



GAMAESPECTROMETRIA AÉREA COMO DISCRIMINANTE GEOLÓGICO: ARCO MAGMÁTICO E MACIÇO DE GOIÁS

(*)Marcelo L. B. Blum^(1,2,3); Augusto C. B. Pires^(1,2); Roberto A. V. Moraes^(1,2) & Hardy Jost^(2,4)

(1) LGA/IG/UnB, (2) IG/UnB, (3) HGEO, (4) ADIMB; e-mail: mlbblum@unb.br

Abstract

The geological complexity of the central region of Brazil is a frequent subject in the Brazilian geoscientific discussions. This complexity can be verified by the amount of published papers. The large amount of information is an indication of the lack of standardization of the various geological interpretation products: the geological maps. This turns in a weary battle any attempt to assemble these products. This battle befalls due to the statement that the field is the geologist's "dorsal backbone". The activity that anticipates field a campaign is as important as the survey itself, for it there that is defined all the procedures that will be used, including an idea of the local regional geology. The activity that follows the field work is also important. This is where a new interpretation is done in light of the new information. Here, resides the importance of a tool that should always be used before and after any geological work: the geophysics. The outcome of an interpretation can help to answer most of the questions than, sometimes a simple rock outcrop can. This article is a case study and the selected area is the Massive and the Magmatic Arch in the central region of the Goiás State using gammaespectrometric data. The results show that it is a much more complex geology than mapping can show.

INTRODUÇÃO

A complexidade geológica da região central do Brasil é tema freqüente nas discussões geocientíficas brasileiras. A grande quantidade de informação tem servido para se verificar a falta de padronização dos diversos produtos de interpretações geológicas: os mapas geológicos. Tal fato torna numa batalha fatigante qualquer tentativa de reunir esses produtos em um mais abrangente.

Toda essa batalha ocorre devido a afirmação de que o campo é a "espinha dorsal" do geólogo. Todavia, a luta pode ser vencida através de outros métodos disponíveis, que são, ou deveriam ser, utilizados antes e depois de qualquer levantamento geológico. O uso de dados gamaespectrométricos é um deles.

A interpretação de dados gamaespectrométricos decorre de uma série de procedimentos. Desde a coleta dos dados, passando por correções, interpolações, até que se chegue a um produto passível de interpretação. O resultado de todo esse processo pode ajudar a responder a mais perguntas do que um simples afloramento de rocha, auxiliando o mapeamento geológico e a prospecção mineral.

Como vai se observar no texto que se segue, a gamaespectrometria é uma ferramenta poderosa, que pode sugerir mudanças nos mapas geológicos da região do maciço e uma parte do arco magmático situados no Estado de Goiás.

ARCABOUÇO GEOLÓGICO

O Maciço de Goiás (MGO), situado na porção central da Província Tocantins, foi identificado por Almeida (1967) como um segmento crustal que teria atuado como pós-país cercado por geossinclínios laterais representados pelas faixas Brasília e Araguaia. Posteriormente, Marini *et al.* (1981) definiram o maciço como um alto do embasamento que teria recebido pouca cobertura sedimentar afetada, juntamente com o embasamento, por dobramentos, metamorfismo e intrusões sintectônicas durante os ciclos Uruçuano e Brasileiro. Fuck (1994) define o maciço como sendo um microcontinente envolvido em processos colisionais brasileiros. O microcontinente engloba os *greenstone belts* de Goiás, Faina, Crixás, Guarinos e Pilar de Goiás formados no Arqueano e os terrenos ortognáissicos arqueanos e paleoproterozóicos que representam conjuntos polimetamórficos de composição em geral tonalito-granodiorítica. Jost *et al.* (1994) propõem que os terrenos ortognáissicos do MGO sejam subdivididos em **complexos** e **blocos**. Segundo os autores, são considerados complexos aqueles terrenos cujos limites com as rochas supracrustais não sejam definidos por zonas de cisalhamento. Já os blocos possuem limites tectônicos. São seis os blocos/complexos que separam as faixas *greenstone* umas das outras: Uvá, Itapuranga, Anta, Caiamar, Moqué e Hidrolina (Jost *et al.* 1998). Os limites ocidental e oriental desse conjunto são, respectivamente, zonas de cisalhamento transpressional que o separam de um arco magmático do Neoproterozóico e rampas frontais que colocaram complexos máfico-ultramáficos sobre terrenos ortognáissicos e terrenos granulíticos. Um elemento estrutural muito importante presente na região é a Megainflexão dos Pirineus que reflete uma mudança direcional das estruturas da Faixa Brasília, principalmente pela forte inflexão, falhas transcorrentes, lâminas de cavalgamentos e falhas direcionais que truncam estruturas preexistentes no maciço.

A oeste do maciço, encontra-se o Arco Magmático de Goiás, que foi gerado em consequência da subducção de litosfera oceânica e subsequente colisão entre o Cráton Amazônico e o Cráton São Francisco ou uma placa menor representada pelo maciço durante o Neoproterozóico (Pimentel *et al.* 1997). A evolução do arco magmático foi acompanhada de acreção, envolvendo o arco e retro-arco proterozóicos e micro-placas continentais arqueanas. Tal evolução teria sido responsável pela estruturação em flor do maciço resultante de evolução tectônica do tipo *pop-up* (Costa *et al.* 1987)

durante o Ciclo Brasileiro (Araújo Filho & Kuyumjian 1992). O final do processo de colisão do arco com o Cráton São Francisco ocorreu a ~630 Ma, que é a melhor estimativa para o último evento metamórfico-deformacional responsável pelo desenvolvimento de extensas zonas de cisalhamento NNE. O arco compreende os terrenos ortognáissicos e as seqüências vulcano-sedimentares neoproterozóicas das regiões de Sanclerlândia - Bom Jardim, Mara Rosa e Porangatu e corresponde a uma acreção crustal, durante a aglutinação do supercontinente de Gondwana (Pimentel *et al.* 1997). O limite oeste do arco é marcado pelo Lineamento Transbrasiliano, uma zona de sutura que apresenta direção geral N30°E e formada provavelmente ao final do Ciclo Brasileiro. A Figura 1 simplifica a geologia da área.

PROJETO GEOFÍSICO BRASIL – CANADÁ

O Projeto Geofísico Brasil - Canadá (PGBC) é resultado de um acordo entre o Governo do Brasil e a Agência Canadense para o Desenvolvimento Internacional (CIDA) para a execução de um levantamento dos recursos minerais da região Centro-Oeste do Brasil. O Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) iniciou o PGBC em 1975 cobrindo a área situada entre as latitudes 5° e 16° Sul e os meridianos 48° e 51° Oeste. Foram realizados levantamento aerogeofísico (magnetometria e espectrometria gama), levantamentos terrestres de geoquímica em sedimentos de corrente, eletromagnético no domínio do tempo (INPUT) e magnetometria em áreas selecionadas (DNPM 1981).

Para o levantamento aéreo foram utilizadas aeronaves DC-3 voando à velocidade aproximada de 220 km/h. A altura de vôo foi de 150 m, com tolerâncias de $\pm 10\%$ (topografia suave) e de $\pm 50\%$ (regiões acidentadas). O controle da altura foi feito por um radar altímetro com leituras tomadas a cada segundo. A navegação foi controlada através de sistema de navegação Doppler e recuperada a partir de fotografias colhidas durante o vôo com câmeras 35 mm. As linhas de produção e de controle foram voadas, respectivamente, na direção NS com espaçamento de 2 km e na direção EW com espaçamento de 14 km. Foram inseridas linhas de produção a cada 1 km para semidetalhamento em áreas selecionadas numa etapa posterior (DNPM 1981).

Para a aquisição dos dados aeromagnéticos foi utilizado um magnetômetro do tipo Janela de Fluxo (Fluxgate) medindo a intensidade do campo total. O sensor foi montado em um esporão instalado na cauda da aeronave. Os campos espúrios foram compensados eletronicamente. As medidas foram registradas aproximadamente a cada 60 metros com uma precisão de 1 nT. Os dados gamaespectrométricos foram adquiridos com um espectrômetro diferencial equipado com detectores de Iodeto de Sódio ativados por Tálcio [NaI(Tl)]. O espectro foi amostrado em quatro janelas: contagem total, Urânio (U), Tório (Th) e Potássio (K).

Os produtos e os dados originais/corrigidos estão disponíveis sob a guarda da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM).

Neste trabalho, foram utilizados os dados aéreos de gamaespectrometria de urânio, tório, potássio e contagem total da área do Maciço de Goiás e parte do Arco Magmático.

METODOLOGIA

Os dados aerogamaespectrométricos do PGBC foram interpolados usando o método de splines bi-cúbicos, ideal para dados orientados em linha, com célula unitária de 500 metros, sendo os pontos procurados de acordo com o teorema da amostragem. As malhas gamaespectrométricas de K, U, Th e contagem total foram microniveladas pelo método sugerido por Minty (1991). As malhas resultantes foram interpretadas sob a forma de imagens digitais utilizando técnicas de sombreamento, composição em cor falsa dos tipos RGB e CMYK e filtro de amplitude.

INTERPRETAÇÃO AEROGAMAESPECTROMÉTRICA

Os dados aerogamaespectrométricos do PGBC são uma importante ferramenta que auxilia o mapeamento geológico da região central do Brasil. Esses dados foram micronivelados usando-se a técnica sugerida por Minty (1991).

Os quatro canais, urânio, tório, potássio e contagem total, foram analisados individualmente em imagens de coloridas. Imagens ternárias de U, Th e K foram produzidas e interpretadas. A combinação R:G:B; K:Th:U permitiu melhor interpretação do que a tradicional R:G:B; K:U:Th. Foi feito um diagrama ternário RGB com dados de Dickson & Scott (1997) que reflete a variação média de desintegração de K, Th e U para rochas ígneas pelo teor de sílica na rocha.

Na imagem ternária (Figura 2), o Arco Magmático de Goiás, na área do Lineamento Transbrasiliano, apresenta duas unidades principais e bastantes distintas: uma de ortognáisses e granitóides com alta contagem de Th e outra associada a seqüências vulcanossedimentares. Na região de Santa Terezinha de Goiás ocorrem granitóides com contagem de Th mais baixa que a da unidade anterior e seqüências vulcanossedimentares.

O limite entre o Maciço e o Arco Magmático de Goiás, de sul para norte, muda de direção: ao sul, o limite é praticamente NS e aparenta dividir o Complexo Uvã em dois. Em seguida o limite inflete suavemente para NNE, paralelo ao Lineamento Transbrasiliano, indo até o noroeste do Greenstone Belt de Crixás, onde inflete bruscamente para SE e logo em seguida suavemente volta para NNE até a região de Mara Rosa.

O Maciço de Goiás apresenta diversos blocos/complexos gnáissicos. Os limites entre eles não são muito bem definidos, todavia, tanto os limites como os próprios, são radiometricamente nítidos e com variações composicionais internas.

O Complexo Itapuranga apresenta de granodioritos a trondhjemitos intrusivos com encraves de supracrustais máficas e ultramáficas (Jost *et al.* 1998). Tonalitos e granitos ora gnáissicos ora intrusivos também estão presentes. A imagem ternária mostra que os representantes pobres em U (provavelmente ortognáisses, granodioritos, tonalitos e granodioritos) ocorrem largamente na porção central e em uma faixa estreita no extremo sul do complexo, em contato com o Greenstone Belt de Goiás. Representantes ricos em Th estão localizados nas porções sudeste e noroeste do complexo onde a ocorrência de diques e encraves máficos e ultramáficos é freqüente. Representantes ricos em K (granitos) ocorrem em áreas isoladas com maior freqüência nas porções central e noroeste. O limite entre o Itapuranga e o Complexo da Anta é bastante nítido e tem direção noroeste aproximada, coincidente com o Rio Tesouras.

O Complexo da Anta é composto de granitos, tonalitos e granodioritos, em ordem crescente de abundância (Jost *et al.* 1998). Como no Complexo Itapuranga, representantes ricos em K (granitos) ocorrem em áreas isoladas com maior frequência na porção central e junto ao Greenstone Belt de Crixás. Há predominâncias de representantes ricos em Th e K (mais que os equivalentes do Itapuranga) e pobres em U (tonalitos e granodioritos). O limite com o Complexo Caiamar é de direção NW inflitando para norte quando o Greenstone Belt de Crixás aflora.

O Complexo Caiamar é um conjunto de gnaisses de composição tonalítico-trondhjemítica, tonalitos, granodioritos e localmente migmatitos e diques básicos (Jost *et al.* 1994). Na imagem ternária o complexo apresenta duas unidades distintas, porém com limites pouco definidos: uma com o potássio predominante (porém em percentagem mais baixa do que nos complexos anteriores), correspondente a tonalito (K da biotita) e outra com U e K predominantes (também em quantidades menores que dos outros complexos), correspondente a gnaisses tonalíticos e granodioríticos e migmatitos. O Greenstone Belt de Guarinos separa o complexo do Bloco do Moqué.

O Bloco do Moqué é constituído por gnaisses graníticos e tonalíticos. Incluem-se nesse bloco, porém menos expressivos, migmatitos, gnaisses granodioríticos, um *stock* tonalítico, diques básicos e anfibólitos formando um segmento crustal policíclico (Jost *et al.* 1998). Essas rochas estão bem representadas na imagem ternária. O bloco separa os greenstones de Guarinos e Pilar de Goiás.

A leste do Greenstone Belt de Pilar de Goiás encontra-se o Complexo de Hidrolina. O complexo é um conjunto de gnaisses de composição predominantemente granodiorítica. Na imagem ternária o domo realmente apresenta essa predominância, todavia a uma clara diferenciação de sul para norte: a contagem de U aumenta. A parte sul aparenta ser mais granodiorítica e a norte mais granítica se comparadas às características observadas para os outros complexos.

Na porção sul da área de estudo encontra-se o Complexo Uvã. Esse complexo é separado do Itapuranga pelos greenstone belts de Goiás e Faina. O complexo, segundo os poucos dados petrológicos, é formado principalmente por gnaisses de composições que variam de graníticas a granodioríticas e que se situam entre as cidades de Goiás e Jussara. A imagem ternária revela uma situação mais complexa. Uma faixa do Arco Magmático situada entre as cidades de Uvã e Itapirapuã aparenta dividir o complexo em duas partes muito distintas: uma com características semelhantes ao Complexo Caiamar (predominância de tonalitos) e outra semelhante ao Complexo da Anta (granitos e granodioritos). Os autores sugerem a divisão do complexo em dois: Uvã (da cidade de Goiás até Uvã) e Itapirapuã (de Itapirapuã até Jussara).

Nas áreas dos greenstone belts de Goiás, Faina, Crixás, Guarinos e Pilar de Goiás, a imagem ternária também tem grande correlação com a geologia separando muito bem, por exemplo, as unidades metassedimentares das metavulcânicas.

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

A aplicação de técnicas de interpretação qualitativa em dados aerogamaespectrométricos serviu como incentivo e como fonte de novas informações para uma revisão geológica do Maciço e do Arco Magmático de Goiás. Consequentemente novas áreas alvo devem ser indicadas para a exploração mineral.

Os dados gamaespectrométricos do PGBC se revelaram úteis na definição de limites geológicos pouco conhecidos nos levantamentos geológicos padrão. Novos limites entre o Arco Magmático e o Maciço de Goiás foram sugeridos com o uso de imagens ternárias. Limites entre os complexos gnáissicos de Itapuranga, da Anta e Caiamar puderam, finalmente, ser observados. Heterogeneidade dos complexos Itapuranga e da Anta são sugeridas. É sugerida também a descontinuidade ou redivisão do Complexo Uvã (Itapirapuã e Uvã).

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F.F.M. 1967. Nota sobre o Pré-Cambriano na região central de Goiás. Bol. Paranaense Geoc. **26**:19-22.
- ARAÚJO FILHO, J.O. & KUYUMJIAN, R.M. 1992. Uma hipótese alternativa para a origem e evolução dos terrenos arqueanos e das seqüências vulcano-sedimentares paleoproterozóicas de Goiás. In: Congr. Bras. Geol., 37, São Paulo, 1992. Bol. Res. Exp... São Paulo, SBG, p.168-169.
- COSTA, J.B.S.; HASUI, Y. & HARALYI, N.L.E. 1987. The Central Brazil pop-up: an exemple of double ancient oblique continental colision. In: Conf. of Deformation and Plate Tectonics, Gijon, Espanha, 1987. Abstracts... Gijon, p. 24-25.
- DICKSON, B.L. & SCOTT, K.M. 1997. Interpretation of aerial gamma-ray surveys – adding the geochemical factors. AGSO Journal **17**(2):187-200.
- DNPM 1981. Projeto Geofísico Brasil-Canadá: histórico e atividades até 30/09/77. MME/DNPM, GSC.
- FUCK, R.A. 1994. A Faixa Brasília e a compartimentação tectônica na Província Tocantins. In: SIMP. GEOL. CENTRO-OESTE, 4, Brasília, 1994. Anais... Brasília, SBG, p. 184-187.
- JOST, H.; CARMELO, A.C. & MENESES, P.R. 1994a. Litologias, relações de contato e estrutura do Bloco Caiamar, Crixás, Goiás. In: Simp. Geol. Centro-Oeste, 4, Brasília, 1994. Anais... Brasília, SBG, p. 18-20.
- JOST, H.; RESENDE, M.G.; OSBORNE, G.A.; QUEIROZ, C.L.; BLUM, M.L.B.; PIRES, A.C.B. & MORAES, R.A.V. 1998. O Arqueano do Estado de Goiás. In: Hasui, Y. & Sena Costa, J.B. (edit.). Geotectônica do Brasil, (submetido).
- MARINI, O.J.; FUCK, R.A.; DARDENNE, M.A. & DANNI, J.C.M. 1981. Evolução geotectônica da Faixa Brasília e de seu embasamento. In: Simp. Cráton São Francisco e Faixas Marginais, Salvador, 1981. Anais... Salvador, SBG, p. 100-115.
- MINTY, B.R.S. 1991. Simple Micro-Levelling for Aeromagnetic Data. Expl. Geoph. **22**:591-592.

PIMENTEL, M.M.; WHITEHOUSE, M.J.; VIANA, M.G.; FUCK, R.A. & MACHADO, N. 1997. *The Mara Rosa Arc in the Tocantins Province: further evidence for Neoproterozoic crustal accretion in Central Brazil*. *Prec.Res.* **81**(3-4):299-310.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor gostaria de agradecer à CAPES pela concessão de bolsa de doutoramento e também ao Instituto de Geociências da Universidade de Brasília pelo apoio na pesquisa. Gratos à CPRM e ao DNPM pelos dados e apoio.

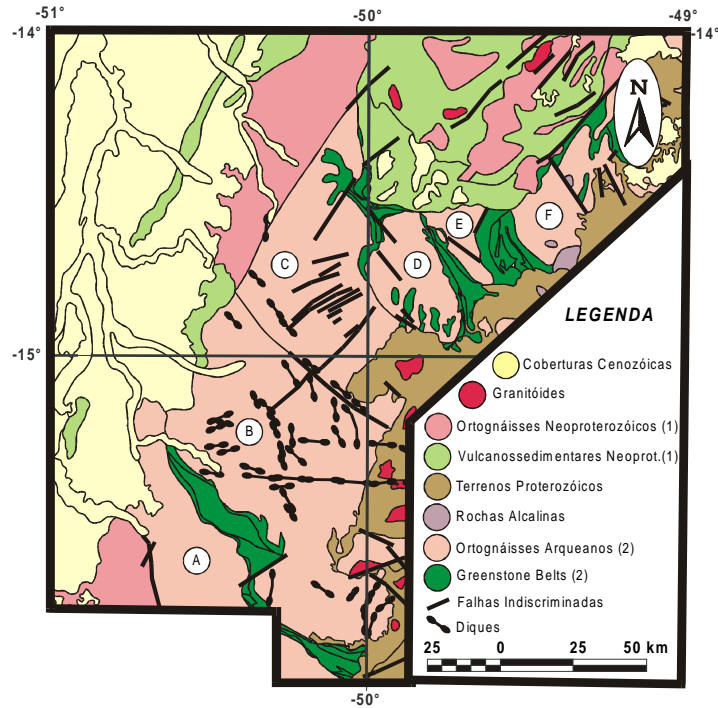


Figura 1: Mapa geológico simplificado da área estudada. (1) Arco Magmático; (2) Maciço de Goiás. Blocos/complexos gnáissicos: (A) Uvã; (B) Itapuranga; (C) da Anta; (D) Caiamar; (E) Moquém; (F) Hidrolina. Ver texto para detalhes.

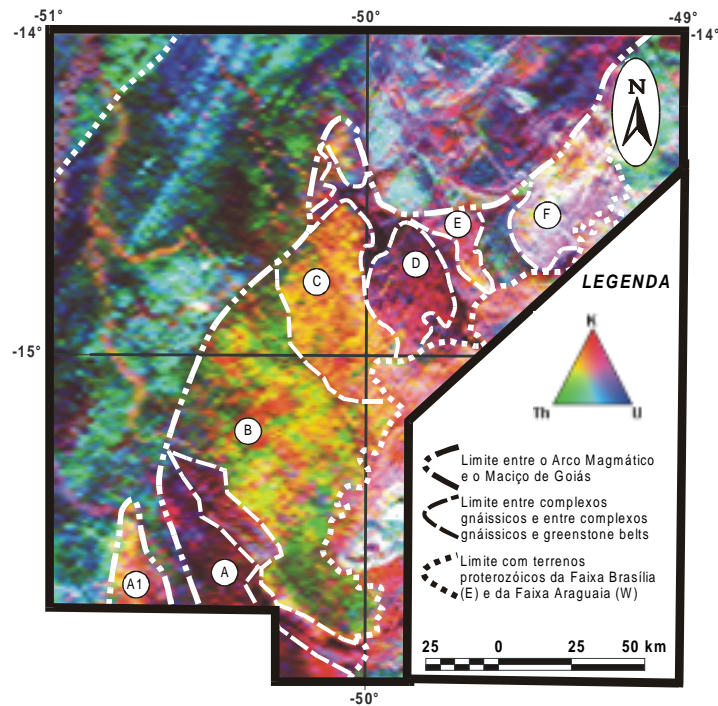


Figura 2: Imagem ternária de K, Th e U interpretado. (1) Domínios Transbrasiliiano e Santa Terezinha; (2) Domínio Itapuranga. Blocos/complexos gnáissicos: (A) Uvã; (B) Itapuranga; (C) da Anta; (D) Caiamar; (E) Moquém; (F) Hidrolina; (A1) Itapirapuã.