

Fatores condicionantes da produção e escoamento de sedimentos na bacia do Rio Maracujá – Quadrilátero Ferrífero/MG

Luiz Fernando de Paula Barros
(IGC/UFMG; Mestrando em Geografia e Análise Ambiental)

Antônio Pereira Magalhães Júnior
(IGC/UFMG; Doutor em Desenvolvimento Sustentável pela UnB)

Aline Almeida Raposo
(IGC/UFMG; Graduada em Geografia)

Resumo

O presente trabalho objetiva levantar e analisar condicionantes naturais e antrópicos na produção e escoamento de sedimentos na bacia do Rio Maracujá. Para isso, foram mapeados segmentos assoreados e amostradas taxas de turbidez do Rio Maracujá e de alguns de seus afluentes. As informações obtidas foram relacionadas com dados morfométricos, de usos e de coberturas do solo da bacia. A fim de se observar efeitos da sazonalidade foram feitas três campanhas de amostragem de água para análise da turbidez, a qual foi definida por um turbidímetro. As atividades de mapeamento e processamento de dados para a obtenção dos parâmetros morfométricos foram realizadas no software ArcGIS 9.2, tendo sido utilizadas uma imagem Ikonos e bases topográficas e hidrográficas digitalizadas de cartas do IBGE em escala de 1:50.000. Os resultados revelam um forte controle litoestrutural na produção e escoamento de sedimentos. Os maiores valores de turbidez foram encontrados nos afluentes a montante de um degrau no relevo na área do Embasamento Cristalino, onde também foram encontrados os principais segmentos assoreados e a maior concentração de voçorocamentos ativos. No entanto, no alto Maracujá o intenso assoreamento verificado se dá, sobretudo, em razão das atividades de garimpo e mineração de topázio imperial.

Palavras-chave: Turbidez; Geomorfologia Fluvial; Quadrilátero Ferrífero; Rio Maracujá.

Abstract:

This paper aims to raise and examine natural and anthropogenic factors affecting the production and disposal of sediments in the basin of the Maracujá River. For that purpose, fluvial segments of high sedimentation were mapped and water samples were collected at the Maracujá River and at some of its tributaries to the definition of turbidity. The information obtained was compared with morphometric data and within the use of land cover from the basin. In order to observe effects of seasonality, three water sampling analysis of turbidity were made by the use of a turbidimeter. Aiming to obtain morphometric parameters, mapping and data processing were performed in ArcGIS 9.2; also Ikonos image databases and digital topographic and hydrographic charts of the IBGE in a scale of 1:50.000 were used. The results show a strong geological control on the production and disposal of sediments. The highest turbidity values were found in the upstream tributaries in the area of the crystalline basement. In this area, the main silted up fluvial segments and the highest concentration of active gullies were also found. However, the intense sedimentation verified at the Upper Maracujá River is related to the imperial topaz stone prospecting and mining activities.

Key-words: 1. Turbidity; Fluvial Geomorphology; Quadrilátero Ferrífero; Maracujá River.

Recebido 05/2010
Aprovado 07/2010

Os autores agradecem à FAPEMIG e ao CNPq por concessão de bolsas e pelo financiamento do projeto de pesquisa, ao grupo de pesquisa Geomorfologia e Recursos Hídricos (IGC/UFMG) e ao Laboratório de Geomorfologia do IGC/UFMG.

luizfpbarros@yahoo.com.br
magalhaesufmg@yahoo.com.br
alineraposo13@yahoo.com.br

Introdução

O Rio Maracujá configura uma bacia de quinta ordem, afluente de margem esquerda do alto Rio das Velhas, tendo sido sua relevância no fornecimento sedimentar para este rio apontada em trabalhos como Raposo *et al.* (2009) e Santos & Magalhães Júnior (2009). A bacia do alto Rio das Velhas é delimitada pelas bordas serranas do Quadrilátero Ferrífero, domínio geológico rico em evidências geomorfológicas de controle estrutural, erosão diferencial e superfícies de erosão (VARAJÃO, 1991; SALGADO, 2006). A hidrografia regional apresenta evidências de um forte condicionamento litoestrutural, como cortes epigênicos, segmentos muito retilíneos e encaixados e mudanças bruscas de direção. Diversos trabalhos discutem ainda os efeitos de perturbações tectônicas cenozóicas no Quadrilátero Ferrífero, dentre os quais se destacam Magalhães Júnior & Saadi (1994), Lipski (2002), Santos *et al.* (2008), entre outros.

O presente trabalho tem por objetivo levantar e analisar condicionantes naturais e antrópicos na produção e escoamento de sedimentos na bacia do Rio Maracujá. Para isso, foi feito um mapeamento de segmentos assoreados e um acompanhamento de taxas de turbidez do Rio Maracujá e de alguns de seus afluentes. As informações obtidas foram relacionadas com dados morfométricos, de usos e de coberturas do solo da bacia.

A turbidez é uma medida da dificuldade da luz atravessar uma coluna de água. Trata-se de um parâmetro de qualidade das águas muito útil em análises hidrossedimentológicas, pois pode ser considerada uma medida direta da quantidade de sólidos em suspensão, os quais dificultam a passagem da luz, conferindo à água aparência turva. Estes sólidos podem ser de origem natural (argila, silte, algas e outros microorganismos) ou antrópica (efluentes domésticos, efluentes industriais e erosão acelerada). O estudo de taxas de turbidez associado a recursos geotecnológicos – como um Sistema de Informação Geográfica (SIG) – também tem se mostrado eficiente para a análise do uso e ocupação do solo e sua relação com a qualidade das águas, a exemplo de Santos & Maillard (2005), Lopes *et al.* (2007) e Neves *et al.* (2009).

Por outro lado, a aplicação de parâmetros morfométricos e de índices geomorfológicos tem por objetivo caracterizar os aspectos geométricos e de configuração das bacias hidrográficas e da rede de drenagem, estabelecendo indicadores relacionados à forma, ao arranjo estrutural e à composição integrativa entre os elementos (CHEREM, 2008). Os primeiros parâmetros morfométricos são de Horton (1945), que definiu um comportamento ideal para as bacias hidrográficas. A partir das “Leis de Horton” novos parâmetros foram propostos, como em Freitas (1952), Miller (1953), Schumm (1956), Strahler (1958), entre outros. Na década de 1970, Hack (1973) propõe um índice de gradiente para a determinação de “anomalias” na concavidade natural do perfil longitudinal dos rios, o *Stream-Gradient Index*, o qual vem sendo empregado em análises de condicionamento estrutural e perturbações neotectônicas em diversos contextos geológicos (SEEBER & GORNITZ, 1983; MARPLE & TALWANI, 1993; ETCHEBEHERE *et al.*, 2006; entre outros).

Este trabalho dá sequência às pesquisas que vêm sendo realizadas pelos presentes autores nesta bacia (BARROS *et al.*, 2008; BARROS *et al.*, 2009; RAPOSO *et al.*, 2009; BARROS & MAGALHÃES JÚNIOR, 2009).

Área de Estudo

A bacia do Rio Maracujá se localiza entre os meridianos 43° 37' 30" e 44° 45' 00" e os paralelos 20° 14' 30" e 20° 25' 30", compreendendo uma área aproximada de 145km², cuja maior parte pertence ao município de Ouro Preto, Minas Gerais. As primeiras ocupações na bacia remontam ao século XVIII, quando ela se tornou um centro de abastecimento de alimentos para os garimpos de ouro

da região (BACELLAR, 2000). Já no século XIX, se instalou ali um grande número de pequenas fundições. Para alimentar essas atividades grande parte da cobertura vegetal primária foi retirada e em seu lugar surgiram, no século XX, silviculturas de eucalipto e extensas pastagens. Atualmente, se encontra na bacia muitas chácaras e sítios, dispersos entre os distritos de Amarantina, Cachoeira do Campo e Santo Antônio do Leite, além de atividades de fortes impactos ambientais, sobretudo o garimpo de topázio e a extração de materiais aluviais para construção civil.

Na bacia do Rio Maracujá se encontram três grandes compartimentos de relevo: um com cotas altimétricas mais baixas, tendo por substrato as rochas do Complexo Bação (granitos, gnaisses e migmatitos), outro com cotas intermediárias, modelado em rochas do Supergrupo Rio das Velhas (filitos, xistos, quartzitos, etc.), em grande parte resguardado do rebaixamento vertical por rochas mais resistentes do Supergrupo Minas (quartzitos, itabiritos), que sustentam os topos das serras da região, compondo o terceiro compartimento.

A vegetação primária da bacia do Rio Maracujá, segundo Bacellar (2000), seria composta por matas fechadas ao longo da rede de drenagem e nos vales não canalizados em cabeceiras de drenagem, enquanto nas porções elevadas do Embasamento Cristalino ocorreriam campos. As florestas semidecíduais predominariam em solos mais férteis, desenvolvidos a partir de rochas do Supergrupo Rio das Velhas. Já sobre rochas mais resistentes (Supergrupo Minas) os solos delgados não permitiriam formações vegetais de grande porte, dominando espécies de porte herbáceo e arbustivo.

Segundo Rezende & Resende (1997), no domínio dos mares de morros, onde se insere o Complexo do Bação, os solos são da classe dos latossolos. Onde o saprólito é mais delgado, predominam os argissolos, normalmente mais férteis. Já nas regiões mais íngremes há o predomínio de neossolos litólicos ou de afloramentos rochosos.

O clima na bacia é marcado por duas estações bem definidas: verão chuvoso (novembro/maio) e inverno seco (junho/outubro). A região apresenta alta taxa pluviométrica média anual (1352,83 mm, entre 1986 e 1996), com ocorrência marcante de chuvas orográficas (SANTOS *et al.*, 2002). Porém, as áreas mais elevadas apresentam um clima mais frio e mais úmido, Cwb segundo a classificação climática de Köppen (BACELLAR, 2000).

Os dados hidrológicos disponíveis para a bacia do Rio Maracujá são muito antigos, relativos aos períodos de 1945 a 1947 e 1953 a 1954 (ANA, 2010). Estes dados mostram uma redução na vazão média anual neste período, passando de 2,61 m³/s em 1945 para 1,61 m³/s em 1954.

Materiais e métodos

Amostragem de taxas de turbidez

Para a análise da turbidez foram realizadas três visitas de campo, permitindo uma amostragem na estação seca, uma no princípio e outra no fim da estação chuvosa da região (setembro de 2008, janeiro e abril de 2009, respectivamente), a fim de se observar os efeitos da sazonalidade. Foram escolhidos nove pontos para a amostragem, sendo quatro deles próximos à foz dos córregos Taquaral, Prata, Holanda e Cipó, e cinco ao longo do Rio Maracujá (Figura 1). A localização dos pontos foi determinada pelas condições de acesso, mas também por uma avaliação preliminar do uso e cobertura do solo, além da tentativa de abarcar diferentes litologias e morfologias.

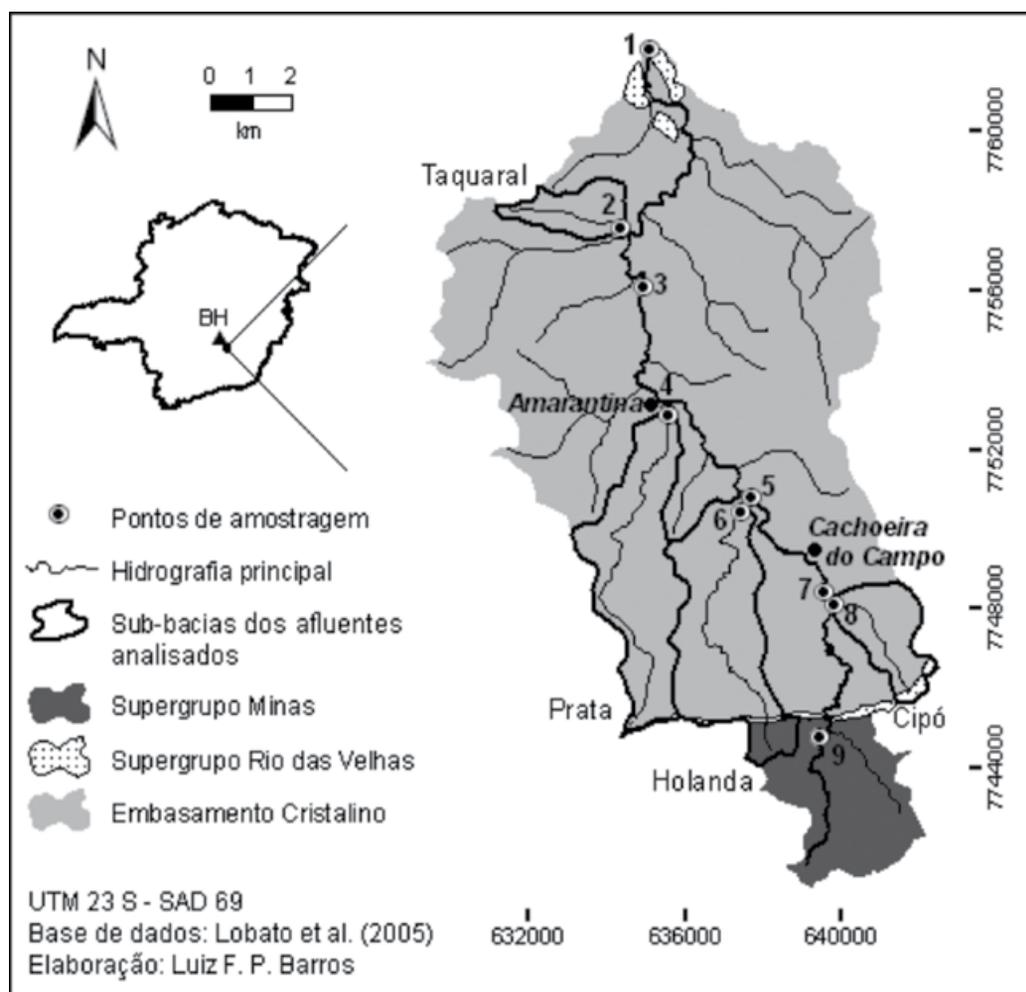
A coleta das amostras de água se deu em pontes e outras estruturas que atravessam os cursos d'água, permitindo o lançamento de amostradores junto à linha de maior fluxo, a uma profundidade aproximada

de 30 cm. As amostras foram então acondicionadas em um isolador térmico para que fossem transportadas ao Laboratório de Geomorfologia do Instituto de Geociências da UFMG, onde foram analisadas. Para a definição da turbidez das amostras de água foi utilizado o Turbidímetro *Plus ALFAKIT*[®]. Trata-se de um aparelho de bancada com sensor óptico digital e escala automática, com faixa de medição de 0 a 1000 UNT (Unidade Nefelométrica de Turbidez), resolução de 0,01 UNT e espectro de emissão de 880nm.

Mapeamento de usos e coberturas do solo

Para o mapeamento de segmentos assoreados, dos usos e de coberturas do solo da bacia foi utilizada uma imagem *Ikonos* (RGB 123) de agosto de 2006. A partir da interpretação da imagem e de dados de campo, foi realizada a vetorização no *software ArcView 9.2* para representação das categorias definidas, escolhidas de acordo com sua potencial interferência nas taxas de turbidez.

Figura 1 Localização da bacia e dos pontos de amostragem de turbidez.



Dessa forma, ao se distinguir a cobertura vegetal, por exemplo, optou-se por uma diferenciação pelo porte, associado à proteção do solo, e não pela variação de espécies. Destaca-se também que as voçorocas mapeadas foram classificadas de acordo com seu estágio de equilíbrio (Figura 2), tendo como parâmetro os diferentes graus de cobertura vegetal por elas apresentados. Estes diferentes tipos de feições erosivas são encontrados em toda a bacia, distribuindo-se heterogeneamente.

Figura 2 Exemplos de voçorocas em diferentes graus de estabilidade, definidos de acordo com a cobertura vegetal verificada.



Na análise dos dados a situação das Áreas de Preservação Permanente (APP's)¹ da bacia também foi considerada. Para a definição dessas áreas foram utilizadas ferramentas do *software ArcView 9.2* para a geração de *buffers* ao longo de cursos d'água (30m; 50m) e a partir de nascentes (50m), além de geração de um modelo digital de elevação para a extração de declividades superiores a 45° (ou 100%) e dos topos de morro da bacia (terço superior de uma elevação).

Caracterização morfométrica

A caracterização morfométrica, por sua vez, foi feita para a bacia do Rio Maracujá como um todo e para as quatro sub-bacias citadas anteriormente. Para isso, foram utilizadas bases digitais hidrográficas e hipsométricas de Minas Gerais digitalizadas de cartas do IBGE em escala de 1:50.000, sendo as curvas de nível espaçadas em 20m. Todo o processamento dos dados foi feito no *software ArcView 9.2*, que possui ferramentas que permitem a extração automática dos atributos necessários aos cálculos dos parâmetros morfométricos. Foram selecionados parâmetros capazes de trazer informações quanto ao comportamento dos componentes geomorfológicos das bacias hidrográficas em relação aos processos erosivos (Quadro 1).

¹ Conforme dispõem a Lei Federal Nº 4.771, de 15 de setembro de 1965 (com as alterações introduzidas pela Lei 7.803, de 18 de julho de 1989) e a Lei Estadual Nº 14.309, de 19 de junho de 2002.

Quadro 1 Parâmetros morfométricos aplicados, sua fonte, equação e implicações.

Parâmetro	Fonte	Equação		Implicações
Declividade média (Dm)	----	Cálculo automático no ArcG/S		Expressa a energia e a intensidade dos processos morfogenéticos, incluindo o escoamento concentrado e difuso nas vertentes
Densidade de drenagem (Dd)	Horton (1945)	$Dd = \frac{Ct}{A}$	Ct - comprimento total dos canais (inclusive os intermitentes) A - área da bacia	E definida pelo com portamento hidrológico das rochas (e regolito), sendo maior quanto menor a permeabilidade do substrato
Gradiente do canal principal (Gcp)	Christofo -Ietti (1980)	$Gcp = \frac{(Aac / C) \times 1000}{1000}$	Aac - amplitude altimétrica do canal C - comprimento do canal	Reflete o potencial de energia no canal fluvial
índice de rugosidade (I r)	Strahler (1958)	$Ir = Aab \times Dd$	Aab - amplitude altimétrica da bacia Dd - densidade de drenagem da bacia	Valores elevados indicam maior potencial para a ocorrência de cheias na bacia e/ou pode indicar que as bacias apresentam alta transmissividade hidráulica
índice de Sinuosidade (Is)	Schumm (1956)	$Is = \frac{C}{Dv}$	C - comprimento do canal Dv - distância vetorial e ntre os extremos do canal	Is = 1 - canal retilíneo Is > 2,0 - canal sinuoso Valores interme diá rios = formas transicionais

Além desses parâmetros, foi aplicado o Índice RDE (Relação Declividade vs. Extensão), também conhecido como Stream-Gradient Index ou Índice de Hack. Trata-se de um índice de gradiente proposto para a determinação de anomalias na concavidade natural do perfil longitudinal dos cursos d'água. Em um caso ideal, o perfil longitudinal descreve a forma côncava, com diminuição suave da declividade e valores de RDE homogêneos, enquanto um perfil anômalo apresenta algumas discontinuidades. As anomalias podem estar associadas a desembocaduras de tributários de caudal expressivo, a diferentes resistências à erosão hidráulica do substrato lítico e/ou à atividade neotectônica (ETCHEBEHERE et al., 2006). A determinação de setores anômalos é feita por meio da razão entre o RDE de um segmento (RDEs) e o RDE de todo o canal (RDEt) (Quadro 2).

Quadro 2 Caracterização do Índice RDE.

	Equações	Definição	Significado*
RDE = RDEs / RDEt	SEGMENTO	ΔH - amplitude altimétrica entre dois pontos extremos de um segmento do canal	RDE = 2 indica o limiar da faixa de anomalias
	$RDEs = \frac{\Delta H}{\Delta L} \times L$	ΔL - projeção horizontal da extensão do referido segmento L - distância entre o segmento e a nascente	$2 \leq RDE \leq 10$ é classificado como anomalia de 2ª ordem
	TOTAL	ΔH - amplitude altimétrica do curso d'água	$RDE \geq 10$ é classificado como anomalia de 1ª ordem
	$RDEt = \frac{\Delta H}{\ln L}$	$\ln L$ - logaritmo natural de toda sua extensão	

* Segundo Seeber & Gornitz (1983).

Resultados e Discussões

As taxas de turbidez na bacia do Rio Maracujá variaram amplamente ao longo do período amostrado, sendo os menores valores (entre 0,88 e 12,96 UNT) encontrados no período seco (setembro de 2008) e os maiores (entre 8,20 e 132,70 UNT) no período chuvoso (janeiro e abril de 2009), revelando o condicionamento sazonal esperado (Tabela 1). Observa-se, entretanto, que a turbidez é maior no início do período chuvoso, o que não se verifica apenas em alguns pontos. Os valores de turbidez aqui apresentados devem ser comparados apenas entre eles mesmos, pois só valem para o contexto e período avaliados.

De acordo com os parâmetros avaliados se pode dizer que a sub-bacia do Córrego Cipó é a mais eficiente na produção e escoamento de sedimentos dentre as analisadas. Sua elevada produção de sedimentos em suspensão é devida às suas características geológicas e geomorfológicas, reveladas em sua morfometria. Esta bacia apresenta a maior Dm encontrada (16,1% - Tabela 2), o que se associa à baixa resistência das rochas do Embasamento e se reflete em uma produção de sedimentos expressiva. Outros fatores que contribuem para isso são suas características de elevado Gcp (6,74 m/km) e reduzido Is (1,16). Estes parâmetros indicam que o canal principal da bacia possui elevada energia, com prováveis condições de entalhe do leito. Apenas o percentual de usos urbanos, sob a forma de loteamentos em encostas íngremes, se destaca em relação aos usos das outras bacias. Isso contribui para uma ocupação considerável das APP's da bacia do Córrego Cipó (34,2% - Tabela 3). Porém, esta bacia tem o maior percentual de vegetação de porte arbóreo e o menor de solo exposto, voçorocas e vegetação herbáceo-arbustiva (Quadro 3).

Tabela 1 Turbidez em UNT por mês e a média dos valores obtidos.

Ponto de amostragem	Turbidez em UNT			
	Setembro/2008	Janeiro/2009	Abril/2009	Média
1	5,40	44,65	65,19	38,4
2	2,70	29,46	39,19	23,8
3	7,40	46,59	96,22	50,1
4	8,15	114,16	83,71	68,7
5	5,14	26,64	23,54	18,4
6	5,95	86,83	59,60	50,8
7	6,06	57,85	36,36	33,4
8	12,96	132,70	75,44	73,7
9	0,88	8,20	8,82	6,0

Fonte:

CATEGORIA	FENÔMENOS	FOTO	RESULTADOS				
			Mcj	Hol	Prt	Cipó	TGL
Vegetação arbórea (%)	Mata ciliar e mata estacional semi-decidual		29,9	18,2	24,5	43,1	21,5
Vegetação herbáceo-arbustiva (%)	Áreas de cerrado e campos		39,8	55,2	40,5	15,2	42,2
Atividades de extração (%)	Pedreiras, minerações e pontos de dragagem		0,03	0,05	0,3		
Usos agropastoris (%)	Áreas de cultivo e de pastagens		20	13,7	22,6	18,2	28,6
Usos urbanos (%)	Cidades, vilas, povoados e loteamentos, além de atividades industriais		6	1,4	6,8	21,1	0,5
Vias de acesso (km)	Rodovias, estradas e linhas férreas		322,8	25,6	26,5	6,4	12,3
Voçorocas (%)	Voçorocas em diversos estágios de equilíbrio		3	10,9	5,4	1,5	4,5
Solo exposto (%)	Áreas prep aradas para cultivo e áreas de solo exposto em geral		1	0,45	0,9	0,9	3,3
Trechos com assoreamento crítico (km)	Preenchimento da maior parte da calha por sedimentos		21,12	2,96	3,83	0,12	0,64

Tabela 2 Resultados dos cálculos dos parâmetros morfométricos aplicados.

Bacia	Is	Gcp (m/km)	Dd (km/km ²)	Ir	Dm (%)
Maracujá (Mcj)	1,53	1,37	2,94	1195,1	14,9
Cipó	1,16	6,74	2,63	598,2	16,1
Holanda (Hol)	1,42	2,97	3,11	824,3	15,8
Prata (Prt)	1,26	2,72	2,89	808,9	13,8
Taguarai (Tgl)	1,05	3,66	3,11	385	11,6

Tabela 3 Percentuais de APP e de sua ocupação indevida por bacia.

Bacia	APP		USOS INCONFORMES	
	km ²	% da bacia	km ²	% das APPs
Maracujá	37,7	26,2	7,7	20,5
Cipó	1,7	38,1	0,6	34,2
Holanda	2,6	20,3	0,3	14,3
Prata	3,5	28,5	1,2	34,3
Taguarai	0,7	22,9	0,2	32,2

Na bacia do Córrego da Prata se destacam tanto fatores de uso e cobertura do solo como características morfométricas. As voçorocas (em sua maioria parcialmente vegetadas e não vegetadas), os usos agropastoris e os usos urbanos possuem o segundo maior valor encontrado em cada um dessas categorias (5,4%, 22,6% e 6,8%, respectivamente). Já os percentuais de vegetação herbácea-arbustiva e solo exposto possuem o terceiro maior valor (40,5%). Destaca-se ainda a elevada ocupação de APP's nesta bacia (34%). Quanto às suas características morfométricas, a bacia do Prata possui uma amplitude altimétrica relativamente elevada (360m), o que garante maior energia aos processos erosivos, apesar de sua Dm (13,8%) ser uma das menores encontradas.

A bacia do Córrego Holanda apresenta a terceira maior média dos valores de turbidez obtidos (50,8 UNT). Esta sub-bacia é marcada por abundantes voçorocamentos. A relação entre área voçorocada e área da bacia para o Córrego Holanda (10,9%) apresenta valor mais de três vezes maior que para a bacia do Rio Maracujá (3%) como um todo. Observa-se que das 264 voçorocas mapeadas 93 foram classificadas como estáveis, 108 como em estabilização e 63 como ativas, sendo que a maior concentração destas ocorre na sub-bacia do Córrego Holanda. Os condicionantes do voçorocamento na bacia do Rio Maracujá já foram amplamente discutidos em trabalhos como Parzanese (1991) e Santos *et al.* (2002), que enfocam condicionante pedológicos, além de Bacellar (2000) e Bacellar *et al.* (2005), que buscam avaliar condicionantes pedológicos, litoestruturais, geomorfológicos e antrópicos. No entanto, ainda não há um consenso na explicação para a gênese desses voçorocamentos, bem como para sua concentração espacial.

Além do grande número de voçorocamentos, a bacia do Córrego Holanda apresenta o menor percentual de vegetação de porte arbóreo e o maior percentual de vegetação herbáceo-arbustiva. Seu percentual de área com usos agropastoris, no entanto, é muito baixo, assim como o de solo exposto, e suas APP's são as menos ocupadas em relação às outras bacias (14,3%). Quanto à sua morfometria, o canal principal da bacia é relativamente pouco sinuoso e apresenta o terceiro maior Gcp (2,97m/km), o que está relacionado à elevada amplitude altimétrica do canal (280m). A bacia apresenta a segunda maior amplitude altimétrica (380m), e a segunda maior declividade média (15,9%), bem como a segunda maior Dd encontrada, apesar de ter por substrato principal, assim como as demais sub-bacias, as rochas do Complexo Bação.

A sub-bacia do Córrego Taquaral, por sua vez, apresenta um dos menores valores de turbidez em toda a bacia do Rio Maracujá (média de 23,8 UNT), o que, de certa forma, contraria os resultados esperados. A bacia tem por substrato apenas as rochas friáveis do embasamento cristalino, seu Is (1,05) é o menor de todos os canais analisados e seu Gcp (3,66m/km) o segundo maior, o que revela uma alta energia para o canal. Seu valor de Dd também é o segundo mais alto, o que significa uma relativa maior riqueza hídrica e, nesse sentido, deveria haver uma maior eficiência no transporte de sedimentos. Além disso, esta sub-bacia apresenta um percentual relativamente elevado de área com vegetação herbáceo-arbustiva (42,2%), voçorocas (4,5%), solo exposto (3,3%) e usos agropastoris (28,6%), sendo estes dois últimos os maiores encontrados. O percentual de ocupação das APP's dessa bacia também é alto (32%).

Entretanto, dada a reduzida média dos valores de turbidez obtidos, algumas características morfométricas da bacia do Córrego Taquaral parecem ser suficientes para impedir uma maior eficiência na produção e/ou escoamento de sedimentos em suspensão. Essas características seriam, principalmente, seu baixo Ir (385), reflexo de sua reduzida variação altimétrica (160m). O Ir dessa bacia, o menor dentro da bacia do Rio Maracujá, indica uma baixa transmissividade hidráulica, ou seja, os fluxos de vertente não se transformam em correntes fluviais com facilidade. Desse modo, os sedimentos erodidos da vertente são provavelmente depositados ao longo dela mesma, antes de chegarem aos cursos d'água. A reduzida variação altimétrica e a pequena declividade média da bacia (11,6%) garantem pouca energia aos processos erosivos de vertente. A elevada energia do canal principal, por outro lado, não garante uma produção elevada de sedimentos, como na bacia do Cipó, por exemplo, a qual possui área aproximada.

Em relação à bacia do Rio Maracujá como um todo, destaca-se que ela se destaca dentre os demais afluentes da bacia do alto Velhas no fornecimento de sedimentos. Raposo *et al.* (2009) mostram que, tanto na estação seca como na chuvosa, a turbidez do rio das Velhas a jusante de sua confluência com o Rio Maracujá é, em média, 43% maior que a montante. Além destes autores, Santos & Magalhães Júnior (2009) mostram ainda que o rio Maracujá contribui também com elevada carga de leito para o Rio das Velhas. Este, no entanto, não vem sendo capaz de transportar por completo a carga que lhe é acrescentada, o que se reflete na formação de barras arenosas, na perda de profundidade e ganho na largura da calha a jusante do Rio Maracujá.

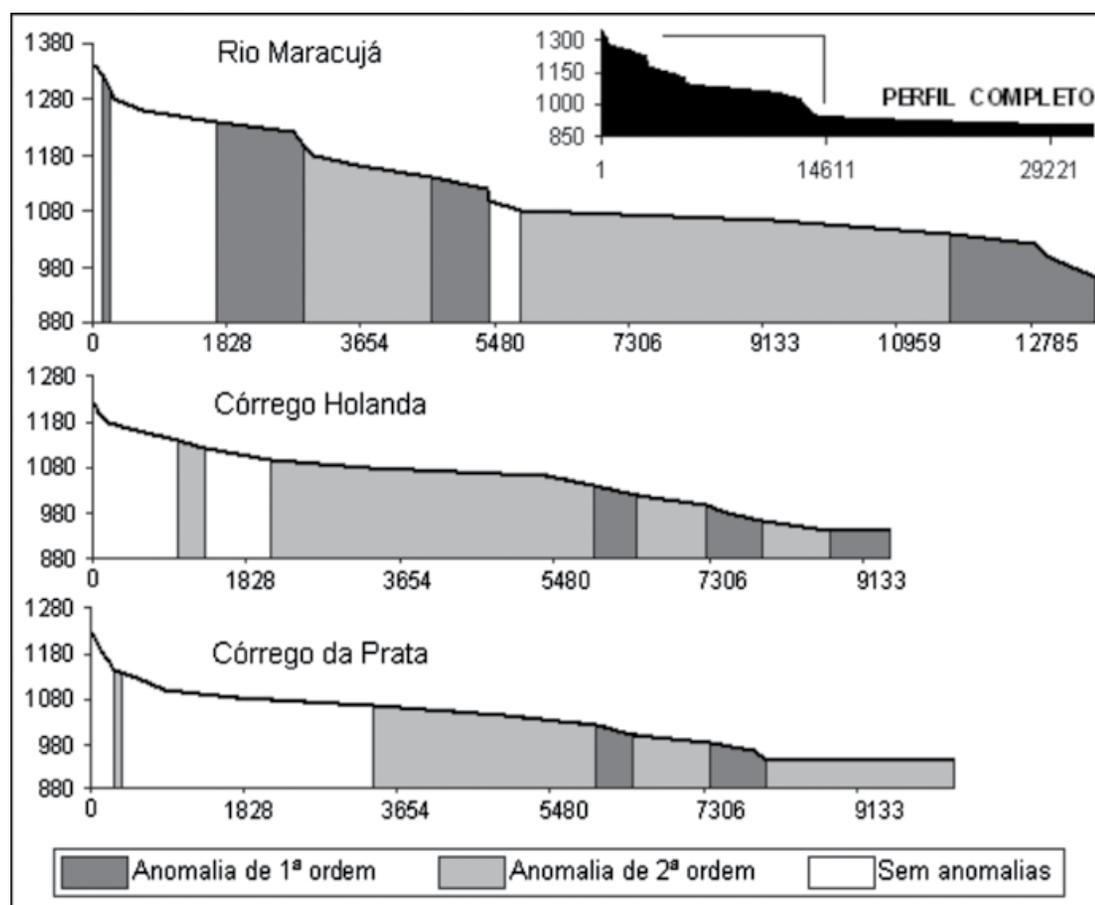
Quanto aos pontos amostrados ao longo do Rio Maracujá, vale destacar que pode ser percebida uma redução nas taxas de turbidez entre os pontos 7 e 5 (de 33,4 para 18,4 UNT em valores médios) e os pontos 3 e 1 (de 50,1 para 38,4 UNT em valores médios). Esse fato pode nos revelar que: i) há um acréscimo de vazão maior que o de sedimentos a jusante – o mais provável para o segmento entre os pontos 3 e 1; ii) ao longo do próprio canal há locais que atuam na retenção dos sedimentos, como soleiras geomorfológicas – o que parece ser o caso do segmento entre os pontos 7 e 5.

De fato era esperado um valor de turbidez mais elevado que o verificado para o Ponto 5, não só em razão da produção de sedimentos a montante, mas também por sua reduzida distância de Cachoeira do

Campo, o maior distrito de Ouro Preto. Souza *et al.* (2007) apontam elevados valores de pH, turbidez e microorganismos do grupo coliforme para o segmento em que rio Maracujá atravessa o distrito e atribuem esses altos valores a ausência de uma estação de tratamento de esgotos (ETE). Entretanto, o Ponto 5 apresenta sempre a segunda menor taxa de turbidez da bacia do Maracujá. No entanto, neste segmento há afluência de poucos tributários, sendo a maioria de primeira ordem, o que não garante um elevado poder de diluição. Nesse sentido, entre estes pontos deve haver também segmentos de maior energia, propiciando uma maior autodepuração do rio. Esta situação é verificada em um segmento encachoeirado logo a jusante de Cachoeira do Campo, o qual é, grosso modo, coincidente com uma anomalia de primeira ordem, segundo a aplicação do Índice RDE.

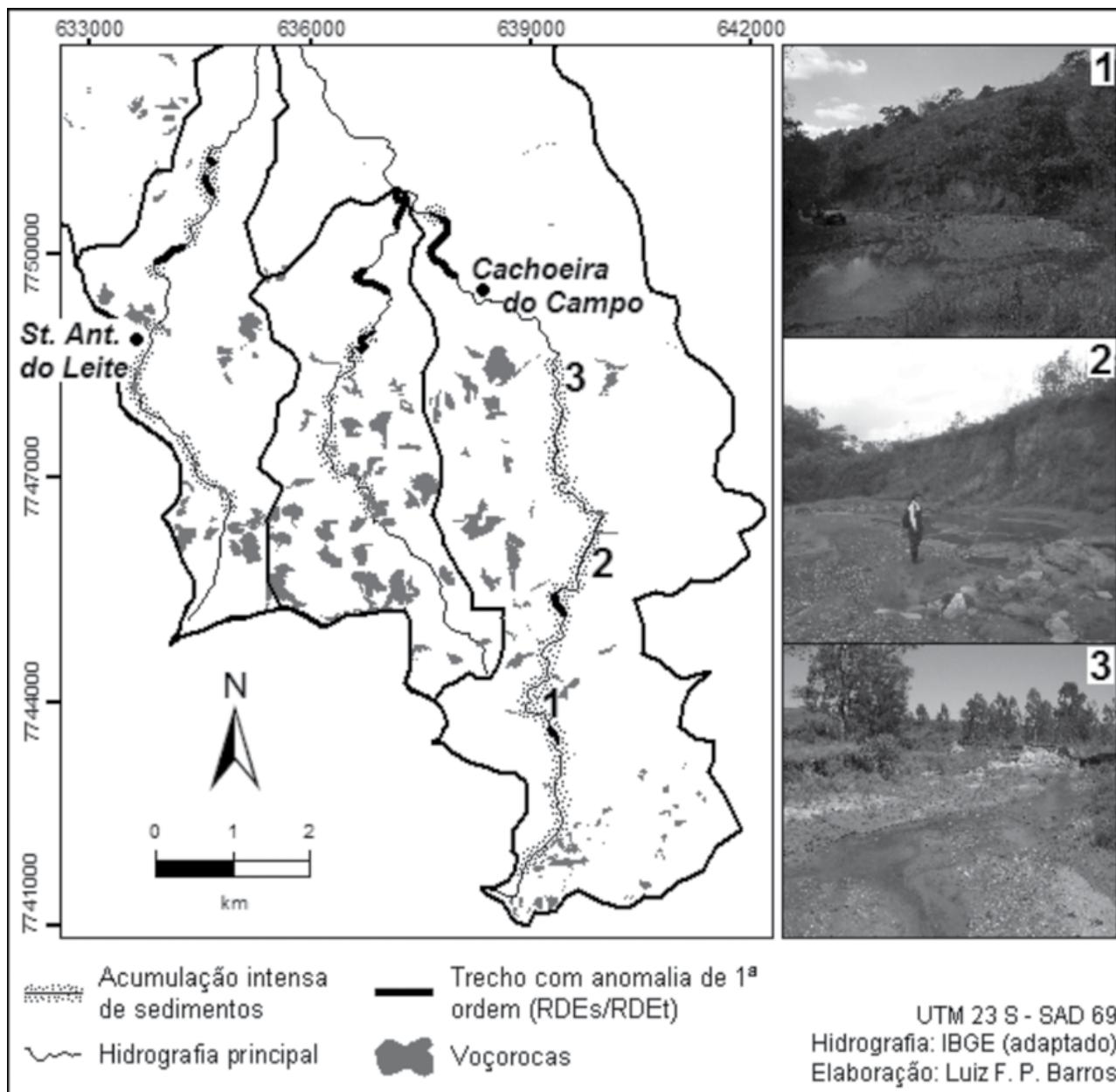
A aplicação desse Índice mostrou uma recorrência de anomalias de primeira ordem na porção central da bacia do Rio Maracujá, entre as cotas de 950 e 1050 metros. Estas anomalias foram verificadas no perfil longitudinal deste rio e no dos córregos Holanda e da Prata (Figura 3). Um fato marcante é que a montante desses segmentos anômalos se concentra os focos de voçorocamento e os segmentos mais

Figura 3 Perfil longitudinal do Rio Maracujá e dos córregos Holanda e da Prata com a aplicação do Índice RDE.



assoreados dos cursos d'água analisados (Figura 4). Vale observar também que Barros & Magalhães Júnior (2009) mapearam o nível de terraço mais recente do vale do Rio Maracujá recoberto por depósitos atuais de várzea a montante de Cachoeira do Campo.

Figura 4 Distribuição das anomalias de 1ª ordem em planta para o Rio Maracujá e os córregos da Prata e Holanda, sua relação com a concentração de voçorocamentos e segmentos de intensa acumulação de sedimentos.



Como aponta a literatura exposta anteriormente, na interpretação do Índice RDE as anomalias podem estar associadas a desembocaduras de tributários de caudal expressivo, a diferentes resistências à erosão hidráulica do substrato lítico (contatos litológicos) e/ou à atividade neotectônica. Como as duas primeiras possíveis causas não se verificam neste caso e a partir dos perfis longitudinais, assim como em campo (trecho da BR356 entre Amarantina e Cachoeira do Campo), pode ser notado um “degrau” no relevo nesta área, associa-se estas anomalias a perturbações tectônicas. Nesse sentido, essas anomalias podem significar um bloco tectônico em soerguimento mais acelerado, o qual estaria provocando um acúmulo de sedimentos a montante.

Em relação aos segmentos assoreados, é preciso destacar que enquanto no Rio Maracujá os sedimentos que entulham a calha se originam de atividades antrópicas, nos córregos da Prata e Holanda eles estão diretamente ligados aos voçorocamentos no Complexo Bação, que se concentram nessas sub-bacias. Os voçorocamentos comprometem o escoamento de sedimentos não apenas por fornecê-los em excesso aos cursos d'água, mas também por alterarem o regime de fluxo das bacias, levando a picos de cheia mais expressivos, porém a fluxos de base reduzidos (COSTA & BACELLAR, 2007).

Segundo Bacellar *et al.* (2001; 2005), cerca de 70% das feições erosivas (ravinas e voçorocas) da bacia do Rio Maracujá são de origem antrópica. Qualquer interferência que leve à exposição dos saprólitos (sobretudo os de gnaiss) aos fluxos hídricos superficiais ou subsuperficiais (como as valas de divisa feitas pelos primeiros colonizadores) é potencial para o desenvolvimento de voçorocas. No entanto, se considerarmos os 30% restantes (115 das 385 voçorocas mapeadas por aqueles autores), se trata de uma concentração diferenciada dessas feições erosivas, já que no país se encontram diversas áreas sob características geológicas, geomorfológicas e de ocupação muito semelhantes e que não apresentam tamanha concentração de focos erosivos.

Por fim, se destaca que no alto curso do Rio Maracujá se encontram taxas de turbidez muito baixas, entre 0,88 e 8,82 UNT (Ponto 9). Aqui, o baixo valor de turbidez se deve ao fato de que a área tem por substrato as resistentes rochas do Supergrupo Minas e se encontra sob declividades elevadas, o que desfavorece a formação de espessos mantos de intemperismo. O solo que se forma, apesar dessas condições, se encontra, em geral, estabilizado, coberto por vegetação herbácea e arbustiva típica de campos de altitude.

No entanto, das cabeceiras do Rio Maracujá até o distrito de Cachoeira do Campo se nota um intenso assoreamento das calhas fluviais, gerando uma morfologia semelhante à de canais entrelaçados. A intensa carga sedimentar grosseira encontrada nesse segmento está relacionada à degradação das zonas de cabeceira pelo grande número de voçorocas e em consequência das atividades de mineração/garimpo de topázio imperial. Na alta bacia, as voçorocas estão relacionadas a faixas de ocorrência de quartzitos ferruginosos, os quais são uma exceção no Supergrupo Minas por propiciarem o desenvolvimento de espesso manto de intemperismo, em geral muito friável (BACELLAR, 2000). Nesse sentido, qualquer interferência nestas faixas propicia a formação de grandes voçorocas, como na abertura de vias rurais e da Estrada de Ferro Vitória-Minas. No entanto, o fator preponderante para a degradação da alta bacia do Rio Maracujá é a exploração de topázio imperial, o que se dá em grande parte em garimpos de aluvião, sendo a maioria deles ilegais. Pilhas de estéril ficam expostas à ação do escoamento superficial, propiciando, principalmente no período das cheias, o deslocamento de sólidos sedimentáveis para jusante (PEIXOTO & LIMA, 2004). A geração de sólidos é ainda maior quando são adotadas dragagens e desmonte hidráulico.

Conclusões

A associação de dados do quadro físico natural, de segmentos assoreados, do uso e cobertura do solo, da análise morfométrica das bacias estudadas e de suas taxas de turbidez se mostrou uma eficiente metodologia para a análise dos condicionantes da produção e escoamento de sedimentos na bacia do Rio Maracujá. Outros parâmetros físico-químicos (condutividade, sólidos totais dissolvidos, entre outros), além de tentativas de quantificação da carga de leito ou de mensuração das seções assoreadas poderão completar a presente análise em estudos futuros.

Verificou-se que a sub-bacia do Córrego Cipó é a mais eficiente na produção e transporte de sedimentos. Apesar de haver condicionantes antrópicos para isso, as características morfométricas da bacia é que controlam essa dinâmica, principalmente em razão da elevada energia dos processos erosivos do leito e das vertentes. Já nas sub-bacias dos córregos Holanda e da Prata se destaca o intenso voçorocamento como fornecedor de sedimentos às calhas fluviais, além de vários usos e coberturas do solo potencialmente ligados à erosão acelerada. A sub-bacia do Córrego Taquaral, por sua vez, apesar de apresentar algumas características morfométricas, de uso e de cobertura do solo potencialmente produtoras de grande quantidade de sedimentos, apresenta baixa turbidez e pouco assoreamento. Isso parece ser controlado por características morfométricas mais marcantes, tais como o baixo Índice de Rugosidade e a pequena Declividade Média.

As taxas de turbidez ao longo do Rio Maracujá apresentam redução em dois segmentos. Em um, mais a jusante, isso se dá por um aumento da capacidade de diluição do rio, dado o acréscimo de vazão por parte de alguns afluentes. Entretanto, no segundo, mais a montante, essa redução está ligada a ambientes que propiciam a deposição dos sedimentos ao longo do próprio canal, como soleiras.

A aplicação do Índice RDE revelou segmentos com diferentes graus de anomalias, sendo que a recorrência de segmentos com anomalia de primeira ordem na porção central da bacia sugere uma perturbação tectônica. Um comportamento diferencial de blocos tectônicos poderia estar ligado tanto à concentração diferencial de voçorocamentos (principalmente ativos e em estabilização) nesta porção da bacia como ao represamento de sedimentos. Isso porque é também nesta área que se concentra quase a totalidade dos segmentos de intensa acumulação de sedimentos mapeados. Além disso, alguns segmentos sem anomalias coincidem, grosso modo, com segmentos de ocorrência de um nível de terraço mais recente sobreposto por depósitos atuais de várzea.

A turbidez das águas foi utilizada neste trabalho como referencial para a discussão da produção e escoamento de sedimentos em suspensão. No entanto, vale lembrar que a turbidez deve ser utilizada com cautela, pois se trata de um parâmetro passível de sofrer variadas interferências alheias à erosão e possui validade pontual no tempo e no espaço. No caso da sub-bacia do Córrego Cipó, por exemplo, a elevada turbidez pode ter sido influenciada por sua capacidade de diluição reduzida, em razão da pequena vazão. Além disso, quanto menos espessa a lâmina d'água, maior tende a ser a temperatura, o que pode provocar a aceleração de processos biológicos e a entrada de material alóctone, assim como o aumento da produção primária, o que também eleva a turbidez. Já no caso da sub-bacia do Córrego da Prata, a elevada média de turbidez pode estar ligada ao lançamento de efluentes nos distritos de Amarantina e Santo Antônio do Leite. Além disso, antes das duas amostragens no período chuvoso os pontos 1, 2, 3 e 4 podem ter tido seus resultados distorcidos pela ocorrência de chuvas localizadas.

Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil) (ANA). *HidroWeb*. sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb>. Acesso em: 09 agosto 2010.
- BACELLAR, L. A. P. *Condicionantes geológicos, geomorfológicos e geotécnicos dos mecanismos de voçorocamento na bacia do rio Maracujá, Ouro Preto, MG*. 2000. Tese. (Doutorado em Engenharia Civil) – COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- BACELLAR, L. A. P.; COELHO NETO, A. L.; LACERDA, W. A. Controlling factors of gullying in the Maracujá Catchment, Southeastern Brazil. *Earth Surface Processes and Landforms*, Inglaterra. v. 30, p. 1369-1385, 2005.
- BARROS, L. F. P. & MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. Paleoaambientes Depositionais Fluviais e Dinâmica Atual do Vale do Rio Maracujá – Quadrilátero Ferrífero/MG. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18, Campo Grande. *Anais...* ABRH, 2009. v. 1, CD Rom.
- BARROS, L. F. P.; RAPOSO, A. A.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. Condicionantes antrópicos na dinâmica erosivo-deposicional da bacia do Rio Maracujá Quadrilátero Ferrífero/MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13, 2009, Viçosa. *Anais...*, Viçosa: UFV, 2009. p. 121-121.
- BARROS, L. F. P. *et al.* Níveis e Seqüências Depositionais Fluviais Cenozóicos no Vale do Rio Maracujá, Quadrilátero Ferrífero, MG Ouro Preto/MG. In: II ENCONTRO LATINO AMERICANO DE GEOMORFOLOGIA E VII SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: Tec Art, 2008. v. 1. p. 140-150.
- CHEREM, L. F. S. *Análise morfométrica da bacia do alto Rio das Velhas: comparação de metodologias e dados*. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) – Departamento de Cartografia. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.
- CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. 2.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.
- COSTA, F. M. & BACELLAR, L. A. P. Analysis of the influence of gully erosion in the flow pattern of catchment streams, Southeastern Brazil. CATENA, 2007. v. article, p. 230-238.
- ETCHEBEHERE *et al.* 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.271-287, 2006.
- FREITAS, R. O. Textura de drenagem e sua aplicação geomorfológica. São Paulo, *Boletim Paulista de Geografia*. 11:53-57, 1952.
- HACK, J. T. Stream-profile analysis and stream-gradient index. *Journal Research of the U. S. Geolo. Survey*, v.1, p.421-429, 1973.
- HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrographical approach to quantitative morphology. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 56 (3):275-370.
- LIPSKI, M. *Tectonismo cenozóico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) - DEGEO/EM/ Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2002.
- LOBATO *et al.* *Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero - Integração e Correção Cartográfica em SIG com Nota Explicativa*. Belo Horizonte: CODEMIG, 2005. 1 CD-ROM.
- LOPES, F. W. A., DUTRA, G. C., PEREIRA, J.A.A., TAVARES, C. L. M. Avaliação da influência das áreas de solo exposto sobre a qualidade das águas do Ribeirão de Carrancas-MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, Florianópolis, *Anais...* INPE, p 3421-3428, 2007.
- MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. & SAADI, A. Ritmos da dinâmica fluvial Neo-Cenozóica controlados por soerguimento regional e falhamento: o vale do rio das Velhas na Região de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. *Geonomos*, 2(1): 42-54, 1994.

- 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, 1993.
- MILLER, V. C. A *quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch mountain area*. Project Report, Columbia University, New York, 1953.
- NEVES, S. M. A. S.; CASARIN, R.; NEVES, R. J. Implicações do uso da terra na qualidade das águas dos cursos fluviais da bacia hidrográfica do rio Paraguai-Jauquara/MT. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 2, 2009, Corumbá. *Anais...* Campinas/SP: Embrapa/Inpe, 2009. p. 527-536.
- PARZANESE, G. A. C. *Gênese e desenvolvimento das voçorocas em solos originados de rochas granitóides da região de Cachoeira do Campo, Minas Gerais*. 1991. Dissertação de Mestrado. UFV, Viçosa, MG.
- PEIXOTO, R. J. & LIMA, H. M. Diagnóstico dos garimpos de topázio imperial no Alto Maracujá, Sub-bacia do Rio das Velhas, MG. REM: *Revista Escola de Minas*, v. 5, n. 4, p. 249-254, 2004..
- RAPOSO, A. A.; BARROS, L. F. P.; MAGALHÃES JR, A. P. O parâmetro de turbidez das águas como indicador de impactos humanos na dinâmica fluvial da bacia do Rio Maracujá – Quadrilátero Ferrífero/MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13. *Anais...* Viçosa: UFV, 2009. v. 1. p. 94-95.
- RESENDE, M., CURTI, N., REZENDE, S. B., CORRÊA, G. F. *Pedologia - Base para Distingão de Ambientes*. Viçosa: NEPUT, 2ª ed., 1997.
- SALGADO, A. A. R. *Estudo da Evolução do Quadrilátero Ferrífero, MG-Brasil, através da quantificação de processos erosivos desnudacionais*. 2006. Tese. (Doutorado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) – Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais.
- SEEBER, L. & GORNITZ, V. Rivers profiles along the Himalayan arc as indicators of active tectonics. *Tectonophysics*, v.92, p.335-367, 1983.
- SANTOS, G. B. & MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. Proposta de compartimentação geomorfológica preliminar do alto curso do Rio das Velhas (MG). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13. *Anais...* Viçosa: UFV, 2009. v. 1. p. 456-470.
- SANTOS, G. B.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; CHEREM, L. F. S. Níveis e sequências deposicionais fluviais no vale do Alto Rio das Velhas - Quadrilátero Ferrífero/MG. *Geografias*, v. 4, p. 23-36, 2008.
- SANTOS, N. A. P. & MAILLARD, P. Uso do Sensoriamento Remoto e de um Sistema de Informação Geográfica na Modelagem da Poluição Difusa na Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento remoto, 12, Goiânia. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2005.
- SANTOS, C. A.; SOBREIRA, F. G.; COELHO NETO, A. L.. Comportamento hidrológico superficial e erodibilidade dos solos da região de Santo Antônio do Leite, distrito de Ouro Preto, MG. *Revista da Escola de Minas, Ouro Preto*, v. 55, n. 4, p. 285-290, 2002.
- SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, N. Jersey. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, v.67, p.597-646, 1956.
- SOUZA, L. L.; JÚNIOR, A. F. O.; GUARDA, V. L. M. Avaliação de alguns parâmetros do Rio Maracujá no distrito de Cachoeira do Campo – MG. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 8, 2007. Caxambu. [*Anais eletrônicos...*] 1 CD-ROM.
- STRAHLER, A. N. Dimensional analysis applied to fluviially eroded landforms. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, v.69, n.1, p.279-300, 1958.
- VARAJÃO, C. A. C. A Questão da Correlação das Superfícies de Erosão do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geociências*, 21(2):138-145, junho de 1991.