

## Morfologias de Leito Fluvial em Riodacitos Pórfiros do Grupo Serra Geral *Fluvial bedforms in Rhyodacites of the Serra Geral Group*

Diego Moraes Flores<sup>1</sup>, Adalto Gonçalves de Lima<sup>2</sup>, Déborah de Oliveira<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade de São Paulo, diegomoraesf@hotmail.com

<sup>2</sup> Universidade Estadual do Centro-Oeste, adalto.lima@outlook.com

<sup>3</sup> Universidade de São Paulo, debolive@usp.br

Recebido (Received): 29/03/2018

Aceito (Accepted): 10/05/2018

**Resumo:** Os riodacitos pórfiros compreendem um conjunto de derrames vulcânicos ácidos do Grupo Serra Geral, na porção meridional da Bacia Sedimentar do Paraná. Por meio de mapeamentos, observações de campo e análise de lâminas petrográficas, esta pesquisa visou identificar as principais morfologias erosivas desenvolvidas em trechos de *knickzones* de um leito fluvial sobre essa litologia. Os resultados indicaram que o leito fluvial rochoso em riodacitos apresenta erosão diferencial, a partir dos bandamentos mineralógicos e via evolução erosiva das diáclases. As morfologias escalonadas em patamares são do tipo degrau-depressão (*step-pool*) nos trechos de *knickzones* e do tipo depressão-soleira (*pool-riffle*), nas zonas de baixa declividade relativa do perfil do rio, caracterizadas pela formação blocos acumulados provenientes de montante.

**Palavras-Chave:** Knickzones; Perfil longitudinal; Erosão fluvial.

**Abstract:** Rhyodacites comprise a set of acidic volcanic flows of the Serra Geral Group, in the southern portion of the Paraná Sedimentary Basin. Through mapping, field observations and petrographic analysis, this research aimed to identify the main erosive morphologies developed at knickzones reaches in a bedrock river on this lithology. The results indicated that the bedrock river in Ryodacites presents differential erosion, from the mineralogical bundles and via erosive evolution of the fractures. The stepped morphologies are step-pool in the knickzones and pool-riffle sections, in the zones of low relative slope of the river profile, characterized by the formation of accumulated blocks amount.

**Keywords:** Knickzones; Longitudinal profile; River erosion.

### 1. Introdução

Dentre os inúmeros estudos dirigidos aos canais fluviais rochosos, (e.g. WHIPPLE e TUCKER, 1999; WHIPPLE *et al.*, 2000; SNYDER *et al.*, 2003; SPRINGER, *et al.*, 2005), uma parte deles (SELANDER, 2004, JOHNSON e WHIPPLE, 2010; LIMA e BINDA, 2013) se detiveram a explicar a influência dos processos fluviais, como abrasão e arrancamento (*plucking*) no controle das morfologias existentes ao longo dos perfis dos rios. Ao lado disso, esses estudos têm avaliado como *knickpoints* e *knickzones* evoluem e participam da incisão fluvial de longo prazo em conexão com os processos erosivos.

Tais processos fluviais são capazes de afetar a morfologia e largura dos canais, a ponto de interferir em seu traçado e influenciar a evolução de paisagens na qual se inserem, muitas vezes, atrelados aos processos tectônicos que direcionam, por exemplo, a propagação de *knickpoints* (ZAPROWSKI *et al.*, 2001; SELANDER, *et al.*, 2004).

Os canais fluviais sobre leitos rochosos podem também ser condicionados, segundo alguns estudos (MONTGOMERY *et al.*, 1993; HANKS e WEBB, 2006), pela granulometria e transitividade dos materiais ao longo do canal. A erodibilidade destes canais rochosos possui uma relação particular com o tamanho dos grãos, detritos e blocos destacados do leito, que podem determinar os ajustes morfológicos dos canais fluviais (WHIPPLE *et al.*, 2013).

Tais ajustes, em leitos fluviais rochosos estão dinamicamente atrelados ao fluxo de água e de transporte do material sedimentar. Desse modo, direta ou indiretamente, as características do substrato litológico têm fundamental importância na evolução destes rios em leitos rochosos. (WHIPPLE *et al.*, 2000; WHIPPLE, *et al.*, 2013). Assim, a formação de zonas de convexidade e concavidade do perfil longitudinal de um rio com leito rochoso podem ser conduzidas por características intrínsecas às rochas e pela variação do fluxo de água e sedimentos. Em outra escala, as morfologias fluviais de leito também são o resultado desta relação interativa e

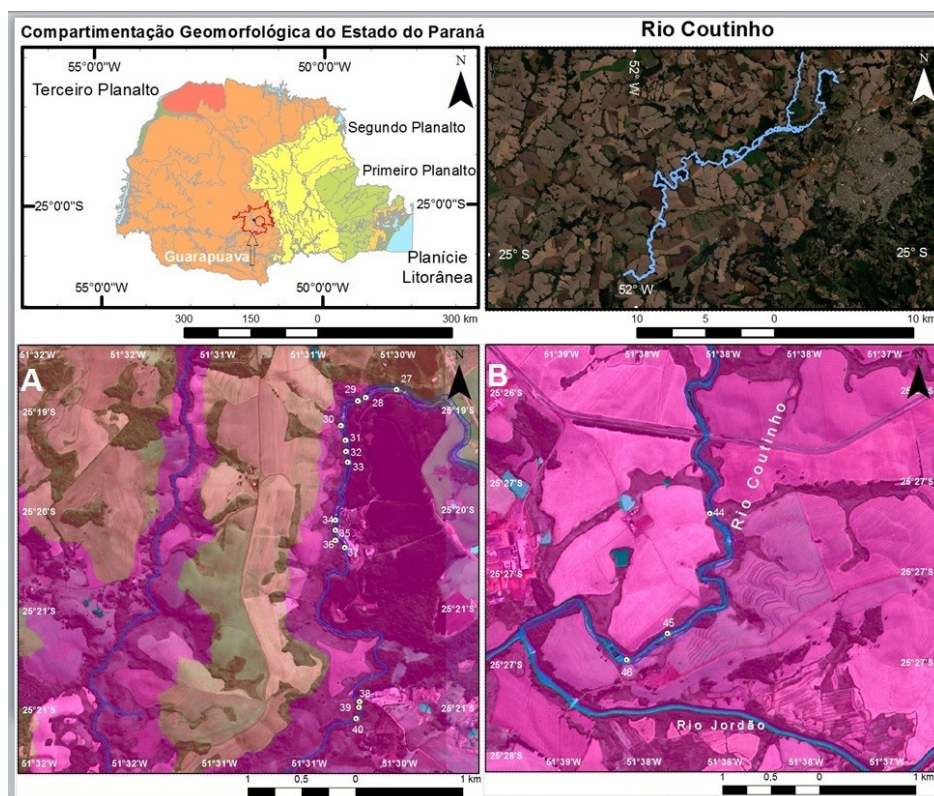
comandam como ocorrerá a denudação do perfil ao longo do tempo. A modificação das declividades de um perfil de rio de leito rochoso é parte de um mosaico maior, com participação importante na evolução das paisagens.

Pesquisas sobre perfis longitudinais de rios em leitos rochosos e análise de feições morfológicas têm sido alvo de pesquisas há algum tempo, com objetivo de entender os ajustes em diferentes domínios de resistência à erosão (e.g. STOCK e MONTGOMERY, 1999; WHIPPLE *et al.*, 2000; 2004; SELANDER, 2004; LIMA e BINDA, 2013, 2015). O reconhecimento da importância dos rios de leito rochoso e de seus processos de incisão para a evolução da paisagem oportunizou estudos na Província Vulcânica da Bacia do Paraná, sobretudo com foco nos basaltos (LIMA e BINDA, 2013, 2015; LIMA e FLORES, 2017).

Todavia, embora sejam parte significativa dessa província, os riodacitos pórfiros ainda não foram suficientemente estudados em termos de sua resposta geomorfológica-fluvial. Em vista desse hiato, esta pesquisa procurou identificar e analisar as morfologias fluviais condicionadas pela estrutura rochosa dos riodacitos. Á área analisada compreende três zonas de ruptura de declive (*knickzones*) de um rio que corta essas unidades rochosas. As *knickzones* são trechos do perfil longitudinal caracterizados por maior declividade relativa, onde há concentração maior de rupturas de declive (*knickpoints*) e corredeiras. Nesses trechos há exposição mais contínua do leito rochoso e incidência predominante de processos erosivos como abrasão e arrancamento.

## 2. Área de Estudo

O rio Coutinho localiza-se no município de Guarapuava (PR), região centro-sul do Estado do Paraná, possui área de drenagem de 601,4 km<sup>2</sup> e faz parte da unidade Morfoescultural do Terceiro Planalto Paranaense, segundo Mineropar (2006). O rio Coutinho corta dois tipos de litologia basáltica; no trecho de montante afloram os basaltos hipoiálicos, com extensão longitudinal de aproximadamente 22 km, que não serão analisados neste trabalho. O trecho a ser analisado encontra-se mais a jusante, onde afloram os riodacitos pórfiros e tem extensão longitudinal de aproximadamente 37 km (**Figura 1**). No entanto, foram selecionados apenas os trechos de *knickzones* (três no total), referentes a segmentos convexos do perfil do rio, além dos segmentos côncavos, que correspondem aos trechos de baixa declividade relativa, intercalados aos segmentos convexos.



**Figura 1:** Localização dos trechos analisados do rio Coutinho sobre riodacitos (A-B). Org. Autores. Fonte: base shapes (MINEROPAR, 2013). Imagens: SRTM 30 m; foto ortorretificada 1: 10.000 PARANÁ CIDADES; satélite LANDSAT 8, disponível em: <<https://libra.developmentseed.org>>. Acesso em: 29 mai. 18.

Os riocitos na área de estudo são cinza claros quando inalterados e pardo-avermelhados, quando mais alterados. Essas rochas possuem textura porfírica, com fenocristais (até 0,2 cm) de plagioclásios imersos em matriz fanerítica fina. A estrutura é comumente bandada, alternando-se faixas claras formadas por uma mescla quartzo-feldspática e faixas escuras onde predomina um caráter hipóialino (PAIVA FILHO, 2003; NARDY *et al.*, 2008; MINEROPAR, 2013). O diaclasamento vertical com espaçamento métrico é comum nos riocitos da região. Porém, as feições estruturais mais características dos riocitos da área de estudo são as descontinuidades horizontais, preenchidas por uma fina (milimétrica) capa de óxidos, que seccionam a rocha em uma rede de blocos tabulares ou lenticulares, com espessuras de poucos centímetros (< 20 cm).

Comparações entre a bibliografia (NARDY *et al.*, 2008) e as observações de campo permitiram presumir que todo o trecho estudado encontra-se na zona central dos derrames ígneos ácidos, devido a duas razões principais: presença mais contundente dos bandamentos mineralógicos, com presença de fenocristais, e rara presença ou ausência (FLORES, 2017) de feições de transição para topo ou base do derrame, como por exemplo, zonas de vesiculação de minerais, mais comuns nas bordas (base e topo) de derrames ígneos ácidos.

### 3. Materiais e Métodos

Para a análise do rio Coutinho utilizou-se a relação declive-área (**Equação 1**) apenas para identificação das áreas em que se inserem as morfologias fluviais, que correspondem às zonas convexas do perfil do rio. Considerou-se a declividade de um canal (S) como uma função da área de drenagem (A), ou seja, da vazão:

$$S = k_s A^{-\theta} \quad (1)$$

As constantes  $k_s$  e  $\theta$  são, respectivamente, índice de declividade (*steepness*) e índice de concavidade (HOWARD e KERBY, 1983; STOCK e MONTGOMERY, 1999; WHIPPLE e TUCKER, 2002; DUVALL *et al.*, 2004). Estes índices representam o comportamento da declividade para um determinado domínio de resistência à erosão.

Foi realizado mapeamento com a utilização de imagem SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) de resolução de 30 m originada do voo espacial Endeavour da NASA referente ao ano de 2000, para a elaboração de Modelo Digital de Elevação (MDE) de sombreamento, que serviu como base de sobreposição à fotografia aérea ortorectificada de sobrevoo regional, na escala de 1:10.000 gentilmente cedida pelo PARANÁ CIDADES (Serviço Social Autônomo – Agência de Guarapuava – PR). Além destes materiais foram extraídas imagens de satélite do Programa LANDSAT 8, obtidas no site Libra (2017), referente a data de 13/04/2018. Este procedimento foi realizado em ambiente SIG, com a finalidade de vetorização da drenagem, georreferenciamento das imagens e observação de características do canal fluvial.

O mapa geológico efetuado pela Mineropar (2013) foi utilizado como base para este estudo, incluindo sua sistemática de nomenclatura. Efetuou-se a conferência em campo, para possíveis correções da localização e área de abrangência das litologias, principalmente nos ambientes de leito fluvial e vertentes de acesso direto ao rio. Os trabalhos de campo serviram também para a identificação e caracterização das morfologias do perfil e do leito.

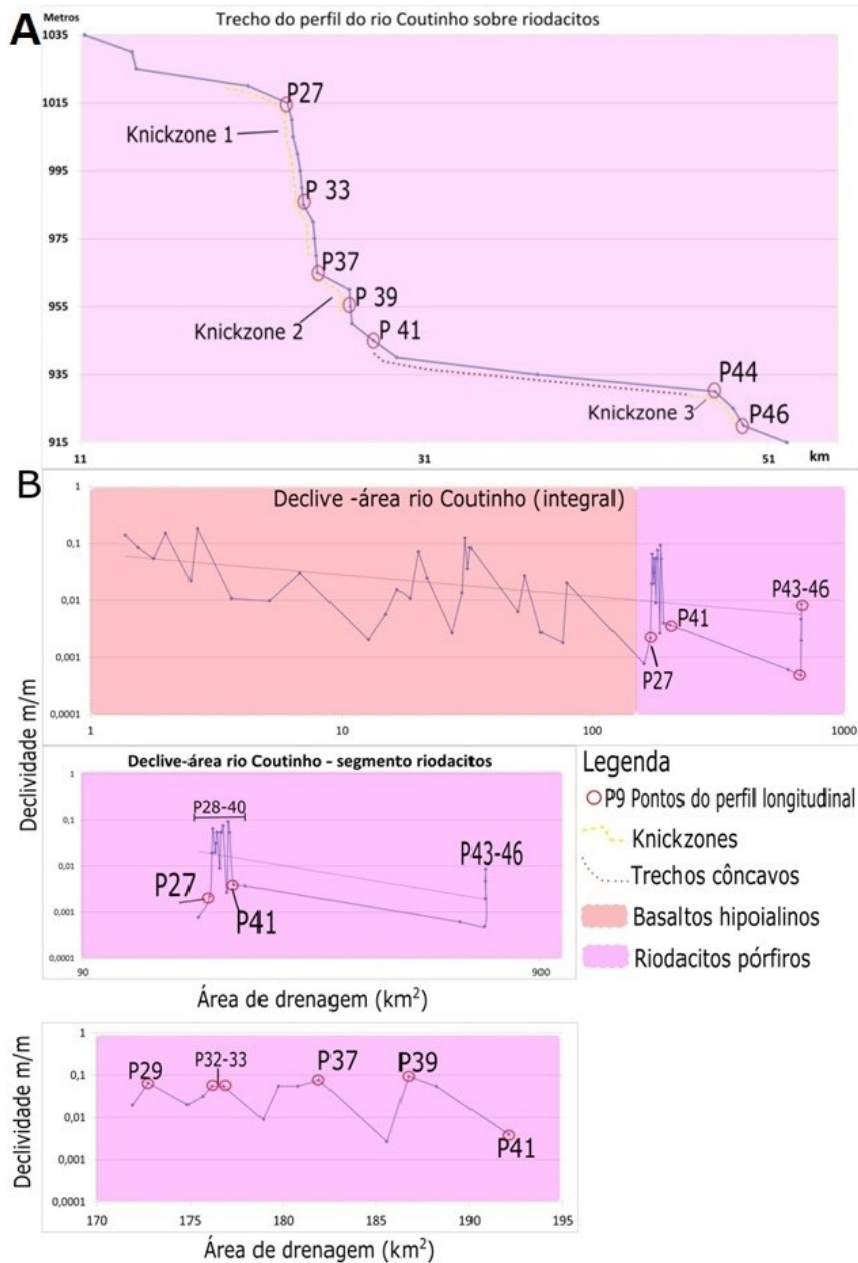
Foram ainda confeccionadas lâminas delgadas de 20 amostras de riocitos coletadas em diferentes pontos ao longo do leito fluvial, para obtenção de características petrográficas e microestruturais da rocha, com a finalidade de compreender o comportamento erosivo e a formação das morfologias fluviais identificadas em campo. As amostras foram analisadas com auxílio de microscópio ótico, conforme os procedimentos de análise de Perkins e Henke (2000) e Raith, *et al.* (2014). A comparação com trabalhos regionais (e.g. MINEROPAR, 2013) também auxiliou na identificação dos minerais constituintes.

### 4. Resultados e Discussões

O perfil do rio Coutinho em riocitos apresenta uma característica básica comum a outros rios sobre rochas ígneas, independente da extensão longitudinal, que é o seu escalonamento em patamares. Estes também foram observados em pesquisas regionais em outros subtipos ígneos da região (LIMA, 2014). Os patamares formam os denominados *knickpoints* e *knickzones* que segundo Crosby e Whipple (2006) são quebras ou rupturas de declive, que podem formar anomalias de declive no perfil longitudinal de um rio.

Autores como Whipple (2004), Goudie (2004) e Salamuni (2013) afirmam ainda que são várias as causas do surgimento de anomalias de declive, mas as principais estão ligadas à erosão diferencial dos litotipos envolvidos e a

brusca mudança de nível de base, inclusive pelas estruturas tectônicas formadas de ciclos anteriores ou ainda pela neotectônica local. Normalmente essas anomalias formam corredeiras e cachoeiras, constituindo os principais setores erosivos. Nesta pesquisa, com auxílio inicial da relação declive-área, aplicada ao rio Coutinho, considerou-se os pontos destoantes do gráfico produzido como os trechos com possível ocorrência de *knickpoints*. Com a análise de imagens de satélite e fotografias áreas foram confirmadas as localizações e realizados os campos para verificação dos pontos gerados nos gráficos (**Figura 2**).



**Figura 2:** Trechos do perfil do rio Coutinho sobre riodacitos em A; gráficos da relação declive-área para o perfil integral e discretizado em B. Os pontos destoantes na reta orientaram as saídas a campo.

Os *knickpoints* foram confirmados em campo, bem como a presença de sequências morfológicas em degraus e depressões (*step-pool*), intercalados aos *knickpoints*. Estas sequências morfológicas caracterizam as chamadas *knickzones*, que correspondem aos trechos convexos do perfil longitudinal do rio (**Figura 3A**).

No geral, as morfologias que perfazem as *knickzones* se sucedem em degraus pequenos de 60 cm em média (**Figura 3A**) e aumentam em seu desnível gradativamente até um *knickpoint* de maior amplitude, que pode passar de 5 m de desnível, como o da **Figura 3B** ou serem menores de 10 cm, como o trecho do ponto 46 do perfil do rio (**Figura 3C**).

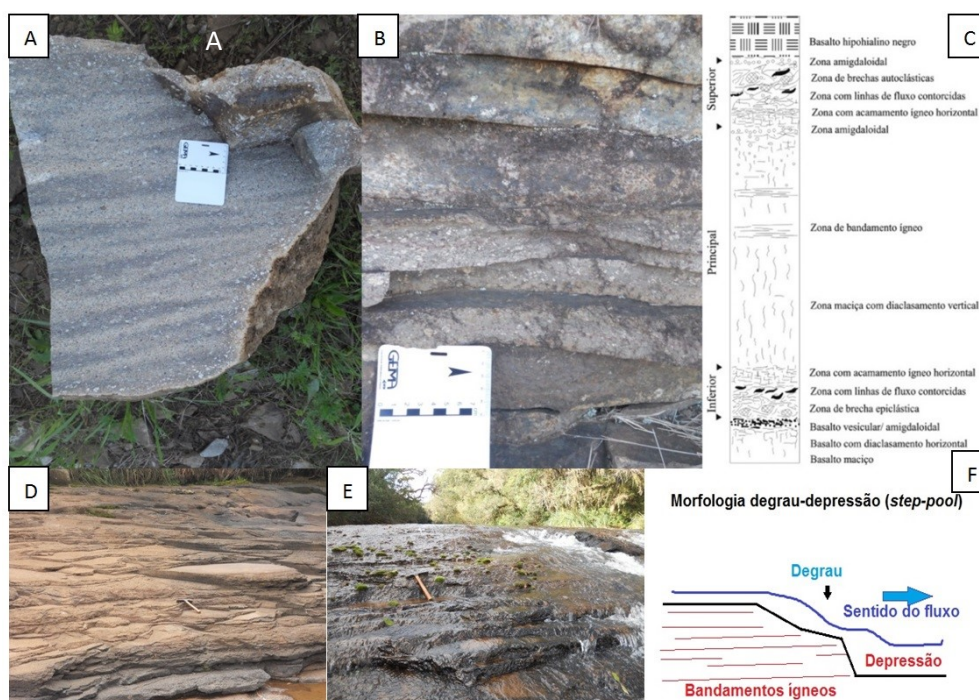
Ao longo destas *knickzones* foram observadas as feições que remetem aos processos fluviais denudacionais, principalmente circunscritos aos pontos relativos aos *knickpoints*. Estes trechos de *knickzones* configuram-se como as áreas de convexidade do perfil do rio sobre os riodacitos e por sua vez, os trechos onde se imprime também resistência erosiva por parte da litologia, frente ao fluxo do rio. Quando tais frentes litológicas se mostram suplantadas pelos processos fluviais, formam-se as depressões citadas, promovendo gradativamente o rebaixamento do perfil do rio.



**Figura 3:** Pontos do perfil do rio referente as três *knickzones* analisadas. Em A, ponto 31-32 do perfil; em B, ponto 34 e em C ponto 46 do perfil do rio.

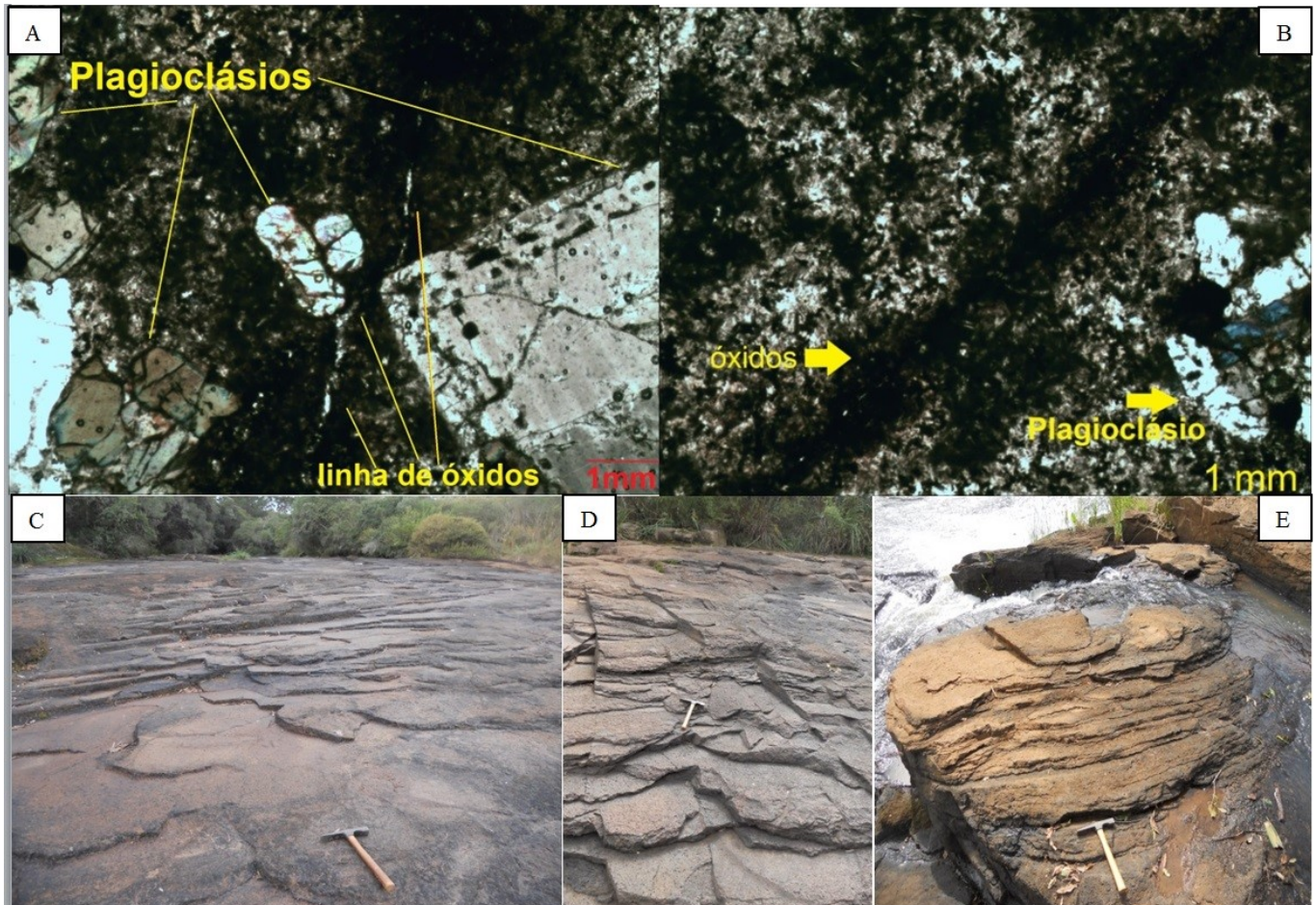
As depressões apresentam, no geral, pouca profundidade, não mais de 20 cm, nas mais profundas. Após os *knickpoints* mais íngremes as depressões chegam por vezes a 1 m de profundidade. Os trechos que separam as pequenas depressões, muitas vezes se apresentam microescalonados (**Figura 4D**), controlados inicialmente pela erosão diferencial oriunda dos bandamentos mineralógicos dos riodacitos (**Figura 4A-C**). Os degraus tornam-se maiores quando aumenta a densidade de diaclasamento vertical da rocha e dispostos de modo transversal à direção de fluxo do rio (**Figura 4E-F**).

As morfologias do tipo degrau-depressão já foram descritas regionalmente, para os basaltos inferiores do Grupo Serra Geral, onde a diferença de resistência erosiva entre níveis vesiculares e maciços são responsáveis por escalonamentos de ampla escala (LIMA e BINDA, 2013).



**Figura 4:** Em A e B, amostras menos intemperizadas identificando os bandamentos ígneos. Em C, modelo de Nardy *et al.* (2008) para rochas ácidas como os riodacitos; em D e E, um dos trechos (ponto 35 do perfil do rio), onde foi observado as feições erosivas a partir dos bandamentos ígneos que caracterizam as morfologias degrau-depressão, exemplificado em F.

Quando analisadas as lâminas de riodacitos sob microscópio ótico (**Figura 5 A-B**), verifica-se que as discontinuidades representadas por linhas de óxidos formam as zonas preferenciais de alteração da rocha e parecem ser determinantes para a formação mais generalizada do diaclasamento da rocha intemperizada, dando-lhe um aspecto semelhante a rochas sedimentares (**Figura 5 C-E**). Esta configuração foi observada em todas as *knickzones*, sendo determinante na formação dos degraus e depressões ao longo dos trechos convexos do rio. Quanto mais densa as linhas de discontinuidades, maior parecia ser a evolução erosiva e avanço dos processos fluviais incidentes.



**Figura 5:** Algumas das lâminas produzidas (A-B) a partir de amostras do leito fluvial em riodacitos e feições erosivas formadas pela intemperização dos bandamentos ígneos dos riodacitos, em diferentes pontos das *knickzones* analisadas (C – pontos 28-29; D – ponto 36; E – ponto 39).

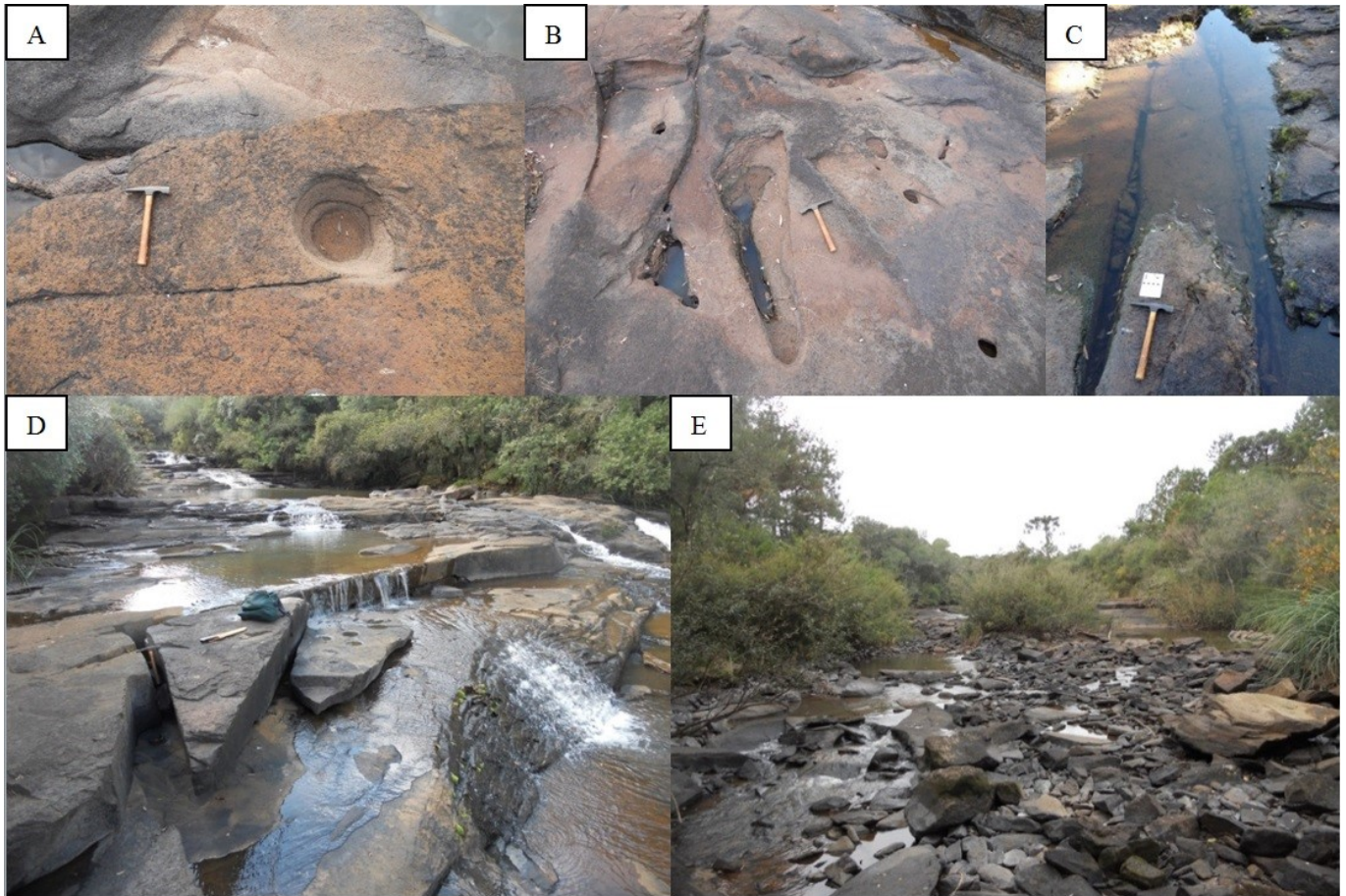
Diáclases verticais e horizontais facilitam a formação de blocos tabulares de variados tamanhos e espessuras, os quais ficam sujeitos à ação do impacto dos sedimentos em trânsito no leito, produzindo uma morfologia de degraus em complexidades distintas.

A abrasão foi inferida pela formação de feições de superfícies polidas e/ou de escavação, geradas pelo turbilhonamento (vórtices) de material sobre as irregularidades da rocha ou mesmo nas diáclases mais profundas. As formas circulares sobre o leito rochoso apresentam-se como marmitas de alguns centímetros de profundidade. As ferramentas responsáveis pela abrasão são clastos soltos pela quebra da rocha enfraquecida pela intemperização (**Figura 6 A-B**).

O alargamento das diáclases também ocorre pela inserção destes clastos em pontos específicos do leito do rio, contribuindo para a separação de blocos rochosos (**Figura 6C**). Blocos mais espessos (em alguns casos de tamanhos métricos) podem passar a se deslocar em porções inteiras ao longo do rio (**Figura 6E**). Em trechos mais depressionários das *knickzones* foi possível observar quantidades e tamanhos variados de riodacitos carregados, provavelmente em períodos diferentes do regime de vazão do rio (**Figura 6D**).

Desta forma, os processos de abrasão/macro abrasão, bem como arrancamento foram os processos fluviais mais observados nos trechos de *knickzones*. O potencial denudativo de maior força destes processos fluviais, contudo,

são enormemente facilitados pela composição da rocha, que sofre rapidamente com o intemperismo generalizado. Fenocristais de plagioclásio, disseminados por toda a rocha, são facilmente intemperizáveis, reduzindo a resistência à abrasão e ao arrancamento. O alargamento das diáclases pela intemperização localizada parece ser muito rápido no tempo, promovendo a separação e deslocamento em grande abundância de blocos variados da rocha, que por sua vez, funcionarão como mais ferramentas adicionais de incisão sobre o leito do rio.



**Figura 6:** Diferentes pontos das *knickzones* analisadas onde foi possível observar feições de abrasão (A e B) e de arrancamento via alargamento das diáclases pela ação hidráulica e erosão diferencial (C e D), bem como, deposição do material removido pela vazão (E).

Nos trechos de concavidade ou baixa declividade relativa foi a morfologia depressão-soleira (*pool-riffle*) a mais observada. Acumulações de blocos arrancados das *knickzones* formam barras de pouca espessura (<50 cm), porém de ampla extensão (dezenas de metros), intercalados por zonas aprofundadas no leito rochoso.

As barras são feições morfológicas transitórias e dependem da capacidade do rio de carrear ou depositar os blocos arrancados. O acúmulo dos blocos dos trechos que integram as morfologias depressão-soleira, por vezes, formam trechos inteiros de blocos cobrindo o leito de margem a margem (**Figura 7A**), mais ou menos fixas ou transitórias no tempo (**Figura 7 B-C**), promovendo, ocasionalmente, o desvio de fluxo do rio em ramificações ou deposição nas margens (**Figura 7 D-F**).

Nestes trechos de baixa declividade relativa também foi observado, além do meandramento, o estreitamento do canal, diminuindo de 35 metros de largura nos trechos de *knickzones*, em média, para menos de 12 metros em alguns segmentos. Além dos blocos de maior diâmetro depositados nos trechos de concavidade, também foram observados materiais mais finos, compondo a carga carreada pela vazão e em grande medida, quando depositada nas margens, coberta pela vegetação ripária (**Figura 7G**).



**Figura 7:** Pontos referentes a trechos de baixa declividade relativa do rio Coutinho em riodacitos, onde se configura as morfologias depressão-soleira. Em A, segmento entre os pontos 37-38 do perfil do rio; em B-C, entre os pontos 33-34; em D estreitamento do leito fluvial no ponto 29; em E, imediações do ponto 38; em F, início do ponto 40 e em G, meandro entre pontos 41 e 42.

## 5. Conclusões

A principal conclusão sobre a análise realizada em trecho de leito fluvial rochoso em riodacitos é que as morfologias do leito dependem da interação entre composição mineralógica e suscetibilidade diferencial ao intemperismo, seguida do diaclasamento dos riodacitos.

O leito fluvial estudado apresenta características de zona central de derrame ígneo ácido, conforme indicam os estudos regionais já realizados. Esta condição proporciona à rocha um bandamento de origem ígnea e textura porfírica. As discontinuidades produzidas por essa estrutura horizontalizada influenciam na formação de patamares erosivos, fruto da intemperização acentuada das linhas de óxidos. A intemperização dos fenocristais de plagioclásio favorece a diminuição da resistência das rochas.

O impacto dos clastos em trânsito sobre a rocha que apresenta a resistência diminuída e discontinuidades horizontais induzidas por zonação mineral e intemperismo diferencial possibilita a macro abrasão. O destacamento de blocos acelera a formação das morfologias em degraus. Os sedimentos em trânsito ainda favorecem o alargamento das diaclases, aumentando a remoção de lajes métricas dos riodacitos.



A presença de morfologia escalonada, em micro e macro escala é predominante nas *knickzones* dos riodacitos. Os trechos de baixa declividade relativa formam meandros, permitindo a presença das morfologias depressão-soleira (*pool-riffle*), que evoluem conforme a capacidade de transporte dos rios e do material carreado.

Pelos levantamentos efetuados nesta pesquisa, percebeu-se a necessidade de entender melhor a participação das diáclases no condicionamento das morfologias do leito, sobretudo na evolução erosiva das *knickzones*. Algumas questões ainda em aberto e que estão sendo alvo de investigação referem-se, por exemplo, à densidade das diáclases verticais e sua influência na geração de *knickpoints* e a relação das fraturas do leito com lineamentos tectônicos.

## REFERÊNCIAS

- CROSBY, B. T.; WHIPPLE, K. X. Knickpoint initiation and distribution within fluvial networks: 236 waterfalls in the Waipaoa River, North Island, New Zealand. **Geomorphology**, 82(1-2), 16-38. 2006. <<http://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.08.023>>
- DUVALL, A., KIRBY, E.; BURBANK, D. W. Tectonic and lithologic controls on bedrock channel profiles and processes in coastal California. *Journal of Geophysical Research*, 109(F3), F03002. 2004. Disponível em: <<http://doi.org/10.1029/2003JF000086>>.
- FLORES, D.M. Resposta geomorfológica de rios em leitos rochosos sobre áreas de derrames ígneos da Formação Serra Geral membro superior. **Tese (Doutorado)**- Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. Departamento de Geografia. Área de concentração: Geografia Física. 316 f. São Paulo, 2017.
- GOUDIE, A. S. **Encyclopedia of Geomorphology**, Volume 2. Routledge London, 2004.
- HANKS, T.C., WEBB, R.H. Effects of tributary debris on the longitudinal profile of the Colorado River in Grand Canyon. **J. Geophys. Res. (Earth Surf.)** 111, F02020. 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1029/2004JF000257>>.
- HOWARD, A. D.; KERBY, G. Channel changes in badlands. **Geol. Soc. Amer. Bull.**, New York, v. 94, p. 739-752, 1983.
- JOHNSON, J. P. L.; WHIPPLE, K. X. Evaluating the controls of shear stress, sediment supply, alluvial cover, and channel morphology on experimental bedrock incision rate, **J. Geophys. Res.** 115, F02018, 2010. Disponível em: <<http://doi.org/10.1029/2009JF001335>>.
- KIRBY, E.; WHIPPLE, K. X. Quantifying differential rock-uplift rates via stream profile analysis, **Geology**, 29(5), 415-418. 2001.
- KIRBY, E., WHIPPLE, K. X., TANG, W., CHEN, Z. Distribution of active rock uplift along the eastern margin of the Tibetan Plateau: Inferences from bedrock channel longitudinal profiles. **Journal of Geophysical Research**, 108 (B4), 2217. 2003. Disponível em: <<http://doi.org/10.1029/2001JB000861>>.
- LIBRA. [LANDSAT 8]. 2017. Disponível em: <<https://libra.developmentseed.org>>. Acesso em: 29 mai.18.
- 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 em Geografia**. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Curso de Pós-Graduação em Geografia. Florianópolis, 240 f, 2009.
- LIMA, A.G.; BINDA. A.L. Lithologic and structural controls on fluvial knickzones in basalts of the Paraná Basin. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 48, p. 262-270. 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2013.10.004>>.
- LIMA, A.G. Uso da relação declive-área para avaliação de interferências neotectônicas em perfil longitudinal de rio. **Boletim de Geografia**, v. 32, n. 2, p. 158-172. 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4025/bolgeogr.v32i2.18848>>.
- LIMA, A.G. Uso da relação declive-área para avaliação de interferências neotectônicas em perfil longitudinal de rio. **Boletim de Geografia**, v. 32, n. 2, p. 158-172. 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4025/bolgeogr.v32i2.18848>>

LIMA, A.G.; BINDA, A.L. Differential control in the formation of river potholes on basalts of the Paraná Volcanic Province. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 59, p. 86-94, 2015. Disponível em: <[dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2015.02.004](http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2015.02.004)>.

LIMA, A. G.; FLORES, D. M. River slopes on basalts: Slope-area trends and lithologic control. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 76, p. 375–388, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2017.03.014>>.

MINEROPAR. Serviço Geológico do Paraná. **Mapa Geomorfológico do Estado do Paraná**. Curitiba : Mineropar. 2006.

MINEROPAR. Serviço Geológico do Paraná - MINEROPAR. **O Grupo Serra Geral no Estado do Paraná**. Curitiba : Mineropar, 2013. 2 v.

MONTGOMERY D. R. Process domains and the river continuum. *Jawra*. Volume 35, Issue 2 April. Pages 397–410. 1999. Disponível em: <<http://doi:10.1111/j.1752-1688.1999.tb03598.x>>.

NASA. **Shuttle Radar Topography Mission** - SRTM. Disponível em: <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/index.html>>. Acesso em: 21 jun. 2018.

NARDY, A. J. R; MACHADO, F.B; OLIVEIRA A.F de. As rochas vulcânicas mesozóicas ácidas da Bacia do Paraná: Litoestratigrafia e considerações geoquímico-estratigráficas. In: **Revista brasileira de geociências**. São Paulo, 01 -23 de março de v. 38, p. 26-33, 2008.

PAIVA FILHO A. **Estratigrafia e tectônica do nível de riocacitos pórfiros da Formação Serra Geral**. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rio Claro, São Paulo, Tese de Doutorado, 185 p. 2003.

PARANÁ CIDADES – SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO URBANO. **Fotografias áreas ortorretificadas**. [Gurapuava], Escala 1: 10.000. 2001.

PERKINS, D.; HENKE, K. R. **Minerals in thin sections**. New Jersey, ed. Prentice Hall. 2000.

RAITH, M.M.; RAASE P.; REINHARDT J. **Guia para microscopia de minerais em lâminas delgadas**. Tradução de Maria do Carmo Gastal e Márcia Elisa b. Gomes. 126 pp. e-Book ISBN 978-3-00-046279-5 (PDF), 2014.

SALAMUNI, E.; NASCIMENTO, E. R.; SILVA, P. A. H.; QUEIROZ, G. L.; SILVA, G. Knickpointfinder: ferramenta para a busca de geossítios de relevante interesse para o geoturismo. **Boletim Paranaense de Geociências**, n. 70. p 200-208. 2013.

SELANDER, J.A. Processes of knickpoint propagation and bedrock incision in the Oregon Coast Range. University of Oregon B.S.; **Thesis**, Eugene, Oregon. 2004.

SNYDER, N.P.; WHIPPLE, K.X.; TUCKER, G.E.; MERRITTS, D.J. Channel response to tectonic forcing: field analysis of stream morphology and hydrology in the Mendocino triple junction region, northern California. **Geomorphology**, v.53, p. 97-27, 2003.

SPRINGER, G. S., TOOTH, S.; WOHL, E. E. Dynamics of pothole growth as defined by field data and geometrical description, **J. Geophys. Res.**, 110, F04010, 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1029/2005JF000321>>.

STOCK, J.D.; MONTGOMERY, D.R. Geologic constraints on bedrock river incision using stream power law. **J. Geophys. Research**, v.104, p. 4983-4993, 1999. Disponível em: <<https://doi:10.1029/98JB02139>>.

WHIPPLE, K.X., TUCKER, G.E. Dynamics of the stream-power river incision model: implications for height limits of mountain ranges, landscape response timescales, and research needs. **J. Geophys. Res.** 104, 17661e17674. 1999.

WHIPPLE, K.X.; HANCOCK, G.S.; ANDERSON, R.S. River incision into bedrock: mechanics and relative efficacy of plucking, abrasion, and cavitation. **Geol. Soc. Am. Bull.**, v.112, n.3, p. 490–503, 2000.

WHIPPLE, K.X.; TUCKER, G.E. Implications of sediment flux dependent river incision models for landscape evolution. **J. Geoph. Research**. v.107, n.B2, 2002. Disponível em: <<https://doi:10.1029/2000JB000044>>.

WHIPPLE, K. X. Bedrock Rivers and the Geomorphology of Active Orogens. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, 32(1), 151–185. 2004. Disponível em: <<http://doi.org/10.1146/annurev.earth.32.101802.120356>>.

WHIPPLE, K. X.; DI BIASE, R. A.; CROSBY, B. T. Bedrock Rivers. **In Treatise on Geomorphology** (Vol. 9, pp. 550-573). Elsevier Inc. 2013. Disponível em: < <http://doi: 10.1016/B978-0-12-374739-6.00254-2>>

ZAPROWSKI, BRENT J.; EVENSON, EDWARD B.; PAZZAGLIA, FRANK J.; EPSTEIN, JACK B. Knickzone propagation in the Black Hills and northern High Plains: A different perspective on the late Cenozoic exhumation of the Laramide Rocky Mountains, **Geology**, v. 29, no. 6, p. 547-550, 2001.