos no terreno, gerado a partir de um conjunto irregular de leituras, por meio de procedimentos de interpolação, como a triangulação, a regressão polinomial e a krigagem.

A célula unitária do "grid" deve ser menor e proporcional à distância entre os pontos de medida. Costuma-se usar entre 1/4 e 1/8 do espaçamento entre as linhas de vôo. Os "grids" preliminares são usados para remoção da variação diurna e do IGRF.

O nivelamento é o procedimento pelo qual busca reduzir-se as diferenças entre as leituras nos pontos de cruzamento entre linhas de vôo e de controle, empregando-se filtros matemáticos. O micronivelamento é a remoção de erros após a execução do nivelamento.

A última etapa do processamento consiste na interpolação dos dados corrigidos, nivelados e micronivelados, para gerar as imagens geofísicas, as quais consistem na representação dos valores interpolados em escala de níveis de cinza ou de cores.

Assim sendo, a área de estudo localiza-se na porção oeste do município de Cavalcante, em Goiás. Esta região tem como aspectos de interesse áreas de exploração mineral de ouro e manganês, além de unidades de conservação como a Reserva Natural do Tombador, áreas de assentamento agrícola como o Assentamento Rio Bonito e ainda remanescentes de quilombos.

Este trabalho teve como objetivo a integração de dados topográficos e magnetométricos. A topografia do terreno foi modelada com base nos dados da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) disponibilizados pela Embrapa Monitoramento por Satélite (Miranda, 2005). Os dados gamaespectrométricos foram obtidos do Levantamento aerogeofísico do Estado de Goiás – Paleo-Neoproterozóico do Nordeste de Goiás, contratado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Este levantamento aerogeofísico foi realizado a uma altura de 100 m, seguindo linhas de voo de direção N-S, espaçadas em 0,5 km, com linhas de controle de direção E-W a cada 5,0 km (Lasa, 2006).

A integração destes dados se deu por meio de análise de agrupamentos, que neste caso consistiu na combinação da topografia com a imagem de amplitude do sinal analítico. O fluxograma do processamento de dados foi semelhante ao apresentado por Santos et al. (2013).

2. Metodologia de trabalho

As unidades geológicas presentes na área de estudo compreendem o Complexo Granito Gnáissico Almas Cavalcante, o Grupo Araí e o Grupo Paranoá (Figura 1).

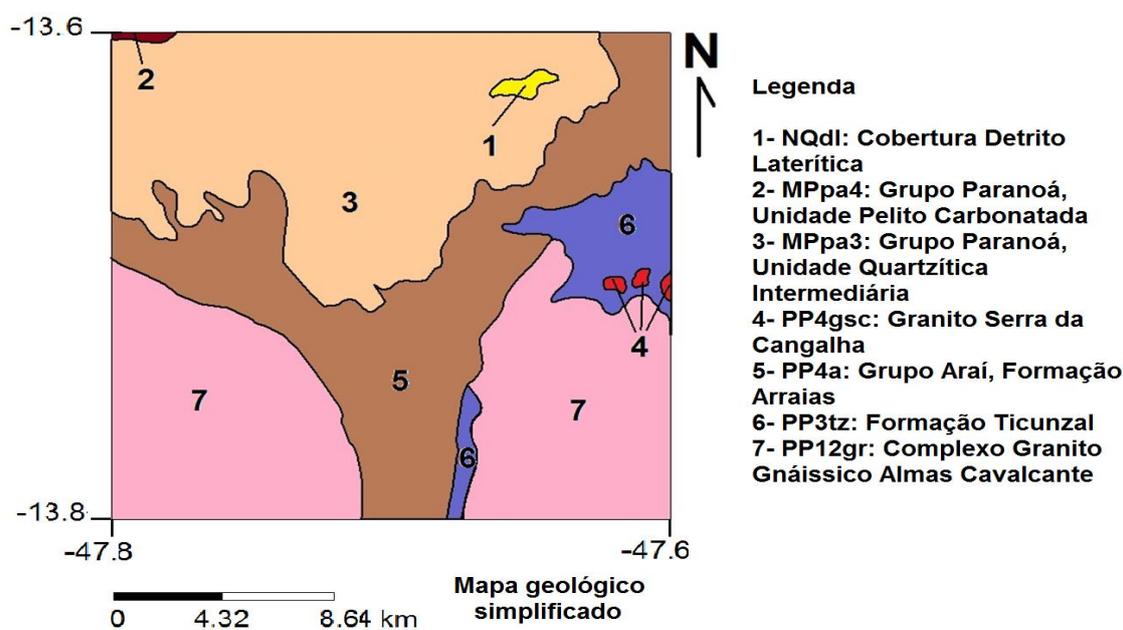


Figura 1 - Mapa Geológico simplificado (Souza et al. 2004).

O Complexo Granito-Gnáissico, que representa o embasamento, compreende os terrenos arrasados em torno de Cavalcante, abrangendo os vales dos rios das Almas e Claro, circundados por serras constituídas por metassedimentos do Grupo Araí. Este complexo é predominantemente constituído por ortognaisses de composição tonalítica a granodiorítica, associados a grandes batólitos de composição granítica, comumente representados por biotita granitos.

O Grupo Araí é formado por sedimentos metamorfizados em grau baixo a incipiente, depositados em ambientes plataformais. Resultam da evolução de um rifte intracratônico, com preenchimento inicial por sedimentos continentais e, posteriormente, por sedimentos marinhos. Seu desenvolvimento teria ocorrido no Paleoproterozóico Inferior a Médio (Antonelli Filho, 2011).

Dentre as formações que compõe o Grupo Araí podemos destacar a Formação Arraias, que é a sequência basal arenosa formada por sedimentos fluviais intercalados com rochas vulcânicas associadas, depositada em descontinuidade, devido a erosão, sobre gnaisses e granitos. Corresponde a aproximadamente 20% da área de estudo (Antonelli Filho, 2011).

Na área de estudo o Grupo Paranoá situa-se a norte do Grupo Araí e é constituído por metassiltitos, filitos e quartzitos, dispostos em camadas ritmicamente alternadas. Sobrepõe-se ao Grupo Araí em discordância angular, compreendendo sedimentos arenosos na porção basal, com sedimentos areno-argilo-carbonatados no topo. Embora constituídos por rochas similares, os dois grupos têm características distintas e condicionam diferentes domínios geoambientais. Da mesma forma que no Grupo Araí, os metassiltitos intemperizados do Grupo Paranoá podem conter concentrações econômicas de manganês. A idade de sedimentação é atribuída ao Meso-Neoproterozóico, em função de suas relações estratigráficas com os grupos Araí e Bambuí, posicionados respectivamente abaixo e acima deste pacote. O grau de metamorfismo é muito baixo, permitindo a preservação de estruturas sedimentares indicativas de deposição em mares plataformais (Antonelli Filho, 2011).

Além do embasamento e dos Grupos Araí e Paranoá, também são encontradas na área de estudo rochas pertencentes à Formação Ticunzal, granitos intrusivos, como os pertencentes à Serra da Cangalha, e coberturas detrito lateríticas recentes.

O relevo da área de estudo é marcado por uma grande variação de estruturas montanhosas com vales intercalados. No contexto do Grupo Araí (Formação Arraias) prevalecem terrenos acidentados, sustentados por quartzitos. Já no Grupo Paranoá desenvolveu-se um relevo moderadamente acidentado, esculpido sobre metassiltitos e rochas associadas (filitos, quartzitos). As cotas variam entre 750 e 1100 m, aproximadamente, compreendendo geoformas estruturadas relativamente suaves, o que resulta em paisagens mais abertas, também com algumas elevações residuais sustentadas por quartzitos (Antonelli Filho, 2011).

A diversidade geomorfológica presente na área de estudo decorre de uma combinação de fatores de ordem morfoestrutural em que o clima foi determinante na elaboração de diversas feições identificadas na paisagem local e mesmo com aspectos regionais expressivos.

Tais fatos são evidenciados pelo registro da sucessão de superfícies de aplainamento relacionadas a fases semiáridas - quando ocorreu homogeneização do relevo através do arrasamento das estruturas geológicas - alternadas por fases climáticas mais úmidas. À medida que os materiais de antigas superfícies de aplainamento são removidos por processos erosivos, que rompem o equilíbrio dinâmico entre a morfogênese e a pedogênese, novos eventos voltam a manter uma relação de equilíbrio resultando em múltiplas feições que passam a compor novos conjuntos fisiográficos (Antonelli Filho, 2011).

A Embrapa Monitoramento por Satélite disponibiliza imagens do Brasil geradas a partir de dados de radar, obtidos de sensores a bordo do ônibus espacial Endeavour, no projeto SRTM (Miranda, 2005). Estas imagens foram a base para a construção do modelo de elevação da área de estudo (Figura 2).

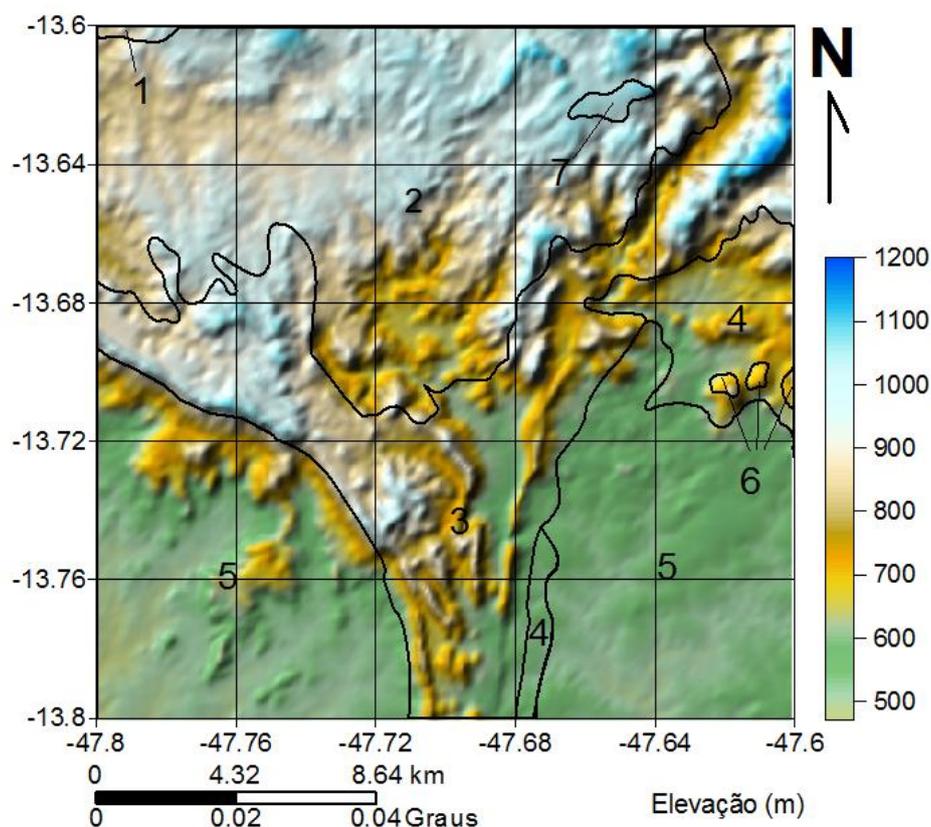


Figura 2- Modelo de elevação da área de estudo.

A partir dos dados topográficos do terreno, realizou-se um recorte da área de interesse para em seguida gerar o modelo de elevação deste local. O mesmo recorte foi feito para os dados magnetométricos.

Os dados topográficos e magnetométricos são expressos em diferentes unidades, motivo pelo qual se efetuou uma padronização, subtraindo cada valor da média aritmética e dividindo a diferença pelo desvio padrão do parâmetro (elevação e amplitude do sinal analítico). Logo após foi feita uma análise de grupos, com quatro grupos e duas variáveis.

A análise de grupamentos é uma técnica que procura estabelecer grupos dentro de um conjunto maior de objetos, medindo a semelhança entre eles (Davis, 1986). O procedimento habitualmente começa considerando cada objeto como sendo um conjunto unitário, e a partir daí, os conjuntos vão sendo reunidos com base na sua similaridade.

3. Resultados e Discussões

Os dados magnetométricos relativos à área de estudo foram processados com o objetivo de identificar as áreas anômalas em relação aos valores do campo magnético. No decorrer do processamento observou-se que o produto que melhor se adequava aos propósitos deste trabalho foi a imagem de Amplitude do Sinal Analítico (ASA) (Figuras 3 e 4).

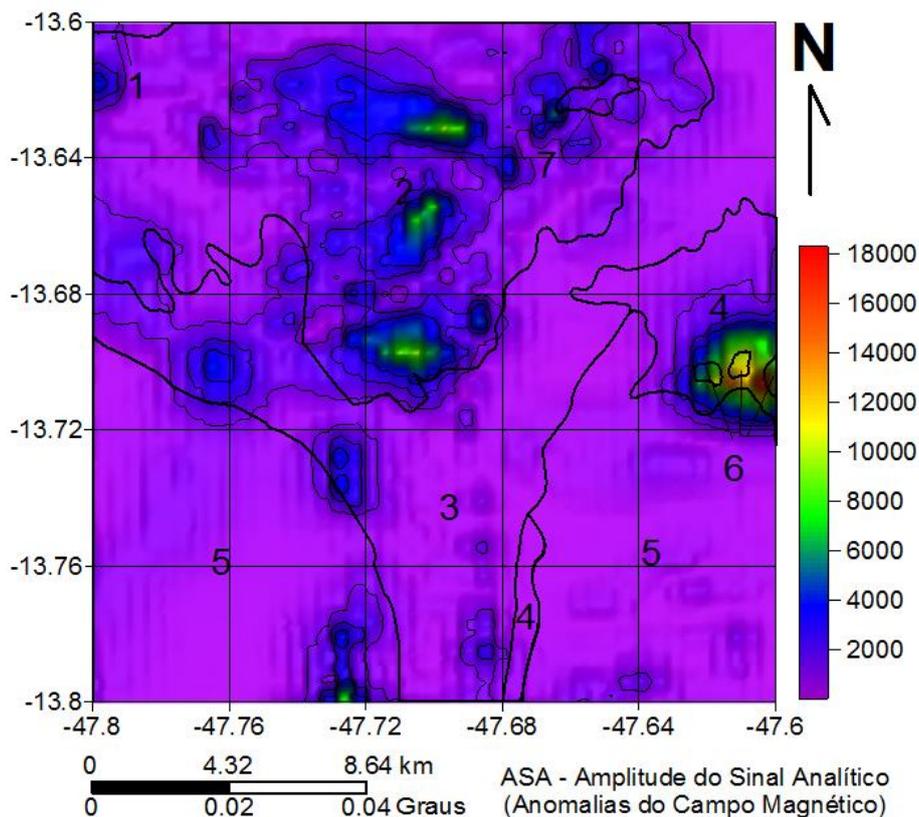


Figura 3- Imagem gerada a partir dos dados magnetométricos.

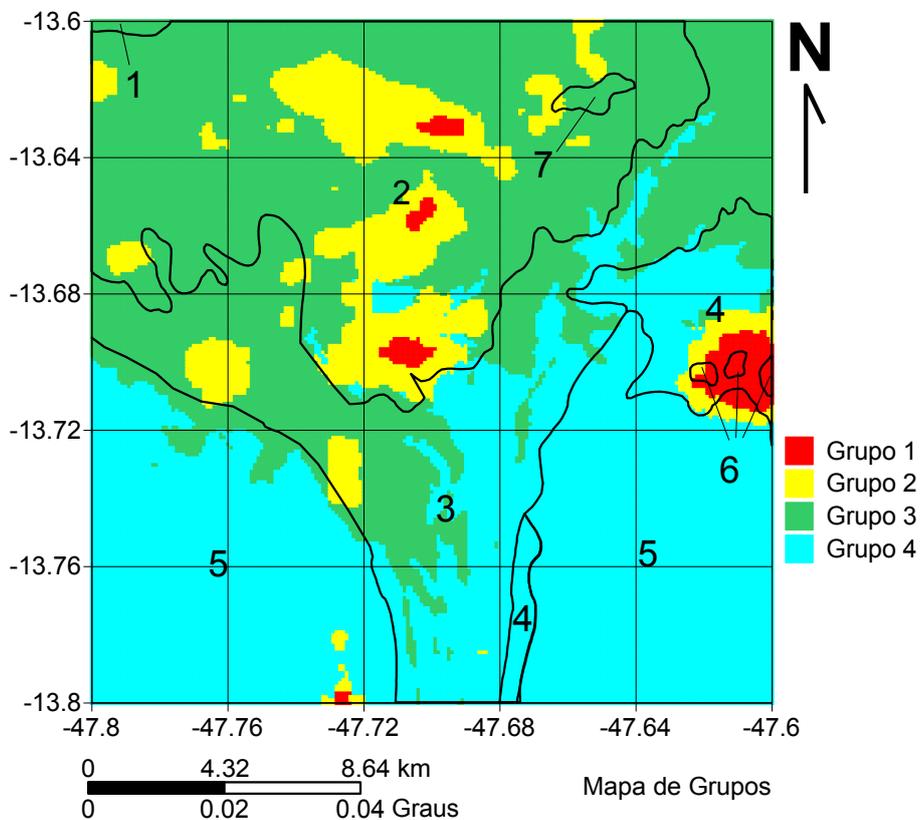


Figura 4- Imagem correspondente ao resultado da análise de grupos.

Na figura 3, observa-se que as áreas anômalas situam-se principalmente em locais de ocorrência da Formação Ticunzal e da unidade quartzítica do Grupo Paranoá. Nos locais onde ocorre o Complexo Granito Gnáissico, as anomalias magnéticas são praticamente inexistentes. Os locais onde ocorre o Grupo Araí apresentam características intermediárias.

A imagem de ASA (Figura 3) foi correlacionada com o modelo de elevação da área de estudo (Figura 2). O procedimento utilizado foi a análise de grupos considerando topografia e ASA como variáveis e adotando-se o número de grupos como quatro. O resultado da análise foi representado como uma imagem que mostra a distribuição espacial dos quatro grupos na área de estudo (Figura 4).

Os grupos 1 e 2 correspondem às anomalias magnetométricas que ocorrem associadas à Formação Ticunzal e ao Grupo Paranoá, diferenciando-se apenas na intensidade da anomalia, maior no Grupo 1 e menor no Grupo 2. O Grupo 3 corresponde aos terrenos mais elevados, associados aos Grupos Paranoá e Araí e desprovidos de anomalias magnéticas. O Grupo 4 corresponde ao Complexo Granito Gnáissico, também desprovido de anomalias magnéticas.

4. Conclusões

Neste trabalho foi realizada a integração entre dados topográficos, geológicos e aeromagnetométricos na região nordeste de Goiás, no município de Cavalcante. Foram geradas imagens de anomalias do campo magnético e uma das imagens, correspondente à amplitude do sinal analítico, foi correlacionada ao modelo de elevação do terreno e ao mapa geológico disponível para a área de estudo. A correlação permitiu observar que as áreas anômalas (maiores valores do sinal), em relação ao campo magnético, coincidem com os metassedimentos do Grupo Paranoá e também coincidem com as áreas de ocorrência da Formação Ticunzal. As áreas de ocorrência do complexo granito-gnáissico, menos elevadas topograficamente, coincidem com as áreas de menores valores do sinal (ausência de anomalias).

Agradecimentos

Ao Laboratório de Geofísica Aplicada da Universidade de Brasília por disponibilizar os equipamentos e softwares destinados ao processamento dos dados geofísicos e topográficos.

Referências Bibliográficas

Antonelli Filho, R. **Plano de Manejo da Reserva Natural Serra do Tombador, Cavalcante – Goiás**. Curitiba: Fundação Grupo Boticário de Proteção à Natureza. 2011.

Clark, D. A. **Magnetic petrophysics and magnetic petrology: aids to geological interpretation of magnetic surveys**. AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics. 1997, 17(2):83-103.

Davis, J. C. **Statistics Data Analysis in Geology**. 2.ed. New York, John Wiley & Sons. 1986.

Gunn, P. J. **Quantitative methods for interpreting aeromagnetic data: a subjective review**. AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics. 1997, 17(2):105-113.

Lasa. **Paleo-neoproterozóico do nordeste de Goiás Relatório final do levantamento e processamento dos Dados magnetométricos e gamaespectrométricos** Volume I Texto técnico. Rio de Janeiro: Lasa engenharia e prospecções. 2006.

Luyendyk, A. P. J. **Processing of airborne magnetic data.** AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics. 1997, 17(2), 31-38.

Milligan, P. R.; Gunn, P. J. **Enhancement and presentation of airborne geophysical data.** AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics. 1997, 17(2):63-75.

Miranda, E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevo Carta SD-23-V-C.** Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em:
[http: < //www.relevobr.cnpm.embrapa.br >](http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br). Acesso em 25 mar. 2014.

Santos, D. S.; Nascimento, C. T. C.; Bernardi, J. V. E. Espectrometria de raios gama em metassedimentos e rochas gnáissicas na região de Cavalcante, Goiás. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 16, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/>>. Acesso em: 20 mar. 2014.

Souza, J.D., Kosin, M., Heineck, C.A., Lacerda Filho, J.V., Teixeira, L.R., Valente, C.R., Guimarães, J.T., Bento, R.V., Borges, V.P., Santos, R.A., Leite, C.A., Neves, J.P., Oliveira, I.W.B., Carvalho, L.M., Pereira, L.H.M., Paes, V.J.C. Folha SD.23-Brasília. In: Schobbenhaus, C., Gonçalves, J.H., Santos, J.O.S., Abram, M.B., Leão Neto, R., Matos, G.M.M., Vidotti, R.M., Ramos, M.A.B., Jesus, J.D.A. de. (eds.). **Carta Geológica do Brasil ao milionésimo, Sistema de Informações Geográficas – SIG**, Programa Geologia do Brasil, CPRM, Brasília. 2004.

Zacchi, E. N. P; Silva, A. M; Rolim, V. K. **Análise integrada de dados multifonte e sua aplicação no mapeamento geológico das formações ferríferas da Serra de Itapanhoacanga, Alvorada de Minas, MG.** Revista Brasileira de Geofísica. 28(4): 643-656. 2010.