



Avaliação de Dados Gamaespectrométricos da Zona de Transição entre o Domínio Pernambuco-Alagoas e o Orógeno Sergipano.

Mariana R. C. Sampaio (IGEO/UFBA), Onofre H. D. J. das Flores (IGEO/UFBA, FE/Unilúrio), Alanna Costa Dutra (IGEO/UFBA)

Copyright 2022, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica.

Este texto foi preparado para a apresentação no IX Simpósio Brasileiro de Geofísica, Curitiba, 4 a 6 de outubro de 2022. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do IX SimBGf, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

Resumo

O emprego de métodos geofísicos na pesquisa mineral vem destacando-se cada vez mais no mercado exploratório brasileiro. Neste trabalho, foram processados e interpretados dados de concentrações de radioelementos associados à cobertura da Zona de Transição entre o Domínio Pernambuco-Alagoas e o Orógeno Sergipano, localizada na Província Borborema Meridional, nordeste do Brasil. A região, com evidenciado potencial metalogenético apresentou assinaturas radiométricas interessantes com destaque para os domínios Pernambuco-Alagoas, Rio Coruripe e Marancó-Poço Redondo. Esses resultados estão em concordância com encontrados por outros autores. Além disso, os resultados também delimitaram os contornos dos domínios geotectônicos: Canindé, Macururé, Marancó-Poço-Redondo e Rio Coruripe que constituem o Cinturão Sergipano ao sul.

Introdução

A utilização de métodos geofísicos para a exploração mineral atualmente apresenta-se bastante diversificada. Além de promover maior confiabilidade a um empreendimento mineral e atração de investimentos, gera lucros com a redução de gastos extensivos com sondagens e outras metodologias diretas para avaliação da ocorrência de mineralizações *in situ*. Assim, segundo a história evolutiva e os elementos mais abundantes nas formações do modelo geológico ou depósito mineral, são realçadas diferentes características em levantamentos de variados métodos geofísicos auxiliando na busca por novos alvos.

A área de estudo deste trabalho refere-se à Zona de Transição entre o Domínio Pernambuco Alagoas e o Orógeno Sergipano, localizada no Nordeste do Brasil e inserida no contexto geotectônico da Província Borborema. O trecho destacado é marcado por feições cisalhantes, que segundo Mendes & Brito (2017), representam passagens entre diferentes domínios geotectônicos que compreendem a região estudada. Fazem parte deste conjunto, o domínio Pernambuco-Alagoas ao norte, e os domínios Canindé, Macururé, Marancó-Poço-Redondo e Rio Coruripe, compondo a Faixa Sergipana ao sul.

O domínio mais ao norte é caracterizado pela ocorrência de afloramentos de complexos graníticos, exibindo uma presença expressiva de intrusões de granitoides ao longo de toda a sua extensão, especialmente na porção sudoeste (Mendes & Brito, 2017). Na margem leste, o Domínio Rio Coruripe é qualificado pela ocorrência de rochas migmatíticas, gnáissicas e metamórficas, abrangendo o importante Complexo Arapiraca, com ocorrências de cobre, ferro, cobalto e chumbo em seus campos. Adjacente a esta área, encontramos o Domínio Macururé, constituído por sequências de rochas metamórficas e máficas/ultramáficas. Neste terreno verifica-se a presença de diversos corpos graníticos intrusivos e das rochas arqueanas do complexo gnáissico do domo de Jirau do Ponciano. Seguindo para o Oeste ao longo da faixa estudada está o Domínio Canindé, expressivo pelas rochas dos complexos metavulcanossedimentares Araticum e Canindé. Por fim, o Domínio Marancó – Poço Redondo é marcado pelos migmatitos do corpo Poço-Redondo e pelas rochas metavulcânicas do complexo Marancó (Oliveira et al., 2010; Lima et al., 2017; Mendes & Brito, 2017).

Examinada pelo Serviço Geológico do Brasil, a região contabiliza cerca de 160 ocorrências minerais, 181 destaques de mineralizações, 133 estações geoquimicamente anômalas, 11 áreas com potencial para exploração mineral e alguns indícios de alterações hidrotermais. Com o extenso trabalho de mapeamento geológico *in situ*, a demarcação dos complexos minerais da região nestas 11 áreas potenciais, incluem cerca de 6 indicações de natureza Ferrífera e/ou Cuprífera (figura 1). Os destaques minerais estão associados aos depósitos de ferro bandado dos complexos Nicolau-Campo Grande e Arapiraca, as mineralizações de cobre do Domínio Rio Coruripe (Complexo Arapiraca), a Fazenda Júlia no Complexo Araticum (Domínio Canindé) e as ocorrências de minerais de pegmatito e gemas no setor Limoeiro de Anadia (Complexo Arapiraca) (Lima et al., 2017).

Metodologia

A avaliação geofísica escolhida para este trabalho destaca-se pela excelente associação dos seus resultados com a geologia superficial da região, embora apresente baixa profundidade de alcance se comparada a outras metodologias. Logo, através da análise gamaespectrométrica, baseada na contagem do teor local dos radioelementos U, Th e K da zona de estudo, buscaram-se conclusões que levassem a uma conexão com possíveis alvos exploratórios. Os dados aerogamaespectrométricos utilizados neste trabalho são

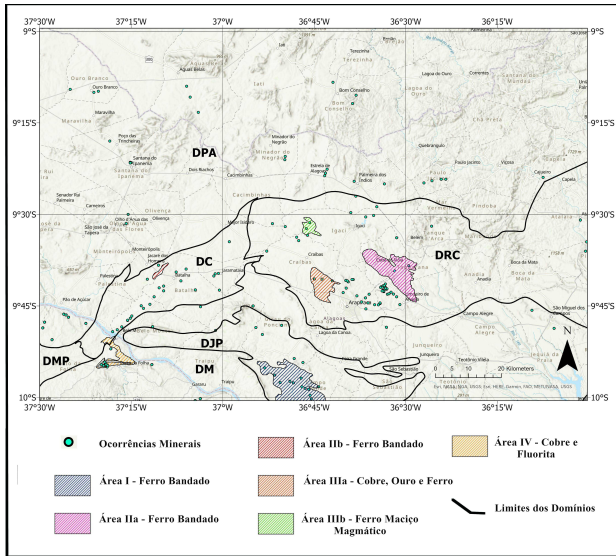


Figura 1 – Mapa Topográfico da Área de estudo com sobreposição de Ocorrências Minerais e Áreas Potenciais para exploração Ferrífera e Cuprífera pelo Serviço Geológico do Brasil. Escala 1:504.771; DC-Domínio Canindé, DM-Domínio Macururé, DMP-Domínio Marancó-Poço Redondo, DPA-Domínio Pernambuco-Alagoas, DRC-Domínio Rio Coruripe e DJP-Domo Jirau do Ponciano..

oriundos do projeto aerogeofísico Paulo Afonso-Teotônio Vilela (código 1104), realizado no período de 16 de setembro de 2010 a 5 de junho de 2011, totalizando 560 horas de voo executadas pela Microsurvey Aerogeofísica e Consultoria Científica Ltda, a serviço da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais do Brasil (CPRM, 2011). O levantamento cobriu uma área de 40.819 Km², englobando seções dos estados de Alagoas, Pernambuco, Bahia e Sergipe.

A aquisição, realizada a uma altura nominal de 100 metros, contabilizou linhas de voo de direção N-S e espaçamento de 0,5 km, enquanto as linhas de controle, com direção E-W, foram operadas com espaçamento de 10 km. O gamaespectrômetro empregado na campanha foi o modelo GRS410 da Pico Envirotec, de 512 canais, com leituras realizadas a cada segundo, representando medições a intervalos de amostragem de aproximadamente 73,0 m no terreno, associado a um sistema de observação de satélite GPS, com a aeronave a uma velocidade média de 265 km/h (CPRM, 2011).

A metodologia empregada permite caracterizar a região de estudo, conforme a contagem total dos radioelementos Potássio, Urânio e Tório, obtidas por medidas de radiação gama por gamaespectrômetros dentro de uma janela energética de 0,41-2,81 MeV. O caráter diferenciado entre os teores dos elementos U, Th e K nas rochas é atribuído à composição mineralógica das mesmas, provocadas por fatores internos como a evolução geológica da unidade, ou externos, a exemplo dos processos erosivos que modificam as taxas registradas e a presença de fluidos de alteração hidrotermal que podem ou não provocar

mineralizações associadas (Ribeiro et al., 2014).

De posse das informações aerogamaespectrométricas e posições geográficas dos dados disponibilizados pela CPRM, realizou-se a importação dos mesmos para conseguinte processamento no software Oasis Montaj (Seequent). Posteriormente, executou-se a interpolação individual dos canais de teores dos radioelementos para a produção dos mapas de concentrações de Potássio, Urânio e Tório da região. Os grids foram gerados através do método de Mínima Curvatura, interpolados em malha quadrada e regular com dimensões de 125 m x 125 m, equivalente a 1/4 do espaçamento entre as linhas de voo.

A partir dos mapas primordiais gerados, foi possível desenvolver os grids para as razões entre os radioelementos, K/eTh, K/eU e eU/eTh, ferramentas usualmente empregadas para destacar diferenças de composição litológicas especialmente em corpos graníticos. Em seguida, foi reproduzido o mapa Ternário da área de estudo, aplicando-se o padrão RGB (Red, Green e Blue), uma composição que associa as cores vermelho, verde e azul respectivamente aos radioelementos K, Th e U. A interpretação deste mapa é muito utilizada para mapeamento geológico ressaltando contrastes entre áreas com diferentes concentrações dos três elementos, facilitando a visualização do padrão requerido e sendo essencial na caracterização gamaespectrométrica produzida nesta pesquisa.

Resultados

Após o tratamento de dados completo e apresentado no tópico anterior, seguiu-se para uma análise minuciosa das estruturas geológicas do local, com o intuito de distinguir/descrever as principais litologias bem como identificarem locais com potencialidade para ocorrência de mineralização. Os resultados gamaespectrométricos referentes às concentrações de potássio, tório e urânio são apresentados nas figuras 2, 3 e 4, respectivamente.

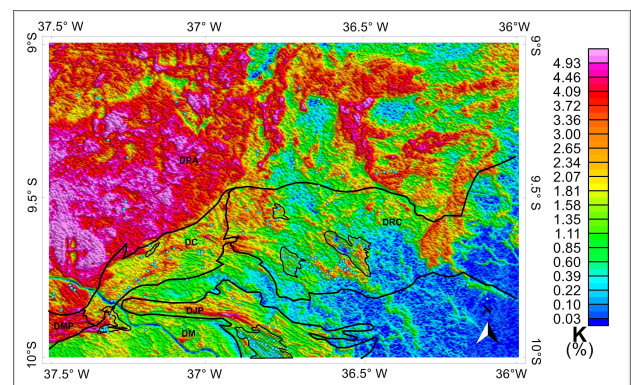


Figura 2 – Mapa de concentração de potássio com indicação de ocorrências minerais (círculos azuis e áreas hachuradas) e delimitação de domínios geotectônicos.

Em relação ao potássio (mapa da figura 2), os registros mostram um enriquecimento deste elemento no domínio pernambuco-alagoas (DPA), chegando a alcançar um

pico de aproximadamente 8,28%, especialmente no oeste. Valores relativamente baixos são observados nos domínios, Canindé (DC), Rio Coruripe (DRC), Domo Jirau do Ponciano e no Domínio Macururé, com especial destaque a sudeste da área.

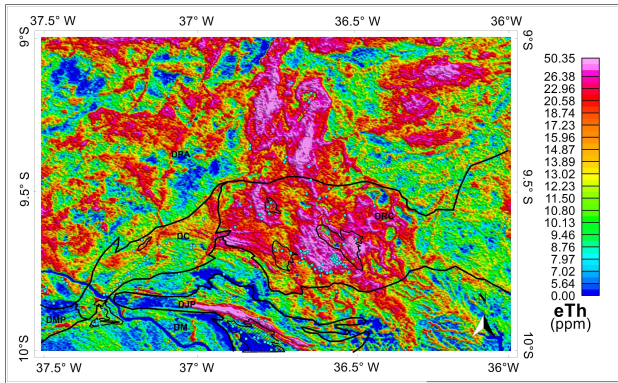


Figura 3 – Mapa de concentração de tório com indicação de ocorrências minerais (círculos azuis e áreas hachuradas) e delimitação de domínios geotectônicos.

No que tange as concentrações de tório equivalente (mapa da figura 3), os resultados mostram altos valores no domínio DRC e na parte central do domínio pernambuco alagoas, alcançando um pico de 50,35 ppm, e valores baixos são observados na região sul desta área, abrangendo principalmente os domínios Maranco-Poco-Redondo (DMP), DM e DJP, nesses domínios pode-se observar uma tendência linear dos baixos valores de eTh , além disso, também são observados alguns registros baixos a oeste do DPA de forma alternada.

Observando o mapa de concentração de Urânio (mapa da figura 4), nota-se que o domínio Rio Coruripe é caracterizado por

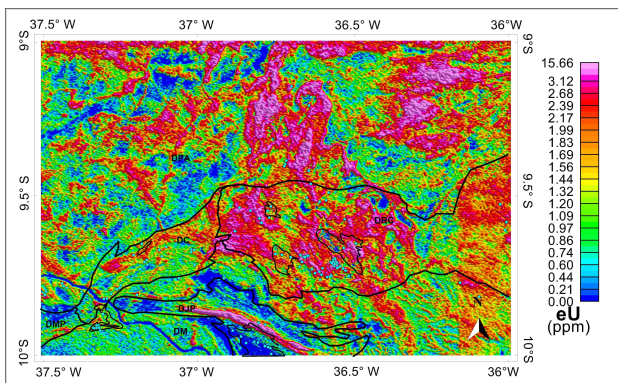


Figura 4 – Mapa de concentração de urânio com indicação de ocorrências minerais (círculos azuis e áreas hachuradas) e delimitação de domínios geotectônicos.

altos valores muito bem distribuídos, assim como na parte central do domínio Pernambuco-Alagoas. Baixos valores são destacados a oeste e sudoeste desta área, abrangendo principalmente os domínios Pernambuco-Alagoas (a oeste), Marancó-Poço-Redondo, Canindé,

Domo Jirau do Ponciano e o domínio Macururé. Assim como percebido nessa região, as assinaturas radiométricas de Urânio e Tório em uma área são usualmente coincidentes, muitas vezes destacando as tendências divergentes entre estes dois mapas como anomalias indicativas de diferenciações litológicas e genéticas entre associações rochosas.

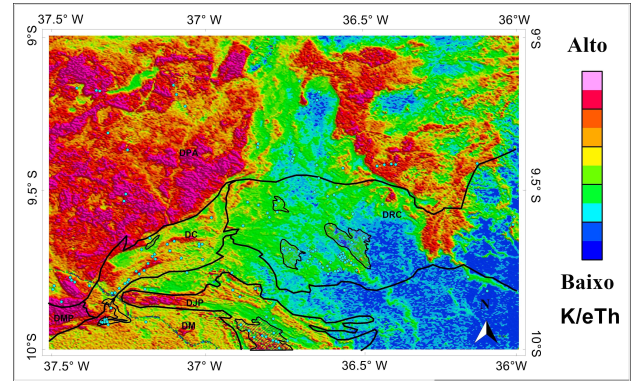


Figura 5 – Mapa da razão K/Th com indicação de ocorrências minerais (círculos azuis e áreas hachuradas) e delimitação de domínios geotectônicos.

Com o intuito de descrever mudanças litológicas bem como destacar a diferença observada entre as concentrações dos elementos radiométricos e também identificar áreas com forte alteração hidrotermal, foram gerados os mapas das razões K/eTh , K/eU e eU/eTh que são apresentadas nas figuras 5, 6 e 7, respectivamente.

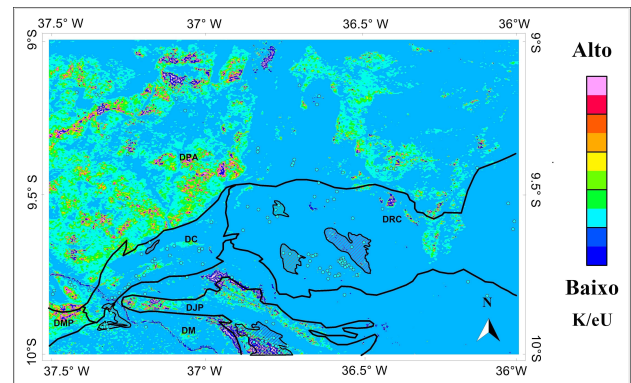


Figura 6 – Mapa da razão K/U com indicação de ocorrências minerais (círculos azuis e áreas hachuradas) e delimitação de domínios geotectônicos.

Portanto, o mapa da razão potássio e o tório equivalente (mapa da figura 5), mostra valores variados ao longo de toda área de estudo, porém, altos valores são mais concentrados na região norte com maior ênfase no domínio pernambuco-alagoas, caracterizada por alta concentração de potássio e conseqüentemente baixa concentração de tório. A região sudeste é caracterizada por baixa razão potássio-tório, e conseqüentemente alta concentração de tório.

O mapa da razão potássio e urânio equivalente (mapa

da figura 6) apresenta um comportamento similar a razão potássio e o tório equivalente. No mapa da razão K/U , os resultados mostram valores diferenciados e distribuídos em toda área, sendo que altos valores estão concentrados na parte noroeste abrangendo principalmente o domínio Pernambuco-Alagoas, indicando que este domínio é enriquecido do elemento potássio, e conseqüentemente com baixa concentração de urânio.

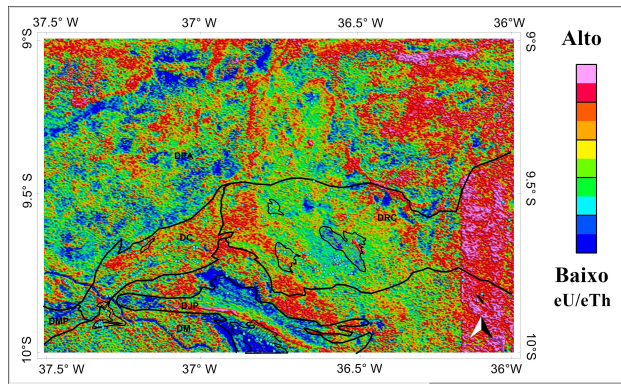


Figura 7 – Mapa da razão U/Th com indicação de ocorrências minerais (círculos azuis e áreas hachuradas) e delimitação de domínios geotectônicos.

Em relação à razão entre o urânio e tório equivalentes (mapa da figura 7), os resultados mostram valores diferenciados em toda área, porém a região leste apresenta valores mais concentrados, isto é, com enriquecimento de urânio e empobrecimento de tório. Além disso, este mapa permite realçar e delimitar muito bem o domínio Canindé e também o domo Jirau do Ponciano caracterizado por baixa razão.

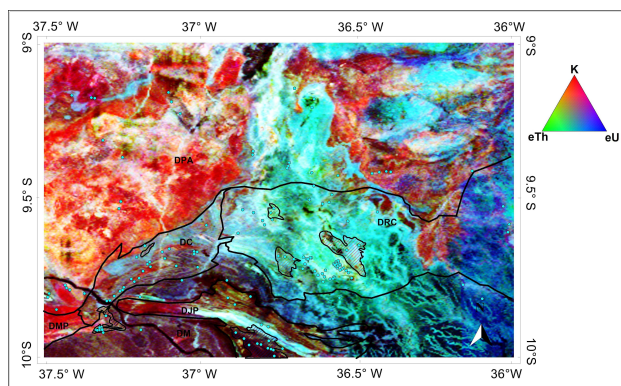


Figura 8 – Mapa radiométrico ternário com indicação de ocorrências minerais (círculos azuis e áreas hachuradas) e delimitação de domínios geotectônicos.

O mapa ternário (mapa da figura 8) dispõe uma cor para cada elemento. No padrão RGB o vermelho é associado ao K, verde para Th e azul para U. A região noroeste apresenta uma contribuição maior de potássio em detrimento de outros elementos, principalmente no domínio Pernambuco-Alagoas e também na região nordeste da área de estudo, de maneira alternada. O

domínio Rio Coruripe é caracterizado por uma contribuição bastante expressiva do elemento tório. As regiões mais a leste apresentam uma predominância do elemento urânio, a análise desta imagem permitiu caracterizar limites de algumas das principais unidades geológicas da área, como, por exemplo, o domínio Rio Coruripe e Canindé discriminados por alto teor de tório, e o domo Jirau do Ponciano caracterizado por uma contribuição alternada de tório e potássio.

Discussão e Conclusões

Os resultados encontrados revelam que o DPA e o domínio Marancó-Poço Redondo, apresentam um enriquecimento do elemento potássio, conforme se pode observar nas figuras 2, 5, e 6, e um empobrecimento dos outros elementos (urânio e tório). Este enriquecimento do K, também é evidenciado através dos trabalhos de Teles (2019), Sampaio (2019) e Oliveira & Rodrigues (2019b) que também apresentam outras zonas de enriquecimento do K. Os teores de potássio estão associados à ocorrência de rochas ígneas e de intrusões de granitoides, que por sinal se fazem sentir com grande expressividade nestes domínios. Em relação ao urânio equivalente (figuras 4, 7, 8), os resultados indicam um enriquecimento deste elemento no DPA e DRC, além de um empobrecimento nos demais domínios que constituem o Cinturão Sergipano, estando também em concordância com os obtidos por Sampaio (2019), Oliveira & Rodrigues (2019a), Oliveira & Rodrigues (2019b).

O urânio é comumente enriquecido nos granitos, pegmatitos e depósitos hidrotermais, um fato que se verifica no DPA e DRC caracterizados pela ocorrência de afloramentos de complexos graníticos e pela ocorrência de rochas migmatíticas, gnáissicas e metamórficas. Ademais, os resultados dos mapas de concentração, razões e o mapa ternário com ênfase para o urânio, permitiram delimitar a estrutura dômica do Jirau do Ponciano, bem como definir os contornos dos domínios Rio Coruripe, Macururé e Canindé. Esses contornos também foram encontrados por alguns autores como Oliveira & Rodrigues (2019b), Oliveira & Rodrigues (2019a), Teles (2019), Sampaio (2019).

No que diz respeito ao tório equivalente, os resultados estão coincidentes com os altos teores deste radioelemento também percebidos em Sampaio (2019), Oliveira & Rodrigues (2019a), Oliveira & Rodrigues (2019b) no DPA e DRC. Além disso, os resultados de eTh, assim como eU, permitiram delimitar a estrutura dômica e os principais domínios do cinturão Sergipano conforme anteriormente apresentado.

Agradecimentos

Agradecemos à CPRM pelos dados fornecidos, ao CPGG - UFBA e FAPESB pelo apoio e a todos os pesquisadores contribuintes deste projeto.

Referências

CPRM, S. G. d. B., 2011. *Projeto aerogeofísico paulo afonso-teotônio vilela*, Tech. rep., CPRM.

Lima, H. M., Pimentel, M. M., Lira Santos, L. C. M. d. & Mendes, V. A., 2017. *Análise tectônica da porção nordeste da Faixa Sergipana, Província Borborema: Dupla vergência em resposta a colisão oblíqua entre o Cráton do São Francisco e o terreno Pernambuco-Alagoas*, Geonomos, vol. 25: 20–30.

Mendes, V. A. & Brito, M. d. F. L., 2017. *Geologia e recursos minerais da Folha Arapiraca sc. 24-xd: estado de Alagoas escala 1: 250.000.*, Tech. rep., CPRM.

Oliveira, E. P., Windley, B. F. & Araújo, M. N. C., 2010. *The neoproterozoic Sergipano orogenic belt, ne brazil: a complete plate tectonic cycle in western Gondwana*, Precambrian Research, vol. 181(1-4): 64–84.

Oliveira, R. G. d. & Rodrigues, M. d. A. C., 2019a. *Atlas aerogeofísico do estado de alagoas*.

Oliveira, R. G. d. & Rodrigues, M. d. A. C., 2019b. *Atlas aerogeofísico do estado de pernambuco*.

Ribeiro, V. B., Mantovani, M. S. M. & Louro, V. H. A., 2014. *Aerogamaespectrometria e suas aplicações no mapeamento geológico*, Terræ Didática, vol. 10(1): 29–51.

Sampaio, M., 2019. *Interpretação e modelagem de dados geofísicos no embasamento adjacente à bacia de sergipe-alagoas*, Trabalho de Graduação em Geofísica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.

Teles, M. R. L., 2019. *Atlas aerogeofísico do estado de sergipe*.