

## Aplicação de dados aerogeofísicos no mapeamento geológico das rochas arqueanas e proterozóicas da região de Itaguaru-Itapuranga, Goiás

Marcelo Henrique Leão Santos (\*), Rodrigo Malheiros Pontes (\*), Marcelo de L. Bassay Blum, Roberto A. Vitória de Moraes, J. Oswaldo de Araújo Filho, Claudinei G. de Oliveira, Elton Luiz Dantas, Paulo R. Menezes, Sílvia R. Medeiros, Fausto de A. Lazarin, Alan Armele UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS, Brasil

Copyright 2003, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 8<sup>th</sup> International Congress of The Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 14-18 September 2003.

Contents of this paper were reviewed by The Technical Committee of The 8<sup>th</sup> International Congress of The Brazilian Geophysical Society and does 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

The application of aerogeophysical data as a tool to geological mapping has shown good correlation efficiency, and with the advance of technology, the products generated during the processing of these data, even more correlated to the geological compartmentation.

This paper presents the utilization of aerogeophysical data in mapping archean and proterozoic terrains in the state of Goiás. The data were processed using the software Geosoft, and the products generated were analyzed before the field phase. Several magnetic lineaments, magnetic domains and gamma-ray spectrometric domains were observed and then correlated to geological structures and bodies observed in field. The result of such correlation was a very consistent geological map, with a large number of structures and geological units observed on the geophysical images and than confirmed with mapping.

### Introdução

Os projetos geofísicos regionais são de grande importância como ferramenta para mapeamentos geológicos (Blum, 1999). Na década de 70, o Projeto Geofísico Brasil-Canadá (PGBC) cobriu uma área de 780 mil quilômetros quadrados na região central do Brasil e realizou levantamentos aéreos magnetométricos e gamaespectrométricos, além de levantamentos de geofísica e geoquímica terrestres.

O objetivo desta publicação é mostrar que os dados geofísicos foram importantes instrumentos para o mapeamento geológico dos terrenos arqueanos e proterozóicos da região de Itaguaru-Itapuranga (Figura 12). Foram utilizados dados magnéticos para identificar estruturas geológicas de caráter regional (contribuindo para o avanço do conhecimento tectônico da região), dados gamaespectrométricos para o mapeamento dos corpos litológicos e finalmente a integração de todas as informações obtidas produzindo mapas interpretativos das propriedades medidas.

### Projeto Geofísico Brasil-Canadá (PGBC)

O Projeto Geofísico Brasil - Canadá (PGBC) foi executado em parceria entre o Ministério das Minas e Energia do Brasil (MME) e a Agência Canadense para o

Desenvolvimento Internacional (*Canadian International Development Agency - CIDA*) (Carmo, 1978).

O aerolevanteamento cobriu a área situada entre as latitudes 5° e 16° Sul e os meridianos 48° e 51° Oeste e utilizou os métodos geofísicos aéreos de magnetometria e gamaespectrometria.

As plataformas de vôo foram aeronaves DC-3 voando a uma altura constante de 150 m, com tolerância de  $\pm 10\%$  para topografia suave e de  $\pm 50\%$  para acidentada. Foi utilizado um radar altímetro com leituras realizadas a cada segundo para controle da altura. A velocidade aproximada foi de 220 km/h. O sistema de navegação foi auxiliado com radar *Doppler* e recuperação desta trajetória a partir de registro fotográfico (DNPM, 1981).

O aerolevanteamento foi realizado em duas fases. A primeira, com linhas de produção espaçadas em 2 km de direção N-S e linhas de controle espaçadas em 14 km de direção E-W. A segunda cobriu áreas de interesse com linhas N-S e espaçamento de 1 km, completando entre as linhas da fase 1.

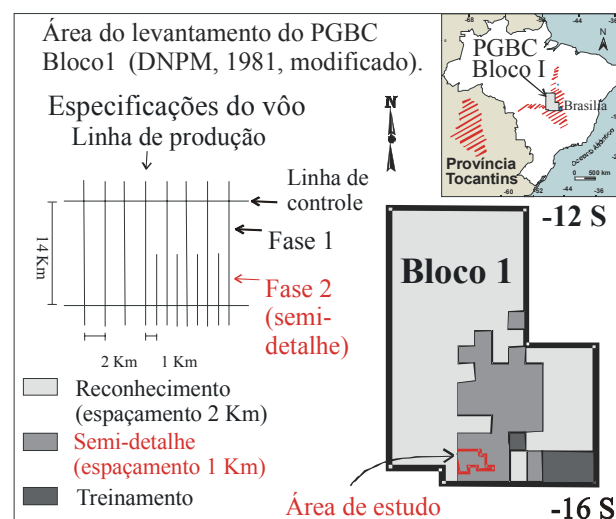


Figura 1 – Área do levantamento do Programa Geofísico Brasil-Canadá – Bloco 1 (DNPM, 1981, modificado).

Foram utilizados magnetômetros tipo janela de fluxo (*fluxgate*), com amostragem a cada segundo ( $\sim 70m$ ). A amostragem do espectro de radiação gama foi feita em quatro janelas (contagem total, Potássio - K, Tório -Th e Urânio -U) por um espectrômetro diferencial de 256 polegadas cúbicas.

### Processamento dos dados aerogeofísicos

O processamento dos dados aerogeofísicos, objeto deste trabalho, foi realizado no Laboratório de Geofísica

Aplicada (LGA) do Instituto de Geociências (IG) da Universidade de Brasília (UnB). O processamento foi executado em meio digital com a utilização do programa *OASIS Montaj Inc. GEOSOFT* (GEOSOFT 1996, 1998). Os procedimentos para o processamento dos dados estão organizados nos fluxogramas das figuras 2 e 3.

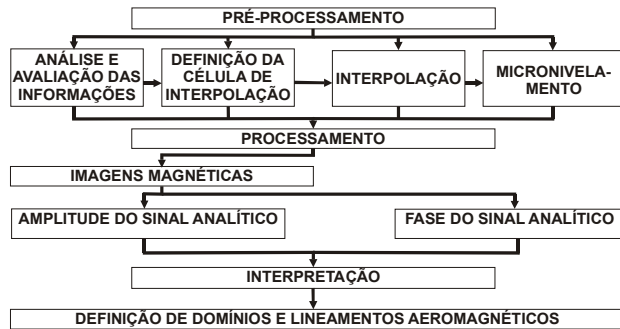


Figura 2 – Fluxograma com as etapas para obtenção dos dados aeromagnetométricos.

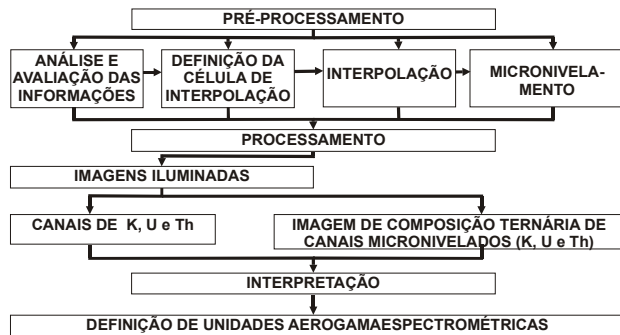


Figura 3 – Fluxograma com as etapas para obtenção dos dados aerogamaespectrométricos.

Os dados foram analisados e avaliados para verificar a existência de informações inconsistentes, como o “efeito pepita” ou picos, e o posicionamento das linhas de voo. Como na época do levantamento o sistema de posicionamento era ruim, algumas linhas de voo tiveram eventuais desvios, mas o padrão geral das mesmas não apresentou maiores problemas.

A interpolação dos dados em malha regular foi realizada por meio dos métodos curvatura mínima e bidirecional (*bigrid*). Para a preservação das altas frequências foi utilizado o método bidirecional.

O micronivelamento (Minty, 1991) foi empregado para corrigir problemas de nivelamento nos dados. Para tanto utilizou-se a técnica de micronivelamento (Minty, 1991) com o algoritmo *Microlevel* desenvolvido por Blum (1999).

Os produtos finais usados foram os seguintes mapas: Amplitude do Sinal Analítico (Figura 4), Fase do Sinal Analítico (Figura 5), Canal de Potássio (Figura 6), Canal de Tório (Figura 7), Canal de Urânio (Figura 8) e Composição Ternária RGB – K:Th:U (Figura 9).

Os produtos foram gerados por Blum (1999) e convertidos da plataforma *Oasis Montaj GEOSOFT* em malhas com extensão (.*grd*), onde foram novamente exportados para o formato *geotiff* com resolução espacial

de 30 metros. Estas foram organizadas em um Sistema de Banco de Dados Georreferenciados, e interpretadas com auxílio do *software ArcView 3.2*.

### Interpretação dos dados aerogeofísicos

As imagens geofísicas foram usadas no mapeamento geológico, correlacionando as informações geológicas com os domínios geofísicos para se definir limites e relações com a compartimentação estrutural.

A partir dos dados aerogeofísicos foram produzidos três importantes produtos: mapa de lineamentos magnetométricos (Figura 10), mapa de domínios magnetométricos (Figura 10) e mapa de domínios gamaespectrométricos (Figura 11).

Os lineamentos magnéticos foram interpretados com base no mapa de amplitude do sinal analítico e da fase do sinal analítico. As estruturas foram visualizadas em forma de lineações e extraídas dos produtos magnetométricos. O mapa de amplitude do sinal analítico foi produzido em cor azul, azul claro, verde, amarelo, laranja, vermelho e rosa, que demonstram, em ordem crescente, a intensidade do magnetismo juntamente com o relevo (rugosidade) apresentado. O alinhamento de cristas do relevo com alta amplitude e os alinhamentos em baixos magnéticos formam os principais lineamentos.

Os domínios magnéticos foram interpretados a partir dos mapas de amplitude do sinal analítico e fase do sinal analítico delimitando-se três domínios de respostas magnéticas distintas (alta, média e baixa). A textura da imagem da fase do sinal analítico foi utilizada para delimitar os domínios magnéticos.

Os domínios gamaespectrométricos delimitam campos de respostas radiométricas similares. Tendo como fonte radioativa três radioelementos (K, Th e U), foram especificados três graus de intensidade de radiação para cada um (baixa, média e alta), chegando a uma classificação de quinze domínios distintos, os quais foram diferenciados por diferentes siglas. Para determinação destes domínios foram utilizados mapas dos canais de potássio, tório, urânio e composição ternária R G B / K:Th:U. Para se observar a mobilidade por lixiviação dos elementos foram integradas as imagens geofísicas sobre o Modelo Digital de Terreno (MDT) no Sistema de Informações Georreferenciadas. Domínios muito complexos foram ignorados de acordo com a escala do mapeamento geológico (1:50 000), sendo mostrados como um único domínio.

### Interpretações das imagens magnetométricas

A figura 4 corresponde à imagem da amplitude do sinal analítico e a figura 5 à fase do sinal analítico, ambas produto do campo magnético anômalo.

Na imagem da amplitude do sinal analítico o contato por empurrão no norte da área está caracterizado por um alinhamento de altos magnéticos com direção nordeste-sudoeste (Figura 10 – Lin.A), e é também observado na imagem da fase do sinal analítico estando bem marcado por um alinhamento na cor branca. Este contato é por falha de empurrão colocando a Sequência Serra Dourada sobre a Suíte Itapuranga.

Os lineamentos magnéticos de direção noroeste-sudeste estão bem nítidos em baixos magnéticos na imagem da amplitude do sinal analítico e aparecem apenas na porção mais leste da imagem da fase do sinal analítico. Eles indicam as falhas transcorrentes do Rio Uru (Figura 10 – Lin.B) e do Ribeirão das Lajes ligadas a tectônica transpressiva de vergência para noroeste. Na falha do Ribeirão das Lajes o movimento aparente pode ser inferido como dextral pelo deslocamento de dois lineamentos menores NNE-SSW no limite entre as áreas III e IV (Figura 10 – Lin.C).

Os lineamentos magnéticos ENE-WSW também são observados em linhas de baixa amplitude e por alinhamentos na fase do sinal analítico. Estão relacionados à tendência nordeste da Serra Dourada, tanto na porção norte quanto sudoeste da área. Um grande lineamento de mesma direção aparece na porção branca da imagem da fase do sinal analítico e como metade em baixo magnético e metade em alto magnético na imagem da amplitude do sinal analítico. Este lineamento tem uma parte curvilínea e aparece a sudeste das áreas (Figura 10 – Lin.D). Alguns menores estão inseridos na Seqüência Serra Dourada com direção mais norte-nordeste (Figura 10 – Lin.E).

Poucos lineamentos foram extraídos com direção leste-oeste, sendo relativos às zonas de cisalhamento associadas às de direção NW-SE (Figura 10 – Lin.F). Estes marcam o contato do Complexo Granulítico Anápolis-Itaçu com a Suíte Itapuranga no sul das áreas III, IV e V.

Os diques magnéticos arqueanos (direção nordeste-sudoeste) mapeados na área VI não tiveram resposta marcada na magnetometria, provavelmente por algum problema ligado a regionalidade do levantamento.

A direção norte-sul não foi extraída por ser coincidente com a direção das linhas de vôo, podendo, desta forma, induzir a interpretações irreais.

O maior domínio magnético ocupa toda porção centro-sudeste da área e é proveniente dos granulitos do Complexo Anápolis-Itaçu (Figura 10 - A). A amplitude do sinal analítico extremamente alta por todo este domínio está ligada à formação de magnetita favorecida pelas rochas paraderivadas portadoras de ferro, além do volume significativo de granulitos máficos ortoderivados, ricos em magnetita, contribuindo, assim, para uma alta susceptibilidade magnética. No sul da área IV foi observada magnetita pulverulenta sobre o latossolo do complexo.

Domínios de baixo magnetismo dentro do complexo estão relacionados com um intenso metamorfismo que fundiu parcialmente as rochas e diminuiu muito a sua magnetização, devido a recombinação de óxidos de ferro e titânio em cristais de ilmenita (Figura 10 - B).

A presença de um domínio de alta susceptibilidade magnética ao norte da área é relacionado com o contato tectônico por falha de empurrão entre a Seqüência Serra Dourada e a Suíte Itapuranga (Figura 10 - C).

O alto magnético no extremo sul das áreas, especificamente nas áreas VI e VII, está ligado aos níveis

de formações ferríferas bandadas em xistos pelíticos da Suíte Anicuns-Itaberaí (Figura 10 - D).

Quartzo clorita xistos com magnetita, descritos na Seqüência Serra Dourada, estão gerando anomalias magnéticas altas a médias, localizadas no norte da área IV e sul das áreas II e III (Figura 10 - E). A formação de magnetita nessas rochas metassedimentares depende de fatores herdados dos protolitos, principalmente do estado de oxidação do ferro e quantidade presente.

Foi observado um domínio magnético de média intensidade nos terrenos arqueanos TTG (trondhjemito-tonalito-granodiorito) que não está localizado onde foi mapeado um dique com magnetita, mas pode estar associado a ele em profundidade (Figura 10 - F).

A Seqüência Serra Dourada, a Suíte Itapuranga e os TTG's estão com predomínio em domínios de baixa a muito baixa amplitude, indicando seu caráter de baixa susceptibilidade magnética (Figura 10 - G).

### **Interpretação das imagens gamaespectrométricas**

A imagem do canal de potássio (Figura 6) apresenta valores altos em quase toda a área. Na Seqüência Serra Dourada, baixos valores são descritos na baixada a sul da serra, resultante da intensa lixiviação do solo próximo ao Rio Uru (Figura 11 - domínio M), e no noroeste da área IV, nas rochas básicas intrusivas (Figura 11 - domínio P na área IV). Os valores de intensidade alta na serra são decorrentes da riqueza de potássio nos minerais micáceos presentes nestas rochas pelíticas.

A Suíte Itapuranga tem valores altos principalmente em suas fácies mais alcalinas, noroeste da Serra Dourada, adjacências da cidade de Uruíta e região central da área V (Figura 11 - domínio B). As fácies com tendência granítica possuem baixos valores de potássio.

Os granulitos félsicos das áreas VIII, IX e X tem valores muito altos e o restante mostra baixos valores devido às baixas proporções de potássio nestas rochas. Os TTG's têm valores altos nas regiões proximais a Serra Dourada talvez por concentração por lixiviação (Figura 11 - domínio H na área VI). A Suíte Anicuns-Itaberaí mostra baixos valores nos gnaisses félsicos e valores mais altos nos xistos pelíticos (moscovita clorita xistos).

A imagem do canal de tório (Figura 6) delimita muito bem em seus valores baixos a Seqüência Serra Dourada (Figura 11 - domínio D) e com valores mais baixos ainda os granulitos félsicos das áreas VIII, IX e X (Figura 11 - domínio E), devido à ínfima quantidade deste elemento nos silimanita granada quartzitos desta unidade.

Os valores intermediários observados nos granulitos félsicos estão relacionados aos granada álcali-feldspato granulitos. No terreno arqueano TTG, valores intermediários são associados a um contraste resultante da maior afinidade do tório com granodioritos do que com rochas metassedimentares e metaígneas.

Os valores extremos estão nas rochas meta-sienograníticas e meta-graníticas da Suíte Itapuranga. Uma forte anomalia arredondada foi observada na área VIII, que pode estar relacionada a uma intrusão não

aflorente da Suíte Itapuranga (Figura 11 - domínio G na área VIII).

A imagem do canal urânio (Figura 8) tem baixos valores em todo o Complexo Anápolis-Itaçu. Os valores médio a alto estão localizados no interior da Seqüência Serra Dourada, ressaltando a presença de baixos valores no noroeste da área IV devido a presença de rochas básicas (Figura 11 - domínio P na área IV). O terreno TTG tem valores médios em toda sua extensão. Os valores mais altos são observados nas fácies mais sienograníticas da Suíte Itapuranga ricas em urânio a norte da Serra Dourada.

Finalmente na imagem ternária RGB, composta pelos canais K, Th e U (Figura 9), os corpos ficaram muito bem delimitados e de forma geral os domínios gamaespectrométricos estão semelhantes aos limites litológicos.

Os quinze domínios interpretados estão descritos na tabela abaixo:

D	Classificação	D	Classificação
A	alto K, alto Th, alto U	I	médio K, médio Th, baixo U
B	alto K, alto Th, médio U	J	médio K, baixo Th, baixo U
C	alto K, médio Th, alto U	L	baixo K, alto Th, médio U
D	alto K, baixo Th, médio U	M	baixo K, médio Th, médio U
E	alto K, baixo Th, baixo U	N	baixo K, médio Th, baixo U
F	médio K, alto Th, alto U	O	baixo K, baixo Th, médio U
G	médio K, alto Th, baixo U	P	baixo K, baixo Th, baixo U
H	médio K, médio Th, médio U		

Tabela 1 – Tabela das classificações das intensidades em alto, médio e baixo para cada elemento. D = domínios.

A Seqüência Serra Dourada está bem marcada pelos valores altos de potássio dos cristais de mica nos xistos (Figura 11 - domínio D), ocorrendo lixiviação do potássio sobre os terrenos arqueanos TTG (Figura 11 - domínio H na área IV). Onde o solo encontra-se espesso a sul da serra nas áreas III, IV e V (Figura 11 - domínio M), o potássio já foi quase todo lixiviado restando uma boa quantidade de urânio oriundo da serra. Na Serra Dourada existem muitos domínios menores com altos valores de urânio que não foram individualizados, pois se encontram nos vales, e são resultado da concentração deste elemento devido sua grande mobilidade. O domínio P no noroeste da área IV tem assinatura com ausência dos três elementos relacionado à intrusão de rochas básicas na serra. Estas intrusões foram interpretadas como posteriores à formação da seqüência que foram metamorfizadas juntas durante o Ciclo Brasileiro.

A Suíte Itapuranga tem a assinatura clássica de rochas graníticas com valores altos nos três elementos, principalmente a norte da Serra Dourada (Figura 11 - domínios A). A sul das áreas III, IV e centro da V, o domínio L é rico em tório.

## Conclusões

A utilização de dados de geofísica aérea no mapeamento geológico mostrou-se uma ferramenta de grande eficiência, permitindo a separação de unidades distintas em etapas anteriores ao mapeamento. Estas unidades apresentaram uma correlação bastante satisfatória com a compartimentação geológica observada em campo, auxiliando, inclusive, a distinção de unidades não evidentes em fotos aéreas ou em imagens de satélite.

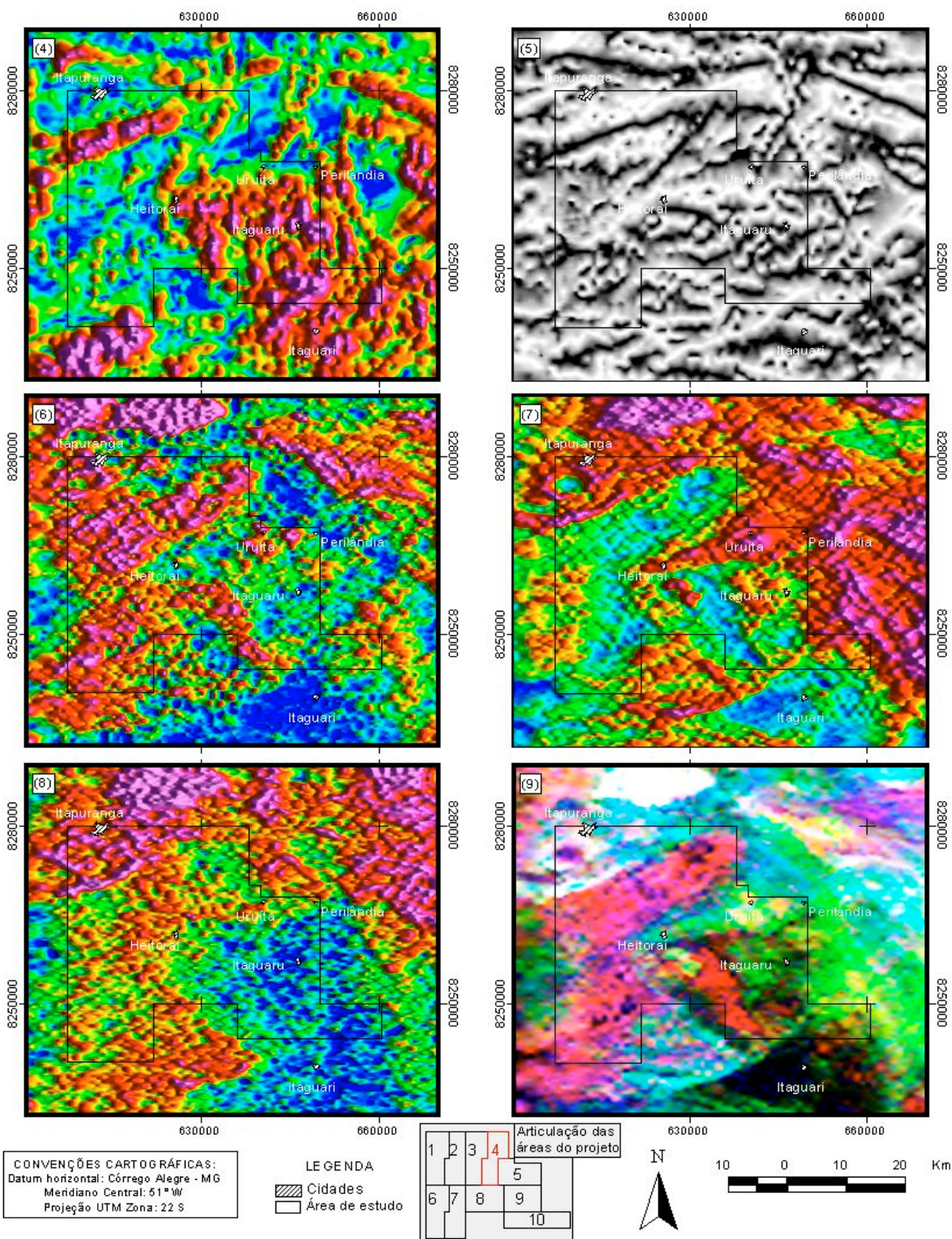
## Referências

- Araújo Filho, J. O. (coord.), Oliveira, G. C., Dantas, E. L., Menezes, P. R., Medeiros, S. R., Armele, A., Arce, A., Seidel, A. M., Masayoshi, C., Russo, D., Campos, E. T., Mendonça, F. C., Lazarin, F. A., Chaves, F. B., Porto, F. S. M., Trindade, J. S., Santos, L. M., Andrade, L., Silva, M. F., Santos, M. H. L., Oliveira, M. L., Ricciardi, O. P., Laet, M. R., Pontes, R. M., Melo, S. S. V., Roriz, S. A., 2002, Mapeamento Geológico do Projeto Itaguaru-Itapuranga, Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, Inédito.**
- 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, Universidade de Brasília, Tese de Doutorado Nº 30, 229p.**
- Blum, M. L. B., Silva, A. M., Jost, H., Menezes, P. R., Fuck, R. A., Brod, J. A., Teixeira, A. A., Silva, A. A. C., Spigolon, A. L. D., Maas, M. V. R. Souza, M. M., Macedo Júnior, P., Lima, B. E. M., Campos, M. O., 2001, Aplicação de Dados Aerogeofísicos no Mapeamento Geológico do Limite entre os Terrenos Arqueanos e Proterozóicos da Região de Crixás Cedrolina, Goiás: Revista Brasileira de Geociências, 31(3), p279-286.**
- Carmo, S.D., 1978, Programação e execução do Projeto Geofísico Brasil-Canadá. In: CONGR. BRAS. GEOL, 30, Recife, SBG, v.5, p2233-2247.**
- DNPM, 1981, Projeto Geofísico Brasil-Canadá: histórico e atividades até 30/09/77: Brasil (Goiânia), MME/DNPM.**
- GEOSOFT, 1996, MAGMAP 2-D frequency domain processing: Canadá (Toronto), GEOSOFT, Inc.**
- GEOSOFT, 1998, OASIS Montaj v4.2.: Canadá (Toronto) GEOSOFT, Inc.**
- Minty, B.R.S., 1991, Simple Micro-Levelling For Aeromagnetic Data: Expl. Geoph. 22, p591-592.**

## Agradecimentos

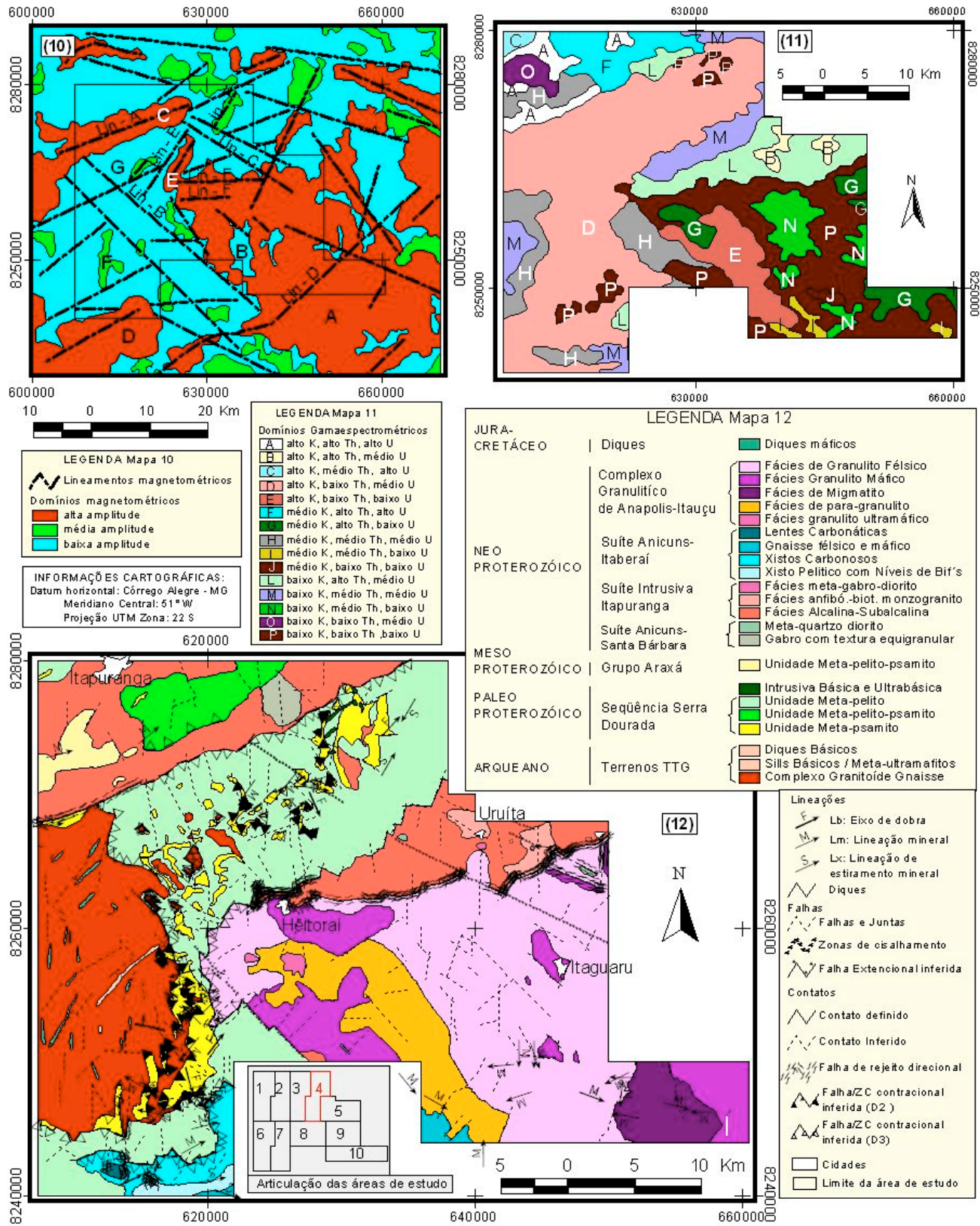
À Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais – CPRM e ao Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, pela cessão e permissão do uso dos dados do PGBC em trabalhos de pesquisa do Laboratório de Geofísica Aplicada – LGA, Instituto de Geociências – IG, Universidade de Brasília – UnB.





Figuras: (4)- Mapa da amplitude do sinal analítico do campo magnético anômalo. (5)- Mapa da fase do sinal analítico do campo magnético anômalo. (6)- Mapa gamaespectrométrico do canal de potássio. (7)- Mapa gamaespectrométrico do canal de tório. (8)- Mapa gamaespectrométrico do canal de urânio. (9)- Mapa gamaespectrométrico da composição ternária RGB - K:Th:U.





Figuras: (10) Mapa interpretativo de lineamentos e domínios magnetométricos extraídos das imagens da amplitude do sinal analítico e fase do sinal analítico. (11) Mapa de domínios gamaespectrométricos extraídos das imagens dos canais de potássio, tório, urânio e da imagem da composição ternária RGB – K:Th:U. (12) Mapa Geológico do Projeto Itaguara-Itapuranga (Araújo Filho –coord- et al., 2002, Inédito).