

Pesquisas em Geociências

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias>

Lineamentos estruturais na borda leste da Bacia do Paraná em Santa Catarina: análise multiescala com base em imagens LANDSAT e SRTM

Patricia Jacques, Rômulo Machado, Alexis Nummer

Pesquisas em Geociências, 37 (2): 117-131, set./dez., 2010.

Versão online disponível em:

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/22653>

Publicado por

Instituto de Geociências



Portal de Periódicos
UFRGS

UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

Informações Adicionais

Email: pesquisas@ufrgs.br

Políticas: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/editorialPolicies#openAccessPolicy>

Submissão: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#onlineSubmissions>

Diretrizes: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#authorGuidelines>

Data de publicação - set./dez., 2010.

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

Lineamentos estruturais na borda leste da Bacia do Paraná em Santa Catarina: análise multiescala com base em imagens LANDSAT e SRTM

Patricia D. JACQUES^{1,2}, Rômulo MACHADO³ & Alexis R. NUMMER⁴

1. CPRM, Serviço Geológico do Brasil. Av. Pasteur, 404, Urca, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. E-mail: patricia.jacques@cprm.gov.br.
2. Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. Rua do Lago 562, CEP: 05508-080, São Paulo, SP, Brasil.
3. Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq. Rua do Lago 562, CEP: 05508-080, São Paulo, SP, Brasil. E-mail: rmachado@usp.br.
4. Departamento de Geociências, Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. BR 465, Km 7, CEP: 23.890-000, Seropédica, RJ, Brasil. E-mail: nummer@ufrj.br.

Recebido em 05/2010. Aceito para publicação em 11/2010.

Versão online publicada em 24/12/2010 (www.pesquisasemgeociencias.ufrgs.br)

Resumo - Este trabalho apresenta o estudo de lineamentos estruturais de uma porção da borda leste da Bacia do Paraná em Santa Catarina e do Escudo Catarinense. A área engloba rochas da Formação Serra Geral, da Sequência Gondwânica e pré-cambrianas do referido escudo. Os lineamentos estruturais foram interpretados a partir da análise digital de imagens do satélite LANDSAT e de imagens de relevo sombreado, geradas a partir do Projeto SRTM, com o uso de técnicas de geoprocessamento. Os dados obtidos a partir das imagens LANDSAT e do projeto SRTM mostraram-se eficazes na identificação de lineamentos rúpteis nas escalas 1:100.000 e 1:500.000. A aplicação desta metodologia mostra que as direções dos lineamentos estruturais, separados por domínios litológicos, são dependentes das imagens utilizadas de cada sensor, e que os diagramas de roseta obtidos a partir das imagens do Projeto SRTM não seguem o mesmo padrão de acordo com a escala adotada. A integração dos resultados obtidos (LANDSAT e SRTM) mostra três padrões principais de orientações: NW-SE, NS \pm 5° e NE-SW. Os compartimentos estudados não apresentam diferença significativa entre as escalas analisadas, com exceção da Formação Serra Geral que, na escala 1:100.000, destaca a direção NE-SW. Os lineamentos do Escudo Catarinense, na escala 1:500.000, exibem direções preferenciais NS \pm 5°. No Paleozoico (Sequência Gondwânica) e Mesozoico (Fm. Serra Geral), as estruturas estão orientadas preferencialmente NW-SE e, secundariamente, NS \pm 5°. Na região do Domo de Lages, onde ocorrem os grupos Itararé e Guatá, foram identificados poucos lineamentos. Na escala 1:100.000, os compartimentos investigados apresentam, em geral, lineamentos com intensidade e densidade mais homogêneas, sugerindo ser esta escala a mais adequada para identificação de estruturas rasas.

Palavras-chave: lineamentos estruturais, geoprocessamento, sensoriamento remoto, Escudo Catarinense, Bacia do Paraná, Domo de Lages.

Abstract - STRUCTURAL LINEAMENTS ON THE EASTERN EDGE OF PARANÁ BASIN, SANTA CATARINA STATE: MULTISCALE ANALYSIS BASED ON LANDSAT AND SRTM IMAGES. This paper presents the study of structural lineaments in part of the state of Santa Catarina, Brazil. The study area comprises Paleoproterozoic and Neoproterozoic rocks, as well as different stratigraphic units of the Paraná Basin (Paleozoic and Mesozoic). The lineaments were interpreted from the digital analysis of LANDSAT satellite images and shaded relief images generated from the SRTM project, with the use of geoprocessing technologies. The data obtained from the LANDSAT and SRTM project were effective in the identification of brittle lineaments for the scales 1:100,000 and 1:500,000. The application of this methodology shows that the trends of these structural lineaments, grouped in domain lithologies, depend on the kind of remote sensor images. The results of rose diagrams obtained from the images of the Project SRTM do not follow the same pattern according to the scale adopted. For the final analysis, the two sets of obtained lineaments (LANDSAT and SRTM) were merged. The main patterns of orientations observed are distributed in three main systems: NW-SE, NS \pm 5 and NE-SW. The lineament analysis according the lithologic domains shows that main direction do not vary, taking into account different scale products. An exception is the Serra Geral Formation, in the 1:100,000 scale, that highlights the NE-SW direction. The analysis of lineaments on the 1:500,000 scale, for the area corresponding to the Catarinense Shield, shows preferential NS \pm 5° directions. The Paleozoic and Mesozoic structures are preferentially oriented in NW-SE direction and secondary NS \pm 5° direction. In the region of the Lages Dome, a few lineaments were identified on the lithologic sedimentary units of Itararé and Guatá groups. In general, the intensity and density of the lineaments on the 1:100,000 scale are present in lithologic groups. This demonstrates that, for the identification of shallow structures, this scale is more appropriate.

Keywords: structural lineaments, geoprocessing, remote sensing, Santa Catarina Shield, Paraná Basin, Lages Dome.

1. Introdução

Neste trabalho, procura-se identificar lineamentos estruturais a partir da análise digital de imagens obtidas por sensores remotos do sistema óptico e também na faixa de micro-ondas, com o uso de técnicas de geoprocessamento. Para o presente estudo, utilizaram-se imagens de satélite LANDSAT e de relevo sombreado, estas últimas geradas a partir do Projeto SRTM da NASA.

De acordo com O'Leary *et al.* (1976), lineamento é uma feição mapeável na superfície terrestre, linear, retilínea ou suavemente encurvada, simples ou composta. A sua presença reflete fenômenos de subsuperfície que podem estar relacionados com falhas, fraturas ou outras morfoestruturas. Os lineamentos podem representar altos topográficos (lineamentos positivos, como cristas alinhadas) e baixos topográficos (lineamentos negativos, como drenagens e vales).

Para Strider & Amaro (1997), os lineamentos podem ser classificados em dois tipos: 1 e 2. Os do tipo 1 são associados com estruturas penetrativas, tais como foliações, xistosidades e acamamentos. Já os lineamentos do tipo 2 são geralmente correlacionados à estruturas rúpteis, expressas por drenagens retilíneas e vales encaixados.

Os sensores remotos podem ser classificados em passivos e ativos de acordo com a fonte de energia que utilizam. Os passivos não possuem fonte própria de radiação; medem a radiação solar refletida ou a radiação emitida pelos alvos. Os ativos possuem sua própria fonte de radiação eletromagnética, trabalhando em faixas restritas do espectro, como, por exemplo, os radares de micro-ondas, podendo adquirir imagens em qualquer horário do dia e em condições atmosféricas adversas (Lillesand & Kiefer, 1994).

As imagens de sensores ópticos estão relacionadas às características físico-químicas dos alvos, enquanto as imagens de sensores de micro-ondas estão relacionadas às propriedades dielétricas e geométricas dos alvos. De acordo com Lillesand & Kiefer (1994), as imagens de radar têm duas características distintas: (1) penetram na atmosfera sob qualquer condição meteorológica, obtendo informações da superfície terrestre independente da presença de nuvens, neve, chuva ou nevoeiro e, (2) podem exibir ou realçar feições de maneiras diferentes daquelas que estamos acostumados a ver na faixa do visível.

A fusão de imagens de sistemas ópticos e de

radar permite combinar a resposta multiespectral do alvo, provinda do sistema óptico, com informações do relevo oriundas das imagens de radar (Souza Filho & Paradella, 2002).

A combinação de imagens do sistema óptico e de radar para a identificação de estruturas geológicas tem sido empregada por vários autores (Alvarenga *et al.*, 2005; Freitas, 2005; Souza & Ebert, 2005; Justo, 2006; Roldan, 2007; Silva *et al.*, 2007; Soares *et al.*, 2007; Strugale *et al.*, 2007, entre outros). Os padrões diferenciados de estruturas obtidos são atribuídos à resolução espacial diferente das imagens LANDSAT (30 metros) e SRTM (90 metros). Freitas (2005), por exemplo, utiliza imagens LANDSAT e SRTM para extrair estruturas geológicas lineares e compara os resultados obtidos de cada tipo de imagem com o uso de modelagem fractal. Apesar das limitações impostas pela resolução espacial das imagens (30 e 90 metros) e do uso de apenas dois tipos de sensores (LANDSAT e SRTM), estas imagens permitem gerar uma gama variada de dados que, ao serem utilizados isoladamente ou combinados entre si, produzem informações relevantes acerca das estruturas rúpteis superficiais.

Com base na análise multiescala de imagens LANDSAT e do Projeto SRTM, o presente estudo objetiva avaliar o padrão espacial dos lineamentos estruturais em quatro províncias geológicas do Estado de Santa Catarina (de leste para oeste): (i) Escudo Catarinense, (ii) Sequência Gondwânicas da Bacia do Paraná e, (iii) Planalto Serra Geral. Utiliza-se aqui o conceito de lineamentos segundo O'Leary *et al.* (1976) e para a sua diferenciação nas imagens seguiu-se a classificação de Strider & Amaro (1997), onde foram mapeadas as estruturas do tipo 2. Não foram objetos deste estudo a interpretação do significado geológico desses lineamentos e sua cronologia relativa.

2. Área de Estudo

2.1. Localização da área

Em termos tectônicos, a área estudada acha-se inserida na borda leste da Bacia do Paraná entre duas importantes estruturas regionais: o Arco de Ponta Grossa, a norte, e o Sinclinal de Torres, a sul (Fig. 1).

Em termos regionais, a área investigada localiza-se na porção centro-sul do Estado de Santa

Catarina (Fig. 2). Trabalhos recentes (Horn Filho & Diehl, 1994, 2001; Horn Filho, 2003) dividem a geologia de Santa Catarina em cinco províncias geológicas (de leste para oeste com suas respectivas idades): (i) Província Costeira com sedimentos quaternários, (ii) Escudo Catarinense (Arqueana, Proterozóica e Cambriana - até 550 Ma), (iii) rochas sedimentares da Bacia do Paraná (entre 500 e 180 Ma), (iv) Planalto Serra Geral com os basaltos da Formação Serra Geral (± 130 Ma) e (v) Complexo Alcalino do Domo de Lages ($\pm 65-70$ Ma) e Anitapólis.

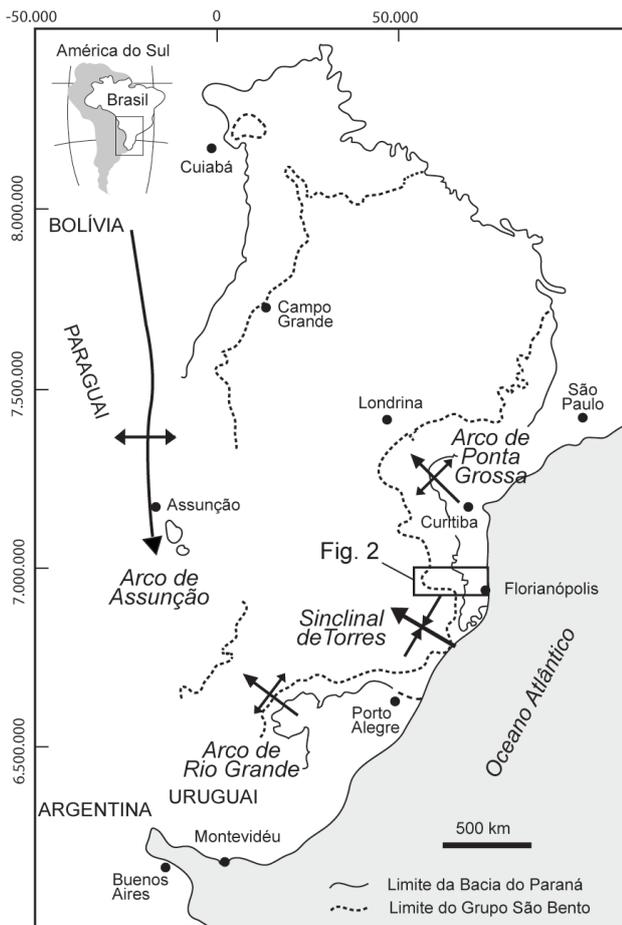


Figura 1. Localização da área estudada e as principais feições estruturais da borda leste da Bacia do Paraná (modificado de Strugale *et al.* 2007).

Foi escolhida, para estudo, uma seção E-W na porção centro-sul do Estado que abrange estas cinco províncias geológicas (Fig. 2), que são mais antigas a leste e mais novas a oeste, com exceção das coberturas cenozóicas que ocorrem na sua parte leste (ver mapa geológico 1:1.000.000 de Perrota *et al.*, 2004).

A dimensão da área investigada é de aproximadamente 12.950 km², sendo 19% correspondente ao Escudo Catarinense, 41% à Sequência

Gondwânica da Bacia do Paraná, 37% às rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, 2% às coberturas do Cenozóico e cerca de 1% às rochas alcalinas (Domo de Lages e Anitápolis). Estes valores foram calculados com base no mapa de Perrota *et al.* (2004).

2.2. Geologia

No contexto geológico regional de Santa Catarina, destacam-se dois compartimentos geológicos distintos: o Escudo Catarinense e a Bacia do Paraná. O primeiro é constituído das seguintes rochas: (i) Complexo Granulítico de Santa Catarina (ou Microplaca Luís Alves), que ocorre na parte norte do Estado, com idades arqueanas/paleoproterozóicas, (ii) vulcanossedimentares do limite Cambriano-Vendiano (bacias de Itajaí, Campo Alegre, Corupá e Quebaça), contendo granitos intrusivos (Suíte Subida) com idades ao redor de 560 Ma, (iii) Complexo Metamórfico Brusque, constituído por metavulcanossedimentares meso a neoproterozóicas, contendo granitos intrusivos (Suíte Subida) com idades ao redor de 560 Ma, (iv) Complexo Metamórfico Brusque, constituído por metavulcanossedimentares meso a neoproterozóicas, contendo granitos intrusivos (suítes São João Batista, Valsungana e Nova Trento), (v) Batólito Florianópolis, de idade neoproterozóica, que ocorre na parte centro-sul do Estado (Basei, 1985; Bitencourt, 1996; Basei *et al.*, 1992, 2000; Bitencourt *et al.*, 2008).

O segundo compartimento, representado pela Bacia do Paraná, é constituído pela sequência gondwânica na parte central da área e pela Formação Serra Geral na parte ocidental. A Bacia do Paraná é caracterizada por três ciclos sucessivos de subsidência, sedimentação e magmatismo ocorridos no intervalo do Ordoviciano ao Cretáceo, sendo interrompidos pelos movimentos relacionados com a "Reativação Wealdeniana" e abertura do Atlântico Sul (Almeida, 1969).

2.2.1. Arcabouço estrutural do Escudo Catarinense

A figura 2B ilustra o arcabouço tectônico do Escudo Catarinense, que é caracterizado por dois padrões estruturais principais: (i) um com *trend* NNE, correspondente ao domínio tectônico situado a sul do paralelo 27° 30', que engloba rochas do Complexo Camboriú e do Batólito Florianópolis, e

(ii) outro com *trend* NE, correspondente ao domínio tectônico situado a norte de Florianópolis, que engloba o Complexo Metamórfico Brusque e suítes graníticas intrusivas (suítes São João Batista, Valsungana e Nova Trento), a Bacia do Itajaí, o Com-

plexo Granulítico de Santa Catarina com granitos intrusivos (Suíte Subida), e as bacias de Campo Alegre e Corupá (Basei et al., 2000; Bitencourt et al., 2008).

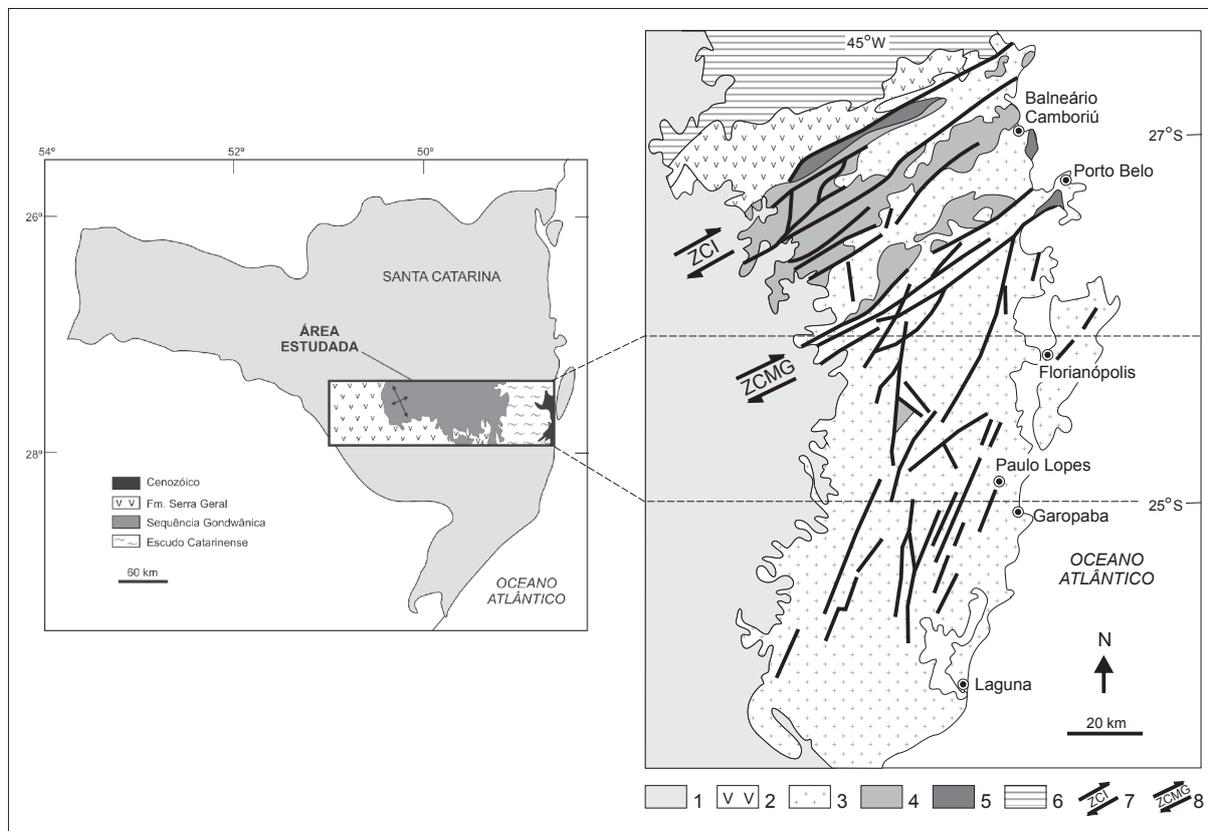


Figura 2. Esboço tectônico do Escudo Catarinense (extraído e modificado de Bitencourt et al., 2008). Legenda: (1) Borda da Bacia do Paraná, (2) Bacia do Itajaí, (3) Granitos Neoproterozóicos, (4) Complexo Metamórfico Brusque, (5) Complexo Camboriú, (6) Complexo Granulítico de Santa Catarina, (7) Zona de Cisalhamento Itajaí-ZCI, (8) Zona de Cisalhamento Major Gercino (ZCMG).

Destaca-se, na parte meridional do último domínio, uma região fortemente deformada com orientação N55E. Esta região é limitada a noroeste pela Zona de Cisalhamento Itajaí, ou Itajaí-Perimbó, e a sudeste pela Zona de Cisalhamento Major Gercino, ambas do Neoproterozoico e com cinemática destal (Passarelli, 1996; Bitencourt et al., 2008). Os granitoides associados a essa região possuem idade entre 650 e 580 Ma (Basei et al., 2000; Bitencourt & Nardi, 2000; Bitencourt et al., 2008).

Segundo Bitencourt (1996), a Zona de Transcorrência Itajaí-Perimbó constitui uma Zona de Cisalhamento de 10 a 15 km de espessura ao longo da qual ocorre milonitização transcorrente dúctil a dúctil-rúptil sobre rochas granulíticas e metavulcanossedimentares, com geração de milonitos, ultramilonitos e filonitos, enquanto a Zona de Cisalhamento Major Gercino faz parte do Cinturão de

Cisalhamento Sul-brasileiro.

Estudos com a utilização de imagens LANDSAT no domínio tectônico sul do Escudo Catarinense, na região do distrito fluorítico no sudeste de Santa Catarina, realizados por Ferreira & Almeida (1989), evidenciaram lineamentos com direções dominantes N10E e subordinados, N60E. Tais lineamentos controlam a mineralização de fluorita na região e caracterizam-se como falhas transcorrentes, com as primeiras tendo cinemática destal e as últimas, sinistal. Caracterizaram também falhas normais abertas N20-40E e falhas mineralizadas N30-40E. Estas estruturas são consideradas como de idade mesozoica e reativaram zonas de cisalhamento dúcteis pré-cambrianas.

Estudos de imagens LANDSAT-5/TM e aerogeofísicos (gamaespectrométricos e magnetométricos) realizados na região das zonas de cisalhamento, usando dois intervalos de escalas (1:50.000

a 1:100.00 e 1:50.000 a 1:250.000) mostram lineamentos de relevo negativo com quatro intervalos de direções: N00-05E, N65-75E, N70-85W e N40-45W (Castro *et al.*, 2003). Os autores salientam que os três primeiros intervalos são, também, identificados na sucessão sedimentar da Bacia do Paraná, e os últimos são aproximadamente paralelos ao enxame de diques básicos do Arco de Ponta Grossa. O primeiro intervalo é ainda concordante com a direção de diques básicos e de mineralização de fluorita e barita situadas a sul da região estudada.

2.2.2. Bacia do Paraná

De acordo com Zalán *et al.* (1987, 1991), destacam-se no arcabouço estrutural da bacia três direções estruturais preferenciais: N45-65W, N50-70E e E-W (Fig. 3). As orientações NW e NE são consideradas mais antigas e foram originadas a partir da reativação de zonas de fraqueza presentes em seu embasamento, recorrentemente ativas durante o Fanerozoico. Estas zonas de fraqueza influenciaram fortemente a paleogeografia, sedimentação e distribuição de fácies na bacia, bem como o desenvolvimento de estruturas tectonosedimentares, ou mesmo de estruturas de liquefação relacionadas a sismitos, a exemplo do que tem sido descrito na Formação Corumbataí no estado de São Paulo (Riccomini *et al.*, 1992, 2005). Os lineamentos E-W foram desenvolvidos durante a separação do Gondwana, ativos, portanto, a partir do Triássico, assim como muitas das falhas com orientação NW, enquanto aquelas de direção NE teriam permanecido inativas (Zalán *et al.*, 1987).

Soares *et al.* (2007) comparam os lineamentos estruturais da Bacia do Paraná, traçados por diversos autores e diferentes fontes de dados (SRTM, LANDSAT, imagens geofísicas de magnetometria e gravimétricas). Segundo os autores, as direções NW (N45±15W) e NE (N45±15E) possuem alto índice de concordância entre eles, enquanto as direções NNE, NNW, N-S e E-W apresentam índices muito baixos, possivelmente relacionados com a dificuldade na discriminação entre lineamentos reais e artefatos produzidos pela geometria de aquisição.

As estruturas de orientação NW foram reativadas no Eocretáceo e preenchidas por diques de diabásio, a exemplo do Arco de Ponta Grossa (Strugale *et al.*, 2007), enquanto as estruturas de

orientação NE, na região do Domo de Lages, em SC, encontram-se associadas à falhas transcorrentes sinistrais e dextrais (Roldan, 2007). Alguns autores consideram as transcorrências sinistrais como sendo mais antigas, permo-triássicas, enquanto as dextrais seriam mais recentes, eocretácicas, sendo preenchidas por corpos ígneos intrusivos e extrusivos da Formação Serra Geral (Rostirolla *et al.*, 2000; Machado & Rostirolla, 2005; Mezzomo & Rostirolla, 2005).

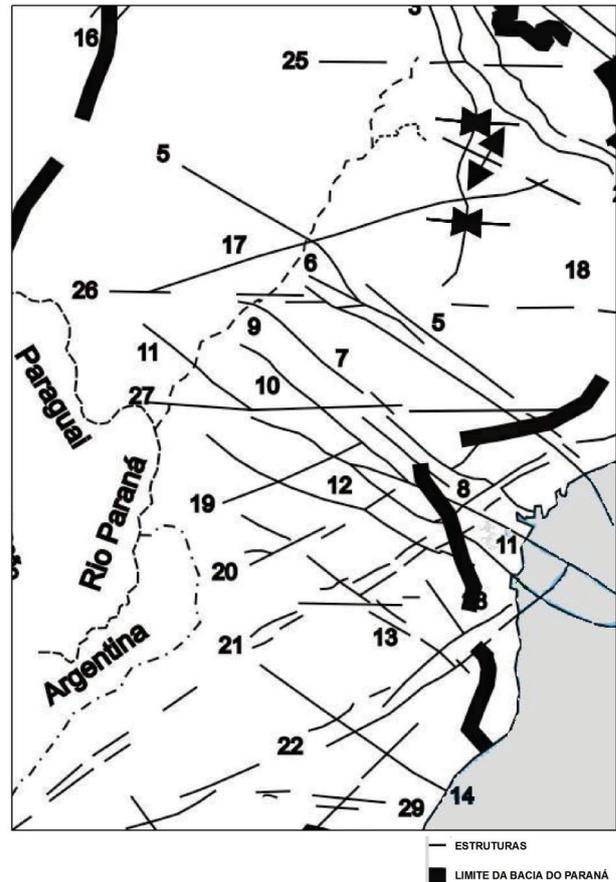


Figura 3. Principais estruturas tectônicas lineares da Bacia do Paraná (extraído de Zalán *et al.*, 1991) subdivididas em sistemas preferenciais: Direção NW: (1) Arco Alto Paranaíba; (2) Flexura de Goiânia; (3) Eixo depocentro Ipiacú / ArcoVerde; (4) Alto do Cardoso; (5) Zona de Falha Guapiara; (6) Falha de Santo Anastácio; (7) Falha de São Jerônimo / Curiúva; (8) Arco de Ponta Grossa; (9) Zona de Falha Curitiba / Maringá; (10) Falha do Rio Alonzo; (11) Zona de Falha Candido de Abreu / Campo Mourão; (12) Lineamento Rio Piquiri; (13) Zona de Falha Caçador; (14) Sinclinal Torres e (15) Arco do Rio Grande; Direção NE: (16) Zona de Falha Transbrasiliiana; (17) Lineamento Araçatuba; (18) Falha Guaxupé; (19) Falha Jacutinga; (20) Zona de Falha Taxaquara; (21) Zona de Falha Lancinha / Cubatão; (22) Zona de Falha Blumenau / Soledade; (23) Falha Leão e (24) Falha Açotea; Direção E-W: (25) Lineamento Cassilândia; (26) Lineamento Mogi-Guaçu / Dourados; (27) Lineamento São Sebastião; (28) Lineamento Taquara Verde e (29) Lineamento Bento Gonçalves; Direção N-S: (30) Arco de Assunção.

Na região do Arco de Ponta Grossa são definidos dois eventos deformacionais rúpteis relacionados à abertura do Atlântico Sul (Strugale *et al.*, 2007). O primeiro (D_1) foi um evento extensional que controlou a intrusão dos diques eocretácicos do referido arco e foi também responsável pelo soerguimento de blocos na sua parte central e geração de falhas tipo tesoura com direção NW-SE. O segundo (D_2) foi um evento transtrativo que reativou as paredes dos diques e gerou bandas de deformação em arenitos.

Com o rifteamento do Gondwana, que levou à formação do Oceano Atlântico Sul no Mesozoico (reativação Wealdeniana ou Sul-Atlantiana), muitas estruturas pré-cambrianas do território brasileiro foram reativadas e afetaram sucessões estratigráficas mais jovens, incluindo a reestruturação e criação de novas bacias (interiores e exteriores), conforme tem sido assinalado por vários autores (Almeida, 1983, 1986; Zalán *et al.*, 1987; Bizzi *et al.*, 2003, entre outros).

2.2.3. Domo de Lages

O Domo de Lages foi definido originalmente como um domo vulcânico de forma circular, tipo perfurante, onde as rochas alcalinas penetraram e arquearam as rochas sedimentares gondwânicas (carboníferas e permianas) e elevaram no centro da estrutura as camadas do Supergrupo Tubarão por cerca de 1100 a 1200 m (Loczy, 1968).

Almeida (1983) chama a atenção para a maior incidência de rochas alcalinas nas margens da Bacia do Paraná ou no embasamento pré-siluriano adjacente, e relaciona estas rochas com os arcos ativos durante o magmatismo (básico ou alcalino) ou em tempos mais antigos, a exemplo dos arcos de Assunção e Ponta Grossa. Relaciona, ainda, as rochas alcalinas de Lages e de outras regiões de Santa Catarina à reativação de falhas tardibrasilianas situadas no sul do estado.

O Domo de Lages acha-se claramente evidenciado no mapa geológico em escala 1:100.000 da Folha Lages (SG.22-Z-C-V), apresentado por Scheibe (1986). Além da cartografia de inúmeras ocorrências de rochas alcalinas da região, o autor separou dois grupos de rochas: alcalinas leucocráticas (fonolitos, analcima traquitos e nefelina sienitos) e alcalinas ultrabásicas (olivina melilitos e lamprófiros, geralmente na forma de diques). As idades (K/Ar e Rb/Sr) obtidas para essas rochas situam-se no intervalo de 63 a 81 Ma (Scheibe *et*

al., 1985; Scheibe, 1986).

Roldan (2007) descreve pela primeira vez a presença de falhas transcorrentes que afetam as rochas alcalinas associadas ao Domo de Lages e apresenta o seguinte modelo evolutivo para a região: (1) esforços distensivos NW-SE no fim do Cretáceo e geração de falhas normais de direção NE-SW; (2) esforços compressivos NE-SW contemporâneos ao magmatismo alcalino, à estruturação do Domo de Lages e à geração de falhas transcorrentes destrais NNE-SSW e NE-SW e sinistrais E-W; (3) erosão e denudação do domo e remoção de camadas acima da cota atual de 1200 m; (4) período de estabilidade tectônica e aplainamento de toda a região e geração de uma paleossuperfície que hoje se encontra nesta cota; (5) desenvolvimento de falhas normais NW-SE no Mioceno, geração do lineamento do Rio Canoas, inversão da drenagem principal para o interior do continente e início da dissecação da superfície aplainada e, (6) segue-se nova extensão na direção NW-SE com geração de falhas normais NE-SW e reativação das falhas transcorrentes.

Comin-Chiaromonti *et al.* (2002) associam o magmatismo alcalino de Lages ao estágio mais avançado do processo de rifteamento continental do sudeste do Brasil, ocorrido no Cretáceo Superior (~72 Ma). A ocorrência de Anitápolis, situada mais a leste, inserida em rochas pré-cambrianas do Escudo Catarinense, é associada ao estágio inicial do referido processo, antes da separação América do Sul - África no Cretáceo Inferior (~132 Ma).

3. Materiais e métodos

3.1. Geoprocessamento

O geoprocessamento pode ser definido como um conjunto de tecnologias voltadas à coleta e tratamento de informações espaciais para um objetivo específico (http://www.dsr.br/intro_sr.htm). Diversos tipos de dados podem ser utilizados em geoprocessamento. Câmara & Monteiro (2001) os agrupam em cinco classes: Temáticos, Cadastrais, Redes, Modelos Numéricos de Terreno (MNT) e Imagens. No presente trabalho, serão empregados dados de imagens (LANDSAT ETM⁺ 7) e dados de MNT (SRTM).

As cenas do satélite Landsat ETM 7⁺ utilizadas neste trabalho das órbitas 220_079, data

10/03/2002 e 221_079 data 12/112002, foram obtidas gratuitamente no endereço eletrônico do *United States Geological Survey USGS* (<http://glovis.usgs.gov>).

As bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 têm resolução espacial de 30 metros e a banda 8 (pancromática) tem resolução espacial de 15 metros. As bandas 6L (ganho baixo) e 6H (ganho alto), de resolução espacial de 60 metros, não foram utilizadas por se tratarem de bandas do termal.

A fase de pré-processamento das imagens consistiu, inicialmente, na realização da correção atmosférica, pois os padrões de reflectância dos objetos ou alvos registrados pelos sensores sofrem interferências produzidas por moléculas de gases da atmosfera. Os efeitos desta interferência variam de acordo com o comprimento de onda da radiação incidente (Turner *et al.*, 1971). Foi utilizado o método da subtração, também denominado de método do *pixel* escuro, utilizando-se para calibração um alvo escuro, ou regiões de sombra (Chavez, 1988). Após confeccionar o mosaico das cenas, foi feita a fusão da banda pancromática (banda 8) com as bandas multiespectrais R1G2B3 e depois R3G5B7, para que todas as bandas multiespectrais obtivessem 15 metros de resolução espacial. O algoritmo utilizado foi o *merge* do *software* ENVI, com opção de 30% da composição RGB e método matemático bilinear. Foram também utilizados filtros “passa alta” nas imagens, a fim de realçar as estruturas lineares extraídas nas escalas 100.000 e 500.000.

O Modelo Digital de Elevação (MDE) da área investigada foi construído a partir dos dados do Projeto SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), disponíveis gratuitamente em: <http://seamless.usgs.gov>, com resolução espacial de 90 metros. Este MDE foi reamostrado pelo método da convolução cúbica para a resolução espacial de 30 metros e posteriormente foram geradas imagens de relevos sombreados com elevação solar de 45° para os seguintes azimutes: 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270° e 315°. Para essa operação, utilizou-se o *software* ENVI. Nas interpretações para extrações de estruturas nas escalas 100.000 e 500.00, foram utilizadas apenas imagens de relevos sombreados nas seguintes direções: 0°, 45°, 90° e 315°. Estas quatro direções destacam morfoestruturas de relevo negativo (vales, drenagens, sulcos, etc.) e de relevo positivo (cristas, montanhas, domos, etc.).

Com a finalidade de aumentar a capacidade de discriminar as variações topográficas e de feições estruturais, foram utilizadas diversas técnicas

que buscam associar estas variações aos diferentes matizes de cores, uma vez que o olho humano consegue discriminar muito mais matizes de cores do que tonalidades de cinza. Uma destas técnicas consiste em criar uma composição colorida (RGB) a partir das imagens do relevo sombreado com diferentes valores de ângulo azimutal. Um exemplo utilizado foi a associação do canal Vermelho (R) à imagem sombreada com azimute de 0°, e a imagem sombreada com azimute de 90° aos canais verde (G) e azul (B). Nessa combinação as encostas voltadas para sudeste apresentam-se coloridas em tons verde-azulado e as encostas voltadas para noroeste, em tons avermelhados, possibilitando a visão estereoscópica.

Segundo Crepani & Medeiros (2004), os melhores resultados de composições coloridas são obtidos entre as cores verde (G) e azul (B) à imagem sombreada com um determinado azimute e a cor vermelha (R) à imagem sombreada com outro azimute perpendicular ao utilizado nos canais G e B, ambos com elevação de 45° e exagero de relevo igual a 10. No presente trabalho, foram utilizadas as combinações de azimute (R=315, G=45 e B=45) e (R=90, G=0 e B=0). Para extração de estruturas lineares utilizaram-se óculos estereoscópicos.

3.2. Lineamentos Estruturais

Os lineamentos estruturais foram extraídos através da interpretação visual sobre imagens LANDSAT e imagens do Projeto SRTM. No total, foram obtidos quatro mapas de lineamentos, sendo dois referentes às imagens LANDSAT (Fig. 4A, escala 1:100.000; Fig. 4C, escala 1:500.000) e dois referentes às imagens do Projeto SRTM (Fig. 4B, escala 1:100.000; Fig. 4D, escala 1:500.000). Cada um destes mapas foi avaliado em sua totalidade separadamente, em suas diferentes escalas, e também de acordo com as unidades litoestratigráficas da área de estudo, divididas por era geológica, a saber: Paleo-Neoproterozoica, Paleozoica e Mesozoica.

Após a avaliação isolada de cada um dos quatro mapas obtidos agrupou-se os resultados dos dois tipos de imagens em um arquivo único e eliminou-se a superposição dos lineamentos para ambas as escalas. As estruturas traçadas a partir das imagens correspondem à estruturas rúpteis e referem-se a quebras negativas de relevo (vales), expressas por drenagens retílineas e vales encaixados, segundo a concepção de Strider & Amaro (1997).

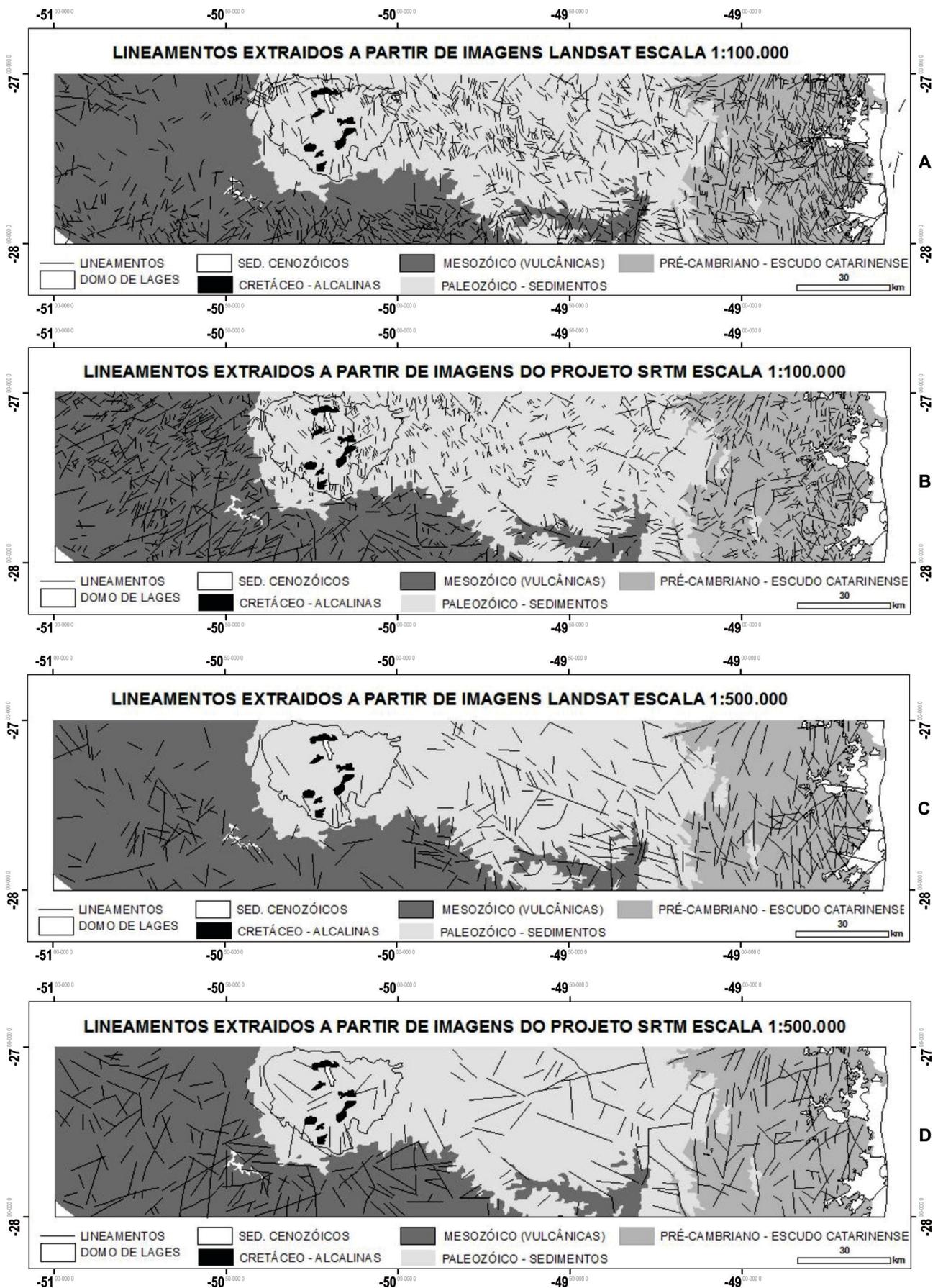


Figura 4. Lineamentos extraídos a partir das imagens LANDSAT nas escalas 1:100.000 (A) e 1:500.000 (C); e a partir de imagens do Projeto SRTM nas escalas 1:100.000 (B) e 1:500.000 (D). Domínios geológicos agrupados por idades a partir do mapa 1:1.000.000 de Perrota *et al.* (2004).

4. Resultados

A figura 5 apresenta os diagramas de roseta confeccionados a partir das estruturas lineares extraídas sobre imagens do Projeto SRTM nas escalas 100.000 e 500.000, com resultados totais agrupados por era geológica, de acordo com as suas unidades litoestratigráficas principais. Ressalta-

se, inicialmente, a diferença de padrões de densidades entre os diagramas de roseta das duas escalas estudadas. O resultado total dos lineamentos extraídos na escala 1:500.000 (Fig. 5E) mostra duas direções principais: uma N-S $\pm 5^\circ$ e outra N65E. Os lineamentos extraídos na escala 1:100.000 (Fig. 5A) evidenciam direção principal N45E.

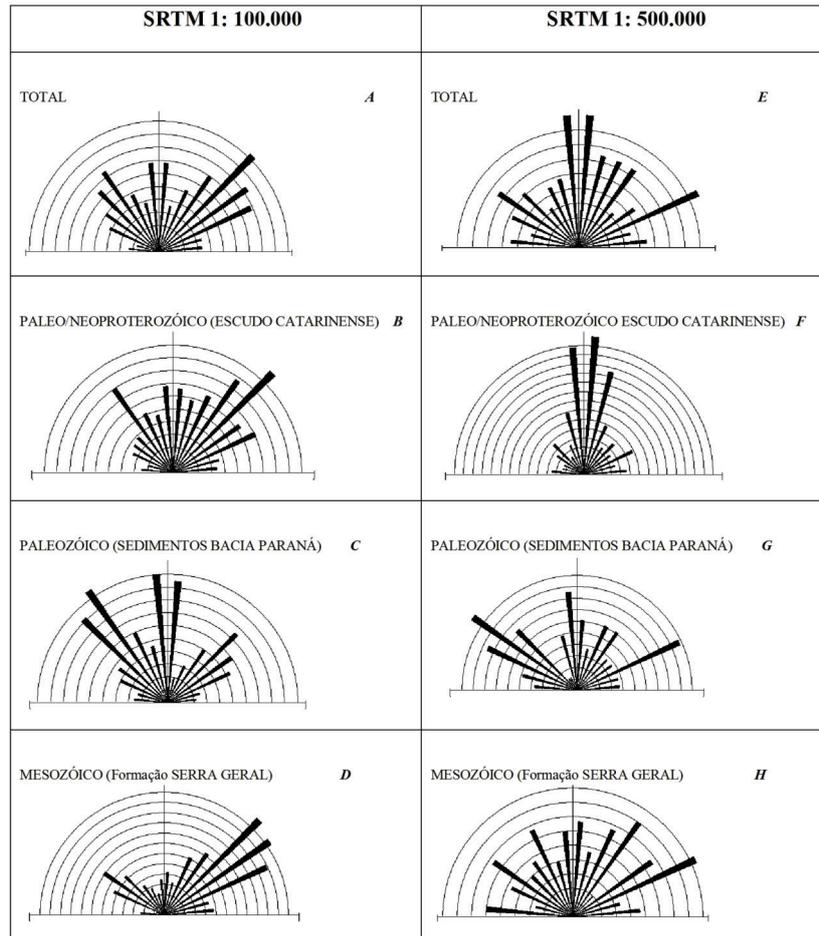


Figura 5. Diagramas de roseta dos lineamentos extraídos a partir de imagens do Projeto SRTM nas escalas 1:100.000 (A, B, C e D) e 1:500.000 (E, F, G e H).

Quando se considera os lineamentos das unidades do Escudo Catarinense, relacionados ao pré-cambriano, a escala 1:500.000 ressalta a direção N-S $\pm 5^\circ$ (Fig. 5F), enquanto a escala 1:100.000 (Fig. 5B), a direção N45E. Isto mostra que existe uma relação entre a escala da imagem analisada e a direção de realce do lineamento. Portanto, esta diferença está relacionada com a extensão dos lineamentos extraídos das imagens, uma vez que a escala 1:500.000 (média de $4,9 \pm 2,6$ km) destaca estruturas NS mais extensas e, provavelmente, mais profundas. Já a escala 1:100.000 (média de $2,5 \pm 1,4$ km) ressalta as estruturas NE, de menor extensão, que são, portanto, mais rasas.

Os diagramas de roseta dos lineamentos das unidades litoestratigráficas da Bacia do Paraná, representativas do Paleozoico, nas escalas 1:500.000 (Fig. 5G) e 1:100.000 (Fig. 5C), evidenciam três direções principais: N45W $\pm 10^\circ$, N-S $\pm 5^\circ$ e N45E $\pm 10^\circ$. O padrão disperso nos dois diagramas de roseta sugere que as ocorrências são independentes da escala, ou seja, nas rochas sedimentares não é possível relacionar a escala com as extensões e profundidade das estruturas.

As unidades sedimentares e vulcânicas da Bacia do Paraná e as rochas alcalinas do Cretáceo apresentam padrões distintos nos diagramas de roseta, em função da escala analisada. Na escala

1:500.000 (Fig. 5H), com exceção do destaque da direção N65E, as demais apresentam grande dispersão das frequências das direções, enquanto na escala 1:100.000 (Fig. 5D) destacam-se duas direções preferenciais: N45E ± 10° e N45W ± 10°. Este resultado da escala 1:100.000 é concordante com o apresentado por Freitas *et al.* (2002), na escala 1:250.000, para as rochas da Formação Serra Geral do oeste de Santa Catarina, cujos diagramas de roseta também ressaltam o padrão de lineamentos NE.

A figura 6 mostra os diagramas gerados a partir dos lineamentos estruturais extraídos das imagens LANDSAT. Nota-se uma boa correlação

das direções dos lineamentos nas duas escalas analisadas, com destaque para as direções N-S ± 5°, NW e WNW. A primeira é realçada no Escudo Catarinense, a segunda, nas unidades paleozoicas, e a terceira, nas unidades mesozoicas. As estruturas NE são pouco evidentes nas unidades paleozoicas e mesozoicas. Entretanto, as estruturas NNE-SSW são realçadas nas unidades do Escudo Catarinense. Cabe ressaltar que as interpretações sobre imagens LANDSAT foram realizadas em uma direção azimutal, enquanto que as das imagens SRTM foram efetuadas com base em quatro direções azimutais diferentes, o que explica a falta de realce de estruturas de direção NE nas imagens LANDSAT.

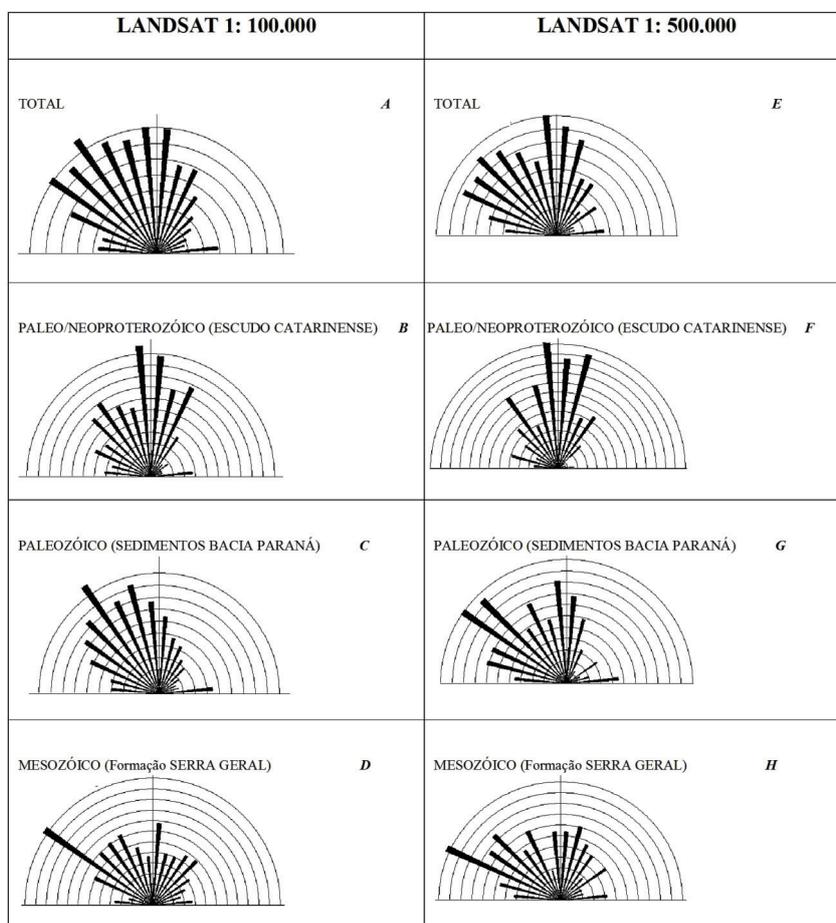


Figura 6. Diagrama de roseta dos lineamentos extraídos a partir de imagens do satélite LANDSAT nas escalas 1:100.000 (A, B, C e D) e 1:500.000 (E, F, G e H).

A figura 7 mostra o mapa de lineamentos estruturais resultado da integração nas duas escalas (1:500.000 e 1:100.000), a partir da análise dos lineamentos estruturais extraídos das imagens LANDSAT e do Projeto SRTM. A figura 8 mostra os diagramas de roseta correspondentes. A maior diferença observada entre as duas escalas é a não detecção das estruturas NE na escala 1:500.000

(Fig. 8E), que são muito evidentes na escala 1:100.000 (Fig. 8A). Este mesmo padrão se repete para as unidades do Escudo Catarinense (Fig. 8F e 8B) e do Mesozoico (Fig. 8H e 8D). Por outro lado, nota-se uma boa correlação entre as estruturas NW, ressaltando-se, no entanto, maior dispersão das direções nas rochas sedimentares paleozoicas na escala 1:500.000.

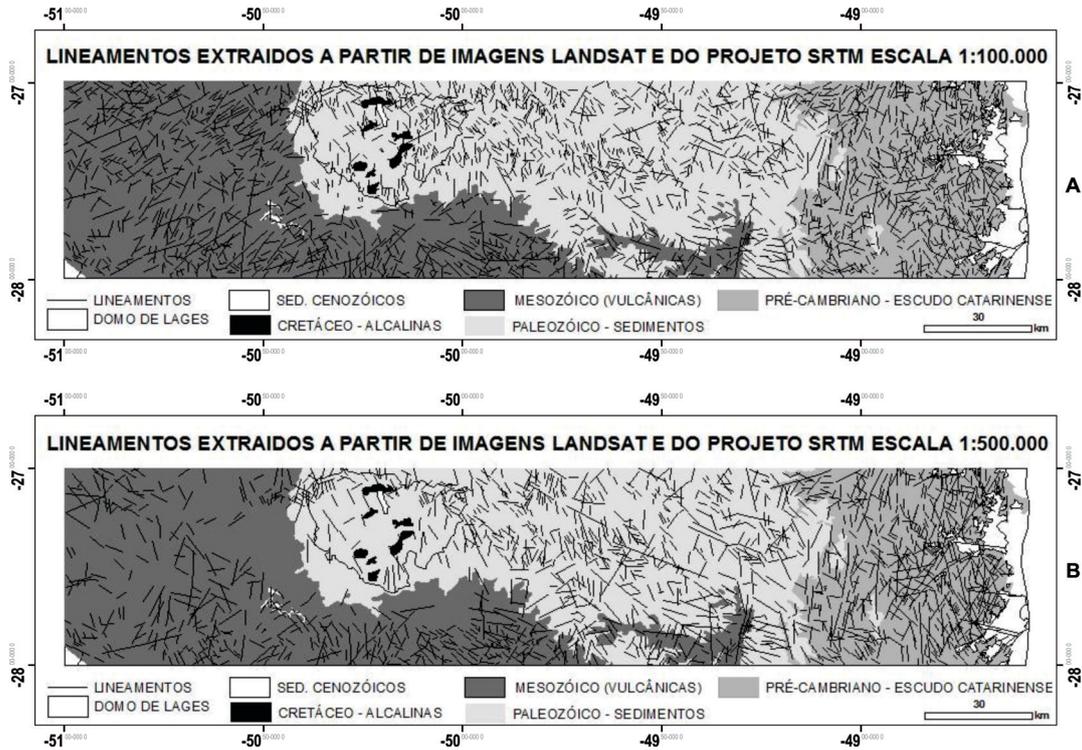


Figura 7. Integração dos lineamentos extraídos a partir das imagens LANDSAT e do Projeto SRTM nas escalas 1:100.000 (A) e 1:500.000 (B).

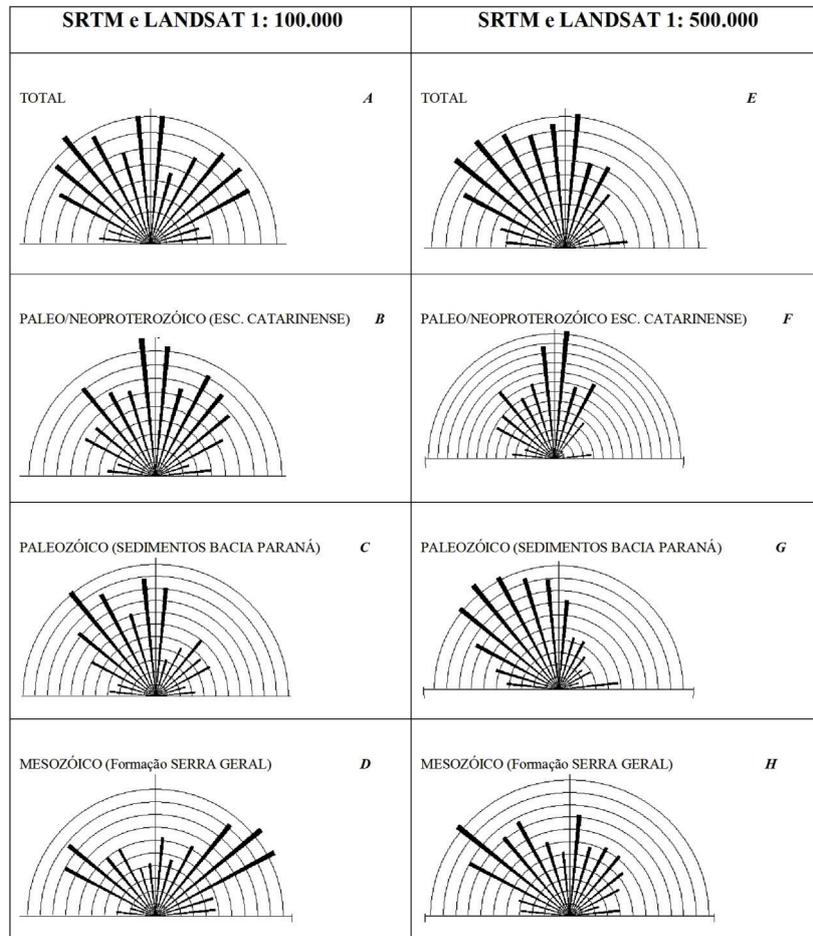


Figura 8. Diagramas de roseta dos lineamentos extraídos a partir de imagens do Projeto SRTM e Landsat nas escalas 1:100.000 (A, B, C e D) e 1:500.000 (E, F, G e H).

5. Discussão dos resultados

Os dados obtidos a partir das imagens LANDSAT e do projeto SRTM são eficazes na identificação de lineamentos rúpteis nas escalas 1:100.000 e 1:500.000. No entanto, os dados obtidos a partir do projeto SRTM proporcionam maior diversidade de direções de lineamentos estruturais. O projeto SRTM, cujo produto é um MDE (Modelo Digital de Elevação), pode gerar imagens de relevo sombreado em várias direções determinadas pelo usuário em função do conhecimento estrutural da área a ser analisada.

A análise obtida a partir das imagens LANDSAT é dependente da elevação solar do azimute solar e na data da passagem do satélite sobre a área de estudo, evidenciando estruturas perpendiculares à iluminação solar. Sendo, portanto, uma imagem que realça apenas uma determinada orientação estrutural. Este problema poderia ser minimizado com imagens obtidas em diferentes estações do ano (verão e inverno); porém, em altas latitudes, não há diferença significativa no azimute de iluminação solar ao longo do ano (Andrades Filho & Fonseca, 2009). Em função disto, os lineamentos de direção NE-SW extraídos das imagens LANDSAT são pouco evidenciados nos diagramas de roseta quando comparados com os obtidos das imagens de relevo sombreado do Projeto SRTM.

Ressalta-se, também, o padrão semelhante dos dados obtidos a partir das imagens LANDSAT, entre as escalas 1:100.000 e 1:500.000. Isto sugere que as observações visuais dos lineamentos independem da escala de análise e, portanto, as imagens LANDSAT destacam os grandes traços lineares de forma contínua (intensidade) e não segmentados em escalas maiores. A variável intensidade, analisada através do comprimento total dos lineamentos, neste tipo de imagem, sugere estruturas mais profundas, que refletem, em superfície, uma geometria linear independente de escala.

Por outro lado, a variável densidade reflete o número de segmentos lineares por unidade de área e representa lineamentos mais rasos. Esta característica é observada nos diagramas de roseta obtidos a partir das imagens do Projeto SRTM em escala 1:100.000. Devido ao aumento da escala, uma mesma estrutura que, na escala 1:500.000, é representada por um único traço, na escala 1:100.000 aparece segmentada e, conseqüentemente, modifica o padrão estatístico do diagrama de roseta. Na escala 1:500.000, a intensidade dos lineamentos é

marcante, destacando-se estruturas mais profundas, enquanto na escala 1:100.000 representam a densidade dos lineamentos e refletem estruturas mais rasas.

Em função dos diferentes resultados obtidos pelos dois sensores, foram integrados os dois produtos e consideradas as variáveis intensidade e densidade em conjunto nas escalas 1:500.000 (Fig. 8E-H) e 1:100.000 (Fig. 8A-D).

A análise dos lineamentos na escala 1:500.000, na área correspondente ao Escudo Catarinense (Paleoproterozoico e Neoproterozoico), exhibe direções preferenciais N-S $\pm 5^\circ$, representativas da intensidade dos lineamentos. Nas unidades paleozoicas e mesozoicas, as direções preferenciais são NW-SE e, secundariamente, N-S $\pm 5^\circ$. No contato da Formação Serra Geral com as rochas sedimentares gondwânicas, na região do Domo de Lages, foram identificados poucos lineamentos (Fig. 7). Uma explicação para isso é o comportamento reológico distinto de unidades contendo proporção elevada de rochas pelíticas (Grupos Itararé e Guatá), que foram soerguidas pela estrutura dômica e encontram-se hoje praticamente no mesmo nível topográfico da unidade permiana (Fm. Rio do Rasto) da Bacia do Paraná. Outra explicação possível é que o alojamento das rochas alcalinas e a estruturação do domo tenham ocorrido em regime tectônico extensional e do tipo passivo, não deformando de forma efetiva as rochas encaixantes nas imediações do contato com a Formação Serra Geral. Nas unidades litológicas mais antigas da bacia, que afloram na porção central do domo (grupos Itararé e Guatá), seriam esperadas estruturas mais profundas (de maior intensidade), porém isto não ocorre nesta escala, e a explicação poderia ser a mesma dada acima.

Na escala 1:100.000, os lineamentos, em geral, apresentam intensidade e densidade mais homogêneas nas unidades litológicas analisadas. Isto mostra que a escala em questão é a mais apropriada para a identificação das estruturas rúpteis mais rasas (Fig. 7).

6. Conclusões

Os dados obtidos a partir do projeto SRTM proporcionam maior diversidade de direções de lineamentos estruturais do que as imagens LANDSAT. Além disso, a partir do Modelo Digital de Elevação pode-se gerar imagens de relevo som-

breado em várias direções determinadas pelo usuário em função do conhecimento estrutural da área a ser analisada. As imagens do projeto SRTM geram dados diferentes em função da escala analisada. As imagens em escala 1:500.000 destacam estruturas mais profundas da crosta, enquanto, na escala 1:100.000, destacam estruturas mais rasas.

Uma das limitações das imagens LANDSAT é que elas realçam apenas as estruturas perpendiculares à iluminação solar, embora isto possa ser minimizado, em regiões de baixas latitudes, com uso de imagens obtidas em diferentes estações do ano (verão e inverno). Observou-se que os padrões estruturais obtidos a partir destas imagens, entre as escalas 1:100.000 e 1:500.000, são semelhantes. No entanto, as escalas menores favorecem o realce de estruturas mais profundas na crosta, de forma análoga às imagens do Projeto SRTM.

A integração dos lineamentos obtidos das imagens (Projeto SRTM e LANDSAT) na escala 1:100.000 mostra, em geral, para os diferentes compartimentos analisados, intensidade e densidade mais homogêneas do que na escala 1:500.000. Como resultado, os compartimentos estudados possuem os seguintes padrões de direções preferenciais: Escudo Catarinense - N-S \pm 5° e, secundariamente, NNE-SSW; Sequência Gondwânica da Bacia do Paraná - NW-SE e, secundariamente, N-S \pm 5° e Formação Serra Geral - NE-SW e NW-SE.

Agradecimentos - Os autores agradecem à CPRM - Serviço Geológico do Brasil, à Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia do Instituto de Geociências da USP; à Petrobrás e UFPR, por intermédio do Projeto Falhas Campo de Esforços e Fluxo de Fluidos, convênio UFPR/PETROBRAS-CENPES, coordenado pelo prof. Dr. Alberto Pio Fiori, pelo suporte financeiro para realização das atividades de campo e pela possibilidade de usufruir de uma bolsa de doutorado (Patricia Durringer Jacques) durante um período do convênio. Um dos autores (Rômulo Machado) agradece, ainda, ao CNPq, pela concessão de uma Bolsa de Produtividade em Pesquisa (Proc. 300423/82-9). Os autores agradecem ainda a dois revisores anônimos pelas melhorias sugeridas ao manuscrito.

Referências

- Almeida, F.F.M. 1969. Diferenciação tectônica da Plataforma Brasileira. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 23, 1969, Salvador. *Anais...* Salvador: SBG, 1969, p.29-46.
- Almeida, F.F.M. 1983. Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozoicas da região meridional da Plataforma Sul-Americana. *Revista Brasileira de Geociências*, 13(3): 139-158.
- Almeida, F.F.M. 1986. Distribuição regional e relações tectônicas do magmatismo pós-Paleozoico no Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 16(4): 325-349.
- Alvarenga, R.S., Saldanha, D.L., Sommer, C.A., Sommer, J.A., Lima, E.F & Pierosan, R. 2005. 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: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 12, 2005, Goiânia, *Anais...*, INPE, p. 4537-4544.
- Andrades Filho, C.O. & Fonseca, L.M.G. 2009. Lineamentos estruturais a partir de imagem LANDSAT TM e dados SRTM. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 12, 2009, Natal, *Anais...*Natal, INPE, p.3151-3158
- Basei, M.A.S. 1985. *O Cinturão Dom Feliciano em Santa Catarina*. São Paulo, 190p. Tese de doutoramento, Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Basei, M.A.S., Siga Jr., O., Machiavelli, A. & Mancini, F. 1992. Evolução Tectônica dos terrenos entre os Cinturões Ribeira e Dom Feliciano (PR-SC). *Revista Brasileira de Geociências*, 22(2): 216-221.
- Basei, M.A.S, Siga Jr., O., Masquelin, H., Harara, O.M., Reis Neto, J.M. & Preciozzi, P.F. 2000. The Dom Feliciano Belt and Rio de la Plata Craton: tectonic evolution and correlation with similar provinces of southwestern Africa. *In: Cordani et al. (Ed.) Tectonic evolution of South America*, International Geological Congress, 31, Rio de Janeiro, p. 311-334.
- Bitencourt, M.F.A.S. 1996. *Granitoides sintectônicos da região de Porto Belo, SC: Uma abordagem petrológica e estrutural do magmatismo em zonas de cisalhamento*. Porto Alegre, 310p. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Bitencourt, M.F. & Nardi, L.V.S. 2000. Tectonic Setting and Sources of Magmatism Related to the Southern Brazilian Shear Belt. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(1): 186-189.
- Bitencourt, M.F., Bongioiolo, E.M., Philipp, R.P., Morales, L.F.G., Rubert, R.R., Melo, C.L. & Luft Jr., J.L. 2008. Estratigrafia do Batólito Florianópolis, Cinturão Dom

- Feliciano, na Região de Garopaba - Paulo Lopes, SC. *Pesquisas em Geociências*, 35(1): 109-136.
- Bizzi, L.A., Schobbenhaus, C., Vidotti, R.M. & Goncalves, J.H. 2003. *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*. 1ª. ed., Brasília, Universidade de Brasília. v. 01, 674 p.
- Câmara, G. & Monteiro, A.M.V. 2001. Conceitos básicos da ciência da informação. In: Câmara, G., Davis, C. & Monteiro, A.M.V. (Ed.). *Introdução à ciência da geoinformação*. São José dos Campos: INPE. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap2-conceitos.pdf>>. Acesso em: 03 dez. 2009.
- Castro, N.A., Crósta, A.P., Ferreira, F.J., Basei, M.A.S. & Pascholati, M.E. 2003. Quadro geológico regional da porção do Embasamento Pré-Ordoviciano de Santa Catarina com base em imagens Landsat-5/TM e aerogeofísicas. *Revista Brasileira de Geociências*, 33(supl): 161-172.
- Chavez, P.S. 1988 An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment*, 24: 459-479.
- Comin-Chiaramonti, P., Gomes, C.B., Castorina, F., Censi, P., Antonini, P., Furtado, S., Ruberti, E. & Scheibe, L.F. 2002. Geochemistry and geodynamic implications of the Anitápolis and Lages alkaline-carbonatite complexes, Santa Catarina state, Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 32 (1): 43-58.
- Crepani, E. & Medeiros, J.S. 2004. Imagens fotográficas derivadas de MNT do projeto SRTM para fotointerpretação na geologia, geomorfologia e pedologia. In: INPE-11238-RPQ/761.
- Ferreira, A.C & Almeida, T.I.R. 1989. Tectônica transcorrente e imagens TM-Landsat aplicadas à prospecção de fluorita e barita em Santa Catarina. *Revista Brasileira de Geociências*, 19(2): 207-223.
- Freitas, M.A., Caye, B.R. & Machado, J.L.F. 2002. *Diagnóstico dos recursos hídricos subterrâneos do oeste do Estado de Santa Catarina - Projeto Oeste de Santa Catarina*. Porto Alegre, CPRM/SDM-SC/SDA-SC/EPAGRI, 100p.
- Horn Filho, N.O. 2003. Setorização da Província Costeira de Santa Catarina em base aos aspectos geológicos, geomorfológicos e geográficos. *GEOSUL*, 18 (35): 71-98.
- Horn Filho, N.O. & Diehl, F.L. 1994. Geologia da Planície Costeira de Santa Catarina. *Alcance*, 1(1): 95-102.
- Horn Filho, N.O. & Diehl, F.L. 2001. Geologia da Planície Costeira de Santa Catarina. In: CONGRESSO DO QUATERNÁRIO DE PAÍSES DE LÍNGUAS IBÉRICAS, 1, 2001, Lisboa. *Actas...*, Lisboa, SGP, p.203-206.
- Justo, A.P. 2006. *Sistemas orbitais e aéreos aplicados à análise multi-escala de lineamentos na borda sudeste da Bacia do Parnaíba*. Natal, 65p. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- Lillesand, T.M. & Kiefer, R.W. 1994. *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley & Sons, United States. 750p.
- Loczy, L. 1968. Basic and alkalic volcanics of the State of Santa Catarina, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 40 (Supl.): 187-193.
- Machado, F.G. & Rostirolla, S.P. 2005. Caracterização estrutural preliminar da área de Jaguariaíva, Bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO NACIONAL E ESTUDOS TECTÔNICOS, 10, Curitiba. *Anais...*, Curitiba, v. 1, p. 38-40.
- Mezzomo, E. & Rostirolla, S. P. 2005. Delimitação do arcabouço estrutural na porção centro leste do Paraná, Bacia do Paraná, com base na análise de sensores remotos, estudos de campo e modelagem estrutural tridimensional. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 10, e INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TECTONICS, 4, Curitiba. *Boletim de Resumos Expandidos*. Curitiba, v. 1, p. 35-37.
- O'Leary, D.W., Friedman, J.D. & Pohn, H.A. 1976. Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms. *Geological Society American Bulletin*, 87: 1463-1469.
- Passarelli, C.R. 1996. *Análise estrutural e caracterização do magmatismo da zona de cisalhamento Major Gercino, SC*. São Paulo, 178 p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Perrota, M.M., Salvador, E.D., Lopes, R.C., Dagostino, L.Z., Wildner, W., Ramgrab, G.E., Peruffo, N., Freitas, M.A., Gomes, S.D., Chieregati, L.A., Silva, L.C., Sachs, L.L.B., Silva, V.A., Batista, I.H. & Marcondes, P.E.P. 2004. Folha SG.22-Curitiba. In: Schobbenhaus, C., Gonçalves, J.H., Santos, J.O.S., Abram, M.B., Leão Neto, R., Matos, G.M.M., Vidotti, R.M., Ramos, M.A.B. & Jesus, J.D.A. de. (eds.). *Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Sistema de Informações Geográficas. Programa Geologia do Brasil*. Brasília, CPRM. 1 CD-ROM.
- Ricomini C., Chamani, M.A.C., Agena S.S., Fambrini G.L., Fairchild T.R. & Coimbra A.M. 1992. Earthquake-induced liquefaction features in the Corumbataí Formation (Permian, Paraná Basin, Brazil) and the dynamics of Gondwana. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 64(3): 210.
- Ricomini C., Almeida R.P., Turra B.B., Chamani M.A.C., Fairchild T.R. & Hachiro J. 2005. Reativação de falha do embasamento causa sismicidade no Permian da Bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE

- ESTUDOS TECTÔNICOS, 10, e INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TECTONICS, 4, Curitiba, PR. *Boletim de Resumos Expandidos*, Curitiba, p. 18-20.
- Roldan, L.F. 2007. *Tectônica Rúptil Meso-Cenozóica na região do Domo de Lages, SC*. São Paulo, 121p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Roldan, L.F., Machado, R., Steiner, S.S. & Warren, L.V. 2010. Análise de Lineamentos Estruturais no Domo de Lages (SC) com Uso de Imagens de Satélite e Mapas de Relevo Sombreado. *Geologia USP*, 10 (2): 57-72.
- Rostirolla, S.P., Assine, M.L., Fernandes, L.A. & Artur, P.C. 2000. Reativação de paleolineamentos durante a evolução da Bacia do Paraná - o exemplo do alto estrutural de Quatiguá. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(4): 639-648.
- Scheibe, L.F., Kawashita, K. & Gomes, C.B. 1985. Contribuição à geocronologia do Complexo Alcalino de Lages, SC. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 2, 1985, Florianópolis. *Anais...*, Florianópolis, SBG, 1985, p. 299-307.
- Scheibe, L.F. 1986. *Geologia e Petrologia do Distrito Alcalino de Lages, SC*. São Paulo, 224p. Tese de Doutorado, Programa de Mineralogia e Petrologia, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Silva, D.R.V., Amaro, E., Souto, M.V.S., Pereira, B.R.B., Souza, D.S. & Souza, A.S. 2007. Imagens SRTM aplicadas á análise do comportamento morfotectônico da paisagem, como auxílio ao monitoramento ambiental no litoral setentrional do Rio Grande do Norte. In: *PDPESTRO*, 4, 2007, Campinas, p. 21-24.
- Soares, A.P., Soares, P.C., Bettú, D.F. & Holz, M. 2007. Compartimentação estrutural da Bacia do Paraná: a questão dos lineamentos e sua influência na distribuição do Sistema Aquífero Guarani. *Geociências UNESP*, 26 (4): 297-311.
- Souza, I.A. & Ebert, H.D. 2005. Lineamentos tectônicos do embasamento adjacente às bacias de Espírito Santo, Campos e Santos interpretados a partir de imagens LANDSAT 7 TM. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS, 3, 1 CD-ROM. Salvador.
- Souza Filho, P.W.M. & Paradella W.R. 2002. Recognition of the main geobotanical features along the Bragança mangrove coast (Brazilian Amazon region) from Landsat TM and RADARSAT-1 data. *Wetlands Ecology and Management*, 10: 123-132.
- Strieder, A.J. & Amaro, V.E. 1997. Structural patterns removed from remotely sensed lineaments. *Revista da Escola de Engenharia*, 25 (4): 109-117.
- Strugale, M., Rostirolla, S.P., Mancini, F., Portela Filho, C.V., Ferreira, F.J.F. & Freitas, R.C. 2007. Structural framework and Mesozoic-Cenozoic evolution of Ponta Grossa Arch, Paraná Basin, southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 24: 203-227.
- Turner, R.E., Malita, W.A. & Nalepka, R.F. 1971. Importance atmospheric scattering or everything you've always wanted to know about atmospheric scattering but were afraid to ask. In: *International Symposium on Remote Sensing of the Environ*, 20, *Proceeding...* Michigan 3: 1651-1697.
- Zalán, P.V., Wolff, S. & Conceição, J.C.J. 1987. Tectônica e sedimentação da Bacia Sedimentar do Paraná. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 3, 1987, Curitiba. *Atas...*, Curitiba. p. 441-474.
- Zalán, P.V., Wolf, S., Conceição, J.C., Astolfi, M.A.M., Vieira, I.S., Appi, C.T., Zanotto, O.A. & Marques, A. 1991. *Tectonics and sedimentation of the Paraná Basin*. In: International Gondwana Symposium, 30, *Proceeding...*, São Paulo, Brazil, p. 83-117.