

Evidências de atividade neotectônica nos maciços alcalinos de Itatiaia e Passa Quatro, sul de Minas Gerais

Roberto Marques Neto

Universidade Federal de Juiz de Fora

Archimedes Perez Filho

Universidade Estadual de Campinas

p. 416 – 430

Artigo disponível em:

<http://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/84541>

Como citar este artigo:

MARQUES NETO, R.; PEREZ FILHO, A. Evidências de atividade neotectônica nos maciços alcalinos de Itatiaia e Passa Quatro, sul de Minas Gerais. *GEOUSP – Espaço e Tempo (Online)*, São Paulo, v. 18, n. 2, p. 416-430, 2014.



Este artigo está licenciado sob a Creative Commons Attribution 3.0 License.

revista

Geo 
USP
espaço e tempo

Volume 18, nº 2 (2014)

ISSN 2179-0892

Evidências de atividade neotectônica nos maciços alcalinos de Itatiaia e Passa Quatro, sul de Minas Gerais

Roberto Marques Neto
Archimedes Perez Filho

Resumo

O presente trabalho apresenta e discute evidências de atividade neotectônica nos maciços alcalinos da porção mineira de Itatiaia e Passa Quatro, por meio de técnicas de análise estrutural (mensuração de índices geomórficos, extração de lineamentos) e da investigação dos níveis topográficos, no intuito de estabelecer relações com as superfícies geomórficas da área. Os resultados reconheceram uma tectônica recente e ativa atuando na deformação das superfícies geomorfológicas e na configuração do relevo e da drenagem.

Palavras-chave: Neotectônica. Superfícies geomórficas. Maciço alcalino. Planalto do Itatiaia. Basculamento de blocos.

Evidence of neotectonic activity in the alkaline massifs of the Itatiaia and Passa Quatro, southern Minas Gerais

Abstract

This paper aims to present and discuss neotectonic activity in the alkaline massifs of Itatiaia e Passa Quatro in its part situated in the Minas Gerais State through structural analysis techniques (geomorphic indexes, lineament extraction) and investigation of topographic levels entending to establish connections to geomorphic surfaces the exist in the area. The results recognized a recent and active tectonic, acting on the deformation of geomorphologic surfaces and on the relief's and drainage's configuration.

Keywords: Neotectonic. Geomorphic surfaces. Alkaline massifs. Itatiaia Plateau. Tilt of blocks.

Introdução

O Planalto do Itatiaia tem sido objeto recorrente de estudos geomorfológicos praticados no meio tropical. É formado pelas rochas intrusivas alcalinas de Passa Quatro e Itatiaia e por granitos, gnaisses, migmatitos, xistos e quartzitos pré-cambrianos; constitui o compartimento mais elevado do sistema Mantiqueira, e pode ser subdividido num compartimento ocidental com relevo marcado por dissecação diferencial e entalhe variável da drenagem em vales estruturais, escarpas, cristas simétricas de grande extensão e bordas de estruturas circulares, e um setor oriental formado por um feixe de cristas de orientação WNW-ESE com falhas perpendiculares profundas desenvolvidas em rochas migmatíticas, charnoquíticas e gnáissicas (MME, 1983).

Modenesi-Gauttieri (1992) restringe o termo planalto de Itatiaia para qualificar o compartimento de morros e encostas abruptas com picos rochosos e setores planos ocupados por várzeas turfosas correspondente à área de ocorrência das rochas intrusivas alcalinas em aproximadamente 250 km², limitado em seu setor norte por um anel externo quase contínuo, com as bordas sudeste e sul definidas pela Pedra do Couto/Prateleiras. Tal concepção difere da compartimentação do Projeto Radambrasil (MME, 1983), que designa ao Planalto do Itatiaia uma área de 4348 km², sendo litologicamente constituído tanto pelas rochas intrusivas alcalinas como por litologias compostas por gnaisses, migmatitos e quartzitos pré-cambrianos.

As intrusões alcalinas do Cretáceo Superior que balizam os maciços de Itatiaia e Passa Quatro são compostas essencialmente por nefelina-sienitos, foiaítos, brechas magmáticas, nordmakitos, quartzo-sienitos e granitos alcalinos (Penalva, 1967).

A paisagem sugestivamente alpina dos altos cumes do Itatiaia e as formas aguçadas do pico das Agulhas Negras foram exaltadas por De Martonne (1943), tendo Raynall (1960, p. 5) apresentado as seguintes considerações gerais sobre o relevo do Planalto do Itatiaia:

Uma topografia aparentemente acarneirada, largas bacias justapostas ou elevadas de algumas dezenas de metros, uma em relação às outras, as incertezas de uma rede de regatos que parecem mal se organizar no meio das pradarias turfosas, todos estes traços compõem uma paisagem onde diversos autores viram a marca de uma antiga glaciação, localizada na alta montanha.

Nos afloramentos aparecem sulcos e caneluras que De Martonne (1943) interpretou como efeito de erosão glaciária, que teria ocorrido nos cumes dos picos das Agulhas Negras e Prateleiras. Blocos rochosos ciclópicos afloram nas encostas, e as depressões úmidas que se formatam acima de 2.000 metros de altitude são ricas em turfeiras com formação de horizontes orgânicos, constituindo-se uma paisagem de exceção revestida por campos de altitude com alto índice de endemismos.

O maciço do Itatiaia, em particular os sulcos presentes nas cumeadas dos picos das

Agulhas Negras e Prateleiras, de fato motivaram conjecturas acerca de possível ocorrência de geleiras nos altos cumes do maciço durante os períodos glaciais pleistocênicos. Lehmann (1960) atribuiu a ocorrência de tais geleiras ao fato de que, durante a última glaciação, a porção alçada a altitudes superiores a 2.500 metros não teria diminuído drasticamente seu índice pluviométrico em períodos de clima mais seco. Esse fator, aliado ao isolamento do *stock* do Itatiaia teria propiciado a ocorrência de geleiras em altitudes que, mesmo em destaque altimétrico, seriam baixas para a acumulação de neve preservada do degelo. Modenesi-Gauttieri e Nunes (1998) também entendem que as taxas pluviométricas nos compartimentos mais elevados se mantiveram semelhantes às hodiernas durante o último estágio glacial, e admitem a ocorrência de processos geocriogênicos a partir de um limiar altimétrico de 2.000 metros. No que tange aos processos de erosão e acumulação glacial, no entanto, estudos posteriores têm provocado ceticismo a este respeito, uma vez que as altitudes médias do maciço sempre o teriam colocado abaixo da linha de neve perene, mesmo durante as fases glaciais (Clapperton, 1993).

Os terrenos elevados do Planalto do Itatiaia resguardam uma das paisagens mais *sui generis* do Brasil sudeste em sua fachada atlântica. As singularidades climáticas partilham do receituário físico das terras altas do Itatiaia até os dias atuais, diferenciando essas paisagens altas em termos de umidade, nebulosidade, precipitação e temperatura em função da elevação proeminente do batólito. No concernente aos aspectos geológicos e geomorfológicos, a intrusão em nefelina sienitos impôs condicionantes tectônicos com reflexos peculiares no relevo e na drenagem da área, com respostas próprias não só às mudanças climáticas, mas também aos efeitos neotectônicos ativos que acometem a Plataforma Brasileira, que segundo Hasui (1990; 2006) teriam se instalado no domínio intraplaca da América do Sul a partir do Mioceno Médio. No tocante a seus aspectos biogeográficos os altos cumes dos maciços alcalinos apresentam espécies endêmicas resguardadas nas altitudes e conectividades funcionais com os corredores ecológicos existentes no alinhamento principal da serra da Mantiqueira. Em diferentes seções de vertente sucedem-se fisionomias de floresta ombrófila mista montana, alto montana e nebulosa (IBGE, 1992), e que dão lugar aos campos montanos, ora rupestres, ora medrando em delgadas coberturas de alteração.

A fim de somar resultados aos numerosos estudos temáticos desse importante contexto geomorfológico do setor oriental da Plataforma Brasileira, assume-se aqui o objetivo de empreender uma avaliação estrutural na porção mineira do maciço alcalino de Itatiaia e Passa Quatro e entorno para identificação de efeitos neotectônicos atuando na evolução do relevo. Para o cumprimento dos objetivos supramencionados foram acionados alguns procedimentos metodológicos integrados para estudo do relevo e da drenagem sob o prisma da análise estrutural e geomorfológica. Os estudos abrangeram as bacias hidrográficas dos rios Capivari e Passa Quatro, englobando terras dos municípios de Passa Quatro, Itanhandu, Itamonte e Pouso Alto, todos eles na porção meridional da Mantiqueira mineira. As bacias de drenagem supramencionadas têm suas cabeceiras nos terrenos alcalinos, de onde incidem para os terrenos pré-cambrianos adjacentes.

Material e métodos

O conjunto de tarefas realizadas, concernente a procedimentos de análise estrutural e geomorfológica, foi organizado nas seguintes etapas encadeadas:

etapa 1 – Delimitação da área de estudo

Com base nas folhas Agulhas Negras (SF-23-Z-A-I-4), Passa Quatro (SF-23-Z-A-I-3), Pouso Alto (SF-23-Z-A-I-1) e Virgínia (SF-23-Y-B-III-4) na escala 1/50000, considerando os principais eixos fluviais que nascem no maciço alcalino (rios Verde, Capivari e Passa Quatro) e seus principais afluentes.

etapa 2 – Cálculo e representação de índices geomórficos

Representação do perfil longitudinal do vale – Procedimento aplicado nos rios Capivari e Passa Quatro e principais afluentes pela medição da distância horizontal entre duas curvas de nível (20 metros); os valores encontrados foram plotados em gráfico de escala aritmética, onde foram interpolados e seccionados pela linha de melhor ajuste (Burnnett; Schum, 1983), que delimita genericamente as áreas de soerguimento acima de seu nível e os compartimentos subsidentes abaixo;

Mensuração da relação declividade/extensão do curso (RDE) – Índice geomórfico concebido por Hack (1973) e frequentemente acionado nas análises morfoestruturais e morfo-tectônicas (Etchebehere, 2000), aplicado aqui aos rios Capivari e Passa Quatro. O índice em questão é obtido pela fórmula:

$$RDE = \left(\frac{\Delta H}{\Delta L} \right) \cdot L$$

Onde:

- ΔH é a diferença altimétrica entre dois pontos extremos de um segmento ao longo do curso d'água
- ΔL é a projeção horizontal da extensão desse segmento
- L é o comprimento total do curso d'água a montante do ponto para o qual se mensurou o RDE

Cálculo do fator assimetria de bacias de drenagem (FABD), segundo a proposta de Hare e Gardner (1985) e do fator de simetria topográfica transversal (T), conforme as orientações de Cox (1994).

O índice FABD indicativo do quadro geral de simetria/assimetria de uma bacia hidrográfica indica possíveis basculamentos de blocos, e pode ser obtido com a aplicação da seguinte fórmula:

$$FABD = 100 \left(\frac{A_r}{A_t} \right)$$

Onde:

- A_r = área da margem direita do curso d'água principal
- A_t = área total da bacia

Segundo a fórmula acima, valores inferiores a 50 correspondem a um basculamento da margem direita da bacia, ao passo que valores superiores a meia centena são indicativos de basculamento da margem esquerda (Salamuni, 1998).

A aplicação do fator T exige o estabelecimento da linha média da bacia e de perfis perpendiculares ao canal principal, que são tomados como referência para substituição na seguinte fórmula:

$$FSTT = \frac{d}{D}$$

Onde:

- d = distância entre a linha média da bacia e o talvegue
- D = distância entre a linha média da bacia e seu divisor

Uma drenagem plenamente simétrica, com a linha média da bacia coincidindo com o talvegue, seria dada pelo valor 0; quanto mais próximo for o resultado do valor 1, mais próximo do divisor o canal se encontra, e mais assimétrica é a bacia.

etapa 3 – Extração dos lineamentos estruturais

Foram consideradas as extensões retilíneas do relevo e da drenagem com base na interpretação de imagens de radar SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), organizadas por Miranda (2005) em mosaicos compatíveis com as folhas topográficas de escala 1/50.000, contando com o auxílio das folhas topográficas e imagens de satélite TM-Landsat-5. O padrão de orientação dos lineamentos extraídos foi representado em roseta construída em intervalos angulares de 10°.

etapa 4 – Verificação dos níveis topográficos

Empenhou-se na delimitação dos topos e no cálculo de suas respectivas áreas para verificação de processos deformacionais e desnivelamento de superfícies geomórficas, procedimentos executados por autores como Varajão (1991) e Magalhães Jr. e Trindade (2004).

etapa 5 – Identificação e discussão das evidências morfológicas de efeitos neotectônicos

Baseou-se na análise do relevo e da drenagem, bem como nos resultados obtidos através dos tratamentos quantitativos de análise estrutural. Elementos vinculados a um provável controle tectônico ativo, como frentes escarpadas, desalinhamento de segmentos do relevo, vales encaixados, capturas fluviais eminentes e consumadas e outras anomalias nos padrões de drenagem e na configuração do relevo foram identificados em campo e pela análise dos documentos cartográficos, sendo plotados nas folhas topográficas em escala 1/50000, detalhamento adequado para identificação de elementos atribuíveis a efeitos deformacionais neotectônicos, tendo sido fundamental para a análise da drenagem e, junto às imagens de radar, de grande valia para a investigação do relevo.

Todas as etapas supramencionadas foram subsidiadas por controle de campo sistemático ao longo dos processos de obtenção e tratamento dos dados e geração dos resultados. Anomalias no relevo e na drenagem identificadas nos trabalhos de interpretação das

cartas topográficas e de produtos de sensores remotos reportaram a pontos previamente selecionados para averiguação *in loco* dos contextos detectados, além de cobertura em transectos pelas principais estradas rurais, base linear a partir da qual foram empreendidas as incursões de interesse.

Apresentação e discussão dos resultados

Os índices geomórficos e suas relações com o quadro neotectônico

Toda área de estudo está compreendida na alta bacia do Rio Verde, principal tronco coletor que drena uma área de 6.908 km² em terras de 31 municípios do sul de Minas até afluir na margem esquerda do Rio Grande no represamento de Furnas. Assim, as bacias hidrográficas estudadas neste trabalho configuram sub-bacias que tributam o Rio Verde pelo alto curso direta ou indiretamente, todas com a cabeceira no maciço alcalino de Itatiaia ou Passa Quatro, que exerce importante controle tectono-estrutural na configuração da rede de drenagem.

Para as bacias de drenagem analisadas, os cálculos do fator assimetria de bacias de drenagem (FABD) revelaram as seguintes condições quanto à assimetria dos sistemas hidrográficos estudados em conjunto (Quadro 1):

Quadro 1

Valores de FABD calculados para as bacias dos rios Capivari, Passa Quatro e principais sub-bacias

bacia hidrográfica	fabd	condição
rio Capivari	76,3	média assimetria da margem esquerda
Rio das Furnas	31,8	média assimetria da margem direita
rio Passa Quatro	43,3	baixa assimetria da margem direita
Rio das Pedras	49	bacia simétrica
Rio da Cachoeira	86,7	alta assimetria da margem esquerda
Rio Vermelho	76,7	média assimetria da margem esquerda

O padrão geral dos resultados mostra uma tendência de assimetria pela margem esquerda, muito embora a migração lateral dos canais não seja um processo muito significativo, pelo fato de que estes são controlados pelas falhas e contatos litológicos de forma inclemente. Alguns canais têm toda a extensão compreendida nos maciços alcalinos, litotectonicamente mais homogêneos que as litologias diversas dos compartimentos adjacentes, submetidas a desgastes químicos e basculamentos tectônicos diferenciais, conforme o tipo de rocha e as diferentes zonas de cisalhamento e sistemas de falhas associados.

O fator de simetria topográfica transversal (T) complementa o índice anterior à medida que fornece leituras pontuais dos processos de migração interna que não são necessariamente uniformes no interior de uma bacia de drenagem, fazendo com que nem sempre processos de

migração sejam detectados exclusivamente pela aplicação do índice FABD. No presente trabalho, as medições foram feitas a cada 1 km a partir da nascente, permitindo uma amostragem de pontos em densidade compatível com a extensão dos canais fluviais (Quadro 2):

Quadro 2

Fator T calculado para as bacias dos rios Capivari e Passa Quatro e principais afluentes

rio	seção	T	rio	seção	T	rio	seção	T
Passa Quatro	1	0,64	das Pedras	1	0,34	Capivari	1	0,66
	2	0,17		2	0,80		2	0,83
	3	0,0		3	0,53		3	0,87
	4	0,06		4	0,33		4	0,76
	5	0,11		5	0,13		5	0,71
	6	0,15		6	0,53		6	0,66
	7	0,18		7	0,27		7	0,60
	8	0,21		8	0,0		8	0,52
	9	0,28	da Cachoeira				9	0,45
	10	0,07		1	0,70		10	0,43
	11	0,05		2	0,86		11	0,37
	12	0,04		3	0,78		12	0,50
	13	0,03		4	0,58		13	0,54
	14	0,0		5	0,59		14	0,54
	15	0,09		6	0,30		15	0,50
	16	0,41		7	0,30		16	0,44
	17	0,35	das Furnas				17	0,43
	18	0,10		1	0,66		18	0,34
	19	0,16		2	0,15		19	0,29
	20	0,28		3	0,26		20	0,28
	21	0,24		4	0,37		21	0,30
	22	0,14		5	0,60		22	0,44
	23	0,02		6	0,48		23	0,17
	24	0,08		7	0,18		24	0,10
	25	0,38					25	0,05
	26	0,50					26	0,0
Vermelho	1	0,76					27	0,001
	2	0,44					28	0,04
	3	0,40					29	0,03
	4	0,45					30	0,21
	5	0,45					31	0,25
	6	0,54					32	0,03

Alguns dos canais fluviais apreciados apresentam-se notoriamente assimétricos em relação à sua topografia divisória. Entre aqueles dotados de tal tipicidade, o rio Capivari revela uma assimetria significativa e constante, aproximando-se insistentemente da margem esquerda à medida que rompe o maciço do Itatiaia e se aloja em brecha tectônica que o separa do bloco de Passa Quatro, de orientação SE-NW, orientação esta que o rio mantém até adentrar terrenos gnáissicos pré-cambrianos.

Segundo rio mais importante da área de estudo (com exceção do Rio Verde), o rio Passa Quatro dissecava bacia de drenagem com assimetria muito baixa ($FABD = 43,3$) em caráter retilíneo na direção N-S sobre rochas migmatíticas a gnáissicas, com afluentes da margem direita posicionados no maciço alcalino. Diferentemente do rio Capivari, não está adaptado a contato litológico, mas a falha que corta litologias homogêneas no sentido mencionado. A seu respeito, os processos de migração interna não ocorrem, indicando que o rio Passa Quatro deve estar adaptado a esse arranjo estrutural submetido a um controle tectônico mais brando quando comparado ao que se verifica na bacia do rio Capivari. Ainda assim uma anomalia expressa por desvio na direção leste imposto por falha transcorrente é verificada na área urbana, onde ocorrem diques marginais expositores de depósito residual de canal inumado por cobertura alúvio-coluvionar sobrelevados em relação ao nível de base atual, indicando soerguimento recente.

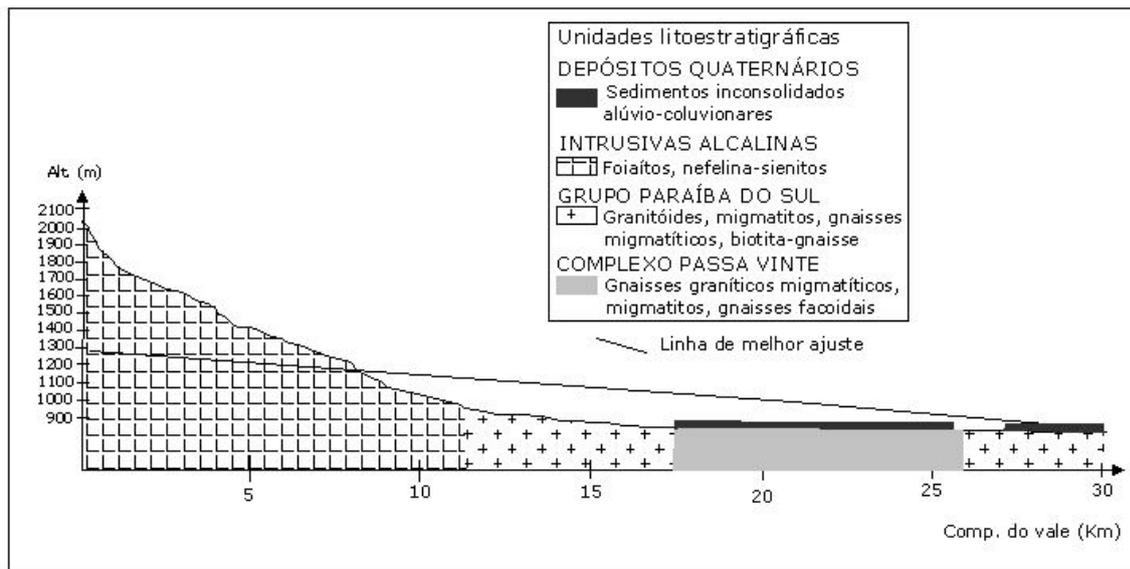
A maior parte da área das sub-bacias do rio Passa Quatro que foram objeto de investigação – e, em alguns casos, toda ela – está em terrenos compostos por rochas alcalinas. O contato litológico controla as confluências dos rios menores, e as principais drenagens, como os rios Verde e Passa Quatro, passam a desenvolver modelados agradacionais à medida que adentram os terrenos gnáissicos e migmatíticos.

O rio Capivari perpassa por terrenos íngremes em elevada energia até a faixa de 1.700 metros, na qual uma suavização do gradiente é assinalada por ruptura no perfil a aproximadamente 4 km da nascente, quando transpõe os terrenos alcalinos para as rochas pré-cambrianas. Sucessivos escalonamentos são impostos pela zona de falha da borda do maciço alcalino até a afluência do Rio das Furnas pela margem direita a 980 metros de altitude, quando se tem a passagem para setores de estocagem sedimentar no vale, que se abrem em alvéolos de largura variável até a confluência com o Rio Verde nos limites municipais de Itanhandu e Pouso Alto. A partir do contato litológico com as rochas do Complexo Passa Vinte é que o gradiente se suaviza e as zonas de acumulação assumem maior expressão.

O perfil longitudinal do rio Capivari segue representado com sua linha de melhor ajuste e litologia associada (Figura 1).

Figura 1

Perfil longitudinal do rio Capivari

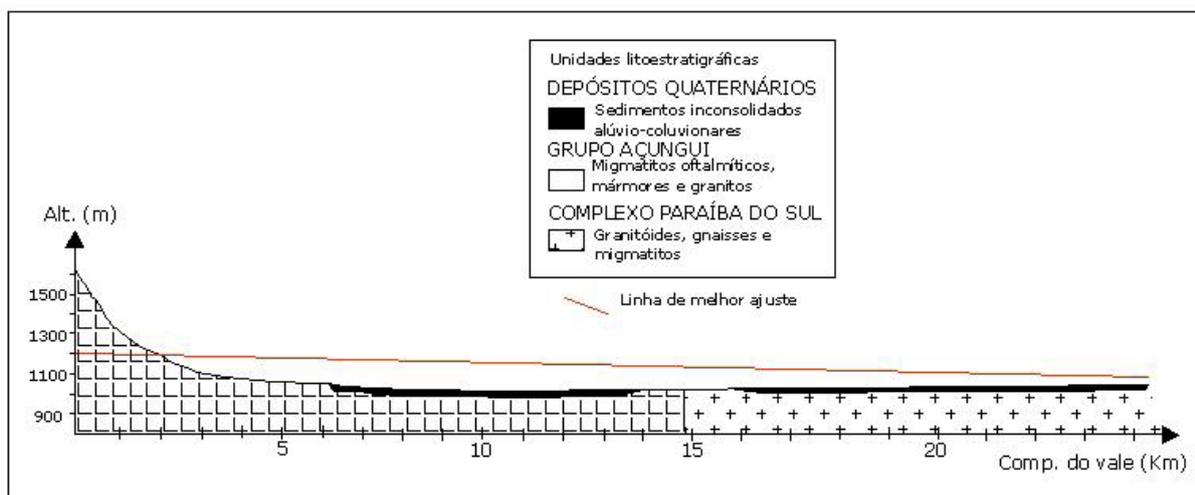


O perfil longitudinal do rio Passa Quatro não apresenta anomalias significativas, e se aloja inteiramente no domínio da serra da Mantiqueira em seus aproximadamente 25 km de percurso até desembocar na margem esquerda do Rio Verde na área urbana de Itanhandu. Na descida compreendida entre o intervalo de 1.200 e 1.100 metros, observa-se um pequeno escalonamento do vale, que a partir desta cota tem sua mais importante ruptura de declive, com suavização pronunciada do gradiente até a faixa altimétrica de 1.000 metros, na qual uma outra ruptura marca a passagem para a zona de acumulação sedimentar com abertura de planície de inundação.

Pela visualização do perfil longitudinal do rio Passa Quatro (Figura 2) é possível perceber as características descritas.

Figura 2

Perfil longitudinal do rio Passa Quatro



A maior parte do perfil posiciona-se abaixo da linha de melhor ajuste, e, na ruptura que marca a passagem para a zona de estocagem sedimentar, já se encontra sob tal status. Ainda assim são verificados efeitos deformacionais recentes, o que fica latente na abrasão que o rio Passa Quatro exerce, já nos compartimentos agradacionais, em sedimentos residuais de canal atualmente alçados em relação ao talvegue e inumados por material alúvio-coluvionar, conforme fora anteriormente mencionado. Feições desta estirpe são verificadas em outros cursos d'água na alta bacia do Rio Verde, a exemplo do próprio.

Os três afluentes do rio Passa Quatro que foram trazidos a lume apresentam perfil longitudinal bastante semelhante. O Rio Vermelho encontra-se exclusivamente nos terrenos alcalinos e tem sua confluência também condicionada ao contato litológico, desenvolvendo pequenos escalonamentos que originam saltos e corredeiras a partir de 1 km de percurso. Os rios das Pedras e da Cachoeira, por seu turno, dissecam litologias diferenciadas distribuídas pelo maciço montanhoso e pelos compartimentos de morros e cristas emoldurados nas rochas dos complexos Açungui e Paraíba do Sul. O Rio das Pedras adapta-se distintamente em falha de direção SE-NW, e o Rio da Cachoeira tem na sua confluência com o Ribeirão Carlos Tibúrcio um nítido controle nos degraus inferiores do maciço alcalino de Passa Quatro. Estes dois últimos chegam a desenvolver morfologias agradacionais no baixo curso, onde se posicionam abaixo da linha de melhor ajuste.

As rupturas de declive visualizadas através da leitura dos perfis longitudinais encontram correspondência nos resultados encontrados pelo cálculo do índice RDE, competente indicador das anomalias em escala local contidas nos intervalos altimétricos de 20 metros. Ainda que na presente oportunidade se abstenha de publicar as planilhas com os cálculos em função do espaço elástico que ocupam, enfaticamente os resultados anômalos mensurados aparecem frequentemente ligados a interseções de falhas, contatos litológicos e/ou mudança de compartimentos morfoestruturais.

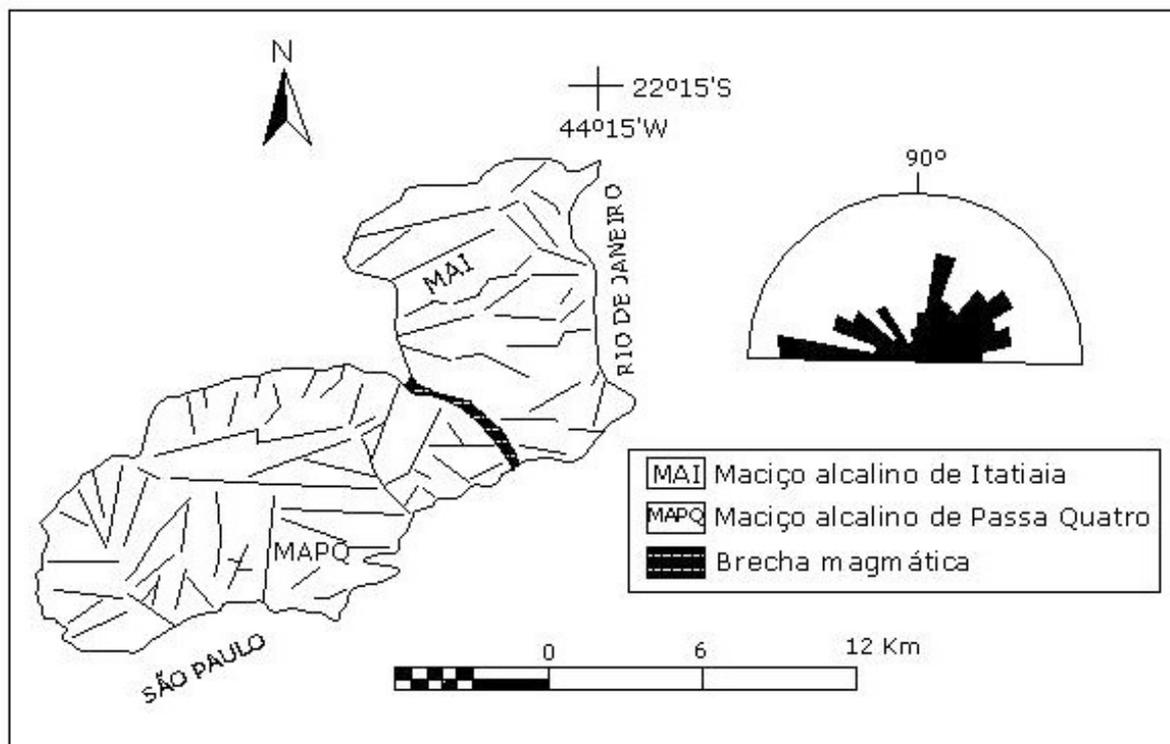
Análise dos lineamentos

Os terrenos do maciço alcalino são marcados pela diversidade de orientações dos lineamentos estruturais determinada pela dispersão radial dos vales, dando margem à formação um padrão de alinhamentos paralelos/ divergentes (Figura 3), e que assume sua maior tipicidade no maciço alcalino de Passa Quatro, que na área de estudo mantém padrão de drenagem marcadamente radial. No maciço alcalino do Itatiaia os lineamentos de orientação NE-SW de escarpas montanhosas em consonância a direção geral do rifte continental do sudeste do Brasil (Riccomini, 1989) contribuem para o adensamento das orientações compreendidas no intervalo angular que vai de 100 a 170° E, ainda que bem distribuídos em intervalos menores com predomínio E (110-120°), e E (140-150°).

A alta concentração de lineamentos no intervalo W (10°) corresponde a pequenos segmentos vinculados a deslocamentos do relevo e da drenagem por tensões recentes responsáveis pela geração de um sistema de falhas e juntas de orientação E-W bastante conspícuo, segmentos estes que são somados a vales retilíneos e encaixados que ocorrem de forma mais expressiva no maciço alcalino de Passa Quatro.

Figura 3

Lineamentos estruturais interpretados para os maciços alcalinos em sua porção mineira



A neotectônica e suas relações com as superfícies geomorfológicas

Em estudo realizado no maciço alcalino de Passa Quatro, Chiessi (2004) reconheceu quatro fases tectônicas entre o Cretáceo Superior e o Pleistoceno, as duas últimas processadas no período neotectônico, sendo de maior interesse para o trabalho aqui apresentado. O caráter tectônico do relevo na região do maciço alcalino, e extensivamente em toda a serra da Mantiqueira, sugere cautela nas correlações taxativas com superfícies de aplainamento descritas na literatura: dos campos (De Martonne, 1943), sul-americana (King, 1956; Valadão, 1998), do Japi (Almeida, 1964) ou Pd3 (Bigarella; Andrade, 1985), entre outras designações.

Reconhecemos uma significativa tectônica ativa atuando na evolução do relevo na serra da Mantiqueira, responsável pelo desnivelamento de superfícies geomórficas cronocorrelatas e aproximando altimetricamente níveis distintos. Assim, concordamos com Almeida (1964) que as superfícies do Japi (ou sul-americana) e dos Campos configuram a mesma superfície desnivelada por diferentes basculamentos de blocos e são tectonicamente deformadas.

Embora o maciço alcalino concentre seus patamares altimontanos acima de 1.500 metros de altitude, ainda assim apresentam desnivelamento estimável. Pelos terrenos pré-cambrianos, a maior diversidade tectono-estrutural dá margem a basculamentos mais pronunciados afetando as superfícies geomórficas ocorrentes na região.

Constata-se o desnivelamento dos patamares de cimeira na leitura do Quadro 3, que assinala a distribuição dos topos em intervalos altimétricos contados a partir de 1.200 metros, altitude inferior das intrusões alcalinas.

Quadro 3

Distribuição altimétrica dos patamares de cimeira segundo sua frequência e área

altimetria	número de topos	área ocupada (m ²)
> 2.000m	33	5.531,25
1.500 – 2.000 m	18	5.612,5
1.200 – 1.500 m	2	1340
total	53	12.483,75

É perceptível que as áreas ocupadas por níveis de cimeira nas bacias dos rios Capivari e Passa Quatro se distribuem equitativamente entre 1.500-2.000 e acima de 2.000, podendo corresponder ao mesmo nível, basta olhar a deformação tectônica que estas superfícies estão submetidas e seu desnivelamento decorrente. A área individual dos topos aumenta de montante para jusante inversamente proporcional a frequência, concentrando-se em degraus escalonados. Abaixo de 1.500 metros extensa rampa de declividade relativamente constante estabelece contato com as morfologias arredondadas mais rebaixadas emolduradas nas litologias granitoides pré-cambrianas. Trata-se de um domínio essencialmente de vertente coberta por espessos mantos coluviais e depósitos de tálus, que funcionalmente estabelece o contato com os compartimentos adjacentes emoldurados nas rochas pré-cambrianas.

Evidências morfológicas de atividade neotectônica

Os procedimentos ligados ao cálculo e interpretação de índices geomórficos, de produtos de sensoriamento remoto para extração de lineamentos e das cartas topográficas para identificação de níveis, associados ao controle de campo, levam a cabo a identificação de uma boa diversidade de evidências morfológicas de efeitos neotectônicos.

O desnivelamento de superfícies geomórficas incide para uma interpretação de cunho tectônico, reconhecendo-se soerguimentos diferenciais conforme as zonas de cisalhamento, bem como processos de abatimento de blocos e desalinhamento de cristas. A presença de vales altimontanos com formação de planícies alveolares nas áreas de cimeira são fortes indicadores de epirogênese positiva, bem como a exposição de materiais residuais de canal fluvial acima do talvegue atual que são frequentemente inumados por material alúvio-coluvionar e submetidos à abrasão pelo próprio rio responsável por seu transporte e deposição.

De forma contundente a drenagem encarna as atividades tectônicas recentes e atuais na sua configuração. Extensões excessivamente retilíneas de alguns cursos d'água sinalizam para controle tectônico ativo sobreposto a feições morfoestruturais, como o vale do rio Capivari escavado em brecha magmática existente entre os *stocks* alcalinos.

Processos de captura fluvial são verificados de forma mais conspícua na bacia do rio Capivari, constatando-se, a título de exemplo, pela margem esquerda nos terrenos alcalinos, dissecada por canais que apelam para paralelismo sob distanciamento curto e relativamente constante. Nesse setor da bacia observam-se capturas consumadas e prelúdios de captura, sendo também comum a deflexão de canais.

O maior desenvolvimento da rede de drenagem, no entanto, se verifica na margem oposta, com presença de padrão dendrítico a subdendrítico com destaque para setores contorcidos com bruscos desvios, conforme verificado nos rios das Furnas e da Colina, afluentes da margem direita do rio Capivari, o primeiro dissecando integralmente as rochas alcalinas e o segundo adaptado às litologias cretáceas no baixo curso em zona de contato litológico, formando-se um vale eminentemente assimétrico.

Rogerie (1990) adjetivou amplamente as paisagens extremas das áreas montanhosas e elucidou suas peculiaridades geomorfológicas, climáticas e biogeográficas em consonância aos processos operantes, e que em grande medida são congruentes ao que se verifica na área de estudo. Os maciços alcalinos de Itatiaia e Passa Quatro conformam paisagens fundamentalmente montanhosas que configuram compartimento morfoestrutural de destaque no âmbito regional, altimetricamente alçado por soerguimento de significativo fôlego e pela maior resistência das rochas alcalinas comparativamente às litologias metagranitoides dos terrenos pré-cambrianos sobre as quais o intemperismo químico é mais avançado. Em síntese, o que se verifica é uma sobreposição de feições morfoestruturais e morfotectônicas vinculadas a uma configuração geomorfológica herdada da intrusão cretáceo/paleocena e a uma tectônica ativa remontante ao período neotectônico bastante aferível na paisagem.

Conclusões

A pesquisa resultou nos seguintes pontos conclusivos:

- as intrusões alcalinas de Itatiaia e Passa Quatro constituem compartimentos de relevo acometidos por tectônica ativa, de acordo com as evidências encontradas e discutidas;
- a interferência tectônica e fatores de ordem litológica são responsáveis pelo destaque altimétrico dos maciços alcalinos, importantes superfícies estruturais do sudeste brasileiro conformadoras das cimeiras regionais;
- o controle tectônico caracterizado para os maciços alcalinos tem expressão regional, como também têm os níveis de cimeira que tangenciam as principais cristas da serra da Mantiqueira, cujas maiores altitudes estão nas intrusões alcalinas;
- as particularidades litoestruturais dos maciços alcalinos são elementos fundamentais numa paisagem de um caráter autêntico e singular, que se sobressai mesmo entre as paisagens montanhosas das altas cristas da Mantiqueira.

Referências

- ALMEIDA, F. F. M. Geologia do estado de São Paulo. *Boletim*, n. 41, 1964.
- BIGARELLA, J. J.; ANDRADE, G. O. Contribution to the study of the brazilian Quaternary. *Geological Society American Special Papers*, n. 84, 1985.
- BURNETT, A. W.; SCHUM, S. A. Alluvial rivers response to neotectonic deformation in Louisiana and Mississippi. *Science*, v. 222, p. 49-50, 1983.

- CHIESSI, C. M. *Tectônica cenozoica no maciço alcalino de Passa Quatro (SP-MG-RJ)*. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- CLAPPERTON, C. *Quaternary geology and geomorphology of South America*. Elsevier: Amsterdam, 1993.
- 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, maio 1994.
- DE MARTONNE, E. Problemas morfológicos do Brasil tropical atlântico. *Revista Brasileira de Geografia*, v. 5, n. 4, p. 532-550, 1943.
- ETCHEBEHERE, M. L. C. *Terraços neoquaternários no vale do rio do Peixe, Planalto Ocidental Paulista: implicações estratigráficas e tectônicas*. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.
- HACK, J. T. Stream-profile analysis and stream-gradient index. *Journal of Research of the United States Geological Survey*, v. 1, n. 4, p. 421-429, 1973.
- HARE, P. W.; GARDNER, I. W. Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins. In: *ANNUAL BINGHAMTON GEOMORPHOLOGY SYMPOSIUM*. Boston, 1985.
- HASUI, Y. Neotectônica do Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 7. SIMPÓSIO SOBRE O TERCIÁRIO DO BRASIL, 1., 2006, Serra Negra. *Boletim do 7º Simpósio Sobre o Cretáceo do Brasil/1º Simpósio sobre o Terciário do Brasil*, São Paulo, 2006. p. 2.
- _____. Neotectônica e aspectos fundamentais da tectônica ressurgente no Brasil. In: WORKSHOP DE NEOTECTÔNICA E SEDIMENTAÇÃO CONTINENTAL CENOZOICA NO SUDESTE DO BRASIL, 1., 1990, Belo Horizonte. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia: Minas Gerais*, 1990. p. 1-31
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Manual técnico da vegetação brasileira*, Rio de Janeiro, n. 1, 1992. (Série Manuais Técnicos em Geociências.)
- KING, L. C. A Geomorfologia do Brasil oriental. *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro, n. 18, p. 147-265, 1956.
- LEHMANN, H. Observações morfoclimáticas na serra da Mantiqueira e no Vale do Paraíba. *Notícia Geomorfológica*, Campinas, n. 5, p. 1-6, 1960.
- MAGALHÃES JR., A. P.; TRINDADE, E. Relações entre níveis (paleo) topográficos e domínios morfotectônicos na região sul de Minas Gerais: contribuição ao estudo das superfícies erosivas no sudeste brasileiro. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, ano 5, n. 1, p. 1-10, 2004.
- MIRANDA, E. E. (Coord.) *Brasil em relevo*. Campinas: Embrapa monitoramento por satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevo.br/cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 25 out. 2009.

- MME. MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. *Projeto Radambrasil*. Folha SF-23 – Vitória/Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1983.
- MODENESI-GAUTTIERI, M. C. Depósitos de vertente e evolução quaternária do planalto do Itatiaia. *Revista do Instituto Geológico*, São Paulo, v. 3, n. 1, p. 31-46, 1992.
- _____; NUNES, L. H. Processos geocriogênicos quaternários nas cimeiras da Mantiqueira, com considerações climáticas. *Revista do Instituto Geológico*, São Paulo, v. 19, n. 1/2, p. 19-30, 1998.
- PENALVA, F. Geologia e tectônica da região do Itatiaia (sudeste do Brasil). *Boletim de Geologia*, v. 302, n. 22, p. 95-196, 1967.
- RAYNAL, R. O vale do Paraíba, a serra da Mantiqueira e a região de São Paulo. *Notícia Geomorfológica*, Campinas, n. 5, p. 6-15, 1960.
- RICCOMINI, C. *O rift continental do sudeste do Brasil*. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.
- ROGERIE, G. *Les montagnes dans la biosphere*. Paris: Armand Colin, 1990.
- SALAMUNI, E. *Tectônica da bacia sedimentar de Curitiba (PR)*. Tese (Doutorado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1998.
- VALADÃO, R. C. *Evolução de longo termo do relevo do Brasil oriental: desnudação, superfície de aplainamento e movimentos crustais*. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1998.
- VARAJÃO, C. A. C. A questão da correlação das superfícies de erosão do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 21, n. 2, p. 138-145, 1991.