

## **Integração de dados aerogeofísicos (magnetometria) e de sensores remotos para a extração de lineamentos da região ao norte de Carajás, Província Maroni-Itacaiúnas.**

Cristiane Silva de Sousa  
Regina Célia dos Santos Silva  
CPRM - Serviço Geológico do Brasil  
Av. Dr. Freitas, 3640. Belém-PA  
cristiane@be.cprm.gov.br  
regina\_celia@be.cprm.gov.br

**Abstract:** The worked area is located at the east part of Amazon Craton on Maroni-Itacaiúnas mobile zone (Cordani et al 1984) northern of The Carajás Mineral Province. There, the access to rocky outcrops is bounded by natural issues like presence of a wide and thick vegetal coverage besides a intense weathering. However, the geological acknowledgment of that area is very important to prospect tasks. Therefore, indirect mapping methods are really needful like remote sensing ones. The way of how those methods are used whether individual, combined or both constitute an efficient and proper database to support prospective tasks on Amazônia. Wherefore, the propped objective is to use ETM+ Landsat sensor to support the distinguishing of structural lineament of that region located at south west of Novo Repartimento City according to the following coordinates: 04°21'28,84"/04°55'51,29" S and 50°17'31,36"/50°56'57,75" W.

**Palavra chave:** remote sensing, extraction of lineaments, airborne magnetic, sensoriamento remoto, extração de lineamentos, aeromagnetometria.

### **1. Introdução**

A região Amazônia é considerada uma das grandes fronteiras exploratórias mundiais no âmbito dos recursos minerais, por possuir um alto potencial metalogenético e uma escassez de conhecimento geológico de detalhe. Tal fato se deve a sua grande extensão territorial, densa cobertura vegetal, intenso intemperismo, difícil acesso e poucos afloramentos de rochas expostos em superfície.

Á área estudada encontra-se localizada ao norte da Província Mineral de Carajás e apresenta similaridades e cronocorrelações com os terrenos do Escudo das Guianas, caracterizados por mineralizações auríferas, com algumas minas de reconhecimento mundial.

O uso de técnicas de sensoriamento remoto integrada aos dados aerogeofísicos (magnetometria) revela-se como uma ferramenta essencial para a compreensão da evolução tectônica e estrutural da área, contribuindo para o conhecimento geológico básico e controle das mineralizações.

Sabe-se que a forma e o comportamento espacial dos elementos estruturais observados em imagens de sensores remotos, pelo seu caráter sinóptico, são atributos valiosos na pesquisa de grandes traços estruturais. Neste contexto o presente trabalho teve como objetivo auxiliar a caracterização de lineamentos estruturais, através da utilização de dados aeromagnetométricos e imagens do sensor ETM+, fornecendo subsídios aos trabalhos futuro de mapeamento geológico.

## 2. Localização da área de trabalho

A área de estudo está localizada na porção centro leste do Estado do Pará, a sul da BR-230 (Transamazônica) e sudoeste da cidade de Novo Repartimento, compreende uma área de aproximadamente 3600 Km<sup>2</sup>, delimitada pelas coordenadas 04°21'28.84"/04°55'51.29" S e 50°24'2"/50° 56'57.75" W (Figura 1).

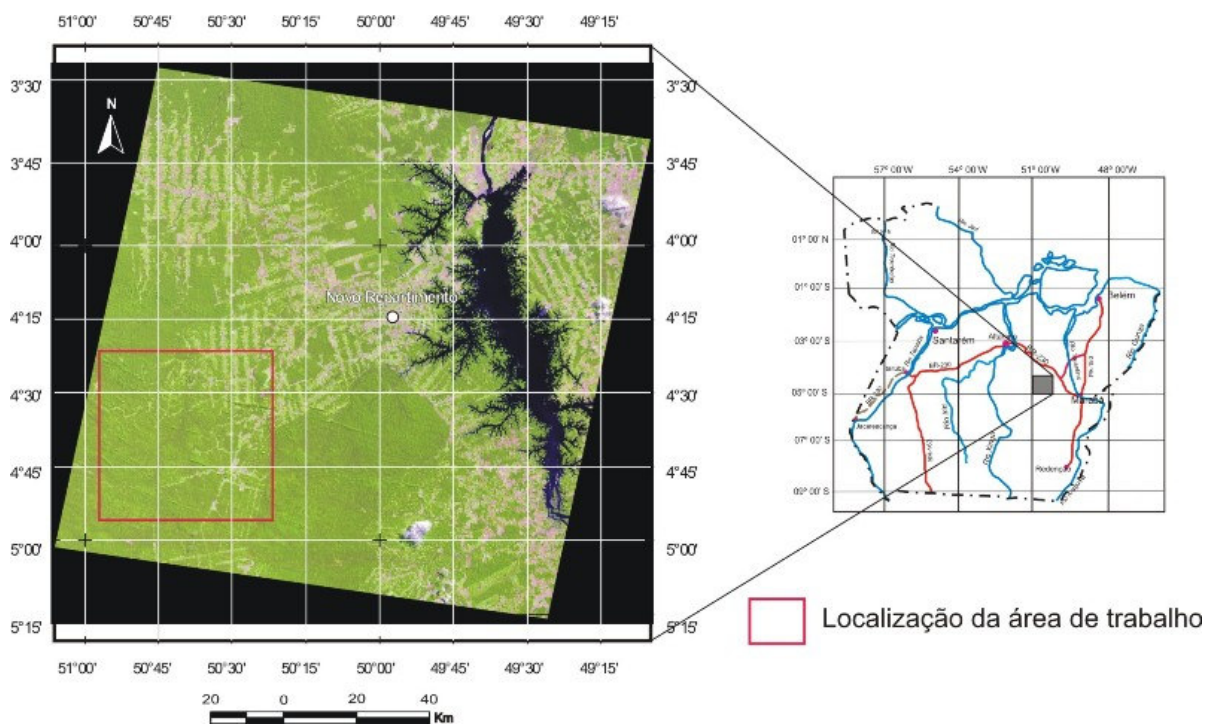


Figura 1. Mapa de localização da área de trabalho, composição R5G4B3 cena 224/63.

## 3. Contexto Geotectônico Regional

A área em questão está inserida na porção leste-noroeste do Cráton Amazônico, fazendo parte da província geocronológica Maroni-Itacaiúnas (Tassinari e Macambira 1999), definindo uma larga faixa na borda norte-nordeste do Cráton Amazônico com evolução principal ocorrida no intervalo de 2,2 a 1,95 Ga, sendo a faixa Paleoproterozóica mais antiga do Cráton Amazônico. Segundo a concepção vigente, a Província Maroni-Itacaiúnas foi formada a partir de acreção crustal durante o evento Orogênico Transamazônico, ocorrido em um período entre 2,3 Ga e 1,9 Ga. Ela consiste de uma crosta paleoproterozóica, envolvendo localmente núcleos de crosta arqueana retrabalhadas por esse evento (Tassinari et al. 2000). Nela dominam rochas metavulcânicas e metassedimentos deformados e metamorfizados nas fácies xisto-verde a anfíbolito, bem como terrenos gnáissicos-migmatíticos e granulíticos.

#### 4. Materiais e Métodos

Na elaboração do trabalho foram utilizadas imagens geradas pelos sensores ETM+ do Landsat 7, cena 224/63, bandas 3, 4, 5 com resolução espacial de 28,5 m e a banda 8 com 14,25 m obtidas em 09/07/2001, e imagens aeromagnetométricas do levantamento aerogeofísico Anapu-Tuere realizado em agosto de 2004, com direção de vôo N-S/E-W, linhas de vôo e de controle com espaçamento de 0,5 Km e 10 Km respectivamente e altura de vôo de 100m.

O processamento das imagens de sensoriamento remoto foi realizado utilizando o software SPRIN 4.1, as quais foram submetidas a correções geométrica, atmosféricas e ampliação do contraste para em seguida ser selecionada a área de interesse dentro da cena 224/63. Foi realizada a Transformação por Componente Principal (CP), que visa à redução da dimensionalidade dos dados e a remoção da redundância de informações oferecendo uma maior separabilidade de alvos. As imagens PC foram geradas a partir das bandas 3, 4 e 5 do sensor ETM+, a partir das imagens geradas foram testadas várias composições coloridas, de forma a obter o melhor resultado visual que destacassem as feições de interesse com melhor resposta para a extração de lineamentos. A composição escolhida foi PC1 (R), CP2 (G) e PC3 (B), assim como foram utilizadas as bandas individuais, principalmente a PC2 e a banda 8 pancromática de resolução 14,25m.

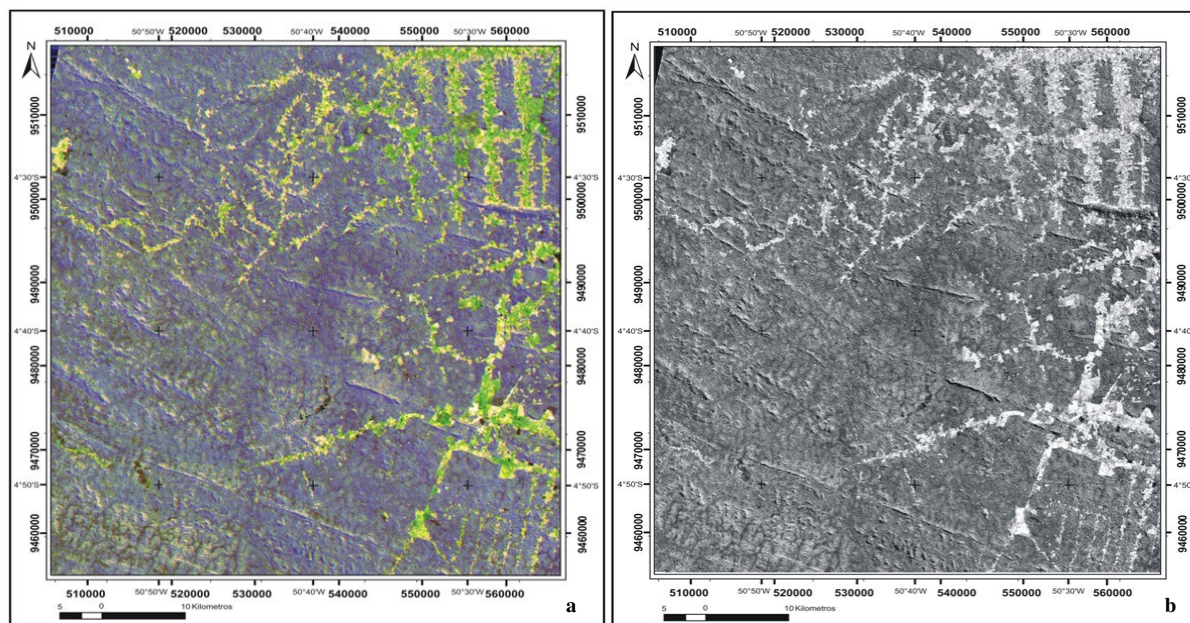
Os dados aerogeofísicos magnetométricos foram processados utilizando o programa Oásis Montaj 6.3 da Geosoft, onde foram gerados os mapas Magnéticos de Campos Total, Primeira Derivada Vertical do Campo Magnético Total e Sinal Analítico do Campo Magnético Total.

#### 5. Resultados

Através do processamento das imagens ETM+ algumas composições se destacaram como base de comparação para a extração dos lineamentos, dentre as quais a composição RGB-PC1, PC2, PC3 (**Figura 2a**). Esta composição apresentou boa resposta na visualização de estruturas, permitindo a diferenciação das unidades de paisagens bem como dos lineamentos.

O termo lineamento aqui utilizado segue os conceitos de O'Leary et. al. (1976) que consideraram este como qualquer feição linear ou curvilínea mapeável da superfície, que pode estar relacionado as falhas, fraturas ou outras estruturas. Amaro & Strieder (1994) definem os lineamentos como estruturas regionalmente penetrativas de tipo 1 e estruturas rúpteis de tipo 2. Aos lineamentos do tipo 1 associaram feições geomorfológicas positivas (quebras positivas) e negativas (quebras negativas), com um arranjo linear ou curvilinear, considerando principalmente a homogeneidade da ocorrência, densidade e distribuição geométrica, que permitem caracterizar as foliações ou lineações. Ao tipo 2 associaram predominantemente às feições geomorfológicas negativas, representando falhas ou fraturas.

A PC2 foi à imagem que mais se sobressaiu no reconhecimento das formas e padrões de relevo e dos principais lineamentos estruturais ocorrentes na área de estudo (**Figura 2b**). A análise estatística da imagem mostra que a PC2 possui uma maior contribuição da banda 4, que é a banda que melhor se aplica no reconhecimento das formas e padrões do relevo, além das informações espectrais das outras bandas do sistema Landsat 7 utilizadas, destacando-se no reconhecimento das feições lineares.



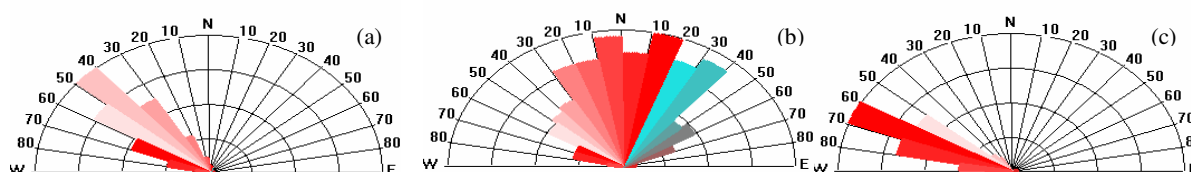
**Figura 2** – (a) Composição RGB–PC1, PC2, PC3, destacando as feições lineares, (b) PC2 gerada a partir das bandas 3,4 e 5 do sensor ETM+.

O estudo dos elementos texturais nas imagens de satélite permitiu o agrupamento destas feições em domínio, que caracterizam diferentes unidades geológicas ou domínios estruturais (**Figura 4**). Foram identificados três domínios estruturais:

Domínio I - correspondem a quebras positivas e negativas de relevo, constituindo os lineamentos do tipo 1 de Amaro & Strieder (1994). Possuem densidade alta de ocorrência, distribuição homogênea em toda a área, comprimentos frequentemente curtos, representando traços de estruturas penetrativas, típico de manifestação de estruturas dúcteis (foliação), os lineamentos concentram-se preferencialmente em um *trend* N40-60W (**Figura 3a**).

Domínio II - corresponde a quebras de relevo positivas, que apresentam maiores dimensões e baixa densidade de ocorrência foram consideradas como decorrente de estruturas rúpteis (falhas ou fraturas), as quais apresentam concentração de 1º ordem em N60-70W (**Figura 3b**).

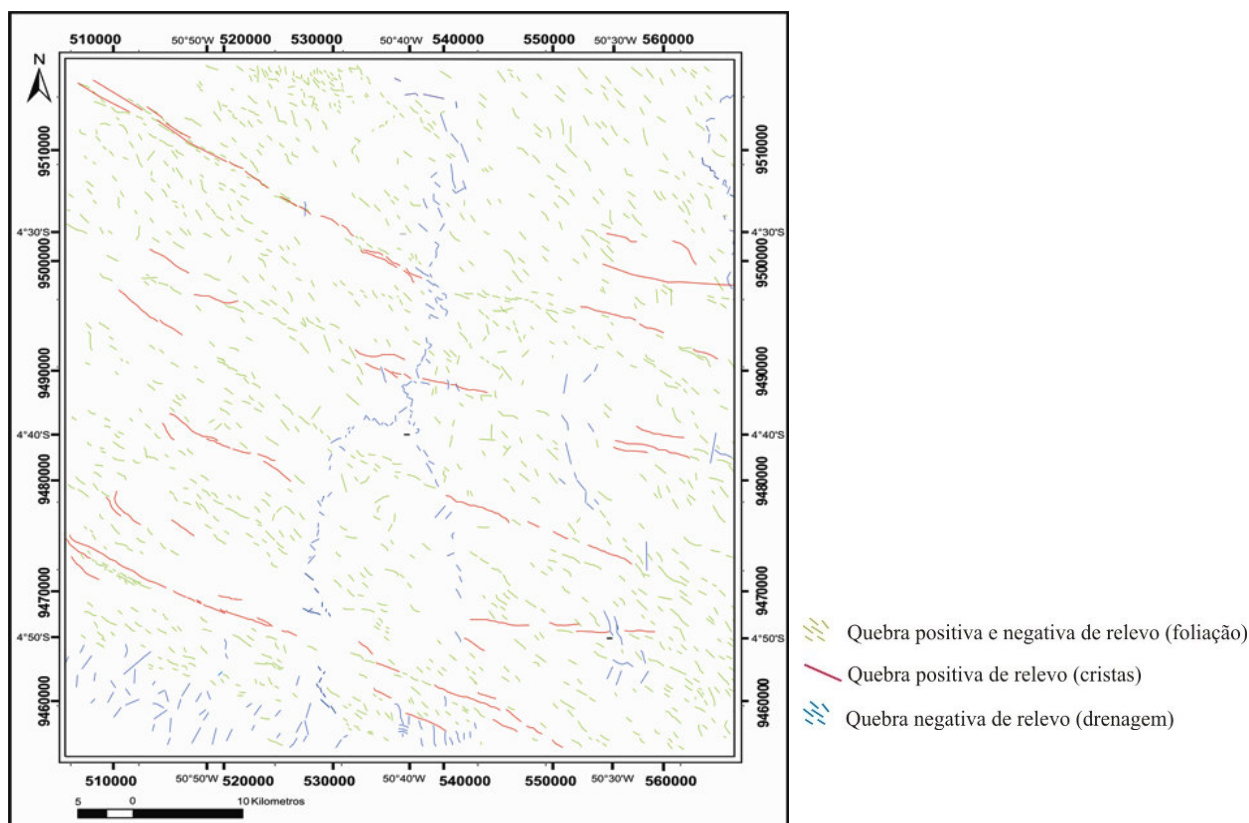
Domínio III - correspondem a quebras negativas de drenagem possuem uma distribuição heterogênea na área, com dimensões curtas e médias. Possuem *trend* bem variável de NNW-NNE (**Figura 3c**). Estes lineamentos correspondem a estruturas do tipo 2, de natureza rúptil e representando prováveis fraturas/falhas.



**Figura 3** - Diagrama de rosetas (frequência absoluta) mostrando a direção preferencial dos lineamentos do (a) domínio I, (b) domínio II e (c) do domínio III.



Assim a extração dos lineamentos sobre as imagens processadas foi feito de modo interativo com as composições geradas do sistema RGB, as imagens monocromática PC2 e banda 8, resultando no mapa base de lineamentos extraídos das imagens mostrado na **Figura 4**.



**Figura 4** - Mapa base de lineamentos geo-estruturais obtidos a partir da extração de feições lineares extraídos das imagens Landsat 7.

O método magnetométrico permite obter sinais de fontes em subsuperfície e costuma contribuir para os estudos litológicos e principalmente estruturais nos mapeamentos de reconhecimento geológico regional. Convém ressaltar que um determinado tipo de anomalia geofísica pode corresponder a litologias diferentes, como também determinados alinhamentos geofísicos podem refletir estruturas que não correspondem as existentes em superfície, portanto é essencial na interpretação a integração com os mais diversos sensores (imagens de radar, satélites, fotografia aéreas e outros).

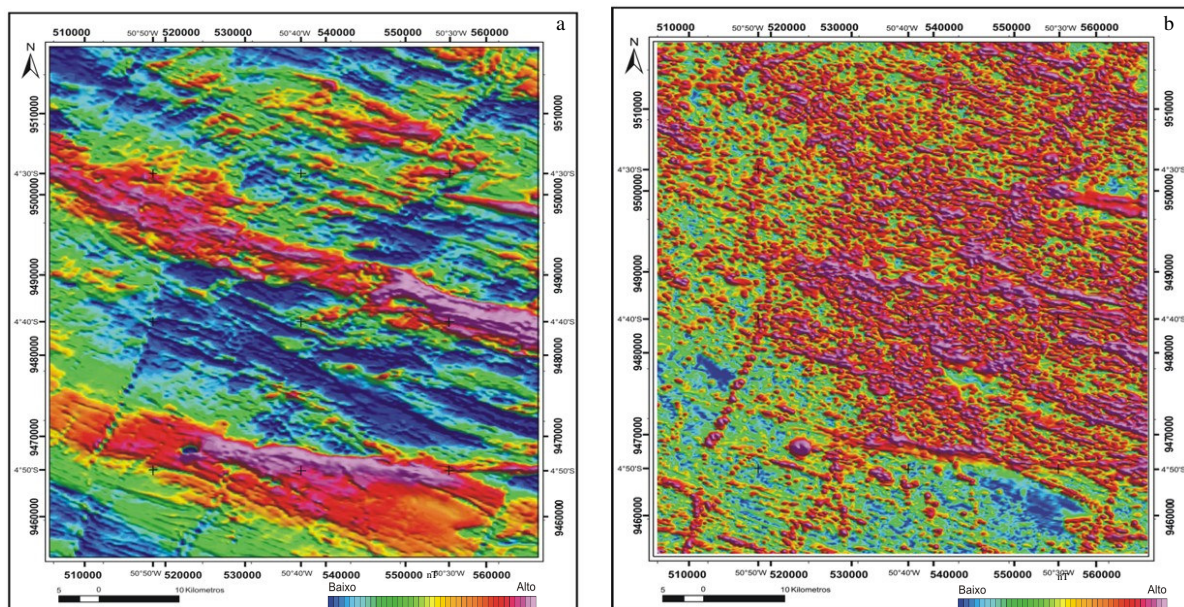
A análise das imagens aeromagnetométricas permitiu a identificação de feições magnéticas indicativas de falhas/fraturas, diques e lineamentos estruturais (**Figura 7 a, b**).

O mapa magnético do campo total (**Figura 5a**) mostrou um relevo magnético bastante movimentado com estruturas alinhadas predominantemente na direção NW/SE, concordantes com o *trend* magnético principal e correlacionável com o domínio II das imagens Landsat.

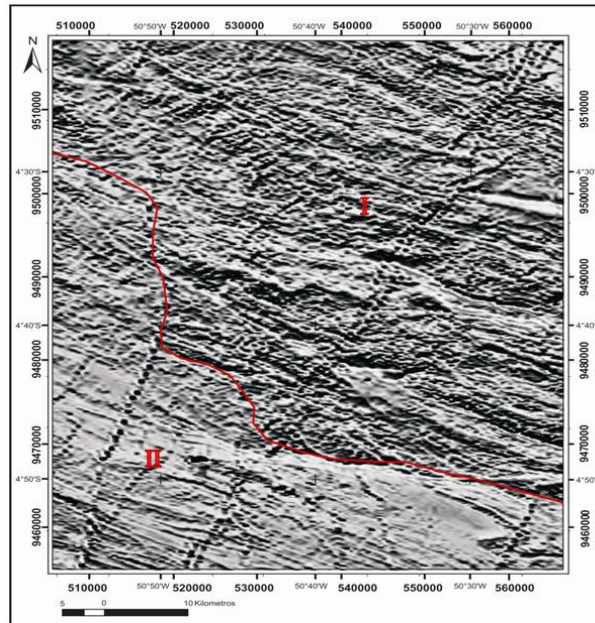
O mapa da amplitude do sinal analítico (**Figura 5b**) permitiu delimitar com mais precisão a fonte causadora da anomalia magnética, neste mapa ressaltaram-se feições de altos valores de amplitude magnética de direção NE/SW, bem como estruturas orientadas NW/SE localizadas na

porção centro leste da área e correspondendo ao domínio II dos lineamentos retirados das imagens Landsat 7.

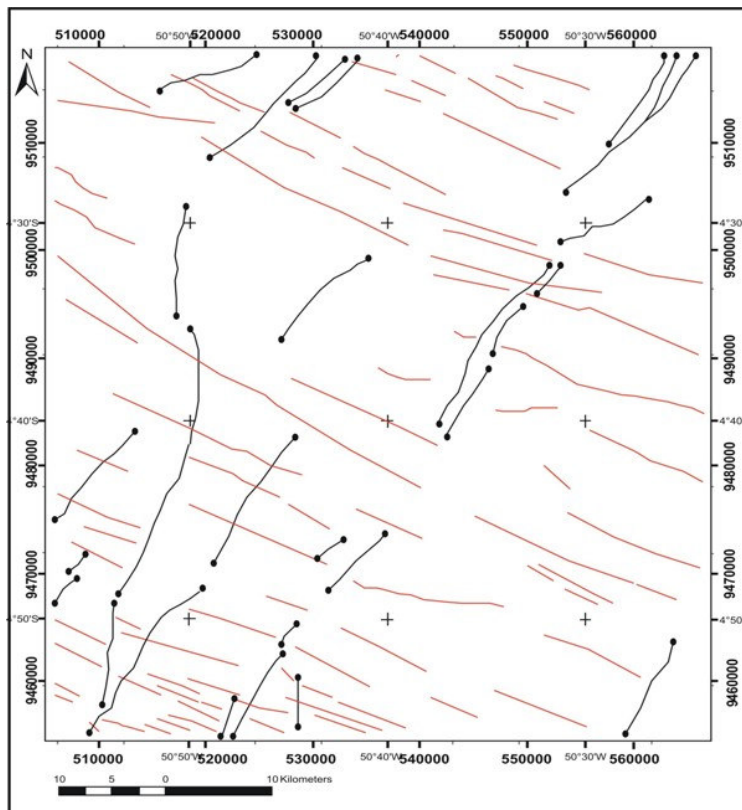
A imagem da primeira derivada vertical (**Figura 6**) permitiu uma melhor visualização dos contrastes magnéticos na qual foram individualizadas duas regiões: a primeira apresentando uma textura rugosa caracterizada por altos valores de frequência indicando fontes rasas; a segunda com textura lisa e de frequência baixa, indicativo de fontes mais profundas. Nota-se ainda, a presença de feições dipolares orientadas na direção NE/SW, sendo relacionadas a diques de grande extensão e que cortam o *trend* geral da região.



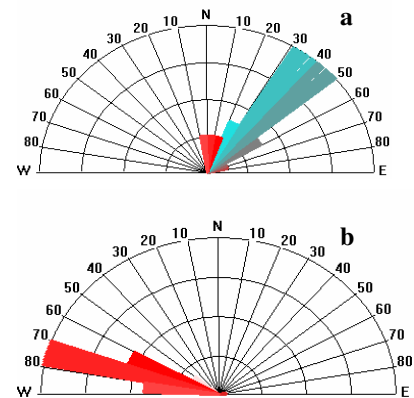
**Figura 5** – (a) Mapa do Campo Magnético Total, (b) Mapa do Sinal Analítico do Campo Total



**Figura 6** – Mapa da Primeira Derivada Vertical do Campo Total com a distinção de dois domínios magnéticos.



— Lineamento magnético (falhas/fraturas)  
 ● Diques



**Figura 7b** - Diagrama de rosetas (frequência absoluta) mostrando a direção preferencial dos diques (a) e dos lineamentos magnéticos (b).

**Figura 7a** - Mapa base de lineamentos obtidos a partir das imagens aeromagnéticas.

## 6. Conclusão

A análise e interpretação das imagens do sendo ETM+ e aeromagnetométricas permitiram a elaboração do mapa de lineamentos estruturais da área, com base nos critérios de identificação e traçado das feições lineares de relevo e magnético, que refletem o comportamento geoestrutural das rochas locais.

Através dos resultados obtidos constatou-se que para a deformação compressional da região as lineações/lineamentos apresentam uma direção principal, sendo ela aproximadamente NW-SE. Foram identificados três domínios estruturais diferente, assim como as direções preferências dos lineamentos.

A análise conjunta das lineações e/ou lineamentos observados permitiu sugerir a classificação das estruturas deformacionais em dois grupos: estruturas dúcteis que correspondem às estruturas distribuídas homoganeamente em toda a área e com orientação preferencial N40-60W, caracterizando-as como traços de foliação; e estruturas rúpteis, correspondendo a lineamentos/lineações localmente distribuídos na área e apresentando orientações principal NNW-NNE e secundariamente N60-70W, correspondendo a fraturas e/ou falhas.

A integração dos produtos de sensoriamento remoto e aeromagnetométrico demonstrou ser uma ferramenta eficaz para os trabalhos de mapeamento regionais, pois possibilita uma melhor compreensão do arcabouço geométrico de uma área. Contudo, para o melhor entendimento da cinemática se faz necessário informações de campo, insubstituíveis quando se trata da interpretação estrutural de uma região.

## 7. Agradecimentos

As autoras agradecem a CPRM-Serviço Geológico do Brasil por fornecer os dados do Projeto Anapu-Tuerê para a confecção deste trabalho. Ao colega José Reinaldo do Nascimento Filho pelo apoio técnico.

## 8. Referências Bibliográficas

- Amaro V.E. & Strieder A.J. 1994. Análise de fotolineamentos e padrões estruturais em imagens de satélite. In: SBG, Congr. Brás. Geol., 38, Balneário Camboriú, Anais, 443-444.
- O'Leary D.W., Friedman D.D., Pohn H.A. 1976. Lineament, linear, lineation: someproposed new standarts for old terms. Bulletin ofthe Geological Societv of America, 87:1463-1469.
- SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. Camara G, Souza RCM, Freitas UM, Garrido J Computers & Graphics, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.
- Tassinari C.C.G., Betencourt J.S., Geraldés M.C., Macambira M.J.B., Lafon J.M. 2000. The Amazonian Craton. In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A., Campos, D.A. (eds.) 2000. Tectonic Evolution of South America. Ac. Bras. Cienc. Rio de Janeiro, 41-96.
- Tassinari, C.C.G. & Macambira, M.J.B.1999. Geochronological provinces of the Amazonian Craton. Episodes, 22(3):174-182.