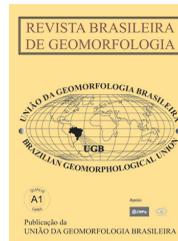




www.ugb.org.br  
ISSN 2236-5664

## Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 14, nº 3 (2013)



# SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO À ANÁLISE DE ESTRUTURAS RÚPTEIS DA DEPRESSÃO DO PIRAÍ, ESTADO DO PARANÁ, SUL DO BRASIL

## REMOTE SENSING APPLIED IN THE ANALYSIS OF BRITTLE STRUCTURES IN THE PIRAÍ DEPRESSION, STATE OF PARANÁ, SOUTHERN BRAZIL

**Mário Sérgio de Melo**

Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) – Departamento de Geociências (DEGEO) – Av. General Carlos Cavalcanti 4748 – Ponta Grossa, Paraná, Brasil – CEP 84.030-900  
E-mail: msmelo@uepg.br

**Dilce de Fátima Rossetti**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) – Centro de Observação da Terra (OBT) – Divisão de Sensoriamento Remoto (DSR) – Rua dos Astronautas 1758 – São José dos Campos, Brasil – CEP 12.245-970  
E-mail: rossetti@dsr.inpe.br

### Informações sobre o Artigo

Data de Recebimento:  
14/11/2012

Data de Aprovação:  
21/10/2013

### Palavras-chave:

Depressão do Piraí; lineamentos morfoestruturais; sensoriamento remoto.

### Keywords:

Piraí depression;  
morphostructural lineaments;  
remote sensing.

### Resumo

O presente trabalho visou comparar a eficiência da extração de lineamentos morfoestruturais utilizando realces de imagens Landsat 7 e modelo digital de elevação do banco de dados TOPODATA, adquirido pela *Shuttle Radar Topography Mission* - SRTM. Para isto, utilizou-se como área teste a região da Depressão do Piraí, situada no Primeiro Planalto do Paraná, no contexto do Sistema de Riftes Cenozóicos do Sudeste do Brasil. A origem da depressão e de seu preenchimento sedimentar são relacionadas a estruturas rúpteis de direções principais NE-SW e NW-SE reativadas no Cenozóico. Os resultados quando comparados com as estruturas dos mapas geológicos existentes indicaram que o método mais eficaz de realce de lineamentos na área estudada foi a composição *Red* (R), *Green* (G) e *Blue* (B) aplicada, respectivamente, sobre imagem I (transformada IHS *intensity*, *hue* e *saturation*) e as bandas 7 e 5 de imagens óticas do Landsat 7. A composição IR7G5B mostrou-se mais eficiente na identificação de lineamentos morfoestruturais que o modelo digital de elevação do TOPODATA ou a banda 5 do Landsat tratada isoladamente. O produto ótico de melhor desempenho foi utilizado para gerar modelos numéricos dos lineamentos, que auxiliaram em processamentos visando identificar áreas de maior densidade de frequência e comprimento. Estas áreas constituem alvos para futuros estudos de maior detalhe enfocando a análise estrutural da Depressão do Piraí.

### Abstract

This study aimed at comparing the efficiency of extraction of morphostructural lineaments using enhanced Landsat 7 imagery and digital elevation model from the TOPODATA database, derived from Shuttle Radar Topography Mission - SRTM. The region of the

Pirai Depression in the context of the Southeastern Brazilian Cenozoic Rift System was selected as a test area. The origin of this depression and its sedimentation are related to Cenozoic NE-SW and NW-SE trending brittle structures. The results when compared with the structures from existing geological maps indicated that the most effective method for lineaments extraction was the Red (R), Green (G) and Blue (B) composition applied, respectively, on image I (IHS transform intensity, hue and saturation) and the bands 7 and 5 of Landsat 7 optical images. This color composition IR7G5B revealed to be more efficient for the identification of morphostructural lineaments than the digital elevation model of the TOPODATA or the Landsat band 5 alone. The optical product with the best performance was used to generate numerical models for the lineaments, which helped in identifying areas of higher frequency and length density. These are targets for more detailed future studies focusing on the structural analysis of the Pirai Depression.

## Introdução

A identificação de estruturas tectônicas em áreas caracterizadas por escassez de afloramentos é geralmente problemática. Em situações como essas, a análise morfoestrutural pode se constituir em uma ferramenta de relevância no registro da ocorrência de atividade tectônica em dada região. Um dos elementos mais utilizados neste tipo de análise são os lineamentos morfoestruturais, definidos como feições lineares mapeáveis, retilíneas ou levemente encurvadas, que provavelmente refletem estruturas geológicas (O'Leary et al. 1976).

A extração de lineamentos morfoestruturais é facilitada com base em produtos de sensores remotos. A contínua disponibilização de novas tecnologias de sensoriamento remoto requer experimentos para se identificar os procedimentos mais eficientes para a extração de lineamentos em áreas com diferentes características morfológicas.

O presente trabalho visou comparar a eficiência da extração de lineamentos morfoestruturais utilizando realces de imagens Landsat 7 e modelo digital de elevação do banco de dados TOPODATA adquirido pela *Shuttle Radar Topography Mission-SRTM*. Para isto, utilizou-se como área teste a região da Depressão do Pirai, situada no Primeiro Planalto do Paraná. O relevo no local é bastante acidentado, com desníveis que alcançam 230 m entre a depressão e áreas de seu entorno. Morfoestruturas como cristas, vales e escarpas alongadas são visíveis em imagens de satélite, radar e em fotografias aéreas. Nestas condições, o uso de dados de sensores remotos tem grande potencial para a identificação de lineamentos morfoestruturais que possam contribuir para a seleção de áreas de interesse para estudos de detalhe visando o entendimento do comportamento tectônico desta depressão.

O estudo de estruturas rúpteis (falhas, fraturas, diques) relacionadas com a evolução das depressões do SRCSB, como é o caso da Depressão do Pirai, pode auxiliar a melhorar o conhecimento sobre os seguintes aspectos: águas subterrâneas, jazidas sedimentares (argilas, areias), controle da atividade sísmica residual regional e da influência estrutural no comportamento geotécnico e geomórfico dos maciços rochosos.

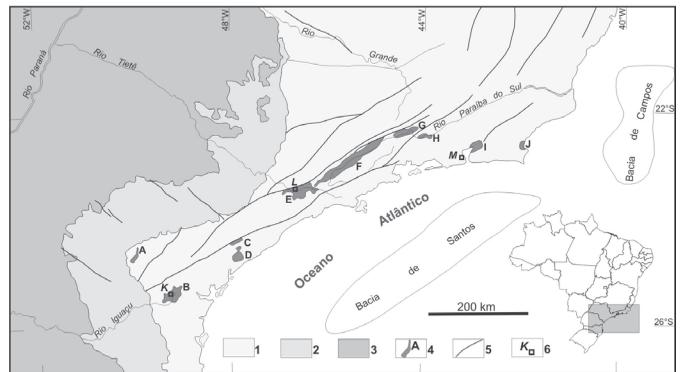


Figura 1 – localização da Depressão do Pirai no Sistema de Riftes Cenozóicos do Sudeste do Brasil. 1) embasamento pré-cambriano; 2) rochas sedimentares paleozóicas e mesozóicas da Bacia do Paraná; 3) derrames da Formação Serra Geral e coberturas cretáceas; 4) principais bacias sedimentares cenozóicas: A) Depressão do Pirai; B) Bacia de Curitiba; C) Gráben de Sete Barras; D) Formação Pariquêra-Açu; E) Bacia de São Paulo; F) Bacia de Taubaté; G) Bacia de Resende; H) Bacia de Volta Redonda; I) Formação Macacu (Gráben da Guanabara); J) Gráben de São João; 5) falhas principais; 6) cidades principais: K) Curitiba; L) São Paulo; M) Rio de Janeiro (baseado em Melo et al. 1985, Riccomini et al. 2004, Zalán & Oliveira 2005, Melo et al. 2010).

## Contexto geológico

Depósitos continentais cenozóicos na região de Castro e Pirai do Sul, no Primeiro Planalto Paranaense, foram descritos há mais de cinquenta anos (Coutinho 1955, Trein & Fuck 1967). Mais recentemente, esses depósitos foram interpretados como tendo sido formados em uma área de subsidência tectônica, referenciada informalmente de Depressão do Pirai (Lima & Melo 2005 e 2006, Lima 2006, Lima et al 2008, Melo et al. 2010). Esta corresponde a um bloco tectônico rebaixado de relevo suavizado, orientado na direção NE-SW, cujo compartimento principal tem cerca de 15 km de extensão e 5 km de largura (Figura 2).

A Depressão do Pirai foi incluída no Sistema de Riftes Cenozóicos do Sudeste do Brasil (SRCSB), definido por Zalán & Oliveira 2005 (Figura 1). Este conjunto de depressões fora antes denominado Sistema de Riftes da Serra do Mar (Almeida 1976), Sistema de Bacias Tafrogênicas Continentais do Sudeste do Brasil (Melo et al. 1985) ou, ainda, Rifte Continental do

Sudeste do Brasil (Riccomini 1989). O SRCSB compreende blocos de falha que se estendem da região litorânea à plataforma continental das regiões sul e sudeste do Brasil.

O substrato geológico da Depressão do Pirai (Figura 2) compreende rochas do Complexo Granítico Cunhaporanga (granitos, granitóides e quartzitos do final do Proterozóico), do Grupo Castro (riolitos, andesitos, tufos, ignimbritos, quartzo latitos, brechas, conglomerados polimíticos, arenitos arcoseanos, lamitos e siltitos do limite Proterozóico-Paleozóico), da Formação Furnas (arenitos e conglomerados siluro-devonianos da Bacia do Paraná), além de diques (diabásios, dioritos, dioritos pórfiros cretáceos) associados ao Magmatismo Serra Geral (MINEROPAR 2001 e 2005).

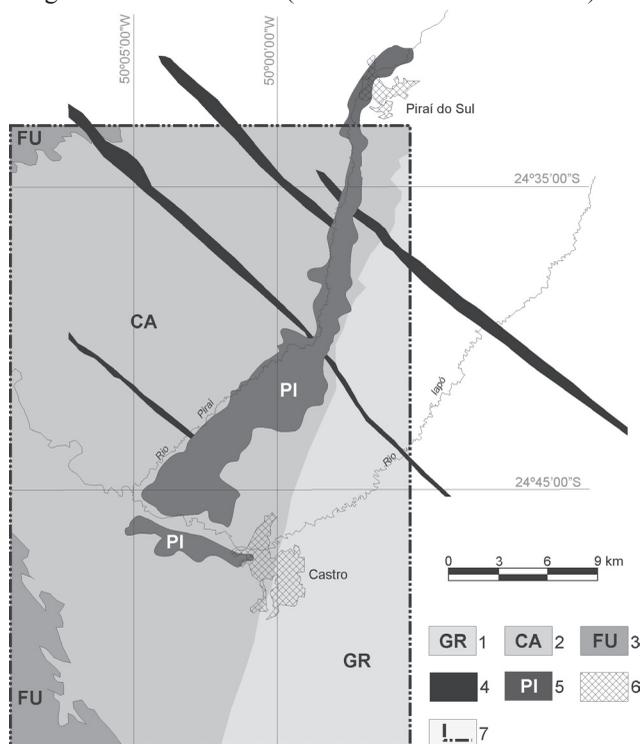


Figura 2 – mapa geológico simplificado da região da Depressão do Pirai. 1) Complexo Granítico Cunhaporanga; 2) Grupo Castro; 3) Formação Furnas; 4) principais diques relacionados ao Magmatismo Serra Geral; 5) depósitos cenozoicos da Depressão do Pirai; 6) áreas urbanas; 7) retângulo envolvente da área onde foram analisados os lineamentos morfoestruturais das Figuras 5, 7 e 8 (modificado de MINEROPAR 2005 e Melo et al. 2010).

Análise preliminar de rupturas estriadas nas rochas do embasamento da Depressão do Pirai levou às seguintes conclusões (Lima & Melo 2006): movimentos tectônicos cenozóicos reativaram estruturas preexistentes; aparentemente houve duas fases principais de deformação, a mais antiga distensiva e a mais jovem compressiva, reforçando a correlação com a evolução das bacias do SRCSB; e até o momento, não existem informações sobre a idade absoluta dos depósitos que preenchem a depressão nem dos falhamentos.

## Materiais e métodos

Foram utilizadas as bandas 3 a 5 e 7 do Landsat 7 sensor ETM+ (Figura 3), órbita 221 ponto 077 de 11/10/2002, sol com azimute e elevação de 64,26° e 55,97°, respectivamente. Esta imagem, obtida em <http://gfcfapp.gfcf.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>, foi selecionada por ser disponível livremente em formato ortoretificado e por não apresentar cobertura de nuvens sobre a área de estudo.

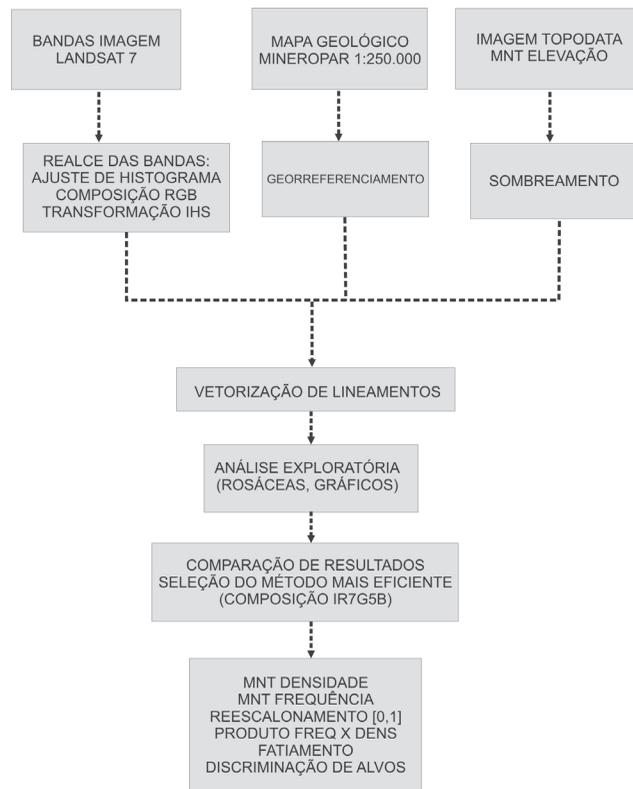


Figura 3 – esquema dos materiais e procedimentos efetuados na análise de lineamentos da Depressão do Pirai.

Além disto, utilizou-se imagens do banco de dados topográficos digitais TOPODATA (Valeriano 2008, acessível no sítio <http://www.dsr.inpe.br/topodata/data/grd/>). A imagem escolhida para a extração de lineamentos foi a identificada como 24\_51, extensão grd (modelo digital de elevação com dados altimétricos interpolados para 30 m). Esta consiste em imagem correspondente à folha de Telêmaco Borba, articulação em escala 1:250.000, com coordenadas do canto superior esquerdo a 24° de latitude sul e 51° de longitude oeste.

Para efeito de comparação utilizou-se, ainda, a carta geológica da folha de Telêmaco Borba em escala 1:250.000 (MINEROPAR 2005), sobre a qual foram vetorizadas as estruturas geológicas.

A imagem do TOPODATA foi visualizada no aplicativo Global Mapper (versão 12.00) no modo *slope shader*, ou seja, com artifício de sombreamento vinculado à declividade,

utilizando-se cor branca para a declividade mínima (0°) e cor preta para declividades acima de 15°. Neste modo, não existe efeito de direção de iluminação. Os lineamentos também foram vetorizados neste aplicativo.

A imagem Landsat foi recortada no aplicativo Spring (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas do INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, versão 4.3.3) pelo retângulo envolvente do projeto definido (24°32'23.07" a 24°52'31.61" de latitude sul e 49°54'47.11" a 50°09'08.45" de longitude oeste). Procedimentos de aumento linear de contraste pelo ajuste de histograma foram aplicados a essa imagem.

Também foi realizada composição colorida 3G5R7B com as bandas previamente contrastadas e composição colorida IR7G5B com a imagem I resultante da transformação IHS (intensidade, matiz e saturação) sobre as bandas 4R5G7B. Estes procedimentos seguiram relatos de bom desempenho no realce de lineamentos já descritos na literatura (Andrades Filho & Fonseca 2009). A vetorização dos lineamentos nas imagens também foi realizada no aplicativo Global Mapper.

O mapa geológico da MINEROPAR (2005) em formato pdf foi georreferenciado no aplicativo Global Mapper, onde foram vetorizados os lineamentos correspondentes a falhas, fraturas e diques.

Para a vetorização dos lineamentos (Quadro 1), adotou-se os seguintes critérios: escala de visualização no monitor constante (1:75.000), continuidade maior que 0,5 cm (maior que 375 metros); nitidez; linearidade; paralelismo com outros lineamentos; continuidade com outras estruturas; truncamento de outros lineamentos; e traçado só onde é visível, sem generalização (ou interpolação).

**Quadro 1: documentos e processamentos realizados para análise de lineamentos na área da Depressão do Pirai.**

DOCUMENTO	PROCESSAMENTO
Mapa geológico MINEROPAR (2005)	Georreferenciamento, vetorização de lineamentos, análise de lineamentos
Imagem TOPODATA grd (modelo digital de elevação krigeado para 30 m)	Sombreamento, vetorização de lineamentos, análise de lineamentos
Imagem Landsat 7 bandas 3, 4, 5 e 7.	Recorte, realce por ajuste de histograma, transformação IHS, composição colorida, vetorização de lineamentos, análise de lineamentos, modelo numérico de densidade e frequência de lineamentos, interpolação, reescalonamento [0,1] dos valores de densidade e frequência, operação matemática (produto) com os mapas de frequência e densidade, fatiamento do mapa final.

Os dados numéricos e as rosáceas dos lineamentos extraídos foram processados no aplicativo Spring (versão 5.1.7), após importação de arquivo no formato *shapefile*. Na planilha Excel do Microsoft Office foram elaborados gráficos de resultados totais, que mostram que a composição IR7G5B foi a mais eficiente no realce de lineamentos, sendo a selecionada nos processamentos subsequentes.

Selecionada a composição colorida IR7G5B, que apresentou as maiores frequências (número de lineamentos por unidade de área) e densidades (comprimento total dos lineamentos em metros por unidade de área), seguiram-se procedimentos que visaram identificar os alvos de maior interesse para estudos mais detalhados em produtos de sensores remotos e em levantamentos de campo. Tais procedimentos incluíram: elaboração de mapas de frequência e densidade; reescalonamento numérico e produto dos valores de frequência e densidade; e fatiamento do produto final visando discriminar alvos.

Os mapas de frequência e densidade foram elaborados no aplicativo Spring. O primeiro passo foi a elaboração de modelos numéricos com grade regular e pixels quadrados com 1000 m de lado, definidos empiricamente após testes com várias medidas. A partir dos modelos numéricos assim obtidos, foi realizada interpolação para grade regular quadrada com 100 m de raio utilizando-se interpolador bilinear na função de geração de grade regular do Spring.

Os modelos numéricos tiveram seus valores reescalados para [0,1] utilizando-se programas em linguagem LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) no aplicativo Spring, conforme descrito a seguir:

- reescalonamento  $f_r$  dos valores de frequência ( $f$ ):
- valor máximo nas células de 100 m: 15,65;
- valor mínimo nas células de 100 m: 0
- $f_r=0$  para  $f < 1,94$ ;
- $f_r=(f-1,94/10,06)$  para  $1,94 < f < 12,00$ ;
- $f_r=1$  para  $f > 12,00$ ;
- reescalonamento  $d_r$  dos valores de densidade ( $d$ ):
- valor máximo nas células de 100 m: 5.186;
- valor mínimo nas células de 100 m: 0;
- $d_r=0$  para  $d < 695$ ;
- $d_r=(d-695/3.305)$  para  $695 < d < 4.000$ ;
- $d_r=1$  para  $d > 4.000$ .

Os limiares utilizados nas funções lineares de transformação acima foram selecionados empiricamente. Observando-se os resultados obtidos após sua aplicação, foram discriminados alvos considerados adequados para trabalhos futuros de detalhamento da análise de lineamentos.

Considerou-se, como premissa, que os locais mais adequados para análises estruturais de detalhe, alvos de futuros trabalhos, seja em produtos de sensores remotos, seja em trabalhos de campo, são aqueles onde tanto a frequência quanto a densidade de lineamentos são maiores simultaneamente (Figura 4). Isto significaria maior possibilidade de visualização das relações de truncamento entre os diferentes tipos de lineamentos, o que enriquece a análise estrutural e as interpretações tectônicas, tais como estimativas da idade relativa, cinemática e mecânica das deformações.

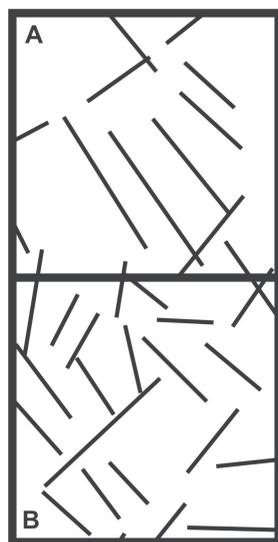


Figura 4 – exemplo de células com lineamentos; A) alta densidade (comprimento acumulado) e média frequência (número de lineamentos); B) alta densidade e alta frequência. A célula B em princípio favorece a análise estrutural e tectônica.

Assim, realizou-se a multiplicação dos valores de frequência e densidade reescalados para [0,1], também utilizando o programa em linguagem LEGAL no Spring, onde a variável produto  $p$  foi obtida pela função:

$$p = fr * dr$$

sendo as variáveis  $fr$  e  $dr$  obtidas no procedimento de reescalonamento [0,1] descrito anteriormente.

A variável  $p$  é o produto de outras duas variáveis com valores no intervalo [0,1], e varia também entre [0,1]. Após obtenção do mapa com a variável  $p$ , foi feita classificação na função fatiamento de modelo numérico no Spring, utilizando-se as seguintes classes, estabelecidas também empiricamente:

- $p < 0,6$  (não indicado para estudos de detalhe);
- $0,6 < p < 0,9$  (medianamente indicado);
- $0,9 < p < 1,0$  (indicado);
- $p = 1,0$  (muito indicado).

## Resultados e discussão

A Figura 5 apresenta os lineamentos vetorizados: A) na composição IR7G5B do Landsat 7; B) na imagem do TOPODATA; C) na banda 5; e D) no mapa geológico. A Figura 6 mostra uma comparação numérica entre os totais de dados de lineamentos, destacando a composição IR7G5B como a que proporcionou o maior realce.

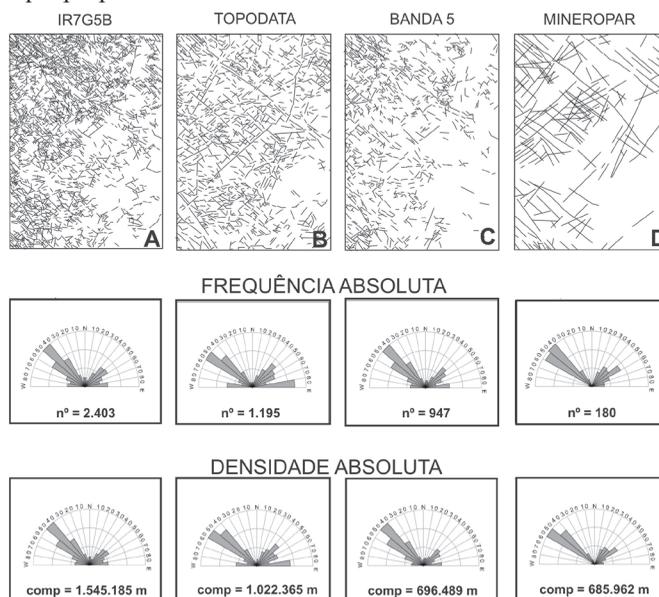


Figura 5 – lineamentos da região da Depressão do Pirai vetorizados nos diferentes documentos analisados e respectivas rosáceas de frequência absoluta (número de lineamentos) e densidade absoluta (comprimento acumulado). Ver coordenadas e escala na Figura 2.

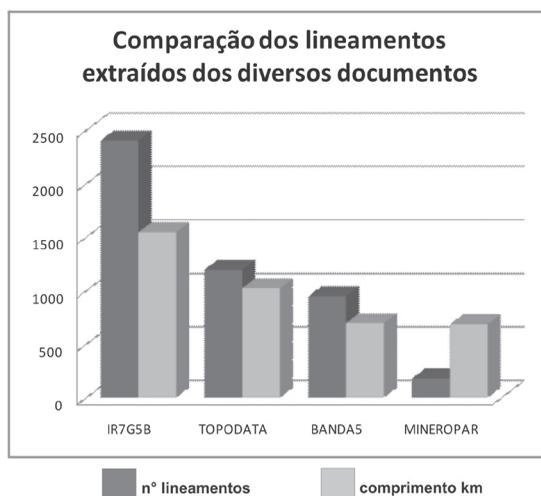


Figura 6 – comparação dos totais de n° de lineamentos e comprimento acumulado nos diversos documentos analisados.

Do ponto de vista qualitativo (direções dos principais conjuntos de lineamentos visíveis nas rosáceas da Figura 5), vários aspectos podem ser ressaltados:

- destacam-se as direções: (1) NW-SE; (2) NE-SW; e (3) E-W, esta bem menos marcada que as duas outras;

- na imagem do TOPODATA, a direção E-W aparece com maior destaque que a direção NE-SW; esta diferença pode ser explicada pela diferença entre o sombreamento de realce utilizado no TOPODATA (*slope shader*, sem influência de direção de iluminação), e o azimute do sol na imagem Landsat (64,26°); é de se esperar que o ângulo de iluminação relativamente próximo da direção E-W na imagem Landsat tenha tido efeito atenuador das estruturas nesta direção; isto pode explicar não só a atenuação da direção E-W nas imagens Landsat, mas também o grande destaque da direção NW-SE, esta próxima à perpendicular ao azimute do sol;

- observa-se, também, o deslocamento do pico na direção NW-SE (50-60° no TOPODATA, 40-50° no Landsat), o que igualmente deve estar refletindo o azimute de iluminação no Landsat.

As três direções principais de lineamentos identificadas na análise realizada têm sido relatadas nos trabalhos relacionados com a Bacia do Paraná, adjacente à área da Depressão do Pirai (Fúlfaro et al. 1982, Zalán et al. 1990, Melo & Gianini 2007), e têm sido assim interpretadas:

- NW-SE: associada com a ruptura do Gondwana na região, e com o Arco de Ponta Grossa;
- NE-SW: paralela a falhas do embasamento proterozoico a eopaleozoico;
- E-W: paralela a fraturas transversais à cadeia meso-oceânica (falhas transformantes) desenvolvidas durante a deriva continental.

Ainda de acordo com aqueles autores, todas essas direções estruturais foram recorrentemente reativadas durante o Cenozoico.

No mapa geológico da área da Depressão do Pirai em escala 1:250.000 (MINEROPAR 2005) não aparece a direção estrutural E-W revelada nas imagens. Em trabalhos futuros, deverá procurar-se interpretar melhor o significado desta direção, que embora menos marcada no relevo, pode corresponder a uma direção de reativação mais jovem. Estruturas com esta orientação podem ter sido também importantes na evolução das depressões tectônicas, na estruturação dos maciços rochosos e no condicionamento da sismicidade residual atual. Zalán et al. (1990) relacionam as estruturas E-W a reflexos, no continente, das falhas transformantes da cadeia meso-oceânica do Atlântico Sul, ativas durante a deriva continental.

A vetorização de lineamentos na imagem realçada IR7G5B é bastante dificultada pela confusão de lineamentos

estruturais com artefatos (estradas, cercas, limites de talhões, etc.). Isto exige do intérprete um cuidado adicional para a distinção de feições lineares.

A Figura 7 mostra os mapas dos modelos numéricos reescalados para valores [0,1] da frequência ( $f_r$ ) e densidade ( $dr$ ) de lineamentos e do produto ( $p$ ). A Figura 8 mostra os alvos destacados pelo fatiamento aplicado. Estes alvos, comparados com o mapa geológico simplificado (Figura 2), mostram concentração nas proximidades da Escarpa Devoniana (cuesta sustentada pela Formação Furnas), no noroeste da área estudada, onde há notável cruzamento de extensas estruturas NW-SE e NE-SW, já reveladas no mapa geológico (Figura 5D). É possível que o relevo mais acidentado e menos arrasado naquele setor também esteja influenciando na forte concentração de lineamentos morfoestruturais lá observados.

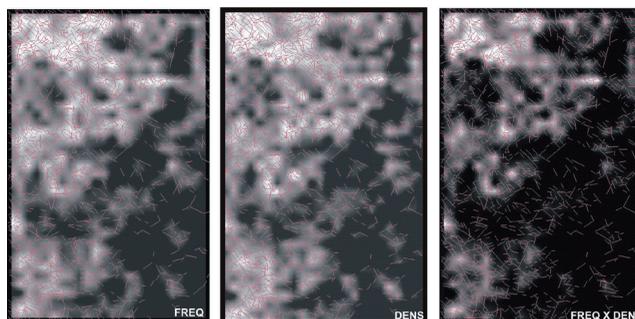


Figura 7 – Mapas dos modelos numéricos de frequência, densidade e produto densidade x frequência, reescalados para valores [0,1], calculados sobre os lineamentos da região da Depressão do Pirai interpretados sobre a composição IR7G5B. Ver coordenadas e escala na Figura 2.

Existem concentrações menores de lineamentos, em áreas de relevo arrasado e suavizado da Depressão do Pirai. Embora discretos, estes deverão, por sua localização, ser considerados como alvos prioritários para futuros estudos de detalhamento dos lineamentos morfoestruturais nessa região.

## Conclusões

Os dados apresentados neste trabalho revelaram que a composição colorida do Landsat 7, incluindo a transformação de intensidade IR7G5B, foi mais eficiente na identificação de lineamentos estruturais na Depressão do Pirai que a imagem produzida pelo modelo digital de elevação do TOPODATA e que a banda 5 do Landsat tratada isoladamente.

Processamentos dos lineamentos extraídos da composição IR7G5B permitiram identificar alvos que deverão ser melhor investigados em futuros estudos de detalhamento na região. Alguns destes alvos, situados na área de relevo arrasado próximo à depressão, são prioritários para estes estudos.



Figura 8 – mapa resultante do fatiamento do produto dos modelos numéricos de frequência e densidade de lineamentos na Depressão do Piraí. 1) depósitos cenozoicos da Depressão do Piraí; 2) alta densidade de lineamentos (alvos secundários); 3) muito alta densidade de lineamentos (alvos principais).

Em todas as imagens analisadas, as direções principais de lineamentos (NW-SE, NE-SW e E-W) foram destacadas. Lineamentos de direções NW-SE e NE-SW já aparecem nos mapas geológicos da região. Já lineamentos de direção E-W não aparecem nos mapas, sendo seu significado ainda pouco compreendido.

### Agradecimentos

A Alfredo da Costa Pereira, Cláudia Durand Alves, Hiran Zani, Clodis de Oliveira Andrade Filho, Jane Verona, Tiago Pires, Márcio de Morrison Valeriano e Antônio Miguel Vieira Monteiro, que apoiaram diversas etapas dos procedimentos realizados neste trabalho.

### Referências bibliográficas

ALMEIDA, F.F.M. The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 48, p. 15-26, Suplemento, 1976.  
 ANDRADES FILHO, C.O.; FONSECA L.M.G. Lineamentos estruturais a partir de imagem Landsat TM e dados SRTM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009, Natal. *Anais...* Natal: INPE, 2009, p. 3151-3158.  
 COUTINHO, J.M.V. Geologia e Petrologia da região de Piraí do Sul, Paraná. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, São Paulo, v. 4, n. 1, p. 49-65, 1955.

FÚLFARO, V.J.; SAAD, A.R.; SANTOS, M.V.; VIANNA, R.B. Compartimentação e evolução tectônica da Bacia do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 12, n. 4, p. 590-610, 1982.  
 LIMA, F.M. *Caracterização geológica da Depressão do Piraí*, PR. Ponta Grossa: UEPG, 2006, 61p. (Monografia de Conclusão de Curso de Bacharelado em Geografia).  
 LIMA, F.M.; MELO, M.S. Estruturas relacionadas à Depressão do Piraí, PR. In: ENCONTRO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO PARANÁ, 14, 2005, Guarapuava. *Anais...* Guarapuava: UNICENTRO, 2005, 1 CD-ROM.  
 LIMA, F.M.; MELO, M.S. Fases de deformação e estruturas associadas à Depressão do Piraí, PR. In: ENCONTRO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO PARANÁ, 15, 2006, Ponta Grossa. *Anais...* Ponta Grossa: UEPG, 2006, 1 CD-ROM.  
 LIMA, F.M.; MELO, T.F.S.; MELO, M.S.; GUIMARÃES, G.B.; FERNANDES, L.A.; CHINELATTO, A.S.A.; CHINELATTO, A. L. Geologia e caracterização tecnológica de argilas da Depressão do Piraí, PR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 44, 2008, Curitiba. *Anais...* Curitiba: SBG - Núcleo Paraná, 2008. p.121 – 121.  
 MELO, M.S.; GIANNINI, P.C.F. Sandstone dissolution landforms in the Furnas Formation, southern Brazil. *Earth Surface Processes and Landforms*, Chichester, v. 32, p. 2149-2164, 2007.  
 MELO, M.S.; MELO, T.F.S.; CHINELATTO, A.S.A.; CHINELATTO, A.L.C.; FERNANDES, L.A.; GUIMARÃES, G.B. Caracterização de argilas da Depressão do Piraí e da Bacia de Curitiba, PR. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 40, n. 1, p. 138-150, 2010.  
 MELO, M.S.; RICCOMINI, C.; HASUI, Y.; ALMEIDA, F.F.M.; COIMBRA, A.M. Geologia e evolução do sistema de bacias tafrogênicas continentais do sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 15, n. 3, p. 193-201, 1985.  
 MINEROPAR – Minerais do Paraná S/A. *Atlas geológico do Estado do Paraná*. Curitiba, PR, 2001. 116 p.  
 MINEROPAR - Minerais do Paraná S/A. *Mapa geológico do Estado do Paraná, Folha de Telêmaco Borba. SG.22-X-A*. Curitiba, 2005. 1 mapa. Escala 1:250.000.  
 O'LEARY, D.W.; FRIEDMAN, J.D.; POHN, H. A. Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms. *Geological Society of America Bulletin*, v. 87, p. 1463-1469, 1976.  
 RICCOMINI, C.; SANT'ANNA, L.G.; FERRARI, A.L. Evolução geológica do rift continental do sudeste do Brasil. In: MANTESSONETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C.D.R.; BRITONEVES, B.B. (Org.) *Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo: Beca, 2004. p. 383-405.  
 RICCOMINI, C. *O rift continental do Sudeste do Brasil*. São Paulo: USP/Instituto de Geociências, 1989, 256p. (Tese de Doutorado).  
 TREIN, E.; FÜCK, R. A. O Grupo Castro. In: BIGARELLA, J. J.; SALAMUNI, R.; PINTO V. M. (eds.), Geologia do Pré-Devoniano e intrusivas subsequentes da porção oriental do estado do Paraná. *Boletim Paranaense de Geociências*, Curitiba, n.23/25, p. 257-305, 1967.  
 VALERIANO, M.M. *TOPODATA: Guia para utilização de dados geomorfológicos locais*. INPE: São José dos Campos, 2008), 73p. Disponível em: <[http://www.dsr.inpe.br/topodata/data/guia\\_utilizacao\\_topodata.pdf](http://www.dsr.inpe.br/topodata/data/guia_utilizacao_topodata.pdf)>. Acessado em 29/06/2011 (Publicação INPE-15318-RPQ/818)  
 ZALÁN, P.V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J.C.J.; MARQUES, A.; ASTOLFI, M.A.M.; VIEIRA, I.S.; APPI, V.T.; ZANOTTO, O.A. Bacia do Paraná. In: GABAGLIA, G. P. R.; MILANI, E. J. (Org.) *Origem e evolução de Bacias Sedimentares*. Rio de Janeiro: Gávea, 1990. p. 135- 168 (2ª ed.).  
 ZALÁN, P.V.; OLIVEIRA, J.A.B. Origem e evolução estrutural do Sistema de Riftes Cenozóicos do Sudeste do Brasil. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, Rio de Janeiro, v. 13, n. 2, p. 269-300, 2005.