

ANÁLISE PALEOTOPOGRÁFICA E MORFOTECTÔNICA DA MANTIQUEIRA MERIDIONAL

Silva, F.P. (UFRRJ) ; Silva, T.M. (UFRJ) ; Marques Neto, R. (UFJF)

RESUMO

Este trabalho tem como meta aplicar metodologias de investigação do condicionamento do relevo por esforços tectônicos. A área estudada refere-se ao Setor Meridional da Serra da Mantiqueira; este trecho da escarpa reúne feições morfológicas diretamente ligadas à formação de bacias tafrogênicas do sudeste brasileiro. Deste modo, tem-se como objetivo do trabalho reconstituir as frentes escarpadas do relevo pela técnica de seppômen e avaliar o condicionamento através do índice da Sinuosidade da Escarpa Montanhosa. Os resultados obtidos apontaram para o aumento do controle tectônico das escarpas, uma vez que os resultados sugerem uma sustentação tectônica das mesmas. A reconstituição da paleodrenagem também permitiu traçar hipóteses quanto à captura de drenagens do rio Grande pelo rio Paraíba do Sul. Compreende-se que o rio Pedra Preta seria o canal capturador principal em um primeiro estágio, sendo capturado em um segundo momento pelo rio Preto, configurando a drenagem atual.

PALAVRAS CHAVES

Paleorrelevo; Paleodrenagem; Neotectônica; Capturas fluviais; Serra da Mantiqueira

ABSTRACT

This work aims to apply methodologies for the investigation of relief conditioning by tectonic forces. The studied area refers to the Meridional Sector of the Range Mantiqueira; this stretch of the escarpment gathers morphological features directly linked to the formation of the tafrogenic basins of southeastern Brazil. The objective of the work was to reconstruct the escarpment fronts of the relief by the seppomen technique and to evaluate the conditioning through the index of the Escarpment Sinuosity. The results obtained pointed to an increase in the tectonic control of the scarps, since the results suggest a tectonic sustaining of the scarps. The reconstitution of the paleodrainage also allowed us to trace hypotheses regarding the capture of drainages of the Grande river by the Paraíba do Sul river. It is understood that the Pedra Preta river would be the main capturing channel in a first stage, being captured in a second moment by the Preto river, configuring the present drainage.

INTRODUÇÃO

A Serra da Mantiqueira apresenta elementos na paisagem ligados a uma gênese tectônica, dado a configuração da rede de drenagem, escarpas, vales e depósitos quaternários em contexto de relevo montanhoso sob a influência do Rift Continental do Sudeste do Brasil (RICCOMINI, 1989). A Mantiqueira Meridional (GATO et al., 1983) compreende as unidades geomorfológicas referentes aos Planaltos de Campos do Jordão e de Itatiaia, sendo que para este trabalho foi dada ênfase à reconstituição paleotopográfica da porção norte do Planalto de Itatiaia, referente a um contexto geomorfológico que engloba parte dos Planaltos do Alto Rio Grande, a oeste; Vale do Paraíba do Sul, a sul e leste; e as Altas Cristas Quartizíticas Festonadas (MARQUES NETO, 2017), a norte (Figura 1). Esta região apresenta altitudes que variam de pouco mais de 900 m, na área ao norte do rio Preto, próximo a Santa Rita do Jacutinga, até 2225 m nos contrafortes da Pedra Selada. Segundo Marques Neto et al. (2019), uma das principais características da área foi a consolidação da drenagem do rio Preto, no início do processo de formação do Rift Continental do Sudeste do Brasil (RICCOMINI, 1989), que permitiu organizar a drenagem para o interior sob o comando do rio Grande. A orientação NE-SW do rio Preto é influenciada pela própria orientação do sistema rifte, mas controlada pelo alinhamento do front da Serra da Mantiqueira. Rezende (2013) identificou taxas de desnudação para área com uma variação de 7 a 28 m/Ma. Essas taxas, segundo o autor, poderiam estar relacionadas à resistência do Granito Suíte Maromba e do leucogranito Capivara, bem como ter relações com o

componente tectônico e especificamente com o último evento tectônico mais significativo de soerguimento generalizado na região ocorrido segundo Saadi (1993) no Pleistoceno Inferior a Médio; enquanto para Valadão (2009) seria de idade Plioceno Superior. Gonzalez et al. (2016) através de datação de isótopos cosmogênicos apontam valores elevados, variando de 17 a 47 m/Ma, o que evidencia o maior potencial erosivo desse trecho ao ser comparado as bacias situadas nos segmentos serranos localizado mais ao norte que estes autores identificaram taxas de no máximo 17 m/Ma no âmbito da Depressão Escalonada dos rios Pomba-Muriaé. Essas taxas seriam, portanto, derivadas do processo de inclinação da bacia e não controladas por variações de condições climáticas ou litológicas (GONZALEZ et al., 2016). Diante desse quadro geomorfológico, o objetivo deste trabalho foi o de aprofundar e corroborar com a investigação da ocorrência de controles tectônicos no relevo e nos sistemas fluviais na Serra da Mantiqueira, especialmente nos terrenos do setor meridional. A análise morfotectônica aplicada referiu-se à integração da reconstituição paleotopográfica a partir da técnica de seppômen (MOTOKI et al., 2008) e da análise do condicionamento tectônico das frentes escarpadas, a partir da aplicação do índice da Sinuosidade da Escarpa Montanhosa - Smf (BULL e WALLACE, 1985).

MATERIAL E MÉTODOS

A organização da base de dados cartográficos foi processada em ambiente de Sistema de Informações Geográficas - SIG, utilizando os recursos reunidos nas plataformas ArcGIS Desktop©10.8.1 (ESRI, 2019), Surfer©14.3.691 (GOLDEN, 2017) e Global Mapper©16.1.0 (BLUE MARBLE, 2015). Os produtos gráficos foram gerados a partir de diferentes produtos primários, tais como as cartas base (cartas topográficas e planialtimétricas) e produtos de sensoriamento remoto (ortofotos e modelo digital de elevação). A reconstituição paleotopográfica foi obtida pelo método seppômen (MOTOKI et al., 2008), que permite uma análise paleogeomorfológica da área a partir da conexão das maiores altimetrias, isto é, os pontos culminantes do relevo atual. A técnica vem sendo utilizada para pesquisas sobre a origem de relevos de regiões sob influência de movimentos verticais de falhas ativas. Logo, a abordagem se mostra pertinente ao contexto estudado. O paleorrelevo é gerado a partir do preenchimento dos vales fluviais no software ArcGIS Desktop©10.8.1 dentro das seguintes etapas: divisão do MDE em áreas quadradas por uma malha definida; marcação dos pontos culminantes em cada quadrante; e confecção de um novo mapa topográfico utilizando os pontos por meio do interpolador determinístico do Inverso do Quadrado da Distância- IQD, na potência 2, considerando 16 pontos mais próximos em um raio de pesquisa de 1 km. Optou-se por elaborar o mapa de seppômen com base em diferentes tipos de malhas, uma vez que uma malha fina (500 metros) preenche seletivamente os fundos de vale das drenagens pequenas, simulando um paleorrelevo do passado relativamente recente; já uma malha maior (2 km) simula o paleorrelevo do passado mais remoto, porém de forma menos assertiva. Motoki et al. (2008) aponta que o mapa de seppômen de uma região pouco erodida, com uma relativa preservação da morfologia original sugere uma simulação da morfologia similar ao estado antes de erosão; já em áreas com relevo dissecado o mapa de seppômen enseja outras interpretações, no caso de áreas com características geológicas homogêneas, o seppômen apresentaria um relevo suave, enquanto em áreas marcadas por descontinuidades crustais, falhamentos ou vulcões o mapa paleotopográfico demarca esses segmentos como relevos positivos. Os perfis paleotopográficos e topográficos foram elaborados a partir do uso da ferramenta de 'Interpolate Line' e 'Profile Graph' no ArcGIS Desktop©10.8.1 tomando por base o MDE e as reconstituições paleotopográficas. De forma associada ao mapa paleotopográfico, estima-se reconhecer hipoteticamente possíveis controles das frentes escarpadas com o índice da Sinuosidade da Escarpa Montanhosa - Smf (BULL e WALLACE, 1985) nas frentes escarpadas do paleorrelevo gerado, de modo a verificar e simular a existência de padrões e uma possível continuidade dos esforços tectônicos. O mapa paleotopográfico é, portanto, um recurso metodológico que contribui para o reconhecimento de segmentos erodidos e resistentes, auxiliando na interpretação do quadro morfotectônico da área.

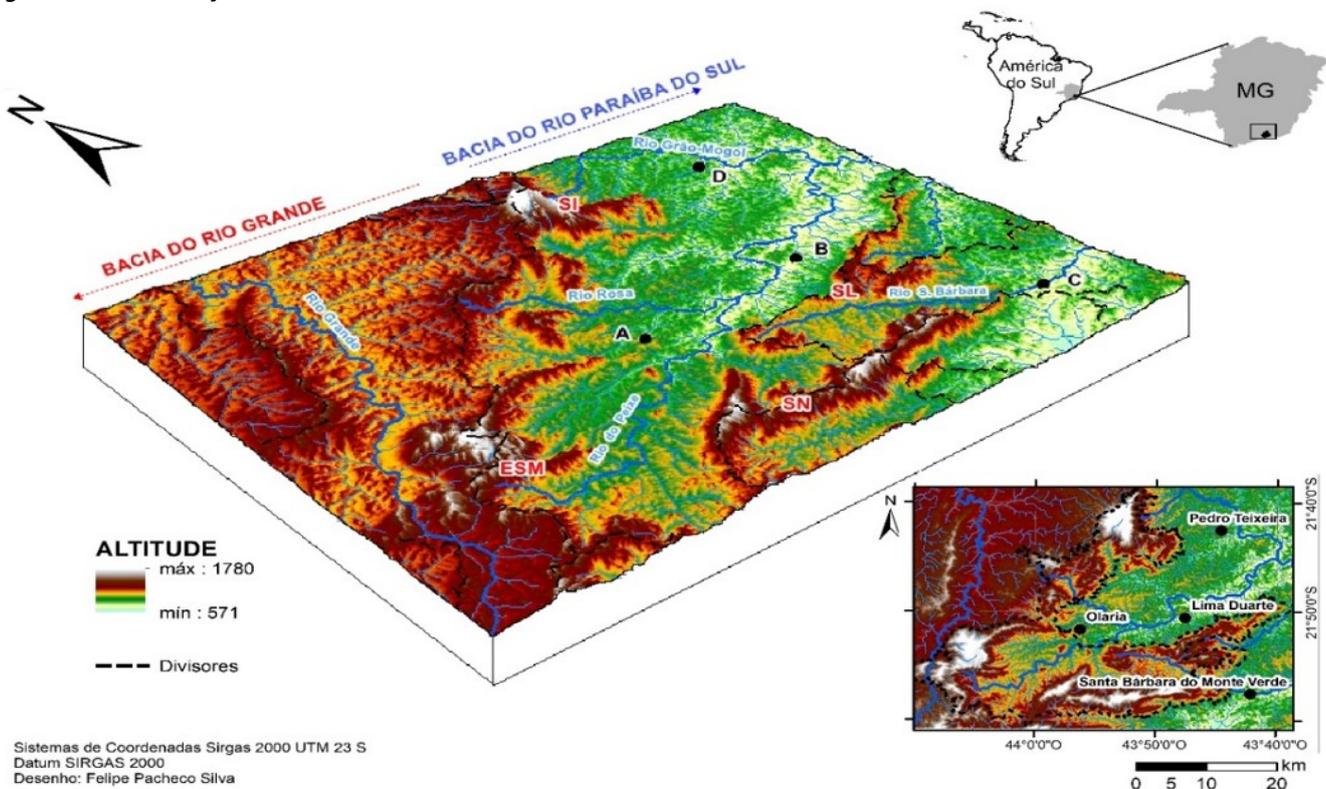
RESULTADOS E DISCUSSÃO

O relevo atual (Fig. 2A) foi comparado com os cartogramas paleotopográficos das três malhas quadráticas: 2km (Fig. 2B); 1 km (Fig. 2C); 0,5 km (Fig. 2D). Utilizou-se também nessa análise perfis topográficos e paleotopográficos. Os produtos gerados nessa investigação das reconstituições

paleotopográficas demonstraram um intenso retrabalhamento da frente escarpada, sendo possível identificar um seccionamento de blocos, anteriormente contínuos, evoluindo para um relevo festonado como está a configuração do atual do relevo, especialmente nos setores correspondentes às cristas quartzíticas. A reconstituição paleotopográfica para a malha de 2 x 2 km (Fig. 2B) possibilitou apreender um conjunto serrano contínuo e de elevada dimensão interfluvial e que corresponde ao divisor hidrográfico das bacias mais interioranas. Interpreta-se que o desmonte dessa paleotopografia foi operado por processos de retração erosiva e incisão fluvial no front das escarpas conectadas à drenagem, sobretudo das bacias que drenam diretamente para o rio Paraíba do Sul. A organização da drenagem do rio Preto (perfis topográficos na fig. 3) criou uma frente de dissecação, sobretudo, por seus afluentes da margem esquerda que se organizaram a partir do nível de base regional. Destacam-se nesse processo a atuação dos rios do Peixe, rio Bananal, entre outros. Os relevos escarpados do front erosivo são sustentados por litologias gnáissicas, graníticas e quartzíticas metassedimentares da Megassequência Andrelândia; enquanto os setores mais rebaixados reúnem litologias gnáissicas, ortognáissicas e ortogranulíticas do Complexo Juiz de Fora (HEILBRON et al., 2000), que orientaram a instalação dos principais rios. A primeira e mais significativa descontinuidade dos conjuntos serranos resultou no isolamento da Serra do Ibitipoca e ampliação da retração erosiva do Planalto do Alto rio Grande, conforme pode ser averiguado no paleorrelevo da malha 1 x 1 km (Fig. 2C). A continuidade desse dismantelamento e seccionamento das escarpas é aprofundado na malha mais fina de 0,5 x 0,5 km (Fig. 2D) resultando no festonamento das frentes escarpadas e aprofundamento da separação das serras de Lima Duarte e Negra que só é efetivamente registrado no relevo atual (Fig. 2A), demonstrando que essa é uma configuração recente que tende a evolução, sendo aí registrado prelúdios de uma possível captura de bacias do rio do Peixe pelo ribeirão Monte Verde, conforme foi assinado pioneiramente por Marques Neto et al. (2019). A atuação conjunta de incisão fluvial e retração erosiva das escarpas parece configurar uma dinâmica homogênea para os terrenos estudados. A intensidade do desmonte do relevo dessa faixa estudada da Mantiqueira Meridional sugere uma maior competência desses processos na reconfiguração do relevo. Essa interpretação é coerente com as taxas denudacionais (10Be) mais elevadas e catalogados para área que apresentam uma variação de 7 a 47 m/Ma segundo Rezende (2013) e Gonzalez et al. (2016). A Serra do Ibitipoca estava conectada com os demais setores escarpados em faixas contínuas acima de 1200 m atingindo em determinados setores até 1800 m. A configuração aguçada das cristas nas reconstituições paleotopográficas efetivadas sugerem, portanto, correspondência às paleocristas. Enquanto, a configuração dos setores escarpados, marcados por uma orientação NE-SW e W-E, demonstra forte relação com o processo de tafrogenia que organizou as drenagens da área. O perfil A-A' (Fig. 3) revela que as altitudes máximas foram preservadas nos cumes, enquanto as vertentes e flancos escarpados foram gradativamente rebaixados, promovendo desníveis de até 300 metros devido ao entalhe fluvial e reafeiçoamento do relevo marcado pelo o aumento do declive e ampliação do gradiente de canais fluviais. A maior elevação do relevo atual em determinados setores nas adjacências da Serra do Ibitipoca sugere uma forte resistência litológica desses segmentos aos processos de retração e incisão fluvial. A Serra do Lagarto se articula com as demais áreas a uma altitude de 1300 m, alcançando 2300 m em setores mais meridionais. Essa serra é cortada perpendicularmente pelo perfil B-B' (Fig. 3), que parece revelar caráter recente dos processos incisivos nos cumes e retrativos nas escarpas, de acordo com os cartogramas paleotopográficos, sendo que apenas na malha mais fina de 0,5 x 0,5 km que se verifica o início da dissecação da crista superior. A interpretação das correlações entre as malhas paleotopográficas mais finas de 1 x 1 km (Fig. 2C) e 0,5 x 0,5 km (Fig. 2D) permitiu constatar que a incisão fluvial não foi capaz de desmontar completamente o relevo e formar planícies fluviais mais desenvolvidas. A Serra da Pedra Selada é um bloco elevado e conectado aos demais setores escarpados a partir dos 1300 m, congregando pontos culminantes dentro de até 2300 m perfil (Fig. 3 - perfil C-C'). A partir da malha de 2 x 2 km (Fig. 2B) nota-se que a drenagem desse setor corria para o rio Pedra Preta, afluente direto do rio Paraíba do Sul, sendo sua captura pelo rio Preto identificada apenas na malha de 0,5 x 0,5 km (Fig. 2D) sugerindo uma configuração recente do relevo atual por esforços erosivos, assim como a separação da Serra da Pedra Selada dos demais alinhamentos serranos, como a Serra do Palmital a partir da instalação de um gráben na área. A captura do alto curso do rio Preto é documentada por Rezende e Salgado (2020) que discutem a gênese para área como fruto da retração erosiva da borda de falha da Bacia

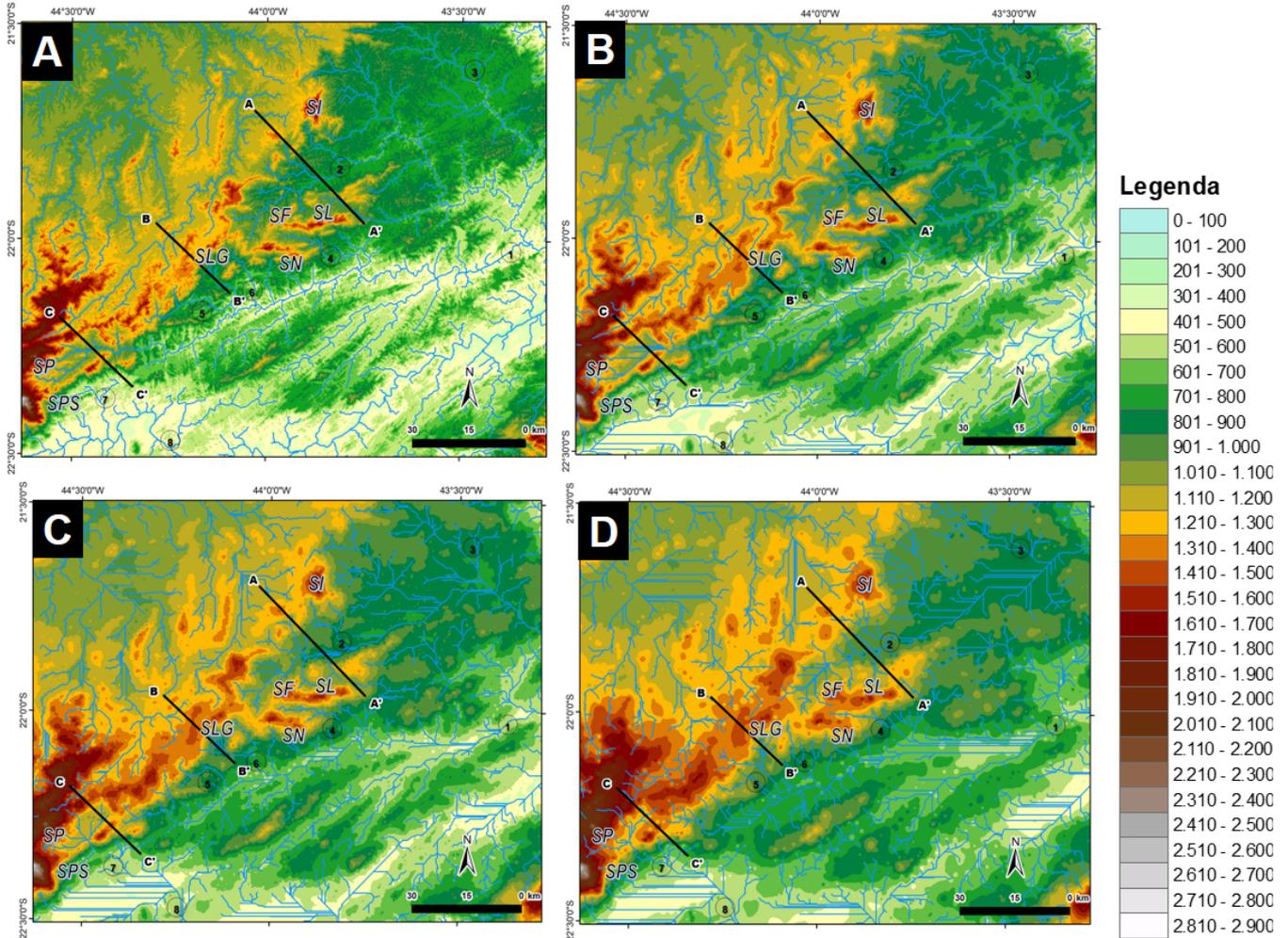
de Resende e que teria culminado em uma captura fluvial. A hipótese apresentada pelos autores é de que o vale suspenso estaria integrando a bacia do rio Grande, sendo a área captura pelo rio Preto, e o que atestaria a causa erosiva da evolução desse compartimento. Interpreta-se que para a ocorrência da captura, o fato de o vale ser paralelo à escarpa e a existência de uma zona de falhas perpendiculares às estruturas do rifte que teriam corroborado para tal processo. Com base no quadro paleotopográfico discutido anteriormente, podemos estabelecer uma outra hipótese, na qual o primeiro canal capturador pode ter sido o rio Pedra Preta e que, posteriormente teve seu alto curso capturado pelo rio Preto, dada a maior competência erosiva. O rearranjo da drenagem provocado por essa captura teria sido responsável por fazer com que a área capturada deixasse de se constituir a principal nascente do rio Paraná ao migrar para a bacia do rio Paraíba do Sul. O perfil C-C' (Fig. 3) evidencia a juventude das feições erosivas na área, uma vez que somente a malha de 0,5 x 0,5 km (Fig. 2D) se correlaciona com a configuração topográfica atual. O gráben formado nos setores altimontanos também marca o contato litológico de litologias gnáissicas e graníticas facilmente associado no perfil C-C', no qual se observa que o Granito Suíte Maromba se apresenta como único bloco elevado no setor deprimido entre duas áreas serranas, sugerindo forte atuação da erosão diferencial no alto curso do rio Preto e que está associado. As serras de Lima Duarte, Fumaça, Negra e do Ibitipoca (Fig. 2) são sustentadas por quartzitos dobrados em franco contato tectônico, tendo compartimentos intermontanos de mares de morros desenvolvidos em litologia gnáissica. Marques Neto et al. (2019) registraram diversas feições que marcam o controle morfotectônico na área, como soleiras tectônicas escalonadas promovendo rupturas de declive, vales suspensos, facetas trapezoidais, terraços soerguidos com afloramentos rochosos. A análise da sinuosidade das escarpas para topografia e paleotopografia permitiu identificar que as escarpas da Mantiqueira Meridional são atualmente mais retílineas que no passado (Fig. 3), sendo a única exceção identificada para Serra do Lagarto - que apresentou um aumento do grau de sinuosidade da passagem do paleorrelevo para o relevo atual -, fato não verificado para nenhuma outra escarpa.

Figura 1 - Localização da área de estudo.



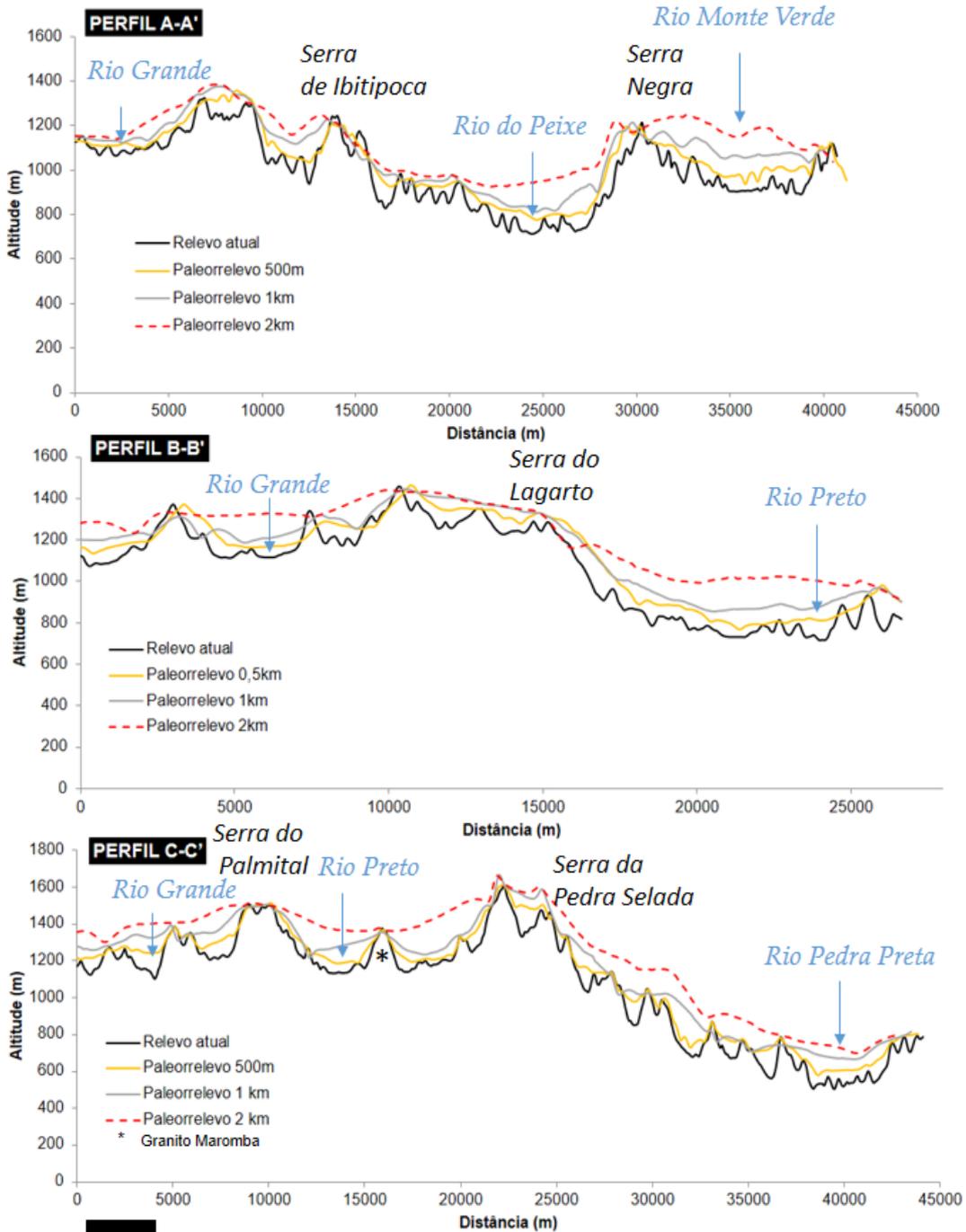
SI - Serra do Ibitipoca; SL - Serra de Lima Duarte; SN - Serra Negra; ESM - Escarpas da Serra da Mantiqueira; A - Olaria; B - Lima Duarte; C - Santa Bárbara do Monte Verde; D - Pedro Teixeira.

Figura 2 - Mapas paleotopográficos com a localização dos perfis topogr



Serras: SI - Serra do Ibitipoca; SL - Serra de Lima Duarte; SN - Serra Negra; SF - Serra da Fumaça; SLG - Serra do Lagarto; SPS - Serra da Pedra Selada, SP – Serra do Palmital. **Rios principais:** 1 - rio Preto; 2 - rio do Peixe; 3 - rio Paraibuna; 4 - ribeirão Monte Verde; 5 - rio Bananal; 6 - rio Pirapetinga; 7 - rio Pedra Preta; 8 - rio Paraíba do Sul.

Figura 3 - Perfis topográficos e paleotopográficos da área de estudo o



SMF

Setor	Relevo atual			Paleorrelevo 0,5 km			Paleorrelevo 1 km			Paleorrelevo 2 km		
	Lmf (km)	Ls (km)	Smf	Lmf (km)	Ls (km)	Smf	Lmf (km)	Ls (km)	Smf	Lmf (km)	Ls (km)	Smf
SI	26,35	17,00	1,55	35,00	18,31	1,91	38,71	18,05	2,14	26,98	19,60	1,38
SL	8,85	8,00	1,11	9,00	8,67	1,04	9,68	9,05	1,07	12,02	9,28	1,30
SN	20,82	20,00	1,04	21,00	20,00	1,05	22,65	20,96	1,08	20,28	18,88	1,07
SF	15,76	16,00	0,99	28,00	15,56	1,80	26,64	15,47	1,72	23,03	17,27	1,33
SLG	58,18	30,00	1,94	44,00	30,03	1,47	36,79	30,89	1,19	35,02	30,24	1,16
SM	35,47	26,00	1,36	37,00	24,18	1,53	35,64	24,13	1,48	32,56	24,35	1,34
SP	22,81	21,00	1,09	24,00	22,07	1,09	24,15	21,99	1,10	26,40	24,51	1,08

Maior sinuosidade
 Maior retilinearidade

SI - Serra do Ibitipoca; SL - Serra de Lima Duarte; SN - Serra Negra; SF - Serra da Fumaça; SLG - Serra do Lagarto; SM - Serra da Mantiqueira; SP - Serra da Pedra Selada.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados permitiram identificar, para o relevo atual, um controle morfotectônico mais efetivo das escarpas da Mantiqueira Meridional, especialmente para as Serras da Fumaça, Lima Duarte, Negra e da Pedra Selada. A influência morfotectônica explica porque ocorreu a manutenção dos pontos culminantes em alguns setores, mesmo com uma significativa diminuição da dimensão interfluvial. A respectiva configuração pode ser percebida nas Serras de Ibitipoca, Lagarto, Pedra Selada, entre outras. Segundo Marques Neto et al. (2019), a resistência dos quartzitos contribuiu para a sustentação desses blocos, contudo os níveis mais elevados também avançaram sob litologias gnáissicas, sobretudo em setores da Serra da Pedra Selada e Lagarto. O rebaixamento erosivo operado pelo ribeirão Santa Bárbara ou Monte Verde, entre a Serra Negra e a Serra de Lima Duarte, também denota um controle morfotectônico, assim como a formação de depósitos correlativos distribuídos por todo compartimento que ainda estão preservados e identificados em campo. A estratégia metodológica se mostrou adequada para reconhecimento de segmentos acometidos por deformações tectônicas e permite evidenciar zonas preferências de investigações futuras de atuação neotectônica.

AGRADECIMENTOS

À FAPERJ - Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro pela concessão da Bolsa de Doutorado Nota 10 (E-26/200.661/2021).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- BLUE MARBLE GEOGRAPHICS. Global Mapper. 2015. Disponível em: <https://www.bluemarblegeo.com/global-mapper/>. Acessado em: 17 de abril 2023.
- BULL, W.B.; WALLACE, R.E. Tectonic geomorphology. Geology Penrose Conference Report. p. 216, 1985.
- ESRI. ArcGIS Desktop: Release 10.8.1. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute. 2019. Disponível em: <https://www.esri.com/pt-br/home>. Acessado em: 17 de abril 2023.
- GATTO, L. C. et al. Geomorfologia. In: Projeto RADAMBRASIL. Folha SF-23/24 Rio de Janeiro/Vitória. Rio de Janeiro: IBGE. 1983.
- GOLDEN Software Releases Surfer® 14, 2017. Disponível em: <https://www.goldensoftware.com/press-release/golden-software-releases-surfer-v14>. Acessado em: 15 de abril 2023.
- GONZALEZ, V.S.; BIEMAN, P.R.; FERNANDES, N.F.; ROOD, D.H. Geomorphology Long-term background denudation rates of southern and southeastern Brazilian watersheds estimated with cosmogenic ¹⁰Be. Geomorphology. v. 268, p. 54-63, 2016.
- HEILBRON, M.; TUPINAMBÁ, M.; EIRADO, L. G.; RIBEIRO, A.; PACIULLO, F. V. P.; TROUW, R. A., TOLEDO, C. Geologia das folhas Santa Rita do Jacutinga e Rio Preto. Rio de Janeiro: COMIG-UFMG-UFRJ-UERJ, 2000.
- MARQUES NETO, R. O horst da Mantiqueira meridional: proposta de compartimentação morfoestrutural para sua porção mineira. Revista Brasileira de Geomorfologia. v. 15, p. 561-577, 2017.
- MARQUES NETO, R.; MOREIRA, J.A.; SILVA, F.P. Evolução de escarpamentos em margens rifte: uma discussão sobre soerguimento e desnudação na mantiqueira meridional a partir de mapas paleotopográficos e parâmetros geomorfométricos. Revista Brasileira de Geomorfologia. v. 20, p. 877-890, 2019.
- MOTOKI, A.; PETRAKIS, G.H.; SICHEL, S.E.; CARDOSO, C.E.; MELO, R.C.; SOARES, R.; MOTOKI, K.F. Origem dos relevos do maciço sienítico do Medanha RJ, com base nas análises geomorfológicas e sua relação com a hipótese do vulcão de Nova Iguaçu. Geociências. v. 27, p. 97-113, 2008.
- REZENDE, E.C. A Evolução do relevo no divisor hidrográfico entre as bacias dos rios Grande e Paraíba do Sul: um estudo na Serra da Mantiqueira (MG/RJ). 2013, 186f. Tese (Doutorado em Geografia). Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. 2013.

- REZENDE, E. C.; SALGADO, A.A.R. Considerações sobre a gênese do vale suspenso do alto rio Preto na borda da Bacia de Rezende. Revista do Departamento de Geografia. v. 40, p. 49-60, 2020.
- RICCOMINI, C. O rift continental do sudeste do Brasil. 1989. 319f. Tese (Doutorado em Geociências). Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo, 1989.
- SAADI, A. Neotectônica da Plataforma Brasileira: esboço e interpretações preliminares. Geonomos. v. 1, p.1-15, 1993.
- VALADÃO, R.C. Geodinâmica de Superfícies de Aplanamento, Desnudação Continental e Tectônica Ativa como condicionantes da Megageomorfologia do Brasil Oriental. Revista Brasileira de Geomorfologia. v. 10, p. 77-90, 2009.