

15º SIMPÓSIO NACIONAL DE
GEOMORFOLOGIA

PROCESSOS DE EPIGENIA NA FORMAÇÃO DE ESCARPAS APALACHIANAS DA FACHADA LESTE DO PLANALTO ATLÂNTICO CAPIXABA.

Roberto José Hezer Moreira Vervloet ¹
Fábio Luiz Mação Campos ²

RESUMO

O Planalto Atlântico Capixaba, localizado na porção centro-leste do Espírito Santo possui um sistema de escarpas apalachianas que evidencia processos diferenciais de evolução, controlados pela dinâmica de knickpoints sobre rochas cristalinas dobradas. A gênese dessas escarpas está associada à organização litotectônica neoproterozóica das rochas que as sustentam e aos processos de epigenia, advindos da incisão de canais fluviais. É com base neste contexto que estudamos a formação geomórfica dessas escarpas e sua relação com os processos epigênicos realizados pela drenagem que se instalou sobre esses terrenos. Especificamente, foram investigados os principais processos de epigenia e características da dinâmica fluvial nas escarpas, sua compartimentação com base em critérios morfológicos e morfográficos e a evolução dos knickpoints, a partir da incisão epigênica dos canais sobre rochas dobradas. Para isso, foram realizados procedimentos de compartimentação, por meio de cartografia geomorfológica, análise cartográfica e compilação de dados litoestruturais, litotectônicos de rochas dobradas e sistemas de falhas, lineamentos estruturais, construção de seções morfogeológicas e dados geomorfológicos integrados com tectônicos. Foi possível compreender a evolução diferencial dos escarpamentos, associados à erosão de leito fluvial com predominância de carga de fundo do tipo arenosa, durante intervalo de tempo (cenozóico) suficiente para o aprofundamento do canal e evolução epigênica. Processo que respondeu pela compartimentação atual da paisagem e gênese de cachoeiras e sistemas de escarpas apalachianas de forte beleza cênica sobre flancos de rochas dobradas.

INTRODUÇÃO

A fachada leste do Planalto Atlântico capixaba, localizado na porção central do Estado do Espírito Santo, possui sistema de escarpas apalachianas peculiar que evidencia processos diferenciais de evolução, controlados pela dinâmica de knickpoints sobre rochas cristalinas dobradas (VERVLOET, 2015; 2023). O processo geomórfico responsável por essas escarpas está fortemente associado à organização litotectônica neoproterozóica das rochas que as sustentam e aos processos de epigenia fluvial, levados a efeito pela incisão de canais, em condições morfogenéticas muito específicas.

Processos de epigenia, através da incisão fluvial sobre rochas cristalinas dobradas é um tema clássico da geomorfologia fluvial, estudados desde os trabalhos

¹ Geógrafo do Instituto Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – IEMA/ES. Doutor em Geografia Física pela Universidade de São Paulo - USP robertovervloet@gmail.com

² Professor do Instituto Federal do Espírito Santo – IFES. Doutorando em Geografia pela Universidade Federal do Espírito Santo - UFES fabiomacao@gmail.com



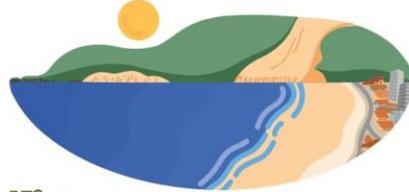
mais antigos até os mais recentes (DAVIS 1902; LEOPOLD; WOLMAN; MILLER, 1964; SKLAR; DIETRICH, 1998; SCHUMM, 1999; SKLAR, et al.; 2006; SKLAR; DIETRICH, 2012; LARIMER; YANITES; JUNG, 2022). Em diferentes períodos históricos de desenvolvimento da geomorfologia novas abordagens surgem, no entanto, mantendo o elemento comum relativo à importância da ação fluvial na esculturação da paisagem. Mais recentemente, trabalhos experimentais e de modelagem tem fortalecido o subcampo geomorfológico dos estudos de incisão epigênica sobre rios de leitos rochosos (bedrock), trazendo resultados interessantes sobre a importância de se considerar o papel da carga do leito na abrasão fluvial, dentro de uma ótica exclusivamente associada a anisotropia litológica (SMALL, et al., 2015; SHOBE, et al., 2017; YANITES, 2018; DELISLE; YANITES, 2024).

É levando em consideração os conhecimentos mais recentes sobre a dinâmica da abrasão fluvial sobre leitos rochosos, seja em litoestruturas dobradas ou falhadas, que este trabalho teve como objetivo central estudar a formação geomórfica de escarpas atlânticas no planalto capixaba e sua relação com os processos epigênicos realizados pela drenagem que se instalou sobre esses terrenos. De forma mais específica, foram investigados os principais processos de epigenia e características da dinâmica fluvial nessas escarpas; a compartimentação geomórfica, com base em critérios morfológicos, morfográficos e evolução dos knickpoints, a partir da incisão epigênica dos canais sobre rochas cristalinas dobradas.

LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo onde ocorre processos de epigenia geradores de escarpas apalachianas, situa-se no Planalto Atlântico capixaba, em especial na sua fachada leste. Este planalto localiza-se na porção centro-leste do Espírito Santo, podendo ser visualizado pelo mapa tectônico e litológico (figura 01) da área em estudo, entre as coordenadas de 20°30'00" e 20°0'00" de latitude sul e 41°0'00" e 40°30'00" de longitude oeste.

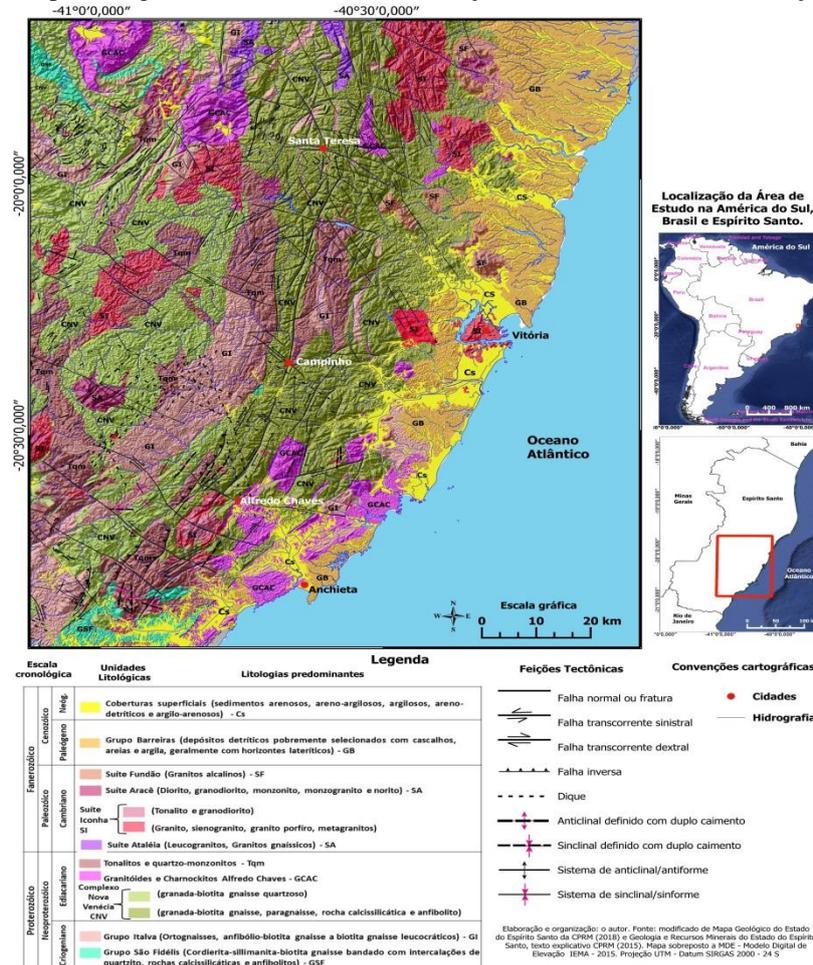
A área faz parte da zona de conexão entre os orógenos Ribeira e Araçuaí (HEILBRON et al., 2004), com litoestruturas orientadas, predominantemente, a NE, na parte sul, principalmente falhas transcorrentes, zonas de cisalhamento e planos axiais de



15º SIMPÓSIO NACIONAL DE
GEOMORFOLOGIA

sistemas de dobras. Nota-se a forte orientação de lineamentos topográficos, seguindo também a direção NE, traço característico do orógeno Ribeira, até a região de Vitória.

Figura (01). Mapa litológico e tectônico com a localização da área de estudo. Elaboração: os autores.



Das imediações dessa cidade, em direção ao norte, as litoestruturas e as feições tectônicas passam a predominar na direção NW, característica principal do orógeno Araçuaí, nesta porção do Espírito Santo, condicionados pelo alinhamento Vitória-Ecoporanga (SILVA et al., 1987). Notável, neste sentido, são os lineamentos topográficos desse alinhamento litoestrutural, com forte repercussão nos processos epigênicos de cursos fluviais que cortam essas feições de forma ortogonal, como veremos adiante.

Do ponto de vista exclusivamente litológico, o principal grupo de rochas ocorrentes são os gnaisses, paragneisses, quartzitos e rochas calcissilicáticas do Complexo Nova Venécia. Essas rochas sustentam todos os tipos de escarpas apalachianas na área e possuem forte expressão espacial, com sistemas de dobras amplas, com planos axiais orientados a N, NE e NNE, conjugados com sistemas de



falhas transcorrentes na mesma direção. Granitóides e Charnockitos denominados Alfredo Chaves e as suítes intrusivas pós-tectônicas, com tonalitos, granitos, dioritos, granodioritos, monzonitos, monzogranitos e sienogranitos ocorrerão em diversos setores tendo, também, importante expressão espacial. Esses litotipos terão dobras esparsas, com pequena expressão espacial e de geometria apertada, tendo associação com diversos tipos de escarpas, como veremos adiante. Coberturas superficiais Cenozóicas do Grupo Barreiras (cascalhos, areias e argilas) e sedimentos arenosos, areno-argilosos e areno-detríticos ocorrerão na zona costeira, não tendo relação tectônica direta com os escarpamentos, mas sendo produto do esvaziamento erosivo destes.

METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS TÉCNICOS.

A metodologia que embasou este estudo se fundamenta na integração de dados coletados a partir de procedimentos de compartimentação geomorfológica, conforme critérios de Vervloet (2023), por meio da cartografia geomorfológica, possibilitando associar processos de epigenia com grupos de compartimentos de formas, conforme o método da associação e indeterminação geomorfológica de Leopold e Langbein (1970). Para isso as seguintes etapas foram realizadas.

- Compartimentação geomorfológica da área, segundo procedimentos de Vervloet (2015; 2023). Critério importante utilizado nesta compartimentação foi a morfologia e morfografia das formas, segundo classificação de Baulig (1956) e Ruhe (1975), fotointerpretado pelos modelos digitais de elevação utilizados. Na elaboração do mapa geomorfológico foi aplicada a simbologia proposta por Joly (1997).

- Levantamentos de dados cartográficos litológicos e tectônicos sobre os principais grupos de rochas e feições tectônicas, a partir de dados de campo e da literatura, permitindo produzir o mapa litológico e tectônico em escala adequada.

- Mapeamento dos setores de ocorrência de knickzonas nos cursos fluviais, conforme procedimentos de Vervloet (2015a), permitindo verificar as zonas de ocorrência epigênica ao longo das escarpas. Esses dados foram somados aos do mapa geomorfológico realizado para a área de estudo.

A análise cartográfica e compilação de dados litoestruturais, litotectônicos de rochas dobradas e sistemas de falhas, lineamentos estruturais, construção de seções morfogeológicas foram baseados em Nadalin e Nadalin (2016). Trabalhos de campo



foram realizados para coleta de dados litoestruturais e geomorfológicos, no entanto, não serão apresentados, devido às limitações do artigo. Para este trabalho os principais produtos cartográficos elaborados foram os mapas litológico e tectônico, geomorfológico, perfis longitudinais e topográficos associados.

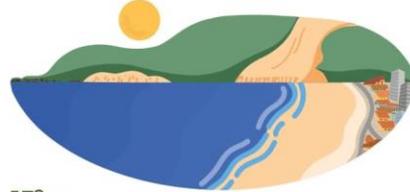
A base cartográfica utilizada foram imagens do Modelo Digital de Elevação com resolução espacial de 2 metros e levantamento aerofotogramétrico com resolução espacial de 0,50 metros do Instituto Estadual de Meio Ambiente do Espírito Santo. A boa resolução espacial e a qualidade das fotos permitem trabalhar níveis bem detalhados do relevo, através de fotointerpretação geomorfológica. Os mapas e dados serão apresentados e discutidos ao longo do trabalho.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A incisão fluvial é um dos principais mecanismos capazes de provocar epigenia fluvial na paisagem, tendo como produto a gênese de leitos rochosos, caracterizados por rupturas de declive, denominados na literatura de knickpoints (LEOPOLD; WOLMAN; MILLER, 1995). Segundo Joly (1997, p. 140) os processos epigênicos da drenagem podem ser classificados como: epigênese por sobreposição, onde ocorre o encaixe do curso fluvial em estrutura subjacente a cobertura discordante ou superfície de erosão, sobre a qual este se estabeleceu; e epigênese por antecedência, onde ocorre o encaixe do curso fluvial em leito rochoso que sofre deformação tectônica após seu estabelecimento. A compartimentação geomórfica realizada evidencia que a epigenia responde na área pelos seguintes sistemas de escarpas, conforme a morfografia: escarpas alinhadas, fraturadas, residuais e contínuas, como se observa no mapa geomorfológico da figura (02).

Até o presente momento, neste trabalho, foi possível identificar a ocorrência de processos epigênicos por sobreposição, que responde pelo direcionamento dos cursos fluviais principais no sentido ortogonal às litoestruturas e feições tectônicas do planalto.

Esse corte das litoestruturas no sentido ortogonal é o grande traço marcante dos processos de incisão fluvial, demonstrando como os canais conseguem erodir o leito rochoso, orientado no sentido contrário ao fluxo fluvial. Tal processo responde pela gênese das escarpas contínuas, na porção mais ao sul do planalto e escarpas alinhadas mais ao norte.



15º SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA

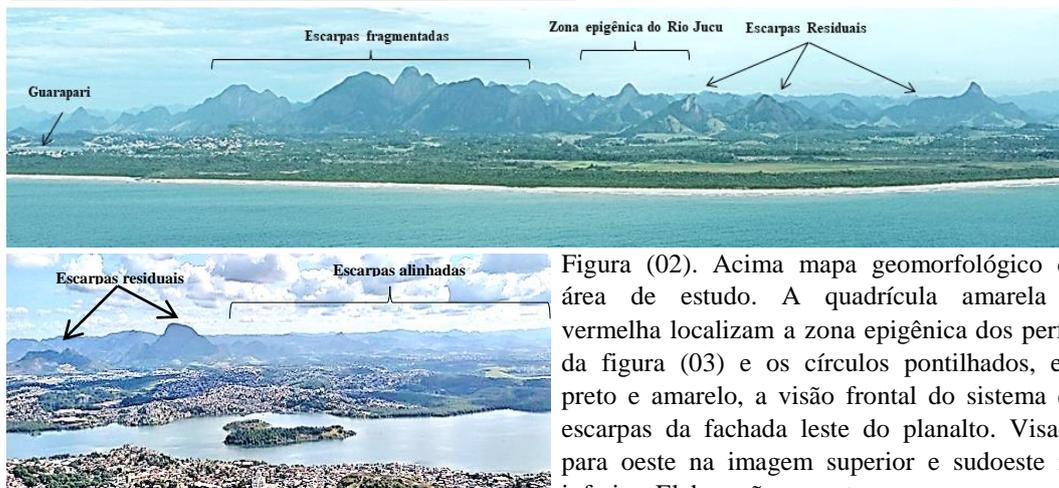
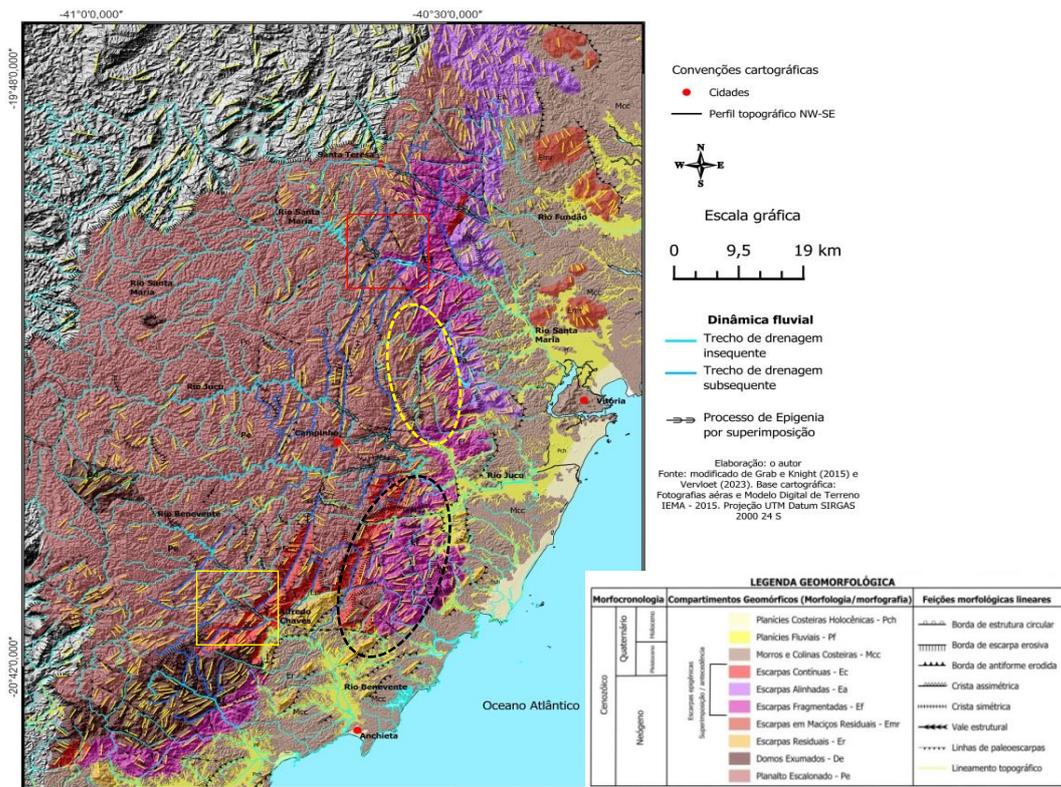


Figura (02). Acima mapa geomorfológico da área de estudo. A quadrícula amarela e vermelha localizam a zona epigênica dos perfis da figura (03) e os círculos pontilhados, em preto e amarelo, a visão frontal do sistema de escarpas da fachada leste do planalto. Visada para oeste na imagem superior e sudoeste na inferior. Elaboração: os autores.

A incisão fluvial sobre litoestruturas orientadas no sentido contrário ao fluxo ocorre em função do regime de erosão com predominância da carga do leito, em geral, de granulometria areia média a areia muito grosseira, chegando até a classe dos cascalhos. Isso ocorre em função da disponibilidade de sedimentos oriundos de fontes litológicas quartzíticas e da capacidade do leito de erodir, por saltação-abrasão, o canal fluvial rochoso (SKLAR, DIETRICH, 2008; EGHOLM; KNUDSEN; SANDIFORD, 2013).

A rocha predominante no Planalto Atlântico são gnaisses e quartzitos do Complexo Nova Venécia, como dito anteriormente, que disponibilizam, nas regiões de



cabeceira dos rios Benevente, Jucu, Santa Maria e Fundão, suprimento sedimentar arenoso e de cascalhos que é transportado como carga de fundo. Neste sentido, o processo de incisão fluvial dominante será o de saltação-abrasão, erodindo o leito fluvial, no sentido perpendicular as litoestruturas, respondendo por epigenia clássica por sobreposição, em flancos de rochas dobradas. Nas imediações das cabeceiras do Rio Benevente, a predominância de quartzitos e gnaisses quartzíticos é ainda mais expressiva, sendo, por este rio, transportado como carga de leito, vistos a olho nu, em observações de campo (VERVLOET, 2015; 2023). A combinação desses dois fatores ajuda a explicar porque o Rio Benevente (90 km), com extensão menor do que o Rio Santa Maria (160 km), conseguiu desenvolver zonas de incisão epigênicas mais pronunciadas do que este, resultando em escarpas contínuas expressivas espacialmente, em detrimento das escarpas alinhadas da bacia homônima, como se observa no mapa geomorfológico (figura 02) e perfis longitudinais topográficos desses dois rios (figura 03).

A distribuição e configuração morfológica das escarpas tem forte associação com as características litológicas, tectônicas e com a maneira como as bacias da fachada leste do planalto dissecam essas litoestruturas, rompendo as porções mais resistentes das rochas, através de epigenia pelos canais principais. Os canais das bacias dos rios Benevente, Jucu, Santa Maria e Fundão irão apresentar diversos trechos de drenagem consequente, onde os processos de incisão fluvial e epigenia da paisagem ocorreram de forma mais pronunciada, como se observa no mapa geomorfológico.

Como é possível deduzir pelos perfis longitudinais e topográficos dos rios Benevente e Santa Maria, são nas zonas epigênicas onde os knickpoints controlam a evolução da drenagem, tendo sistemáticas rupturas de declive associadas a escarpas fragmentadas e contínuas. A evolução desses knickpoints tem forte associação com a compartimentação dessas escarpas, em zonas de falhas transcorrentes e flancos de dobras com planos axiais orientados a N e NNE (vide mapa figura 01).

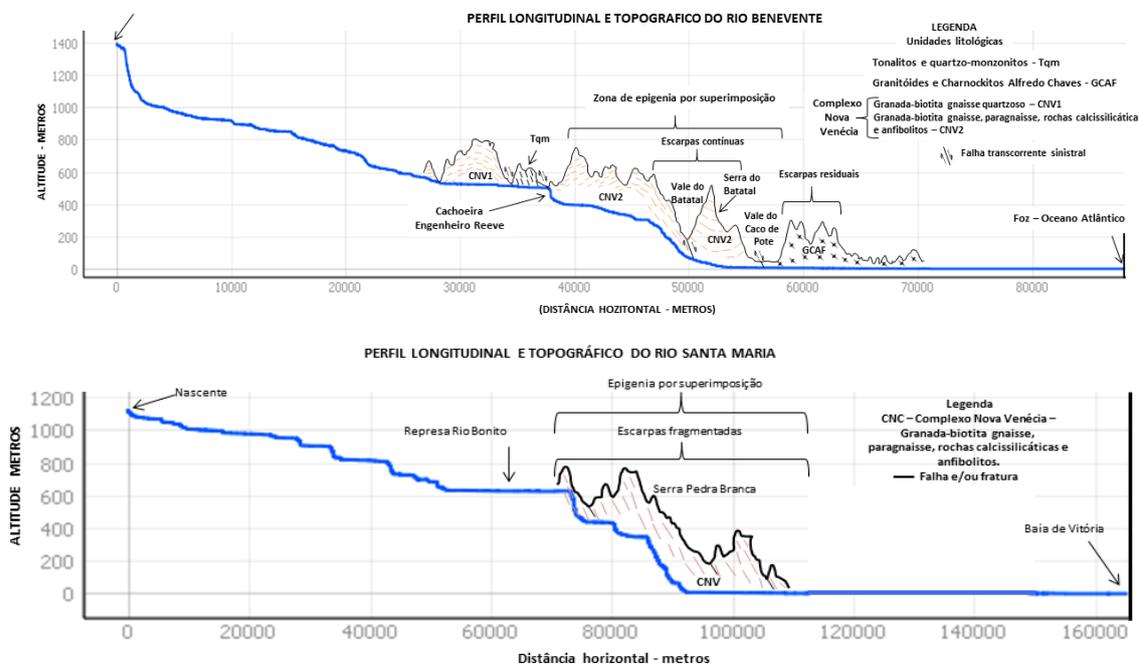
Importante frisar que uma hipótese que vem sendo investigada na linha de pesquisa apresentada neste trabalho é a de que essas zonas de knickpoints estão em processo de estabilização, devido à diminuição do suprimento sedimentar de granulometria mais grossa, responsável pelo atrito da carga de fundo no processo de abrasão fluvial. Os quartzitos do Complexo Nova Venécia que respondem por esse suprimento sedimentar tem ocorrência espacial restrita as zonas de cabeceiras dos



15º SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA

canais principais, principalmente do Rio Benevente, apresentando evidências de diminuição no tempo geológico recente, sobretudo a partir de processos erosivos instalados no final do Neógeno.

Figura (03). Perfis longitudinais e topográficos dos rios Benevente e Santa Maria, com as zonas epigênicas, litologias e feições tectônicas associadas. Elaboração: os autores.



Neste sentido, a incisão fluvial nas zonas epigênicas, aparentam ter estabilizado nos setores de núcleos e flancos de dobras em rochas mais resistentes à erosão, combinado com a diminuição da carga do leito, responsável pela abrasão fluvial, mudando o regime de erosão por carga de fundo, por dissecação em regime de carga de suspensão, diminuindo o poder das taxas de incisão fluvial, como salientado por Vervloet (2015a; 2015; 2023).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As escarpas apalachianas da fachada leste do Planalto Atlântico capixaba apresentam compartimentos morfológicos associados a processos de epigenia por sobreposição, condicionados por incisão fluvial com regime de erosão por saltação-abrasão, conforme modelo de incisão de Egholm, Knudsen e Sandiford (2013). Os canais fluviais principais das bacias dos rios Benevente, Santa Maria, Jucu e Fundão dissecam litoestruturas ortogonais ao fluxo fluvial, evidenciando o poder erosivo do processo epigênico de incisão.



O condicionamento tectônico e litológico evidencia maior controle da erosão somente a partir dos knickpoints que demonstram estabilização relativa dessa incisão, nas zonas de flancos de sistemas de dobras e falhas transcorrentes, orientadas a N e NNE. Nestes setores, o desenvolvimento das escarpas tem ocorrido na dependência do grau de resistência das rochas que controlam a evolução dos pontos de ruptura (knickpoints). A diminuição da carga de leito, responsável pela abrasão fluvial, coincide com a diminuição da fonte de suprimento sedimentar dessa carga. Fato que está relacionado à erosão das rochas quartzíticas do Complexo Nova Venécia, presente de forma residual nas cabeceiras das bacias dos rios descritos anteriormente.

Palavras-chave: Epigenia, incisão fluvial, tectônica, compartimentação.

REFERÊNCIAS

BAULIG, H. **Vocabulaire franco-anglo-allemand de géomorphologie**. Paris, Les Belles Lettres, 1956, 230 p.

DAVIS, W. M. Base-level, grade and peneplain. **Journal of Geology**, 1902, 10:77-111, (reimpresso em *Geographical Essays*, 1909, p. 381-412, 1909).

DELISLE, C.; YANITES, B. J. Modeling climate and tectonic controls on bias in measured river incision rates. **Geophysical Research Letters**, 51, 2024, e2024GL109339. <https://doi.org/10.1029/2024GL109339>

EGHOLM, D.; KNUDSEN, M.; SANDIFORD, M. Lifespan of mountain ranges scaled by feedbacks between landsliding and erosion by rivers. **Nature** 498, 475–478 (2013). <https://doi.org/10.1038/nature12218>

HEILBRON, M. et al. **Província Mantiqueira**. In: MANTESSO-NETO, V. et al. (org.). **Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. Beca: São Paulo, Cap. XIII, p. 203-235, 2004.

JOLY, F. **Glossaire de Géomorphologie. Base de données sémiologiques pour la cartographie**. Masson e Armand Colin, Paris, 1997.

LARIMER, J. E.; YANITES, B. J.; JUNG, S. J. A field study on the lithological influence on the interaction between weathering and abrasion processes in Bedrock Rivers. **Journal of Geophysical Research: Earth Surface**, 127, 2022, e2021JF006418. <https://doi.org/10.1029/2021JF006418>

LEOPOLD, L. B.; LANGBEIN, W. B. **Asociación e Indeterminación en Geomorfología**. IN: ALBRITTON, C. C. J. (ed.). **Filosofia de La Geologia**. Companhia Editorial Continental S. A. México, Argentina, Espanã, Chile, 1970.

LEOPOLD, L. B.; WOLMAN, M. G.; MILLER, J. P. **Fluvial Process in Geomorphology**. Dover Press, New York, EUA, 1995.



15º SIMPÓSIO NACIONAL DE
GEOMORFOLOGIA

NADALIN, R. J.; NADALIN, L. F. **Construindo e interpretando mapas geológicos**. In: NADALIN, R. J. (Ed.). **Tópicos Especiais em Cartografia Geológica**. 2ª ed., Curitiba: Departamento de Geologia, UFPR, 2016, p. 335-372.

RUHE, R. V. **Geomorphology**. New York, Houghton Mifflin Co., 1975, 245 p.

SCHUMM, S. A. **Causes and Controls of Channel Incision**. In DARBY, S. E.; SIMON, A. (eds.). **Incised River Channels: Processes, Forms Engineering and Management**. New York: Wiley, p. 19-33, 1999.

SILVA, J. M. R. et al. **Geologia. Folha SE. 24Rio Doce: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra**. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, v. 34, IBGE, Rio de Janeiro, 1987.

SMALL, E. E.; BLOM, T.; HANCOCK, G. S.; HYNEK, B. M.; WOBUS, C. W. Variability of rock erodibility in bedrock-floored stream channels based on abrasion mill experiments. **Journal Geophys. Res. Earth Surf.**, 120, 2015, p. 1455–1469, doi:10.1002/2015JF003506.

SKLAR, L. S.; DIETRICH, W. (1998). River Longitudinal Profiles and Bedrock Incision Models: Stream Power and the Influence of Sediment Supply. **Washington DC American Geophysical Union Geophysical Monograph Series**. 107. 10.1029/GM107p0237.

SKLAR, L. S.; DIETRICH, W. E.; FOUFOULA-GEORGIU, E.; LASHERMES, B.; BELLUGI, D. Do gravel bed river size distributions record channel network structure? **Water Resour. Res.**, 42, 2006, W06D18, doi:10.1029/2006WR005035.

SKLAR, L. S.; DIETRICH, W. E. Implications of the saltation-abrasion bedrock incision model for steady-state river longitudinal profile relief and concavity. **Earth Surf. Process. Landf.** 33, 1129–1151, (2008).

SKLAR, L. S.; DIETRICH, W. E. Correction to “A mechanistic model for river incision into bedrock by saltating bedload”. **Water Resour. Res.**, 48, 2012, W06902, doi:10.1029/2012WR012267.

SHOBE, C. M.; HANCOCK, G. S.; EPPES, M. C.; SMALL, E. E. Field evidence for the influence of weathering on rock erodibility and channel form in bedrock rivers. **Earth Surface Processes and Landforms**, 42(13), 2017, p. 1997-2012. 10.1002/esp.4163

VERVLOET, R. J. H. M. O papel dos dobramentos de fundo na evolução do relevo da Região Serrana do Espírito Santo: o caso da bacia hidrográfica do Rio Benevente. **Revista Equador (UFPI)**, v. 4, N° 3, (2015a). doi.org/10.26694/equador.v4i03

VERVLOET, R. J. H. M. **Elementos de Geomorfologia Estrutural. Estudo aplicado a Região Serrana do Espírito Santo**. Editora Liro, Vitória, 2015.

VERVLOET, R. J. H. M. **Geomorfologia e dobramentos de fundo. Homólogos entre Brasil e África do Sul**. In: BASQUEROTE, A. T. (ORG.). **Geografia e sociedade**.



15º SIMPÓSIO NACIONAL DE
GEOMORFOLOGIA

Compreendendo as dinâmicas globais. Atena Editora, Ponta Grossa, Paraná, 2023, p. 46-71.

YANITES, B. J. The dynamics of channel slope, width, and sediment in actively eroding bedrock river systems. **Journal of Geophysical Research: Earth Surface**, 123, 2018, p. 1504–1527. Doi.org/ 10.1029/2017JF004405

