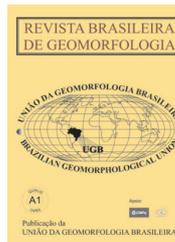


www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 21, nº 3 (2020)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v21i3.1780>



INTENSIDADE DA ATIVIDADE TECTÔNICA E SUA ESPACIALIDADE NA BACIA DO RIO VERDE, SUL DE MINAS GERAIS: CONTRIBUIÇÕES PARA A REGIONALIZAÇÃO DA TECTÔNICA PÓS-MIOCÊNICA

TECTONIC ACTIVITY INTENSITY AND YOUR SPACIALITY IN RIO VERDE BASIN, SOUTH MINAS GERAIS: CONTRIBUTIONS TO REGIONALIZATION OF POST-MYOCENIC TECTONIC

Roberto Marques Neto

*Departamento de Geociências, Universidade Federal de Juiz de Fora
Rua José Lourenço Kelmer, s/n, Juiz de Fora, Minas Gerais. CEP: 36036-900. Brasil*

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6496-789X>

E-mail: roberto.marques@ufff.edu.br

Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):
16/10/2019
Aceito (Accepted):
25/04/2020

Palavras-chave:

Intensidade de Atividade Tectônica; Categoria de Intensidade Tectônica; Bacia do Rio Verde.

Keywords:

Tectonic Activity Intensity;
Tectonic Intensity Category;
Verde River Basin.

Resumo:

O controle morfotectônico na evolução do relevo vigente na região dos grandes escarpamentos do sudeste brasileiro tem sido expediente permanente de pesquisadores no campo das geociências, e o emprego de índices geomórficos tem sido uma das técnicas de pesquisa mais acionadas. O presente artigo visa discutir o controle tectônico vigente na bacia do Rio Verde (sul de Minas Gerais) associando diferentes índices geomórficos em um índice agregado (índice de intensidade atividade tectônica), aplicado nas sub-bacias de maior ordem. Os resultados não apenas corroboraram os esforços diastróficos neotectônicos regionais, mas também permitiram uma regionalização da atividade tectônica, diferenciando os contextos vigentes nas regiões geomorfológicas da Serra da Mantiqueira e do Planalto do Alto Rio Grande. A maioria das bacias mensuradas apresentou índice elevado, principalmente aquelas localizadas no contexto da Serra da Mantiqueira, coincidentes com as principais zonas de cisalhamento regionais.

Abstract:

The morphotectonic control in the relief evolution current in great scarpments region of brazilian southeastern has been permanent work of geocientists, and the use of geomorphic indexes has been one of the most thrown research techniques. This article aims to discuss the morphotectonic control current in Rio Verde basin (south of Minas Gerais), by associating different geomorphic indexes in an aggregate index (tectonic activity intensity index), applied in the highest order sub-basins. The results not only corroborated the regional neotectonic diastrophic efforts, but also allowed to tectonic activity regionalization, differentiating the contexts currents in the geomorphological regions of Serra da Mantiqueira and Alto Rio Grande Plateau. Most of the measured basins showed high indexes, mainly those located in the context of Serra da Mantiqueira, coinciding with the main regional shear zones.

Introdução

A avaliação do controle morfotectônico pelo prisma da geomorfologia estrutural e tectônica tem chegado a resultados convincentes mediante uma recorrência bem marcada às análises morfométricas e à mensuração de índices geomórficos, o que tem sido um traço metodológico marcante a partir do final do século passado e com ampla expansão no atual. Essas investidas têm sido verificadas tanto na literatura estrangeira (GOLTS e ROSENTHAL, 1993; PIKE, 2000; GARROTE *et al.* 2008; MacMILLAN e SHARY, 2009; DEMOULIN, 2011) como no âmbito nacional (HIRUMA e RICCOMINI, 1999; ETHEBEHERE, 2000; FERREIRA, 2001; MARQUES NETO e PEREZ FILHO, 2014; JACQUES *et al.* 2014; PINHEIRO e QUEIROZ NETO, 2015; ANDRADES FILHO e ROSSETI, 2015).

Ao longo de duas décadas foram se acumulando aplicações de índices geomórficos importados de outras matrizes, muitas vezes acionados sem a devida reflexão crítica acerca de suas respostas para os terrenos cratonizados intertropicais. Ficaram notabilizadas técnicas quantitativas como o Índice de Hack (HACK, 1973), sobretudo a partir da difusão engendrada por Etchebehere (2000) como Relação Declividade x Extensão do Canal (RDE); as superfícies de base, já trabalhadas pelos geomorfólogos soviéticos (JAIN, 1969); o fator assimétrico ou de assimetria de bacias de drenagem (FABD) (HARE e GARDNER, 1985); o fator de Simetria Topográfica Transversal (FSTT) (COX, 1994); o índice sinuosidade da escarpa montanhosa (Smf) (BULL e WALLACE, 1985); o índice hipsométrico (KELLER e PINTER, 1996), entre outros. De todo modo, esses recursos metodológicos demonstraram resultados auspiciosos, justificando e estimulando seu emprego crescente.

Doravante, a evolução dessa cultura geomorfológica começa a se interessar para as correlações entre os índices já propostos ao invés da mensuração isolada para fins de abordagem dialógica na interpretação do quadro morfotectônico. Por esse prisma, El Hamdouni *et al.* (2008) apresentam um índice voltado para a mensuração da intensidade tectônica em uma área dada, ou Intensidade de Atividade Tectônica (IAT), obtido a partir da correlação entre os índices geomórficos clássicos, e que começa a despontar na pesquisa brasileira (ANDRADES FILHO e ROSSETI, 2015). Intencionando avançar na interpretação do controle morfotectônico na região dos grandes escarpamentos do escudo atlântico, bem como na avaliação da eficiência das técnicas geomorfométricas, o presente artigo projeta uma visada espacial do contro-

le tectônico atuante na evolução do relevo na bacia do rio Verde (MG) a partir da mensuração e avaliação da intensidade de atividade tectônica nas principais bacias hidrográficas subordinadas a esse tronco coletor.

A bacia do rio Verde tem expressão regional significativa (figura 1), abrangendo extensões bastante representativas das regiões geomorfológicas da Serra da Mantiqueira e do Planalto do Alto Rio Grande, além de uma porção menor da baixa bacia posicionada no Planalto de Varginha (figura 1). Seu perímetro abarca diferentes zonas de cisalhamento, desde os patamares mais elevados e as escarpas de falha da Mantiqueira Meridional (*sensu* GATTO *et al.*), segundo degrau orográfico do sistema rifte continental do sudeste do Brasil (RICCOMINI, 1989), até as morrarias convexas e cristas estruturais do Planalto do Alto Rio Grande, congregando assim diferentes controles tectono-erosivos que reverberam em diversificados padrões de formas de relevo. Além da aludida diversidade geomorfológica e tectônica, essa região tem sido objeto de estudo sistemático, o que dinamiza sobremaneira as correlações regionais e os avanços interpretativos. Tendo em vista que o sistema geomorfológico também conta com um controle indubitável da litologia que é passível de quantificação (GOUDIE, 2016), cumpre aprimorar as quantificações de cunho morfotectônico para uma interpretação mais acurada dos diferentes controles atuando na evolução do relevo e a intensidade de suas influências.

Metodologia

O Índice de Atividade Tectônica (Iat) deriva da combinação de parâmetros geomorfométricos mensurados isoladamente, da maneira que foi proposto por El Hamdouni *et al.* (2008). Na presente abordagem, foram estimados os mesmos índices geomórficos aventados por Andrade Filho e Rosseti (2015), quais sejam: Relação Declividade x Extensão do Canal (RDE), Fator Assimétrico (Af), Integral Hipsométrica (iH) e Índice Sinuosidade da Escarpa Montanhosa (Smf).

A primeira etapa consistiu na mensuração de cada um dos parâmetros geomorfométricos selecionados, seguida da combinação dos mesmos para geração do índice de atividade tectônica (Iat). Transversalmente, os trabalhos de campo se agregaram ao trato quantitativo e à interpretação das bases planialtimétricas e de produtos de sensoriamento remoto para análise estrutural, consorciando observações panorâmicas compatíveis com a grandeza regional da bacia do rio Verde, e interpretações locais de fatos geomórficos de significado morfotectônico.

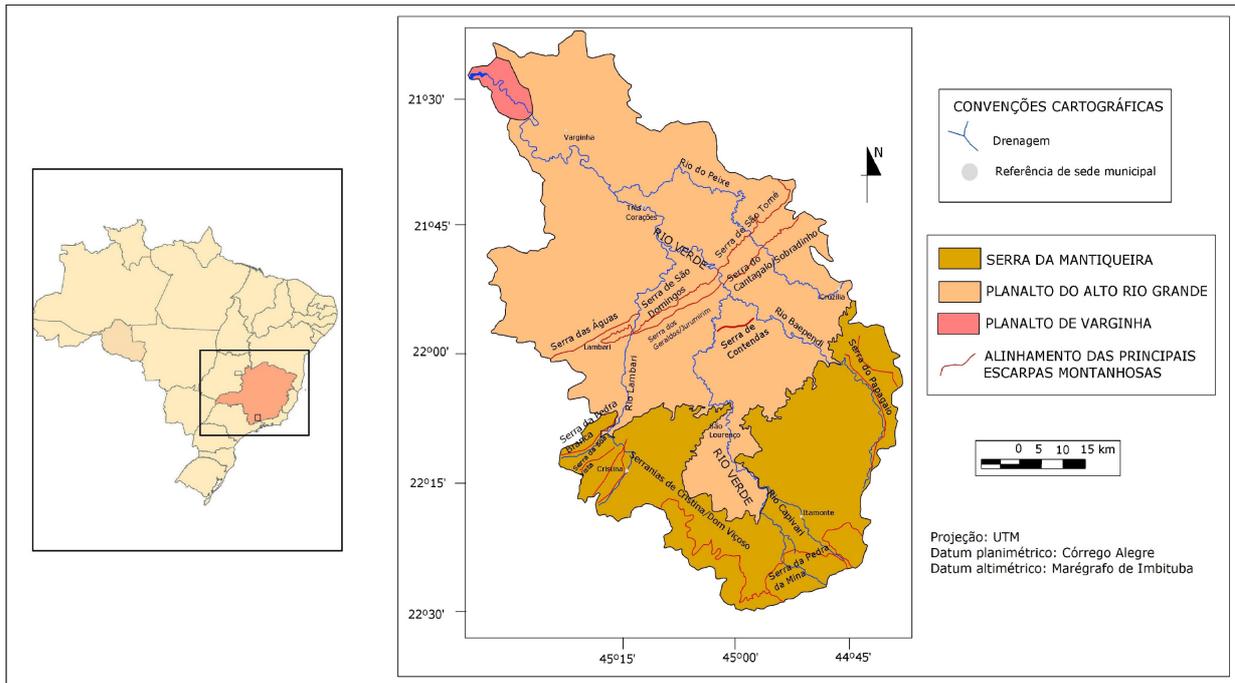


Figura 1 - Bacia do rio Verde (MG): localização.

As unidades selecionadas para a mensuração dos índices, isolados e combinados, se estabeleceram nas principais bacias que tributam diretamente o rio Verde, além da sua própria bacia de drenagem.

Trato geomorfológico específico

O cálculo de RDE foi levado a efeito a partir protocolo metodológico já amplamente difundido a partir dos trabalhos de Etchebere (2000, 2004) que relaciona as amplitudes altimétricas locais e a extensão superficial dos canais para precisar seus gradientes e as variações na energia da corrente:

$$\left(\frac{\Delta H}{\Delta L}\right) \times L$$

Na equação, ΔH corresponde à diferença altimétrica do trecho (sendo uma constante de 20 metros na escala de 1/50.000 em função da equidistância das curvas de nível), ΔL à respectiva extensão superficial descrita pelo canal e L à distância entre o ponto de medição e a nascente. As sucessivas mensurações definem um conjunto de valores de RDE trecho, que são relacionados ao RDE total para averiguação das anomalias, sendo RDE total quantificado a partir do proposto por Seeber e Gornitz (1983):

$$RDE\ total = \frac{\Delta H}{\log L}$$

O Fator Assimétrico (Af) tem origem no conhecido Fator de Assimetria de Bacias de Drenagem – FABD (COX, 1994), e tem por referência os processos de migração lateral de canais fluviais a partir da relação de proporção entre a margem direita do canal e a área total da bacia de drenagem, sendo dado pela fórmula:

$$Af = \left(\frac{Ad}{A}\right) \times 100$$

A implementação do Fator Assimétrico se deu pela subtração do valor 50 do resultado obtido e computação do valor resultante em módulo ($|Af - 50|$).

A Integral Hipsométrica (Hi) foi agregada a partir do significado sugerido por Keller e Pinter (1996), que se consubstancia na relação, em uma determinada área, entre uma área transversal horizontal, ou área de superfície, e a elevação topográfica. A derivação matemática do referido índice é dada pela seguinte relação:

$$Hi = \frac{\text{altitude média} - \text{altitude mínima}}{\text{altitude máxima} - \text{altitude mínima}}$$

De forma geral, Strahler (1952) relacionava diretamente os valores resultantes aos estágios de desenvolvimento do relevo com base na didática davisiana, sequenciados pela juventude, maturidade e senilidade. El Hamdoni *et al.* (2008) considera um universo de valores assim compreendidos: $< 0,4$, $0,4 - 0,5$ e $> 0,5$, sendo que os mais elevados apontam para sistemas geomorfológicos submetidos a controle tectônico significativo, ao passo que os valores mais baixos são sugestivos de esforços mais brandos, permitindo a propagação dos processos denudacionais, o rebaixamento do relevo e a atenuação de suas amplitudes.

Finalmente, o índice *Sinuosidade da Escarpa Montanhosa (Smf)* (BULL e WALLACE, 1985) reflete o balanço entre as forças erosivas e tectônicas, prevendo que as frentes montanhosas submetidas a soerguimento tectônico são mais retilíneas, assumindo assim valores baixos, enquanto alinhamentos de cristas mais retrabalhados, herdadas de falha, tendem a valores mais elevados. O índice Smf é obtido pela seguinte fórmula:

$$Smf = \frac{Lmf}{Ls}$$

Lmf: comprimento da escarpa montanhosa ao longo do sopé da montanha, na zona de ruptura de declive;

Ls: comprimento da linha retilínea da escarpa montanhosa.

As medições realizadas para os cálculos se deram em escala de 1/50.000 sobre as folhas topográficas que abrangem a área, e o traçado das frentes escarpadas foi auxiliado por dados de radar SRTM, utilizando-se as imagens em relevo sombreado que realçam os lineamentos. Para tanto, foram gerados modelos em quatro ângulos de iluminação azimutal (45° , 90° , 315° e 360°) para realçar diferentes direções estruturais.

Associação dos índices

Nessa etapa, os valores obtidos a partir dos procedimentos de quantificação foram combinados segundo seu significado tectônico, estabelecendo-se categorias para as quais os valores baixos indicam atividade tectônica elevada e os valores elevados apontam para uma atividade tectônica mais branda. Tais categorias foram chamadas por El Hamdouni *et al.* (2008) de *categorias de atividade tectônica* (Cit), diferenciadas pelos valores 1, 2 e 3.

No que se refere ao RDE, o critério fundamental para o estabelecimento das Cit's foi o número de anomalias averiguadas a partir da relação RDE trecho/RDE total. Considerando que os valores inferiores a 2 não sinalizam comportamento anômalo da drenagem, o número de anomalias averiguadas para cada canal foram assim agrupadas:

Anomalias < 4 , Cit = 3 (baixa)

5 a 6 anomalias, Cit = 2 (moderada)

Anomalias > 6 , Cit = 1 (alta)

Para o Fator Assimétrico (Af), as Cit's concernentes ao referido parâmetro foram assim arbitradas:

$0 < |Af-50| \leq 7$, Cit = 3 (baixa)

$7 < |Af-50| \leq 15$, Cit = 2 (moderada)

$15 < |Af-50|$, Cit = 1 (alta)

Da maneira que fora anunciado, as categorias de atividade tectônica provindas do cálculo da Integral Hipsométrica atenderam a seguinte lógica:

$Hi \leq 0,4$, Cit = 3 (baixa)

$0,4 < Hi \leq 0,5$, Cit = 2 (moderada)

$0,5 < Hi$, Cit = 1 (alta)

O índice Smf foi mensurado para as principais feições escarpadas da bacia do rio Verde, de modo que na maioria das bacias hidrográficas, enfaticamente aquelas posicionadas total ou parcialmente no contexto dos grandes escarpamentos concernentes ao *horst* da Mantiqueira, mais de uma *landform* dessa natureza foi estimada. Para a categorização foram considerados os valores médios computados para cada bacia, resultando no seguinte arranjo:

$Smf > 1,5$, Cit = 3 (baixa)

$1,2 < Smf \leq 1,5$, Cit = 2 (moderada)

$1,2 \geq Smf$, Cit = 1 (alta)

Por fim, o Índice de Atividade Tectônica (Iat) foi definido a partir da combinação de todas as Cit's em relação ao número de parâmetros mensurados, conforme a organização hipoteticamente exemplificada no quadro 1.

Quadro 1: Exemplo de combinação das Cit individuais para definição do Iat.

PARÂMETRO	RDE	Af	Hi	Smf	Σ Cit/n	Iat	Qualificação
Cit	1	1	1	1,5	1,125	1	Altíssima
	1	1	3	3	1,75	3	Alta
	2	2	3	3	2,5	6	Moderada

A proposição de El Hamdouni *et al.* (2008) e mantida por Andrades Filho e Rosseti (2015) parametriza o Iat pelas referências abaixo mostradas:

Σ Cit/n \leq 1,25, Iat = 1 (atividade altíssima)

1,25 < Σ Cit/n \leq 1,5, Iat = 2 (atividade alta)

1,5 < Σ Cit/n \leq 1,75, Iat = 3 (atividade alta)

1,75 < Σ Cit/n, distribuição das demais classes de Iat de atividade moderada

Espacialização do controle tectônico

A representação cartográfica do Iat foi realizada a partir das bacias hidrográficas mensuradas, diferenciadas segundo uma paleta de cores consoante à gradação dos valores finais encontrados para cada bacia. As bacias de menor dimensão diretamente conectadas ao rio Verde que não foram quantificadas individualmente foram agrupadas no que se chamou de *vale do rio Verde*. Os valores representativos dessas áreas foram obtidos a partir do RDE e Af quantificados para o rio Verde e sua bacia, respectivamente; iH e Smf foram calculados para a área do vale, uma vez que tais índices não poderiam ser considerados a partir do computado para a bacia do rio Verde como um todo. Essa estratégia foi adotada para cobrir a área não preenchida pelas bacias quantificadas, gerando resultados complementares que se mostraram congruentes aqueles mensurados para a bacia do rio Verde em sua unidade.

De forma complementar, foi gerado um mapa representativo da diversidade de fatos geomórficos geneticamente vinculados a controle tectônico. Esse incremento qualitativo considerou evidências morfotectônicas interpretadas em produtos de sensoriamento remoto (escarpas de falha, curvas anômalas de canais fluviais, capturas, vales confinados anormalmente retilíneos) e diretamente no campo (terraços e rampas colúviais soerguidas, alvéolos suspensos, estrangulamento abrupto de planícies fluviais). Decerto, as práticas de campo e gabinete foram complementares,

com recorrentes conferências *in locu* das informações previamente levantadas. Serviram como base os dados SRTM em relevo sombreado em ângulo de iluminação azimutal de 315°, bem como as bases planialtimétricas na escala de 1/250.000 (folhas Barbacena, Varginha, Guaratinguetá e Volta Redonda), compatível com a grandeza regional da bacia.

A geração do produto cartográfico em questão seguiu os mesmos princípios do mapeamento da geodiversidade (XAVIER DA SILVA e CARVALHO FILHO, 2001; GRAY, 2004; ARRUDA, 2013), baseando-se na somatória de atributos em malhas quadráticas pré-determinadas e posterior interpolação dos valores. Para tanto, a área da bacia foi fatiada em células de 2 km x 2 km, formando-se as unidades base para a somatória dos fatos geomórficos cotejados. Os procedimentos de georreferenciamento se deram em software ArcGIS, e a interpolação dos valores encontrados acionou o protocolo IDW, contido na ferramenta *Spacial Analysis*.

Resultados

A estruturação geomorfológica da bacia do rio Verde é complexa, consorciando relações com zonas de cisalhamento pré-cambrianas em diferentes litotipos, intrusões alcalinas cretáceo-paleocenas, além do controle neotectônico. O mapa geológico apresentado na figura 2, nesse sentido, subsidia a apresentação e discussão dos resultados obtidos.

O cálculo de RDE corrobora com o que foi argumentado, apontando as maiores concentrações de anomalias nas bacias de drenagem cujas áreas estão total ou parcialmente contidas no domínio da Mantiqueira (quadro 2), exceção feita ao ribeirão Pouso Alto, de extensão relativamente curta, e ao rio Passa Quatro, que tendencialmente mostrou uma atividade tectônica mais comedida. No mais, as categorias de intensidade tectônica (Cit) valoradas em 1 pertencem aos rios que dissecam o *horst*, perpassando patamares controlados por sucessivos níveis de base locais gerados pelos intensos basculamentos.

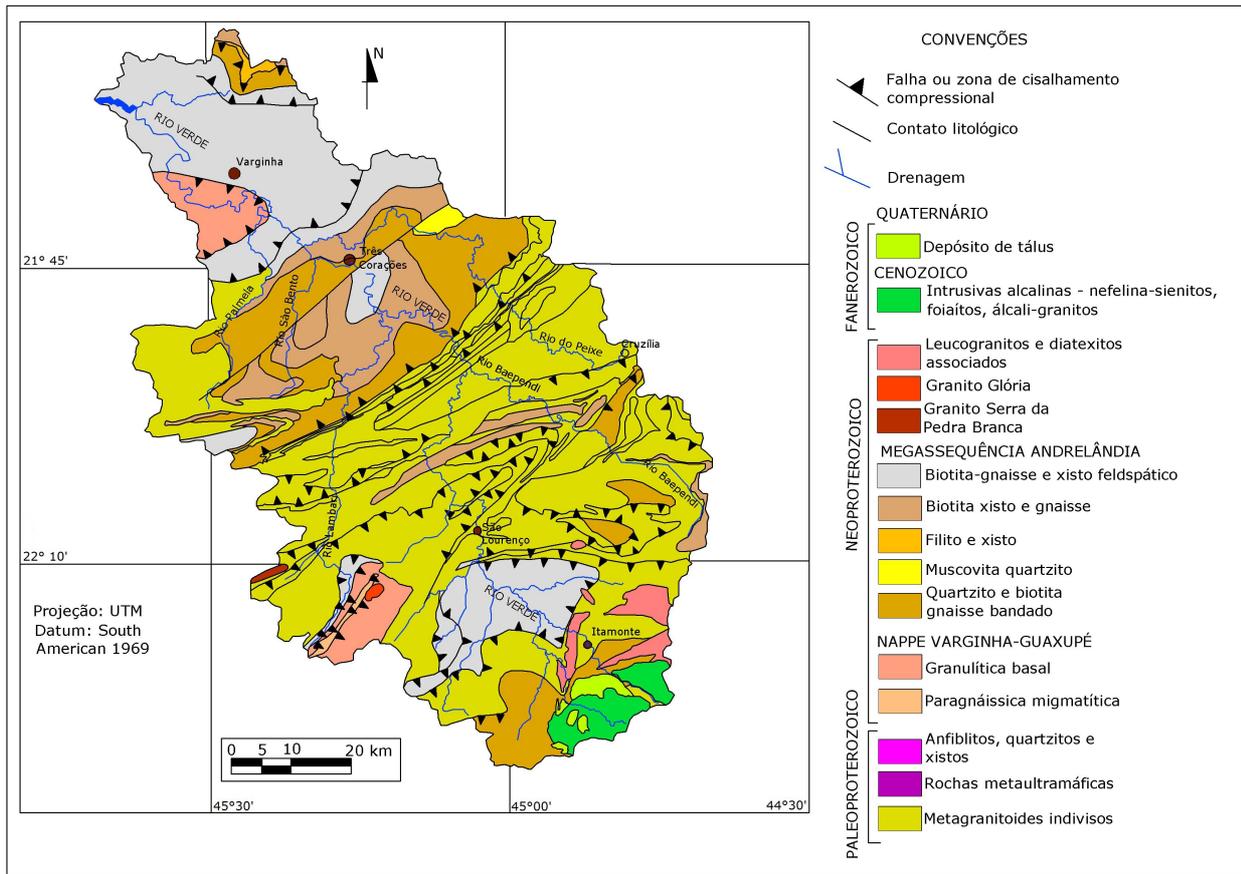


Figura 2 - Geologia da bacia do rio Verde, adaptado de IGA (2009). Fonte: Marques Neto e Perez Filho (2014).

Chama a atenção a bacia do rio Palmela, a única contida inteiramente no Planalto do Alto Rio Grande a assumir valor 1 para RDE, apresentando 15 anomalias, 6 delas de primeira ordem, incluindo a que ocorre na confluência com o rio Verde no contato com o Planalto de Varginha, marcando a passagem para o baixo curso mediante forte controle. Esse padrão é sinalizado pelo encaixe abrupto do canal e pela supressão de suas planícies fluviais consideravelmente evoluídas logo a montante. Em termos absolutos, só não apresentou mais anomalias do que os rios Baependi e Caetés, ainda que, deve-se considerar, o rio Palmela drena a quarta maior área entre as bacias hidrográficas mensuradas. Ocorre que os canais que dissecam as escarpas e patamares da Mantiqueira transpõem muitas soleiras tectônicas, engendrando sistemas de encachoeiramentos em espelhos de falha que foram remobilizadas e que repercutem em concentrações de valores anômalos (figura 3A).

O Fator Assimétrico (quadro 3) estabelece estimável correlação positiva com o RDE, e, no geral, as bacias de Cit baixa para o referido índice são aquelas que apresentaram as maiores concentrações de anomalias. Notadamente, os rios Baependi, Capivari e Aterrado, juntamente com o rio Palmela, mantém o valor 1 para sua Cit; os rios Pouso Alto, Peixe e São Bento, em posição diametral, ostentam o valor 3. É notório também que bacias como a do rio Lambari, Caetés e do ribeirão do Carmo tiveram o valor de Cit aumentado em relação ao que apresentaram em referência ao índice RDE, muito em função das tendências desiguais de migração interna. Enquanto canais como os rios Baependi e Capivari encontram-se ajustados mais próximos à margem direita por quase toda a sua bacia de drenagem, os rios Lambari e Aterrado apresentam padrões diversificados de migração em função de controles locais, tal como se verifica na inflexão abrupta do rio Lambari no contato entre o bloco granulítico de Cristina e os litotipos gnáissico-graníticos adjacentes.

Quadro 2: Categorias de intensidade tectônica referentes ao RDE.

CANAL	ANOMALIAS DE 2º ORDEM	ANOMALIAS DE 1º ORDEM	Σ ANOMALIAS	CÁLCULO PONDERADO	Cit
Rio Verde	33	2	35	39	1
Rio Baependi	13	15	28	43	1
Rio Capivari	10	4	14	18	1
Rio Passa Quatro	5	0	5	5	2
Rio Pouso Alto	2	0	2	2	3
Ribeirão Caetés	15	6	21	27	1
Ribeirão Aterrado	7	0	7	7	1
Ribeirão do Carmo	7	0	7	7	1
Rio Lambari	11	1	12	13	1
Rio do Peixe	2	0	2	2	3
Rio Palmela	9	6	15	21	1
Rio São Bento	1	0	1	1	3
Ribeirão da Espera	2	3	5	8	2

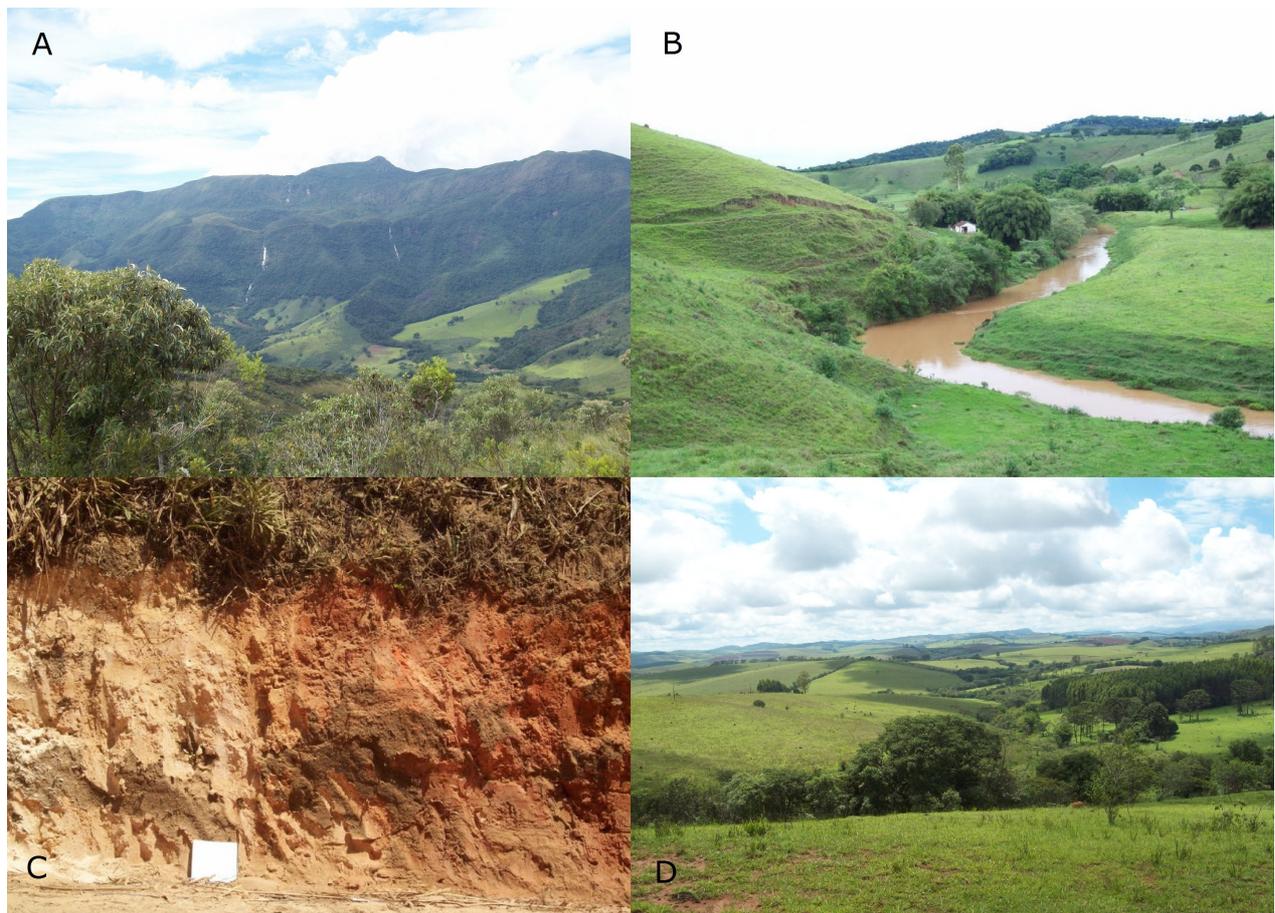


Figura 3 - (A) Escarpas e vales altimontanos com soleiras tectônicas na bacia do rio Baependi (Baependi, MG); (B) Curva anômala do rio Baependi relacionada a deslocamento lateral do divisor local (Baependi, MG); (C) Coberturas de alteração distintas ladeadas por deslocamento de plano de falha na bacia do rio Lambari (Cristina, MG); (D) Superfície aplainada sugerindo uma maior quiescência tectônica na bacia do rio do Peixe (Cruzília, MG).

Quadro 3: Categorias de Intensidade Tectônica referentes ao Fator Assimétrico (Af).

CANAL DE DRENAGEM	Af	[Af - 50]	Cit
Rio Verde	40,98	9,02	2
Rio Baependi	32,94	17,06	1
Rio Capivari	76,3	26,3	1
Rio Passa Quatro	43,3	6,7	3
Ribeirão Pouso Alto	55,19	5,19	3
Ribeirão Caetés	49,7	0,3	3
Ribeirão do Aterrado	20,82	29,18	1
Ribeirão do Carmo	55,08	5,08	3
Rio Lambari	47,86	2,14	3
Rio do Peixe	57,0	7	3
Rio Palmela	32,14	17,86	1
Rio São Bento	72,44	22,44	1
Ribeirão da Espera	40,87	9,13	2

Os valores mais elevados encontrados para a Integral Hipsométrica (Hi) (quadro 4) adequaram as Cit's de valor 1 aos canais cujas bacias dissecam, pelo menos parcialmente, os patamares de cimeira da Mantiqueira, que correspondem aos principais alinhamentos de cristas escarpadas entre a bacia do alto rio Grande e do rio Paraíba do Sul. Esse resultado ilustra os desníveis pronunciados nos degraus mais elevados, caracterizados por uma volumetria topográfica distintamente mais significativa e dissecação das mais profundas em todo o contexto dos grandes escarpamentos da margem rifte do sudeste brasileiro. Demoulin (2011) chama a atenção para o fato de que a espacialidade desse índice possa mostrar variações na composição litológica, denotando um controle estrutural, também pode sinalizar taxas de soerguimento tectônico. Associado às outras evidências aqui discutidas, sugere o controle diferencial nas principais zonas de cisalhamento da Mantiqueira.

Em caráter mais específico, chama a atenção o ribeirão do Carmo, com a área de sua bacia totalmente contida nos patamares escalonados da porção ocidental da Mantiqueira, caracterizados por um relevo mais rebaixado e recobertos por mantos de intemperismo mais desenvolvidos. Ainda, o decréscimo de Cit para o rio Baependi é coerente em função da maior parte de sua área corresponder ao Planalto do Alto Rio Grande, incluindo uma subunidade designada Planalto de Cruzília-Minduri (MARQUES NETO, 2012) ou Planalto de Madre de Deus de Minas (SAADI, 1991), o compartimento mais

aplainado entre os relevos movimentados da Mantiqueira e Planalto do Alto Rio Grande (figura 3D).

O maior adensamento de feições escarpadas se concentra francamente nos domínios da Mantiqueira, a maioria delas correspondentes a um conjunto de escarpas de falha eminentemente ativas, com interflúvios contínuos e precariamente retrabalhados, dotadas de facetas trapezoidais devido à entrada de canais transversais. A incisão profunda e o aspecto confinado dos vales resultantes dos movimentos epigenéticos define *knicks* abruptos no sopé dos alinhamentos montanhosos. Ainda assim, o predomínio foi de Cit no valor 2, posto que valores inferiores a 1,2 (aqui considerados como designativos de Cit 1) não foram encontrados, até porque indicam um relevo excessivamente retilíneo. Embora as escarpas da Mantiqueira agreguem importantes zonas de cisalhamento regionais reativadas por efeitos diastróficos neotectônicos, a densidade de drenagem normalmente é elevada e contribui para o retrabalhamento, com a intercalação de alcovas côncavas onde os canais estão instalados, bem como patamares em *nooses* reafeiçoados em interflúvios locais. A bacia do rio do Peixe, normalmente agregadora de valores mais elevados de Cit, apresentou sensível diminuição no índice Smf em função da presença de serras sustentadas em quartzito, mais resistentes ao retrabalhamento erosivo.

O quadro 5 informa os valores médios de Smf, considerados como os balizadores da Categoria de intensidade tectônica tangente ao parâmetro em questão.

Quadro 4: Categorias de Intensidade Tectônica referentes à integral hipsométrica (iH).

BACIA HIDROGRÁFICA	Integral hipsométrica (iH)	Cit
Rio Verde	0,51	1
Rio Baependi	0,48	2
Rio Capivari	0,59	1
Rio Passa Quatro	0,29	3
Ribeirão Pouso Alto	0,54	1
Ribeirão Caetés	0,51	1
Ribeirão do Aterrado	0,43	2
Ribeirão do Carmo	0,45	2
Rio Lambari	0,63	1
Rio do Peixe	0,37	3
Rio Palmela	0,61	1
Rio São Bento	0,41	2
Ribeirão da Espera	0,43	2

Quadro 5: Categorias de intensidade tectônica segundo a Sinuosidade da Escarpa Montanhosa (Smf).

BACIA HIDROGRÁFICA	Smf médio	Cit
Rio Verde	1,47	2
Rio Baependi	1,52	3
Rio Capivari	1,56	3
Rio Passa Quatro	1,56	3
Ribeirão Pouso Alto	1,23	2
Ribeirão Caetés	1,84	3
Ribeirão do Aterrado	1,45	2
Ribeirão do Carmo	1,55	3
Rio Lambari	1,27	2
Rio do Peixe	1,48	2
Rio Palmela	1,57	3
Rio São Bento	1,51	3
Ribeirão da Espera	1,21	2

Na figura 4 é possível averiguar a espacialização dos valores de Cit obtidos separadamente para cada índice geomórfico mensurado distribuídos segundo as sub-bacias para os quais foram aplicados.

Finalmente, o quadro 6 mostra os valores agregados de Cit para todos os parâmetros estimados e o valor de Intensidade de atividade tectônica (Iat) encontrados para as bacias hidrográficas mensuradas.

No conjunto de valores, foram encontradas duas modalidades qualificadoras do Iat vigente na bacia: alta

e moderada. Fechando a relação, os valores altos mantêm correspondência aos canais cujas bacias dissecam os degraus da Mantiqueira, pelo menos na sua maior parte; os valores moderados, por sua vez, são tendenciais no Planalto do Alto Rio Grande. Os principais desvios são atribuídos à bacia do rio Palmela, toda ela fora dos domínios escarpados da Mantiqueira, e às bacias dos rios Passa Quatro e Pouso Alto. As duas últimas apresentam porções significativas de suas áreas nos segmentos mais elevados e escarpados da Mantiqueira, e ainda assim apresentaram valores de Cit insistentemente baixos.

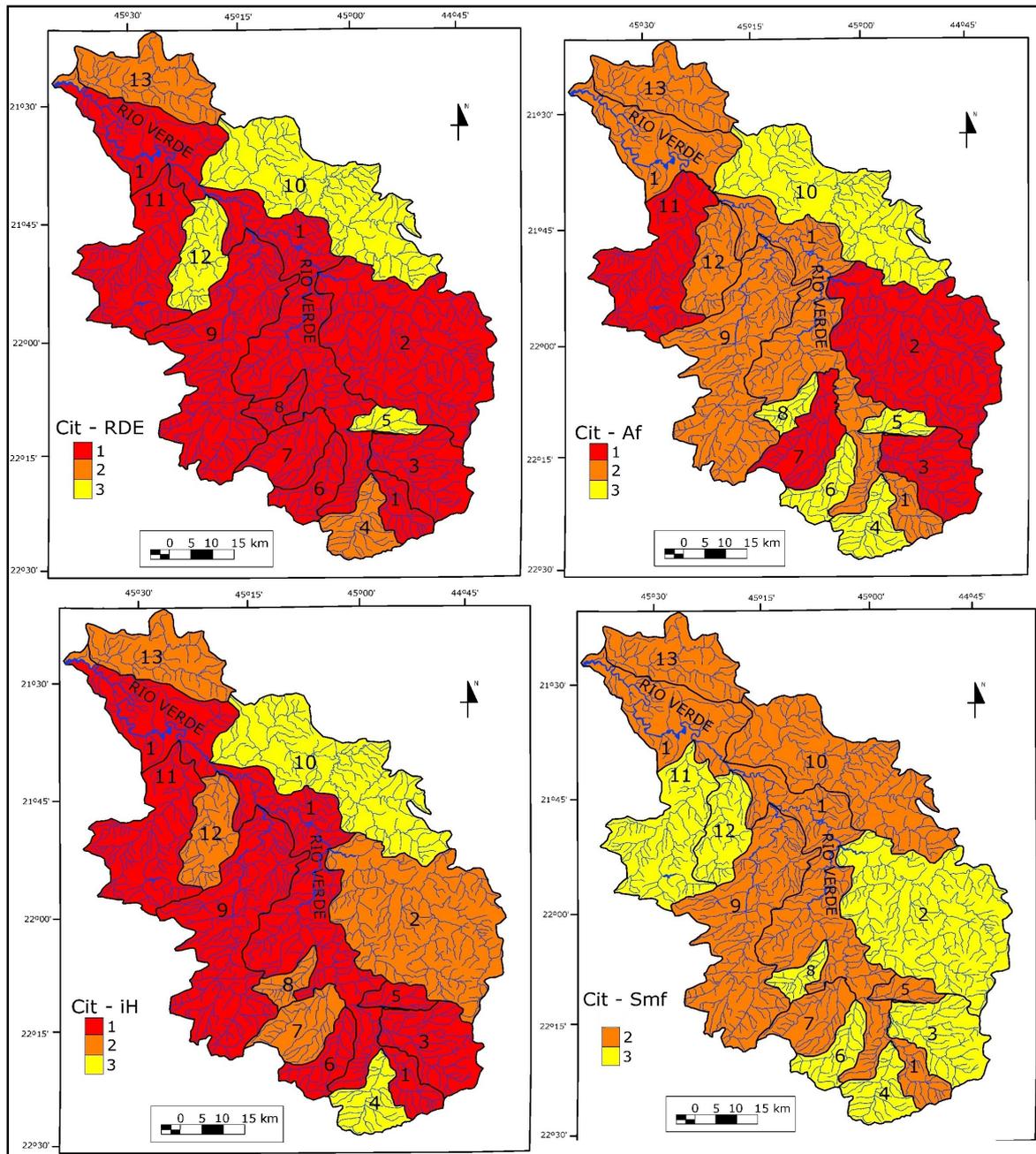


Figura 4 - Espacialização dos valores de Cit para os índices geomórficos mensurados. 1. Vale do Rio Verde; 2. Rio Baependi; 3. Rio Capivari; 4. Rio Passa Quatro; Rio Pouso Alto; 6. Ribeirão Caetés; 7. Ribeirão Passa Quatro; 8. Ribeirão do Carmo; 9. Rio Lambari; 10. Rio do Peixe; 11. Rio Palmela; 12. Rio São Bento; 13. Ribeirão da Espera.

A bacia do rio Verde, de forma geral, apresentou tendência de Cit alta, padrão condizente com os averiguados nas bacias dos afluentes diretos de maior desenvolvimento, e que, tal como o coletor principal, drenam terrenos da Serra da Mantiqueira e do Planalto do Alto Rio Grande. A figura 5 faz a espacialização dos resultados encontrados para as diferentes bacias.

O documento cartográfico apresentado deixa explícito que as duas qualificações gerais para Iat – alta

e moderada, foram seccionadas em duas classes cada, totalizando quatro cores de mapeamento graduadas conforme a gradação dos valores encontrados. Como existe uma relação direta entre a qualificação do Iat e seu respectivo valor numérico (EL HAMDOUNI *et al.* 2008), optou-se por manter o proposto dissociando as categorias de mapeamento para fins de uma diferenciação espacial mais coesa dos valores encontrados.

Quadro 6: Valores de Iat encontrados segundo os índices estimados.

CANAL	RDE	Af	Hi	Smf	Σ Cit/n	Iat	QUALIFICAÇÃO
Rio Verde	1	2	1	2	1,5	2	Alto
Rio Baependi	1	1	2	3	1,75	3	Alto
Rio Capivari	1	1	1	3	1,5	2	Alto
Rio Passa Quatro	2	3	3	3	2	4	Moderado
Rio Pouso Alto	3	3	1	2	2,25	4	Moderado
Ribeirão Caetés	1	3	1	3	2,0	4	Moderado
Ribeirão Aterrado	1	1	2	2	1,5	2	Alto
Ribeirão do Carmo	1	3	2	3	2,25	5	Moderado
Rio Lambari	1	3	1	2	1,75	3	Alto
Rio do Peixe	3	3	3	2	2,75	6	Moderado
Rio Palmela	1	1	1	3	1,5	2	Alto
Rio São Bento	3	1	2	3	2,25	5	Moderado
Ribeirão da Espera	2	2	2	2	2,0	4	Moderado

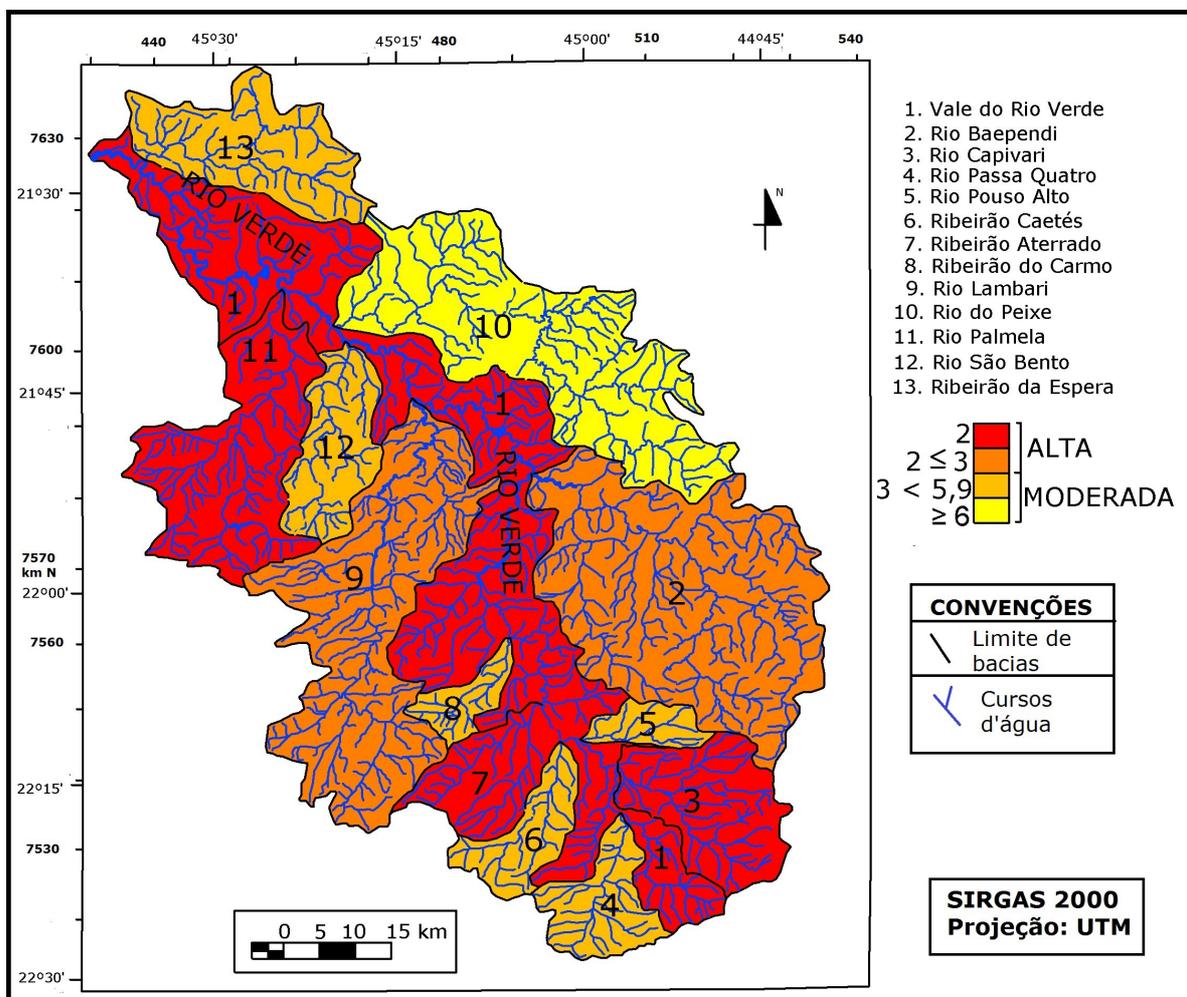


Figura 5. Distribuição da Intensidade de atividade tectônica (Iat) na bacia do rio verde a partir das bacias de maior ordem.

Discussão

O padrão morfotectônico mais geral averiguado para a bacia do rio Verde é dado pela maior concentração de evidências de atividade tectônica na região geomorfológica da Serra da Mantiqueira comparativamente ao Planalto do Alto Rio Grande, ainda que toda a bacia apresente um *Iat* relativamente alto. Muito embora os registros no relevo e na drenagem de esforços deformacionais neotectônicos sejam onipresentes em toda a bacia, é no *horst* da Mantiqueira Meridional que o controle tectônico é mais agudo, tendo sido prevalente durante todo o Cenozoico. A gênese tectônica desses grandes escarpamentos que balizam o segundo degrau orográfico da fachada atlântica recrutou zonas de ci-

salhamento pré-cambrianas que foram remobilizadas durante o soerguimento plataformar no Cenozoico Inferior e sucessivamente reativadas por efeito de diferentes campos de tensão pós-miocênicos.

As similitudes e diferenças encontradas na intensidade de atividade tectônica vigente nas bacias hidrográficas cotejadas guardam relações com o quadro morfoestrutural e morfotectônico regional, organizado em três níveis planálticos principais controlados por diferentes níveis de base regionais: (1) Nível altimontano - Patamares de Cimeira da Mantiqueira e cristas quartzíticas; (2) Primeiro nível intermontano - Patamares escalonados da Mantiqueira (3) Segundo nível intermontano - Morrarias e cristas do Planalto do Alto Rio Grande (figura 6).

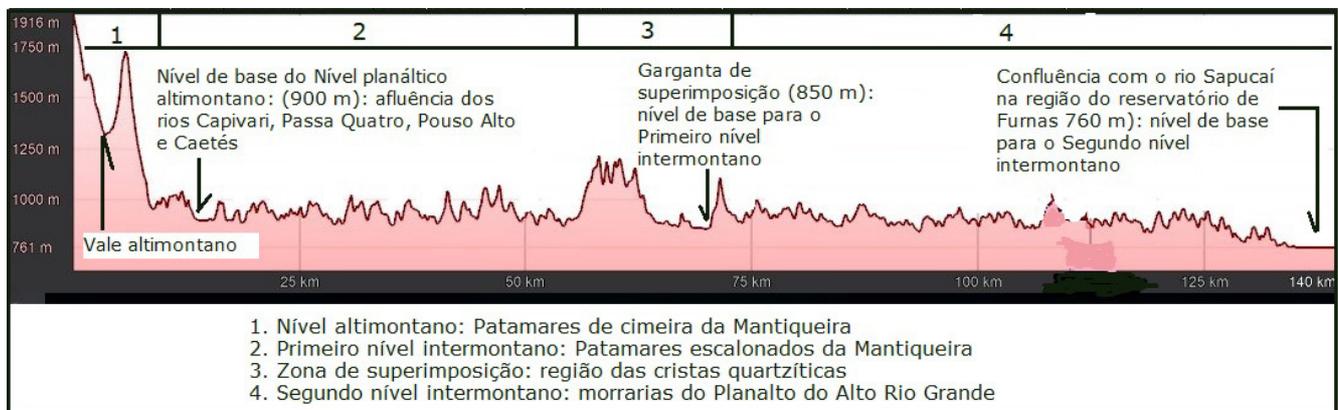


Figura 6 - Escalonamento dos níveis de base regionais e delimitação dos níveis planálticos.

O nível (1) tem um primeiro nível de base importante a 1000 m e um grande nível de base regional estabelecido em torno de 900 metros, altimetria na qual se dá a confluência de importantes rios que dissecam as escarpas da Mantiqueira, estabelecendo-se uma primeira rede de confluências em escala regional dada pelos canais de menor extensão (Capivari, Passa Quatro, Pouso Alto, Caetés, Aterrado). À montante desses níveis de base, o rio Verde e seus afluentes perfazem escalonamentos que definem níveis de base de expressão local, dado por alvéolos posicionados em diferentes patamares altimontanos. O *primeiro nível intermontano* (2) referencia seu nível de base regional mais abaixo, na faixa de 850 metros, onde os rios Baependi e Palmela se nivelam ao rio Verde formando planícies contínuas coalescentes a do tronco coletor principal, que nessa mesma faixa se superimpõe às cristas quartzíticas. Por fim, o *Segundo nível intermontano* (3) é dissecado pelos canais cujas bacias estão totalmente contidas no Planalto do Alto Rio Grande (exceção feita ao

rio Lambari, que se superimpõe às cristas), com nível de base regional posicionado em torno de 760 metros já sob a influência do reservatório de Furnas.

Consubstancia-se um escalonamento regional de SE para NW condizente com a direção tomada pela drenagem invertida com o soerguimento da margem oriental no contexto da tafrogenia vinculada ao rifte continental, com decréscimo das altitudes médias e tendência de suavização dos declives na referida direção. Esse padrão é interceptado por cristas quartzíticas e por um *horst* balizado em biotita-gnaisses de orientação NE-SW que se alinham perpassando toda a porção central da bacia, figurando como importantes compartimentos morfoestruturais regionais cujas altitudes superam 1400 metros. Embora tenham posição altimontana na paisagem, essas cristas não consistem em níveis planálticos contínuos lateralmente, tampouco estão vinculadas a um nível de base de ampla e bem definida distribuição regional. Em forte projeção linear,

truncam o nível 3 mediante controle estrutural dado pelas serras sustentadas em quartzito que se impuseram como barreiras a serem rompidas em soleiras geradas por cortes epigênicos exercidos pelo rio Verde e alguns afluentes (Peixe, Lambari) em demanda ao nível de base regional no reservatório de Furnas.

Os diferentes níveis planálticos se desdobram em distintos compartimentos morfoestruturais discerníveis pelas flagrantes associações existentes entre as formas de relevo, os lineamentos estruturais, a litologia e as tipologias e padrões de drenagem, conforme demonstrado em Marques Neto e Perez Filho (2014).

Embora seja flagrante o aumento dos valores de *Iat* na medida em que são transpostos os diferentes níveis planálticos, essa tendência geral coexiste com algumas discrepâncias assinalando que essa compartimentação regional não define por si só a espacialização da atividade tectônica na bacia, o que demanda a interpretação mais direta nesses quadros específicos. Ainda assim, cumpre notar que os valores não atingem 5 em nenhum contexto mensurado do *Nível altimontano* dos Patamares de Cimeira da Mantiqueira, tampouco ficam acima disso no *Primeiro nível intermontano* (Patamares Escalonados da Mantiqueira). De forma geral, os valores mais elevados estão mais bem distribuídos no Planalto do Alto Rio Grande, o que permite endossar essa diferença mais geral de padrões.

Cumpre então atentar para as relações entre os padrões gerais e os contextos específicos, discutindo a validação da abordagem metodológica a luz de interpretações mais particulares, sempre incrementadas por outros enfoques metodológicos e aporte de trabalhos de campo voltados para a investigação de dados estruturais e evidências geomorfológicas e deposicionais de controle morfotectônico.

Blocos em soerguimento definem significativa atividade tectônica nos rios Capivari, Baependi e Lambari, fundamentalmente no alto curso. Rios de menor extensão, como Aterrado e Caetés, totalmente contidos ao longo dos degraus do reverso da Mantiqueira, também tendem a valores elevados. De todo modo, os três rios retrocitados dissecam blocos tectono-estruturais que engendram contextos epirogenéticos diferenciados ao longo dos Patamares de Cimeira da Mantiqueira, definindo as maiores altitudes da bacia, a saber: (1) as intrusões alcalinas de Itatiaia e Passa Quatro; (2) o bloco gnáissico-granítico da Serra do Papagaio; (3) o bloco granulítico da região de Cristina (figura 2).

No rio Capivari, a influência das intrusões alcalinas de Itatiaia e Passa Quatro é inequívoca, com o referido rio alojado em uma brecha magmática que separa os dois corpos intrusivos. Os batólitos são dissecados por uma drenagem de tendência radial com modificações recorrentes em padrão contorcido e formação de vales suspensos, que demandam o nível de base regional mediante fortíssimas amplitudes altimétricas e significativo retrabalhamento, indicando influência epirogenética prevalente, atribuída por Chiessi (2004) à tectônica cenozoica.

A alta bacia do rio Baependi também concentra os condicionantes que contribuem na redução dos valores de *Cit*, tendencialmente aumentados com a influência dos terrenos de dissecação mais homogênea do Planalto do Alto Rio Grande. No setor correspondente ao *horst* da Mantiqueira o rio Baependi diseca o antiformal da Serra do Papagaio, imensa lasca tectônica de orientação NE-SW e que se desalinha no sentido N-S na sua extremidade norte. Definido por Campos Neto (2000) como *klippe* Pico do Papagaio, esse antiforme é caracterizado por linhas interfluviais contínuas, precariamente facetadas nas cimeiras, que se escalonam em patamares reafeiçoados com facetamento trapezoidal mais proeminente. Ao longo dos diferentes patamares se verificam planícies altimontanas e vales suspensos desarticulados dos níveis de base locais, algumas delas com expressiva retenção sedimentar, como a dos rios Santo Agostinho e São Pedro, a 1400 e 1200 metros de altitude, respectivamente.

O controle estrutural se reflete nesse remanescente preservado da erosão, responsável pela remoção das escamas de falha e exposição de rochas mais antigas. No entanto, o papel da morfotectônica se traduz, conforme exemplificado, em uma pluralidade de evidências no relevo e na drenagem, o que leva a crer que o soerguimento permanente e preferencial desse bloco também responde pela manutenção das altimetrias mais elevadas, pelos desníveis regionais dados por escarpas de falha e pelas significativas evidências de tectônica ativa.

Quanto ao rio Lambari, dois componentes são bastante eloquentes na paisagem atual: (1) o vale confinado e retilíneo no alto curso em entalhe vertical profundo; (2) a mudança abrupta de direção NNE-SSW para NW-SE logo a jusante da extensão anomalmente retilínea. Ambas as características são devidas à influência desse bloco granulítico, designado por Bloco Cristina (BRAGA, 2002) em alusão ao município de referência. O referido bloco posiciona-se paralelamente a cristas em escarpas de falha paralelas e de orientação geral

NNE-SSW entalhadas por canais igualmente paralelos seguindo a mesma orientação, todos eles tributários do rio Lambari. Trata-se do contexto correspondente às zonas de cisalhamento de Cristina, São Bento do Sapucaí e Maria da Fé, permanentemente reativadas e com entalhe pronunciado da drenagem em função das solicitações epigenéticas, incluindo evidências de deslocamento em coberturas cenozoicas (figura 3C). Sucodem-se granulitos basais, granitos e biotita-gnaisses em contatos tectônicos (HACKSPACHER *et al.* 1991; BRAGA, 2002) mantidos nas referidas direções em altitudes semelhantes, sugerindo que a erosão diferencial não foi determinante na compartimentação do relevo. Imperam, na verdade, desníveis paralelos estabelecidos na sucessão de cristas e vales na mesma orientação, assinalando o forte entalhe vertical nas linhas de fraqueza regionais.

Em contraste ao significativo controle morfotectônico operante no *horst* da Mantiqueira, a bacia do rio Passa Quatro apresenta um papel mais expressivo da erosão diferencial em sua evolução dada pelos contatos entre os nefelina-sienitos e litotipos gnáissicos, onde verifica-se um pronunciado rebaixamento do divisor. O canal em questão encontra-se adaptado a uma falha de orientação N-S responsável pela geração de uma depressão com morros embutidos orientados nesse mesmo sentido em litotipos gnáissico-graníticos. Esse compartimento avança remontantemente até as escarpas dos Patamares de Cimeira da Mantiqueira. Essa depressão se consubstancia logo que seus canais formadores vencem as soleiras das escarpas gnáissicas e do maciço montanhoso alcalino, alongando-se no contato entre essas rochas de resistência assaz desigual, aprisionando o rio Passa Quatro na parte central da bacia e impedindo o desenvolvimento de assimetria. Da mesma forma, não se verificam rupturas de declive significativas que tendem a acentuar os valores de RDE, havendo, ao contrário, uma continuidade altimétrica ao longo do compartimento depressionário.

A despeito do controle estrutural marcante, os indícios tectônicos na evolução do relevo também fornecem suas assinaturas. É notório que o rio Passa Quatro atinge rapidamente o nível de base, e o rebaixamento do divisor está ligado a sua forte erosão regressiva à montante da depressão. O interflúvio figura como uma superfície estreita e plana, indicando ter havido uma captura por decapitação do rio Passa Vinte, que disseca as escarpas voltadas para o rio Paraíba do Sul, do qual é tributário. Esse processo ocorreu

no bloco gnáissico da margem esquerda, indicando que parte desse divisor delimitado a partir do Pico do Cristal (1858 m) pertencera à bacia do Paraíba do Sul.

Ainda, a depressão alongada do rio Passa Quatro tem sua estocagem sedimentar interrompida em função de um desvio abrupto do canal principal ao interceptar uma falha transcorrente responsável pelo deslocamento lateral do seu divisor, suprimindo a planície de inundação e definindo uma pequena extensão de forte encaixamento. À montante, o entalhe se pronuncia e os terraços fluviais ficam mais conspícuos, ainda que marcadamente descontínuos. Na sede municipal são averiguáveis inversões granulométricas com níveis de seixos arredondados alçados nos diques marginais subjacentes a materiais argilo-arenosos, assinalando a natureza da carga de fundo anteriormente ao entalhe.

No Planalto do Alto Rio Grande os canais encontram-se mais ajustados em extensões significativas. Rios importantes como Baependi e Lambari passam a desenvolver planícies mais contínuas e de significativo desenvolvimento lateral, com exposição de horizontes orgânicos correspondentes a paleogleissolos indicativos de períodos de relativa estabilidade. Datações feitas por Marques Neto (2012) pelo uso de Luminescência Opticamente Estimada (LOE) mostraram que os materiais sobrejacentes de preenchimento vertical da planície não excedem 1000 anos.

O rio do Peixe, por sua vez, disseca superfícies planálticas na região de Cruzília e Minduri no contato com as faixas interfluviais do rio Grande, correspondendo a uma superfície mais extensivamente aplainada e caracterizada por maior quietude tectônica, como já fora apontado por Saadi (1991) e Rezende *et al.* (2013), conforme pode ser visualizado em remissão à figura 3 (D). Desse modo, sua bacia computou o maior valor de Iat.

A presença de pequenos grábens no Planalto do Alto Rio Grande sinaliza abatimentos recentes, como o do ribeirão do Melo, paralelo ao *horst* da Serra das Águas entre Lambari e Cambuquira, estrutura edificada em biotita-gnaisses altimetricamente nivelada às serras de São Tomé/Cantagalo, sustentadas em quartzito. No contato litológico, o rio Lambari se superimpõe. Na outra vertente da Serra das Águas estão contidos os formadores dos rios São Bento e Palmela. O primeiro, embora tenha apresentado Iat alta, revelou indícios de esforços neotectônicos, por exemplo, pela presença de solos hidromórficos soerguidos e atualmente lixiviados, com pedogênese sobreposta. Tais depósitos foram data-

dos por Marques Neto (2012) por LOE em 5.700 anos, e considerando que esse rio não vence nenhuma soleira significativa para catalisar o entalhe, foram interpretados como materiais tectonicamente afetados.

A bacia do rio Palmela se demonstrou mais ativa tectonicamente, conforme já frisado, pelos valores elevados concernentes às suas respectivas Cit's e valor final de Iat. De forma geral, pode-se atribuir essa tendência ao fato primeiro do canal principal dissecar diferentes litologias, algumas de resistência diferencial, como biotita-xistos e ortognaisses tonalíticos. Além disso, deve-se ressaltar que esses contatos são dados por falhas, incluindo uma zona de cisalhamento transcorrente dextral designada por Zona de Cisalhamento de Três Corações (TROW *et al.* 1982; QUEMENEUR *et al.* 2002), que repercute, por conseguinte, em uma leve migração em direção ao divisor da margem direita. Essa natureza de contatos é verificada, inclusive, em sua desembocadura na margem esquerda do rio Verde, caracterizada por aumento abrupto de RDE indicando retomada do entalhe quando o rio passa a dissecar as rochas metamórficas de alto grau da *nappe* Três Pontas-Varginha (GARCIA *et al.* 2004).

Na faixa de 1020-1000 metros o rio Palmela passa a desenvolver uma planície aluvial estreita e descontínua estrangulada por rupturas no gradiente acompanhadas de entalhe vertical em leito rochoso, com afloramentos recorrentes na base das vertentes. Na faixa altimétrica de 900 metros o rio define uma planície aluvial substancialmente mais alargada com amplas extensões inundáveis formando um nível de base local de considerável extensão longitudinal. A morfologia agradacional se desenvolve de maneira mais distinta pela margem direita, assinalando que nesse trecho a migração lateral se dá na direção da margem esquerda. De todo modo, a partir dos resultados de Iat e das considerações gerais aqui expostas, recomenda-se investigações de detalhe para essa bacia em específico.

Olhando a distribuição das evidências morfológicas de controle tectônico a partir dos fatos geomórficos anteriormente elencados (figura 7), verifica-se distintamente uma concentração maior no contexto dos patamares de cimeira da Mantiqueira. Ainda que tal padrão esteja atrelado aos fatos geomórficos estimados na somatória, o mapa representativo de sua diversidade na área da bacia correlaciona-se positivamente com o mapa de Iat.

Consideradas as generalizações impostas pela escala, ainda assim é possível enxergar além do contraste entre

a Mantiqueira e o Planalto do Alto Rio Grande. Alguns focos de maior diversidade de fatos geomórficos tectonicamente gerados se destacam no antiforme da Serra do Papagaio, na alta bacia do Rio Baependi, bem como no contexto do Bloco Cristina e das rochas intrusivas alcalinas neocretáceas. A natureza tectônica do relevo nesses blocos e a diversidade de fatos geomórficos gerada foi sobejamente averiguada em campo, corroborando com o apontamento anterior acerca da maior intensidade tectônica nos referidos compartimentos, também apontada com os resultados de Iat. Notadamente, valores muito baixos avançam ao longo do vale do rio Passa Quatro, a prenunciarem uma área de maior rarefação das evidências no relevo e na drenagem de esforços neotectônicos nos níveis intermontanos, com mantos de intemperismo mais evoluídos e dissecação mais homogênea.

No Planalto do Alto Rio Grande, duas influências ficam realçadas: o papel das cristas quartzíticas e da *nappe* Três Pontas-Varginha. Embora algumas dessas cristas sejam sustentadas em quartzitos, figuram com escarpas de falha e definem pequenos grábens em vales retilíneos com drenagem aprisionada. Já o contato com os litotipos granulíticos na região de Varginha é bem apontado na figura 4, com supressão abrupta das planícies fluviais do rio Palmela e do próprio rio Verde seguida de uma sequência de curvas anômalas no rio Verde em meandros pronunciadamente encaixados.

A espacialização é um procedimento científico condicionado pela escala trabalhada. A escala regional da bacia do rio Verde demanda um consórcio equilibrado entre as interpretações e representações mais gerais, inerentes à grandeza regional, e as interpretações específicas de fatos e evidências tangentes ao escopo geral da pesquisa e representativas do quadro regional, mas cuja espacialidade é topológica e até mesmo pontual. Desse modo, outras evidências morfológicas e estruturais ocorrem ao longo da bacia e são plenamente averiguáveis em campo, algumas delas ilustradas na figura 3: terraços rochosos, soleiras tectônicas (figura 3A), *shutter ridges* vinculadas às falhas transcorrentes neotectônicas (figura 3B), pequenos rejeitos de falhas normais, desalinhamento de interflúvios, etc. Desse modo, a verticalização dos estudos em escalas de detalhe ou enveredados para variáveis e/ou evidências específicas são imperiosos e devem vir de encontro aos esquemas regionais para uma interpenetração cada vez mais coesa entre as diferenças morfotectônicas regionais e as especificidades dos controles locais.

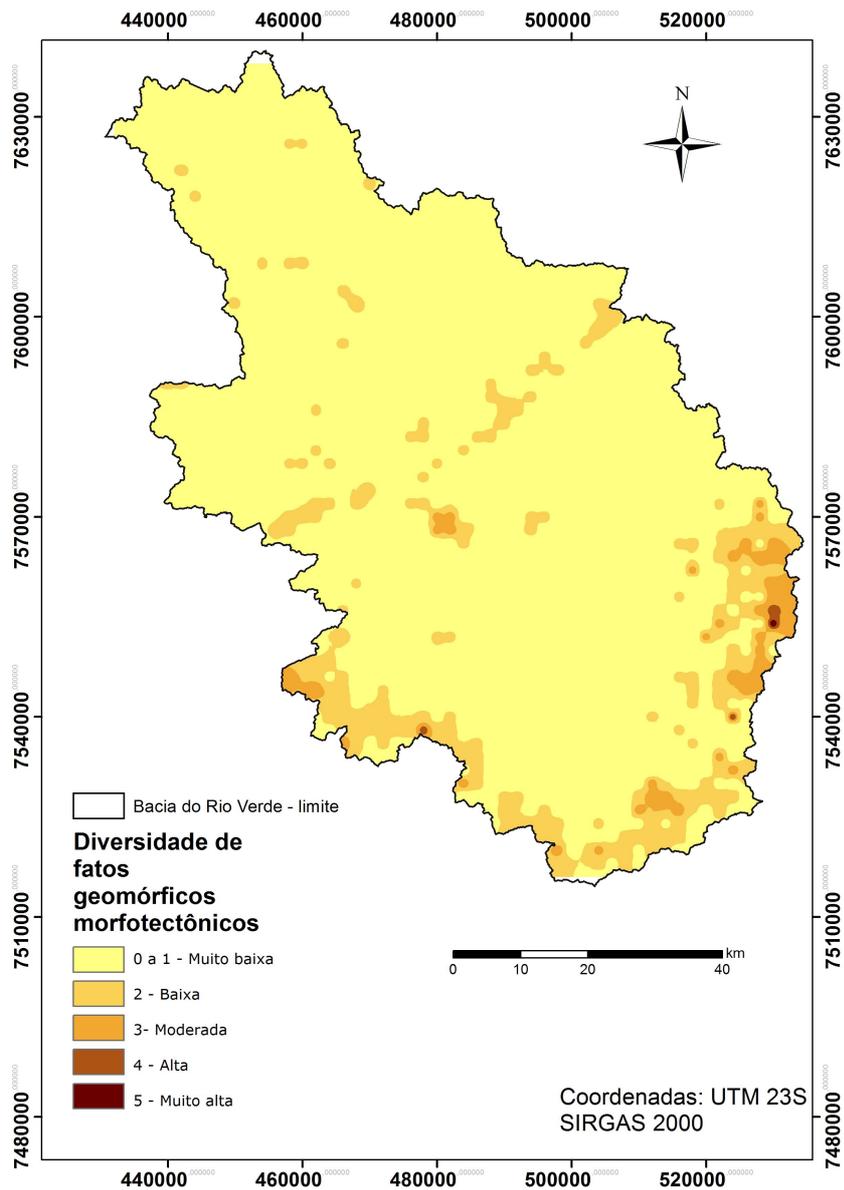


Figura 7 - Distribuição da diversidade de fatos geomórficos morfotectônicos.

Considerações Finais

A disseminação do emprego de índices geomórficos como técnica de pesquisa no campo da morfotectônica, tanto no Brasil como em âmbito mundial, estabeleceu um horizonte de possibilidades do qual emergiu o índice agregado aqui trabalhado. Flexível em suas possibilidades de aplicação, essa técnica admite a incorporação de diferentes índices geomórficos sem deformação da sua estrutura geral e sem comprometimento da sua validade. Na aplicação aqui apresentada, demonstrou alinhamento aos resultados encontrados para os índices individuais mensurados para as diferentes sub-bacias trabalhadas, o que reafirma sua congruência

e capilaridade com o plantel metodológico progressivo.

O índice que deu o mote da presente discussão tem como vantagem sua propriedade de espacialização em diferentes unidades de interpretação: bacias hidrográficas, regiões e/ou compartimentos geomorfológicos, unidades de paisagem, etc. Também admite uma representação cartográfica calcada nos procedimentos usuais de interpolação linear em meio digital, um protocolo recorrente em muitos softwares de geoprocessamento.

Além da assinalada amplitude de possibilidades, o índice Iat também admite aplicação em diferentes escalas, podendo subsidiar de forma auspiciosa estudos regionais e pesquisas realizadas em espacialidades mais

restritas. Grandes regiões geomorfológicas podem ser abordadas comparativamente a partir de aplicações nos diferentes compartimentos morfoestruturais ou blocos tectônicos, e bacias hidrográficas de expressão regional podem ser mensuradas a partir de suas sub-bacias, permitindo uma estimativa das variações tectônicas regionais e sua espacialização correlata. Bacias de menor ordem e unidades geomorfológicas e de paisagem mais restritas também podem ser alvo de aplicação e representação mais detalhada, com boas resoluções logradas a partir dos procedimentos cartográficos de interpolação.

Como todo índice, os resultados de *Iat* não devem ser interpretados mediante transposições diretas, sob o risco de entendimentos contaminados acerca da realidade geomorfológica. Seus apontamentos devem ser calibrados com constatações realizadas em campo e discutidos em diálogo com outras evidências marcadas no relevo, na drenagem, nos depósitos e nas estruturas. A garimpagem dos resultados deve se iniciar ainda na fase de mensuração dos índices geomórficos isolados, a fim de se diferenciar quais valores anômalos de fato apresentam significado morfotectônico.

No contexto da bacia do rio Verde, a opção aventada de representar o índice *Iat* a partir das suas principais sub-bacias se mostrou coerente com os resultados advindos de estudos pregressos, citados ao longo do artigo, bem como com as evidências constatadas em campo. Destacadamente, o resultado final coadunou o principal padrão regional, dado pela atividade tectônica mais intensa no *horst* da Mantiqueira Meridional em relação ao Planalto do Alto Rio Grande, às dissonâncias mais locais que rompem tal padrão verificado nessas duas regiões geomorfológicas. Isso porque a diferenciação do quadro regional segundo bacias de menor ordem permite uma tentativa aproximação entre a organização da rede hidrográfica e os diferentes blocos tectono-estruturais.

Referências Bibliográficas

ANDRADES FILHO, C. O.; ROSSETI, D. F. Intensidade da atividade tectônica na porção emersa da Bacia Paraíba e embasamento cristalino adjacente, Nordeste do Brasil. **Pesquisa em Geociências**, v. 42, n. 2, p. 113-130, 2015. DOI: doi.org/10.22456/1807-9806.78114

ARRUDA, K. E. C. **Geodiversidade do município de Araripina – PE, Nordeste do Brasil**. Dissertação (mestrado em

Geociências). Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013. 171p.

BRAGA, I. F. **Análise de deformação de rochas infracrustais da região de Cristina e Itajubá – MG**. Tese (doutorado em Geociências), Instituto de Geociências e Ciências Exatas Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2002. 197p.

BULL, W. B.; WALLACE, R. E. Tectonic geomorphology. **Geology**, Penrose Conference Report, p. 216, 1985. doi.org/10.1130/0091-7613(1985)13<216:TG>2.0.CO;2

CAMPOS NETO, M. C. (2000) Orogenic systems from southwestern Gondwana: an approach to brasiliano-pan african cycle and orogenic collage in southeastern Brasil. In: CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D. A. (Ed.) **Tectonic evolution of South America**. Rio de Janeiro: p. 335-365.

CHIESSI, C. M. **Tectônica Cenozoica no Maciço Alcalino de Passa Quatro (SP-MG-RJ)**. Dissertação (Mestrado em Geologia), Instituto de Geociências, Universidade

COX, R. T. Analysis of drainage-basin symmetry as a rapid technique to identify areas of possible Quaternary tilt-block tectonics: an example from the Mississippi Embayment. **Geological Society of America Bulletin**, v. 106, n. 5, p. 571-581, 1994. doi.org/10.1130/0016-7606(1994)106<0571:AODBSA>2.3.CO;2

DEMOULIN, A. Basin and river profile morphometry: a new index of a high potential for relative dating of tectonic uplift. **Geomorphology**, n. 126, p. 97-107, 2011. doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.10.033

EL HAMDOUNI, R.; IRIGARAY, C.; FERNANDÉZ, T.; CHACÓN, J.; KELLER, E. A. Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (Southern Spain). **Geomorphology**, v. 96, n. 1-2, p. 150-173, 2008. doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.08.004

ETCHEBEHERE, M. L. C. **Terraços Neokuaternários no Vale do Rio do Peixe, Planalto Ocidental Paulista: implicações estratigráficas e tectônicas**. Rio Claro, 2000. 264p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

_____. Aplicação do índice “Relação Declividade-Extensão – RDE” na bacia do Rio do Peixe (SP) para detecção de deformações neotectônicas. **Geologia USP-Séries Científicas**, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 43-56, 2004. dx.doi.org/10.5327/S1519-874X2004000200004

GARCIA, M. G. M.; CAMPOS NETO, M. C.; JANASI, V. A.

Proveniência e ambientação tectônica de metassedimentos de alto grau: nappe Três Pontas-Varginha, sul do Cráton do São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 34, n. 1, p. 49-58, 2004.

GARROTE, J.; HEYDT, G. G.; COX, R. T. Multi-stream order analyses in basin asymmetry: a tool to discriminate the influence of neotectonics in fluvial landscape development (Madrid basin, Central Spain). **Geomorphology**, v. 102, n. 1, p. 130-144, 2008. doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.07.023

GATTO, L. C. S.; RAMOS, V. L. S.; NUNES, B. T. A.; MAMEDE, L.; GÓES, M. H. B.; MAURO, C. A.; ALVARENGA, S. M.; FRANCO, E. M. S.; QUIRICO, A. F.; NEVES, L. B. Geomorfologia. In: **Projeto RADAMBRASIL**. Folha SF-23/24 Rio de Janeiro/Vitória. Rio de Janeiro: IBGE, 1983.

GOLTS, S.; ROSENTHAL, E. A morphotectonic map of the northern Arava in Israel, derived from isobase lines. **Geomorphology**, v. 7, p. 305-315, 1993. doi.org/10.1016/0169-555X(93)90060-F

GOUDIE, A. S. Quantification of rock control in geomorphology. **Earth-Science Reviews**, n. 159, p. 374-387, 2016. doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.06.012

GRAY, M. **Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature**. Chichester: Wiley-Blackwell, 2004. 434p.

HACK, J. T. Stream-profile analysis and stream-gradient index. **Journal of Research of United States Geological Survey**. v. 1, n. 4, p. 421-429, 1973.

HACKSPACHER, P. C.; OLIVEIRA, M. A. F.; HASUI, Y.; EBERT, H. D. Bloco granulítico de Cristina (MG), exemplo de alçamento crustal síncrono ao Sistema de Cisalhamento Monte Sião/Jundiuvira. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 3, 1991, Rio Claro. **Boletim...** Rio Claro: UNESP/SBG, 1991. p. 547.

HARE, P. W.; GARDNER, I. W. Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins. In: ANNUAL BINGHAMTON GEOMORPHOLOGY SYMPOSIUM. **Anais...** Boston, 1985.

HIRUMA, S. T.; RICCOMINI, C. Análise morfométrica em neotectônica: o exemplo do Planalto de Campos do Jordão. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, USP, v. 20, n. ½, p. 5-19, 1999.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Plano Diretor de recursos hídricos da bacia do Rio Verde – Relatório Parcial**. Diagnóstico. v. 1 e 2, 2009, 371p.

JAIN, V. E. **Geotectônica general** (parte I). Moscú: Editorial Mir, 1973. 356p.

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, n. 10, 2014. doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.12.037

KELLER, E. A.; PINTER, N. **Active tectonics**. Upper Seddle River, NJ, USA: Prentice Hall, 1996. 359p.

MARQUES NETO, R. **Estudo evolutivo do sistema morfoclimático e morfotectônico da bacia do Rio Verde (MG), sudeste do Brasil**. 2012. 430p. Tese (Doutorado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2012.

_____; PEREZ FILHO, A. Compartimentação morfoestrutural da bacia do Rio Verde, sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 1, p. 119-135, 2014. dx.doi.org/10.20502/rbg.v15i1.478

MacMILLAN, R. A.; SHARY, P. A. Landforms and landform elements in geomorphometry. **Developments in Soil Science**, v. 33, p. 227-254, 2009. doi.org/10.1016/S0166-2481(08)00009-3

_____. **Estudo evolutivo do sistema morfoclimático e morfotectônico da bacia do Rio Verde (MG), sudeste do Brasil**. 2012. 430p. Tese (Doutorado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2012.

PIKE, R. J. Geomorphometry: diversity in quantitative surface analysis. **Progress in Physical Geography**, v. 24, n. 1, p. 1-20, 2000. doi.org/10.1177/030913330002400101

PINHEIRO, M. R.; QUEIROZ NETO, J. P. Neotectônica e evolução do relevo na região da Serra de São Pedro e do baixo rio Piracicaba/sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 16, n. 4, 2015. p. 593-613. dx.doi.org/10.20502/rbg.v16i4.668

QUÉMÉNEUR, J. J. G.; RIBEIRO, A.; PACIULLO, F. V. P.; HEILBRON, M.; TROUW, R. A. J.; VALENÇA, J. G.; NOCE, C. M. (2003) Geologia da Folha Lavras. In: PEDROSA SOARES, A. C.; NOCE, C. M.; TROUW, R. A. J.; HEILBRON, M. (Eds.) **Geologia e Recursos Minerais do Sudeste Brasileiro**. v. 1, cap. 7. Companhia Mineradora de Minas Gerais – COMIG. 7: 259-319.

RICCOMINI, C. **O rift continental do sudeste do Brasil**. São Paulo, 1989. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 256p.

SAADI, A. **Ensaio sobre a morfotectônica de Minas Gerais: tensões intraplaca, descontinuidades crustais e morfogênese**.

Tese (Professor Titular), Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 1991. 285p.

SEEBER, L; GORNITZ, V. River profiles along the Himalayan arc as indicators of active tectonics. **Tectonophysics**, v. 2, p. 335-367, 1983. doi.org/10.1016/0040-1951(83)90201-9

TROUW, R. A. J.; RIBEIRO, A.; PACIULLO, F. V. P.;

CHRISPIM, S. J.; DAYAN, H. Análise da deformação de uma área a SE de Lavras, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. **Anais...**, Salvador, p.187-198, 1982.

XAVIER DA SILVA, J.; CARVALHO FILHO, L. M. Índice de geodiversidade da restinga da Maramabaia (RJ): um exemplo de geoprocessamento aplicado à Geografia Física. **Revista de Geografia**, v. 1, p. 57-64, 2001.