

## Extração automática de lineamentos utilizando imagens SRTM, Landsat ETM+ e ALOS PALSAR na região de Nobres, MT.

Raimundo Almir Costa da Conceição<sup>1</sup>  
Arnaldo Queiroz da Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Pará - UFPA  
Caixa Postal 479 – 3201-7000 - Belém - PA, Brasil  
almircostac@hotmail.com / arnaldoq@ufpa.br

**Abstract.** The viability of using model digital of surface from SRTM, Landsat ETM and PALSAR/ALOS images for automatic extraction of lineaments is the purpose of this article. The research was conducted from images of a sedimentary terrain located in Paraguay Belt (Province of Tocantins), Mato Grosso state, where the structures have preferential orientation NE-SW. This area has intense human occupation which makes it difficult to separate linear features of geological interest from those produced by human action. The extraction of lineaments was done with algorithm LINE from PCI/GEOMATIC which has six parameters that controlled o level of details of the extraction. It were tested values found in reference article and others are proposed in this work. From SRTM was generated shaded relief image with azimuthal direction of solar illumination perpendicular to trend structural. The results obtained in this study led to the conclusion that SRTM images were more efficient at extracting geological lineaments in relation to Landsat and PALSAR/ALOS because the automatic lineament extraction method approach does not discriminate man made features and non-geological features during the analysis.

Palavras-chave: automatic extraction, lineaments, SRTM, Landsat, PALSAR/ALOS, Paraguay Belt

### 1. Introdução

Os produtos gerados através sensoriamento remoto na avaliação de alvos geológicos têm importantes contribuições em estudos de mapeamento. A análise de imagens é um procedimento fortemente recomendado nas interpretações geológicas, principalmente na fase pré-campo dos projetos quer sejam acadêmicos ou profissionais. Nesta fase, a elaboração de um mapa de lineamentos estruturais é importante para nortear o trabalho em campo e, principalmente, auxiliar na interpretação do arranjo cinemático da área, seja ela de terrenos sedimentares ou cristalinos.

Um lineamento é definido como uma feição linear ou ligeiramente curvada de expressão regional observada em uma imagem pela variação tonal. O'Leary et al. (1976) descreveram o termo lineamento como uma feição linear simples ou composta mapeável de uma superfície cujas partes são alinhadas em uma trama linear ou ligeiramente encurvados os quais diferem do padrão de feições adjacentes e presumivelmente refletem algum fenômeno de subsuperfície. Em uma imagem de satélite, lineamentos podem ser o resultado de estruturas feitas pelo homem, tais como redes de transporte (estradas, canais, etc), ou estruturas naturais, como estruturas geológicas (falhas/fraturas, contatos litológicos, inconformidades) ou redes de drenagem (rios). Muitas zonas de mineralização, petróleo, gás e água subterrânea ocorrem associadas a zonas de fratura (Teixeira, 2003) e os lineamentos são úteis para localizar este tipo de ambiente. Os lineamentos associados a quebras positivas (relacionadas a cristas de serras, escarpas, crateras) são delineados por pixels de tonalidade clara enquanto os lineamentos relativos às quebras negativas (referentes a juntas, falhas, zonas de cisalhamento, drenagem) aparecem na imagem como pixels alinhados de tons escuros (Abdullah et al., 2010).

Madani (2001) analisou as bandas Landsat TM na extração automática de lineamentos em terreno de rochas metavulcânicas, máficas a intermediárias no sudeste do deserto do Egito, chegando a conclusão que as bandas do visível foram as que apresentaram melhores resultados. Qari (2008) utilizou imagens Aster e Landsat ETM+ para mapeamento geológico em rocha do embasamento (dioritos, granodioritos, leucogranitos e granitos) na

Arábia Saudita. Neste estudo a banda pancromática Landsat foi utilizada para extração dos lineamentos. Abdullah (2009) comparou bandas Landsat TM e imagens SPOT no mapeamento automático de lineamentos em terreno composto de rochas sedimentares paleozoicas e mesozoicas, granitoides intrusivos e rochas vulcânicas, localizado no leste da Malásia, concluindo que a banda 4 do Landsat e a banda 3 do SPOT-5, foram mais eficientes, principalmente em áreas tropicais, bem como para extração manual de lineamentos.

Este trabalho tem como objetivo identificar qual tipo de imagem possui maior qualidade na extração automática de lineamentos geológicos, através da avaliação visual dos resultados. Foram investigadas imagens ópticas, do sensor LANDSAT ETM+, SAR obtidas pelo sensor PALSAR/ALOS e o modelo digital de terreno gerado na missão SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). A extração automática dos lineamentos foi feita como o *Software* PCI Geomatica V12.0.

## 2. Área de Estudo

Para este trabalho foi selecionada uma área de aproximadamente 400 km<sup>2</sup> na porção norte a faixa Paraguai compreendida entre as latitudes 14°22'8,59"S e 14°49'58,644"S e longitudes 56°8'10,904"W - 56°52'15,82"W (Datum WGS 1984), na qual estão contidas as cidades de Nobres, Alto Paraguai e Rosário do Oeste, estado do Mato Grosso – MT, distante 115 km de Cuiabá.

De acordo com Abreu Filho (2011), o clima é predominantemente tropical quente e subúmido, apresenta duas estações bem definidas: uma seca (de abril a outubro) e outra úmida (novembro a março). A vegetação compreende quatro tipos principais: cerrados e campos cerrados (estrato de gramíneas e um estrato arbóreo), matas tropicais (localizadas nos vales situados entre as linhas de serra), matas galerias (ao longo dos cursos d'água) e campos cerrados. Geomorfologicamente, compreende um conjunto de relevos dobrados e falhados (Província Serrana) e uma área topograficamente rebaixada com caimento para sul (Depressão Cuiabana).

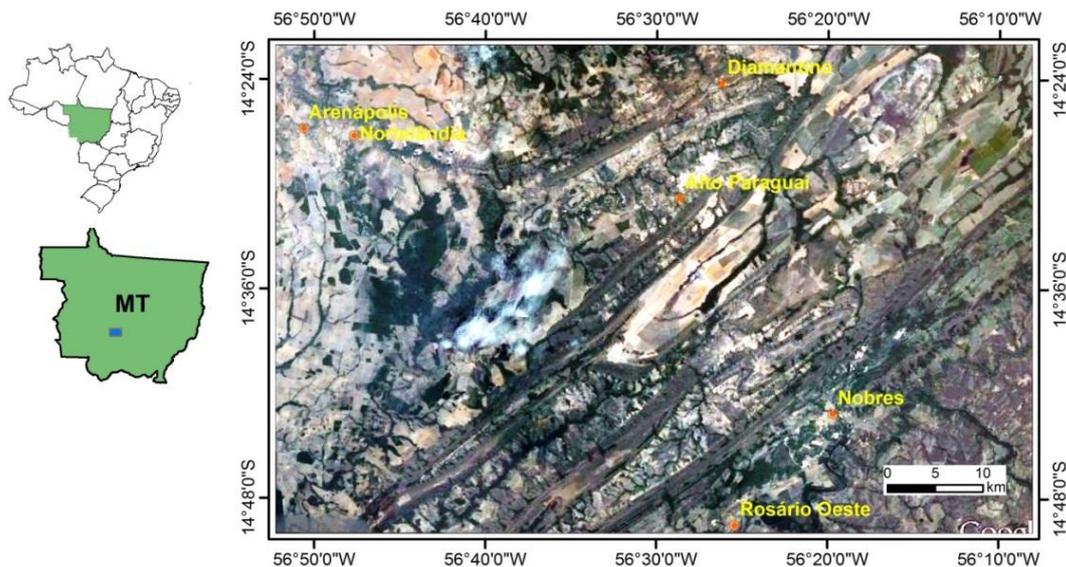


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo (imagem GeoEye/Goole Earth).

A área está inserida no contexto da Faixa Paraguai (Província Tocantins) de idade neoproterozóica. É composta predominantemente por rochas sedimentares do Grupo Alto Paraguai (pelitos siltitos e arenitos), Grupo Araras (dolomitos, calcários e folhelhos) e Formação Puga (diamictitos e siltitos), além das rochas do Grupo Cuiabá (xistos, filitos e

metaconglomerados) e Formação Tapirapuã (basalto) (Souza, no prelo). Estas litologias estão inseridas em um conjunto de dobramentos antiformes e sinformes controlados por falhas orientadas na direção NE-SW, estruturadas durante o evento Brasileiro (Alvarenga & Trompette, 1993).

### 3. Material e Métodos

Neste trabalho foram utilizadas imagens ópticas do sensor LANDSAT ETM+ (órbita: 224 - ponto: 224) e imagens SAR banda L, do sensor PALSAR/ALOS, além do modelo digital de superfície gerado na missão SRTM. As imagens ETM+ foram coletadas em 30/07/2001 e estão em formato geocover (imagem ortoretificada), disponíveis para download no site Global Land Cover Facility (<http://www.glcf.umiacs.umd.edu/>). As imagens PALSAR foram adquiridas no modo Fine Beam Dual FBD (polarizações HH e HV), órbita ascendente, pixel 12,5 x 12,5 metros e geocodificadas (WGS84 UTM). Os dados SRTM tem resolução espacial de 90 m e estão disponíveis para download no site Consortium for Spatial Science CGIAR-CSI ([www.http://srtm.csi.cgiar.org/](http://srtm.csi.cgiar.org/)).

Os softwares utilizados foram o módulo Focus do PCI/Geomatica V12.0 empregado para extração automática de lineamentos, Global Mapper 14.0 usado para gerar imagens de relevo sombreado e Rose Plot para geração dos diagrama de roseta.

O procedimento inicial foi recortar as imagens usando o polígono da área de estudo como referência de corte. As imagens PALSAR foram filtradas (filtro FEFROST 3x3) para redução do ruído speckle. Em seguida aplicou-se um escalonamento radiométrico não linear convertendo-as de 16 bits para imagens de 8 bits a partir da qual foram gerados os vetores de lineamentos. Este procedimento foi necessário devido o algoritmo LINE condicionar o arquivo de entrada em 8 bits. As imagens SAR nas polarizações HH e HV foram avaliadas separadamente. A avaliação do modelo digital de superfície SRTM foi feita por meio da imagem de relevo sombreado gerada a partir da configuração de uma determinada geometria de iluminação solar. Considerando que a *trend* estrutural da área de estudo é NE-SW avaliou-se duas imagem de relevo sombreado geradas com ângulos de iluminação 140° e 330° mantendo-se nos dois casos o ângulo de elevação solar em 45°. A metodologia adotada no trabalho esta resumidamente apresentada no fluxograma da Figura 2.

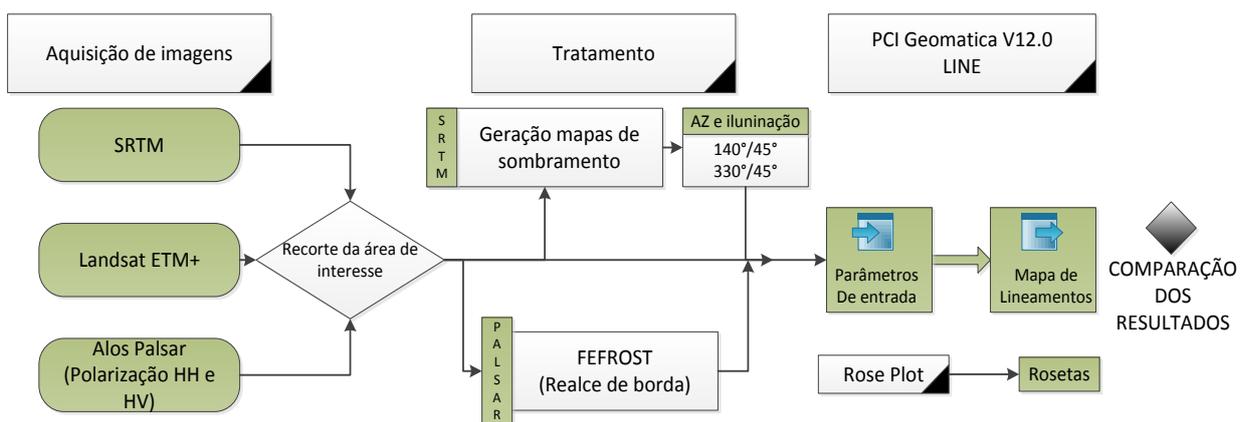


Figura 2. Fluxograma da metodologia empregada no trabalho.

A extração dos lineamentos foi feita através do algoritmo LINE (*Tools > Algorithm Librarian > Line*) implementado no módulo Focus do *software* PCI Geomatica V12.0. Este procedimento consiste em transformar feições lineares contidas nas imagens em um segmento vetorial de modo automático. O LINE é controlado por parâmetros globais cujos valores são pré-definidos ou alterados pelo usuário (Manual PCI Geomatica, 2012):

**Filter Radius (FR):** especifica o raio do filtro de detecção de borda, em pixels. Este parâmetro determina o nível até o qual o algoritmo detecta a informação como um lineamento. Um grande valor de *Filter Radius* indica que menos detalhes podem ser detectados, e também menos ruído. O valor padrão é 10, sendo que o intervalo de valores deste parâmetro é de 0 até 8192.

**Edge Gradient Threshold (EGT):** especifica o limite do nível de gradiente mínimo de um pixel de borda para obter uma imagem binária. Os pixels acima do limiar representarão na imagem binária um elemento de borda. Este valor deve estar na faixa de 0 a 255, sendo que o valor padrão é 100.

**Curve Length Threshold (CLT):** especifica o comprimento mínimo de curva, em pixels, para ser considerado como lineamento.

**Line Fitting Error Threshold (LFET):** especifica, em pixels, o erro máximo permitido ao sobrepor uma linha sobre uma curva. Os valores mais baixos proporcionam um melhor ajuste, mas também segmentos mais curtos na linha.

**Angular Difference Threshold (ADT):** especifica o ângulo máximo, em graus, entre segmentos de uma linha. Se o ângulo excede o máximo especificado, a linha é dividida em dois ou mais vetores. Este ângulo também define o ângulo máximo entre dois vetores para serem ligados. O valor padrão é 30.

**Linking Distance Threshold (LDT):** especifica a distância mínima, em pixels, entre os pontos finais de dois vetores para serem ligados. O valor padrão é de 20.

Os valores dos parâmetros de entrada utilizados neste trabalho para o algoritmo LINE foram baseados em trabalhos de Madani (2001), Qari (2008) e Abdullah (2009). Estes estudos serviram de referência na geração de novos valores testados para os parâmetros do algoritmo LINE adequando-os às características geológicas da área de estudo. A Tabela 1 mostra os valores dos parâmetros testados neste trabalho.

Tabela 1: Parâmetros de entrada (Input) utilizados através do algoritmo LINE do software PCI Geomatica V12.0.

Parâmetros	Madani (2001)	Qari (2008)	Abdullah (2009)	Proposto neste trabalho
Filter Radius (Pixel)	3	8	12	15
Edge Gradient Threshold	15	10	90	60
Curve Length Threshold	15	10	30	10
Line Fitting Error Threshold	2	3	10	5
Angular Difference Threshold	10	15	30	15
Linking Distance Threshold	30	20	20	30

## 4. Resultados e Discussão

### 4.1. Imagens Landsat +ETM

O uso dessas imagens para identificação de feições lineares de significado geológico é comprometido quando a área imageada sofreu ou sofre intervenções antrópicas. A concepção teórica do algoritmo LINE é baseada na identificação de bordas e este não possui um parâmetro que permita distinguir feições lineares associadas ao relevo e a drenagem, que são as que interessam ao estudo geológico, de outras feições não naturais como cercas, linhas de transmissão, ferrovias, estradas, caminhos, limites de talhões agrícolas, bordas de mata, entre outras. Isto torna o uso das imagens Landsat inadequadas para a extração de lineamentos geológicos em área de uso da terra como pode ser observado na Figura 3. Vale ressaltar que nas bandas que ressaltam texturas relacionadas a áreas urbanas, o LINE, também identifica e vetoriza as feições como mostra a Figura 3D.

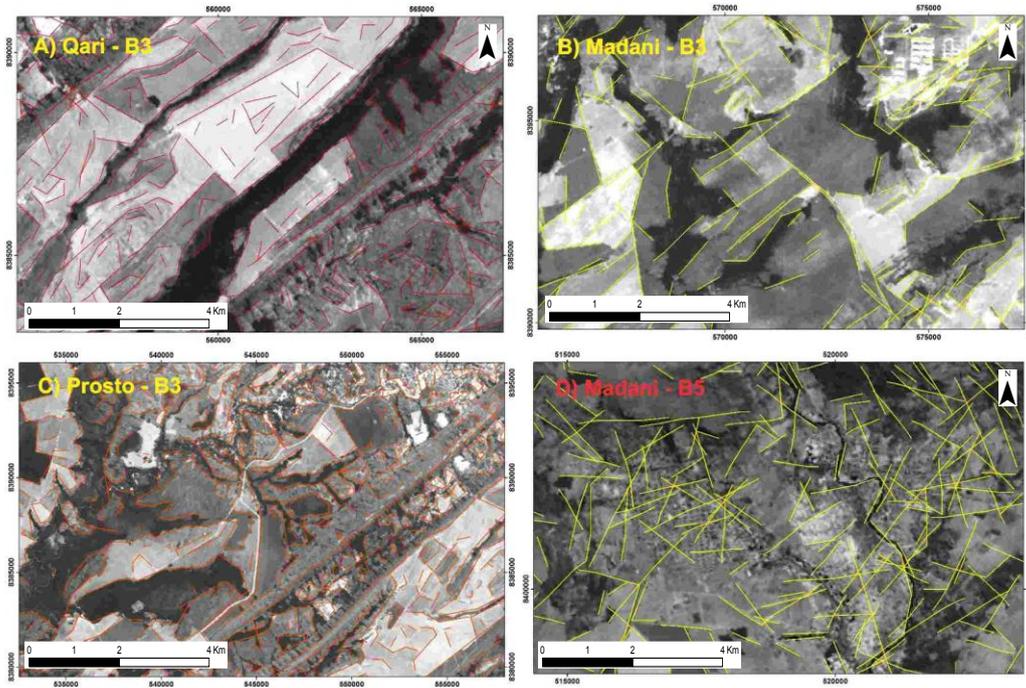


Figura 3 - Resultados da extração automática de lineamentos a partir das imagens Landsat +ETM. A) Limites dos talhões agrícolas. B) Limites dos talhões agrícolas e área urbanizada. C) Limites de talhões de rede viária D) Área urbanizada.

#### 4.2. Imagens PALSAR/ALOS

As imagens PALSAR/ALOS foram avaliadas nas polarizações HH e HV após redução do ruído speckle e originaram resultados semelhantes (Figura 04). A exemplo das imagens ópticas, as imagens SAR registram a radiometria refletida dos alvos da superfície terrestre. Por isso, são observadas as mesmas limitações identificadas nas imagens Landsat quando feições lineares não naturais são vetorizadas, apesar de se observar vetorização das feições topográficas e de drenagem mais proeminentes.

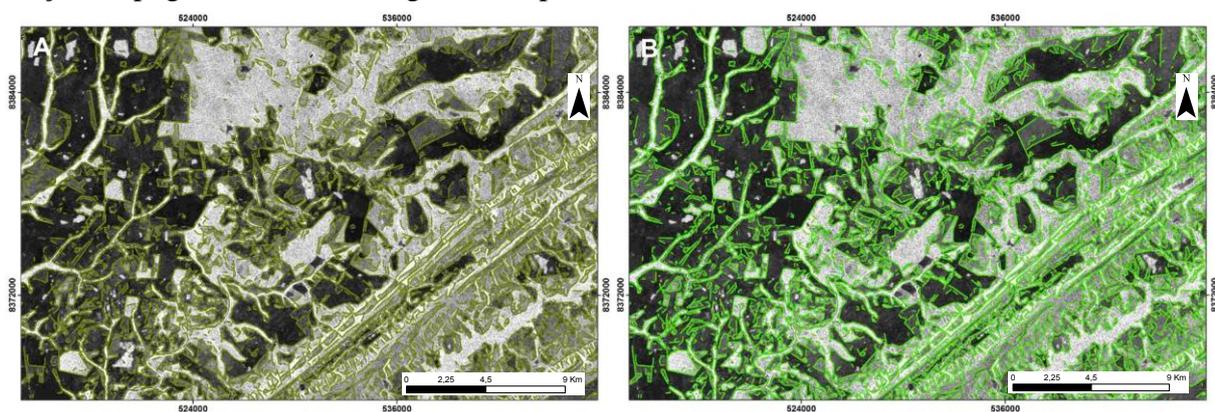


Figura 04: Vetores automáticos sobre imagens ALOS PALSAR. A) Polarização HH e B) Polarização HV

#### 4.3. Imagens SRTM

Foram avaliadas imagens de relevo sombreado com a fonte de iluminação posicionada nas direções azimutais 330° e 140° (ambas com elevação de 45°). Para cada uma dessas direções testou-se os valores apresentados na Tabela 1. Avaliou-se a frequência de lineamentos obtidos em cada imagem sombreada versus os valores aplicados no algoritmo

LINE. Dessa avaliação concluiu-se que as imagens sombreadas geradas com iluminação de 330° az são as que geram maior número de lineamentos conforme demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2: Frequência de lineamentos derivados de imagens sombreadas SRTM nas direções azimutais de iluminação 330° e 140° para diferentes valores dos parâmetros de entrada (Input) para o algoritmo LINE.

SRTM	Iluminação	Lineamentos (Frequência)			
		Madani (2001)	Qari (2008)	Abdullah (2009)	Proposto neste trabalho
	AZ 330°	4.274	14.166	977	4.308
AZ 140°	945	1.546	107	389	

A Figura 5 apresenta um recorte da área investigada mostrando o resultado da extração automática de lineamentos para diferentes valores dos parâmetros do algoritmo LINE, conforme apresentados na Tabela 1. Observa-se que os valores propostos por Madani (2001) (Figura 2a) e Abdullah (2009) (Figura 2c) não foram satisfatórios, uma vez que o algoritmo não identificou feições lineares expressivas definidas pela rede de drenagem, quebras negativas e cristas de serras como aquelas que aparecem na porção sudeste da figura 2. Por outro lado, os valores propostos por Qari (2008) resultaram na extração excessiva de lineamentos (Figura 2c). Os valores propostos para os parâmetros do algoritmo LINE neste trabalho (coluna 5 da Tabela 1) deram resultados que se colocam entre os dois extremos, captando as feições lineares mais evidentes como de falhas e cristas longas, assim como relacionadas às drenagens mais expressivas e às cristas curtas. Os lineamentos próximos foram ligados devido à elevação do parâmetro LDT, apesar da diminuição do valor LFET, que gera segmentos mais curtos, porém com sobreposições mais justas das linhas sobre as curvas. Existe a possibilidade de extração de feições ainda menores, captáveis através da diminuição do FR, e aumento do EGT, entretanto, ocorreria também a elevação da captação de ruídos interpretados como segmentos de linha.

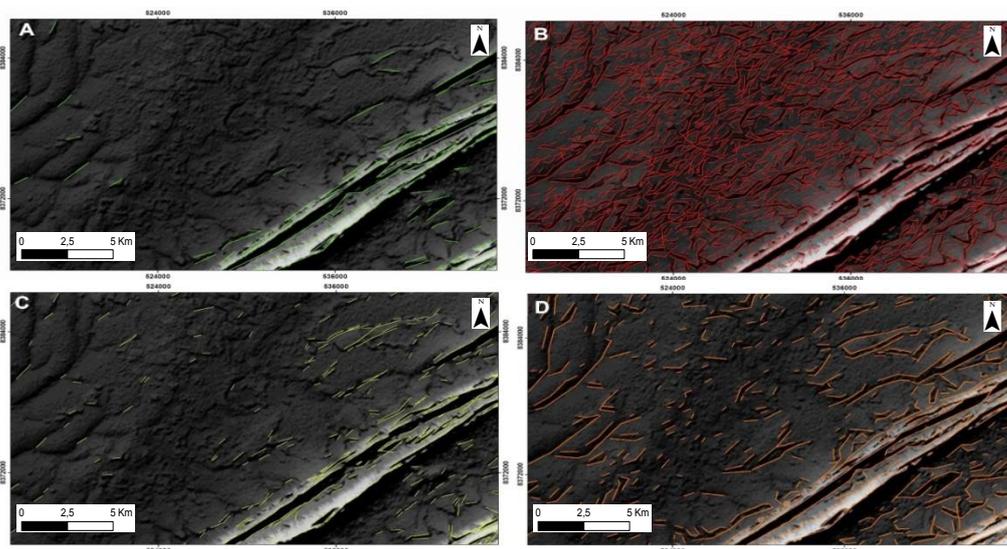


Figura 05 - Lineamentos extraídos automaticamente sobre imagem sombreada derivadas do MDS SRTM (direção azimutal de iluminação 330°). Foram utilizados valores dos parâmetros LINE propostos por: A) Abdullah (2009); B) Qari (2008); C) Madani (2001); e D) valores propostos neste trabalho.

A interpretação do conjunto completo de lineamentos extraídos segundo os parâmetros propostos neste trabalho pôde distinguir quatro domínios estruturais principais: o domínio 1,

caracterizado por lineamentos de direções heterogêneas (NE-SW, NNE-SSW e NW-SE; o domínio 2, com trend NE-SW dos lineamentos de drenagem, principalmente; e o domínio 3, com trend NW-SE, onde dominam as ocorrências da falhas e dobramentos sinformes e antiformes (Figura 06).

Fazendo comparativo visual com o mapa de Souza (no prelo) (Figura 07), o qual abrange cerca de 80% da área de interesse, pode-se observar que o padrão regional dos lineamentos é semelhante (NE-SW) e que os principais lineamentos (falhas) definidos na Figura 07, foram detectados pela algoritmo de extração automática.

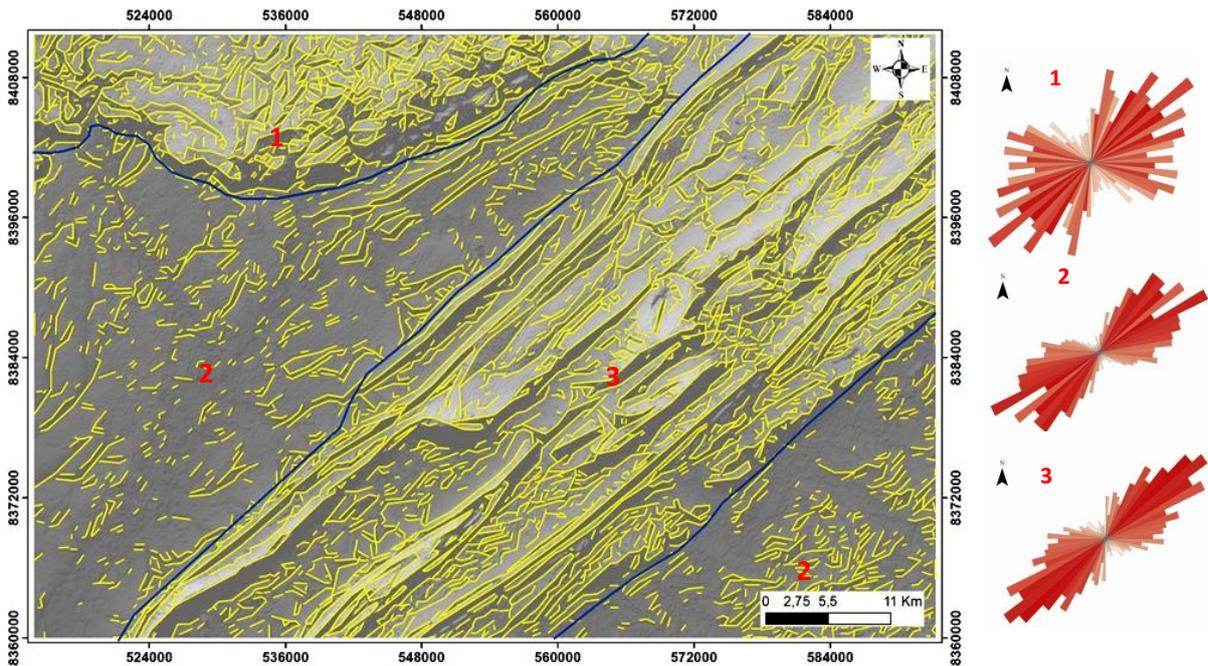


Figura 06. Extração de lineamentos gerada a partir dos parâmetros propostos neste trabalho em imagem SRTM com iluminação azimuthal 330° e elevação 45° e diagramas indicando direção a preferencial dos lineamentos (com padrão principal NE-SW) para cada domínio estrutural.

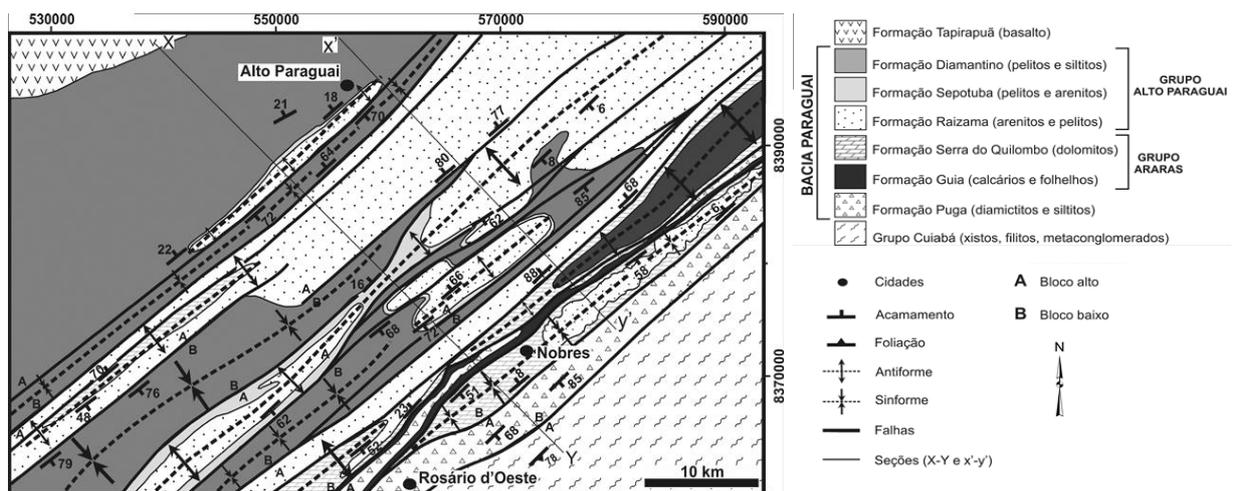


Figura 07: Mapa utilizado para comparação e validação dos dados obtidos. Souza (no prelo).

## 5. Conclusões

Apesar dos sensores empregadas na missão SRTM captarem sinais de radar refletidos, por exemplo, pelo dossel das árvores em áreas densamente florestadas e não pelo terreno subjacente (Grohmann et al., 2008), as imagens de relevo sombreado derivadas do

modelo digital de superfície se mostraram mais eficientes na extração de lineamentos geológicos, pois ressaltam com mais qualidade as características topográficas, se comparadas às imagens LANDSAT ETM+ e PALSAR/ALOS, que por sua vez são mais competente no registro textural do terreno.

A finalidade do algoritmo LINE é transformar feições lineares contidas nas imagens em um segmento vetorial de modo automático, portanto não tem aptidão de definir e separar os lineamentos naturais dos não naturais. Desse modo, as imagens de relevo sombreado são mais indicadas para este tipo de procedimento.

O fato dos parâmetros de Abdullah (2009), Qari (2001) e Madani (2008) não mostrarem resultados plausíveis e a boa funcionalidade dos parâmetros propostos neste trabalho, sugere que não existe uma solução padrão para a extração de lineamentos e que a escolha dos valores dos parâmetros do algoritmo LINE deve ser testada e ajustada às características geológicas da área de estudo.

## 6. Referências

Abreu Filho, W. et al (Org.). Projeto Fosfato Brasil – Estado de Mato Grosso: áreas Araras / Serra do Caeté e Planalto da Serra – Goiânia: CPRM, 2011.

Abdullah, A. et al. A Comparison of Landsat TM and SPOT Data for Lineament Mapping in Hulu Lepar Area, Pahang, Malaysia. **European Journal of Scientific Research**. Vol.34 No.3, p.406-415, 2009.

Alvarenga, C.J.S. & Trompette, R. Evolução tectônica Brasileira da Faixa Paraguai: A estruturação da região de Cuiabá. *Revista Brasileira de Geociências*. 23(1):18-30, 1993.

Eduardo de Jesus Souza, E. J. Tectônica Pós-colisional e Estratigrafia da Cobertura Neoproterozóica-da DA Faixa Paraguai Norte, Região de Nobres (MT). Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências. (no prelo).

Grohmann, C. H.; Riccomini, C.; Steiner, S. S. Aplicação dos modelos de elevação SRTM em geomorfologia. **Rev. Geogr. Acadêmica**, v.2, n.2: p. 73-83, 2008.

Olivera, D. B.; Moreno, R. S.; Miranda, D. J.; Ribeiro, C. S.; Seoane, J. C. S.; Melo, C. L. Elaboração de um mapa de lineamento estrutural e densidade de lineamento através de imagem SRTM , em uma área ao norte do rio Doce, ES. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), Natal, 25-30 abril 2009. **Anais...** Universidade Federal do Rio de Janeiro / Departamento de Geologia / Instituto de Geociências. Disponível em:< <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.23.12/doc/4157-4163.pdf>>. Acesso em 15 abril 2012.

Qari, M. H. T. et al. Utilization of Aster and Landsat Data in Geologic Mapping of basement rocks of Arafat Area, Saudi Arabia. **The Arabian Journal for Science and Engineering**, Vol.33, Number 1C, p. 99-116, 2008.

Madani, A. A. Selection of the optimum Landsat Thematic Mapper Bands for automatic lineaments extraction, Wadi Natash Area, South Eastern Desert, Egypt. 22<sup>nd</sup> Asian Conference on Remote Sensing, 5-9 November 2001, Sigapore. Cairo University, Faculty of Science, Geology Department, Giza, Egypt. Disponível em:< <http://www.crisp.nus.edu.sg/~acrs2001/pdf/006madan.pdf>>. Acesso em 5 outubro 2012.

Perrotta, M. M. **Processamento digital básico de imagens de sensores remotos ópticos para uso em mapeamento geológico**. CPRM – Serviço Geológico do Brasil/ DISERE -Divisão de Sensoriamento Remoto, Brasília-DF, 2005

Teixeira, W. et al. (Org). *Decifrando a Terra*. Oficina de Textos, São Paulo, 2003.