

Espectrometria de raios gama em metassedimentos e rochas gnáissicas na região de Cavalcante, Goiás

Déborah da Silva Santos¹
Carlos Tadeu Carvalho do Nascimento²
José Vicente Elias Bernardi³

¹Universidade de Brasília – Campus Planaltina
Planaltina – DF, Brasil, CEP 73345-010
deborahdasilva.89@gmail.com

²Universidade de Brasília – Campus Planaltina
Planaltina – DF, Brasil, CEP 73345-010
carlostadeu@unb.br

³Universidade de Brasília – Campus Planaltina
Planaltina – DF, Brasil, CEP 73345-010
bernardi@unb.br

Abstract. In this work, airborne gamma-ray spectrometry and digital elevation modeling were used for geological mapping. The integration of the geophysical and elevation data, using a statistical procedure, the cluster analysis, allowed to produce maps of statistical groups that have a good correlation with the geological units of Cavalcante - Goiás area, in the Middle-West of Brazil. In the study area, paleoproterozoic granite-gneiss basement and two proterozoic sedimentary units, Araí and Paranoá Groups, are founded. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) data were used for elevation modeling. Seven radiometric images were produced. The U, Th and K images were selected because showed better visual correlation with geological map than Total Count, Th/K, U/K and U/Th images. The cluster analysis using four clusters and four variables was performed with U, Th, K and topographic data. The cluster map is the visual representation of a statistical procedure which combined geophysical and topographic data from study area. The most important characteristic of cluster map is the presence of two distinctive groups that can be related with radiometric aspects from local rocks. This product showed that higher terrains present high Th and low U. In these areas sedimentary rocks are founded. Lower terrains, with gneissic rocks present low Th and high U.

Palavras-chave: geophysics, Paranoá Group, Araí Group, cluster analysis, geofísica, Grupo Paranoá, Grupo Araí, Mapa de grupamentos.

1. Introdução

A área de estudo localiza-se na porção oeste do município de Cavalcante, em Goiás (Figura 1). 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.

A gamaespectrometria é um método geofísico que faz uso de medidas radiométricas para diferenciar litologias com base no conteúdo de radiação gama emitida durante o decaimento do potássio (K) e das séries do urânio (U) e do tório (Th). Este tipo de informação pode ser utilizado como auxílio ao mapeamento geológico porque os níveis radioativos das rochas podem ser correlacionados com sua idade e forma de ocorrência.

O procedimento utilizado consistiu na integração de dados topográficos e gamaespectrométricos. 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 grupamentos, que neste caso consistiu na combinação da topografia com as imagens de urânio (U), tório (Th) e potássio (K), selecionadas em função da sua boa correlação com a geologia local.

2. Metodologia de Trabalho

A radioatividade é um fenômeno natural, próprio de elementos com núcleos grandes e instáveis. É um processo irreversível de perda de massa e de energia mediante o qual um átomo vai se desintegrando até atingir uma condição estável, Becegato e Ferreira (2005). Raios gama são uma forma de radiação eletromagnética com comprimento de onda entre 10^{-14} e 10^{-18} m. Os elementos que emitem radiação gama de forma natural são o urânio (U), tório (Th) e potássio (K). Por meio da gamaespectrometria, é possível determinar as concentrações dos radioisótopos destes elementos, Nascimento et al (2004).

Noventa por cento dos raios gama são emanados pela camada superficial do solo ou rocha, compreendida entre 30 e 45 cm de profundidade. A intensidade desta radiação se relaciona com a mineralogia e a química das rochas ou materiais originais e com o tipo de intemperismo atuante sobre estes, Wilford et al. (1997).

Na base de dados gamaespectrométricos foi feito o recorte correspondente à área de estudo. Com os dados deste recorte foram geradas as imagens radiométricas de urânio (U), tório (Th), potássio (K), contagem total e das razões Th/K, U/K e U/Th. O pressuposto utilizado na análise dessas imagens foi o de que elas deveriam possuir boa correlação visual com o mapa geológico disponível para a área de estudo, CPRM (2004). Com base nesse princípio selecionaram-se as imagens de urânio (U), tório (Th) e potássio (K), descartando-se as demais.

As unidades geológicas presentes na área de estudo compreendem o Complexo Granito Gnáissico Almas Cavalcante, o Grupo Araí e o Grupo Paranoá (Figura 2).

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 (na porção submersa de um continente). Resultam da evolução de um rifte intracratônico (bacia interna alongada, desenvolvida em substrato relativamente estável), 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, devida 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. Sobrepe-se ao Grupo Araí em discordância angular (indicativa de evolução distinta), 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 desse 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 3).

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 gamaespectrométricos.

Os dados topográficos e radiométricos 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, urânio (U), tório (Th) e potássio (K)). Logo após foi feita uma análise de grupos, com quatro grupos e quatro variáveis. O fluxograma do processamento de dados é apresentado na Figura 4.

A análise de grupamentos é uma técnica que procura estabelecer grupos dentro de um conjunto maior de objetos, medindo a semelhança entre eles, segundo 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.

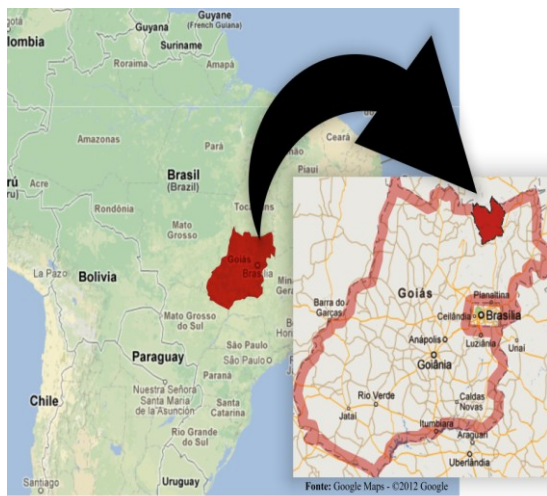


Figura 1- Município de Cavalcante.

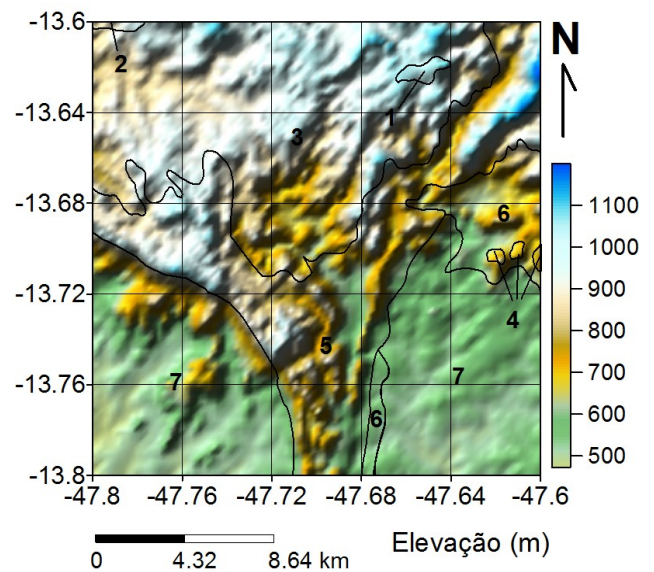


Figura 3- Modelo digital de elevação.

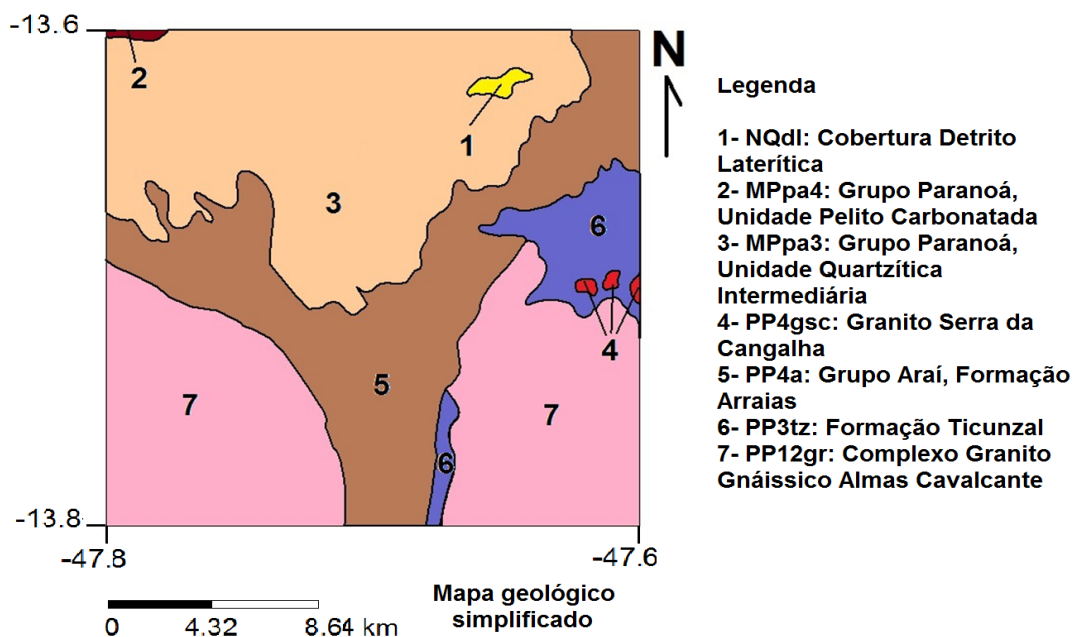


Figura 2- Mapa Geológico simplificado, CPRM (2004).

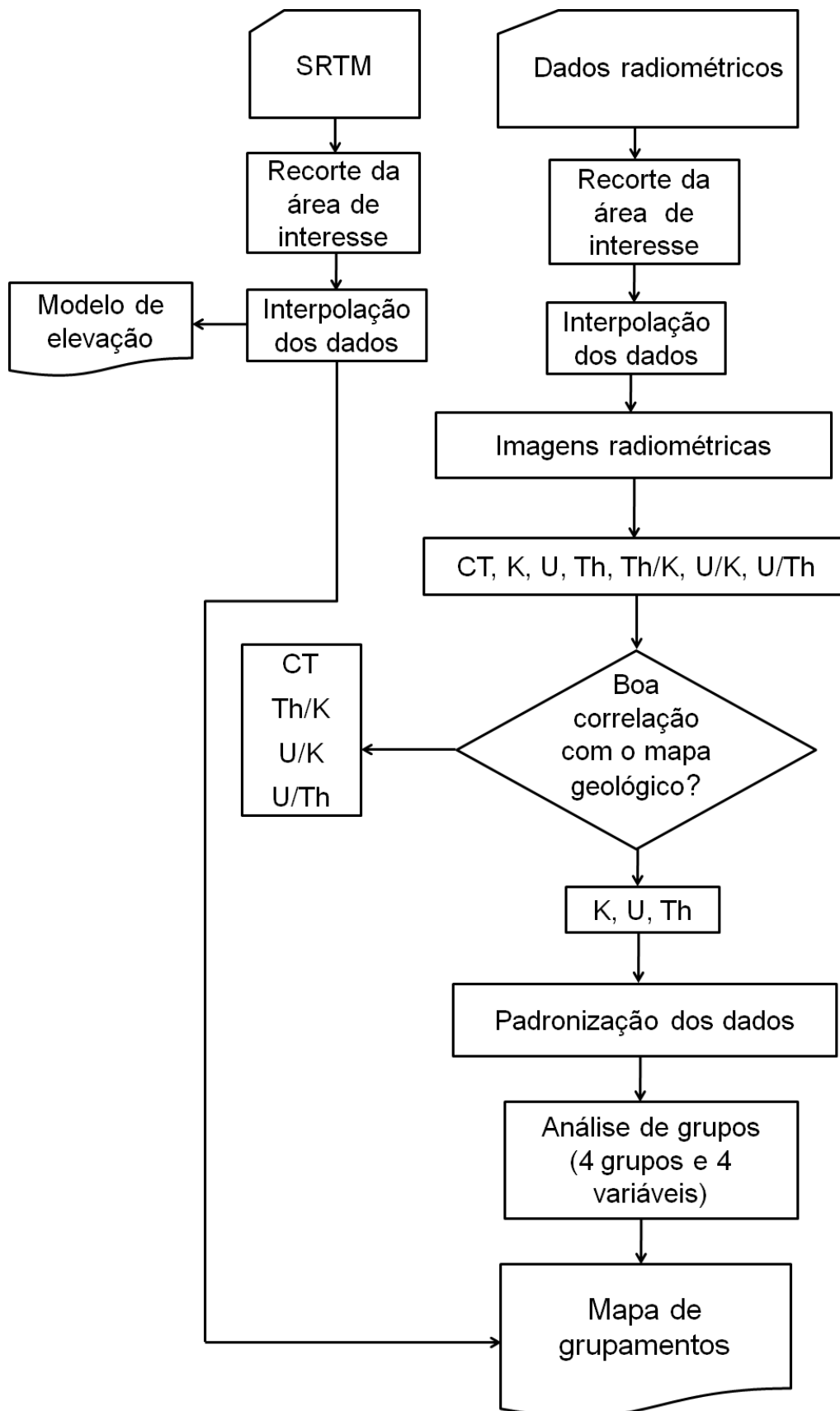


Figura 4 - Fluxograma do processamento de dados.

3. Resultados e Discussão

Na área de estudo, os maiores valores de urânio (U) foram observados nos ortognaisses do Complexo Almas Cavalcante, e os menores valores nos metassedimentos dos Grupos Araí e Paranoá (Figura 5).

No caso do tório (Th), observou-se uma tendência inversa à do urânio (U), sendo que os maiores valores foram observados nas áreas de coberturas detrítico-lateríticas (Figura 6). Estas coberturas, em parte, constituídas por argilominerais e óxidos de ferro, podem reter o tório (Th), o que pode explicar as anomalias observadas.

Com relação ao potássio (K) não foi observada uma diferença significativa nos padrões de distribuição dentre as formações geológicas por meio da gamaespectrometria (Figura 7). Tal fato pode ser explicado pela relativa abundância deste elemento nas várias litologias presentes na área de estudo.

Dentro de um dado tipo de rocha pode existir uma ampla variação das concentrações de radioelementos, o que impossibilita uma classificação petrográfica prévia com base apenas nos dados gamaespectrométricos. Contudo, em pequenas regiões, diferentes tipos de rochas podem ser identificados com base na concentração relativa dos radioelementos, Zacchi et al. (2010). No presente estudo observou-se que os canais individuais de urânio (U), tório (Th) e potássio (K) fornecem uma nítida correlação visual com o mapa geológico (Figura 2), confirmando a eficiência da gamaespectrometria em levantamentos geológicos. Em relação ao mapa geológico disponível para a área de estudo observa-se que a inclusão de informações gamaespectrométricas pode contribuir para o seu aperfeiçoamento.

O mapa de grupamentos (Figura 8) é a representação visual da análise estatística da combinação entre os dados referentes aos mapas de urânio (U), tório (Th), potássio (K) e do modelo de elevação da área de estudo. A partir de um conjunto maior, formado por estes quatro elementos (urânio (U), tório (Th), potássio (K) e o modelo de elevação da área), os dados são reunidos e separados em subgrupos de acordo com a similaridade entre eles.

A característica mais marcante do mapa de grupamentos é a presença de dois grupos distintos que podem estar relacionados aos aspectos radiométricos das litologias locais.

No primeiro grupo, representado pela porção norte, a prevalência das cores azul e verde está relacionada com os maiores valores de elevação. Nesta porção nota-se a presença do radioelemento tório (Th), que durante os processos de intemperismo tende a ser adsorvido pelos minerais de argila, explicando-se assim a sua presença nas coberturas detrítico-lateríticas, que tem valores de altitude entre 1000 e 1100 metros (Figura 3).

No segundo grupo, representado pela porção sul, as cores amarela e vermelha indicam os menores valores de elevação. A presença do radioelemento urânio (U) está associada às rochas granito gnáissicas, que estão entre as cotas topográficas de 500 a 600 metros. O urânio (U), assim como tório (Th), tende a ser adsorvido nos minerais de argila e precipitado com óxidos de ferro nos solos. Dessa forma, os horizontes mais superficiais do solo tendem a concentrar valores mais elevados de urânio (U), Zacchi et al. (2010).

Em ambas as porções do mapa de grupamentos, o radioelemento potássio (K) apresenta uma ampla distribuição o que se deve ao fato desse elemento ser geoquimicamente o mais móvel na maioria das condições de intemperismo, Zacchi et al. (2010).

Ao analisar as imagens dos canais individuais (urânio (U), tório (Th) e potássio (K)) nota-se que os radioelementos têm uma distribuição distinta, evidenciando um comportamento espacial no qual não existe a sobreposição desses elementos, o que também pode ser observado no mapa de grupamentos.

O mapa de grupamentos mostrou que as regiões topograficamente mais elevadas são caracterizadas por alto tório (Th) e baixo urânio (U). E as áreas menos elevadas, são

caracterizadas por baixo tório (Th) e alto urânio (U), mostrando forte correlação com a topografia da área de estudo.

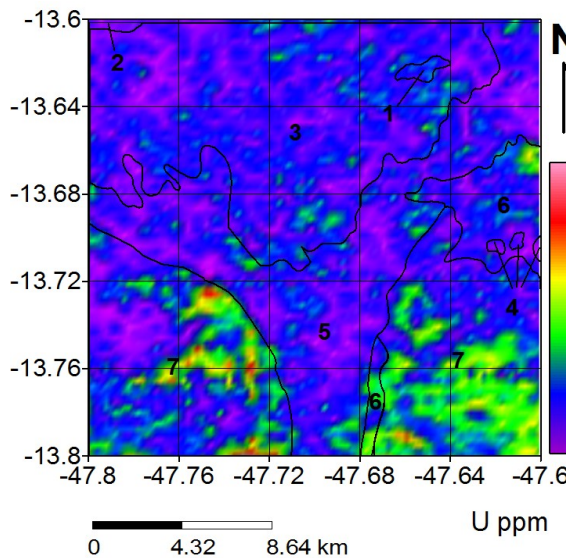


Figura 5 - Imagem radiométrica do Urânio.

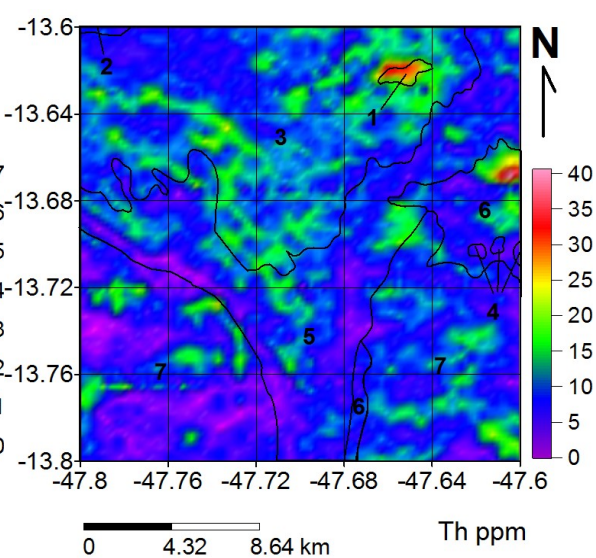


Figura 6 - Imagem radiométrica do Tório.

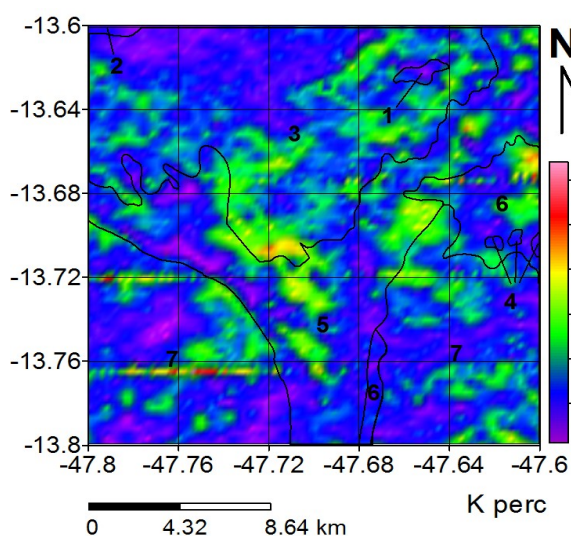


Figura 7 - Imagem radiométrica do Potássio.

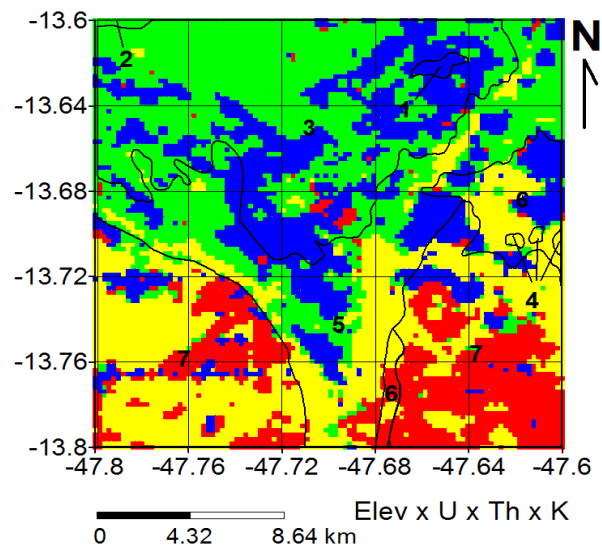


Figura 8 - Mapa de grupamentos.

4. Conclusões

As conclusões deste estudo podem assim ser resumidas:

I- A combinação dos dados de sensoriamento remoto e aerogeofísica em um mapa de grupamentos resultou em um produto capaz de mapear as principais ocorrências de radioelementos distribuídos na área de estudo.

II- Fica nítida a diferença das assinaturas referentes às litologias das regiões norte e sul da área de estudo representada, no mapa de grupamentos.

III- O mapa de grupamentos mostrou que as regiões topograficamente mais elevadas são caracterizadas por alto tório (Th) e baixo urânio (U). Nestes locais são encontradas rochas metassedimentares. As áreas menos elevadas, onde ocorrem os ortognaisses, são caracterizadas por baixo tório (Th) e alto urânio (U).

IV- Entende-se que a existência de novas unidades tanto nas áreas de metassedimentos, como nas áreas de ortognaisses são validadas pelos dados gamaespectrométricos.

Agradecimentos

Laboratório de Geofísica Aplicada da Universidade de Brasília.

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.

Becegato, V. A; Ferreira, F. J. F. Gamaespectrometria, resistividade e susceptibilidade magnética de solos agrícolas no noroeste do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geofísica**. 23(4): 371-405, 2005.

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

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.

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 nov. 2011.

Nascimento, C. T. C; Pires, A. C. B; Moraes, R. A. V. Reconhecimento de solos por meio de resistividade elétrica e radiação gama. **Revista Brasileira de Geociências**. 34(3): 383-392, 2004.

Santos, A. C. L. Gamaespectrometria aplicada ao estudo de áreas agrícolas. Dissertação (Mestrado em Geologia)-Universidade de Brasília, Brasília. 2007.

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.

Wilford, J. R; Bierwith, P. N; Craig, M. A. Application of airborne gamma-ray spectrometry in soil/regolith mapping and applied geomorphology. **AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics**. v 17: 201-216, 1997.

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.