

## Fusão de relevos aeromagnetométrico e altimétrico como ferramenta na interpretação de estruturas complexas: exemplo da Falha Carajás (PA)

Cleyton de Carvalho Carneiro<sup>1</sup>, Alvaro Penteado Crósta<sup>1</sup>, Adalene Moreira Silva<sup>1</sup> e Roberto Vizeu Lima Pinheiro<sup>2</sup>.  
 (1<sup>DGRN/UNICAMP</sup>; 2<sup>DGL/UFGA</sup>)

Copyright 2004, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no I Simpósio de Geofísica da Sociedade Brasileira de Geofísica, São Paulo, 26-28 de setembro de 2004. Seu conteúdo foi revisado pela Comissão Tecno-científica do I SR-SBGf 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

A Falha Carajás, importante feição do Sistema Transcorrente Carajás, localiza-se na parte leste do Cráton Amazônico, estado do Pará. Esta região encontra-se nos domínios da Província Mineral de Carajás, reconhecida mundialmente como uma importante província mineral. Parte significativa de suas ocorrências minerais está vinculada geologicamente a estruturas complexas como a Falha Carajás. A fusão de dados magnetométricos e altimétricos vem auxiliar na compreensão do quadro estrutural, permitindo assim uma melhor caracterização e entendimento dos controles dos depósitos minerais existentes na região.

### Introdução

Imagens geradas pela fusão de dados produzidos por sensores remotos, aéreos e orbitais, são intensamente utilizadas em todo o mundo na extração de informações litológicas e estruturais (Henderson & Lewis 1998, Rencz 1999, Drury 2001). Isso se deve à sua capacidade em propiciar uma visão sinótica da superfície da Terra e em

expressar os atributos tonais/espectrais e texturais do terreno, que são os elementos tradicionalmente utilizados na foto-interpretação geológica. Em relação à aplicação em geologia estrutural, essa capacidade dos sensores permite a análise detalhada dos componentes de feições estruturais complexas e de grande porte.

A Província Mineral de Carajás subdivide-se em dois domínios tectônicos principais: (1) Cinturão Itacaiúnas e (2) Terreno Granito-Greenstone Rio Maria. O Cinturão Itacaiúnas (Fig. 1) é compartimentado nos sistemas transcorrentes Carajás e Cinzento. A Falha Carajás corresponde a um dos principais elementos estruturais que compõem o Sistema Transcorrente Carajás. Ela apresenta uma geometria complexa, formada por um segmento principal de cerca de 120km de extensão com direção aproximada E-W, além de feixes convergentes e divergentes subordinados (Pinheiro 1997). As terminações da falha formam típicos sistemas em rabo-de-cavalo. Diversos depósitos minerais estão intimamente associados aos diferentes feixes da Falha, destacando-se aqueles com direção NW-SE, aos quais se associa a presença de complexas estruturas rúpteis.

A fusão de dados aerogeofísicos com dados altimétricos produzidos por sensoriamento remoto permite a geração de informações em áreas cuja coleta de dados em campo é dificultada pelas condições locais, como é o caso da Amazônia em geral.

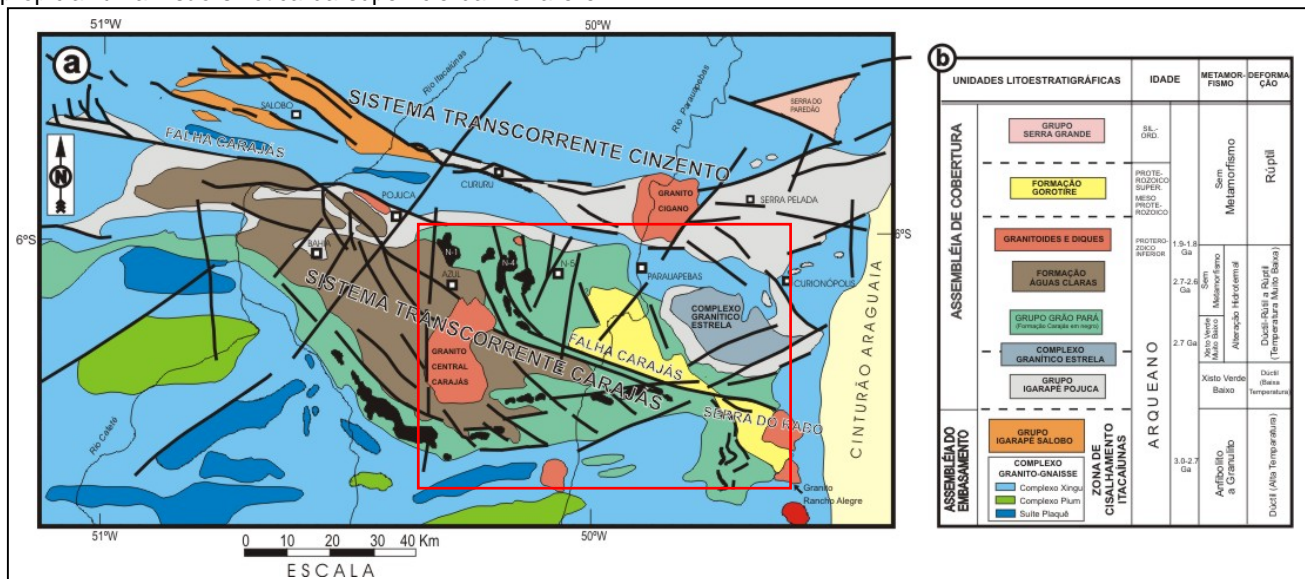


Figura 1 – Mapa Geológico do Cinturão Itacaiúnas (Província Mineral de Carajás) evidenciando os sistemas transcorrentes Carajás e Cinzento (Modificado de Pinheiro 1997). Em vermelho, a área de estudo.

## Metodologia

A fase de aquisição reuniu dados aeromagnetométricos do “Projeto Geofísico Brasil-Canadá” (PGBC-1020), além de dados altimétricos por interferometria de radar produzidos pela “Shuttle Radar Topography Mission” (SRTM).

### - Dados Aeromagnetométricos:

O aerolevantamento que coletou os dados do PGBC-1020 foi realizado nos anos de 1975 e 1976. Foram levantados dados magnetométricos e gamaespectrométricos em uma área de 375.000 km<sup>2</sup>, totalizando 273.411 km de perfis com intervalos de amostragem de 1 s. A altura de sobrevôo utilizada foi de 150 m com espaçamento entre linhas de vôo de 2 km, e direção N-S. As linhas de controle foram feitas na direção E-W com espaçamento de 14 km.

O pré-processamento dos dados aeromagnetométricos envolveu os métodos de “Diferença Quarta” e “Parâmetro P”. Posteriormente, esses dados foram interpolados utilizando-se o método da “Curvatura Mínima” com células de 500m de lado. Os dados foram a seguir micronivelados segundo a metodologia proposta por Minty (1991) para a eliminação de artefatos espúrios e ruídos presentes ao longo das linhas de vôo. A análise do relevo magnético foi feita por meio de transformações lineares, principalmente a “Amplitude do Sinal Analítico” (ASA), demarcando a posição das fontes magnéticas (Fig. 2).

### - Dados Altimétricos:

Os dados produzidos pela “Shuttle Radar Topography Mission” (SRTM) foram coletados entre os dias 11 e 22/02/2000 pelo ônibus espacial *Endeavour*, cobrindo 80% da superfície da Terra. Estes dados disponibilizados para a América do Sul têm resolução espacial de 3 arc sec (~90m) e foram produzidos pela técnica de interferometria de Radar de Abertura Sintética (SAR). O sistema sensor constitui-se da iluminação simultânea de duas antenas que operam nas bandas C e X (Rabus *et al.* 2003).

Na composição do “modelo digital de elevação” (MDE) de Carajás foram usados os dados com resolução espacial de ~90m gerados pelo sistema operando banda C. A partir dos dados originais foi gerado um mosaico com 15 cenas, cada uma com 1 x 1 grau, do qual foi selecionada a área de estudo (Fig. 3).

### - Fusão magnetométrica x altimétrica:

Os dados magnetométricos tiveram seus intervalos de intensidade convertidos para escala de cores. Em seguida, foram fundidos com os altimétricos por meio de um algoritmo de visualização RGB + I (intensidade).

## Resultados

A técnica de processamento de imagens RGB+I utilizada permitiu a fusão dos relevos altimétrico e magnetométrico (Fig. 4). Foram produzidas ainda imagens com relevo topográfico sombreado, segundo várias direções azimutais e valores de inclinação do vetor de iluminação. Foram utilizadas quatro visadas de azimute solar (0°, 45°, 90° e 315°) e inclinação de 45° nos mapas da área de detalhamento, escolhidas de forma a ressaltar as principais direções estruturais. A interpretação de lineamentos utilizou-se dos azimutes ortogonais para cada direção estrutural principal.

Apesar da resolução espacial relativamente reduzida (altimétrica de ~90m e magnetométrica de 500m), a fusão gerada apresenta uma considerável densidade de informações texturais do terreno, tais como: estruturas tectônicas, diferenças litológicas e rede de drenagem. Esses dados definem com precisão feições de relevância regional.

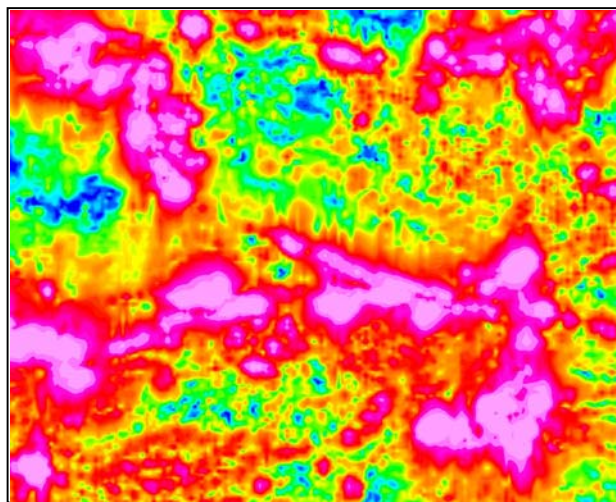


Figura 2 – Relevo magnetométrico RGB visualizado na forma da transformação linear “Amplitude do Sinal Analítico” (ASA).

Como resultado da interpretação do mapa da Fig. 4, chegou-se a um mapa de lineamentos fotointerpretados, com características que permitem agrupá-los em conjuntos distintos.

Os lineamentos de direção NW-SE são fortemente marcados, descontínuos e irregulares. Apresentam concentração maior na porção centro-oeste da área, chegando a atingir ~10km de extensão. Os lineamentos NE-SW sobrepõem-se aos NW-SE e atingem 3 km de extensão. São descontínuos e encontram-se localmente espaçados em ~2km. Lineamentos descontínuos e irregulares de direção N-S exibem relações de sobreposição a todas as direções citadas anteriormente, mostrando-se em quantidades menores que os demais e com até ~4km de extensão.

A partir do relevo magnetométrico gerado pela amplitude do sinal analítico tornou-se possível a visualização das anomalias magnetométricas sobre suas respectivas

fontes causadoras. Neste contexto, a Falha Carajás aparece destacada principalmente em sua terminação leste, com altos valores magnéticos (picos de ~22.5 nT/km - ASA). As demais anomalias observadas estão relacionadas principalmente às formações ferríferas bandadas do Grupo Grão Pará.

Os dados magnéticos foram subdivididos em três classes principais de amplitude do sinal analítico: (1) altos valores: 22,5 – 0,50 nT/km; (2) médios valores: 0,49 – 0,16 nT/km; e (3) baixos valores: 0,15 - < 0,02 nT/km.

### Discussão e Conclusões

Os produtos gerados a partir da fusão de dados altimétricos e magnetométricos permitiram as seguintes conclusões:

- A geometria dos lineamentos evidencia uma cronologia de eventos deformacionais, respectivamente nas direções: E-W, NW-SE, NE-SW e N-S. Essas direções tendem a ser suavizadas e/ou ressaltadas, conforme a direção de visada do sensor utilizado.

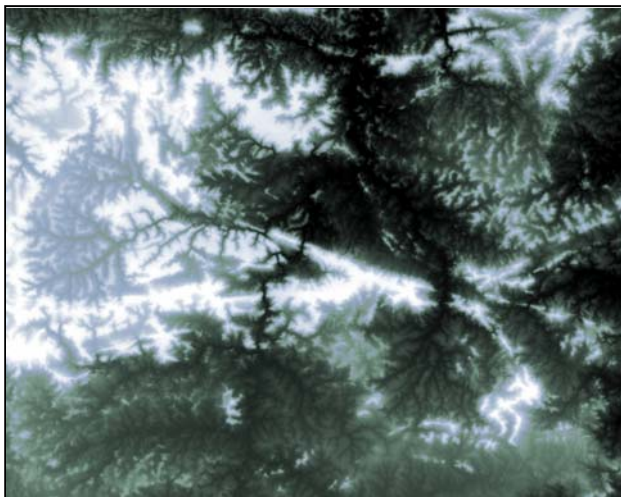


Figura 3 – Modelo digital de elevação (SRTM) utilizado na representação do relevo altimétrico.

- As direções dos lineamentos identificadas representam, na maioria das vezes, eventos deformacionais rúpteis. A direção E-W é pouco evidenciada na fusão, uma vez que melhor representa a deformação dúctil arqueana.

- Em sua terminação leste, a Falha Carajás apresenta comumente domínios magnéticos coincidindo com as feições negativas de relevo (Fig. 4). Os domínios que apresentam altos valores magnéticos estão provavelmente relacionados a concentrações mineralógicas com altos teores magnéticos nos diversos planos da falha.

- Diferenças entre domínios magnéticos podem ser utilizadas na identificação precisa de contatos litológicos. O Complexo Xingu aparece com médios a baixos valores magnéticos, enquanto que a Suíte Plaqué está classificada em domínios de médios a altos valores. As

rochas das formações Águas Claras, Gorotire bem como do Granito Central de Carajás apresentam valores magnéticos variando entre médios e baixos.

- Fusões de dados aerogeofísicos com imagens de sensores remotos orbitais na área estudada revelam a existência de correlação entre os relevos altimétrico e magnetométrico. Essa relação permite o realce estrutural favorecendo a demarcação de unidades litológicas distintas.

### Agradecimentos

- À **FAPESP** pela concessão da bolsa e financiamento do projeto de mestrado Processo 02/11984-7;

- À **CPRM**, especialmente, ao Sr. Luís F. Mourão e Sra. Maria Laura pela concessão dos dados aerogeofísicos;

- À **CVRD** na representação dos Srs. Anselmo Soares e José Lancaster pelo apoio nos trabalhos de campo;

### Referências

Drury S. A., 2001. *Image Interpretation in Geology*. 3<sup>rd</sup> edition. Malden, MA. Blackwell Science.

Henderson F. M., Lewis A. J., 1998. Principles and Applications of Imaging Radar. In: *Manual of Remote Sensing*, 3<sup>rd</sup> edition, volume 2. John Wiley/American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.

Minty B.R.S., 1991. Simple Micro-Levelling for Aeromagnetic Data. *Exploration Geophysics*. **22**: 591 - 592.

Pinheiro R.V.L., 1997. *Reactivation history of the Carajás and Cinzento Strike-Slip Systems, Amazon, Brazil*. Tese de Doutorado, University of Durham, Durham, Inglaterra, 408 p.

Rabus B., Eineder M., Roth A., Bamler R., 2003. The Shuttle Radar Topography Mission – a New Class of Elevation Models Acquired by Spaceborne Radar, *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, **57**:241-262.

Rencz A. N., 1999. Remote Sensing for the Earth Sciences. *Manual of Remote Sensing*, 3rd edition, vol. 3. John Wiley/American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.

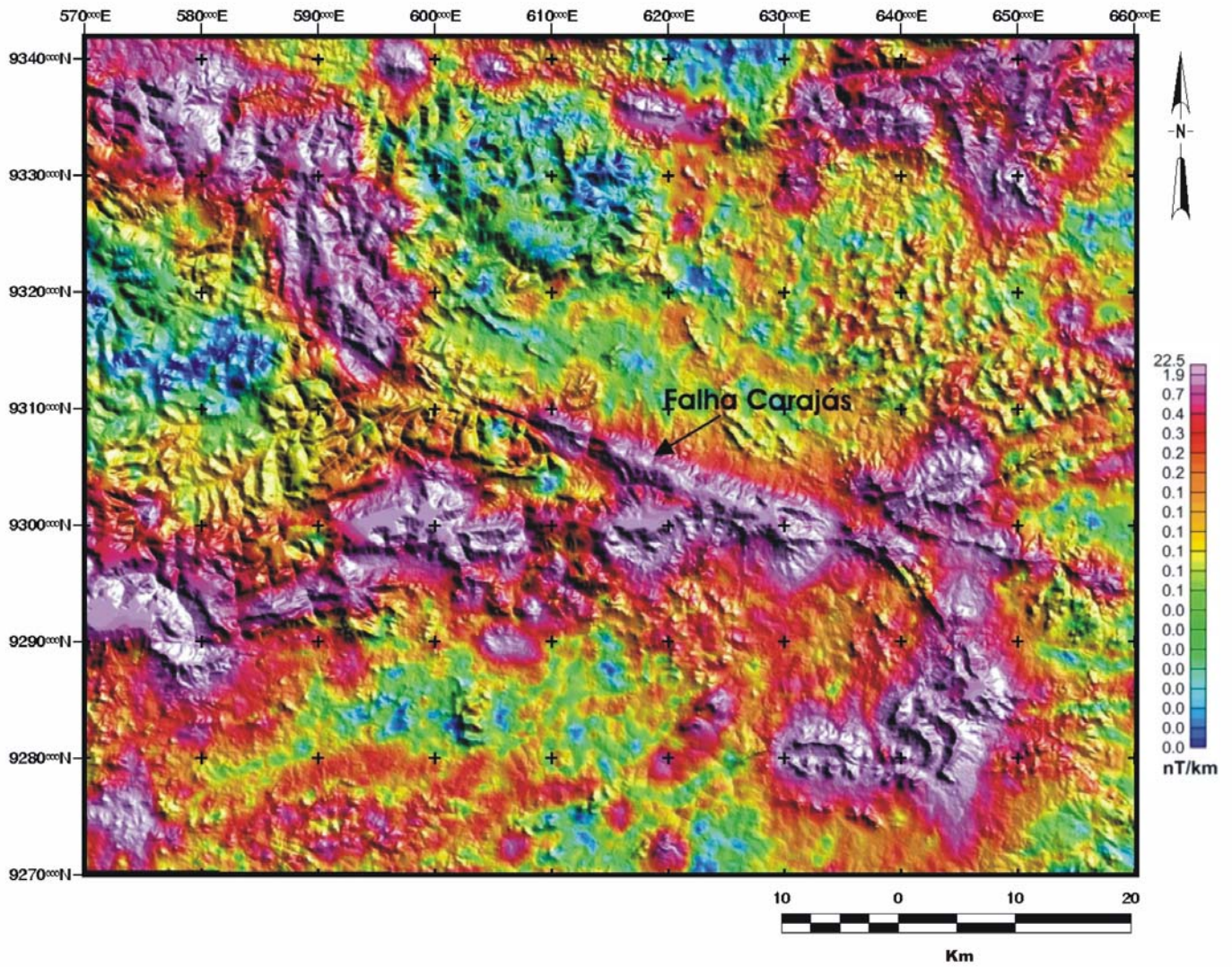


Figura 4 – Mapa da fusão dos relevos magnetométrico e altimétrico, evidenciando os altos valores referentes à Falha Carajás.