



VARIAÇÃO ESPACIAL NA EVOLUÇÃO GEOMORFOLÓGICA RECENTE DA BACIA DO RIO TURVO, NO MÉDIO VALE DO RIO PARAÍBA DO SUL: EVIDÊNCIAS MORFOLÓGICAS E CRONOESTRATIGRÁFICAS

SPATIAL VARIATION IN THE RECENT GEOMORPHOLOGICAL EVOLUTION OF THE TURVO RIVER BASIN, IN THE MIDDLE VALLEY OF THE RIO PARAÍBA DO SUL: MORPHOLOGICAL AND CHRONOSTRATIGRAPHIC EVIDENCES

VARIACIÓN ESPACIAL EN LA RECIENTE EVOLUCIÓN GEOMORFOLÓGICA DE LA CUENCA DEL RÍO TURVO, EN EL VALLE MEDIO DEL RÍO PARAÍBA DO SUL: EVIDENCIA MORFOLÓGICA Y CRONOESTRATIGRÁFICA

RAFAEL ALBUQUERQUE XAVIER¹
ANA LUIZA COELHO NETTO²

¹Professor dos Programas de Pós-graduação em Desenvolvimento Regional da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) e em Geografia da Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

E-mail: xavier@ceduc.uepb.edu.br, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1737-7547>

²Professora Titular do Departamento de Geografia e do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

E-mail: ananetto@acd.ufrj.br, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0158-0994>

Recebido: 15/05/2021

Enviado para correção: 1/06/2021

Aceito: 10/06/2021

RESUMO

Evidências morfológicas e crono-estratigráficas apontam que a região do médio vale do Rio Paraíba do Sul (MVRPS) passou por dois ciclos de instabilidade morfodinâmica: o primeiro entre 10.000 e 8.000 anos atrás, e o segundo, iniciado há cerca de 250 anos (ciclo do café). Essa dinâmica evolutiva foi amplamente comprovada para a bacia do Rio Bananal, vertente direita do MVRPS. Diante disso, este estudo objetivou avaliar as repercussões desses dois ciclos na bacia do Rio Turvo, vertente esquerda do MVRPS. Foram feitos levantamentos de depósitos fluviais em diversas sub-bacias, através de mapeamento e espessura obteve-se a volumetria desses depósitos. Foram realizadas 15 análises por datação de C^{14} em 9 perfis estratigráficos. Os estudos geocronológicos (AMS C^{14}) nos terraços fluviais dos rios Turvo e Pedras mostram que eles foram formados no mesmo ciclo erosivo-deposicional, entre 8000-10000 anos atrás, identificado para a bacia do Rio Bananal. Entretanto, as taxas de erosão foram superiores na bacia do Rio Bananal (sub-bacia do Rio Piracema) (38.500 m³/ano), seguido pela sub-bacia do rio Pedras (2.240 m³/ano) e demais sub-bacias do rio Turvo (320 m³/ano). Por outro lado, comparando as taxas de sedimentação do período do café, observou-se taxas semelhantes entre as bacias dos rios Turvo e Bananal (96.640 m³/ano e 97.160 m³/ano, respectivamente). Os resultados apontam um modelo de evolução geomorfológica espacialmente não uniforme, tendo a sub-bacia do Rio Pedras maior magnitude erosivo-deposicional, enquanto no restante da bacia do rio Turvo há menor estoque de sedimentos nos vales fluviais e a preservação de feições de denudação química nos interflúvios.

Palavras-chave: depósitos fluviais, taxa de sedimentação, denudação mecânica e denudação química.

ABSTRACT

Morphological and chronostratigraphic evidence indicates that the region of the middle valley of the Paraíba do Sul River (MVRPS) went through two cycles of morphodynamic instability: the first between 10,000 and 8,000 years ago, and the second, which started about 250 years ago (cycle of coffee). This evolutionary dynamic was widely proven for the Bananal River basin, right slope of the MVRPS. Therefore, this study aimed to evaluate the repercussions of these two cycles in the Rio Turvo basin, left slope of the MVRPS. Surveys of fluvial deposits were made in several sub-basins, through mapping and thickness the volumetry of these deposits was obtained. 15 analyzes were performed by C^{14} dating in 9 stratigraphic profiles. Geochronological studies (AMS C^{14}) on the river terraces of the Turvo and Pedras rivers show that they were formed in the same erosive-depositional cycle, between 8000-10000 years ago, identified for the Bananal River basin. However, erosion rates were higher in the Bananal River basin (Piracema River sub-basin) (38,500 m³/year), followed by the Pedras River sub-basin (2,240 m³/year) and other Turvo River sub-basins (320 m³/year). On the other hand, comparing the sedimentation rates of the coffee period, similar rates were observed between the basins of the Turvo and Bananal rivers (96,640 m³/year and



97,160 m³/year, respectively). The results point to a spatially non-uniform geomorphological evolution model, with the Rio Pedras sub-basin having a greater erosive-depositional magnitude, while in the rest of the Turvo river basin there is less sediment stock in the river valleys and the preservation of chemical denudation features. in the interfluves.

Keywords: fluvial deposits, rate of sedimentation, chemical denudation and mechanical denudation.

RESUMEN

Las evidencias morfológicas y cronoestratigráficas indica que la región del valle medio del río Paraíba do Sul (MVRPS) atravesó dos ciclos de inestabilidad morfodinámica: el primero entre 10.000 y 8.000 años atrás, y el segundo, que comenzó hace unos 250 años (ciclo de café). Esta dinámica evolutiva fue ampliamente probada para la cuenca del río Bananal, vertiente derecha del MVRPS. Por lo tanto, este estudio tuvo como objetivo evaluar las repercusiones de estos dos ciclos en la cuenca del Río Turvo, vertiente izquierda del MVRPS. Se realizaron levantamientos de depósitos fluviales en varias subcuencas, mediante mapeo y espesores se obtuvo la volumetría de estos depósitos. Se realizaron 15 análisis por datación C¹⁴ en 9 perfiles estratigráficos. Estudios geocronológicos (AMS C¹⁴) en las terrazas fluviales de los ríos Turvo y Pedras muestran que se formaron en el mismo ciclo erosivo-depositacional, hace entre 8000-10000 años, identificado para la cuenca del río Bananal. Sin embargo, las tasas de erosión fueron mayores en la cuenca del río Bananal (subcuenca del río Piracema) (38.500 m³ / año), seguida de la subcuenca del río Pedras (2.240 m³/año) y otras subcuencas del río Turvo (320 m³/año). Por otro lado, al comparar las tasas de sedimentación del período cafetero, se observaron tasas similares entre las cuencas de los ríos Turvo y Bananal (96.640 m³/año y 97.160 m³/año, respectivamente). Los resultados apuntan a un modelo de evolución geomorfológica espacialmente no uniforme, teniendo la subcuenca del río Pedras una mayor magnitud erosivo-depositacional, mientras que en el resto de la cuenca del río Turvo hay menor stock de sedimentos en los valles fluviales y la preservación de características de denudación química en los interfluves.

Palabras clave: depósitos fluviales, velocidad de sedimentación, denudación mecánica y denudación química.

INTRODUÇÃO

O aquecimento global que marcou o início do Holoceno tem sido associado com outras alterações paleoambientais e hidrológicas em diversas regiões brasileiras (LEDRU, 1993). Evidências morfológicas e crono-estratigráficas apontam que a região do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul passou por dois ciclos de instabilidade morfodinâmica da paisagem no Holoceno, com altas taxas de erosão-deposição nas encostas e fundos de vales fluviais. Registros consistentes na bacia do rio Bananal (518 km²), afluente pela margem direita do rio Paraíba do Sul, indicam que o primeiro ciclo ocorreu em torno de 10.000 e 8.000 anos atrás; o segundo, iniciado há cerca de 250 anos atrás, foi uma resposta à substituição da Floresta Atlântica original por extensas monoculturas de café (DIETRICH et al., 1991; COELHO NETTO et al., 1994; DANTAS; COELHO NETTO, 1995, 1996; COELHO NETTO, 1999, dentre outros).

Articulando essa pesquisa histórica de base crono-estratigráfica com os estudos funcionais dos processos erosivos atuantes nas encostas, os últimos autores acima citados associam o intenso ciclo de erosão do Holoceno Inicial com a expansão da rede de canais, recuo das encostas e rebaixamento de divisores, tal como ocorre nos dias atuais. Este ciclo deixou evidências morfológicas bem marcadas na paisagem, incluindo divisores rebaixados e espessa cobertura sedimentar nas encostas e nos fundos de vales fluviais onde, neste último, chegaram a ultrapassar 20 metros de espessura. Após um longo período de estabilidade morfodinâmica na bacia do rio Bananal, o ciclo erosivo-deposicional mais recente, detonado pela monocultura cafeeira (entre meados do século XVIII até o final do século XIX) e ainda permanece ativo. A exposição direta dos solos, com plantios ao longo das encostas, propiciou altas taxas de erosão por ação do escoamento superficial, transferindo essa carga de sedimentos para os canais fluviais e reativando a incisão da rede de canais nos pacotes de sedimentos herdados do ciclo anterior e mais espessos nos fundos dos vales. Parte do material erodido neste ciclo permanece estocado na atual planície de inundação, revelando uma taxa média de deposição muito alta, da ordem de 97.000 m³/ano (DANTAS; COELHO NETTO, 1996).

Reunindo as pesquisas desenvolvidas pela equipe do Geoheco-UFRJ, Coelho Netto (1999) propôs um modelo evolutivo catastrófico para a bacia do rio Bananal. Uma ampla coleção de datações absolutas dos depósitos de encostas e fluviais por AMS C¹⁴ (não

calibrado) fundamentaram a ocorrência dos dois ciclos de instabilidade morfodinâmica comentados acima. Estudos detalhados sobre os processos erosivos dominantes na bacia do rio Bananal (COELHO NETTO et al., 1988; COELHO NETTO; FERNANDES, 1990; ROCHA-LEÃO et al., 2001, 2003; COELHO NETTO, 2003; LEAL et al., 2015, dentre outros) permitiram compreender e explicar essas altas taxas de erosão e deposição, a partir da expansão da rede de canais através dos vales de cabeceiras de drenagem por ação (primária) da água subterrânea ou seja, por excesso de poro-pressão nas faces de exfiltração (*seepage erosion*) dos fluxos d'água artesianos em fraturas tectônicas (subverticais) que orientam os eixos desses vales de cabeceiras, assim como dos vales principais. O crescimento retrogressivo dos canais erosivos (tipo voçoroca, como definido por TERZAGHI, 1943 e PICHLER, 1953) em direção à porção superior do vale e o consequente descalçamento das encostas mais íngremes à montante, propicia a ocorrência de deslizamentos (planares ou rotacionais) e o consequente recuo e rebaixamento dos divisores, como estudado em base geomorfológica-geotécnica por Fonseca *et al.* (2006, 2017).

Nessa primeira síntese do modelo evolutivo catastrófico da bacia do rio Bananal, Coelho Netto e colaboradores já chamavam a atenção para as limitações de sua extrapolação regional, diante das primeiras observações de campo na bacia do rio Turvo, afluente pela margem esquerda do rio Paraíba do Sul que desagua próximo a confluência do rio Bananal, sugerindo possíveis variações espaciais na dinâmica evolutiva da região do médio vale do rio Paraíba do Sul, apesar das semelhanças nas condições climáticas e no uso histórico da terra. Diferentes feições morfológicas dos vales de cabeceiras, incluindo uma rarefação dos canais incisivos do tipo voçorocas, assim como a escassez de depósitos de encostas e fluviais, sugeriam uma variação espacial na operacionalidade interna dos processos geomorfológicos, estimulando a expansão das investigações na bacia vizinha.

As pesquisas na bacia do rio Turvo iniciaram com levantamentos geomorfológicos e geológicos de forma mais sistemática, a partir dos trabalhos de Xavier e Coelho Netto (2008). Esses autores observaram uma grande quantidade de depressões fechadas em vários divisores de drenagem da bacia. As depressões fechadas são similares às dolinas típicas de áreas cársticas, sendo assim consideradas feições geradas por denudação química. Morfologias típicas da denudação química são mais expressivas na paisagem geomorfológica da vertente Mantiqueira do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul (UAGODA et al, 2009, 2010). Xavier (2011) e Xavier e Coelho Netto (2014) apresentaram um amplo mapeamento geomorfológico realizado na bacia do rio Turvo, onde foi observado que as depressões fechadas em divisores de drenagem são formas típicas da bacia, contrastando com a baixa densidade de voçorocas e a presença de delgados pacotes de sedimentos.

Na vertente da Serra do Mar, margem direita do rio Paraíba do Sul, Castro e Coelho Netto (2002) e Coelho Netto (2003) apontaram a existência de apenas 1 depressão fechada na bacia do rio Bananal. A autora sugere que as depressões fechadas seriam *proto-vales* que poderiam evoluir para concavidades suspensas e posteriormente tornar-se topograficamente ajustadas aos fundos de vales adjacentes. Desta maneira, a restrição de depressões fechadas na bacia do rio Bananal, aliada às ocorrências significativas de concavidades estruturais, seria um indício de estágio mais avançado da evolução geomorfológica, além da ocorrência de rebaixamento de divisores e coalescência de vales em cabeceiras de drenagem. Diante dessa evidente variabilidade morfológica e dos seus respectivos processos geradores, o presente trabalho tem como objetivo investigar a evolução geomorfológica recente da bacia do rio Turvo. Para tanto, aplicou-se parte da metodologia utilizada nas pesquisas conduzidas anteriormente na bacia do rio Bananal, com intuito de facilitar a comparação entre as duas bacias em foco.

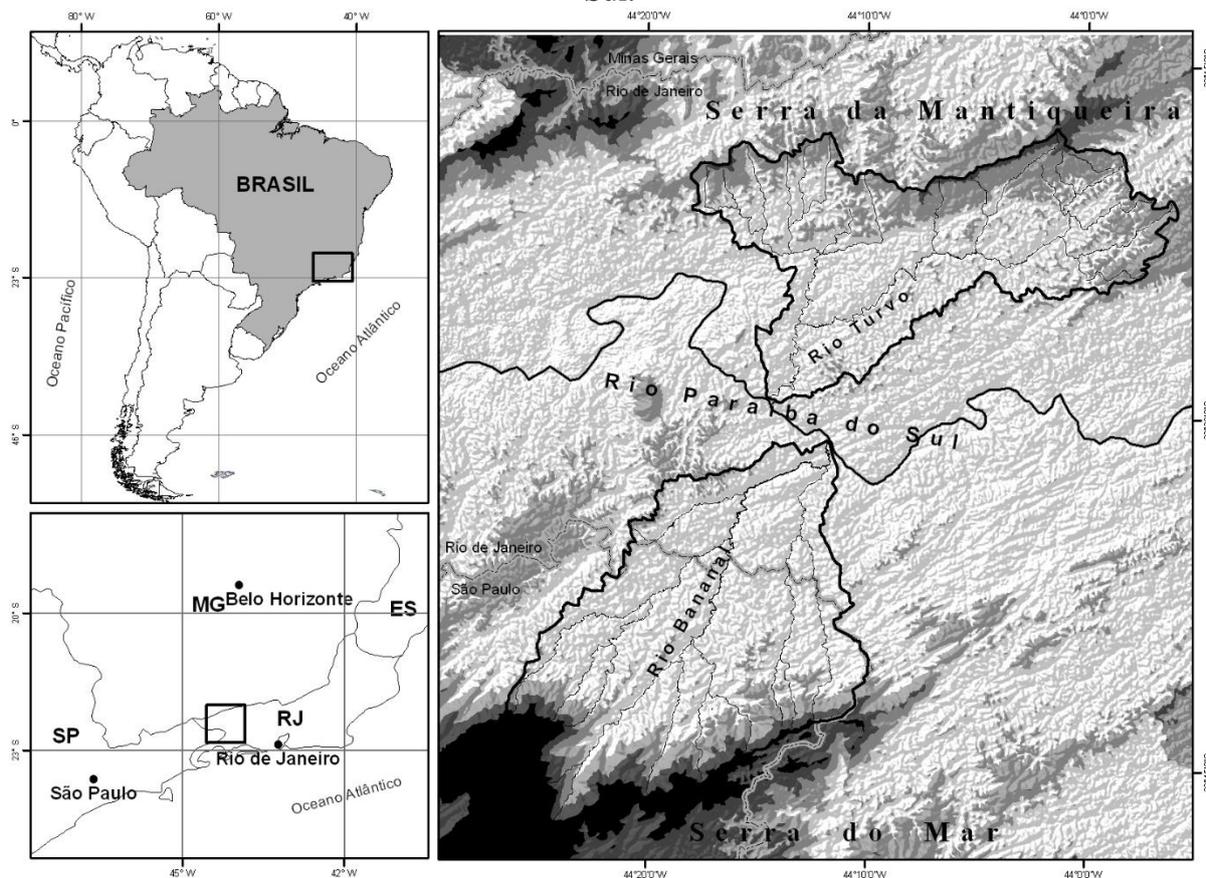
ÁREA DE ESTUDO

Médio Vale do Rio Paraíba do Sul

A paisagem regional apresenta duas unidades fisiográficas principais: 1) as cadeias montanhosas formadas em paralelo à zona costeira, incluindo a Serra do Mar e a Serra da Mantiqueira e, 2) as colinas rebaixadas, convexo-côncavas e fundos de vale largos e suavemente inclinados (figura 1). Estas unidades estão inseridas na porção central da Faixa Móvel Ribeira, posicionada ao sul do cráton do São Francisco. Correspondem a quatro compartimentos tectônicos com direcionamento NE-SW: um autóctone e três alóctones (Baixo, Médio e Superior). De acordo com Heilbron (1995), os eventos tectônicos principais incluem um evento compressivo/dúctil associado à orogênese brasileira (Neoproterozóica-Câmbrica/Ordovicianiana) que foi responsável pela formação da faixa móvel, e dois outros de caráter extensivo/rúptil são relacionados à abertura da margem passiva Atlântica (iniciada no Jurássico) e ao rifteamento continental de idades Neocretácea e Paleogênica.

4

Figura 1 - Localização do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul, Região Sudeste do Brasil. Destaque para as bacias dos rios Turvo, que drena a Serra da Mantiqueira no lado esquerdo do Rio Paraíba do Sul, e Bananal, que drena a Serra do Mar no lado direito do Rio Paraíba do Sul.



Fonte: Xavier, 2011.

Os compartimentos tectônicos pré-cambrianos são compostos por três grupos litológicos (HEILBRON, *op cit*): o embasamento pré-1,8 G.a.; as rochas supra-crustais e as colisionais pós-1,8 G.a. e as rochas granitóides pós-tectônicas do Ciclo Brasileiro. O segundo grupo foi formado durante a principal fase de deformação, sendo limitadas por zonas de

cisalhamentos inversas e dobramentos associados. A principal estrutura regional herdada destes tempos antigos é a megassinforma do Paraíba do Sul.

A tectônica Cretácea-Paleogênica é responsável pelo sistema de rifts do SE do Brasil, sendo caracterizada por uma série de falhas sub-verticais e rúpteis. Falhas normais de strike ENE e mergulho para SE constituem o limite norte das bacias sedimentares Cenozóicas (as bacias de Resende e Volta Redonda). Outras falhas são principalmente transcorrentes, com *strike* NW-NNW. A zona transtensional de Volta Redonda, com strike NW-SE, é a feição regional relacionada a estes eventos. Estes eventos originaram também dois principais sets de fraturas subverticais de strike NE-SW e SW-SE.

Falhas normais tanto promoveram soerguimento e subsidência diferenciais, quanto a exumação dos blocos crustais. Desde então, o relevo renovado e suas lito-estruturas subjacentes têm influenciado a evolução dos sistemas de drenagem regional. O médio curso do rio Paraíba do Sul corre preferencialmente ao longo do graben de uma falha normal principal (ENE), desviando-se para NW-SE entre Floriano e Barra Mansa onde corre ao longo da zona transtensional de Volta Redonda. A bacia do rio Turvo drena para sudoeste em direção à zona transtensional de Volta Redonda.

A bacia do rio Turvo possui uma área de cerca de 410 km² e apresenta dois compartimentos geomorfológicos distintos (figura 2). O compartimento colinoso predomina na maior parte da bacia, situado entre 400 e 600 metros de altitude. Predominam formas convexo-côncavas bastante afeições e fundos de vales largos. O segundo compartimento é marcante na porção nordeste da bacia, caracterizado por uma escarpa de falha com desnivelamento de até 700 metros, segundo a metodologia de compartimentação do relevo aplicada na bacia do rio Bananal, esse compartimento seria classificado como pré-montanhoso, com desnivelamentos entre 400 e 700 metros. A rede de drenagem é fortemente influenciada pelas estruturas geológicas onde, de forma geral, o rio Turvo drena seguindo a orientação das camadas geológicas principais, sentido SW-NE, paralelo à escarpa de falha, e o rio Pedras, tributário do rio Turvo, drena encaixado nos lineamentos estruturais sentido norte-sul (Xavier; Coelho Netto, 2008).

A geologia da bacia do rio Turvo apresenta uma extensa área dominada pela Unidade Suite Rio Turvo, composta por granada biotita granito porfiróide foliado. O granitóide Turvo é circundado por rochas da Megassequência Andrelândia: biotita gnaisse bandado com intercalações de silimanita-granada-biotita gnaisse, anfíbolitos e rochas calcissilicáticas. Há também ocorrência local de rochas quartzíticas, principalmente na faixa de ocorrência da escarpa de falha. Os quartzitos que se encontram na porção nordeste da bacia do rio Turvo contribuem fortemente para a manutenção da escarpa de falha nesta porção da bacia, dificultando a ocorrência dos processos erosivos. De acordo com Salgado e Valadão (2003) a maior resistência dos quartzitos dificulta a própria erosão mecânica através da menor produção de material friável. Na porção leste da bacia é observada a presença do Complexo Juiz de Fora, com ortogranulitos bandados.

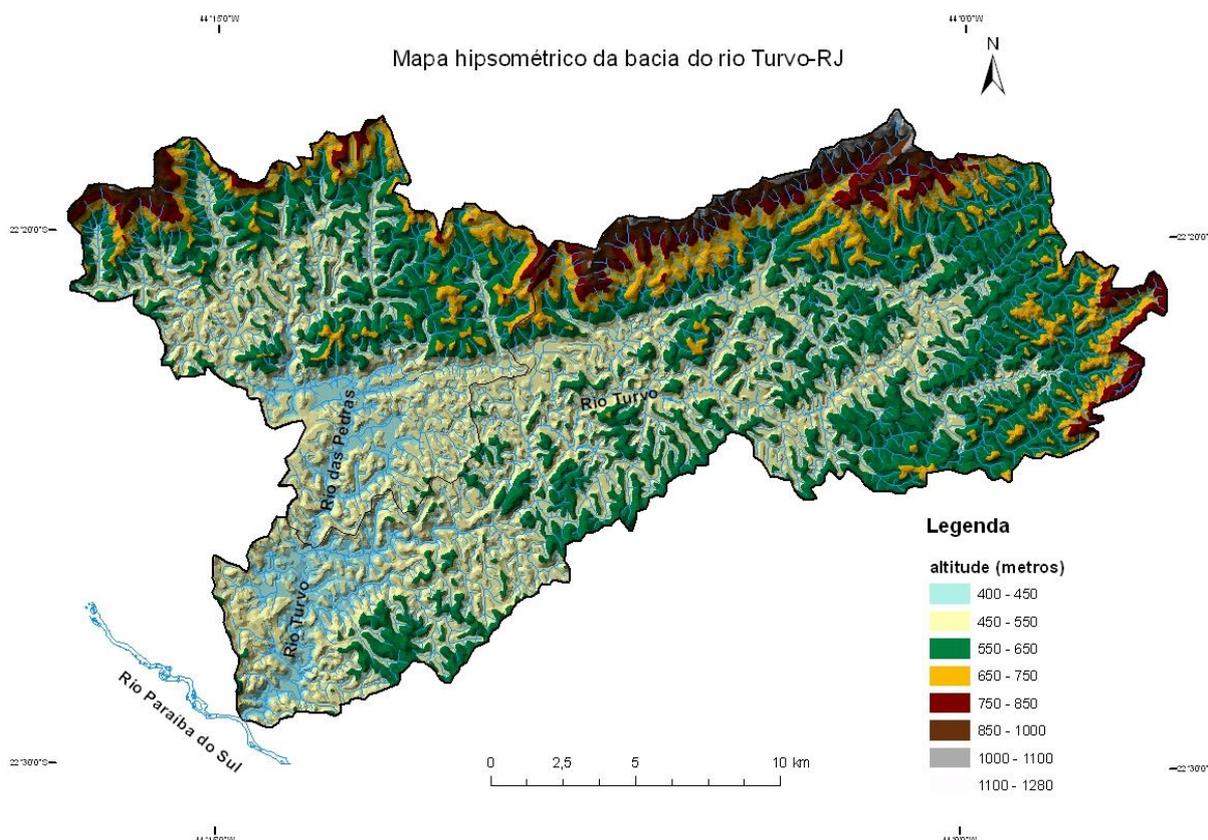
As estruturas geológicas parecem influenciar de forma significativa no desenvolvimento do relevo da bacia do rio Turvo. A homogeneidade do substrato geológico e a forte presença de lineamentos estruturais sentido norte-sul, contribuíram sobremaneira para o recuo da escarpa de falha pela rede de drenagem do rio Pedras.

A bacia do rio Turvo está inserida no clima tropical úmido. A precipitação média é de 1344 mm, no baixo curso (Glicério), 1552 mm no médio curso (Nossa Senhora do Amparo) e 1804 no alto curso (Ribeirão de São Joaquim).

METODOLOGIA

Com base no mapa geomorfológico da bacia do rio Turvo (Xavier, 2011), foram selecionados terraços fluviais representativos de toda a bacia para levantamentos sistemáticos. No total foram realizados 2 perfis em terraços fluviais na sub-bacia do rio do Ramalho, 1 perfil em terraço fluvial na sub-bacia do rio Cachimbal, 5 perfis distribuídos na sub-bacia do rio Pedras, sendo 3 terraços fluviais (rio Marimbondo, rio Ermo e córrego da Valéria) e 2 planícies de inundação (córrego Barro Amarelo e rio das Pedras), e 1 perfil na planície de inundação do rio Turvo, próximo ao deságüe no rio Paraíba do Sul.

Figura 2 - Mapa hipsométrico da bacia do rio Turvo-RJ, na escala 1:100.000.



Fonte: Xavier, 2011.

Nos depósitos fluviais, foram descritos 9 perfis estratigráficos em diferentes pontos da bacia do rio Turvo. Desse total, foram coletadas 15 amostras de carvão para datação por Carbono 14 pelo método acelerado (AMS), com o intuito de identificar os períodos de instabilidade morfodinâmica já identificados na bacia do rio Bananal (Dietrich et al., 1991; Coelho Netto et al., 1994; Coelho Netto, 1999). Essas análises foram feitas na Australian National University (ANU), em parceria com os professores Keith Fifild e Brad Pilans.

VOLUMETRIA DOS DEPÓSITOS FLUVIAIS E TAXA DE SEDIMENTAÇÃO (TS)

Para comparar o impacto dos dois ciclos erosivos-deposicionais na bacia do rio Turvo e comparar com a bacia do rio Bananal, foram calculadas a volumetria dos depósitos fluviais e a Taxa de Sedimentação, descrito por Dantas (1995). O volume dos depósitos retidos nos fundos de vale foi obtido por meio de mensurações de campo sobre a espessura do pacote sedimentar, utilizando um barômetro-altímetro de precisão (model AIR/HB – 1A, com 10 cm de precisão) e, por meio de aero-fotogrametria, utilizando-se fotografias aéreas (escala

1:30.000) e cartas topográficas (1:25.000 e 1:50.000), com o objetivo de calcular a área ocupada pelo depósito sedimentar. A partir do produto entre a espessura e a área do depósito, obtém-se um volume estimado de sedimentos estocados em uma sub-bacia. Entretanto, como as encostas se prolongam para dentro dos depósitos, esses valores iniciais estão superestimados e, por isso, Dantas (1995) criou o Índice de Sedimentação de Vales (ISV) (figura 3), com o intuito de calibrar esses valores, onde:

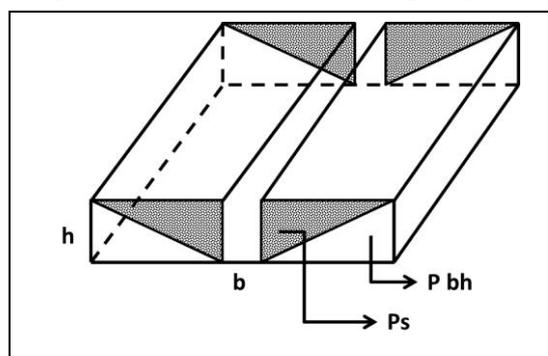
$$ISV = \frac{Ps}{P.b.h}$$

Onde:

Ps = área do perfil real do pacote sedimentar;

P b.h = área do perfil geométrico de um retângulo formado pelo produto da espessura pela área do depósito.

Figura 3 - Desenho esquemático mostrando a composição do ISV, Dantas (1995).



Para o estabelecimento do perfil real foram confeccionados perfis topográficos em escala 1:25.000 com intervalos constantes de 1 km ao longo dos rios principais, com destaque para as áreas com maior ocorrência de depósitos fluviais.

A partir da volumetria dos depósitos estimada para toda a bacia do rio Turvo foi realizado o cálculo da Taxa de Sedimentação, associada aos dois ciclos de instabilidade morfodinâmica identificados na região por Coelho Netto et al (1994). Para uma análise comparativa a bacia do rio Turvo foi também avaliada em detalhe através de 3 sub-bacias que apresentaram os mais espessos terraços fluviais, são elas: sub-bacia do rio das Pedras, sub-bacia do rio Cachimbal e sub-bacia do rio do Ramalho.

Dantas (1995) definiu a seguinte fórmula para o calcula da Taxa de Sedimentação (Ts):

$$Ts = D . h . t^{-1} \text{ (m}^3\text{/ano), onde:}$$

Ts = Taxa de sedimentação

D = área do depósito

h = espessura do depósito

t = duração do evento erosivo-deposicional

Para análise comparativa entre diferentes segmentos da bacia do rio Turvo foi adicionado à fórmula o parâmetro comprimento do canal principal, assim:

$$Ts = D . h . C(\text{km}^{-1}).t^{-1} \text{ (m}^3\text{/km/ano), onde:}$$

C = comprimento do canal.

RESULTADOS

Perfis estratigráficos e geocronologia

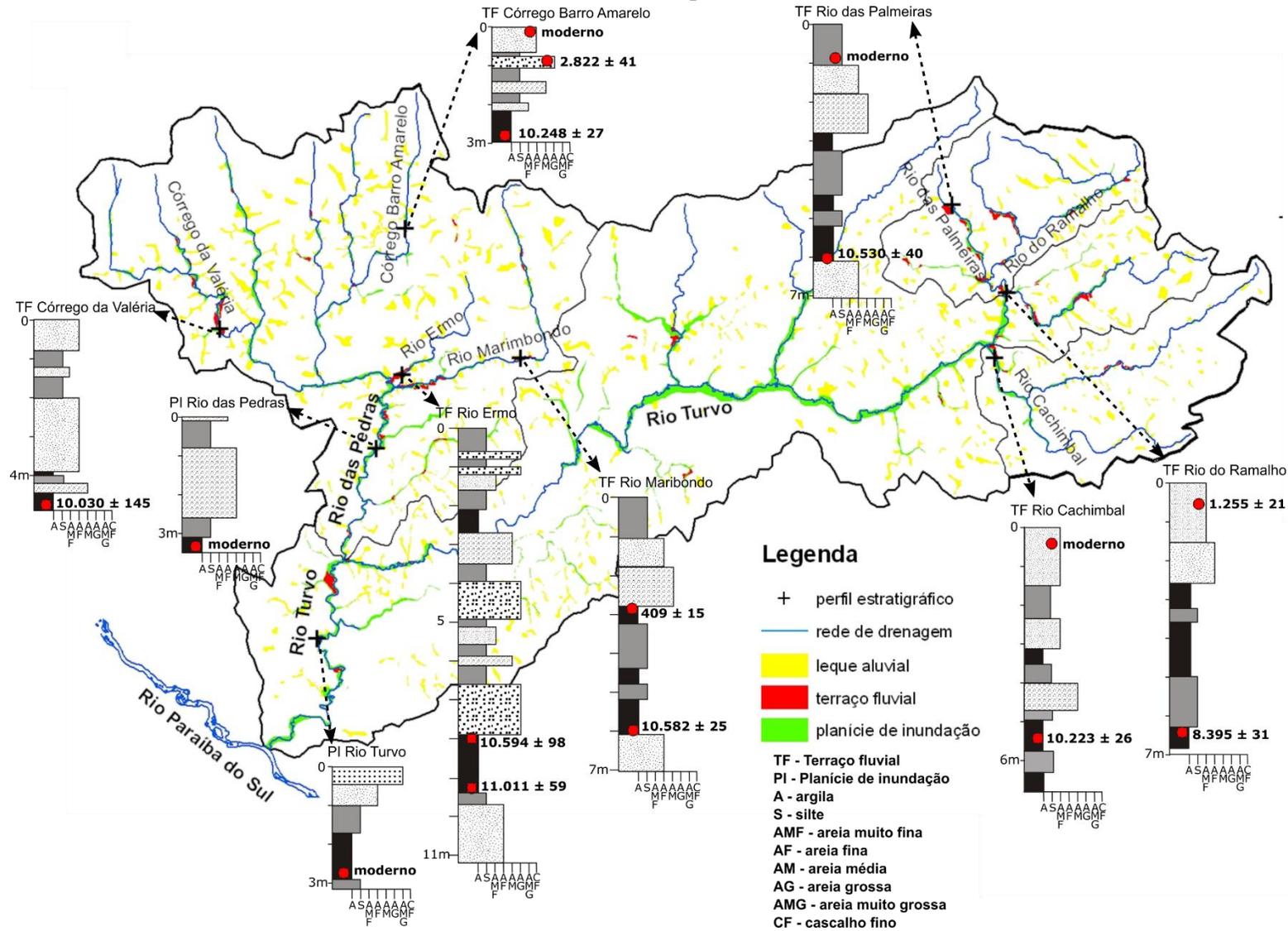
A figura 4 mostra a localização dos perfis estratigráficos na bacia do rio Turvo e respectivas datações por carbono 14. Os resultados de datação por radiocarbono 14 mostraram, com bastante consistência, o período de instabilidade morfodinâmica identificado por Coelho Netto et al. (1991), durante a transição pleistoceno-holoceno (10.000-8.000 anos AP) para a bacia do rio Bananal. A idade dos terraços fluviais ficou entre 11011 e 8395 anos (tabela 1). A Idade média encontrada na base dos terraços fluviais foi de 10245 anos AP com um desvio padrão de 835 anos e um coeficiente de variação de 8%.

Tabela 1 - Datação dos depósitos fluviais na bacia do rio Turvo.

	Sub-bacia	Feição geomorfológica	Espessura (metros)	Profundidade da amostra (metros)	Idade em anos (BP)
Bacia do rio Turvo	Ribeirão do Ramalho	Terraço fluvial	7,0	0,5	1255 ± 21
	Rio das Palmeiras	Terraço fluvial	5,2	6,5	8395 ± 31
	Rio Cachimbal	Terraço fluvial	6,3	0,9	Moderno
				5,0	10530 ± 40
	Rio Turvo	Planície de inundação	3,15	0,5	Moderno
				2,9	10223 ± 26
Sub-bacia do rio Pedras	Córrego da Valéria	Terraço fluvial	4,9	4,8	10030 ± 145
	Córrego Barro Amarelo	Terraço fluvial	3,1	0,3	Moderno
				0,9	2822 ± 41
	Rio Ermo	Terraço fluvial	10,5	2,9	10248 ± 27
				8,0	10594 ± 98
	Rio Marimbondo	Terraço fluvial	7,0	9,5	11011 ± 59
2,8				409 ± 15	
Rio Pedras	Planície de inundação	3,4	6,6	10582 ± 25	

Apesar de os terraços fluviais serem bem menos espessos dos que foram encontrados na bacia do rio Bananal, o comportamento sincronizado na escala da bacia do ciclo agradacional da transição Pleistoceno-Holoceno foi observado, pois todos os terraços datados apresentaram idades dentro desse período.

Figura 4 - Localização dos perfis estratigráficos ao longo da bacia do rio Turvo, com respectivas datações absolutas. Destaque para os tributários com maior ocorrência de depósitos fluviais.



VOLUMETRIA DOS DEPÓSITOS E TAXA DE SEDIMENTAÇÃO

De acordo com o cálculo da volumetria dos depósitos, os volumes de sedimentos remanescentes do período que marcou a transição Pleistoceno-Holoceno registraram aproximadamente 6.488.176 m³, representando parte do material que foi erodido nas encostas durante este evento erosivo-deposicional (tabela 4). Esse volume de sedimentos distribuídos ao longo do tempo de duração máxima desse evento, que foi de 2.000 anos, revela uma taxa de sedimentação de 3.244 m³/ano para toda a área da bacia do rio Turvo (411,5 km²).

Essa taxa de sedimentação encontrada na bacia do rio Turvo é baixa quando comparada com as taxas observadas por Dantas (1995) na bacia do rio Piracema, tributária do rio Bananal. Segundo o autor a bacia do rio Piracema teve uma taxa de sedimentação da ordem de 38.500 m³/ano referente ao período de transição Pleistoceno-Holoceno. Desta maneira, a taxa de sedimentação observada na bacia do rio Turvo foi de apenas 8% da registrada na bacia do rio Piracema.

Entretanto, vale ressaltar que as taxas de sedimentação não são uniformes em toda a bacia do rio Turvo. Foram também calculados os volumes e as taxas de sedimentação para 3 sub-bacias do rio Turvo: bacia do rio Pedras, bacia do rio Ramalho e bacia do rio Cachimbal. A escolha dessas sub-bacias deveu-se ao fato de estas concentrarem os depósitos referentes ao período Pleistoceno-Holoceno. Do total do volume de sedimentos encontrados na bacia do rio Turvo, 63,5% foram observados na sub-bacia do rio Pedras com uma taxa de sedimentação de aproximadamente 2.240 m³/ano. As sub-bacias dos rios Ramalho e Cachimbal apresentaram taxas de sedimentação de 572 m³ e 186 m³/ano, respectivamente (tabela 2).

Tabela 2 - Mensurações dos depósitos fluviais correspondentes ao ciclo Pleistoceno-Holoceno.

Bacia de drenagem	A (km ²)	D (m ²)	E (m)	V (m ³)	C (km)	Ts (m ³ /km/ano)	ISV (fator de correção)
Rio Cachimbal	34,3	75.725	6,3	372.112	13,13	14	0,78
Rio das Palmeiras	4,3	121.668	5,5	521.955	4,6	56	0,78
Rio do Ramalho	29,8	287.401	5,1	1.143.281	12,16	47	0,78
Rio das Pedras (Terraços)	132,4	457.541	7,8	2.819.368	26,75	53	0,79
Rio das Pedras (Planícies)	132,4	572.821	2,9	1.661.182	26,75	31	-
Rio das Pedras (Terraços e planícies)	132,4	1.030.362	4,3	4.480.549	26,75	84	-
Rio Ermo	6,2	75.979	11,1	666.259	5,7	58	0,79
Rio Marimbondo	18,9	118.741	6,1	527.213	11,9	24	0,79
Rio Turvo	411,5	1.831.783	4,6	6.488.176	58,62	55	0,77

A (Km²) = área da bacia de drenagem
 D (m²) = área ocupada pelo depósito
 E (m) = espessura média do depósito
 V (m³) = volume de sedimentos do depósito
 C (Km) = comprimento do canal principal
 Ts (m³/km/ano) = taxa de sedimentação
 ISV = índice de sedimentação do vale

Para facilitar a comparação entre bacias foi relacionado à taxa de sedimentação o comprimento do canal principal (km). Nesta relação a bacia do rio Pedras também apresentou o maior índice, com uma taxa de sedimentação de aproximadamente 84 m³/km/ano, enquanto as sub-bacias dos rios Ramalho e Cachimbal apresentaram taxas de sedimentação de 47 m³/km/ano e 14 m³/km/ano, respectivamente (Tabela 2).

As sub-bacias dos rios Ermo e Palmeiras encontram-se suspensas em relação ao rio adjacente de hierarquia superior, sustentadas por níveis de base locais, possuindo, assim, as

maiores estocagens de sedimentos das menores sub-bacias. Desta maneira, acreditamos que estas sub-bacias apresentam as maiores retenções dos sedimentos produzidos no ciclo erosivo-deposicional da transição Pleistoceno-Holoceno. Todavia, essas sub-bacias apresentaram taxas de sedimentação bem inferiores a da menor taxa de sedimentação encontrada por Dantas (1995) e Dantas e Coelho Netto (1996) nas sub-bacias do rio Piracema.

O volume de sedimentos estocados nas planícies de inundação da bacia do rio Pedras totalizou um montante de quase 9.700.000 m³ o que indica taxas de sedimentação para o período do ciclo cafeeiro de 97.000 m³/ano. Esses valores encontrados na bacia do rio Pedras são muito próximos dos volumes apresentados por Dantas (1995) e Dantas e Coelho Netto (1996) para a bacia do rio Piracema, indicando magnitudes semelhantes dos processos erosivos-deposicionais (Tabela 3). Os cálculos da taxa de sedimentação incluindo o comprimento do canal principal (km) também apresentaram resultados semelhantes, pois, as bacias possuem áreas e comprimentos dos rios principais parecidos.

Tabela 3 - Mensurações dos depósitos fluviais correspondentes ao ciclo do café.

Bacia de drenagem	A (km ²)	D (m ²)	E (m)	V (m ³)	C (km)	Ts (m ³ /km/ano)
Rio das Pedras	132,4	3.877.627	2,5	9.694.067	26,7	3.624
Rio Piracema*	130,6	3.470.000	2,8	9.716.000	26,0	3.737

A (Km²) = área da bacia de drenagem

D (m²) = área ocupada pelo depósito

E (m) = espessura média do depósito

V(m³) = volume de sedimentos do depósito

C (Km) = comprimento do canal principal

Ts (m³/km/ano) = taxa de sedimentação

Dantas (1995) e Dantas e Coelho Netto (1996) afirmaram que na bacia do rio Bananal a magnitude do evento erosivo-deposicional relacionado a transição Pleistoceno-Holoceno, através do volume dos depósitos encontrados, foi muito superior à registrada durante o ciclo cafeeiro, contudo, este último caracterizou-se por maior intensidade dos processos erosivos, demonstrados através da taxa de sedimentação. Segundo os autores, a taxa de sedimentação referente ao ciclo cafeeiro foi 2,5 vezes maior que a do ciclo Pleistoceno-Holoceno.

Ao comparar esse comportamento da bacia do rio Piracema com o da bacia do rio Pedras, verificamos que, enquanto a taxa de sedimentação referente ao ciclo cafeeiro foi praticamente a mesma, a taxa de sedimentação produzida durante o ciclo da transição Pleistoceno-Holoceno representou apenas 6% da ocorrida na bacia do rio Piracema. Destaca-se, ainda, que a sub-bacia do rio Pedras apresentou a maior taxa de sedimentação de toda a bacia do rio Turvo.

Sobre essa característica da bacia do rio Pedras vale destacar: 1) a bacia do rio Pedras apresentou planícies de inundação com idade referente à transição Pleistoceno-Holoceno, ou seja, são antigos terraços formados nesse episódio de instabilidade que foram erodidos e hoje funcionam novamente como planície de inundação. Assim, o rio Pedras apresentou menor estocagem de sedimentos que a bacia do rio Piracema em função de sua maior capacidade de transporte e menor número de bacias suspensas por knickpoints; 2) Apesar de ser evidente que parte dos sedimentos produzidos não ficaram estocados, os resultados das taxas de sedimentação de algumas sub-bacias tributárias do rio Pedras, que mostraram as maiores retenções de sedimentos, como a do rio Ermo, - com terraço fluvial de 11 metros de espessura - apresentaram baixa magnitude e intensidade quando comparadas com a bacia do rio Piracema, esta característica revela que de fato a atividade erosiva foi menor na bacia do rio Turvo.

Em relação aos processos que regularam a evolução recente na bacia do rio Bananal, Coelho Netto (1999) destaca a grande efetividade mecânica através da *seepage erosion* alimentada por fluxos artesianos em fraturas sub-verticais e, também, por fluxo subsuperficial

muito frequente sob o domínio das pastagens que se instalaram após o declínio do café na região. A bacia do rio Turvo possui gradiente hidráulico menor que o da bacia do rio Bananal, onde esta última tem como grande área de recarga o Planalto da Bocaina, sendo bem mais eficiente na exfiltração de água subterrânea na zona de colinas. A principal feição erosiva resultante desse processo de exfiltração é a voçoroca, que o mapeamento mostrou baixa densidade na bacia do rio Turvo e na sub-bacia do rio das Pedras, sendo 0,08 voçorocas/km² e 0,16 voçorocas/km² respectivamente. Por outro lado, Cambra (1999) encontrou cerca de 1 voçoroca/km² na bacia do rio Piracema. Portanto, a *seepage erosion* é menos comum na bacia do rio Turvo, onde, por outro lado, predominam processos erosivos superficiais (*splash erosion e sheet-whash erosion*). Coelho Netto *et al* (2009), avaliando a variabilidade espacial dos processos de denudação química e física no Médio Vale do rio Paraíba do Sul, afirmaram que a predominância de tais processos estariam associados as estruturas do substrato geológico em conjunção com parâmetros geomorfológicos de escala regional, como o gradiente da bacia.

CONCLUSÕES

Os dois ciclos de instabilidade morfodinâmica recente que ocorreram na região do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul foram também observados na bacia do rio Turvo.

A magnitude do evento erosivo-deposicional relacionado a transição Pleistoceno-Holoceno foi bem inferior a registrada na bacia do rio Bananal por Dantas (1995) e Dantas e Coelho Netto (1995). A este fato atribui-se a menor efetividade de processos erosivos subsuperficiais, como a *seepage erosion* e, também, pela menor capacidade de estocagem de sedimentos.

O ciclo erosivo-deposicional associado à atividade cafeeira na região produziu volumes de sedimentos semelhantes entre as bacias do rio das Pedras e do rio Piracema. Este comportamento pode ser explicado pelo fato de que neste evento os processos erosivos superficiais (*splash erosion e sheet-whash erosion*) foram predominantes sobre os subsuperficiais (*seepage erosion*), como destacam Dantas e Coelho Netto (1995).

De modo geral a bacia do rio Turvo apresentou menos evidências da ocorrência de trabalho mecânico, como pode-se constatar através das baixas taxas de sedimentação. Entretanto, as taxas de sedimentação não foram uniformes na bacia, pois a bacia do rio das Pedras, e alguns de seus tributários, tiveram as mais altas taxas de sedimentação dentro da bacia do rio Turvo.

Em última análise, na bacia do rio Turvo prevalecem os processos de denudação química sobre os de denudação mecânica, com exceção da sub-bacia do rio das Pedras, onde o trabalho mecânico teria promovido a destruição de divisores e a própria abertura dessas depressões transformando-as em vales de cabeceira, como proposto por Coelho Netto (2003).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e a FAPERJ por terem financiado o desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMBRA, M. P. **Movimentos de água na porção superior de solos sob pastagem: o papel do sistema radicular.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geografia, UFRJ, 144p, 1999.

CASTRO, S. S. & COELHO NETTO, A. L.. **Evolução pedogenética de topo, na bacia do alto rio Fortaleza, região de Bananal (RJ/SP): resultados preliminares.** Anais do IV

Encontro Sobre Engenharia Geotécnica e Hidrologia no Sistema Encosta-Planície Costeira. Bananal, pp.181-192, 2002.

COELHO NETTO, A. L.; FERNANDES, N. F.; DEUS, C. E. de. **Gullying In The Southeastern Brazilian Plateau Bananal - SP.** In: Sediment Budgets, 1988, Porto Alegre - RS. Proceedings of the Porto Alegre Symposium, 1988. v. 174. p. 35-42.

COELHO NETTO, A. L. e FERNANDES, N. F. **Hillslope Erosion Sedimentation and Relief Inversions in Bananal - SP.** In: Research Needs and Applications to Reduce Erosion and Sedimentation in Tropical Steeplands, 1990, Suva. Proceedings of the Fiji Symposium on Research Needs and Applications to Reduce Erosion and Sedimentation in Tropical Steeplands, 1990. v. 192. p. 174-182.

COELHO NETTO, A. L.; FERNANDES, N. F.; DIETRICH, W.E.; MONTGOMERY, D.R. **Ciclos de Agradação e Degradação no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul. In: II Simpósio de Geologia do Sudeste**, 1991, São Paulo - SP. Anais do II Simpósio de Geologia do Sudeste, 1991.

COELHO NETTO, A.L.; FERNANDES, N.F.; DANTAS, M.E.; DIETRICH, W.E.; MONTGOMERY, D.R.; DAVIS, J.C.; PROCTOR, I.; VOGEL, J. & SOUTHIN, J. **14C MAS evidences of two Holocene erosion-sedimentation cycles in SE Brazil: stratigraphy and stratigraphy inversion.** 14th Intern. Sedimentary Congress, IAS-International Association of Sedimentologists, Recife, 28-30, 1994.

COELHO NETTO, A. L. Catastrophic landscape evolution in a humid region (SE Brasil): inheritances from tectonic, climatic and land use induced changes. **Supplementi di Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria**, Bologna, Itália. III (3):21-48, 1999.

COELHO NETTO, A. L.. Evolução de cabeceiras de drenagem no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul (SP/RJ): a formação e o crescimento da rede de canais sob controle estrutural. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Ano 4, N. 2, 118-167, 2003.

COELHO NETTO, A. L., AVELAR, A.S., UAGODA, R. & XAVIER, R. A. **Recent landscape evolution in SE-Brazil: spatial variability of chemical and physical denudation.** IAG/AGI, 7th International Conference on Gemorphology (ANZIAG), Melbourne, Australia, 6-11 julho. 2009.

DANTAS, M.E. **Controles naturais e antropogênicos da estocagem diferencial de sedimentos fluviais: bacia do rio Bananal (SP/RJ), Médio Vale do Rio Paraíba do Sul.** Dissertação de mestrado, IGEO/UFRJ, 142p., 1995.

DANTAS, M.E. & COELHO NETTO, A. L.. Impacto do ciclo cafeeiro na evolução da paisagem geomorfológica no médio vale do rio Paraíba do Sul. **Cadernos de Geociências**, Rio de Janeiro, v.1559, 76p., 1995.

DANTAS, M. E. & COELHO NETTO, A. L. **Resultantes Geo-Hidroecológicas do Ciclo Cafeeiro (1780-1880) no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul: uma Análise Quali-Quantitativa.** Anuário do Instituto de Geociências (Rio de Janeiro), Rio de Janeiro, v. 15, p. 61-78, 1996.

DIETRICH, W. E., MONTGOMERY, D., COELHO NETTO, A. L. & MOURA, J.R.S.. **Evidence for regional aggradation starting in the Early Holocene in southeastern Brazil and for degradation due to deforestation.** Am. Geoph. Union, Fall Meeting, San Francisco, USA/EOS, 70(43), 1124, 1991.

FONSECA, A. P.; NETTO, A. L. C. ; LACERDA, W. A. **Evolução de voçoroca e escorregamentos de terra em cabeceiras de drenagem na Concavidade Três Barras, Bananal, SP: um estudo na interface geomorfológica-geotécnica.** In: Simpósio Nacional

de Geomorfologia, 2006, Goiania. IV SINAGEO, 2006.

FONSECA, A. P.; BECKER, L. B. ; RODRIGUES, M. F. ; LACERDA, W. A. **Análise de um escorregamento ativado por erosão.** In: XII Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, 2017, Florianópolis. XII COBRAE, 2017.

HEILBRON, M. **O Segmento Central da Faixa Ribeira: síntese geológica e ensaio da evolução geotectônica.** Tese de Livre Docência. DGEL/UERJ. 110p., 1995.

LEAL, P. J. V. de ; COELHO NETTO, A. L.; AVELAR, A. de S. Desenvolvimento de redes de canais e pirataria de água subterrânea: bacia do rio do bananal (RJ/SP). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 16, p. 107-122, 2015.

LEDRU, M. P. Late quaternary environmental and climate changes in Central Brazil. **Quaternary Research**, 39, 90-98, 1993.

PICHLER, E. “Boçorocas”. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, vol. 2, n. 1, 3-16, 1953.

ROCHA-LEÃO, O.M.; MORAES SILVA, T.R.; LEAL, P., LACERDA, W.A. & COELHO NETTO, A.L. Relações entre propagação de voçorocamentos em cabeceiras de drenagem e movimentos de massa em divisores topográficos, Bananal, SP. **Anais, III COBRAE/ABMS-RJ:141-149**, 2001.

ROCHA-LEÃO, O.M.; LEAL, P.V. E COELHO NETTO, A.L. Condicionantes geo-hidroecológicos de voçorocamentos em cabeceiras de drenagem, Bananal-SP; X Simp. Brás. de Geografia Física Aplicada, Rio de Janeiro, 2003.

SALGADO, A. A. R. E VALADÃO, R. C.. Contribuição da Desnudação Geoquímica na Evolução da Erosão Diferencial no Espinhaço Meridional – MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Ano 4, Nº 2, 31-40, 2003.

TERZAGHI, K. Theoretical soil mechanics. John Wiley e Sons, New York, 1943.

UAGODA, R.; COELHO NETTO, A.L. & AVELAR, A.S. Morfologia de depressões fechadas em relevo cárstico-quartzítico da bacia do Ribeirão Santana/MG: datações absolutas iniciais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. 10:91-98, 2009

UAGODA, R.; AVELAR, A. S. & COELHO NETTO, A. L. Karstic morphology control in non-carbonate rocks: Santana basin, middle Paraíba do Sul river valley, Brazil. **Zeitschrift für Geomorphologie**, vol. 54, 1-13, 2010.

XAVIER, R. A. E COELHO NETTO, A. L. 2008. Ocorrência de depressões fechadas em divisores de drenagem no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul. Geografias: **Revista do Depto. De Geografia** / Programa de Pós-graduação em Geografia, UFMG, vol. 4, n. 2 (jul/dez), 61-68, 2008.

XAVIER, R. A. **Evolução geomorfológica recente da bacia do Rio Turvo, Médio Vale do Rio Paraíba do Sul (RJ).** Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 208 p., 2011.

XAVIER, R. A. E COELHO NETTO, A. L. Caracterização geomorfológica da bacia do Rio Turvo-RJ: Médio Vale do Rio Paraíba Do Sul (MVPRS). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.15, n.1, (Jan-Mar) p.35-45, 2014.