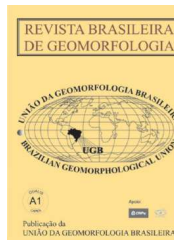


www.ugb.org.br  
ISSN 2236-5664

## Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 16, n° 4 (2015)



# EVOLUÇÃO DO RELEVO EM ÁREAS DE TRÍPLICE DIVISOR DE ÁGUAS REGIONAL - O CASO DO PLANALTO DE SANTA CATARINA: UMA ANÁLISE MORFOESTRUTURAL

## RELIEF EVOLUTION IN REGIONAL TRIPLE WATER DIVISOR AREAS – THE CASE OF SANTA CATARINA PLATEAU: A MORPHOSTRUCTURAL ANALYSIS

**Michael Vinicius de Sordi**

*Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais  
Av. Antônio Carlos, 6.627, Belo Horizonte, Minas Gerais, CEP: 31.270-901, Brasil  
Email: michael.sordi@gmail.com*

**André Augusto Rodrigues Salgado**

*Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais  
Av. Antônio Carlos, 6.627, Belo Horizonte, Minas Gerais, CEP: 31.270-901, Brasil  
Email: aarsalgadoufmg@gmail.com*

**Julio Cesar Paisani**

*Campus Francisco Beltrão, Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Rua Maringá 1.200, Francisco Beltrão, Paraná, CEP 85.605.010, Brasil  
Email: juliopaisani@hotmail.com*

### Informações sobre o Artigo

Data de Recebimento:  
25/06/2015  
Data de Aprovação:  
28/06/2015

### Palavras-chave:

Morfoestrutura; Evolução de Longo-Termo do Relevo; Planalto Catarinense.

### Keywords:

Morpho-Structure; Long-Term Landform Evolution; Santa Catarina Plateau.

### Resumo:

O Planalto Catarinense concentra as áreas serranas do estado de Santa Catarina - Serra Geral e a Serra do Repartimento/Espigão - e é a região onde se localiza o tríplice divisor das bacias hidrográficas dos rios Itajaí-Açu, Paraná (Iguaçu) e Uruguai. Devido à importância da morfoestrutura para a evolução do relevo em longo-termo, buscou-se analisar e discutir a influência dos aspectos estruturais nessa área. Para atender esses objetivos foram investigados aspectos relacionados à migração de canais; knickpoints; lineamentos estruturais e cursos d'água de primeira e segunda ordem. Os resultados demonstraram a influência da morfoestrutura sobre os processos erosivos por meio do direcionamento do processo de migração de canais, da elevada densidade de falhas/fraturas e knickpoints e pela direção dos canais de primeira ordem – que se mostram orientados segundo sistemas de falhas bem conhecidos para a Bacia Sedimentar do Paraná: E-W e N-S. As áreas que apresentam maior densidade de elementos estruturais (knickpoints e lineamentos) coincidem com as áreas de maior intensidade do processo erosivo e que se mostram preferenciais para processos de reorganização fluvial, principal mecanismo evolutivo regional. Assim, conclui-

se que a evolução do relevo em escala regional em algum momento do Quaternário foi controlada pela interação entre níveis de base locais e regionais; processos hidrográficos de rearranjo fluvial e da estrutura (falhas e fraturas).

#### Abstract:

The Santa Catarina Plateau concentrates the range areas of Santa Catarina State - Serra Geral and Serra do Repartimento/Espigão - and is the area where is located the triple water boundary of Itajaí-Açu, Paraná (Iguaçu) and Uruguai hydrographic catchments. Due morpho-structural importance for long-term landform evolution, it searched to analyze and discuss influence of morpho-structure importance in this area. To attend these objectives were investigated aspects related to channel migration; knickpoints; structural lineaments and first and second-order streams. The results showed morpho-structural influence on erosion process through the directing of channel migration process, the high density of faults/ fractures and knickpoints, and direction of first order-streams – that shows guidance by faults systems well known in Paraná Sedimentary Basin: E-W and N-S. Areas that presented high structural elements density area (knickpoints and lineaments) are coincident with areas of higher intensity of erosion process and show preference for drainage rearrangement process, main regional evolutionary mechanism. Thus, it has concluded that quaternary dynamic evolution of Santa Catarina Plateau on a regional scale was controlled by interaction between local and regional base levels and structures; hydrographic processes of drainage rearrangement and structure (faults and fractures);

#### Introdução

O presente trabalho representa uma contribuição à compreensão do papel da morfoestrutura sobre a dinâmica evolutiva em longo-termo do Planalto Catarinense na área de seu tríplice divisor hidrográfico: Itajaí-Açu/Paraná(Iguaçu)/Uruguai. A influência morfoestrutural sobre a evolução da paisagem foi estudada a partir de dados de radar SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*), da NASA, dos quais foram derivadas informações sobre: (i) migração de canais; (ii) *knickpoints*; (iii) lineamentos estruturais e (iv) cursos d'água de primeira e segunda ordem.

Estudos têm demonstrado a importância de fatores estruturais na evolução do relevo de longo-termo, em escarpas de margens passivas, até mesmo em áreas de tectônica pouco ativa (SUMMERFIELD, 1991; YOUNG e MCDUGALL, 1993; BISHOP *et al.*, 2005; CROSBY e WHIPPLE, 2006; BISHOP, 2007). Esses estudos tem provado a importância da resiliência e dos processos de retração de *knickpoints* (BISHOP *et al.*, 2005; CROSBY e WHIPPLE, 2006). Diversos trabalhos no sul do Brasil ratificam o forte controle estrutural exercido sobre a evolução da paisagem, até mesmo no interior dos planaltos (PAISANI *et al.*, 2006; FORTES *et al.*, 2008; PONTELLI e PAISANI, 2008; LIMA, 2012; LIMA e BINDA, 2013; POTTER *et al.*, 2013; JACQUES *et al.*, 2014). SALGADO *et al.*, 2013 demonstraram que a evolução da paisagem a longo-termo

na área da Serra do Mar Paranaense está associada à erosão diferencial e aos níveis de base regionais. Ainda assim, o sul do Brasil carece de estudos específicos nas áreas de tríplice divisores de água regional que permitam compreender o papel da morfoestrutura e da rede de drenagem ao longo do Quaternário, sobretudo no Estado Catarinense.

A área estudada situa-se no contexto de duas das principais áreas serranas do estado de Santa Catarina: A Serra Geral e a Serra do Repartimento/Espigão (Figura 1). Essas duas feições orográficas possuem grande importância para a dinâmica morfológica, hídrica e até mesmo urbana e social no estado de Santa Catarina. Entretanto, constituem porções do território cientificamente pouco discutidas. Sobretudo em termos geomorfológicos, pois poucos estudos buscaram, de fato, elucidar a gênese e evolução de longo-termo dessa região. É importante destacar que essas duas Serras constituem o divisor entre três das maiores bacias hidrográficas da região sul do Brasil: i) a Serra Geral se constitui no limite entre as bacias costeiras e oceânicas (Itajaí-Açu/Paraná (Iguaçu) e Itajaí-Açu/Uruguai) e ii) as Serras do Repartimento e Espigão dividem as bacias hidrográficas do Paraná(Iguaçu)/Uruguai. Nesse contexto, tenta-se estudar a evolução quaternária dessas áreas, com enfoque no papel da influência da morfoestrutura para evolução da rede hidrográfica.

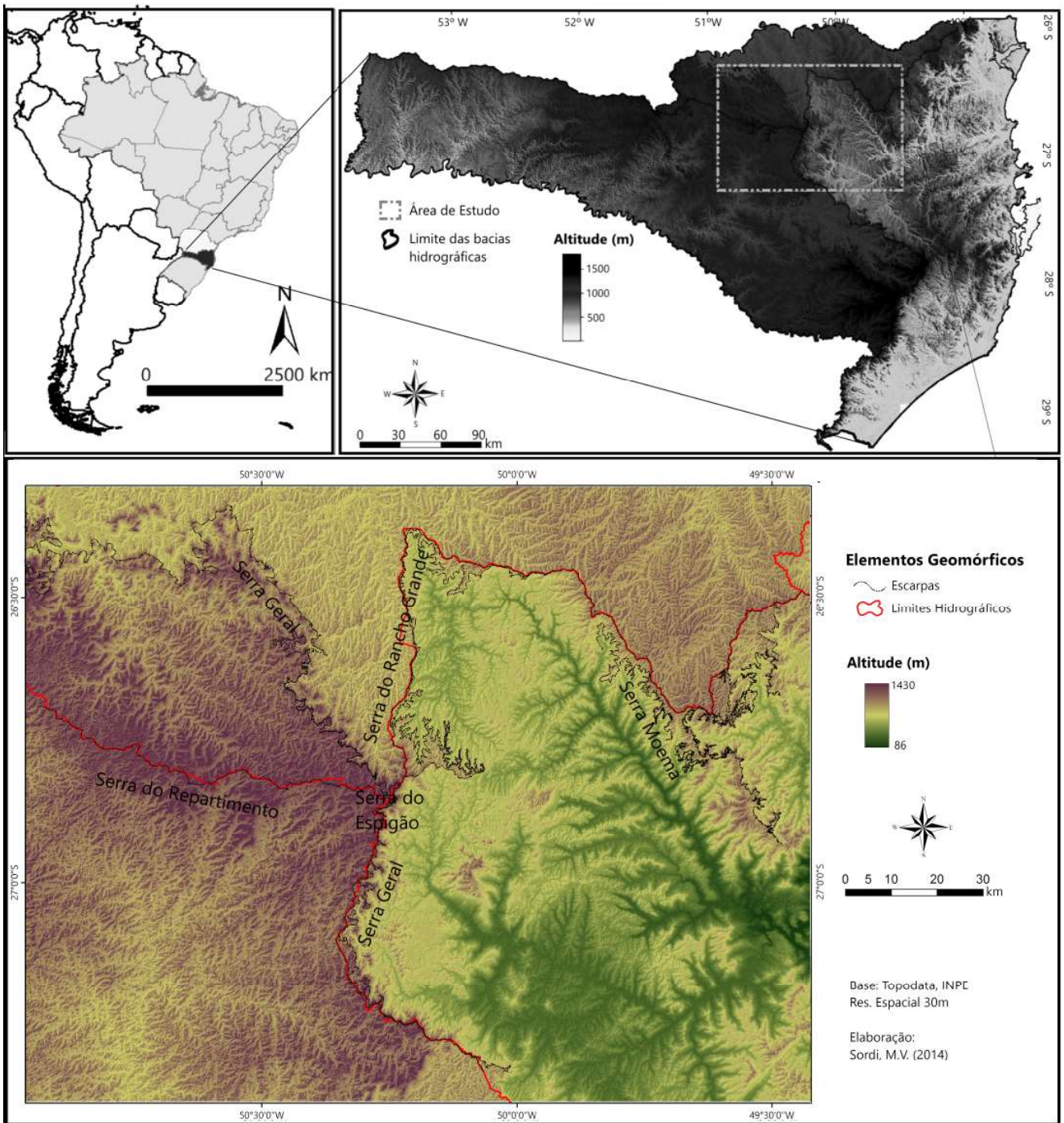


Figura 1 - Localização e Modelo Digital de Elevação da área de estudo, abrangendo parte do Estado de Santa Catarina na área do tríplice divisor entre as bacias hidrográficas do Itajaí-Açu (à leste), Paraná (à noroeste e extremo nordeste) e Uruguai (à Sudoeste).

### Caracterização da Área de Estudo

O relevo do estado de Santa Catarina é caracterizado pela existência de duas grandes unidades morfoestruturais separadas entre si pela Serra do Mar e pela Serra Geral (PELUSO-JÚNIOR, 1986): (i) o litoral, onde estão localizadas a planície litorânea e as escarpas das serras

e, (ii) a área do planalto, que pode ser dividida entre região nordeste (onde os canais drenam para o rio Iguaçu, afluente do rio Paraná) e região sudeste e oeste (onde os rios drenam para o Uruguai). No compartimento litorâneo afloram os sedimentos quaternários na faixa litorânea e uma faixa de rochas magmáticas e metamórficas mais antigas no centro-leste (Figura 2). No compartimento

de planalto aflora uma sucessão de rochas sedimentares gondwânicas e os derrames de lavas básicas, intermédias e ácidas da Serra Geral (SCHIEBE, 1986). No interior do Estado Catarinense, onde a unidade estrutural correspondente é a Bacia do Paraná, há influência do Arco

de Ponta Grossa e do Sinclinal de Torres, com inúmeros alinhamentos estruturais importantes, como os alinhamentos Serra Geral, do rio Uruguai, rio Canoas, Ponte Alta, rio Engano e Porto União (SCHEIBE e FURTADO, 1989) (Figura 2).

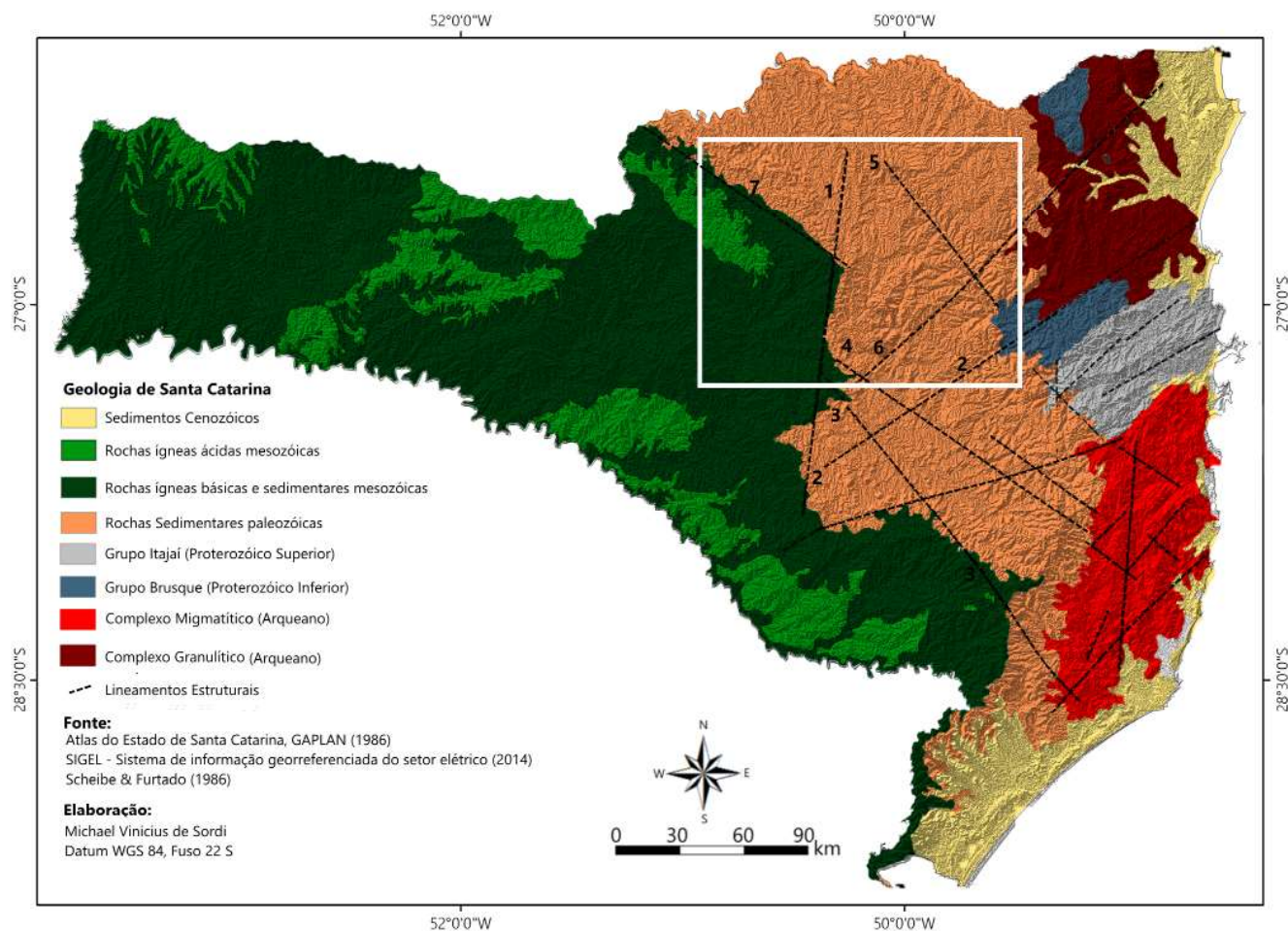


Figura 2 - Mapa geológico do Estado de Santa Catarina. Os alinhamentos com influência na área de estudo se referem a: 1) Alinhamento Ponte Alta (N-S); 2) Rio do Sul (NE-SW); 3) Rio Canoas (NW-SE); 4) Serra Geral (NE-SW); 5) Rio Hercílio (NW-SE); 6) Corupá (NE-SW); 7) Porto União (NW-SE).

Em termos hidrográficos, as áreas drenadas pelo rio Uruguai totalizam 47.785 km<sup>2</sup> (50,25%) e abrangem todo o oeste catarinense e a parte centro-sul do Estado (Figura 1). A área pertencente ao rio Iguazu (sub-bacia do Paraná) se restringe à porção norte-nordeste de Santa Catarina, com uma área total de 10.904 km<sup>2</sup> (11,5%) nesse Estado. As bacias litorâneas estão situadas no leste do Estado (Figura 1) e tem na bacia hidrográfica do rio Itajaí-Açus seu curso de drenagem mais importante, com uma área de 15.112 km<sup>2</sup>. No total são 36.358 km<sup>2</sup> (38,25%) de áreas drenadas por cursos d' água que desaguam diretamente no Oceano Atlântico.

Vale ressaltar que o território catarinense enquadra-se no clima mesotérmico da classificação climática de Köppen. No litoral e partes baixas do Oeste Catarinense, o clima é o Cfa, que se caracteriza por chuvas bem distribuídas ao longo do ano, concentradas no verão, com média de temperatura do mês mais quente acima dos 22°C. Nas áreas mais altas e serras, de clima mais ameno, o Cfb é o clima predominante, caracterizado por verão mais úmido que o inverno, chuvas abundantes e bem distribuídas ao longo do ano e mês mais quente com temperatura média inferior a 22°C (NIMER, 1990). Estes climas ajudam a sustentar cinco diferentes for-

mações vegetais principais em boa parte já alteradas pela ação antrópica (Leite, 1994): (i) floresta ombrófila densa; (ii) floresta ombrófila mista; (iii) estepe ombrófila; (iv) floresta estacional semidecídua e (v) floresta estacional decídua.

## Materias e Métodos

A presente pesquisa se baseou em dados de sensoriamento remoto: (i) dados de radar SRTM re-amostrados, com resolução espacial 30m, obtidos do Projeto TOPODATA (VALERIANO, 2005); (ii) o levantamento aéreo do SDS-SC (Secretaria de Desenvolvimento de Santa Catarina), em escala 1:10.000, além de; (iii) bases cartográficas presentes em cartas topográficas em escala 1:50.000 e 1:100.000.

As técnicas empregadas para análise morfoestrutural podem ser divididas em quatro grupos: 1) fatores utilizados para investigar a migração de canal: o fator de assimetria de bacia de drenagem (FABD) e o fator de simetria topográfica transversal (FSTT); 2) extração de *knickpoints* e análise da distribuição espacial; 3) análise da distribuição espacial e da direção dos lineamentos estruturais; 4) direção das drenagens de primeira e segunda ordem.

O fator de assimetria da bacia de drenagem (FABD) e o fator de simetria topográfica transversal (FSTT) foram construídos a partir dos pressupostos presentes em Hare & Gardner (1984) e em Cox (1994). Além dos mapas, foram organizadas rosetas com a direção da migração dos canais, utilizando-se do software Spring 5.2®.

A partir de dados topográficos obtidos por cenas SRTM, foram elaborados modelos digitais de elevação, dos quais foram derivados mapas de densidade de *knickpoints*, lineamentos estruturais, além de rosetas da direção dos canais de primeira e segunda ordem, e dos lineamentos. Os dados SRTM foram importados no *Software Quantum Gis*®, versão 2.6.1, onde foram geradas imagens raster, sombreadas, em variados exaeros de relevo e azimutes de iluminação, para ajudar na extração de lineamentos. As iluminações utilizadas (Tabela 1) seguiram MINEROPAR (2001) e FREITAS (2005). Já os dados sobre *knickpoints* foram gerados a partir da ferramenta *Knickpoint Finder* (Queiroz et al., 2014), que se trata de um *script* para o *software ArcGis* 9.3®. O *Knickpoint Finder* calcula automaticamente o índice RDE por trechos (SEEBER e GORNITZ, 1983).

São gerados dados sobre anomalias na rede de drenagem de 1ª e 2ª ordem, com valores maiores de 10 e entre 2 e 10, respectivamente. Estas anomalias são associadas aos *knickpoints*. Os diagramas de roseta dos lineamentos e das drenagens de primeira e segunda ordem foram gerados no *software Spring 5.2*®.

**Tabela 1: Relação de Dados Utilizados para Geração de Imagens Sombreadas do Relevo**

Exagero do Relevo	Azimute de Iluminação	Elevação
1	90	30
3	120	45
5	315	20
10	200	40
15	45	45

## Resultados

Na bacia hidrográfica do rio Itajaí-Açu, os rios Itajaí do Sul, Itajaí do Oeste e Itajaí do Norte são os tributários principais, orientados NW-SE e N-S, e os afluentes destes drenam de NE-SW, SW-NE e E-W. Os tributários principais do rio Iguazu (sub-bacia do Paraná), dos quais se destacam os rios Negro, Timbó e Canoinhas, drenam, em sua maioria, NW-SE ou N-S, enquanto os afluentes desses canais têm direção geral E-W. Os canais pertencentes a bacia hidrográfica do rio Uruguai, que tem nos rios Canoas e Peixe seus afluentes principais, possuem orientação NE-SW e secundariamente NW-SE, com tributários perpendiculares (E-W).

Os dados de (as)simetria mostram bacias hidrográficas desajustadas com canais migrando para NW e NE. Das 69 sub-bacias hidrográficas analisadas, apenas 15, ou cerca de 20% do total, apresentaram canais com baixo grau de migração, com índices de assimetria (FABD) entre 45 e 55 (Figura 3). A tendência mais comum é a de migração para margem direita: 33 cursos d'água (pouco menos de 50%) apresentam índices menores de 45. Também se registrou um número considerável de cursos d'água com deslocamento do canal para a margem esquerda (valores de assimetria maiores de 55) – essa tendência foi registrada em 25 canais (35% do total) (Figura 3).

Ao analisar a assimetria (FABD) a partir de cada uma das três unidades hidrográficas nota-se uma diferenciação clara entre as bacias hidrográficas (Figura 3): na área do rio Itajaí-Açu, as sub-bacias demonstram uma tendência maior à aleatoriedade, com canais migrando

ora para a margem esquerda (12 canais), ora para a margem direita (11 canais), ora canais equilibrados (6 canais). Na área do rio Paraná (Iguaçu) é possível verificar, também, vários afluentes com alto grau de migração, porém com canais migrando tanto para a

margem esquerda (9 sub-bacias) e direita (8 sub-bacias). Os afluentes do rio Uruguai apresentam a maior porcentagem de sub-bacias com valores de simetria anômalos, e quase sempre, com canais migrando para a margem direita (mais de 65%) (Figura 3).

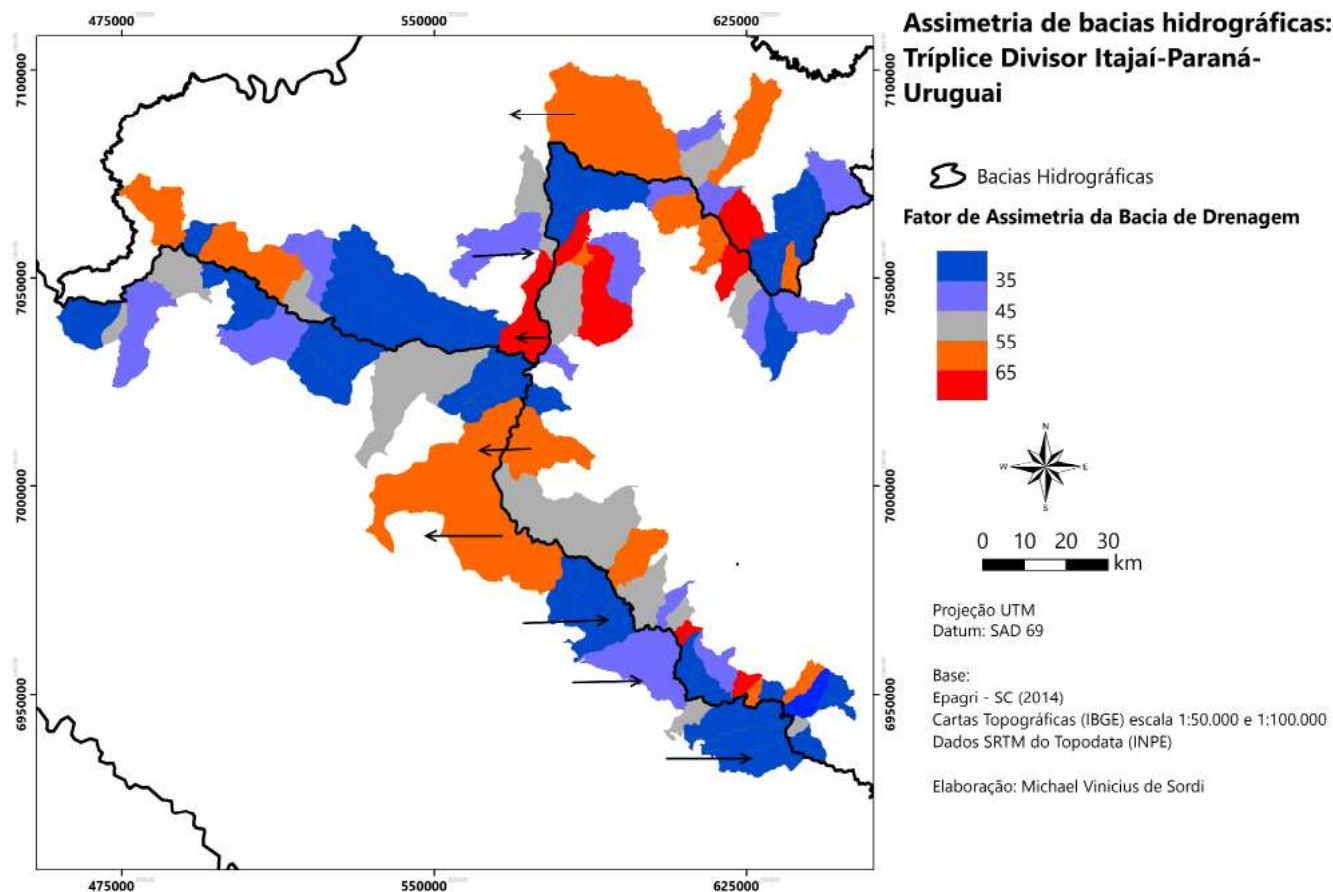


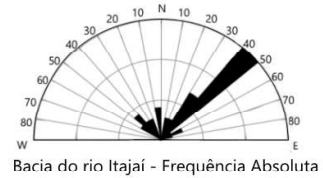
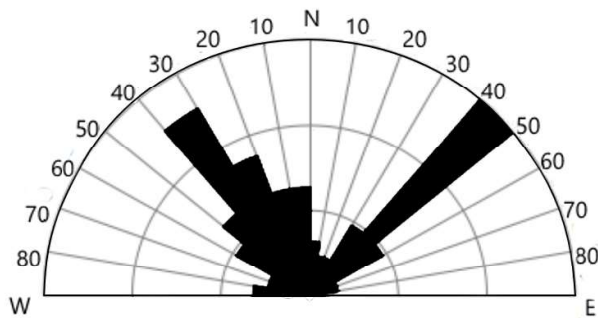
Figura 3 - Mapa de intensidade do fator de assimetria da bacia de drenagem. Os valores mais baixos mostram canais com maior área da margem direita, e valores maiores áreas predominantes na margem esquerda. As sub-bacias em cinza são aquelas que demonstram maior simetria

Como a migração para a margem direita ou esquerda depende da orientação e da direção do canal, a obtenção do sentido preferencial de migração do canal fornece um dado mais preciso e de análise muito mais clara. A partir dessa metodologia, nota-se, no diagrama de roseta principal, que em geral os canais possuem dois sentidos de migração principal: entre 40 – 30° NW e 40 – 50° NE (Figura 4). Analisando os diagramas de roseta para cada bacia do tríplex divisor, fica mais claro que a migração do canal possui uma direção predominante (Figura 4). A área do rio Itajaí-Açu possui sentidos de migração diversos, porém com uma tendência à migração NE. Nos afluentes do rio Paraná (Iguaçu) a tendência

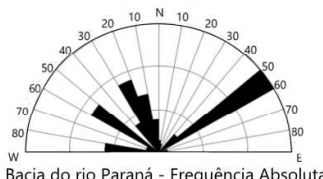
à migração é direcionada ao quadrante NE, entre 50 - 60°, com registros de migrações para 60-50° e 30-20° NW. No rio Uruguai a tendência é, em menor proporção a migração para 40-30° NW, com forte tendência para 40-30° NW, diferente das bacias hidrográficas do Itajaí-Açu e Paraná (Iguaçu).

No presente estudo, as anomalias no perfil longitudinal dos rios (índice RDE) são interpretadas como *knickpoints*. Os *knickpoints* podem se constituir áreas de mudanças de litologia, trechos de corredeiras ou soleiras (Fig. 5a e b), ou grandes quedas d’água (Fig. 5c e d) verticais.

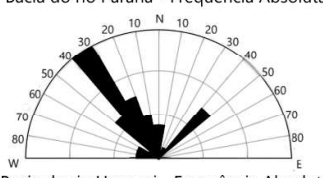
**Direção preferencial de migração de canal:  
áreas de limites de bacias hidrográficas (SC)**



Bacia do rio Itajaí - Frequência Absoluta



Bacia do rio Paraná - Frequência Absoluta



Bacia do rio Uruguai - Frequência Absoluta

Figura 4 - Diagramas de roseta mostrando a direção de migração dos canais na área de estudo (à esquerda) e tendência de migração para cada uma das 3 grandes bacias hidrográficas que drenam a região

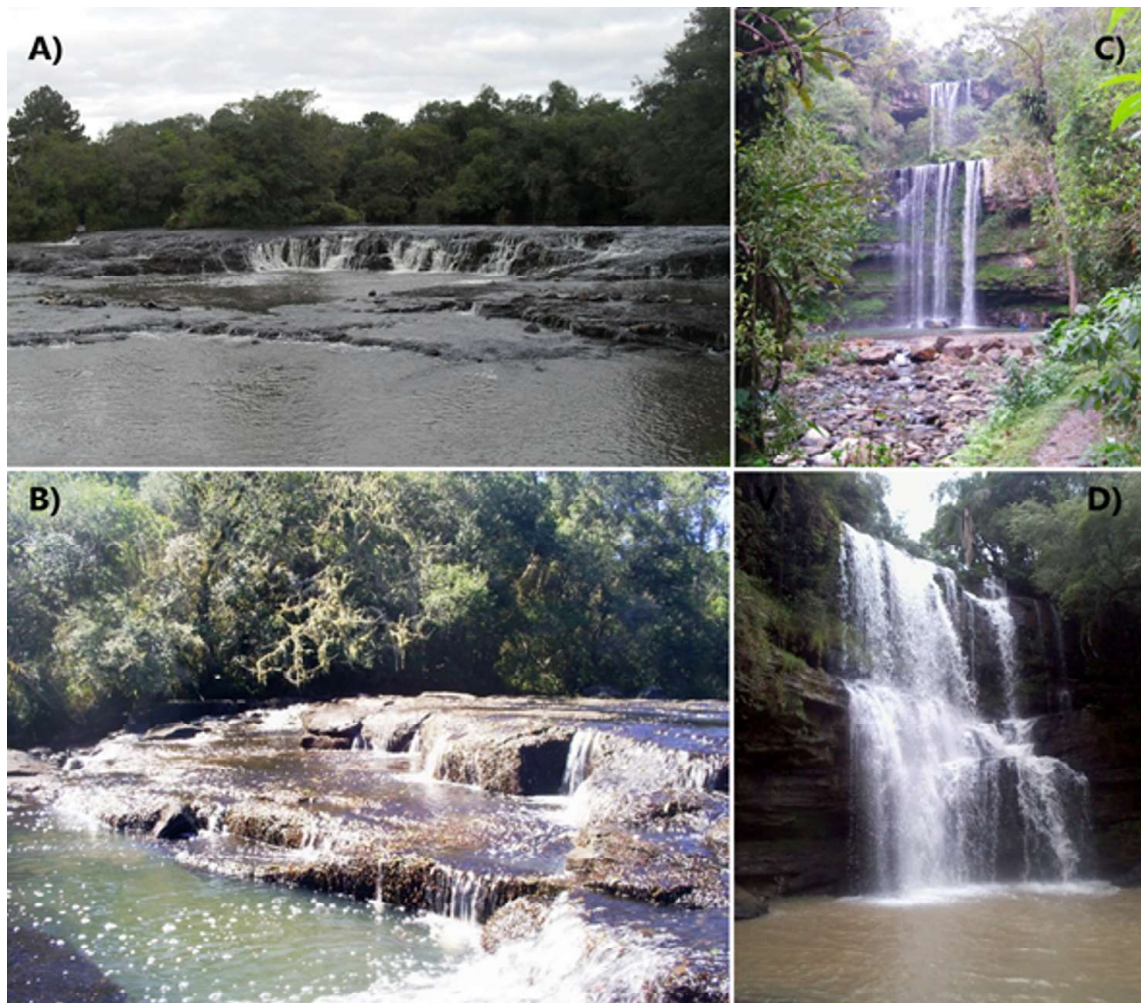


Figura 5 - Knickpoints associados à corredeiras (A e B) que correspondem a anomalias de primeira ordem. As quedas d'água (Figura C e D) correspondem a anomalias de 2ª ordem. A corredeira da Figura A está localizada no rio Novo; B) corredeira no rio São Pedro C) queda d'água no rio Pombinhas; D) queda d'água no Rio Passa-Quatro. Fonte: Google Earth Pro® (2015).

A densidade de *knickpoints* (total) é muito maior na bacia hidrográfica do rio Itajaí-Açu— são 14.391 *knickpoints*, o que corresponde a cerca de 60% do total da área (Figura 6). Nas bacias interiores, a distribuição é de 5.437 para a bacia hidrográfica do rio Paraná (Iguaçu)

(22%) e 4.578 anomalias para a bacia hidrográfica do rio Uruguai (18%) (Figura 6). As áreas que concentram essas rupturas de declividade estão distribuídas, em sua maioria, ao longo do divisor da bacia do rio Itajaí-Açu e as drenagens interiores Paraná (Iguaçu) e Uruguai (Figura 6).

### Densidade de Knickpoints: Tríplex divisor Itajaí-Uruguai-Paraná

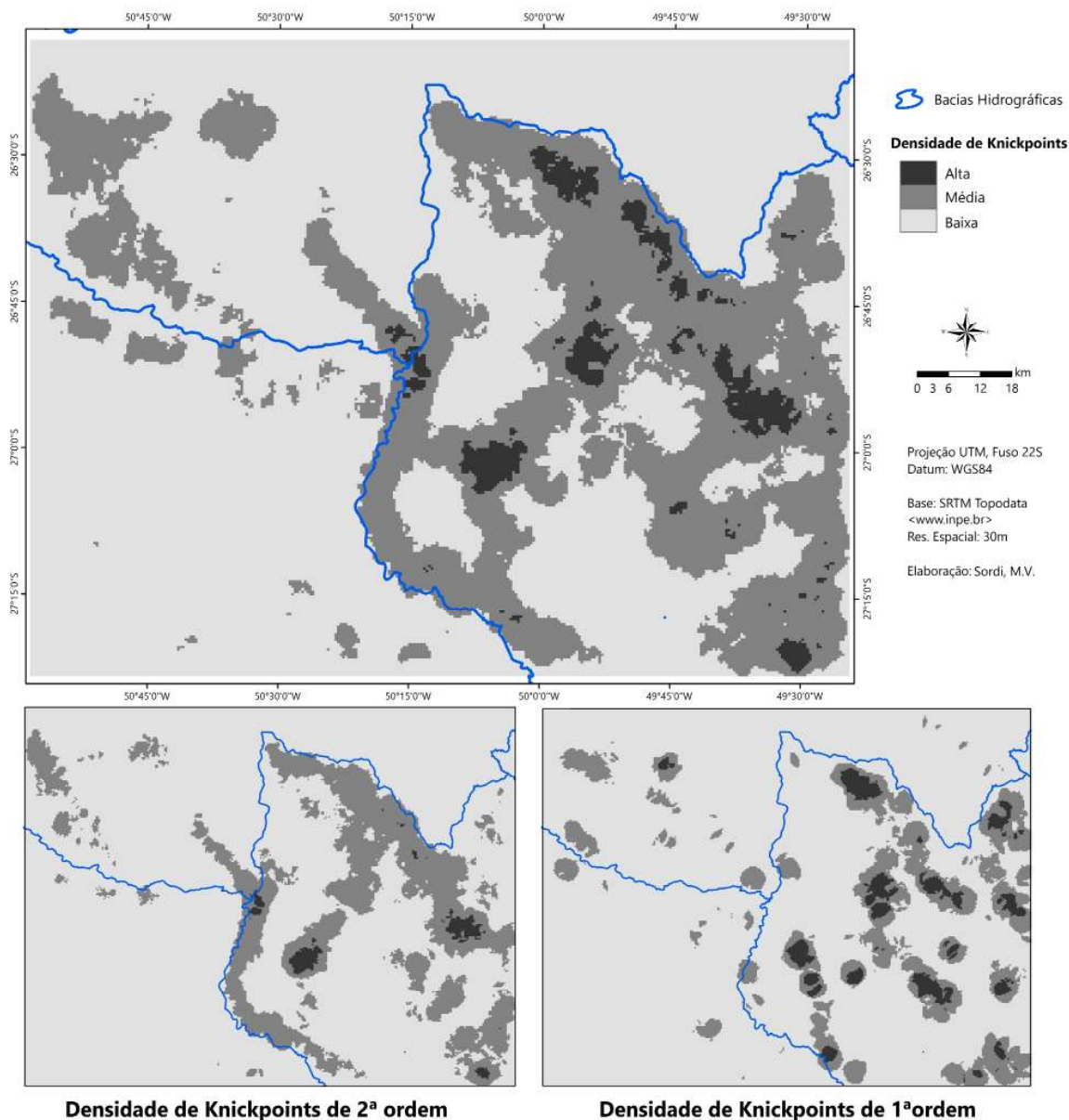


Figura 6 - Densidade de Knickpoints na área de estudo. São apresentadas as densidades totais e de anomalias de primeira e segunda ordem

No interior da bacia hidrográfica do rio Itajaí-Açu, as rupturas aparecem junto a importantes elevações residuais, como a Serra da Abelha (Vitor Meireles-SC) e o Morro do Funil (Mirim Doce-SC) (Figuras 1 e 6). A oeste, as maiores densidades de knickpoints estão associadas à escarpa da Serra Geral, no setor em que

esta se localiza no interior da Bacia Hidrográfica do Iguaçu (Paraná) e ao longo da Serra do Repartimento, que constitui o divisor Paraná (Iguaçu)/Uruguai a oeste. Também ocorrem áreas de densidade elevada a noroeste, na unidade do rio Paraná, na bacia hidrográfica do rio Timbó, ao longo dos rios Timbózinho e Tamanduá, dois



dos seus principais afluentes.

A densidade de lineamentos é elevada em toda a área de estudo (Figura 7). Os lineamentos estão associados a feições positivas (áreas elevadas) e negativas (áreas deprimidas). Em geral, as feições positivas correspondem a cristas alinhadas e as feições negativas são falhas e fraturas onde as drenagens encaixam seus leitos e os escavam, formando vales bem encaixados.

As maiores densidades de lineamentos ocorrem

(i) na faixa a nordeste, na hidrográfica do rio Negro (afluente do rio Paraná/Iguaçu); (ii) ao longo das Escarpas da Serra Geral (interior da bacia do rio Paraná (Iguaçu) e divisor Uruguai/Itajaí), da Serra do Espigão e Serra do Repartimento (divisor Paraná/Uruguai) e Serra do Rancho Grande (divisor Paraná/Itajaí-Açu); (iii) a Sudoeste da área, na bacia do rio das Marombas e; (iv) em pontos mais elevados – elevações residuais – na depressão do rio Itajaí-Açu (Figura 7).

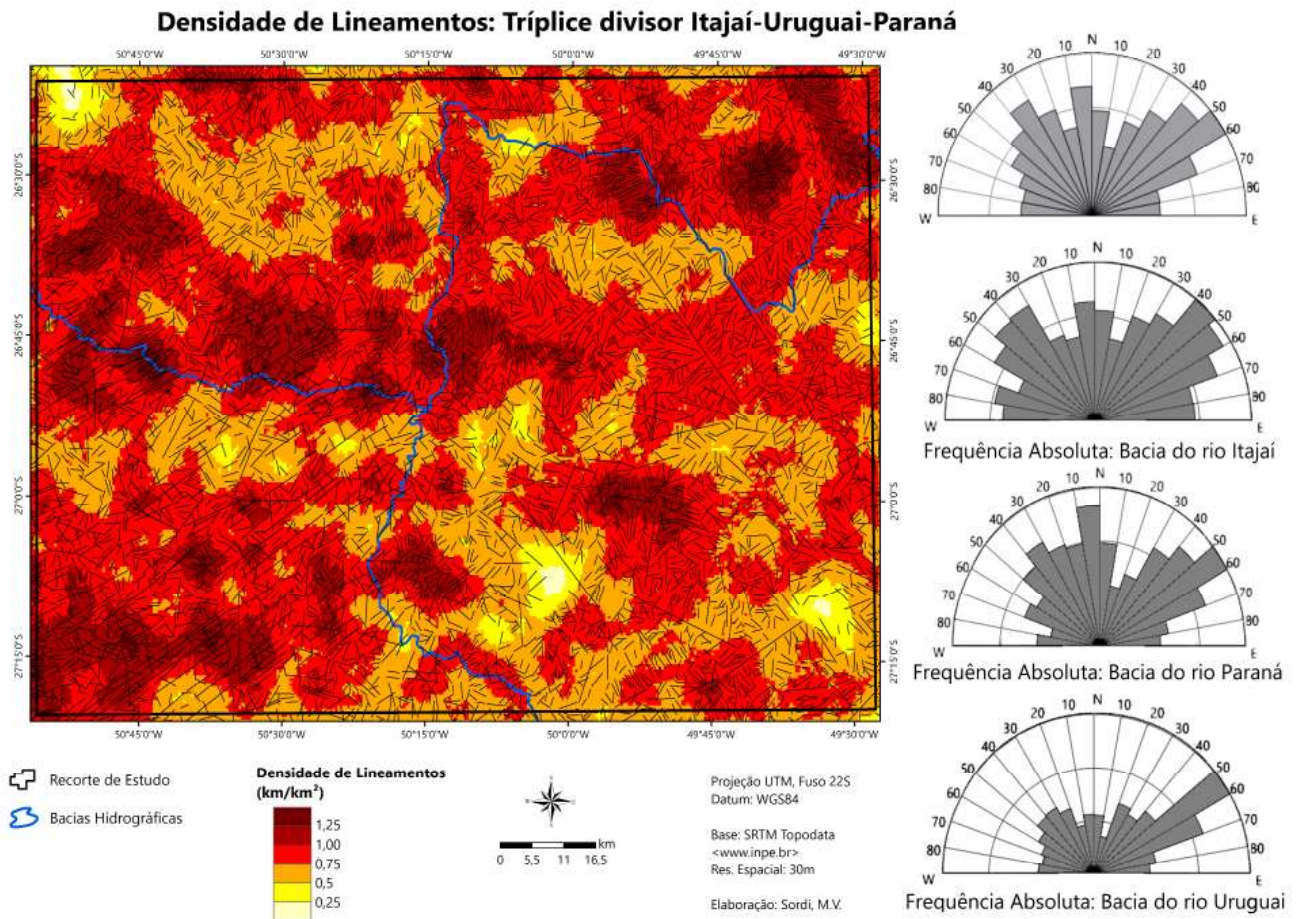


Figura 7 - Lineamentos estruturais obtidos a partir de dados de radar SRTM. À direita são apresentadas as rosetas com as direções de acordo com a unidade hidrográfica pertencente

Na área da bacia hidrográfica do rio Itajaí-Açu os lineamentos aparecem em maior quantidade, porém não há uma direção preferencial desses segmentos. Os mesmos ocorrem nas direções NW-SE e NE-SW, com destaque para 40-60 NE e 50-30 NW, principalmente. As direções N-S e E-W tem menor representatividade (Figura 7). Nos afluentes do rio Paraná (Iguaçu) a direção NE-SW – 50-60° e 40-30° - é a predominante, porém os alinhamentos N-S (0-10° NW) são muito

representativos. Na bacia hidrográfica do rio Uruguai, os lineamentos apresentam maior comprimento absoluto, formando longos alinhamentos, que formam faixas bem delineadas. Os feixes de direção NE-SW, principalmente entre 50-60°, são claramente predominantes (Figura 7). É importante também ressaltar a variação litológica nas bacias hidrográficas que ajuda a explicar a diferenciação no comportamento estrutural: (i) na bacia do rio Uruguai, ocorrem rochas

vulcânicas da Serra Geral, com variação de membros ácidos/básicos; (ii) na bacia do rio Paraná (Iguaçu) ocorrem rochas sedimentares paleozoicas à leste da Serra Geral e rochas vulcânicas a oeste; (iii) na bacia do rio Itajaí-Açu o embasamento corresponde a rochas sedimentares paleozoicas, em geral mais friáveis que o substrato vulcânico que ocorre à oeste da Escarpa da Serra Geral.

Para complementar estes resultados, a análise da

direção dos canais mais jovens (de primeira e segunda ordem, de acordo com a classificação de Strahler) aponta os controles estruturais recentes. Os canais de primeira ordem demonstraram controle estrutural, onde se distinguem as direções W-E (80-90°) e N-S (10-0°) como principais. Quanto aos canais de segunda ordem, inúmeras direções são representativas, com destaque para a direção NE (predomínio 40-50°) e também 50-40°NW no rio Uruguai (Figura 8).

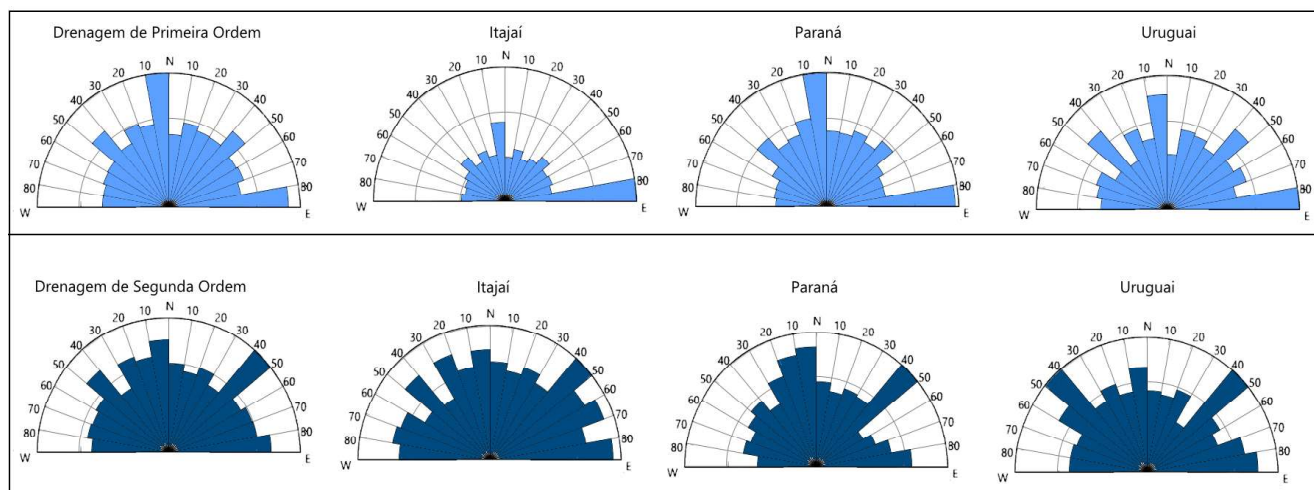


Figura 8 - Direções das drenagens de primeira e segunda ordem na área de estudo, de acordo com a bacia hidrográfica

A análise das drenagens de primeira ordem foi setorizada por bacias hidrográficas. Na bacia do rio Itajaí-Açu, a direção principal é W-E, sendo esta a única direção representativa. Na bacia do rio Paraná (Iguaçu), duas direções aparecem como principais: N-S e W-E. Na bacia do rio Uruguai as direções N-S, E-W, NW-SE e NE-SW são as mais importantes, nesta ordem sequencial (Figura 8).

Como previamente citado, nas bacias de segunda ordem não foi possível verificar uma direção predominante, principalmente no rio Itajaí. Na bacia do Paraná (Iguaçu) os segmentos NE-SW e N-S parecem ser os mais importantes, enquanto na bacia do Uruguai as direções NE-SW e NW-SE são as preferenciais (Figura 8).

Além de variações nos controles estruturais, ocorrem importantes variações em relação aos níveis de base regionais. As bacias oceânicas são controladas pelo rio Itajaí-Açu que tem o nível de base mais baixo, próximo ao nível do Mar. Já os cursos d'água afluentes do rio Iguaçu tem nesta drenagem seu nível de base,

enquanto o rio Uruguai representa o nível de base para seus afluentes. Para esses dois últimos, o nível de base é muito mais elevado do que é para o rio Itajaí-Açu.

## Discussões

Os resultados do Fator de Assimetria da Bacia Hidrográfica e Fator de Simetria Topográfica Transversal podem ser vistos como sendo produto de dois processos: (i) a migração de canal propriamente dita, devido aos mais diversos processos, incluindo a tectônica e, (ii) em áreas de processos de reorganização fluvial por capturas, como no recorte do estudo (De Sordi *et al.*, no prelo) podem estar associadas à perda de áreas para outro canal. No Planalto Catarinense, parece que os dois processos ocorrem, com maior influência de processos tectônicos na bacia do rio Paraná (Iguaçu), e a perda de área por avanço remontante dos canais costeiros na área do tríplice divisor. A erosão remontante é um processo complexo influenciado pelas características estruturais da área, como será detalhado a seguir.

A elevada densidade de anomalias RDE (ou *knickpoints*, como tratado no presente artigo) possui significado geomorfológico importante, ao indicar processos de retomada erosiva e aumento na intensidade de dissecação do relevo. As áreas de maior concentração de *knickpoints* (Figura 6) estão associadas à Escarpa da Serra Geral e aos afluentes do rio Itajaí-Açu que estão capturando canais das bacias continentais (DE SORDI *et al.*, no prelo). É importante relembrar que o índice RDE dificilmente registra valores elevados próximos a cabeceira dos cursos d'água, então as áreas de anomalias estão associadas ao sopé da escarpa ou a área da depressão do rio Itajaí, e não diretamente aos cotovelos de captura.

A partir da comparação entre os mapas de densidade de *knickpoints* (Figura 6) e o mapa de concentração de lineamentos (Figura 7) pode-se afirmar que os *knickpoints* estão, em sua maioria, associados a zonas de concentração de falhas e fraturas. Esse fato também foi observado por Lima e Binda (2013) no Terceiro Planalto Paraense, embasado por rochas vulcânicas da Formação Serra Geral.

A direção dos lineamentos mapeados neste estudo coincide com a direção dos grandes alinhamentos mapeados por Scheibe e Furtado, (1989) em Santa Catarina: 1) Alinhamento Ponte Alta (N-S); 2) Rio do Sul (NE-SW); 3) Rio Canoas (NW-SE); 4) Serra Geral (NE-SW); 5) Rio Hercílio (NW-SE); 6) Corupá (NE-SW); 7) Porto União (NW-SE) (Figura 2). Os grandes lineamentos estão associados à escarpa da Serra Geral: O alinhamento Porto União (7), no segmento norte – na bacia hidrográfica do rio Iguaçu (Paraná) e a sul o Lineamento Ponte Alta (1), no limite entre a bacia do rio Itajaí-Açu e Uruguai. A sul da área de estudo, a Escarpa da Serra Geral continua sendo controlada por falhas, como a Falha da Serra Geral e do rio Canoas (3). O lineamento Rio Hercílio (5) acompanha o eixo onde se encontra o atual curso do Itajaí do Norte, enquanto o lineamento Corupá (6) se associa ao rio Itajaí do Sul. Essas duas áreas – do Itajaí do Sul e do Itajaí do Norte – também são as áreas que concentram feições associadas à reorganização fluvial (De Sordi *et al.*, no prelo), o que reforça a ideia da influência estrutural nesse processo.

As direções principais de alinhamentos nas unidades hidrográficas NW-SE e NE-SW para o rio Itajaí-Açu N-S e NE-SW para o rio Paraná (Iguaçu) e NE-SW no rio Uruguai revelam que as estruturas que controlam o processo erosivo nessa área são muito antigas. Segundo

Soares *et al.*, (1982) e Zalán *et al.* (1990) os lineamentos NE-SW e NW-SE têm sua origem relacionada ao Brasileiro e à gênese da Bacia Sedimentar do Paraná (750-650 Ma), porém sofreram reativações, mais pronunciadas após a separação América do Sul – África. Segundo Freitas *et al.*, (2006) as estruturas N-S são neofornadas, e sua origem relacionada à flexura crustal da Placa Sul-americana (150 Ma).

As áreas onde ocorre maior concentração de capturas de drenagem (De Sordi *et al.*, no prelo), correspondem aquelas áreas onde há maior densidade de lineamentos estruturais e *knickpoints*. A direção dos canais de primeira ordem mais comum em todas as bacias hidrográficas, e, especialmente na bacia hidrográfica do rio Itajaí-Açu, é E-W. Esta direção é correlata a direção predominante de avanço da frente de captura e de recuo da escarpa da Serra Geral. Assim, estes dados sugerem que o mecanismo principal de evolução na área do tríplice divisor é o recuo paralelo da escarpa através de capturas fluviais. Estas capturas fluviais por sua vez se aproveitam de lineamentos estruturais e são controladas por *knickpoints*.

Outra direção importante das drenagens de primeira ordem N-S, como supracitado, teria, segundo Freitas *et al.*, (2006), relação direta com os eventos que originaram as estruturas E-W. Assim, no presente estudo, a direção dos cursos d'água confirmam a influência dessas estruturas mais recentes para a evolução da rede hidrográfica.

Controles estruturais também atuam no Planalto Basáltico, drenado pelos afluentes do rio Paraná (Iguaçu) ao norte e do rio Uruguai, ao sul. Entretanto, devido à resistência do material e a menor amplitude altimétrica/declividade, nessa área os processos de avanço remontante dos canais são mais lentos, e os *knickpoints* parecem recuar a taxas mais lentas que nas áreas de contato com a bacia hidrográfica do rio Itajaí-Açu. Em outras palavras, a evolução de longo termo dessas áreas se processa a taxas mais lentas que na área da Escarpa da Serra Geral.

A área de maior intensidade do processo erosivo na bacia hidrográfica do rio Uruguai – o vale dos rios dos Patos e Correntes, que em sua confluência formam o rio das Marombas – coincide com a área de maior concentração de lineamentos. Da mesma forma, à nordeste, na bacia do rio Paraná (Iguaçu), as áreas mais disseçadas – próximo ao vale do rio Negro – são as

que possuem as maiores densidades de lineamentos. A noroeste, as áreas de maior dissecação coincidem com alta densidade de lineamentos, onde são muito comuns morros testemunhos.

Hasui (1990) define que a neotectônica atuante na Plataforma Sul-americana é cenozoica, e, a partir do Neógeno, apresenta eixos de máxima tensão com direções gerais E-W a NNW-SSE. Freitas *et al.*, (2006) relaciona lineamentos – na bacia do rio Paraná (Iguaçu) – de direção próximo a E-W, à rotação associada à Placa Sul-americana durante a abertura do Oceano Atlântico (Assumpção, 1992; Riccomini e Assumpção, 1999), ou ainda a um terceiro episódio tectônico. Essas afirmações são reforçadas pelo estudo de Jacques *et al.*, (2014) que contempla a extremidade sul da área de estudo, na região de Lages (SC). Estes autores encontram evidências de movimentos tectônicos nas direções N-S e E-W. Jacques *et al.*, (2014) atribuem os movimentos E-W a expansão do Oceano Atlântico Sul e os movimentos N-S a compressão entre a Placa Sul Americana e de Nazca. Essas ideias encontram apoio em Assumpção (1992) que mostrou que os eventos sísmicos na região sub-andina tem compressão máxima próximo a E-W.

Tendo por base a estrutura regional e considerando que a área de estudo é diretamente afetada pelos processos responsáveis pelo rompimento da Serra do Mar e a integração das drenagens interiores (afluentes do rio Itajaí-Açu) ao nível de base oceânico (De Sordi *et al.*, no prelo), é possível atestar que a partir desse rompimento os processos fluviais se tornaram mais agressivos. Ao se tornarem mais agressivos e seguirem linhas de fraqueza do embasamento – lineamentos, que são falhas e fraturas – ocorreram processos ascendentes de reorganização fluvial por captura, responsável pela extensão da bacia do rio Itajaí-Açu para Oeste.

Concomitante ao avanço remontante dos cursos d'água também ocorrem processos de movimento de massa que contribuem para o recuo da escarpa, como estudado por Potter *et al.*, (2013). A partir da instalação da drenagem na escarpa aumenta a susceptibilidade da encosta à esses processos de movimento de massa (escorregamentos, quedas de blocos e corridas de massa).

Assim, o processo erosivo comandado pelo avanço remontante dos canais de primeira ordem mostra alinhamento com o processo tectônico mais recente, reforçando a ideia da influência da tectônica e da estrutura sobre a evolução de longo termo na área do Planalto

Catarinense. Em suma, a evolução de longo-termo das áreas da Serra do Repartimento e Serra do Espigão, mas principalmente da Serra Geral é influenciada diretamente pelas estruturas tectônicas cenozoicas. Desta forma, parece ser difícil conciliar a proposta de uma morfogênese puramente erosiva, baseada apenas na erosão diferencial para estas escarpas.

## Considerações Finais

Os dados de migração de canais, *knickpoints*, lineamentos e de drenagens de primeira e segunda ordem demonstram que há um controle estrutural no processo erosivo no Planalto Catarinense. O controle estrutural atua de modo diferenciado em cada uma das três bacias hidrográficas, com diferentes características, densidades e direções. A morfoestrutura influencia claramente nos processos denudacionais, inclusive nos processos relativos a reorganização fluvial. E essa reorganização fluvial leva a um rearranjo de toda a morfologia, que resulta em intensos processos erosivos nas áreas limítrofes das unidades hidrográficas.

Essa influência morfoestrutural é confirmada no presente artigo pelos dados de lineamentos e principalmente pelas drenagens de primeira ordem. A direção das drenagens de primeira ordem no rio Itajaí-Açu (E-W) é coincidente com a direção de rotação da Placa Sul-Americana, bem como com a direção dos movimentos tectônicos mais recentes reconhecidos em território nacional, de direção relacionada à abertura do Oceano Atlântico Sul.

A dinâmica evolutiva do Planalto Catarinense, onde ocorre o tríptico divisor Itajaí-Açu/Paraná/Uruguaí, é resultado do estabelecimento da configuração atual do rio Itajaí, com seu nível de base passando a se configurar como o Oceano Atlântico. A partir desse momento, a evolução da paisagem resulta da interação entre (i) erosão diferencial; (ii) estrutura (falhas e fraturas); (iii) processos hidrográficos, que dependem diretamente de níveis de base locais e regionais e da estrutura (falhas e fraturas).

## Agradecimentos

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), em especial ao Programa CAPES/COFECUB (869/15), pelo apoio financeiro. Agradecem também aos parece-

ristas por suas observações oportunas que ajudaram a enriquecer o conteúdo da presente publicação. Por fim, agradecemos ao apoio do Projeto de Pesquisa CNPq Universal 441501/2014-1.

## Referências Bibliográficas

- ASSUMPCÃO, M. The regional intraplate stress field in South America. **Journal of Geophysical Research**, v. 97, n. B8, p. 11889 – 11903, 1992.
- BISHOP, P.; HOEY, T.B.; JANSEN, J.D.; ARTZA, I.L. Knickpoint recession rates and catchment area: the case of uplifted rivers in Eastern Scotland. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 30, p. 767–778, 2005.
- BISHOP, P. Long-term landscape evolution: Linking tectonics and surface processes. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 32, p. 329–365, 2007.
- COX, R. T. Analysis of Drainage-basin symmetry as a rapid technique to identify areas of possible Quaternary tilt-block tectonics: An example from the Mississippi Embayment. **Geological Society of American Bulletin, University of Columbia**, v. 106, Missouri, 1994, p 571-581.
- CROSBY B.T.; WHIPPLE, K.X. Knickpoint initiation and distribution within fluvial networks: 236 waterfalls in the Waipaoa River, North Island, New Zealand. **Geomorphology**, v. 82, p. 16–38, 2006.
- DE SORDI, M.V.; SALGADO, A.A.R.; PAISANI, J.C. Evolução do relevo em áreas de tríplice divisor de águas regional - o caso do Planalto de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, (no prelo), 2015.
- FORTES, E.; CAVALINI, A.; VOLKMER, S.; MANIERI, D. D.; SANTOS, F. R. Controles Morfoestruturais da Compartimentação da Serra Geral: Uma Abordagem Preliminar. **Terr@Plural, Ponta Grossa**, v.2, n. 2, p. 279-292, 2008.
- FREITAS, R. C. **Análise estrutural multitemática do Sistema Petrolífero Irati-Rio Bonito, Bacia do Paraná**. Curitiba, 2005. 116 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) -Universidade Federal do Paraná.
- FREITAS, R.C.; ROSTIROLLA, S.P.; FERREIRA, F.J.F. Geoprocessamento multitemático e análise estrutural no Sistema Petrolífero Irati - Rio Bonito, Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 1, p. 71-93, nov. 2005/maio 2006.
- HARE, P. W; GARDNER, I. W. Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins. *In*: Annual Binghamton Geomorphology Symposium, **Anais**. Boston, 1985.
- HASUI, Y. Neotectônica e aspectos fundamentais da tectônica ressurgente no Brasil. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia/Núcleo Minas Gerais, Boletim, n. 11, p. 71-93 (**Anais do Workshop sobre Tectônica e Sedimentação Cenozóica Continental no Sudeste Brasileiro**, Belo Horizonte), 1990.
- JACQUES, P.D.; SALVADOR, E.D.; MACHADO, R.; GROHMANN, C.H.; NUMMER, A.R. Application of morphometry in neotectonic studies at the eastern edge of the Paraná Basin, Santa Catarina State, Brazil. **Geomorphology**, v. 213, p. 13-23, 2014.
- LEITE, P.E. As diferentes unidades fitoecológicas da região sul do Brasil - proposta de classificação. **Caderno de Geociências IBGE:RJ**, n.15, p.73-164, 1994.
- LIMA, A. G. Erosão fluvial sobre rochas vulcânicas: algumas inferências a partir de segmentos côncavos de perfis longitudinais. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 42, p. 34-41, 2012.
- LIMA, A. G.; BINDA, A.L. Lithologic and structural controls on fluvial knickzones in basalts of the Paraná Basin, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 48, p. 262-270, 2013.
- MINEROPAR: Minerais do Paraná S/A. **Mapa geológico do Estado do Paraná, escala 1:1.000.000 (meio digital)**. Curitiba, 2001.
- NIMER, E. Clima. *In*: IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) (Ed.), **Geografia do Brasil/Região Sul**, IBGE, v. 2, p.151-187,1990.
- PAISANI, J. C.; PONTELLI, M.E.; GEREMIA, F. Cabeceiras de drenagem da Bacia do Rio Quatorze - Formação Serra Geral (SW do Paraná): distribuição espacial, propriedades morfológicas e controle estrutural. **Ra'e ga (UFPR)**, v. 12, p. 211-219, 2006.
- PELUSO JR., V.A. O Relevo do Território Catarinense. **Revista Geosul**, n.2, v. 1, p. 7-69, 1986.
- PONTELLI, M.E.; PAISANI, J. C. Controle de fraturas na organização da drenagem da bacia do rio Quatorze - sudoeste do Paraná. **Perspectiva Geográfica (Impresso)**, v. 4, p. 129-138, 2008.
- POTTER, P.E.; VERDUM, R.; HOLZ, M.; MARTINS, D.B.; LISBOA, N. Três Forquilhas Valley in Southern Brazil - evidence for the uplift of the volcanic plateau. **Pesquisas em Geociências**, v. 40, n. 3, p. 189-208, 2013.
- QUEIROZ, G.L.; SALAMUNI, E.; NASCIMENTO, E.R. Knickpoint finder: A software tool that improves neotectonic

- analysis. **Computers & Geosciences**, v. 76, p. 80-87, 2014.
- RICCOMINI, C.; ASSUMPÇÃO, M. Quaternary tectonics in Brazil. **Episodes**, v. 22, n. 3, p. 221–225, 1999.
- SALGADO, A. A. R.; MARENT B. R.; CHEREM L. F.; BOURLÉS, D.; SANTOS, L. J. C.; BRAUCHER, R.; BARRETOS, H. N. Denudation and retreat of the Serra do Mar escarpment in southern Brazil derived from in situ-produced <sup>10</sup>Be concentration in river sediment. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 39, n. 3, p. 311-319, 2013.
- SCHEIBE, L. F. Geologia de Santa Catarina. **Revista Geosul**, n.1, v.1, p. 7 – 38, 1986.
- SCHEIBE, L. F.; FURTADO, S.M.A. Proposta de alinhamentos Estruturais pra um Esboço Geotectônico de Santa Catarina. **Revista Geosul**, n.8, v.4, p. 78 – 91, 1989.
- SEEBER, L.; GORNITZ, V. River profiles along the Himalayan arc as indicators of active tectonics. **Tectonophysics**, v. 92, p. 335-467, 1983.
- SOARES, P.C.; LUZ, M. E. R.; REDAELLI, R.; GUERRA, S. M. S. Análise morfoestrutural em fotos aéreas: aplicação na prospecção de hidrocarbonetos na Bacia do Paraná. *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Brasília, Anais...* Brasília, DF: CNPQ, v. 1, p.157-168, 1982.
- SUMMERFIELD, M. A. **Global Geomorphology**. John Wiley and Sons, New York, 1991, 537p.
- 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, 2005, Goiânia. Anais, 2005*, p. 3595-3602
- YOUNG, R.W.; MCDUGALL, I. Long-term landscape evolution: Early Miocene and modern rivers in southern New South Wales, Australia. **Journal of Geology**, v. 101, p. 35–49, 1993.
- ZALÁN, S.; WOLFF, M.A.M.; ASTOLFI, I.S.; VIEIRA, J.C.J.; CONCEIÇÃO, V.T.; APPI, E.V.S.; NETO, J.R.; CERQUEIRA, A. M. The Paraná Basin, Brazil, **AAPG Memoir**, v. 51 p. 681–708, 1990