

Lineamentos estruturais a partir de imagem Landsat TM e dados SRTM

Clódis de Oliveira Andrades Filho¹
Leila Maria Garcia Fonseca¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
clodis@dsr.inpe.br, leila@dpi.inpe.br

Abstract. The identification of structural lineaments is an important practice in geological and geomorphologic research. Remote sensing from optical and radar sensors is essential in this type of application. Therefore, the objective of this study is to compare the mapping of structural lineaments using Landsat TM (Thematic Mapper) image and SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) data. The Landsat TM image was processed using IHS (Intensity, Hue, Saturation) transformation, principal component analysis (PCA) and directional high-pass filters. An image with slope direction was derived from the SRTM data. The structural lineaments were visually identified and mapped through the edit vector. The comparison between the structural lineaments mapped were defined by visual analysis of the map, exploratory analysis and elaboration of rose-diagrams. The results revealed that the SRTM data provide the best visualization of the linear features. In addition, these features were more efficiently mapped using Landsat TM images processed with IHS and PCA analyses than filtering, which is mostly due to the intense change in soil cover. A limitation of Landsat TM images for mapping of linear structures was the influence of the sunlight azimuth in the shadow directions. This limitation provides a map that might contain incomplete information about the ground.

Palavras-chave: optical image, geology, image processing, imagem óptica, geologia, processamento de imagens.

1. Introdução

O mapeamento de lineamentos morfoestruturais pode levar ao reconhecimento de falhas no terreno, visto que estes representam importantes elementos para interpretar o contexto tectônico de uma determinada área.

O'Leary et al. (1976) definem lineamento como uma feição mapeável na superfície terrestre, linear, retilínea ou suavemente encurvada, que pode ser tanto simples como composta. Os lineamentos, presumivelmente, refletem fenômenos de sub-superfície associados com o movimento diferencial de blocos falhados. Uma falha pode atingir dimensões diversas, causando deslocamentos no terreno na ordem de milímetros a vários quilômetros, podendo atingir dimensões continentais.

A utilização de imagens obtidas por sensores orbitais ópticos e de radar tem sido fundamental em estudos que envolvem a identificação de lineamentos estruturais. Com base em dados ópticos, há a possibilidade de associação entre feições do relevo e áreas de sombra, devido ao azimute de iluminação solar e aos demais elementos da cena indicativos de lineamentos estruturais, como por exemplo, o padrão de drenagem. Para uma extração eficiente de informações de imagens obtidas pelo sensor TM (*Thematic Mapper*) a bordo do Landsat 5, Leech et al. (2003) usaram filtros direcionais, análise de componentes principais (CP), filtros de realce e contraste por manipulação de histograma em composições coloridas. Novak e Soulakellis (2000) também utilizaram a técnica de CP e composições falsa-cor para mapeamento de morfoestruturas. Alvarenga et al. (2005) utilizaram dados dos sensores TM e ASTER, a bordo da plataforma TERRA, e da câmera CCD do satélite sino-brasileiro CBERS para traçar lineamentos. A técnica baseou-se na utilização de diferentes composições coloridas e realce por manipulação de histograma. Dados obtidos por radar são muito importantes na análise de feições morfoestruturais, visto que diferentes geometrias de aquisição das imagens permitem a ocorrência de efeito de sombra no terreno, que é um importante elemento neste tipo de análise (Paradella, 2005). Além disso, dados obtidos por técnica de radargrametria e interferometria permitem a elaboração de modelos digitais de

elevação, importantes na geração de subprodutos que permitem análises estruturais. As bases elaboradas por Valeriano (2005) usando dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) a partir do projeto TOPODATA apresentam-se como ferramentas potenciais na análise estrutural.

Geralmente, a identificação/mapeamento de lineamentos estruturais é realizada de modo visual a partir de vetorização, visto que as feições no terreno ocorrem de forma complexa, e a sua extração automática é muito difícil de ser realizada de forma eficiente.

Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho é identificar lineamentos estruturais em imagem Landsat 5 TM e dados SRTM, e avaliar qual base é mais eficiente na identificação de tais lineamentos.

2. Área de Estudo

A área de estudo localiza-se na região nordeste do Brasil, no sudeste do estado da Paraíba e nordeste do estado de Pernambuco (Figura 1).

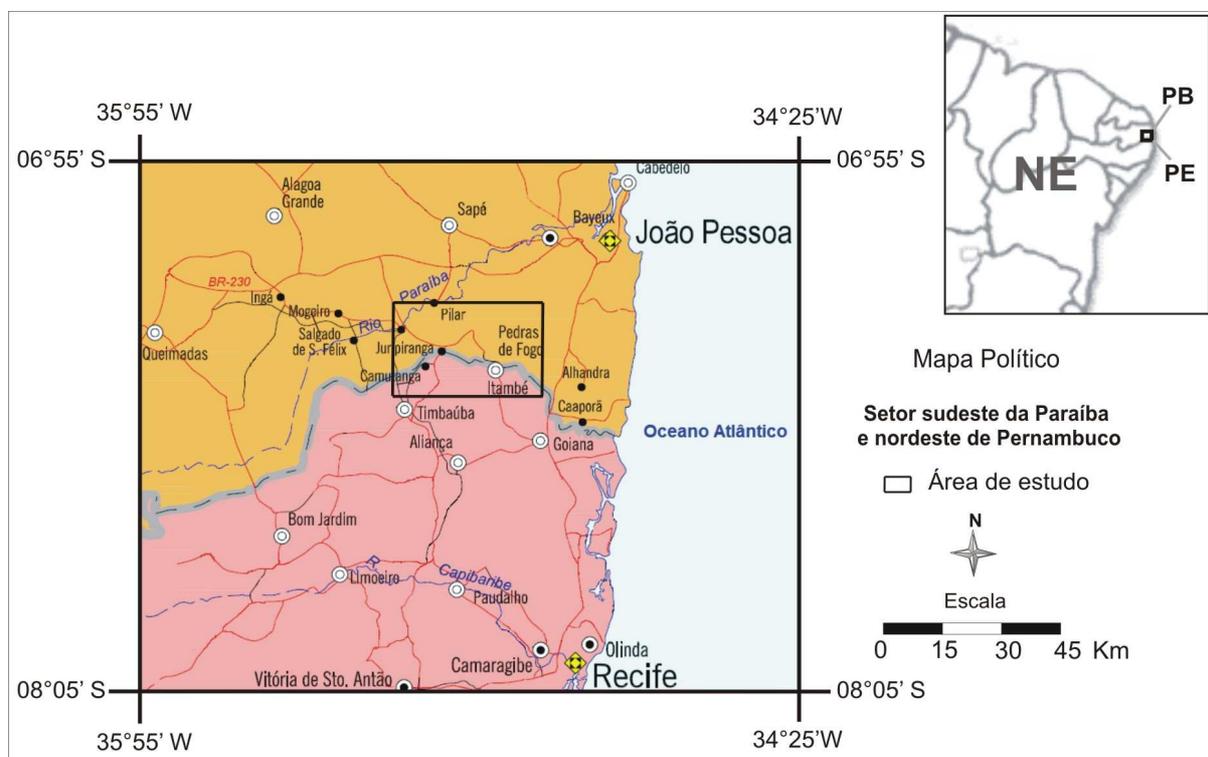


Figura 1. Localização da área de estudo.

Essa área apresenta grande potencial na análise tectônica, uma vez que o registro de atividades sísmicas é comum no nordeste brasileiro. Localizada no contexto da Formação Barreiras, essa área possui um intrincado sistema de lineamentos morfoestruturais, à semelhança do que ocorre em outras áreas de ocorrência da Formação Barreiras ao longo do litoral brasileiro (Lima, 2000).

3. Metodologia

3.1 Dados de Entrada

Os dados de sensoriamento remoto utilizados foram a imagem do sensor TM do satélite Landsat 5 e os dados provenientes da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*).

Desenvolvido pela NASA, em parceria com o Centro Aeroespacial Alemão (DLR) e a Agência Espacial Italiana (ASI), o projeto SRTM é um sistema RADAR que utilizou a técnica de interferometria para geração do modelo numérico do terreno (MNT). Este sistema teve cobertura quase global operando na banda C, e os dados obtidos estão disponíveis na resolução espacial de 90 m para América do Sul (Rabus, 2003).

Neste trabalho, sub-produtos SRTM-30 m do projeto TOPODATA (Valeriano, 2005) são utilizados. Em particular, utilizou-se imagens derivadas de uma representação numérica da orientação de vertentes, definida como ângulo azimutal de maior inclinação do terreno. Este produto proporciona uma percepção tridimensional coerente com a estrutura do terreno, que é eficiente na análise tectônica.

As imagens do sensor TM, a bordo do satélite LANDSAT-5, opera desde 1984 e são adquiridas em 7 bandas, sendo a banda 1, 2 e 3 correspondentes às faixas do azul, verde e vermelho, respectivamente. As demais bandas operam na faixa do infravermelho, sendo a banda 4 correspondente à faixa do NIR (*Near Infrared*), a banda 5 e 7 a faixa do SWIR (*Short Wave Infrared*) e a banda 6 correspondente a faixa do TIR (*Thermal Infrared*). Neste trabalho, utilizou-se a imagem obtida na passagem do satélite em 10 de Junho de 1989. Esta foi escolhida por ser uma imagem antiga e, portanto, com menos modificação da cobertura do solo, e por conter menor cobertura de nuvens. Foram utilizadas todas as bandas espectrais, com exceção somente da banda 6.

3.2 Processamento Digital de Imagens

Com o objetivo de identificar os possíveis lineamentos estruturais na imagem TM, foram utilizadas técnicas de Filtragem, Transformação IHS e Análise por Componentes Principais, realce por manipulação de histograma.

Os filtros do tipo passa-altas direcionais têm como maior aplicação os estudos geológicos de identificação e análise de lineamentos (Mather, 1999). Os filtros direcionais têm como objetivo realçar as feições em direções pré-determinadas que são definidas pelos coeficientes dos filtros. Oito filtros em diferentes direções (Figura 2) foram utilizados, gerando assim oito imagens filtradas. As siglas N, S, NW, NE, SE, SW denotam as direções norte, sul, noroeste, nordeste, sudeste, e sudoeste. O processo de filtragem foi aplicado somente na banda 5, visto que esta apresentava uma melhor definição das feições de interesse.

E - W			N - S			NW-SE			NE-SW		
-1	-2	-1	-1	2	-1	2	-1	-2	-2	-1	2
2	4	2	-2	4	-2	-1	4	-1	-1	4	-1
-1	-2	-1	-1	2	-1	-2	-1	2	2	-1	-2
W NW - E SE			N NW - S SE			E NE - W SW			N NE - S SW		
1	-2	-2	1	1	-2	-2	-2	1	-2	1	1
1	4	1	-2	4	-2	1	4	1	-2	4	-2
-2	-2	1	-2	1	1	1	-2	-2	1	1	-2

Figura 2. Filtros direcionais utilizados.

A transformação CP é uma técnica usada para remoção de correlação entre bandas e assim permite uma melhor utilização do espaço de cores (Mather, 1999). A transformação por Componentes Principais foi usada, levando em conta que o sombreamento topográfico é uma das causas mais importantes da existência de correlação entre bandas (Mather, 1999). A primeira CP (CP1) contém a informação de albedo e sombreamento da cena, o que possibilitou a identificação de lineamentos. Na geração das CP, as amostras foram adquiridas em áreas cujas feições de interesse estavam bem destacadas. Para a análise das estruturas geramos uma imagem colorida resultante da combinação da componente CP1 com mais duas bandas TM.

Outra técnica de processamento de imagens usada foi a transformação IHS, que deriva três componentes conhecidas por intensidade, matiz e saturação. Estas componentes são independentes e podem ser processadas separadamente. Neste estudo, a componente intensidade foi essencial na identificação de lineamentos estruturais, que são indicados pelas áreas de contato entre as áreas sombreadas e não sombreadas. Duas imagens coloridas foram geradas através da componente I combinada com outras duas bandas TM e outra imagem colorida foi gerada através da combinação de duas componentes I com uma banda TM.

Outro produto utilizado na análise foi a fusão IHS, substituindo a componente I pela CP1.

3.3 Definição de Lineamentos e Análise Exploratória

Antes do processamento, uma máscara na área onde há cobertura de nuvens na imagem TM foi definida e usada para excluir estas áreas durante o processamento. Vários produtos resultantes dos processamentos das imagens TM através de CP, IHS, filtragem e combinação de bandas foram gerados. Para cada produto, os lineamentos estruturais foram identificados através da análise visual e vetorização dos mesmos.

Numa etapa posterior, os lineamentos foram classificados segundo um limiar de 1,5 km de comprimento. Assim, temos lineamentos menores ou maiores do que 1,5 km. Este limiar foi escolhido empiricamente, observando as grandes estruturas.

A comparação dos resultados obtidos com a imagem TM e SRTM baseou-se na análise visual e principalmente na análise exploratória e geração/interpretação de diagramas de rosetas, que apresentam a frequência absoluta de lineamentos a partir da orientação direcional destes.

4. Resultados e Discussão

A Figura 3 mostra os resultados dos diferentes processamentos realizados com a imagem TM, bem como a imagem SRTM derivada da modelagem numérica representativa da orientação de vertentes que possibilitaram a identificação de lineamentos morfoestruturais. A área representada diz respeito ao setor sudoeste da área de estudo. Os resultados dos processamentos são: (1) combinação da primeira Componente Principal (CP1) com mais duas bandas TM no sistema RGB, (2) combinação da componente Intensidade (I) com bandas TM no sistema RGB, (3) filtragem direcional, e (4) fusão IHS, substituindo a componente I pela primeira Componente Principal (CP1). As informações de composição das bandas são mostradas na Figura 3, abaixo de cada composição obtida.

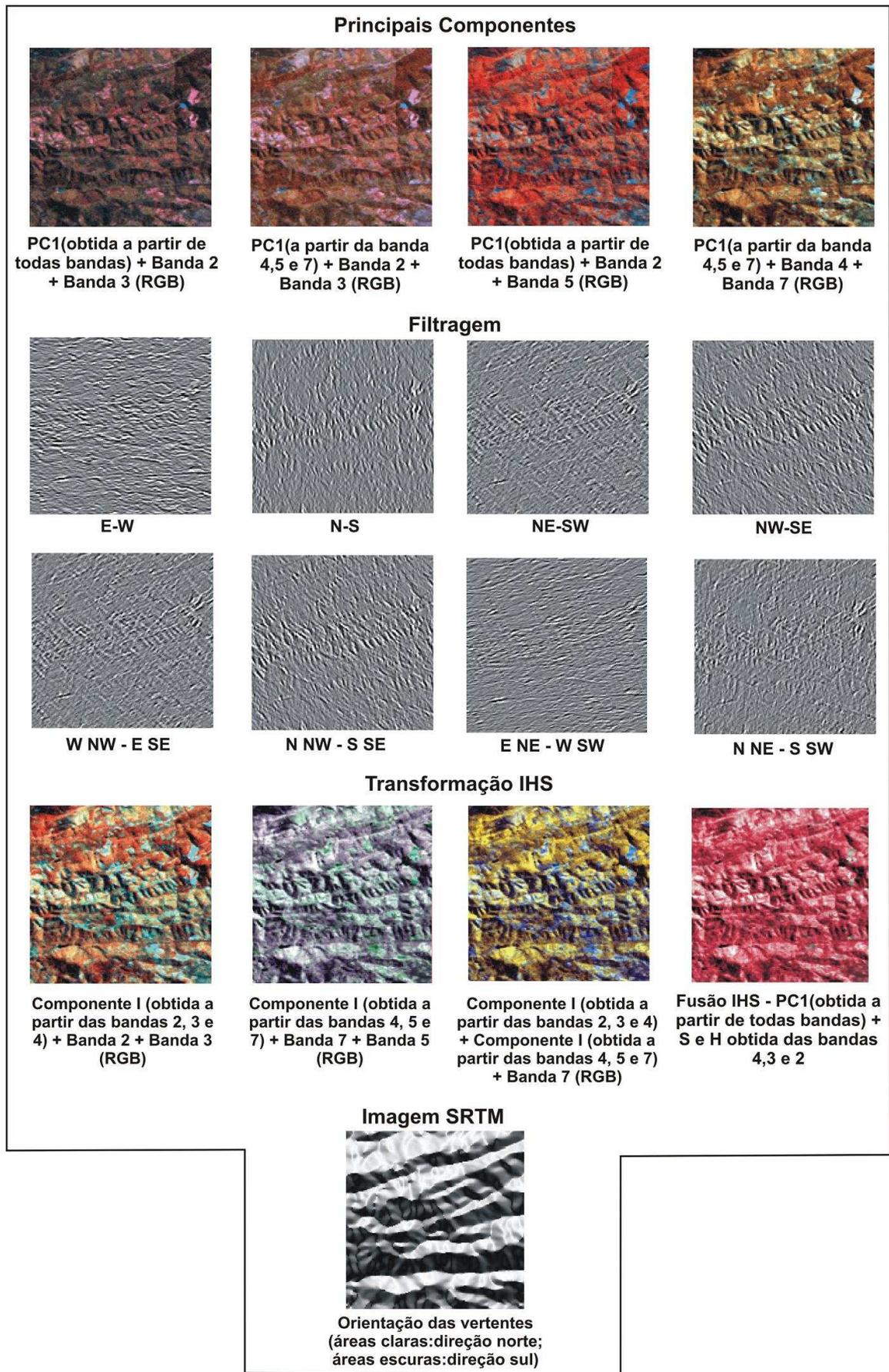


Figura 3. Resultado dos processamentos na imagem TM e o dado SRTM utilizado na comparação.

As técnicas de transformação IHS e Componentes Principais mostraram-se mais eficazes na identificação de lineamentos, enquanto que a filtragem gerou um número elevado de bordas não condizentes com os lineamentos morfoestruturais. Estas bordas estavam relacionadas em sua maioria com outros tipos de feições lineares que dizem respeito às modificações da cobertura do solo.

Tanto os produtos gerados a partir da imagem TM, quanto a imagem de orientação das vertentes proveniente dos dados SRTM, identificaram os lineamentos de interesse. No entanto, apesar dos diferentes processamentos realizados na imagem óptica, os dados SRTM ofereceram um maior detalhamento das feições. Na Figura 4, os lineamentos em vermelho (SRTM) foram identificados numa maior área da imagem, além de ocorrerem em número superior aos lineamentos identificados na imagem TM.

De acordo com a ferramenta de análise exploratória de lineamentos presente no SPRING, a imagem Landsat TM permitiu a identificação de 162 lineamentos no total. Já a imagem de orientação das vertentes, produto derivado do SRTM, permitiu a definição de 577 lineamentos. Além disso, os lineamentos identificados na imagem TM se concentram em determinados setores, principalmente no setor sudoeste e nordeste da área. No que diz respeito ao comprimento das feições identificadas a partir das duas bases, verificou-se uma relação proporcional entre elas. Tanto na imagem TM, como na SRTM, os lineamentos menores foram definidos num número mais expressivo em relação aos lineamentos com comprimento maior que 1,5 km. A imagem TM identificou 123 lineamentos com comprimento menor que 1,5 km, e a imagem SRTM permitiu a identificação de 488.

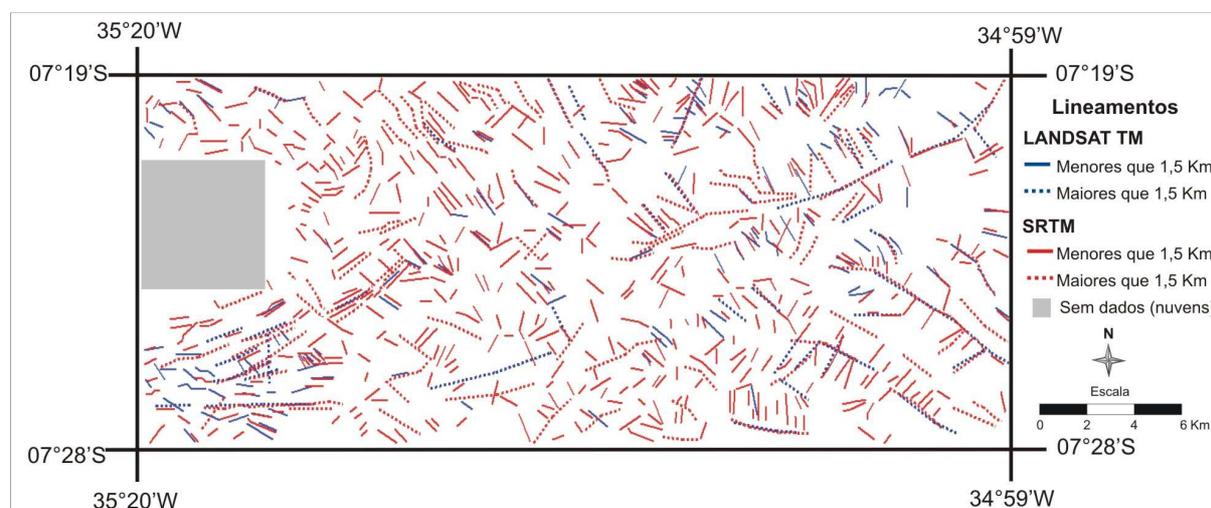


Figura 4. Lineamentos estruturais definidos pelos dados Landsat TM e SRTM.

Os diagramas de roseta (Figura 5) permitiram uma melhor avaliação da comparação entre as duas bases, além de apresentar um melhor panorama da tectônica da área. Os diagramas apresentam a frequência absoluta dos lineamentos na totalidade, e também no agrupamento de lineamentos menores e maiores que 1,5 km. Esta frequência absoluta é apresentada de acordo com o ângulo azimutal. Ou seja, os diagramas evidenciam as direções predominantes dos lineamentos estruturais.

De acordo com a Figura 5, a diferença entre os dados obtidos pela imagem TM e SRTM é significativa. Enquanto a imagem TM identificou lineamentos, essencialmente, na direção noroeste, o dado SRTM identificou-as nas direções noroeste e nordeste de forma proporcional.

No que diz respeito à caracterização em relação ao comprimento dos lineamentos, observa-se que os dados SRTM apresentam certa proporcionalidade nas direções noroeste/nordeste. Já na imagem TM, os lineamentos maiores apresentam uma relação direcional com diferença significativa em relação ao conjunto. Além disso, os lineamentos maiores identificados na imagem TM apresentam direção semelhante em relação aos lineamentos de igual comprimento na imagem SRTM. Esta relação de conformidade direcional, ocorrendo na definição dos maiores lineamentos, pode indicar que numa escala menor de análise as duas bases apresentam potencial semelhante. Porém, numa escala de maior detalhe, o dado SRTM evidencia as feições lineares com maior eficácia.

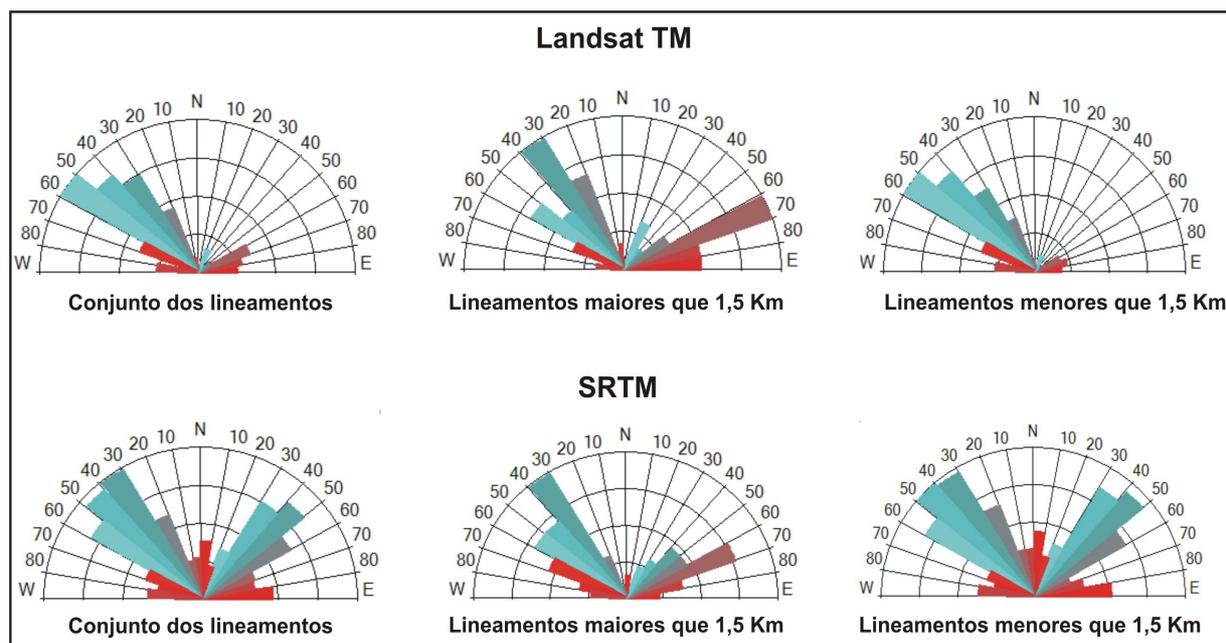


Figura 5. Diagramas de rosetas dos lineamentos extraídos a partir da imagem Landsat TM e SRTM.

A análise foi realizada a partir das informações da passagem do Landsat TM no momento de obtenção da imagem. Esta pode explicar a ocorrência de direção predominante de lineamentos na orientação noroeste, visto que a imagem foi captada na estação de inverno, com azimute solar de aproximadamente 49 graus. Portanto, devido ao horário fixo de passagem em torno de 10:00, e o azimute solar da data de obtenção, as áreas de sombra na imagem são evidentes na direção perpendicular à iluminação solar. Assim, o diagrama de rosetas (conjunto), produto da imagem TM, evidencia claramente esta relação, onde os lineamentos definidos ocorreram em predominância na direção perpendicular a iluminação.

Nesta análise fica evidente uma limitação da utilização da imagem TM na identificação de lineamentos, visto que existe uma relação direta com o azimute de iluminação solar no momento de obtenção da imagem. No caso da área de estudo, este problema poderia ser amenizado com a utilização conjunta de uma imagem obtida no inverno e outra no verão. Assim, os diferentes azimutes de iluminação proporcionariam a definição de lineamentos em todos os quadrantes, devido à localização da área de estudo na proximidade da linha do equador. No entanto, em altas latitudes, ao sul ou ao norte dos trópicos de Capricórnio e Câncer, não existe a possibilidade de ocorrerem diferenças no azimute de iluminação solar de forma significativa ao longo do ano. Assim, as áreas de sombras que as imagens TM apresentam, ocorrem em direções semelhantes durante todo o ano.

5. Conclusões

Tanto os dados da imagem Landsat TM como os dados SRTM são eficazes na identificação de lineamentos estruturais, sendo de grande importância a utilização de técnicas de processamento de imagem para realçar as feições lineares na imagem TM. No entanto, a base obtida a partir dos dados SRTM proporciona um maior detalhamento no mapeamento dos lineamentos estruturais.

Apesar da eficácia das técnicas de processamento de imagem óptica, existe uma limitação da imagem referente ao ângulo azimutal de iluminação solar no momento de obtenção. Este pode mascarar ou evidenciar determinados lineamentos. Portanto, além de um grande domínio das técnicas de processamento de imagens, é necessária uma análise detalhada dos parâmetros de obtenção da imagem. Assim, é possível adquirir conhecimento necessário das potencialidades e limitações do dado a ser trabalhado.

Agradecimentos

Os autores agradecem o suporte financeiro, através de bolsa de mestrado, da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES.

Referências

- Alvarenga, R. S.; Saldanha, D. L.; Sommer, C. A.; Sommer, J. A. P.; Lima, E. F.; Pierosan, R. Aplicação Comparativa dos Produtos dos Sensores TM-LANDSAT 5, CCD - CBERS2 e ASTER - TERRA no Mapeamento Geológico na Região do Platô da Ramada, RS. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2005, Goiânia. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p 1-8. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/cbers/cbers_XIIbsr/225_INIC_simpbrasil2005_2pdf>. Acesso em: 14 ago. 2008
- Leech, D.P.; Treloar, P.J.; Lucas, N.S.; Grocott, J. Landsat TM analysis of fracture patterns: a case study from the Coastal Cordillera of northern Chile. **International Journal of Remote Sensing**, 24(19), pp. 3709-3726. ISSN (print) 0143-1161, 2003.
- Lima, C. C. U. O neotectonismo na costa do sudeste e do nordeste brasileiro. **Revista de Ciência & Tecnologia**, Piracicaba - SP, v. 8, n. 15, p. 91-101, 2000.
- Mather, P. M. **Computer Processing of Remotely-Sensed Images: An Introduction**. 2 ed., Chichester, John Wiley & Sons, 1999. 292 p
- Novak, I.D., Soulakellis, N. Identifying geomorphic features using LANDSAT-5/TM data processing techniques on Lesvos, Greece. **Geomorphology**, 34Z1-2., 101-109, 2000.
- O’Leary, D. W.; Friedman, J. D.; Pohn, H. A. Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms. **GSA Bulletin**, v. 87, p. 1463-1469, 1976.
- Paradella W. R.; Santos, A. R.; Veneziani, P.; Cunha, E. R. S. P. Radares Imageadores nas Geociências: Estado da Arte e Perspectivas. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 2005, n. 57/01, p. 56-62, 2005.
- Valeriano, M. M. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2005, Goiânia. **Anais**, São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 1-8. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/10.29.11.41/doc/3595.pdf>>. Acesso em: 21 ago. 2008
- Rabus, B.; Eineder, M.; Roty, A.; Bamler, R. The Shuttle Radar Topographic Mission: a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 57, p. 241-262, 2003.