

ANÁLISE DE PERFIS SEGMENTADOS DE DRENAGEM PARA A AVALIAÇÃO MORFOTECTÔNICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO RIO JAGUARI (SP-MG)

Gustavo Pastana Rodrigues da SILVA ¹, Mario Lincoln ETCHEBEHERE ²,
Antonio Roberto SAAD ^{2,3}, Ana Olívia Barufi FRANCO-MAGALHÃES ²

(1) Secretaria de Educação do Estado de São Paulo. Rua José Acedo Toro, 159. CEP 12914-120.
Bragança Paulista, SP. Endereço eletrônico: gustavogeografo@bol.com.br

(2) Universidade Guarulhos / UnG, Centro de Pós-graduação e Pesquisa / CEPPE. Bolsista de Produtividade
em Pesquisa do CNPq. Praça Teresa Cristina, 229 – Centro. CEP 07023-070. Guarulhos, SP.
Endereços eletrônicos: metchebehere@ung.br; afmagalhaes@ung.br

(3) UnG e Universidade Estadual Paulista / UNESP, Instituto de Geociências e Ciências Exatas.
Avenida 24-A, 1515 – Bela Vista. CEP 13509-600. Rio Caro, SP. Endereço eletrônico: asaad@prof.ung.br

Introdução
Localização da Área de Estudo
Contexto Regional
Método
Princípios Gerais
Mensuração de Parâmetros Fluviomorfométricos
Cotejamento com a Paisagem Fisiográfica
Resultados Obtidos
Síntese e Discussão
Referências Bibliográficas

RESUMO – Este trabalho avalia a hipótese de que processos neotectônicos influenciam os processos de dinâmica superficial da bacia do Rio Jaguari, localizada na região bragantina e sul do estado de Minas Gerais, empregando-se a análise dos perfis longitudinais dos cursos d'água mais importantes e a interpretação de imagens SRTM. Esta região apresenta predomínio de rochas cristalinas pré-cambrianas e discretas ocorrências de sedimentos cenozóicos; o relevo é bastante movimentado e diversificado. Tem-se que os cursos d'água representam um dos principais agentes de modelagem do relevo e propiciam a esculturação dos vales e a formação de depósitos aluvionares. Dentre tais estudos, destaca-se a análise dos perfis longitudinais de drenagens, que podem ser representados em forma de gráficos de coordenadas cartesianas (pares ordenados “extensão da drenagem – cota”), para a detecção de deformações crustais na bacia de drenagem do rio Jaguari. Os perfis longitudinais tendem a se mostrar como curvas de conformação logarítmica, nas quais podem ser detectados trechos em desequilíbrio, indicativos de atividade tectônica recente. No presente trabalho, observa-se que os rios de maior porte da área, que são o Jaguari, o Jacaré e o Camanducaia, apresentam duas ou mais rupturas significativas em seus respectivos perfis longitudinais, configurando *nick points* expressivos. Foram delimitados dois tipos básicos de zonas morfoestruturais: (1) áreas fortemente dissecadas e (2) áreas com regolitos espessos. Essas zonas apresentam contatos bruscos e lineares, reforçando a hipótese de movimentos verticais diferenciados. Assim, as áreas do tipo (1) representariam blocos em ascensão e, as do tipo (2), blocos em subsidência, com marcante influência na morfogênese e na formação/preservação de mantos regolíticos e depósitos sedimentares mais jovens.

Palavras-chave: perfis longitudinais de drenagem; Neotectônica; Região Bragantina; bacia hidrográfica do alto rio Jaguari; geomorfogênese.

ABSTRACT – G.P.R. da Silva, M.L. Etchebehere, A.R. Saad, A.O.B. Franco-Magalhães - Analysis of segmented stream-profile for morphotectonic evaluation of the upper Jaguari River Hydrographic Basin, São Paulo - Minas Gerais State border, Southeastern Brazil. This study evaluates the hypothesis that neotectonic processes influence the dynamics of surface processes of the upper Jaguari River hydrographic basin, using the analysis of stream-longitudinal profiles of the most important watercourses and SRTM image photointerpretation. The study region has a predominance of Precambrian crystalline rocks and some discrete occurrences of Cenozoic sediments within a rugged topography. The streams represent a major relief modeling agents, providing the sculpturing of the valleys and the formation of alluvial deposits. Among these parameters, there is the analysis of stream-longitudinal profiles, which can be represented in Cartesian coordinates graphic form (ordered pairs “extension of drainage – stream length”). The longitudinal profiles tend to show a logarithmic curve conformation, in which reaches out-of-balance may be indicative of recent tectonic activity. We observe that most important local streams, namely Jaguari, Jacaré and Camanducaia rivers, present two or more significant ruptures in their longitudinal profiles, configuring expressive nick points. This features allow to subdivide each drainage in several reaches, with a specific equation to adjust the ordered pairs, and allowing a better morphometric analysis. The anomalies along the profiles were released on a SRTM image, showing separation of two basic types of morphostructural zones: (1) strongly dissected areas and (2) areas with thick regolith. These zones have sharp and linear contacts, supporting the hypothesis that differential vertical movements are on the way. Thus, the areas of type (1) may represent uplifting morphotectonic blocks and the type (2) zones refer to subsidence blocks, with remarkable influence on the morphogenesis and in the formation/preservation of regolith and younger sedimentary deposits.

Keywords: stream-longitudinal profiles; Neotectonics; Bragantina Region, Upper Jaguari hydrographic basin; geomorphogenesis.

INTRODUÇÃO

Até meados da década de 1970, o território brasileiro era considerado uma plataforma estável por estar situado em contexto tectônico intraplaca (Bistrichi, 2001). Nesse tipo de terreno, não é frequente a possibilidade de se observar planos de falhas recentes na superfície, o que implica, nos estudos da Neotectônica, em busca de evidências mais sutis ou indiretas das eventuais deformações, bem como de seus agentes causativos e da possível taxa de recorrência dos eventos deformativos (Guccione, 2005; Audemard, 2005). Dentre tais evidências, pode-se mencionar as anomalias de cunho fluviomorfométrico, conforme já empregada por diversos autores e em diferentes contextos geológicos (*e.g.*, Volkov et al., 1967; Bjornberg, 1969 a e b, 1992; Hack, 1973; Burnett & Schumm, 1983; Mayer, 1992; Rodriguez & Suguio, 1992; Rodriguez, 1993; Marple & Talwani, 1983; Merritts & Hesterberg, 1994; Boyd & Schumm, 1995; Schumm & Spitz, 1996; Spitz & Schumm, 1997; Takiya, 1997; Etchebehere, 2000; Etchebehere & Saad, 1999; Etchebehere et al., 2004, 2006). Todas essas contribuições partem da premissa de que os cursos d'água configuram os elementos mais sensíveis às modificações tectônicas crustais, respondendo de imediato aos processos deformativos, mesmo àqueles de pequenas escalas e magnitudes, além de representarem um dos principais agentes de modelagem do relevo. Eles se ajustam rapidamente a quaisquer deformações crustais, alterando processos de erosão, transporte de sedimentos e formação de novos depósitos sedimentares (Etchebehere et al., 2006).

A aplicação do Método de Termocronologia de baixa temperatura tem se mostrado uma ferramenta bastante útil na determinação dos principais estágios evolutivos, ocorridos a nível crustal raso, do território brasileiro, particularmente na região sudeste, à partir do Cretáceo Inferior (Hackspacher et al., 2004, Tello Saenz et al., 2005, Franco-Magalhães et al., 2010 a,b, Hiruma et al., 2010). Na área em questão, o trabalho elaborado por Ribeiro et al. (2005) e Tello Saenz et al. (2005), com base em amostras de rochas coletadas

para análise por traços de fissão em apatitas, possibilitou o registro de idades compreendidas entre o Cretáceo Inferior e o Neógeno.

O propósito do presente trabalho é analisar o potencial de utilização dos perfis longitudinais dos principais cursos d'água da bacia hidrográfica do Alto rio Jaguari, divisa entre os estados de São Paulo e Minas Gerais, região sudeste do Brasil, para a identificação de anomalias fluviomorfométricas que estejam a indicar deformações neotectônicas. Especial ênfase será dada à segmentação dos perfis longitudinais das drenagens de maior porte, de modo a se evitar falsas anomalias fluviomorfométricas, decorrentes da exagerada simplificação de se adotar uma única equação matemática para toda a extensão do perfil do curso d'água, no caso dos rios mais extensos. Em estudos anteriores, efetuados no âmbito do Planalto Ocidental Paulista (*e.g.*, Etchebehere, 2000; Guedes et al., 2006; Guedes, 2008), a aplicação da análise do perfil longitudinal das drenagens para fins de detecção de deformações neotectônicas não levou em conta o rio-tronco das bacias hidrográficas analisadas, limitando-se aos seus tributários. Com a técnica de segmentação ora proposta, tais cursos d'água podem ser analisados e seus parâmetros morfométricos passam a ponderar na análise neotectônica, tornando-a mais precisa e abrangente, por justamente envolver a principal drenagem da bacia hidrográfica.

Outro ponto que vale ressaltar refere-se à aplicação pioneira de análise de perfis longitudinais em terrenos pré-cambrianos de alto grau metamórfico da região oriental do Estado de São Paulo, que difere, substancialmente, em termos de contextos geológicos, geomorfológicos e fisiográficos dos terrenos do Planalto Ocidental Paulista, formados por unidades fanerozóicas da Bacia Sedimentar do Paraná. Dessa forma, espera-se contribuir para o aperfeiçoamento das técnicas de análise fluviomorfométricas em terrenos cristalinos e também para a análise neotectônica da Região Sudeste, controladora da morfogênese da paisagem e da formação e preservação de depósitos sedimentares e de mantos regolíticos mais jovens.

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se na região centro-oriental do Estado de São Paulo e áreas limítrofes de Minas Gerais, sendo delimitada pelas coordenadas 22° 30' - 22° 50' de latitude Sul e 45° 45' - 46° 45' de longitude Oeste de Greenwich. O principal acesso à

região é a Rodovia Federal Fernão Dias (BR 381), que passa por Atibaia, Bragança Paulista, Extrema e Camanducaia, representando importante conexão entre as regiões metropolitanas de São Paulo e Belo Horizonte, MG (Figura 1).

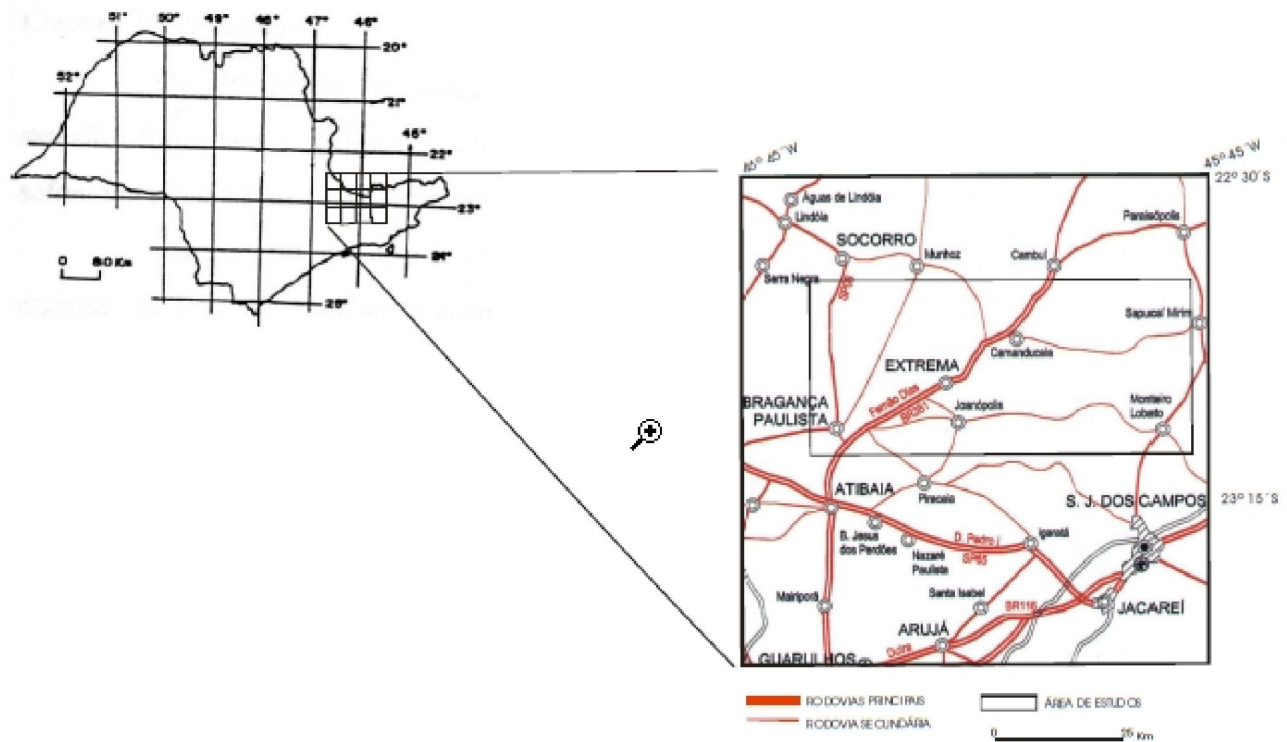


FIGURA 1. Localização da área de estudo.

CONTEXTO REGIONAL

A área estudada está inserida na Província Tectônica Mantiqueira (Hasui & Oliveira, 1984), configurando um extenso e complexo conjunto de rochas metamórficas e ígneas pré-cambrianas, aquelas altamente deformadas e migmatizadas, com registros de superposição de processos geológicos, em especial de cisalhamento dúctil, que define marcante estruturação regional NE-SW. Dentre as unidades que compõem este embasamento cristalino destacam-se os complexos Costeiro, Juiz de Fora, Barbacena e Gnáissico-migmatítico, que podem alcançar idades arqueanas, e os complexos Amparo, Paraíba do Sul e Varginha, com idades variando entre o Arqueano e o Paleoproterozóico (Bistrichi, 2001). As unidades granitóides incluem o Complexo Socorro (ca. 700-600 Ma, segundo Wernick, 1978) e diversos *stocks* com composições e texturas variadas, alvos de estudos petrológicos de Artur (2003).

O embasamento cristalino é recoberto localmente (< 10% da área aflorante) por sedimentos paleogênicos, depósitos aluviais recentes e mantos coluviais espessos (Bistrichi, 2001), delineando uma paisagem complexa, onde fatores neotectônicos se fazem presentes, segmentando áreas em subsidência, que propiciam a

acumulação de depósitos sedimentares jovens e formação/preservação de mantos regolíticos profundos, e áreas em ascensão, sujeitas a intensos processos de dissecação. A região bragantina situa-se entre as chamadas zonas sismogênicas de Cunha e Pinhal (senso Miotto, 1996), destacando-se que esta última inclui um sismo com magnitude 5,1 (intensidade epicentral máxima de VI MM), registrado em 1922 e que representa o maior episódio sísmico histórico no Estado de São Paulo (Miotto, 1996).

Em termos geomorfológicos, a área de estudo está localizada no Planalto Atlântico (senso Almeida, 1964), que apresenta relevo movimentado, com formas de relevo variando de montanhas, cujos ápices encontram-se entre as maiores altitudes da Região Sudeste do Brasil, passando por planaltos profundamente retrabalhados por vários ciclos erosivos, desfeitos em morros, serras lineares, escarpas e relevos colinosos, com regolitos mais desenvolvidos, até planícies aluviais recentes. Em termos cartográficos, a área localiza-se dentro dos limites da zona do Planalto do Alto Rio Grande, subzonas Senador Amaral e Serrania do Alto Sapucaí, e da zona Serrania de Lindóia (Bistrichi, 2001).

MÉTODO

PRINCÍPIOS GERAIS

O perfil longitudinal de um curso d'água configura uma das representações mais comuns em estudos morfométricos, podendo ser elaborado em gráficos de coordenadas cartesianas, onde a variável dependente refere-se à altitude do talvegue e a variável independente corresponde à extensão do canal, que pode ser representada tanto em escala aritmética quanto logarítmica (Guedes, 2008). Tais gráficos exibem uma conformação logarítmica, com concavidade para cima e assíntotas longas, que ilustra o perfil longitudinal de um rio. Quanto mais equilibrado for o curso d'água,

mais bem ajustado à função logarítmica estará seu perfil longitudinal, ressaltando-se que o equilíbrio refere-se à estabilidade do comportamento hidráulico da corrente, fazendo com que não haja erosão do talvegue nem aggradação, havendo tão somente passagem de carga sedimentar (*bypassing process*) (Guedes et al., 2006). A velocidade de evolução do perfil mostrado na Figura 2 está vinculada à energia cinética da rede de drenagem, com sua força erosiva e capacidade de transporte da carga sedimentar resultante (*stream power*). A Figura 2 exemplifica um perfil longitudinal de drenagem, no caso, o do rio Jaguari, principal curso d'água na área aqui estudada.

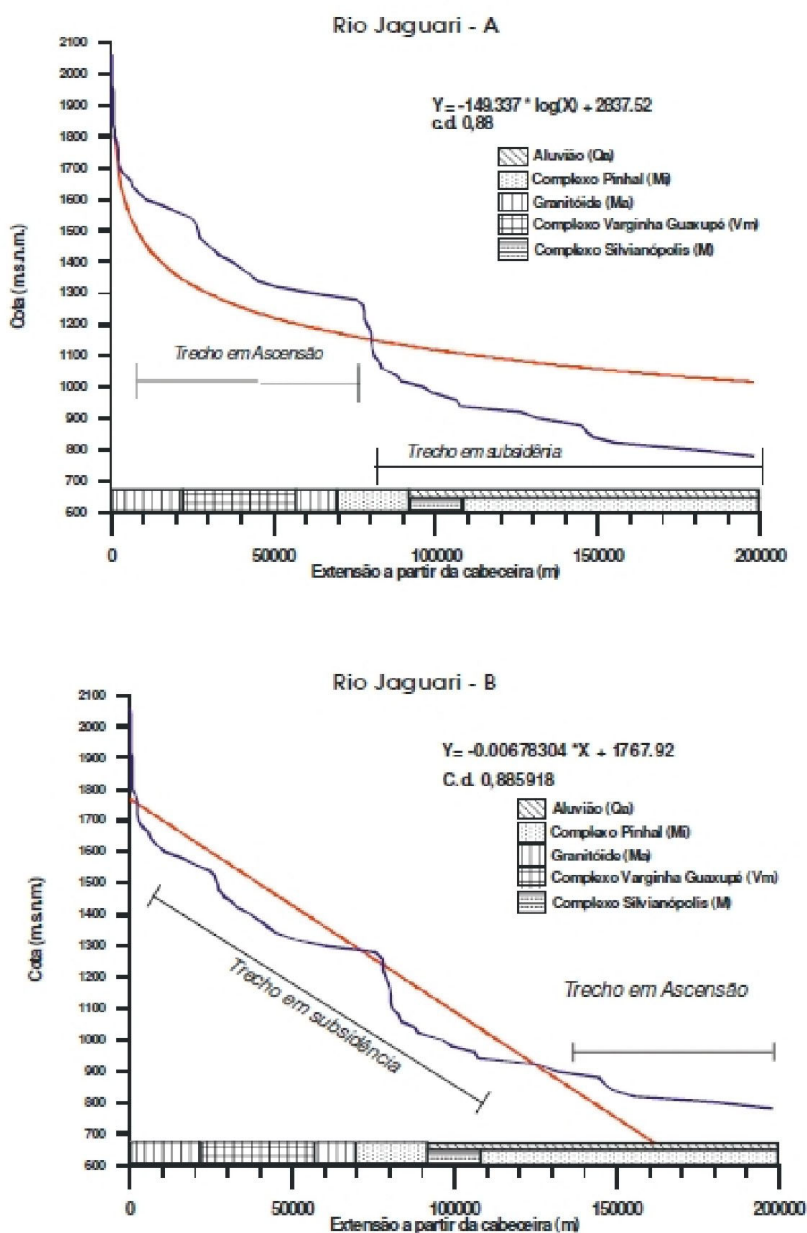


FIGURA 2. Perfil longitudinal do Rio Jaguari, com curvas de melhor ajuste em escalas logarítmica (A) e linear (B).

Qualquer desajuste da curva, para cima ou para baixo, pode configurar uma anomalia morfométrica. Geralmente, tais desequilíbrios estão associados ou à confluência de tributários de caudal expressivo, a alterações de nível de base (*e.g.*, eustasia) ou a heterogeneidades no substrato rochoso, ou ainda, a processos deformacionais neotectônicos, incluindo falhas, soerguimentos ou subsidências localizadas (Acklas Jr. et al., 2003).

Para determinar os trechos anômalos (em desequilíbrio) nos perfis longitudinais de drenagem, plota-se a curva de melhor ajuste (*best fit line*) no conjunto de pares ordenados “altitude x distância da cabeceira”. Quanto maior o afastamento da drenagem em relação à curva, maior o seu nível de desajuste, que pode se mostrar acima da linha, significando trecho em soerguimento, ou abaixo da linha, demonstrando trecho em subsidência (Guedes, 2008).

Depreende-se, então, que a escolha da equação que melhor represente a distribuição dos pares ordenados constitui um ponto vital para a técnica de análise fluviomorfométrica, calcada no maior ou menor aderência do curso d’água à curva de melhor ajuste (*best fit line*), que é representada por uma relação entre “altitude x cabeceira” da drenagem; onde, quanto maior o afastamento da drenagem para a curva, maior será o desajuste da drenagem que pode ser abaixo da curva (trecho em subsidência) como acima da curva (trecho em ascensão). O estabelecimento de equação é objeto de discussões na literatura pesquisada, tal como pode ser visto no trabalho de Volkov et al. (1967), ao abordarem qual seria o expoente mais adequado para se delinear a parábola de melhor ajuste para as condições fisiográficas da plataforma russa. Tanner (1971) concluiu, inclusive, que não existiria uma curva completamente satisfatória para todo tipo de perfil, devendo, cada trecho da drenagem, ser representado por sua própria curva, configurando o chamado “perfil composto” no sentido de Shepherd (1985). Esta designação, inclusive, poderia ser também adotada para os casos mais complexos detectados na bacia hidrográfica do Rio Jaguari.

Hack (1973), ao analisar as propriedades geométricas dos perfis longitudinais de cursos d’água apontou, com muita propriedade, para o seguinte fato: “*Most natural streams do not have a logarithmic profile [...] but their profiles are made up of connected series of segments of various lengths, each logarithmic in form*”.

MENSURAÇÃO DE PARÂMETROS FLUVIOMORFOMÉTRICOS

Os parâmetros fluviomorfométricos referentes às drenagens mais importantes da região de estudo foram mensurados com a utilização de um curvímetro digital

em cartas topográficas na escala 1:50.000 editadas pelo IBGE (curvas de nível com equidistância de 20 m). Para a obtenção dos conjuntos de pares ordenados necessários para a confecção dos perfis longitudinais das drenagens. Isso pode ser feito para qualquer curso d’água, desde que haja compatibilidade com precisão planialtimétrica da escala dos mapas topográficos. As cotas das cabeceiras e das confluências foram estimadas e, no caso de eventuais anomalias, trabalhou-se com valores conservadores, de modo a se evitar desvios exagerados, e, por conseguinte, minimizando a possibilidade de falsos trechos anômalos.

A escolha da curva de melhor ajuste – ponto crucial na análise aqui pretendida –, deve ser baseada nos melhores coeficientes de determinação possíveis. Assim, optou-se por trabalhar com curvas que alcançassem, pelo menos, o coeficiente 0,9; apesar de conservadora, esta escolha buscou realçar as anomalias mais expressivas, que realmente representassem *outliers* de possível conotação neotectônica.

O critério para a escolha do limiar para definição dos trechos anômalos baseou-se na literatura. No caso dos trabalhos desenvolvidos no Planalto Ocidental Paulista (*e.g.*, Etchebehere, 2000; Guedes et al., 2006; Guedes, 2008), adotou-se o valor de 10 m de afastamento da curva de melhor ajuste. Guedes et al. (2006) se basearam, por sua vez, em dados de Guccione (2005), que constatou deformações da ordem de metros a até 15 m no baixo vale do rio Mississippi, USA, associadas aos eventos sísmicos que ocorreram naquela região em 1811-1812. Entende-se, da mesma forma, que um limiar de 10 m possibilita evitar a margem de erro gerada pela imprecisão da base topográfica utilizada (q.v. McKeown et al., 1988).

COTEJAMENTO COM A PAISAGEM FISIGRÁFICA

O cotejamento das anomalias fluviomorfométricas com a paisagem da área de estudo foi elaborado mediante o emprego de imagens SRTM em escala 1:500.000, trabalhadas com o aplicativo Global Mapper. Lançou-se mão da técnica de sombreamento ajustada à declividade do terreno (função *Slope Shader*) para se definir os setores com regolitos mais desenvolvidos daqueles mais dissecados e com solos mais rasos, bem como para se delinear os depósitos aluviais mais expressivos. Da mesma forma, utilizou-se da base hipsométrica da área de estudo, em tons de cinza, com iluminação ajustada (função *Gradient Shader*), para se extrair os principais traços de lineamento. Tais feições foram interpretadas como representativas de estruturas rúpteis, *i.e.*, podem representar zonas de fraqueza estrutural (senso Sabins Jr., 1978) e, neste caso, servir para delimitar blocos estruturais.

Grosso modo, a interpretação das imagens SRTM

possibilitou a definição de zonas ou setores morfoestruturais distintos na paisagem da área de estudo e, os dados fluviomorfométricos, serviram como indicativos

de áreas com comportamentos neotectônicos distintos, podendo ser entendidos, assim, como zonas ou setores morfotectônicos.

RESULTADOS OBTIDOS

Ao serem elaborados os perfis longitudinais dos cursos d'água da bacia do rio Jaguari, deparou-se, todavia, com um aspecto diferenciado, qual seja: alguns dos maiores rios, tais como o Jaguari, o Jacaré e o Camanducaia, apresentavam um perfil longitudinal mais complexo, com destaque para expressivos *nick*

points, conforme pode ser observado nas Figuras 3, 4 e 5. Em tais casos, se fossem utilizadas curvas únicas de melhor ajuste, haveria uma pronunciada incidência de trechos anômalos; talvez se chegasse, até mesmo, ao extremo de toda a extensão do rio ser considerada anômala.

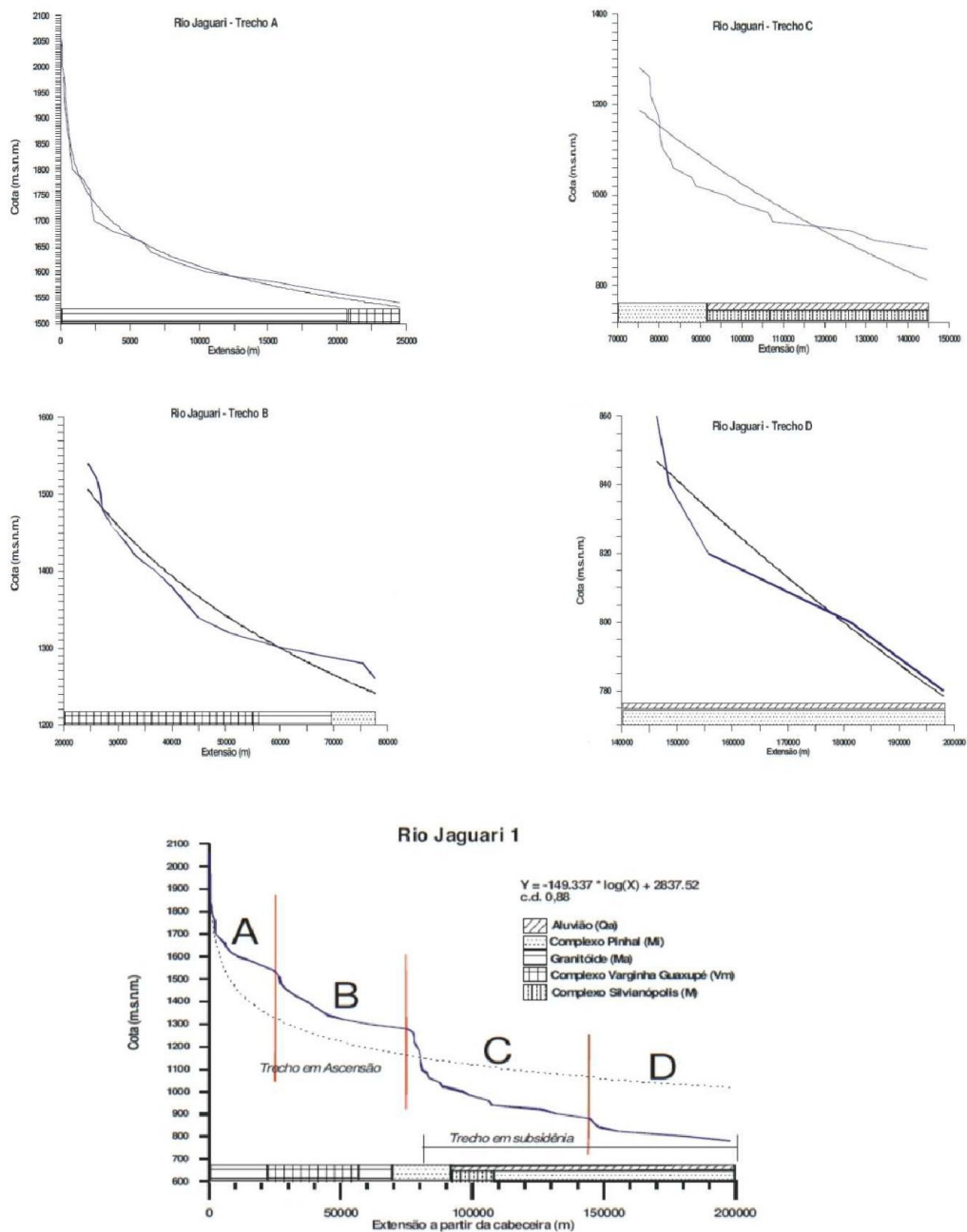


FIGURA 3. Rio Jaguari e seus segmentos de drenagem.

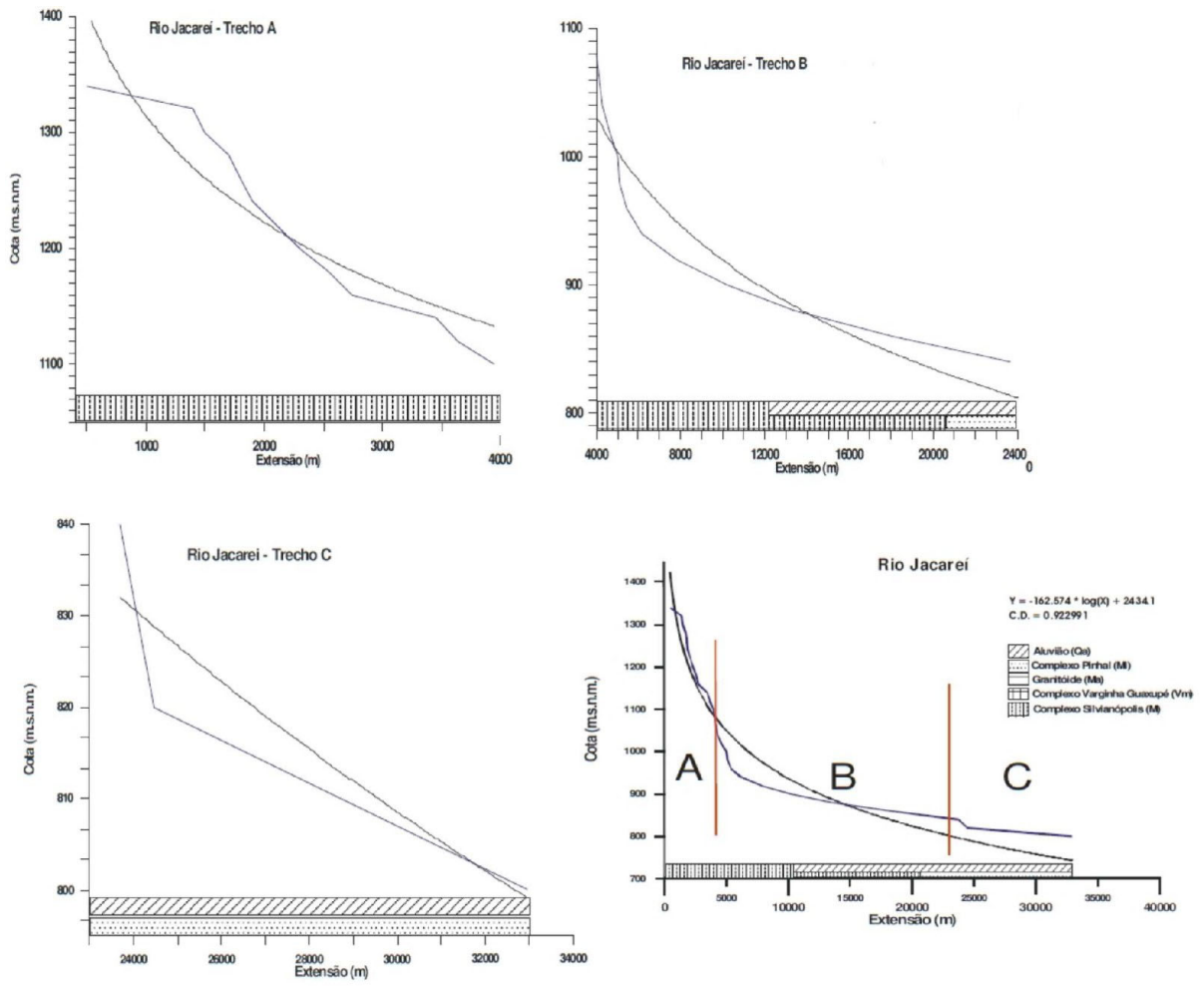


FIGURA 4. Rio Jacareí e seus segmentos de drenagem.

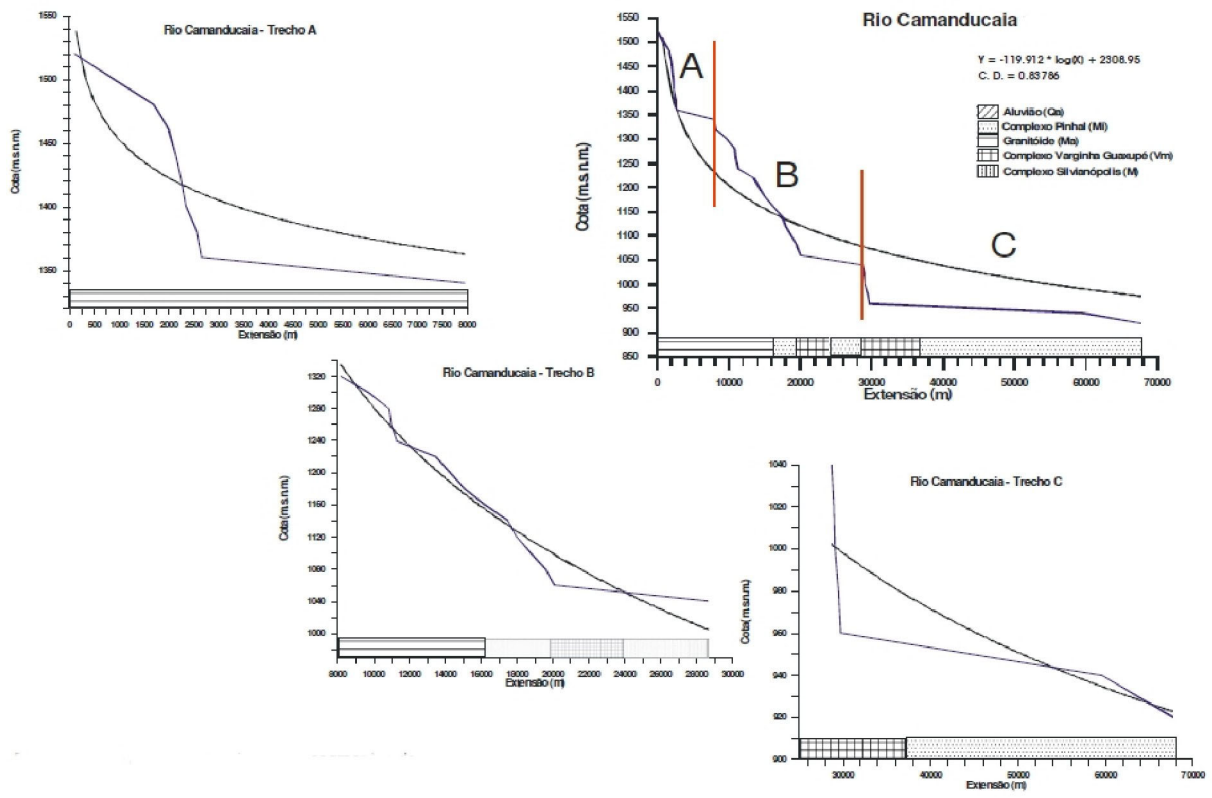


FIGURA 5. Rio Camanducaia e seus segmentos de drenagem.

Observa-se nas Figuras 3, 4 e 5 que os rios Jaguari, Jacaré e Camanducaia apresentam duas ou mais rupturas significativas em seus respectivos perfis longitudinais, configurando *nick points* expressivos. Assim, de modo a contornar a questão, optou-se por segmentar tais drenagens em trechos menores (designados por letras, a partir da cabeceira) e determinar, para cada um deles, uma equação específica de melhor ajuste, procedendo-se a análise tectônica em cada segmento específico. A localização dos referidos rios é mostrada na Figura 6.

As principais observações de cunho tectônico são as que se seguem:

- **Rio Jaguari** (Figura 3):

Trecho A – Duas zonas de falha no intervalo 1,5 - 2,5 km a partir da cabeceira, com blocos baixos rumo jusante condicionando zonas subsidentes de pequena extensão; o restante do trecho mostra-se equilibrado;

Trecho B – Uma zona de falha entre os km 26 e 27 contados a partir da cabeceira. Presença de duas zonas anômalas de caráter aparentemente flexural, a primeira, subsidente (entre 32 e 55 km a partir da cabeceira), e, a segunda, ascensional (a partir do km 64 até o final do trecho);

Trecho C – Presença de diversas zonas de falha, caracterizando um padrão escalonado, com os blocos-jusante apresentando-se cada vez mais rebaixados. Anomalias de RDE e mudanças no perfil longitudinal em zona de predomínio de depósitos aluviais podem ser um indicativo de ação neotectônica; e

Trecho D – Presença de uma zona de falha na porção superior do trecho e de um segmento em subsidência entre os km 152 e 162,5.

- **Rio Jacaré** (Figura 4):

Trecho A – Destaque para dois trechos anômalos: ascensional, entre os quilômetros 1 e 1,8, e subsidente, a partir do km 2,5;

Trecho B – Presença de zona de falha próximo ao quilômetro 5 e de duas zonas anômalas, a primeira, subsidente, entre os km 5 e 12, com falhamento no limite-montante, e, a segunda, ascensional, a partir do km 15,5, do tipo flexural; e

Trecho C – Drenagem em equilíbrio.

- **Rio Camanducaia** (Figura 5):

Trecho A – Expressiva zona de falha no km 2,6, separando dois blocos com comportamentos tectônicos distintos, subsidente a jusante;

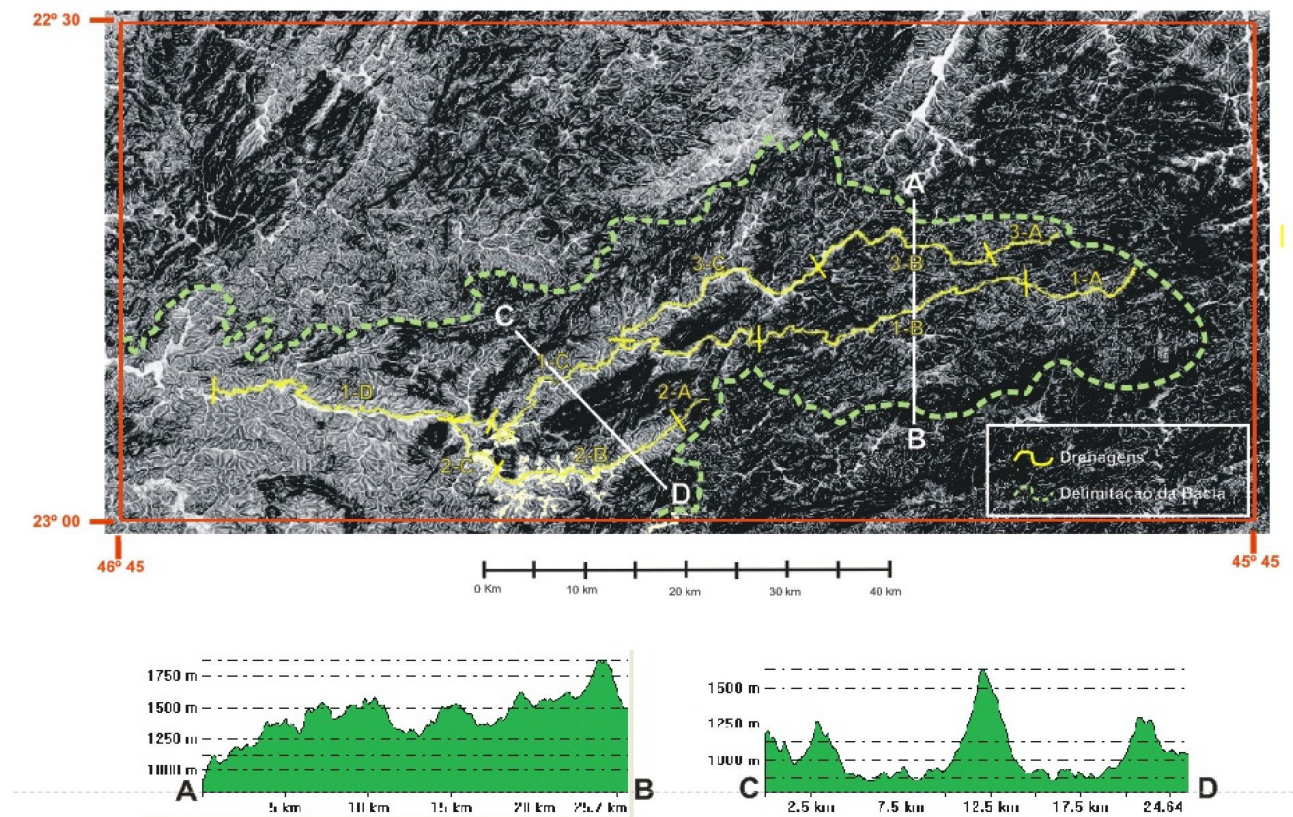


FIGURA 6. Localização das drenagens do Rio Jaguari (1), Rio Jacaré (2) e Rio Camanducaia (3).

Trecho B – Trecho caracterizando por diversas zonas de falha, a mais destacada delas no km 20, zona de contato entre duas unidades litoestratigráficas distintas. A jusante observa-se possível adernamento do bloco baixo, com subsidência entre a zona de falha e o km 23,5, e ascensão do km 25 até a foz; e

Trecho C – Destaque para zona de falha no limite-montante do trecho, com possível bloco adernado a jusante.

Os trechos anômalos assim delimitados foram plotados em planta, tendo como fundo uma imagem SRTM ajustada na função *Slope Shader* (Figura 7). Esta ilustração possibilita o cotejamento dos resultados fluviomorfométricos auferidos da análise dos perfis longitudinais com o substrato geológico e inclui, como figuras auxiliares, dois perfis topográficos considerados representativos do contexto geomorfológico local. Nesse caso, duas principais zonas morfoestruturais podem ser discernidas, à partir das análises de imagens SRTM, quais sejam:

- Zonas com regolitos profundos: caracterizam-se por topografia colinosa, relevo relativamente suavizado, com regolitos espessos (que podem ultra-

passar uma dezena de metros de profundidade), desenvolvidos sobre o substrato cristalino, sem diferenciação pronunciada entre os litotipos metamórficos (de graus variados) e os granitóides. Os tons, na imagem, são cinza-claro a médio; a eles se associam os depósitos aluviais mais expressivos, no fundo de vales relativamente amplos, marcados pela coloração esbranquiçada; e

- Zonas fortemente dissecadas: são formadas por áreas com topografia mais íngreme e declivosa, como nas serranias e escarpas, nas quais os tons predominantes são cinza-escuro a enegrecido, denotando presença de solos rasos ou pouco desenvolvidos e lajeados. Os vales são em forma de “V”, com escassos depósitos aluviais; por vezes, alguns trechos são entulhados por deslizamentos de solo ou por matacões ou placas que se desprendem dos pontos de origem encosta acima.

Os limites entre as zonas são bruscos, em boa parte, lineares, marcados por feixes de lineamentos, o que enseja maior importância ao papel das estruturas rúpteis no controle tectônico dos movimentos verticais. Nesse sentido, esta compartimentação teria um caráter morfotectônico.

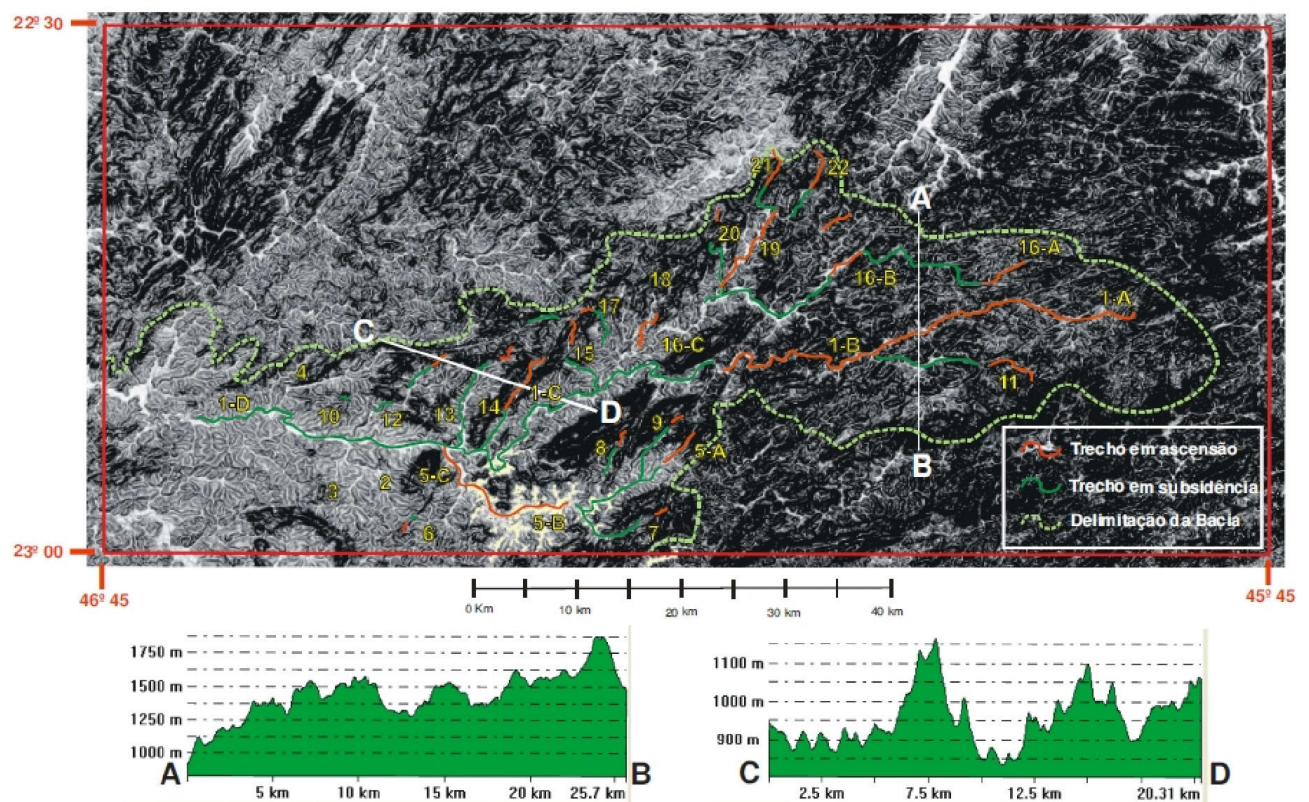


FIGURA 7. Trechos com anomalias morfométricas ao longo dos perfis longitudinais.

SÍNTESE E DISCUSSÃO

Ao dissecar diferentes substratos líticos, com tenacidade ou resistência à erosão diferenciadas, pode ocorrer a formação localizada de soleiras (*nick points*), as quais tendem a atuar como controladores de nível de base local, dando origem aos chamados perfis longitudinais compostos, segmentados ou complexos (senso Shepherd, 1985). Para tais situações, uma única equação matemática não conseguiria responder plenamente pelo ajuste do perfil. Na área aqui estudada, os perfis complexos somente foram constatados nos cursos d'água mais expressivos, quais sejam: rios Jaguari, Jacareí e Camanducaia. A segmentação de tais perfis complexos possibilitou a análise de cada trecho específico, o que permitiu a definição de zonas anômalas sem os problemas que poderiam decorrer do uso de uma única equação, com excessivos descolamentos dos talwegues, caso prevalecesse o emprego de uma única curva de melhor ajuste.

Em complemento à observação anterior, tem-se que o substrato rochoso sulcado pelas drenagens apresenta numerosas variações, pois compreendem rochas metamórficas de diferentes graus (gnaisses, migmatitos, granito-gnaisses etc.) e também *stocks* e *plutons* de granitóides ou termos granito-gnáissicos, não-raro formando litossomas bandados, com inúmeras e diversificadas intercalações. Do ponto de vista fluviomorfométrico, todavia, esta heterogeneidade lítica não implicou diretamente na presença de anomalias significativas, o que reforça a tese de que estas se devam a fatores neotectônicos e não sejam simplesmente decorrentes de resistência diferencial ao entalhe dos talwegues. Vale ressaltar que a profundidade do manto regolítico também não é determinada pelo tipo do substrato rochoso, pois podem ser encontrados perfis de intemperismo muito variados desenvolvidos no mesmo tipo litológico.

O cotejamento das anomalias de perfil longitudinal com o substrato geológico-geomorfológico extraído das imagens SRTM possibilita discernir a eventual atuação de processos neotectônicos, ao associar os desequilíbrios fluviomorfométricos com áreas de relevo variado e de diferentes espessuras de mantos regolíticos, que podem variar de lajeados a perfis profundamente intemperizados, independentemente do tipo litológico que compõe o embasamento rochoso.

Os resultados obtidos na área aqui tratada permitem considerar que a atuação de processos de deformação crustal de cunho neotectônico é expressiva e vem controlando a morfogênese da paisagem e a formação/preservação de mantos regolíticos e depósitos sedimentares mais jovens, afora resultarem em esporádicas manifestações sísmicas. De acordo com modelos

preconizados na literatura geológica para a região de Bragança Paulista - Atibaia (e.g., Bistrichi, 2001; Etchebehere et al., 2007), os processos neotectônicos – aqui entendidos como atrelados ao quadro vigente de tensões –, passaram a atuar a partir do Mioceno, quando o regime tectônico transformou-se de distensional, associado à abertura do Atlântico Sul, para compressivo, com implicações na paisagem e no registro estratigráfico. Em tal contexto, entende-se que os blocos morfoestruturais aqui delineados apresentam movimentações verticais diferenciadas: nos blocos alçados, predominam processos erosivos, com dissecação acentuada do relevo, entalhe profundo dos talwegues, predominância de solos rasos, lajeados, e vales com perfil transversal em “V”; por outro lado, nos blocos subsidentes, tende a haver maior preservação da paisagem, com regolitos profundos, vales de fundo amplo, com depósitos aluviais e, até mesmo, preservação de depósitos sedimentares mais antigos, incluindo representantes paleogênicos e neogênicos (e.g., Bacia de Tanque, em Atibaia, segundo Bistrichi, 2001).

No embasamento cristalino, por sua vez, conforme mencionado anteriormente, encontram-se registros de idades de traços de fissão que variam de $66,2 \pm 1,3$ Ma a $13,8 \pm 1,4$ Ma (Ribeiro et al., 2005; Tello Saenz et al., 2005), ilustrados na Tabela 1. Nesse conjunto de dados, verificam-se valores que vão desde o Cretáceo Inferior, passando pelo Cretáceo Superior, e atingindo o Neógeno. Essas idades permitem interpretar que as evidências neotectônicas aqui registradas, na realidade integram um quadro de evolução termotectônica maior, cujo início remonta à quebra e separação do continente gondwânico, com freqüentes manifestações ao longo do Cretáceo Superior, Paleógeno e Neógeno, e que persistem até os dias atuais, conforme vem sendo postuladas por diversos pesquisadores, como por exemplo, Riccomini et al. (2004), Hackspacher et al. (2004), Etchebehere et al. (2007), Zalán & Oliveira (2005); Franco-Magalhaes et al. (2010), dentre outros.

Finalizando, podem ser destacadas, no presente trabalho, duas abordagens efetivas, rápidas e de baixo custo de aplicação. A primeira delas refere-se à utilização dos perfis segmentados para a análise de parâmetros fluviomorfométricos, que permite trabalhar com os rios de maior porte, minimizando os erros a que se poderia incorrer valendo-se de uma única equação de melhor ajuste. O segundo destaque refere-se à aplicação pioneira, para os terrenos cristalinos de alto grau do leste paulista, da combinação dos enfoques da morfometria fluvial (no caso, dos perfis longitudinais dos cursos d'água) e da interpretação de imagens SRTM, tornando possível avaliar o quadro morfo-

TABELA 1. Descrição das amostras para traços de fissão em apatitas e resumo dos dados de traços de fissão. No.: número da amostra, ρ_s = densidade de traços espontâneos ($\times 10^5/\text{cm}^2$), ρ_i = densidade de traços induzidos ($\times 10^5/\text{cm}^2$). Rochas pertencentes ao embasamento pré-cambriano. n. f.: dados não fornecidos.

No.	Altitude (m)	ρ_s/ρ_i	Idade (aparente) de traços de fissão em apatitas (Ma)	Referência
TF-99	850	5.366 (22)	49.5 ± 10.35	Ribeiro et al. (2005)
TF-100	990	3.22 (499)	53.4 ± 1.4	Ribeiro et al. (2005)
TF-96	1124	5.28 (1258)	66.2 ± 1.3	Ribeiro et al. (2005)
TF-107	n.f.	5.8 (161)	16.3 ± 1	Ribeiro et al. (2005)
TF-92	n.f.	4.59 (155)	16.9 ± 1	Ribeiro et al. (2005)
TF-106	666	19.11 (84)	13.8 ± 1.4	Ribeiro et al. (2005)
TF-56	n.f.	6.19 (296)	33.2 ± 1.6	Tello Saenz et al. (2005)
TF-55	n.f.	12.02 (439)	48.7 ± 1.5	Tello Saenz et al. (2005)
CT-24	n.f.	5.97 (116)	46.8 ± 3.9	Tello Saenz et al. (2005)
CT-25	n.f.	6.01 (277)	52.3 ± 2.9	Tello Saenz et al. (2005)
CT-53	n.f.	4.41 (203)	47.45 ± 2.7	Tello Saenz et al. (2005)
CT-28	n.f.	6.22 (139)	49.1 ± 3.9	Tello Saenz et al. (2005)
CT-29	n.f.	23.3 (220)	49.8 ± 2.4	Tello Saenz et al. (2005)
CT-30	n.f.	4.11 (343)	21.5 ± 1	Tello Saenz et al. (2005)

tectônico da região e contribuindo para o entendimento da dinâmica superficial vigente. Acredita-se, ainda, que seja plenamente justificável o aprofundamento dos

estudos neotectônicos com a abordagem aqui tratada para o entendimento da história geológica recente desta região, e dos decorrentes riscos geológicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACKLAS JUNIOR, R.; ETCHEBEHERE, M.L.C.; CASADO, F.C. Análise de perfis longitudinais de drenagens do Município de Guarulhos para a detecção de deformações neotectônicas. **Revista UnG** – Geociências, n. 8, ano 6, p. 64-78, 2003.
- ALMEIDA, F.F.M. Os fundamentos geológicos do relevo paulista. **Boletim IGG**, v. 41, p.85-101, 1964.
- ARTUR, A.C. **Complexo granitóide plurisserial Socorro: geologia, petrologia e recursos minerais**. Rio Claro, 2003. 139 p. Tese (Livre-Docência) – Departamento de Mineralogia e Petrologia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- AUDEMARD, F.A. Paleoseismology in Venezuela: Objectives, methods, applications, limitations and perspectives. **Tectonophysics**, v. 408, p. 29-61, 2005.
- BISTRICHI, C.A. **Análise estratigráfica e geomorfológica do cenozóico da região de Atibaia-Bragança Paulista, Estado de São Paulo**. Rio Claro, 2001. 184 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- BJORNBERG, A.J.S. **Contribuição ao estudo do Cenozóico paulista: tectônica e sedimentologia**. São Paulo, 1969. Tese (Provimento do cargo de Professor) – Universidade de São Paulo, São Carlos. (a)
- BJORNBERG, A.J.S. Critério geomorfológico para determinação de áreas falhadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOCIA, 23, Salvador, 1969. **Resumo...** das conferências e das comunicações... Salvador: SBG, 1969, p. 65-66. (b)
- BJORNBERG, A.J.S. Microestrutura dos solos. In: NEGRO JUNIOR, A.; FERREIRA, A.A.; ALONSO, U.R. & LUZ, P.A. (Eds.), **Solos da cidade de São Paulo**. São Paulo, ABMS/ABEF, p. 98-109, 1992.
- BOYD, K.F. & SCHUMM, S.A. Geomorphic evidence of deformation in the Northern part of the New Madrid seismic

- zone. In: SHEDLOCK, K.M. & JOHNSTON, A.C. (Eds.), **Investigations of the New Madrid seismic zone**. U.S. Geol. Survey Prof. Paper 1538-R, 35 p., 1995.
10. BURNETT, A.W. & SCHUMM, S.A. Alluvial river response to neotectonic deformation in Louisiana and Mississippi. **Science**, v. 222, p. 49-50, 1983.
 11. ETCHEBEHERE, M.L.C. **Terraços neoquaternários no vale do Rio do Peixe, Planalto Ocidental Paulista: implicações estratigráficas e tectônicas**. Rio Claro, 2000. 2 v. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
 12. ETCHEBEHERE, M.L.C. & SAAD, A.R. Relação Declividade/Extensão de Curso (RDE) aplicada à detecção de deformações neotectônicas regionais na bacia hidrográfica do rio do Peixe, SP. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 6, 1999, São Pedro. **Boletim de Resumos...** Rio Claro: SBG-SP/RJ-ES/UNESP, 1999, p. 93.
 13. ETCHEBEHERE, M.L.C.; SAAD, A.R.; FULFARO, J.V.; PERINOTTO, J.A.J. Aplicação do Índice “Relação Declividade-Extensão – RDE” na Bacia do Rio do Peixe (SP) para Detecção de Deformações Neotectônicas. **Revista do Instituto de Geociências – USP Série Científica**, v. 4, n. 2, p. 43-56, 2004.
 14. ETCHEBEHERE, M.L.C.; SAAD, A.R.; SANTONI, G.C.; CASADO, F.C.; FULFARO, V.J. Detecção de prováveis deformações neotectônicas no vale do Rio do Peixe, região ocidental paulista, mediante aplicação de índices RDE (Relação Declividade-Extensão) em segmentos de drenagem. **Geociências**, v. 25, p. 271-288, 2006.
 15. ETCHEBEHERE, M.L.C.; SAAD, A.R.; BISTRICHI, C.A.; GARCIA, M.J.; SILVA, M.F. DA; BEDANI, E.F. Modelo de evolução geológica da região do atual município de Atibaia (SP) durante o Cenozóico. **Revista Universidade Guarulhos – Série Geociências**, v. 6, n. 1, p. 4-31, 2007.
 16. FRANCO-MAGALHÃES, A.O.B.; HACKSPACHER, P.C.; GLASMACHER, U.A.; SAAD, A.R. Rift to post-rift evolution of a “passive” continental margin: the Ponta Grossa Arch, SE Brazil. **International Journal of Earth Science**, v. 99, p. 1599-1613, 2010. (a)
 17. FRANCO-MAGALHÃES, A.O.B.; HACKSPACHER, P.C.; SAAD, A.R. Exumação tectônica e reativação de paleolimeamentos no Arco de Ponta Grossa: termocronologia por traços de fissão em apatitas. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 40, n. 2, p. 184-195, 2010. (b)
 18. GUCCIONE, M.J. Late Pleistocene and Holocene paleoseismology of an intraplate seismic zone in a large alluvial valley: central Madrid seismic zone, Central USA. **Tectonophysics**, v. 408, p. 237-264, 2005.
 19. GUEDES, I.C. **Aplicação de análise flúvio-morfométrica na bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio - SP para detecção de deformações neotectônicas**. Guarulhos, 2008. 129 p. Dissertação (Mestrado em Análise Geoambiental) – Universidade Guarulhos.
 20. GUEDES, I.C.; ETCHEBEHERE, M.L.C.; STEVAUX, J.C.; MORALES, N.; SAAD, A.R. Análise de perfis longitudinais de drenagens da bacia do rio Santo Anastácio – SP para detecção de possíveis deformações neotectônicas. **Revista Universidade Guarulhos – Série Geociências**, v. 5, n. 1, p. 75-102, 2006.
 21. HACK, J.T. Stream-profile analysis and stream-gradient index. **Journal of Research of the United State Geological Survey**, v.1, n. 4, p. 421-429, 1973.
 22. HACKSPACHER, P.C.; RIBEIRO, L.F.B.; RIBEIRO, M.C.S.; FETTER, A.H.; HADLER NETO, J.C.; TELLO, C.A.S.; DANTAS, E.L. Consolidation and Break-up of the South American Platform in Southeastern Brazil: Tectonothermal and Denudation Histories. **Gondwana Research**, v. 7, n. 1, p. 91-101, 2004.
 23. HASUI, Y. & OLIVEIRA, M.A. Província Mantiqueira – Setor Central. In: ALMEIDA, F.F.M. & HASUI, Y. (Coords.), **O Pré-Cambriano do Brasil**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, p. 308-344, 1984.
 24. HIRUMA, S.T.; RICCOMINI, C.; MODENESI-GAUTIERI, M.C.; HACKSPACHER, P.C.; HADLER NETO, J.C.; FRANCO-MAGALHÃES, A.O.B. Denudation history of the Bocaina Plateau, Serra do Mar, southeastern Brazil: Relationships to Gondwana breakup and passive margin development. **Gondwana Research**, v. 18, n. 4, p. 674-687, 2010.
 25. MARPLE, R.T. & TALWANI, P. Evidence of possible tectonic upwarping along the South Carolina coastal plain from an examination of river morphology and elevation data. **Geology**, v. 21, p. 651-654, 1983.
 26. MAYER, L. **Quantitative analysis of landforms: A way to delineate active tectonic structures**. Oxford, USA. 48 p. Geomorphology Laboratory – Department of Geology – Miami University Annual Technical Report, 1992.
 27. McKEOWN, F.A.; JONES-CECIL, M.; ASKEW, B.L.; McGRATH, M.B. Analysis of stream-profile data and inferred tectonic activity, Eastern Ozark Mountains region. Denver, USA: **U.S. Geological Survey Bulletin**, 1807, 39 p., 1988.
 28. MERRITS, D. & HESTERBERG, T. Stream networks and long-term surface uplift in the New Madrid seismic zone. **Science**, v. 265, p. 1.081-1.084, 1994.
 29. MIOTO, J.A. Excertos sobre risco sísmico no Estado de São Paulo. **Revista Universidade Guarulhos – Série Geociências**, v. 1, n. 3, p. 18-23, 1996.
 30. RIBEIRO, L.F.B.; HACKSPACHER, P.C.; RIBEIRO, M.C.S.; HADLER NETO, J.C.; TELLO, C.A.S.; IUNES, P.J.; FRANCO, A.O.B.; GODOY, D.F. Thermotectonic and fault dynamic analysis of Precambrian basement and tectonic constraints with the Paraná basin. **Radiation Measurements**, v. 39, p. 669-673, 2005.
 31. RICCOMINI, C.; SANT’ANNA, L.; FERRARI, A.L. Evolução Geológica do Rift Continental do Sudeste do Brasil. In: MANTESSO NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C.D.R. & NEVES, B.B.B. (Orgs.), **Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Editora Beca, p. 383-405, 2004.
 32. RODRIGUEZ, S.K. **Neotectônica e sedimentação quaternária na região da “Volta Grande” do rio Xingu, Altamira, PA**. São Paulo, 106 p. 1993. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
 33. RODRIGUEZ, S.K. & SUGUIO, K. Gradientes hidráulicos das drenagens de 2ª ordem: uma contribuição para os estudos de neotectônica da Volta Grande do rio Xingu, Altamira – PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37, 1992. São Paulo. **Resumos Expandidos...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1992, p. 598-600.
 34. SABINS JUNIOR, F.F. **Remote sensing principles and interpretation**. San Francisco, USA: W.H. Freeman, 426 p., 1978.
 35. SCHUMM, S.A. & SPITZ, W.J. Geological influence on the Lower Mississippi River and its alluvial valley. **Engineering Geology**, v. 45, p. 245-261, 1996.
 36. SHEPHERD, R.G. Regression analysis of river profiles. **Journal of Geology**, v. 93, p. 377-384, 1985.
 37. SPITZ, W.J. & SCHUMM, S.A. Tectonic geomorphology of the Mississippi Valley between Osceola, Arkansas, and Friars Point, Mississippi. **Engineering Geology**, v. 46, p. 259-280, 1997.

38. TAKIYA, H. **Estudo da sedimentação neogênico-
quaternária no município de São Paulo: Caracterização
dos depósitos e suas implicações na geologia urbana.** São
Paulo, 1997. 152 p. Tese (Doutorado em Geociências) –
Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
39. TANNER, W.F. The river profiles. **Journal of Geology**,
v. 79, p. 482-492, 1971.
40. TELLO SAENZ, C.A.; HADLER NETO, J.C.; IUNES, P.J.;
GUEDES, S.; HACKSPACHER, P.C.; RIBEIRO, L.F.B.;
PAULO, S.R.; OSORIO, A.M.A. Thermochronology of the
South American platform in the state of São Paulo, Brazil,
through apatite fission tracks. **Radiation Measurements**,
v. 39, p. 635- 640, 2005.
41. VOLKOV, N.; SOKOLOVSKY, I. L.; SUBBOTIN, A.I. Effect
of recent crustal movements on the shape of longitudinal
profiles and water levels in rivers. In: INTERNATIONAL
SYMPOSIUM ON RIVER MECHANICS, Bern, Suiss,
1967. **Proceedings...** Bern: International Union of Geodesy
and Geophysics, 1967, p. 105-116.
42. WERNICK, E. Contribuição à estratigrafia do Pré-Cambriano
do leste do Estado de São Paulo e áreas vizinhas. **Revista
Brasileira de Geociências**, v. 8, n. 3, p. 206-216, 1978.
43. ZALÁN, P.V. & OLIVEIRA, J.A.B. Origem e evolução
estrutural do Sistema de Riftes Cenozóicos do Sudeste do
Brasil. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, v. 13, n. 2,
269-300, 2005.

*Manuscrito Recebido em: 1 de julho de 2011
Revisado e Aceito em: 25 de outubro de 2011*