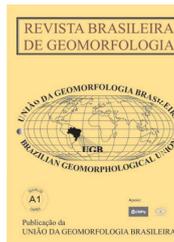


www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 18, nº 4 (2017)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v18i4.1189>



CONTROLE LITOESTRUTURAL NO DESENVOLVIMENTO DE VALES NA ÁREA DO REBORDO DA BACIA DO PARANÁ NO ESTADO DE SANTA CATARINA, SUL DO BRASIL

LITHO-STRUCTURAL CONTROL ON VALLEY DEVELOPMENT IN THE PARANÁ BASIN EDGE, SANTA CATARINA STATE, SOUTHERN BRAZIL

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: geosalgado@yahoo.com.br*

Julio Cesar Paisani

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

Dayane Pagotto

*Departamento de Geografia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Rua Maringá 1.200, Francisco Beltrão, Paraná. CEP 85.605.010. Brasil
Email: dayanne_pagotto@hotmail.com*

Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):
30/11/2016
Aceito (Accepted):
17/06/2017

Palavras-chave:

Evolução geomorfológica de Vales; Rebordo da Bacia do Paraná; Controle Estrutural; Planalto Catarinense.

Keywords:

Geomorphological valley evolution; Paraná Basin Edge; Structural control; Catarinense Plateau.

Resumo:

Este artigo investiga a evolução de vales em zona morfoclimática subtropical úmida, no rebordo da Bacia do Paraná, no estado de Santa Catarina por meio de: i) descrições e observações de campo a respeito da morfologia dos vales; ii) medição da direção de fraturas em afloramentos e iii) levantamento de informações sobre extensão, orientação, elevação média dos vales em produtos de sensoriamento remoto (imagens Landsat e dados SRTM). Os resultados obtidos indicam que, na área do rebordo da Bacia do Paraná em Santa Catarina, a dissecação é comandada pela rede de drenagem a partir dos afluentes dos rios: i) Canoas e Peixe (afluentes do rio Uruguai), a sudoeste e ii) Itajaí-Açú, a leste. A rede de drenagem se caracteriza por exibir dois tipos de vales frequentemente: i) vales em 'V' profundos, sem planície de inundação, onde geralmente os rios correm diretamente sobre as rochas e; ii) vales de fundo chato, planos e com amplas áreas inundáveis (vales muito abertos). Na área estudada a morfologia dos vales é resultado das características estruturais das rochas, principalmente

atitude/fraturamento e falhamentos. Sendo assim, o presente trabalho demonstra ser importante considerar a lito-estrutura como fator controlador da morfologia de vales para melhor compreender a morfogênese e morfodinâmica das áreas de rebordo de bacia sedimentar, sobretudo sob clima subtropical úmido.

Abstract:

This paper investigates valley evolution in a subtropical humid morphoclimatic zone, in the edge of Paraná Basin, Santa Catarina state through: i) descriptions and field observations of valley morphologies; ii) measurements of fractures direction in outcrops and iii) information survey about valleys in remote sensing products (Landsat imagery and SRTM data). The obtained results indicate that in the edge of Paraná Basin in Santa Catarina relief striping is captained by drainage network from tributaries of: Canoas and Peixe (Uruguay river tributaries) in southwest and Itajaí-Açu, eastwards. Drainage network is characterized by showing two shapes of valleys more frequently: i) 'V' shaped profound valleys, without floodplains, where generally river runs over bedrocks and ii) wide-open valleys, with flat bottoms, and great floodplains. In the studied area valley morphology results from structural characteristics of rocks, mainly attitude/fracturing and faults. Therefore, the present study shows the importance of considering lithostructure as a controlling factor of valley morphology for better understanding morphogenesis and morphodynamics of sedimentary basins edge areas, especially under humid subtropical climate.

Introdução

Desde Gilbert (1877) e Davis (1899) a erosão fluvial é considerada como o principal agente modificador da paisagem. Para estes autores o sistema hidrográfico é o responsável fundamental pela esculturação do modelado e tende a ser muito ativo até que este entre em equilíbrio com o seu nível de base, fato que sinalizaria a maturidade de uma paisagem. Este processo desenvolve, segundo Hamblin e Howard (1971), quatro tipos de vales de acordo com a forma do seu perfil transversal: (i) vale em 'V'; (ii) vale em 'VU'; (iii) vale em 'UV' e; (iv) vales em 'U'. Durante o último século, no entanto, outros autores propuseram a existência de outros fatores que contribuem na evolução dos vales que não os puramente fluviais como, por exemplo, os fatores climáticos, paleoclimáticos, morfoestruturais e tectônicos. Especialmente no Brasil a influência paleoclimática foi considerada como primordial, levando em conta a teoria de pediplanação de King (1956). Tal teoria se desenvolveu especialmente no Sul/Sudeste com os estudos de Ab'Saber e Bigarella (Ab'Saber, 1959; 1965; 1969; Bigarella *et al.* (1961; 1965); Bigarella e Andrade (1965); Bigarella e Mousinho, (1965); Barbosa e Rodrigues (1965; 1967); Barbosa (1980)).

Na Região Sul do Brasil, Maack (1947) ressalta a importância da erosão diferencial, da morfoestrutura e da tectônica no processo de desenvolvimento dos vales localizados nos estados do Paraná e Santa Catarina. Já Leinz (1949) ressaltou a diferenciação da paisagem em

terrenos modelados sobre rochas vulcânicas, o qual se caracteriza pela existência das zonas lito-estruturais: nível amigdaloidal, vítreo, de fraturamento vertical e horizontal as quais seriam responsáveis pelo estabelecimento de níveis em escadaria que marcam a paisagem regional.

Logo, a forma dos vales resulta da associação entre fatores climáticos e a influência da morfoestrutura. Além disso, há de se ressaltar o papel do nível de base que controla não só a expansão e (re)organização da rede de drenagem, mas também a evolução das encostas (GILBERT, 1877; DAVIS, 1899; PENCK, 1953). Independentemente do clima predominante, as encostas se adaptam ao controle erosivo comandado pelo nível de base e a sua morfologia é resultado dessa dinâmica. Nesse contexto, o desenvolvimento de encostas convexas ocorre quando há taxas de erosão mais intensas nos fundos de vales do que em suas partes mais elevadas, pois a acelerada incisão fluvial cria uma situação de desajuste entre encostas e vales (PENCK, 1953). Por outro lado, taxas erosivas mais intensas nas partes superiores dos vales do que em seu fundo, indicam uma baixa taxa de incisão do mesmo e uma tendência a suavização as vertentes e o surgimento de formas côncavas e suavizadas.

Na área da Serra Geral Catarinense encostas convexas ocorrem tanto no rebordo, onde afloram rochas mantidas pelos derrames vulcânicos, quanto na depressão do rio Itajaí-Açu, mantida pelas rochas sedimentares. Isso se observa nos vales confinados de baixa ordem hierárquica, que estão em desequilíbrio, os quais ao promoverem

o aprofundamento do talvegue conduzem o sistema em direção a um novo estado de equilíbrio que envolve a adaptação da forma das encostas. Verifica-se também um importante componente tectônico que intensifica a ação do mecanismo de recuo de escarpamento, típico de áreas de rebordo de bacias sedimentares, nesse caso da Bacia Sedimentar do Paraná (ALMEIDA, 1956; VOLKMER, 1999; PAIVA FILHO, 2000). Desta forma, em primeira análise, as componentes mais importantes no controle evolutivo dos vales são: 1) lito-estrutura; 2) nível de base (decorrente da tectônica) e 3) tectônica.

No entanto, apesar dessa ampla ocorrência, a gênese das mesmas nunca foi objeto de estudo mais aprofundado. As publicações na área da ciência geomorfológica tem mostrado sucessivamente a importância de fatores litológicos, climáticos e tectônicos no controle da evolução e morfologia dos vales. Por outro lado, poucos estudos se voltaram para a importância das fraturas no condiciona-

mento da morfologia de vales. Assim a presente pesquisa busca estudar a importância dos sistemas estruturais para o estabelecimento da morfologia dos canais e das vertentes na região do rebordo da Serra Geral no estado de Santa Catarina.

Caracterização da Área de Estudo

No estado de Santa Catarina ocorrem duas províncias tectônicas principais: província Mantiqueira e Província Paraná (ALMEIDA *et al.*, 1981). A província Mantiqueira se situa a leste, composta essencialmente por rochas metamórficas do Escudo Atlântico. A oeste, as rochas sedimentares e vulcânicas da bacia sedimentar compõe a Província Paraná. A área de estudo corresponde a Serra Geral Catarinense e seu entorno, e se insere na borda leste da Bacia Sedimentar do Paraná (BSP) (Figura 1A).

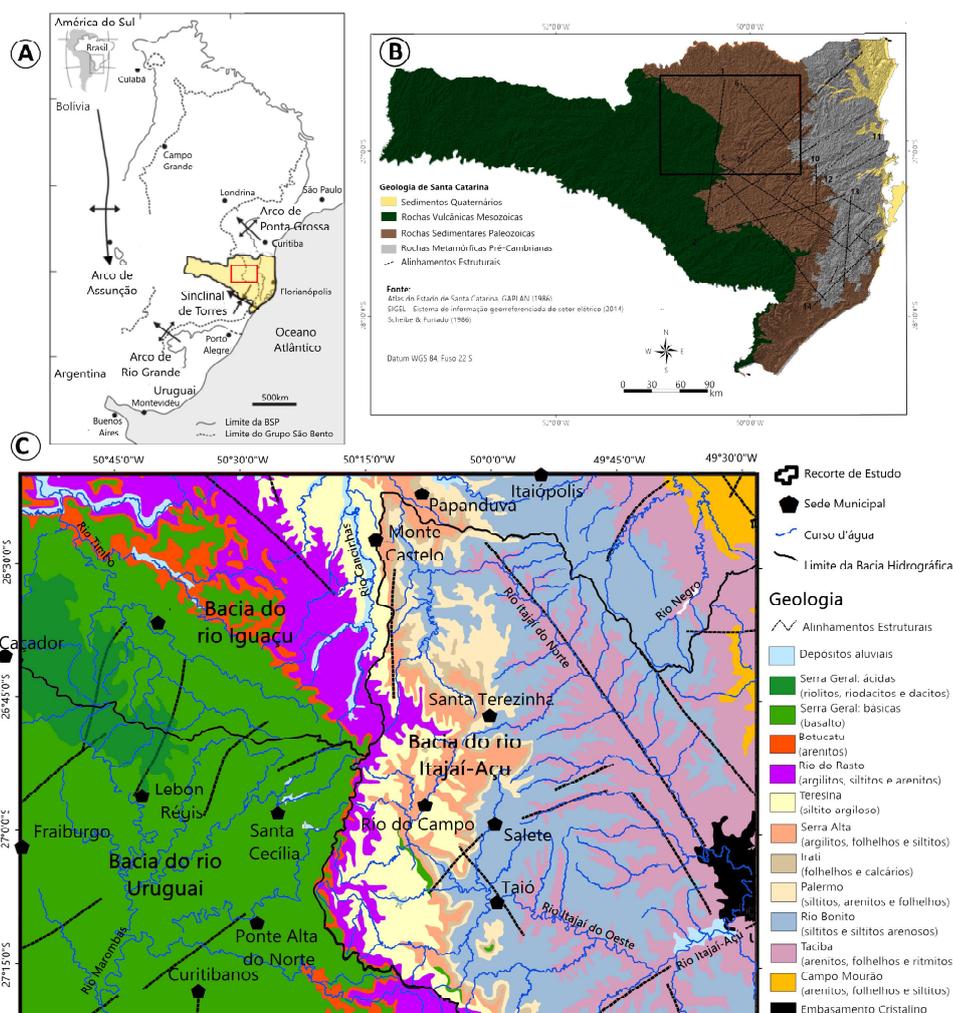


Figura 1 - A) Localização da área de estudo no contexto da Bacia Sedimentar do Paraná e suas principais estruturas. B) Mapa geológico do estado de Santa Catarina e C) mapa específico da área de estudo com a indicação das unidades levadas em consideração nesse estudo.

A Serra Geral Catarinense se encontra sob influência de duas importantes estruturas da BSP: o Arco de Ponta Grossa, a norte, e o Sinclinal de Torres, a sul (Figura 1A). Na área de estudo, alinhamentos estruturais com influência regional ocorrem com direções N-S, NW-SE e NE-SW (Figura 1B e 1C). Os alinhamentos NE-SW correspondem ao alinhamento rio Engano, Rio do Sul e Corupá, enquanto os alinhamentos rio Canoas, Serra Geral, rio Hercílio e Porto União tem direção NW-SE. Já o alinhamento Ponte Alta tem direção N-S (Figura 1B). Os alinhamentos Ponta Alta, Rio Canoas e Porto União acompanham o divisor hidrográfico entre as bacias hidrográficas costeiras e interiores. Para Soares *et al.*, (1982) e Zálan *et al.* (1990), os lineamentos NE e NW tem sua origem relacionada ao brasiliano e a gênese da Bacia Sedimentar do Paraná (~750-650 Ma) e sofreram reativações mais pronunciadas após a separação entre a Placa Sul-Americana e Africana. Os lineamentos E-W, assim como as estruturas N-S neoformadas, possuem associação com a abertura do oceano Atlântico Sul (~130 Ma) e com a flexura crustal da Placa Sul-americana (FREITAS *et al.*, 2006).

Nas áreas a oeste afloram rochas ácidas (dacitos e riolitos) da Formação Serra Geral (Sartori e Bortolotto, 1982) que estão associadas, próximo a região de Caçador/SC (Figura 1C), a uma morfologia plana e com altitudes acima dos 1.400m. A leste de Caçador/SC afloram os basaltos da Formação Serra Geral e, na área do reverso da Serra Geral, ocorrem os arenitos mesozoicos das formações Botucatu e Pirambóia. Já no front da escarpa, no limite das bacias hidrográficas do Uruguai com a do Itajaí-Açu (Figura 1), afloram, sotopostas as rochas mesozoica, as formações paleozoicas constituídas principalmente de argilitos, siltitos, lamitos, ritmitos e outras rochas com laminação horizontal (Scheibe, 1986). Tais rochas compõem os grupos Passa Dois (Formações Rio do Rasto, Teresina, Serra Alta e Irati), Guatá (Formações Palermo e Rio Bonito) e Itararé (Formações Rio do Sul, Mafra e Campo do Tenente) (SCHNEIDER *et al.*, 1974; SCHEIBE, 1986) (Figura 1C).

O relevo do estado de Santa Catarina é caracterizado pela existência de duas grandes unidades morfo-estruturais separadas entre si pela Serra do Mar e pela Serra Geral (Peluso-Júnior, 1986): (i) O Planalto, que consiste de um altiplano levemente inclinado para oeste, desde os planaltos da Serra do Mar ou Serra Geral,

desenvolvido em patamares com mergulho em direção ao nível de base regional representado pelos rios Iguaçu e Uruguai e (ii) uma área que se desenvolve a leste do planalto até o mar, denominados Região do Litoral e Encostas, onde as extensas planícies contrastam com as Serras e elevações residuais que ocorrem nesse local. A Região do Litoral e Encostas corresponde à área do Escudo Catarinense e parte da Bacia Sedimentar do Paraná, e a região do Planalto insere-se inteiramente na área da Bacia Sedimentar do Paraná.

Em termos de hidrografia, é possível definir três sistemas principais em Santa Catarina: bacias costeiras, bacia do Paraná e bacia do Uruguai. A área do Planalto pode ser dividida entre região nordeste (onde os canais drenam para o rio Iguaçu, afluente do Paraná, via rios Negro, Canoinhas e Timbó (Figura 1C) e a região sudeste e oeste (onde os rios drenam para o rio Uruguai através dos afluentes Canoas, Peixe e Marombas). À leste do planalto os canais desembocam diretamente no Oceano Atlântico após passarem entre as escarpas das Serras do Mar e Geral. O principal curso d'água costeiro é o rio Itajaí-Açu, que, na área em destaque (Figura 1C) têm como principais afluentes o rio Itajaí do Oeste e o rio Itajaí do Norte. O rio Itajaí-Açu é o único dentre os rios costeiros que rompe a Serra do Mar e drena áreas significativas dos terrenos localizados a oeste dessa serra, ou seja, no interior do Planalto Catarinense.

O clima do litoral de Santa Catarina é mesotérmico (Cfa) segundo a classificação climática de Köppen. Se caracteriza por precipitações bem distribuídas ao longo ano, embora, durante o verão, as mesmas sejam mais concentradas, com médias anuais acima dos 1.800mm, a exceção da área a sudeste, onde a média de precipitação anual não alcança os 1.500mm (PINTO *et al.*, 2011). Nessa região a média de temperatura do mês mais quente está acima dos 22°C. A exemplo da área do litoral, no Oeste Catarina as precipitações são bem distribuídas ao longo do ano com médias anuais entre 2.200 e 1.800mm anuais. Já nas regiões mais elevadas e serras (na região central e centro-leste de Santa Catarina), o Cfb é o clima predominante, com verões mais úmidos que os invernos, chuvas abundantes (entre 1600 e 1.400mm anuais) e bem distribuídas ao longo do ano. Nessas áreas, no mês mais quente, a temperatura média é inferior a 22°C (NIMER, 1990). Já no que se refere a vegetação, desde a década de 1960, o intenso desenvolvimento agrícola

e agropecuário modificou profundamente seu aspecto. Entretanto, as unidades fitogeográficas originais da área de estudo são: (i) Floresta Ombrófila Densa e (ii) Floresta Ombrófila Mista (LEITE, 1994).

Materiais e Métodos

O presente estudo tem como procedimentos básicos: (i) o mapeamento dos vales abertos com fundo chato e vales fechados em produtos de sensoriamento remoto; (ii) a obtenção da direção dos vales em sistemas de informações geográficas (SIG's); (iii) a identificação das formas de vales em trabalhos de campo; (iv) a análise e mensuração de direção de fraturas de rochas em cortes de estradas e pedreiras durante expedições de campo e (v) a complementação desses dados com pesquisas bibliográficas.

O mapeamento de vales com fundo chato se deu por meio da análise de dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) do TOPODATA, resolução espacial de 30 m, tratados pelo INPE banda C, obtidos do endereço eletrônico: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata>> (Valeriano, 2005), além de imagens LANDSAT reprojatadas, em alta resolução, da área de estudo, escala 1:10.000 obtidas a partir do site da Secretaria de Desenvolvimento de Santa Catarina (SDS-SC) <www.sigsc.sds.sc.gov.br>.

A direção principal dos vales (n= 384) foi mensurada a partir da rede hidrográfica gerada automaticamente no ambiente do *software* Quantum GIS® 2.8 a partir dos dados SRTM. Posteriormente, com base na direção dos vales, foram gerados diagramas de roseta (Christofolletti, 1981) e estereogramas no *software* StereoNet®.

Os trabalhos de campo se basearam em (a) observações em sessões de cortes de estrada, e em cursos d'água, (b) medição de direção de estruturas e (c) registro fotográfico. A partir do registro dos pontos através de GPS, as observações de campo foram confrontadas com dados de radar SRTM (Topodata, resolução espacial 30m) e imagens aéreas e infra-vermelho do SIGSC (escala 1:10.000). Em campo, para medição das fraturas (n = 285), os procedimentos metodológicos foram baseados em Davis e Reynolds (1996); Goldstein e Marshak (1988). A técnica consiste na delimitação de uma área amostral de diâmetro predefinido, dentro da qual são medidos os comprimentos e atitudes de todas as fraturas. No presente estudo optou-se por utilizar áreas retangulares, variando de 1 a 8 m², a exemplo de Lima

(2009) e obedecendo ao limite definido por Goldstein e Marshak (1988) de 10m. Esta técnica permite, além da obtenção das direções principais das fraturas, a obtenção de sua densidade. Para o cálculo da densidade de fraturas, dividiu-se o comprimento total de fraturas pela área amostrada.

Para complementar esses dados foram obtidas as direções das falhas localizadas na área de estudo. Essas falhas foram obtidas do mapeamento realizado pela CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil (n = 378) e estão disponíveis no site <www.cprm.gov.br>. Os diagramas de roseta e estereogramas das direções de falhas também foram gerados no StereoNet®.

Por fim, para atingir os objetivos propostos, houve a integração dos dados obtidos. Foram feitas comparações entre as medidas de direções dos vales (por geoprocessamento); de fraturas (medidas em campo), de falhas (previamente mapeadas pela CPRM) nas diferentes litologias aflorantes na área de estudo; com a forma dos vales fluviais.

Resultados

Os vales abertos de fundo chato ocorrem em toda a região de estudo. Na figura 2 são representados cinco exemplos: (A) vale aberto do rio Bonito e (B) Arroio da Chave, em vale confinado, ambos drenando rochas vulcânicas e afluentes do rio Correntes (bacia do rio Uruguai); (C) afluentes do rio do Rauem, ou do Corisco, confinados (bacia do rio Uruguai), em contraste com o vale principal, aberto, que drena rochas sedimentares; (D) rio dos Toldos, modelado sobre rochas sedimentares – afluente do rio Taió; (e) rio Taió, um importante curso d'água afluente do rio Itajaí do Oeste (Figura 2).

Apesar das diferenças marcantes, a forma geral dos vales, considerando-se a classificação de Hamblin e Howard (1971), se repete ao longo de toda a área de estudo: Vales abertos, em U (com fundo plano); e confinados, em V (vales fechados), se desenvolvem tanto sobre rochas vulcânicas (Figura 2A e B) quanto sedimentares (Figura 2C, D e E). Foram mapeados 384 trechos de vales abertos em toda a área estudada. Estes englobam desde canais próximos a áreas de cabeceiras até extensos vales acima de 5ª ordem hierárquica como os rios Canoas, Itajaí do Oeste e Itajaí-Açú.

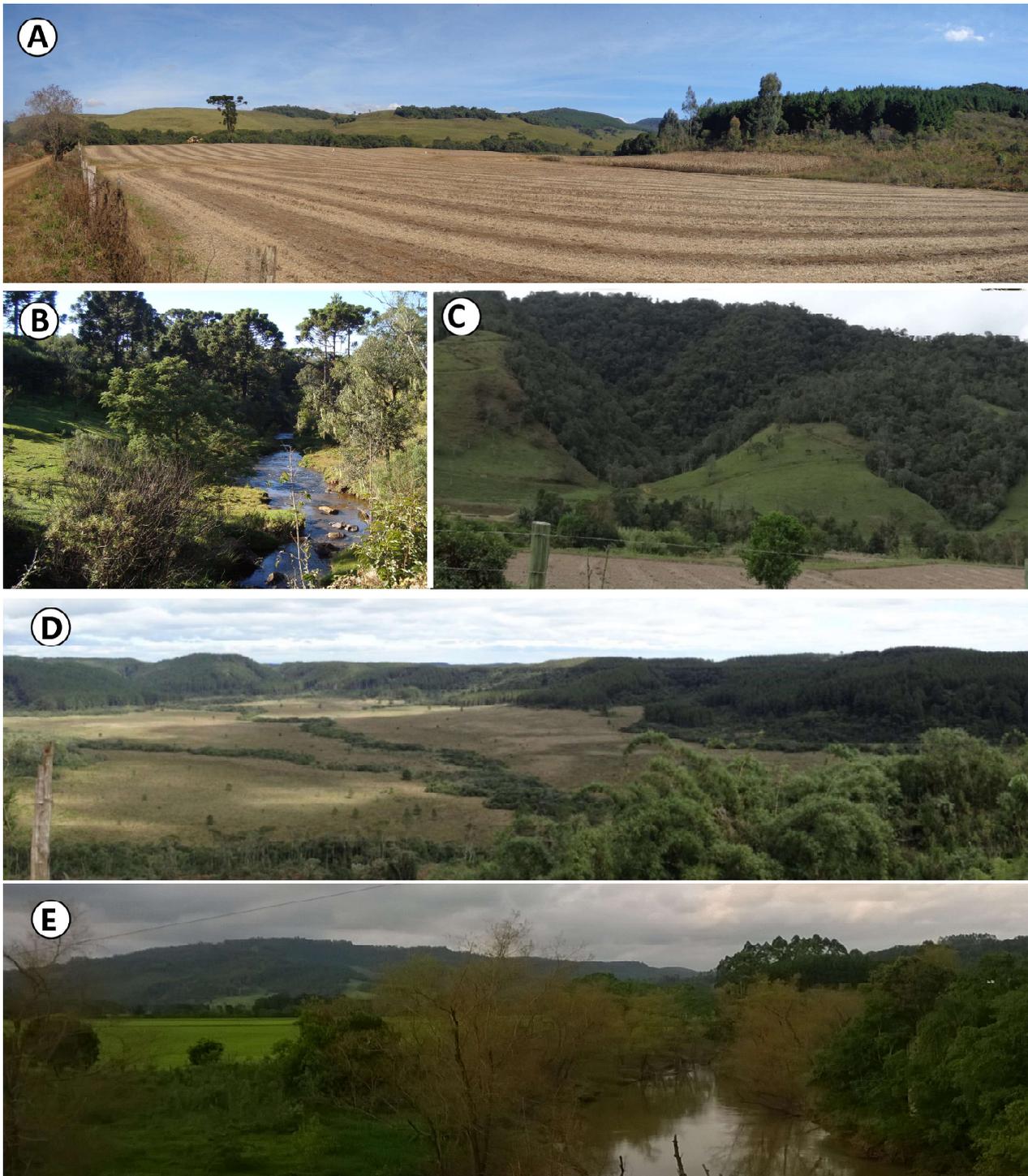


Figura 2 - Formas dos vales: A) vale aberto sob rochas vulcânicas, em rio de baixa ordem hierárquica; em B) vale confinado do arroio da Chave, sobre rochas vulcânicas; C) afluentes confinados de baixa ordem hierárquica do rio do Rauem contrastando com o vale principal de fundo chato modelado sobre rochas sedimentares; D) vale de fundo chato sobre rochas sedimentares do rio dos Toldos (rio de primeira ordem) E) vale aberto do rio Taió, em segmento de quinta ordem

Em um mesmo rio ocorrem trechos abertos e fechados no mesmo canal. A forma do vale tampouco obedece a controles hidrológicos: existem setores de vales abertos em áreas próximas a cabeceiras (Figura

2A e D), em canais de baixa ordem hierárquica e em rios de hierarquia fluvial mais elevada, de expressiva importância regional (Figura 2E). Da mesma forma, os vales confinados ocorrem tanto em canais de baixa

ordem hierárquica (Figura 2B) quanto em vales de maior ordem hierárquica (Figura 2A). Entretanto, existe uma tendência de que os cursos fluviais de maior ordem apresentem, proporcionalmente, maior ocorrência de segmentos com fundos abertos, já que estes tendem a apresentar maior equilíbrio com seu nível de base local. Os trechos de vales de 1ª ordem da área de estudo são, predominantemente, confinados (n=11.111 em relação aos vales abertos, n = 22) e essa proporção se mantém para trechos de 2ª ordem hierárquica (n = 2.253/63). Em trechos de canais de 3ª ordem hierárquica a proporção entre os trechos de vales abertos e confinados é menos discrepante (n = 400/90). Valores mais semelhantes são encontrados nos segmentos de vales de 4ª ordem, pois nessa ordem hierárquica são 118 trechos de vales confinados e 83 de vales abertos. Os segmentos de canais correspondentes a maior grandeza hierárquica, acima de 5ª ordem, são predominantemente abertos (n=42/55) (Figura 5). Mesmo assim, a forma dos vales não pode ser explicada unicamente pelo grau de hierarquia fluvial, o qual é um importante *proxy* do controle hidrológico.

Os vales confinados em bacias de 1ª ordem sobre rochas vulcânicas apresentam orientação predominante E-W (principalmente 80-90° NE) e N-S (com destaque para 0-10° NW) (Figura 3). Para segmentos de canais de 2ª ordem as direções principais são N-S (10° NE a 10° NW); NE-SW (40 – 50°) e NW-SE (40 – 50°) (Figura 3). Os vales em trechos de canais de 3ª ordem se orientam predominantemente a N-S (10° NE a 10° NW); NE-SW (40 – 50°) e NW-SE (40 – 50°) (Figura 5). De modo semelhante, os vales de 4ª ordem têm moda 40 – 60° NW e secundariamente 40 – 60° NE e E-W (80 – 90°) (Figura 3), enquanto para a 5ª ordem, a direção principal está entre 30 – 50° NW.

Sobre as rochas sedimentares, os vales confinados em bacias de 1ª ordem se orientam para E-W (principalmente 80-90° NE) e N-S (destaque para 0-10°NW) (Figura 3). Por outro lado, os vales em trechos de canais de 2ª ordem não exibem orientação predominante, mas existe uma fraca concentração entre 0 – 30° NW e 40 – 50°NE (Figura 3). Os segmentos de 3ª ordem têm modas 20 – 40° NE e 70 – 80° NW (Figura 3). A direção NE (20 – 40°) é a principal para os trechos de 4ª ordem. Os segmentos avaliados de 5ª ordem se orientam predominantemente para NW-SE (10 – 30°; 50 – 60° e 70 – 80°).

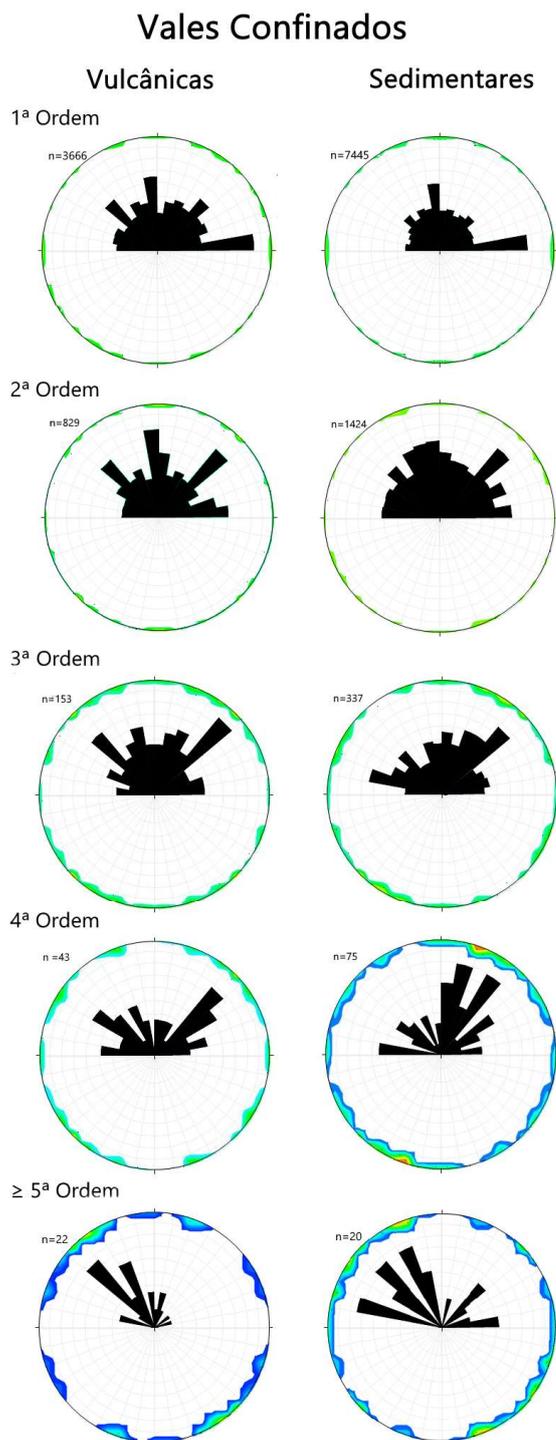


Figura 3 - Direção dos vales confinados de acordo com a hierarquia fluvial do segmento considerado

Já que uma variedade de litologias de origem sedimentar afloram na área de estudo, com características diferentes, foram construídos diagramas rosetas para todas as litologias estudadas (dos Grupos São Bento, Passa Dois, Guatá e Itararé) (Figura 4). Esses dados

revelaram que essas direções (N-S e E-W) se repetem (Figura 4) para os vales confinados e abertos.

Especificamente a Formação Botucatu (Grupo São Bento – Mesozoico) apresenta outra direção (40 – 50° NE-SW) além das principais N-S e E-W (Figura 4A). A importância das direções de fraturas E-W para a fácies eólica da Formação Botucatu foi destacada por Strugale et al. (2004) no norte do estado do Paraná. Os autores também relatam a importância das fraturas NE-SW na fácies torrencial do arenito Botucatu. Sobre as formações Gondwânicas, do Paleozoico, pertencentes aos grupos Passa Dois (Figura 4B), Guatá (Figura 4C) e Itararé (Figura 4D), além da moda principal E-W e N-S, as direções NE-SW (40-50°) e NW-SE (40-50°) se mostram como direções complementares importantes.

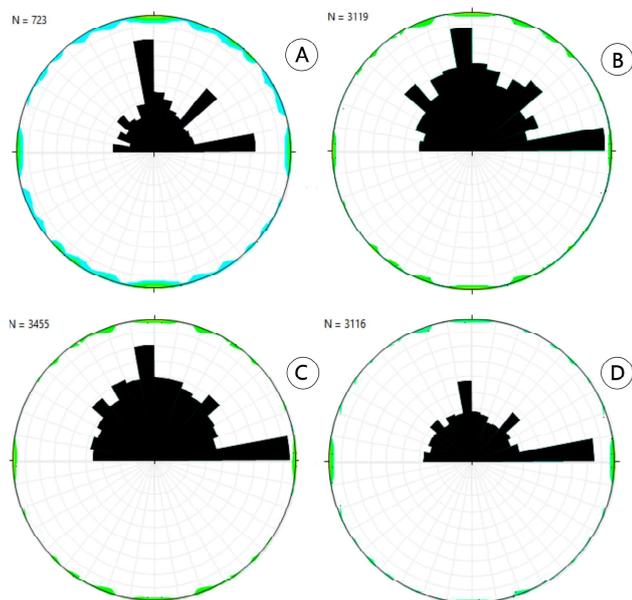


Figura 4 - Vales confinados de acordo com o Grupo litológico (rochas sedimentares) em que eles estão situados. A) Grupo São Bento (Formação Botucatu); B) Grupo Passa Dois (Formação Rio do Rasto, Teresina, Serra Alta e Irati); C) Grupo Guatá (Palermo e Rio Bonito); D) Grupo Itararé (Formação Rio do Sul e Campo do Tenente)

Para os vales abertos em bacias de 1ª ordem desenvolvidos em rochas vulcânicas, as direções predominantes são NE-SW (40 – 50° e 70 – 80°) e NW-SE (20 – 30°; 40 – 50°; 60 - 70°) (Figura 5). Os trechos localizados em segmentos de 2ª ordem se alinham entre 30 – 60° NW e 70 – 80° NE, secundariamente 30° - 60NE, N-S (0 – 10° NE) e E-W (80 – 90° NW) (Figura 5). Segmentos de 3ª ordem se orientam para NW (entre 30 – 50° e 60 e 70°), N-S (0 – 10° NW) e NE-SW (30

– 70°) (Figura 5). Os vales abertos em segmentos de 4ª ordem exibem orientação modal para E-W (70 – 90° NW) e 30 – 40 NW; 10 – 60 NE) (Figura 5). Em segmentos de 5ª ordem, os canais fluviais estão alinhados majoritariamente para E-W (80 – 90° NE e 80 – 90° NW) e NW (30 – 50° e 60 – 70°) (Figura 5). De modo geral, as direções predominantes dos vales abertos em rochas vulcânicas são NW (entre 30-70°) e NE (entre 30 e 70°).

Vales Abertos

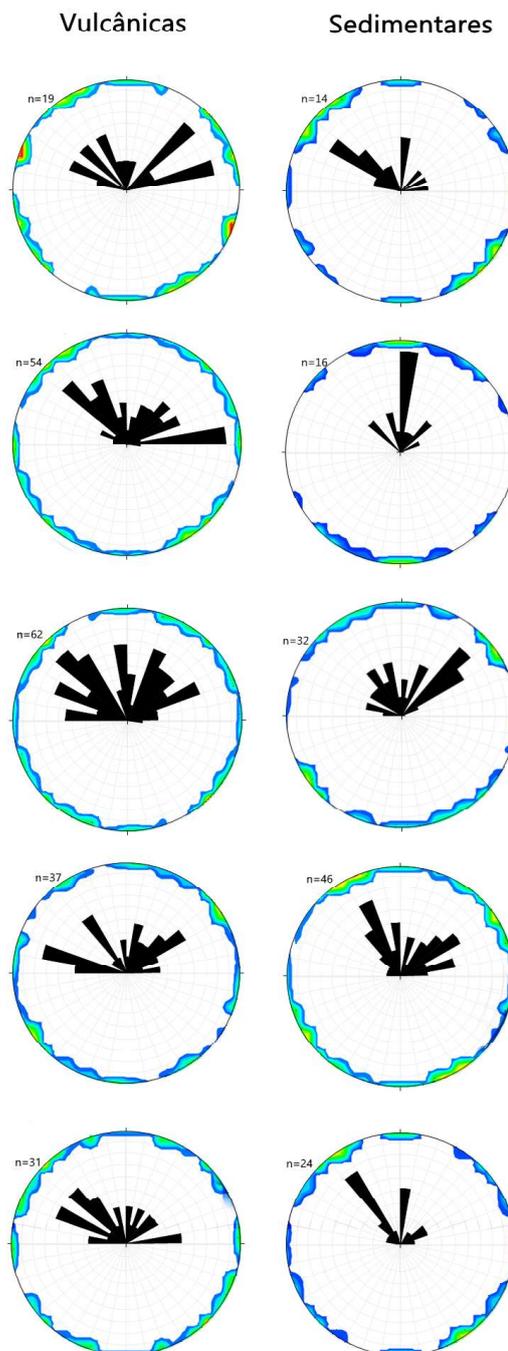


Figura 5 - Direção dos vales confinados e abertos de acordo com a hierarquia fluvial (Strahler, 1957)

Sobre as rochas sedimentares vales abertos em bacias de 1ª ordem têm direção predominante NW-SE (20-30° e 50-70° (Figura 5). Para os segmentos de vales de 2ª ordem a orientação principal é N-S (0 – 10NW) (Figura 5). Em vales de canais de 3ª ordem a direção modal obtida foi 40 – 60° NW (Figura 5). Para segmentos de cursos d'água de 4ª ordem a direção principal é NW-SE (entre 20 e 40) e NE-SW entre 40 e 60 NW. Os vales de segmentos de 5ª ordem e acima se apresentam nas direções NW (30 – 40°) e N-S (0 – 10° NE) (Figura 5). Os vales abertos modelados sobre as rochas sedimentares possuem duas direções principais: NW-SE (entre 20 e 40°) e NE-SW (entre 40 e 70°) e uma direção secundária N-S (entre 10°NW e 10°NE). Como na área com rochas sedimentares, uma série de diferentes litologias ocorre, foram construídos diagramas de rosetas para as litologias estudadas, de acordo com o grupo a qual elas pertencem (dos grupos São Bento, Passa Dois, Guatá e Itararé) (Figura 6).

Os vales abertos, de fundo chato, ao contrário dos vales confinados, apresentam direções significativamente diferentes nos diferentes grupos litológicos aflorantes na área de estudo (Figura 6). Sobre a Formação Botucatu, a direção mais importante é a NW-SE (60-70°) e complementarmente E-W (80-90° NE) (Figura 6A). Na área de afloramento do Grupo Passa Dois, não há uma direção principal, destacando-se N-S (10° NW a 10°NE) e NE-SW (30 – 70°) (Figura 6B).

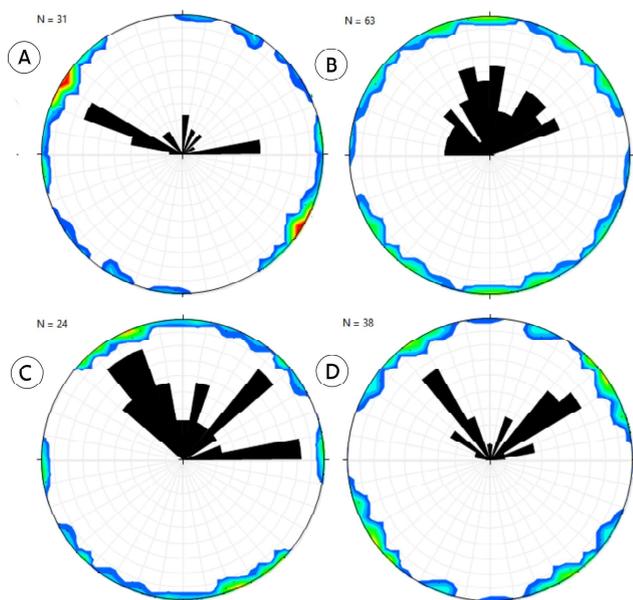


Figura 6 - Vales abertos de acordo com o Grupo litológico (rochas sedimentares) em que eles estão situados. A) Grupo São Bento (Formação Botucatu); B) Grupo Passa Dois (Formação Rio do Rasto, Teresina, Serra Alta e Irati); C) Grupo Guatá (Palermo e Rio Bonito); D) Grupo Itararé (Formação Rio do Sul e Campo do Tenente)

Sobre o Grupo Guatá, os vales abertos se orientam para NW-SE, E-W e NE-SW (Figura 6C), sendo esta última direção a menos importante. As rochas do grupo Itararé, por sua vez, controlam a evolução de vales orientados para NE-SW e NW-SE (Figura 6D).

Também foram comparadas as direções dos vales (abertos e confinados) com as fraturas e falhas. Foram efetuadas 322 medidas de fraturas na área do rebordo da Serra Geral Catarinense (Figura 7). Para a área de afloramento das rochas vulcânicas foram efetuadas 186 medidas de fraturas verticais onde obteve-se como direção principal NE-SW (entre 40 e 60°). Secundariamente predominam direções N-S (0-20°NE), NW-SE (30-60°) (Figura 7). A direção E-W é pouco expressiva. No domínio sedimentar, de um total de 95 medidas de fraturas verticais, a direção predominante das fraturas é NE-SW (60-80°) e, em menor densidade N-S (0-10NW) e NW-SE (entre 20-60NW e 70-80NW) (Figura 7).

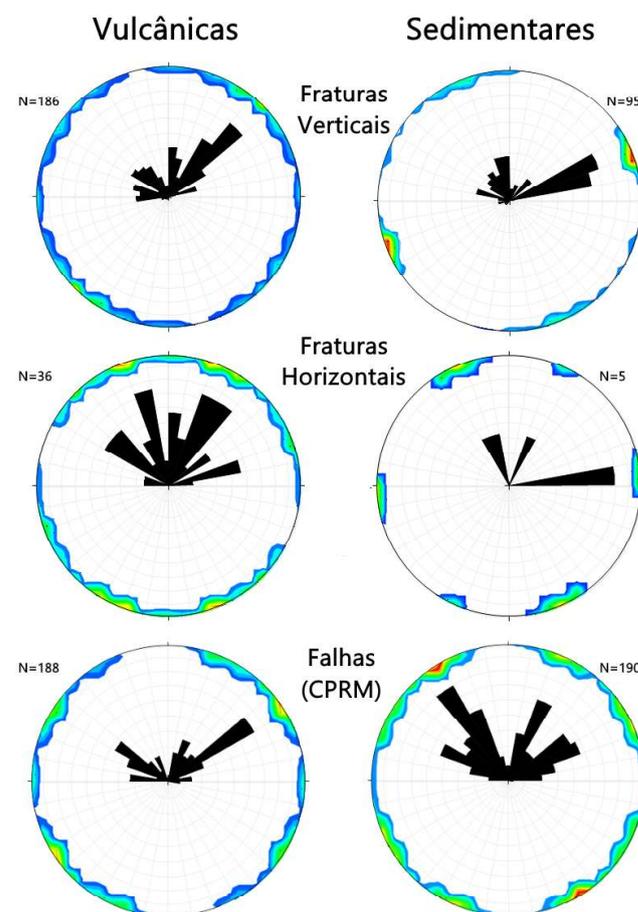


Figura 7 - Diagramas de roseta e estereogramas (área = 1%) das fraturas (horizontais e verticais) e fraturas e falhas (CPRM) no domínio das rochas vulcânicas e sedimentares

As orientações das fraturas horizontais foram medidas obtendo-se para a área de afloramento das rochas vulcânicas as direções principais NW-SE (10 – 20°) e NE-SW (30 – 50°). As direções subordinadas são NW-SE (40-60°), N-S (0-10°NE) e NE –SW (70 - 80°). Sob as rochas sedimentares a direção principal é E-W (80 – 90° NE) e orientações subordinadas são NW-SE (10 – 30°) e NE-SW (20 – 30°) (Figura 7). O mergulho predominante dessas rochas é de 1 a 2°, a exemplo de medições efetuadas em outros estudos (BIGARELLA *et al.*, 1967; AMARAL, 1971).

Como a maioria das fraturas possui extensão regional limitada, a orientação das falhas e fraturas mapeadas pela CPRM também foi levada em consideração. Sobre o embasamento vulcânico, n= 188, a direção predominante é NE (50-60°) com direções NW (50-70°) e E-W (0-10 NW) secundárias. No embasamento sedimentar, a direção principal (n=190) é NW-SE (20-40°), com importantes direções NE-SW (10-30°). As direções subordinadas são NW-SE (40-70°) e NE-SW (50-70°) (Figura 7).

No domínio das rochas vulcânicas nota-se um controle estrutural das direções dos vales N-S (0-10°NW) de baixa ordem hierárquica, enquanto que, para os vales de maior ordem hierárquica, o controle estrutural é mais claro, sendo que as direções de vales predominantes 40-50° (NE-SW e NW-SW) são comuns também para as fraturas mapeadas. Essas direções foram encontradas em fraturas medidas nos estados do Paraná (STRUGALE *et al.*, 2004; LIMA, 2012) e Santa Catarina (JACQUES *et al.*, 2014). Jacques *et al.* (2015) em estudo no centro-leste catarinense apontaram predominância de fraturas nas direções N-S e NW-SE e, secundariamente NE-SW.

Sobre as rochas sedimentares, o controle é menos pronunciado, e novamente a direção E-W (mais importante (Strugale *et al.*, 2004)) não está representada nas fraturas mapeadas. A direção N-S, muito importante para os vales, também se manifesta para as fraturas. A orientação NE, que para os vales têm como ângulo principal 20-50°, nas fraturas se manifesta mais fortemente entre 50° e 80°. A direção NW-SE 70-80° dos vales também é encontrada nas fraturas. Strugale *et al.* (2004) também relatam a importância das fraturas NE-SW na fácies torrencial do arenito Botucatu. Figueira (2004) demonstra a predominância de fraturas NE-SW e NW-SE nas rochas do Grupo Guatá no Estado do Paraná. A autora ainda mostra que no Grupo Itararé (Formações Taciba e Campo Mourão) as direções N-S

e E-W são importantes, e coincidentes com a direção dos vales confinados mapeados nessa unidade litológica.

Os vales abertos vulcânicos apresentam direção semelhante aos vales confinados – predomínio NW-SE (30 – 70°) e NE-SW (30 – 70°). Essa também é a direção predominante das fraturas horizontais mapeadas (40 – 60 NW-SE e 20-40° NE-SW). A orientação dos vales abertos sedimentares não coincide com as direções mapeadas no estudo. Porém as direções dos vales na Formação Rio do Rasto são consistentes com a direção obtida para Bigarella *et al.* (1967) para as estratificações dessa formação na Bacia do Paraná (20 – 30° NW e NE e 0-10° NW). Da mesma forma, as direções obtidas para os vales dos Grupos Guatá e Itararé (10-20 NW-SE e 10-20 NE-SW) é consistente com a direção das paleocorrentes (N-S, de 10° NW a 10°NE para a Formação Rio Bonito e 10-20 NW-SE e 10-20 NE-SW para o Grupo Guatá) dessas formações medidas por Bigarella *et al.* (1967) e Saad (1977).

Discussões

Analisando os vales, sua direção, dimensão e morfologia, sejam eles vales confinados com formato em ‘V’ ou vales abertos com fundo chato, verifica-se que tais direções, dimensões e morfologias são independentes das características hidrológicas, litológicas ou altimétricas. Isso é reforçado pela análise da localização dos setores dos vales abertos com fundo chato, distribuídos ao longo de toda a área de estudo, sob diferentes substratos geológicos, em diferentes níveis altimétricos e canais com diferente estágio de desenvolvimento (diferente ordem hierárquica) (Figura 8). Além disso, ao longo de um mesmo canal, sobre a mesma formação litológica, em seus diferentes trechos (alto, médio, baixo, os quais exibem diferentes ordens hierárquicas e elevações) a morfologia do vale alterna entre confinado e aberto (Figura 8). A estrutura emerge assim como fator condicionante da morfologia dos vales.

Para a área de afloramento das rochas vulcânicas a direção principal das fraturas é NE-SW (entre 40 e 60°). Secundariamente predominam direções N-S (0-20°NE), NW-SE (30-60°) (Figura 7), cuja direção E-W é pouco representativa. No domínio sedimentar, a direção predominante das fraturas é NE-SW (60-80°) com menor densidade N-S (0-10°NW) e NW-SE (entre 20-60°NW e 70-80°NW) (Figura 7). As orientações das fraturas horizontais foram medidas obtendo-se para a área de

afioramento das rochas vulcânicas as direções principais NW-SE (10 – 20°) e NE-SW (30 – 50°). As direções subordinadas são NW-SE (40-60°), N-S (0-10°NE) e NE –SW (70 - 80°). Sob as rochas sedimentares a direção

principal é E-W (80 – 90° NE). Tais resultados mostram a coincidência entre a direção das fraturas e dos vales encaixados, o que sugere uma influência litoestrutural sobre a forma dos vales.

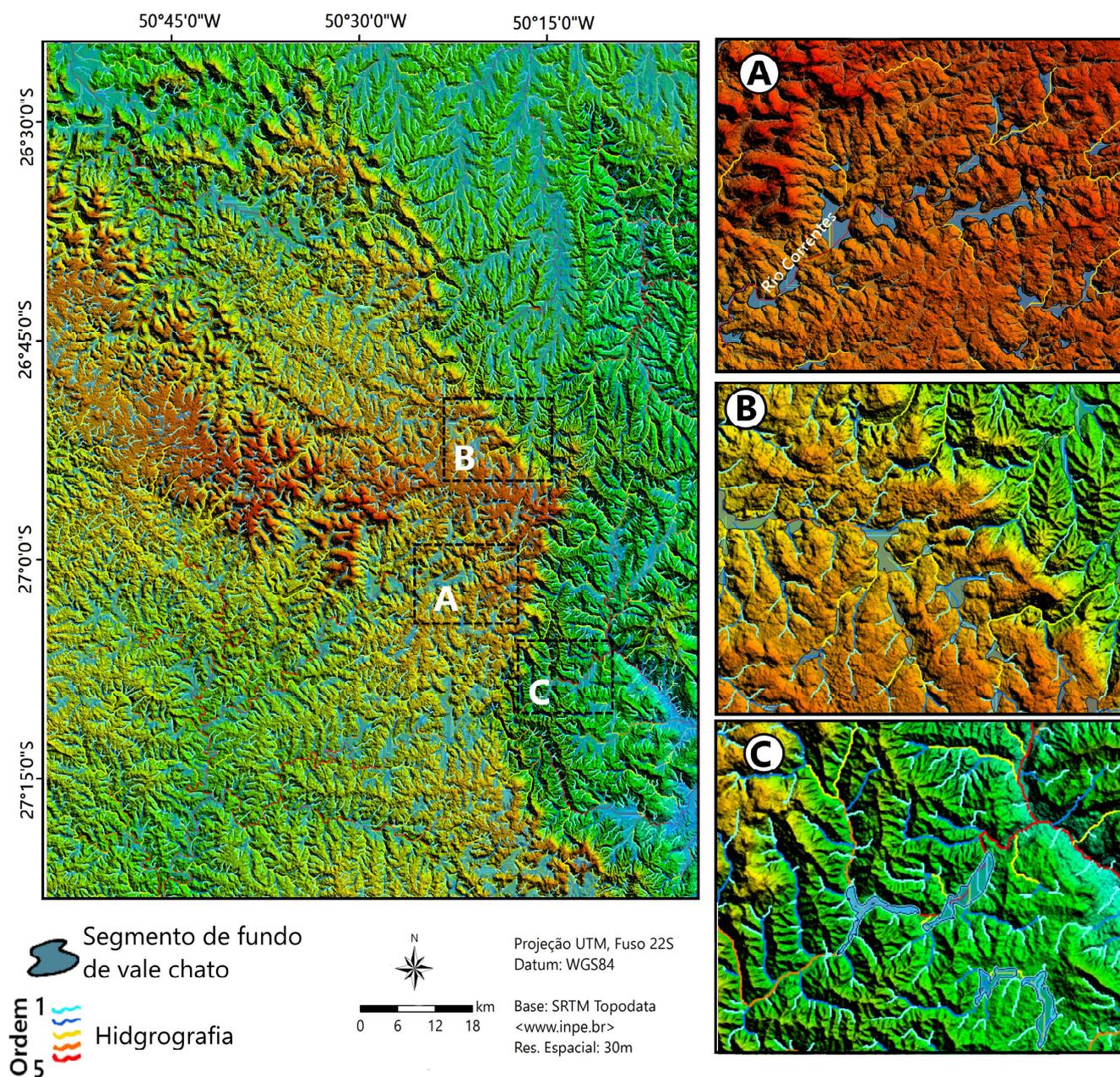


Figura 8 - Localização dos segmentos de vale que apresentam fundo chato, sob diferentes substratos geológicos, diferentes altitudes e sistemas hidrográficos. Em A) morfologias ao longo do vale do rio Correntes, afluente do rio Canoas; em B) morfologias ao longo do vale do rio Timbó, afluente do rio Iguazu e C) morfologias de vale na bacia do rio Taió, afluente do rio Itajaí do Oeste.

Os vales confinados modelados sobre as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral apresentam duas direções principais nos vales de baixa ordem hierárquica ($\leq 3^{\text{a}}$ ordem): N-S e E-W. Os vales de maior ordem hierárquica apresentam direções NW-SE e NE-SW como

predominantes. Essas direções foram encontradas em fraturas medidas nos estados do Paraná (STRUGALE *et al.*, 2004; LIMA, 2012) e Santa Catarina (JACQUES *et al.*, 2014). As medidas efetuadas em campo revelam a importância da direção NE-SW como principal e N-S,

NW-SE e E-W como secundárias. Jacques *et al.* (2015) em estudo no centro-leste catarinense apontaram para a importância das fraturas de direções N-S e NW-SE e, secundariamente NE-SW.

A morfologia dos canais modernos, de 1ª e 2ª ordens hierárquicas, se caracterizam por canais encaixados, isso se comprova pela correlação apresentada entre estruturas verticais e canais de baixa ordem hierárquica. Estudos anteriores já apontavam para uma íntima associação entre a evolução dos canais de baixa hierárquica e a presença de falhas e fraturas (Sordi *et al.*, 2015). É possível, desta forma, que essas direções reflitam tensões ou eventos tectônicos mais modernos, posteriores a deposição das rochas no paleozoico e mesozoico.

Os vales abertos, por outro lado, exibem tendências diferentes dessas: as direções NE e NW, além da E-W são as mais importantes. Os vales abertos mais jovens se orientam para NE e NW. A direção é E-W é mais representativa para os vales de 2ª ordem, assim como a direções NW supramencionada. Para trechos de canais de 3ª ordem, aquela que possui maior densidade de vales abertos, as direções NW e NE são as principais. Além dessas duas direções, a direção E-W é recorrente

no direcionamento dos vales. Acima de trechos de 5ª ordem, os vales estão orientados principalmente para NW e E-W.

Estas direções também são consistentes com as direções de fraturas horizontais obtidas durante os trabalhos de campo. As fraturas horizontais demonstram a importância das estruturas de direções E-W e falhamentos regionais que tem como direções principais NE-SW e NW-SE. De modo complementar, Curti (2011) mediu direções de fraturas horizontais em afloramentos de rochas vulcânicas em áreas de construção de hidrelétricas obtendo E-W como direção principal. Essa direção teria relação com a direção de fluxo das lavas durante a Reativação Waldeniana (ALMEIDA, 1967) ou o evento Sul-Atlântico (SCHOBENHAUS *et al.*, 1984).

O controle estrutural se manifesta por meio de dois comportamentos lito-estruturais distintos: i) rochas vulcânicas que podem apresentar fraturas verticais, horizontais ou setores amigdaloides, de acordo com a posição intra-derrame (8A e 9A e B); ii) rochas sedimentares, com planos de acamamento horizontal, típicos do empacotamento normal das rochas (Figuras 8B e 9B) e fraturas verticais pós-deposicionais.



Figura 9 - Fraturas verticais em derrame da zona central dos basaltos da Formação Serra Geral (A) e fraturas horizontais em afloramento da Formação Rio do Sul (B).

Os vales abertos representam um dos estágios evolutivos dos vales controlados pela lito-estrutura, a partir de processos de recuo lateral das encostas e modelagem de vales abertos com fundo chato. Comparando as direções das fraturas e das falhas regionais, observa-se que esses vales de maior ordem hierárquica se associam com

lineamentos regionais. A influência se verifica sobre as direções NW-SE e NE-SW para as rochas vulcânicas e NE-SW para as rochas sedimentares. Estes vales também são aqueles com maior extensão areal.

Como as fraturas verticais apresentam limitação de extensão (Singhal e Gupta, 2010), quando estas não en-

contram mais continuidade, a tendência é o alargamento do vale, o que nas rochas sedimentares é facilitado pelo aspecto horizontalizado das estruturas. Situação similar ocorre em derrames vulcânicos, sobretudo para o basalto, em que há passagem abrupta da zona central, com predomínio de fraturas verticais, para a zona basal, caracterizada pela presença prevaemente de fraturas horizontais (LEINZ, 1949; MAACK, 1947) (Figura 10). Tal constatação sugere

uma influência da lito-estrutura sobre a forma dos vales. Este controle estrutural se manifesta regionalmente por meio de dois comportamentos distintos: i) rochas vulcânicas que podem apresentar fraturas verticais, horizontais ou setores amigdaloides, de acordo com a posição intra-derrame (Figura 9A e 10A e B); ii) rochas sedimentares, com planos de acamamento horizontal, típicos do empacotamento normal das rochas (Figura 10B).

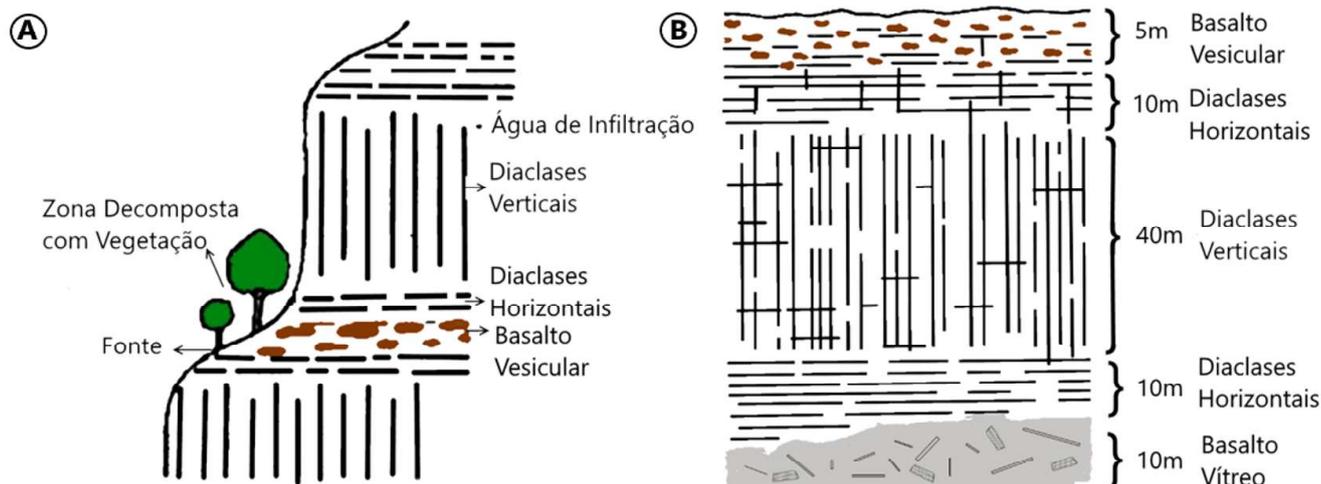


Figura 10 - Esquema litoestrutural de um derrame em "patamares" (A) e as variações da textura de um derrame basáltico (B). Modificado de Leinz (1949).

Quando a drenagem encontra mudança no padrão de fraturas de vertical para horizontal, condição comum tanto para os derrames vulcânicos quanto para as rochas sedimentares, a taxa de aprofundamento dos talwegues é subitamente reduzida. Nessas condições as taxas de recuo das encostas passam a se sobressair. Como efeito, registra-se abertura dos vales e o desenvolvimento de vales de fundo chato (planos) com amplas planícies de inundação. Da mesma forma, nas áreas embasadas por rochas sedimentares, o acamamento horizontal das camadas favoreceria o desenvolvimento de fundos de vales planos.

As zonas de fraqueza, onde existe maior concentração de fraturas verticais, vão determinar os locais preferenciais de expansão da rede de drenagem de baixa ordem hierárquica, como verificado em campo. Esses canais, geralmente retilíneos, controlados estruturalmente, são responsáveis pela expansão da rede de drenagem e respondem mais rapidamente e facilmente, a pequenas movimentações tectônicas.

Assim, a evolução dos vales abertos e fechados, nessa perspectiva, seria resultado de períodos de maior/

menor atividade erosiva, onde o comportamento estrutural, manifesto por fraturas e falhas verticais e horizontais, favoreceriam a incisão ou a abertura lateral. Nessa perspectiva pode-se propor o seguinte modelo evolutivo para os vales confinados e para os com fundo chato da área de estudo: 1º) os vales, ao encontrar uma área de fraqueza no embasamento (maior densidade de fraturas ou falhas), passam a escavar seus leitos e aprofundar suas calhas, independentemente da lito-estrutura associada (Figura 11A e 11C). A partir do momento em que o canal encontra o limite da estrutura vertical, e após restabelecido o equilíbrio dinâmico, o canal passa a abrir lateralmente o vale, aproveitando também a característica horizontal da litologia (Figura 11B e D). Da mesma forma, esse processo terá continuidade enquanto a energia no sistema se manter mais ou menos semelhante ou até que o vale consiga se encaixar sobre outra fratura, ou falha, vertical, quando o processo é reiniciado. A sucessiva variação nas taxas de movimentação tectônica ao longo do tempo e a modificação das zonas de fraqueza disponíveis durante o aprofundamento dos talwegues dos canais contribuiria para o estabelecimento

das morfologias dos vales (confinados ou abertos) que hoje existe na paisagem. Tais morfologias podem ser modeladas tanto a partir de substrato vulcânico quanto sedimentar, na área de estudo. Neste contexto, as va-

riações climáticas que ocorreram na área não poderiam ter sua importância descartada. Elas seriam importantes para a evolução dos vales fluviais, mas subordinadas ao comportamento tectônico e do controle estrutural.

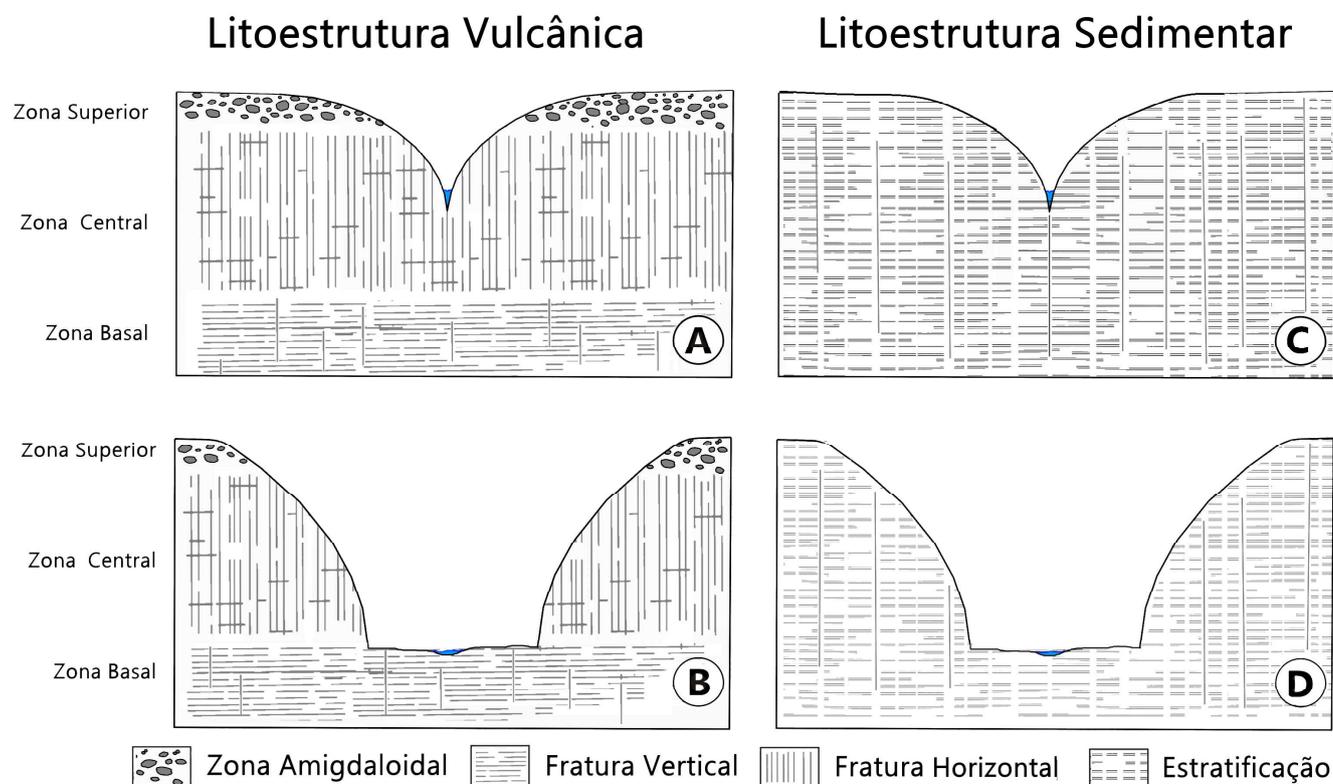


Figura 11: Evolução de Vales confinados e de fundo chato sobre controle litoestrutural.

Conclusões

Os trabalhos de campo - onde foram realizadas medidas de fraturas e observações sobre a morfologia da paisagem - complementados por mapeamentos em produtos de sensoriamento remoto revelaram a importância do controle litoestrutural no desenvolvimento de vales na área do rebordo da Bacia do Paraná em Santa Catarina e sobre a evolução das formas de relevo de um modo geral. A rede de drenagem se caracteriza por exibir dois tipos de vales mais frequentemente: i) vales em 'V' confinados e profundos, sem planície de inundação, onde geralmente os rios correm diretamente sobre as rochas; ii) outro tipo comum de vales de fundos chatos, planos, e com amplas áreas inundáveis, que se mostram como vales muito abertos. Os pressupostos clássicos sobre a geomorfologia das zonas tropicais e subtropicais no Brasil advogam para uma evolução dos vales comandadas por variações paleoclimáticas. Entretanto, na área do rebordo da Bacia do Paraná

em Santa Catarina, localizada em uma zona climática subtropical, a forma transversal dos vales possui íntima relação com as características estruturais das rochas: (i) vales em V, confinados, estão associados as zonas de fraqueza estruturais (verticais) e (ii) vales de fundo chato majoritariamente ocorrem nos locais onde o canal encontrou o limite da estrutura vertical e, aproveitando das zonas de fraqueza horizontais, alargou seu leito e vale. Tais características, principalmente o padrão de fraturamentos e acamamento e secundariamente os falhamentos, associados a períodos de maior ou menor *inputs* de energia e as conseqüentes variações do nível de base, parecem ser, predominantemente, os fatores condicionantes da morfologia dos fundos de vale.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa de doutorado concedida ao primeiro

autor; ao programa CAPES-COFECUB (869/15) pelo apoio financeiro e bolsa de doutorado sanduíche concedida ao primeiro autor; ao CNPQ (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) (Projetos 441501/2014-1 e 441647/2014-6); a Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina pelos produtos cartográficos disponíveis no site <www.sigsc.sc.gov.br>.

Referências Bibliográficas

- AB'SÁBER, A. N. Nem todas as escarpas basálticas brasileiras são cuestas. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 2, n. 4, p. 47-48, 1959
- AB'SÁBER, A.N. **Da participação das depressões periféricas e superfícies aplainadas na compartimentação do Planalto Brasileiro**. Tese de Livre-Docência. Faculdade de Filosofia Ciências e Letras, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1965, 180 p.
- AB'SÁBER, A.N. Um conceito de Geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário. **Geomorfologia (Instituto de Geografia/USP)**, n. 18. 23 p. 1969.
- ALMEIDA, F.F.M. O Planalto basáltico da Bacia do Paraná. **Boletim Paulista de Geografia**, n. 24, p. 3-34, 1956.
- ALMEIDA, F.F.M. Origem e evolução da Plataforma Brasileira. Rio de Janeiro, **DNPM/DGM, Boletim** 241, p. 1-36, 1967.
- ALMEIDA, F. F. M.; HASUI Y.; PONÇANO W. L.; DANTAS A. S. L., CARNEIRO C. D. R.; MELO M. S.; BISTRICHI C. A. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**, escala 1:500.000, Nota Explicativa. São Paulo, IPT, Monografias 6, v. 1, p.126. (Publ. 184), 1981.
- AMARAL, S.E. **Geologia e Petrologia da Formação Irati (Permiano) no Estado de São Paulo**. Tese de Livre Docência. Departamento de Geologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1971, 81p.
- BARBOSA, G. V. Superfícies de Erosão no Quadrilátero Ferrífero. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 10, n.1, p. 89-101, 1980.
- BARBOSA, G. V.; RODRIGUES, D. M. S. O Quadrilátero Ferrífero e seus problemas Geomorfológicos. **Boletim Mineiro de Geografia**, v. 10/11, p. 3-35, 1965.
- BARBOSA, G. V.; RODRIGUES, D. M. S. **Quadrilátero Ferrífero**. Belo Horizonte, IGC/UFGM, 130pp, 1967.
- BIGARELLA J.J., MARQUES FILHO, P.; AB'SÁBER A.N. Ocorrências de pedimentos remanescentes nas fraldas da serra do Iqueririm (Garuva-SC). **Boletim Paranaense de Geografia**, v. 4 e 5, p.71-85, 1961.
- BIGARELLA, J.J.; ANDRADE, G.O. Contribution to the study of the Brazilian Quaternary. In: WRIGHT, H.E. Jr.; FREY, D.G. (eds.) **International Studies on the Quaternary**. Geol. Soc. Am. Spec. Papers. New York, v.84, p. 433-451, 1965.
- BIGARELLA, J.J.; MOUSINHO, M.R. Considerações a respeito dos terraços fluviais, rampas de colúvios e várzeas. **Boletim Paranaense de Geografia**, Curitiba, v. 16 e 17, p.153- 197. 1965.
- BIGARELLA, J.J.; MOUSINHO, M.R.; SILVA, J.X. Pediplanos, pedimentos e seus depósitos correlativos no Brasil. **Boletim Paranaense de Geografia**, v. 16 e 17, p. 117-151. 1965.
- BIGARELLA, J.J.; BECKER, R.D.; PINTO, I.D. **Problems in Brazilian Gondwana Geology: Brazilian Contribution to the I International Symposium on the Gondwana Stratigraphy and Paleontology**, Curitiba (PR), 1967, 317p.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1981, 313 p.
- CURTI, D. K. **Tipologia e origem das fraturas sub-horizontais em basaltos da Formação Serra Geral, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Geotectônica) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. doi:10.11606/D.44.2011.tde-16082011-164931.
- DAVIS, W. M. The geographical cycle. **Geographical Journal**, [s.l.], v. 14, n. 5, p. 481-504, 1899.
- DAVIS, G.H.; S.J., REYNOLDS. Fractures and shear fractures. In: **Structural Geology**, p. 204-265. 1996.
- FIGUEIRA, I. F. R. **Caracterização estrutural - estratigráfica para seleção de alvos de reservatórios análogos no Sistema Petrolífero Ponta Grossa- Itararé na Bacia do Paraná**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Paraná - Setor de Ciências da Terra, Curitiba, 2004.
- 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 Petrobras**, v. 14, n. 1, p. 71-93, nov. 2005/ maio 2006
- GILBERT, G.K. **Report on the Geology of the Henry Mountains**. US Geographical and Geological Survey of the Rocky Mountain Region, Department of the Interior, 1877.
- GOLDSTEIN, A. & MARSHAK, S. Analysis of fracture array

- geometry. In: MARSHAK, S. & MITRA, G. (org.). **Basic methods of Structural Geology**. Prentice Hall: Englewood Cliffs, 1988, p. 249-268.
- HAMBLIN, W. K.; HOWARD, J. D. **Exercises in Physical Geology**, 3ª Ed., Burgess Publishing Company, Minneapolis, 1971, 188 p.
- 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.
- JACQUES, P.D.; MACHADO, R.; NUMMER, A.R. Análise estrutural da Formação Serra Geral na porção Centro-Sul do estado de Santa Catarina, Brasil. São Paulo, **Geociências (UNESP)**, v. 34, n. 3, p.390-401, 2015.
- KING, L.C. A Geomorfologia do Brasil Oriental. **Revista Brasileira de Geografia (Rio de Janeiro)**, v. 18, n. 2, p. 147-265, 1956.
- LEITE, P.E. As diferentes unidades fitoecológicas da região sul do Brasil - proposta de classificação. **Caderno de Geociências IBGE**, n.15, p.73-164, 1994.
- LEINZ, V. Contribuição à geologia dos derrames basálticos do sul do Brasil. **Geologia, Boletim CIII**, n. 5, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, USP, 1949, 61p
- LIMA, A.G. **Controle geológico e hidráulico na morfologia do perfil longitudinal em rio sobre rochas vulcânicas básicas da Formação Serra Geral no Estado do Paraná**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009, 240p.
- 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.
- MAACK, R. Breves notícias sobre a geologia dos Estados do Paraná e Santa Catarina. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v. 2, p. 99-200, 1947.
- 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. ; ANDRES, J. Superfícies aplainadas em zona morfoclimática subtropical úmida no planalto basáltico da bacia do paraná (SW Paraná / NW Santa Catarina): primeira aproximação. **Geociências (UNESP)**, v. 27, n. 4, p. 541-553, 2008.
- PAISANI, J.C., PONTELLI, M.E., CALEGARI, M.R. Evolução de bacias de baixa ordem nos 41.000 anos AP - Brasil Meridional. **Revista Mercator**, v. 11, n. 26, p.131 – 148, 2012.
- PAISANI, J.C.; CALEGARI, M.R.; PONTELLI, M.E.; PESSENDA, L.C.R.; CÔRREA, A.C.B.; PAISANI, S.D.L.; RAITZ, E. O papel das mudanças climáticas do Quaternário Superior na dinâmica evolutiva de paleovale de segunda ordem (Sul do Brasil). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 1, p.103 -116, 2013.
- PAIVA FILHO, A. **Estratigrafia e tectônica do nível de riocitos pórfiros da Formação Serra Geral**. Tese (Doutorado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro,2000. 184 p.
- PELUSO JR., V.A. O Relevo do Território Catarinense. **Revista Geosul**, n.2, v. 1, p. 7-69, 1986.
- PENCK, W. **Morphological analysis of landforms: a contribution to physical geology**. Macmilan and Co., London, 1953.
- PINTO, E. J. de A.; AZAMBUJA, A. M. S. de; FARIAS, J. A. M.; SALGUEIRO, J. P.de B.; PICKBRENNER, K. (Coords.). **Atlas pluviométrico do Brasil: isoietas mensais, isoietas trimestrais, isoietas anuais, meses mais secos, meses mais chuvosos, trimestres mais secos, trimestres mais chuvosos**. Brasília: CPRM, 2011. 1 DVD. Escala 1.5:000.000. Programa Geologia do Brasil; Levantamento da Geodiversidade, 2011.
- SAAD, A.R. **Estratigrafia do Subgrupo Itararé no Centro e Sul do Estado de São Paulo**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1977. 107 p.
- SARTORI, P.L.P.; BORTOLOTTI, O.J. Os principais tipos de rochas vulcânicas da Bacia do Paraná no Planalto de Santa Catarina. **Ciência e Natura**, n. 4, p. 71-84, 1982.
- SCHEIBE, L. F. Geologia de Santa Catarina. **Revista Geosul**, n.1, v.1, p. 7 – 38, 1986.
- SCHOBENHAUS C., CAMPOS D.A., DERZE G.R., ASMUS H.E. **Geologia do Brasil**. Texto explicativo do Mapa Geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais - escala 1:2.500.000. Brasília, MME/DNPM, 1984, 502p.
- SCHNEIDER, R.L.; MÜHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R.A.; DAEMON, R.F.; NOGUEIRA, A.A. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia, **Anais...**, Porto Alegre, p.47-65, 1974.
- SINGHAL, B.B.S.; GUPTA, R.P. **Applied Hydrology of**

Fractured Rocks. 2ª edição, Springer, 2010, 401p.

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

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: análise morfoestrutural. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 16, n. 4, 2015.

STRUGALE, M., ROSTIROLLA, S. P.; MANCINI, F., PORTELA FILHO, C. V. Compartimentação Estrutural das Formações Pirambóia e Botucatu na Região de São Jerônimo da Serra, Estado do Paraná. **Revista Brasileira de**

Geociências, v. 34, p.303-316, 2004.

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

VOLKMER, S. **Mineralogia e morfologia de coberturas de alteração desenvolvidas em rochas vulcânicas ácidas: os exemplos de Palmas e Pinhão, PR.** Tese de Doutorado (Geoquímica e Geotectônica). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.184 p.

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.