



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
SISTEMA DE BIBLIOTECAS DA UNICAMP
REPOSITÓRIO DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA E INTELLECTUAL DA UNICAMP

Versão do arquivo anexado / Version of attached file:

Versão do Editor / Published Version

Mais informações no site da editora / Further information on publisher's website:

<https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/view/28419>

DOI: 10.11137/2018_2_177_190

Direitos autorais / Publisher's copyright statement:

©2018 by UFRJ/Instituto de Geociencias. All rights reserved.

DIRETORIA DE TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO

Cidade Universitária Zeferino Vaz Barão Geraldo

CEP 13083-970 – Campinas SP

Fone: (19) 3521-6493

<http://www.repositorio.unicamp.br>



**Fisiografia e Geomorfologia em Sub-Bacia da
Planície do Rio Mogi Guaçu, Estado de São Paulo, Brasil**
Physiography and Geomorphology in
Sub-Basin of the Mogi Guaçu River Plain, São Paulo State, Brazil

Gustavo Klinke Neto¹; Anna Hoffmann Oliveira¹ & Sueli Yoshinaga Pereira¹

¹Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Recursos Naturais.
Rua Carlos Gomes, 250, Cidade Universitária, 13083-855, Campinas - SP, Brasil
E-mails: gus.klinke@gmail.com; annahoffmann@ige.unicamp.br; sueliyos@ige.unicamp.br
Recebido em: 08/11/2017 Aprovado em: 30/06/2018
DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2018_2_177_190

Resumo

O presente trabalho irá analisar a fisiografia de uma sub-bacia às margens do rio Mogi Guaçu-SP bem como sua geomorfologia e de seu entorno. Para o mapeamento geomorfológico, aplicou-se a metodologia descrita por Ross (1992) utilizando dados de sensoriamento remoto e também observações de campo. O detalhamento das vertentes favorece o entendimento mais apurado da dinâmica de fluxo superficial e, conseqüentemente, dos processos de deposição de sedimentos e recarga de água subterrânea. A sub-bacia avaliada apresentou relevo suave ondulado o que é desfavorável ao transporte de sedimentos, porém, o solo arenoso da área é naturalmente propenso à desagregação. Os resultados encontrados indicam a dinâmica geomórfica atuando através de formas agradacionais e denudacionais, favorecendo a erosão nas colinas e a deposição nas planícies.

Palavras-chave: Mapeamento geomorfológico; Análise fisiográfica; Formas de Relevo; Bacia hidrográfica

Abstract

The present paper will analyze the physiography in a sub-basin of Mogi Guaçu river, state of São Paulo, as well as the geomorphology of the study area and surroundings. The geomorphological mapping was conducted according to Ross (1992) using remote sensing data and field observations. The detailing of the hillside favored a more understanding about the surface flow dynamics and thereafter about the sediment deposition and ground water recharge processes. The sub-basin presented way mild relief unfavorable to sediments transport but also presented a sandy soil naturally prone to breakdown. The results show the dynamic processes that happens in the landscape, taking soil and sediments from de hills to the flat lands.

Keywords: Geomorphological mapping; Physiographic analysis; Relief Forms; Water Basin

1 Introdução

A pesquisa geomorfológica é a área do conhecimento que trata de analisar e elucidar as formas de relevo para compreender os processos de formação e evolução atuais e passados, bem como seus elementos. Processos superficiais, como o fluxo de materiais na superfície (erosão), e na subsuperfície, como a infiltração, a lixiviação e a translocação, ocorrem em setores da paisagem distintos e podem ser caracterizados a partir do relevo. A geomorfologia influencia ainda o zoneamento da pluviometria, a distribuição das áreas de recarga e também o confinamento e descarga de aquíferos, refletindo diretamente no modo de ocorrência das águas subterrâneas.

Para estudos de paisagem, a bacia hidrográfica tem sido considerada a unidade geomorfológica fundamental, por concentrar todo o fluxo de água dentro de seus limites (Pissarra *et al.*, 2004). Neste contexto, os rios aparecem como os principais agentes de transformação da paisagem, devido a sua capacidade de erosão, transporte e sedimentação. Em situações específicas de relevo plano às margens de cursos d'água, formam-se os depósitos aluviais, que correspondem a um dos mais importantes componentes do registro geológico de evolução da paisagem, já que permitem a caracterização dos processos hidrodinâmicos, como no caso das águas subterrâneas, e a compreensão da evolução sedimentar dos depósitos antigos de uma bacia (Teixeira *et al.*, 2003). A estrutura geológica da paisagem está, portanto, diretamente associada às características físicas do relevo que, por sua vez, age sobre a taxa de deflúvio, ou seja, sobre o regime de produção de água e, conseqüentemente, sobre a taxa de sedimentação.

Assim, o mapeamento geomorfológico, que é o resultado da análise, classificação e interpretação do relevo, não deve ser visto apenas como um resultado, mas também como a base de um novo início para a pesquisa científica ambiental (Ross, 1992).

A área de estudo do presente trabalho fica às margens do rio Mogi Guaçu no município de Mogi Guaçu, estado de São Paulo, e está inserida geologicamente dentro da Depressão Periférica Paulista e hidrologicamente dentro da Bacia do rio Paraná,

considerada a mais importante província hidrogeológica do Brasil, com cerca de 45% das reservas de água subterrânea do território nacional. A sub-bacia de estudo, que é dominada pelo relevo plano ou suave, representa a principal classe de relevo ocorrente na Depressão Periférica Paulista, onde depósitos aluvionares ocorrem de forma frequente (CPRM, 2002). Nesse tipo de paisagem, a dinâmica das águas subterrâneas apresenta comportamento sazonal variável dependendo da evolução da planície e das condições fluviais.

Em vista do exposto, este trabalho tem por objetivo fazer a classificação geomorfológica completa da sub-bacia e de seu entorno, bem como descrevê-la fisiograficamente. Tais análises visam identificar todas as formas e tipos de relevo, o comportamento da drenagem em relação ao solo, os processos aluviais (erosão, transporte e deposição) envolvidos na formação da paisagem, e ainda fornecer subsídios para estudos posteriores a respeito dos recursos hídricos subterrâneos na região.

2 Materiais e Métodos

2.1 Caracterização do Local

A sub-bacia de estudo é dominada principalmente por formações florestais e está localizada às margens do médio curso superior do rio Mogi Guaçu, no município de Mogi Guaçu, SP, sendo boa parte dela em sua planície aluvionar (Figura 1). A área em questão fica dentro do Complexo de Unidades de Conservação de Mogi Guaçu (CUCMG), que é composto pela Estação Ecológica (EEc), Estação Experimental (EEEx) e Instituto de Botânica (IB), na localidade conhecida como Fazenda Campininha.

O clima da região, conforme a classificação de Köppen, varia entre Aw (clima tropical com estação seca de inverno e chuvosa no verão) e Cwa (clima temperado úmido com inverno seco e verão quente), com médias anuais de temperatura de 21,5 °C e precipitação de 1.500 mm (Sparovek *et al.*, 2007). As principais formações vegetais presentes no CUCMG e também na sub-bacia de estudo são: Floresta Esta-

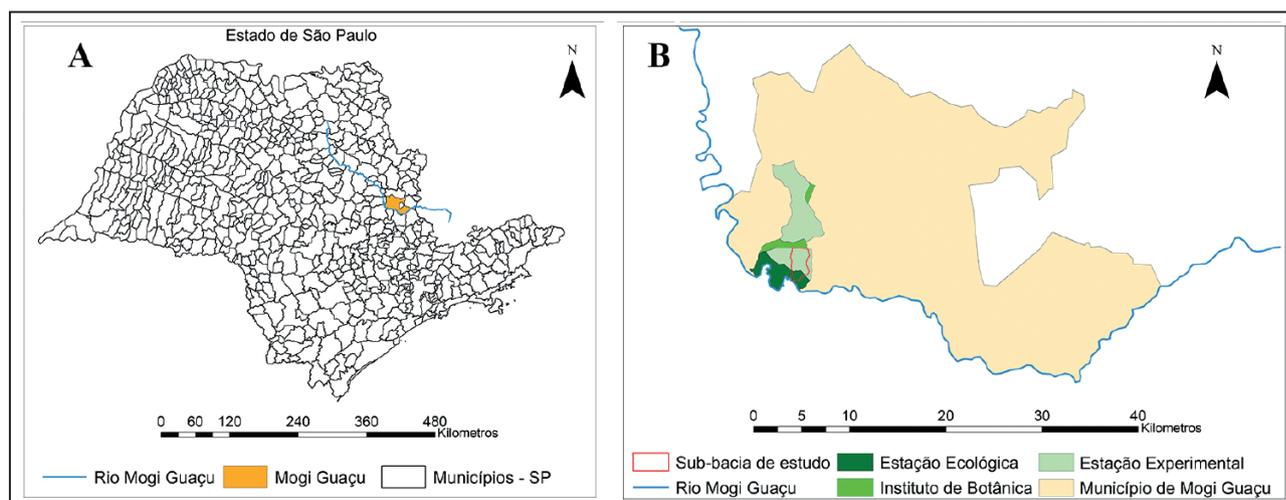


Figura 1 A. Localização do município de Mogi Guaçu no Estado de São Paulo; B. Localização da sub-bacia de estudo e do Complexo de Unidades de Conservação de Mogi Guaçu (CUCMG) dentro do município de Mogi Guaçu.

cional Semidecidual Submontana (Mata Atlântica), Floresta Estacional Semidecidual Aluvial (Mata Galeria), Savana (Cerrado) e Vegetação com Influência Fluvial (várzeas e os campos úmidos). A sub-bacia apresenta ainda formações antrópicas como as florestas de pinus e eucalipto não manejadas há cerca de 20 anos, além de poucas áreas de pastagens na mesma condição.

2.2 Fisiografia

Para a análise da influência da forma da bacia em seu comportamento quanto ao escoamento superficial foram calculados coeficientes de forma, drenagem e relevo, segundo Tucci (1997) e Vilella & Mattos (1975).

Os coeficientes utilizados para quantificar a influência da forma frente à ocorrência de uma precipitação foram: a) Coeficiente de compacidade: $K_c = P_{BH} / P_c$, onde P_{BH} é o perímetro da bacia e P_c é o perímetro de um círculo de área igual à da bacia. Este índice pode ser interpretado da seguinte forma: 1,00 – 1,25 – bacia com alta propensão a grandes enchentes; 1,25 – 1,50 – bacia com tendência mediana a grandes enchentes; maior que 1,50 – bacia não sujeita a grandes enchentes. b) Fator de forma: $K_f = L_{médio} / L_{ax}$, onde $L_{médio}$ é o comprimento médio da bacia e L_{ax} é o seu comprimento axial, em km. O fator de forma pode assumir os seguintes valores: 1,00

– 0,75 – sujeito a enchentes; 0,75 – 0,50 – tendência mediana a enchentes; menor que 0,50 – não sujeito a enchentes. c) Índice de conformação: $I_c = A_{BH} / L_{ax}^2$, onde L_{ax}^2 é o comprimento de um quadrado de lado igual ao comprimento axial da bacia e A_{BH} é a área da bacia. Neste coeficiente, quanto mais próximo de 1 (um) maior a propensão à enchentes, pois a forma da bacia fica cada vez mais próxima à um quadrado.

Para a análise da rede de drenagem, inicialmente o sistema foi classificado segundo metodologia de Strahler (1957), seguido das seguintes determinações: a) Densidade de drenagem: Dd ($km\ km^{-2}$) = $\sum L / A_{BH}$, onde L é o comprimento total dos canais. b) Densidade da rede de drenagem: DR (canais km^{-2}) = N / A_{BH} , onde N é o número total de cursos d'água. c) Extensão média do escoamento superficial: Cm (km) = $1 / (4 * Dd)$. d) Sinuosidade do curso d'água principal: $S = L / Lt$, onde L é o comprimento do seu canal principal e Lt é o comprimento do seu talvegue, medido em linha reta. e) A declividade do curso d'água principal (S) que foi determinada por 2 métodos:

Declividade baseada nos extremos: S_1 (%) = $(h1 * 100) / L$, onde $h1$ é a diferença entre cotas da nascente e o da seção de controle (ponto onde se encontra todo o escoamento superficial gerado no interior da bacia hidrográfica);

Declividade ponderada: S_2 (%) = $(h_2/L) * 100$, onde h_2 é a altura de um triângulo de área igual à área sob o perfil do curso d'água principal;

Para a caracterização do relevo da bacia foram avaliados: a) Declividade da bacia: I (%) = $(D/A_{BH}) * \sum CN_i * 100$, onde I é a declividade média da bacia (%), D é a equidistância entre as curvas de nível (m), $\sum CN_i$ é o comprimento total das curvas de nível (m) e A_{BH} é área da bacia (m²). b) Elevação média da bacia hidrográfica: E (m) = $\sum(e_i * a_i) * A_{BH}$, onde, E é a elevação média da bacia (m), e_i é a elevação média entre duas curvas de nível consecutivas (m), e a_i é a área entre as curvas de nível (km²). c) Curva hipsométrica: obtida quando se acumula as áreas que estão acima ou abaixo de determinada altitude, apresenta a variação da elevação das áreas da bacia hidrográfica.

2.3 Geomorfologia

Além de observações realizadas em campo, toda a análise e classificação do relevo foi realizada a partir da seguinte base de dados: imagem LANDSAT GeoCover com resolução espacial de 14,5 x 14,5 m disponibilizada pela NASA (National Aeronautics and Space Administration) em seu próprio site; imagem LANDSAT TM5 com resolução espacial de 30 x 30 m disponibilizada pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) em seu próprio site; imagem CNES/Astrium de alta resolução disponibilizada pelo software Google Earth, disponível no próprio site da empresa; carta topográfica digitalizada do Plano Cartográfico do Estado de São Paulo em escala 1:10.000; mapa digitalizado da litologia do Estado de São Paulo na escala 1:500.000; e mapa digitalizado de solos na escala 1:30.000. A carta topográfica e o levantamento de solos digitalizados foram obtidos em formato *shapefile* com sistema de projeção UTM e Datum horizontal SAD-69, junto ao Instituto Florestal (IF-SP).

A metodologia utilizada para a análise geomorfológica foi a descrita por Ross (1992). A proposta metodológica classifica as geoformas hierárquica e sequencialmente (taxonomicamente), em grupos de táxons, que começam a análise em uma escala maior e vão afunilando para uma escala cada vez menor na seguinte sequência:

1º táxon – Unidade Morfoestrutural: a morfoestrutura é a maior e mais antiga forma do relevo e, portanto, o primeiro táxon da análise. Normalmente executado em grandes escalas, acima de 1: 500.000.

2º táxon – Unidade Morfoescultural: cronologicamente depois da formação da morfoestrutura começa a formação da morfoescultura, que é objeto de análise do segundo táxon da classificação. Esse táxon tem sua gênese relacionada com os processos erosivos ou denudacionais do Cenozoico. Assim as unidades morfoesculturais como planaltos, planícies e depressões, são esculpidas na bacia sedimentar e possuem dimensões bem inferiores à totalidade da mesma bem como idades bem menores. Realizado em grandes escalas a partir de 1:200.000.

3º táxon – Unidades Morfológicas: este táxon trata da análise do aspecto fisionômico do relevo que decorre do resultado dos processos erosivos mais recentes, ou seja, posteriores à formação morfoescultural e formadas em escalas menores. Essa análise resulta na classificação das formas do relevo dominantes na área como morros, colinas e planícies de deposição. Realizado em escalas intermediárias, na faixa de 1:100.000.

4º táxon – Formas de relevo dentro das Unidades Morfológicas: refere-se a cada uma das formas de relevo contidas nas Unidades Morfológicas do táxon anterior. Embora as Unidades do terceiro táxon sejam semelhantes, quando analisadas em maior detalhe e cartografia apresentam aspectos fisionômicos e genéticos diferenciados. Realizado em escalas intermediárias a partir de 1:50.000.

5º táxon – Detalhamento do relevo (tipos de vertentes): este táxon representa os tipos de relevo presentes em cada uma das formas descritas no táxon anterior, como por exemplo a forma dos topos dos morros ou colinas e a forma dos setores das vertentes (côncavo, convexo, retilíneo, abruptos, etc). Este táxon analisa, portanto, formas menores do relevo, que são de gênese e idades mais recentes que os anteriores. Realizado em escalas pequenas a partir de 1:10.000.

6º táxon – Formas menores produzidas por processos atuais ou ação antrópica (escala 1:10.000):

este táxon trata de formas do relevo ainda menores, que são geradas ao longo das vertentes por processos geomórficos atuais, e principalmente de ações antrópicas, a exemplo de: diques e/ou represas, estradas, focos de erosão laminar e/ou em sulcos, voçorocas, etc. Deve ser realizado em pequenas escalas abaixo de 1:10.000 ou através de levantamento de campo.

Toda a classificação do relevo e o mapeamento geomorfológico seguiram as seguintes etapas: o registro das cenas envolvidas feito de imagem para imagem (GeoCover); a padronização da base de dados para o sistema de coordenadas UTM, datum SAD69, zona 23K; e a geração de mapas das variáveis quantitativas e qualitativas derivadas direta ou indiretamente da base de dados: curvas de nível; modelo digital de elevação; declividade; direção de fluxo; fluxo acumulado; rede de drenagem; relevo sombreado; curvatura horizontal; curvatura vertical; e formas geométricas das vertentes. Além destes, foram medidas diretamente no mapa as distâncias entre as formas de interesse analisadas e gerados diversos perfis topográficos espalhados por toda a área de estudo a fim subsidiar a análise de dissecação do relevo. A localização e classificação dos processos erosivos atuais presentes na sub-bacia foi feita com base em observações de campo e análise das imagens orbitais adquiridas como base de dados. Todas as etapas foram realizadas em ambiente de SIG no software ArcGIS 10.2. A Figura 2 apresenta os principais mapas utilizados na classificação geomorfológica.

3 Resultados e Discussão

3.1 Caracterização Fisiográfica da Sub-Bacia do Rio Mogi Guaçu

A área da sub-bacia drenada pelo sistema fluvial aferida é de 4,0 km², com comprimento axial de 3,4 km, perímetro de 9,5 km, largura média de 1,3 km e comprimento do talvegue de 2,7 km. Observa-se a partir do coeficiente de compacidade (Kc) de 1,32 que a sub-bacia apresenta tendência intermediária a grandes enchentes já que possui uma forma alongada (Figura 1) que, durante um evento pluviométrico, não favorece a concentração do escoamento superficial em um trecho reduzido do rio

principal, situação contrária à observada em bacias circulares, por exemplo. Por outro lado, a bacia de estudo também não apresenta a forma quadrada, verificada através do índice de conformação (Ic) de 0,35, o qual indica baixa suscetibilidade à enchentes, corroborado ainda pelo fator de forma (Kf) calculado em 0,37. Quando a bacia é quadrada há uma tendência de ocorrer fluxo simultâneo dos canais de drenagem menores para os maiores hierarquicamente, favorecendo enchentes. A forma alongada desta bacia influencia na distribuição do fluxo de maneira heterogênea ao longo do rio principal e isto resulta em maior morosidade do escoamento e menor probabilidade de cheias rápidas, já que o fluxo na bacia de drenagem não é concentrado.

As propriedades de drenagem variam em função das características físicas do terreno (litologia), do índice de pluviosidade, da forma de relevo, dos tipos de solos e da cobertura vegetal. A rede de drenagem na sub-bacia estudada foi classificada como de 1ª ordem, com 1 curso d'água. A densidade da rede de drenagem (DR) foi de 0,25 canais km⁻². Estes parâmetros indicam a baixa disponibilidade de cabeceiras de canais ou nascentes os quais demarcam o escoamento subsuperficial, fato predominante em áreas de encostas (Bogaart & Troch, 2006). O grau de dissecação topográfica e a transmissibilidade do terreno são refletidos na densidade de drenagem (Dd). A Dd encontrada também foi baixa, de 0,75 km km⁻², o que indica uma área permeável e com regime pluviométrico marcado por chuvas de baixa intensidade ou pouca concentração da precipitação.

Outro fator que guarda estreita relação com a Dd é o comprimento médio dos canais (Cm), que representa o caminho médio percorrido pelas águas pluviais antes de chegarem ao canal principal. Na bacia de estudo, o Cm foi de 0,67 km, o mesmo valor obtido por Pissarra *et al.* (2004) para uma sub-bacia do Córrego Rico constituída por Latossolo Vermelho em região similar e próxima à área de estudo. Os autores verificaram que os valores médios da extensão do percurso superficial aumentam à medida que o relevo é mais suave. Neste sentido, o elevado comprimento do percurso superficial observado nos Latossolos indica um baixo potencial de escavamento vertical dos vales e canais, razão pela qual as superfícies se mantêm pouco inclinadas.

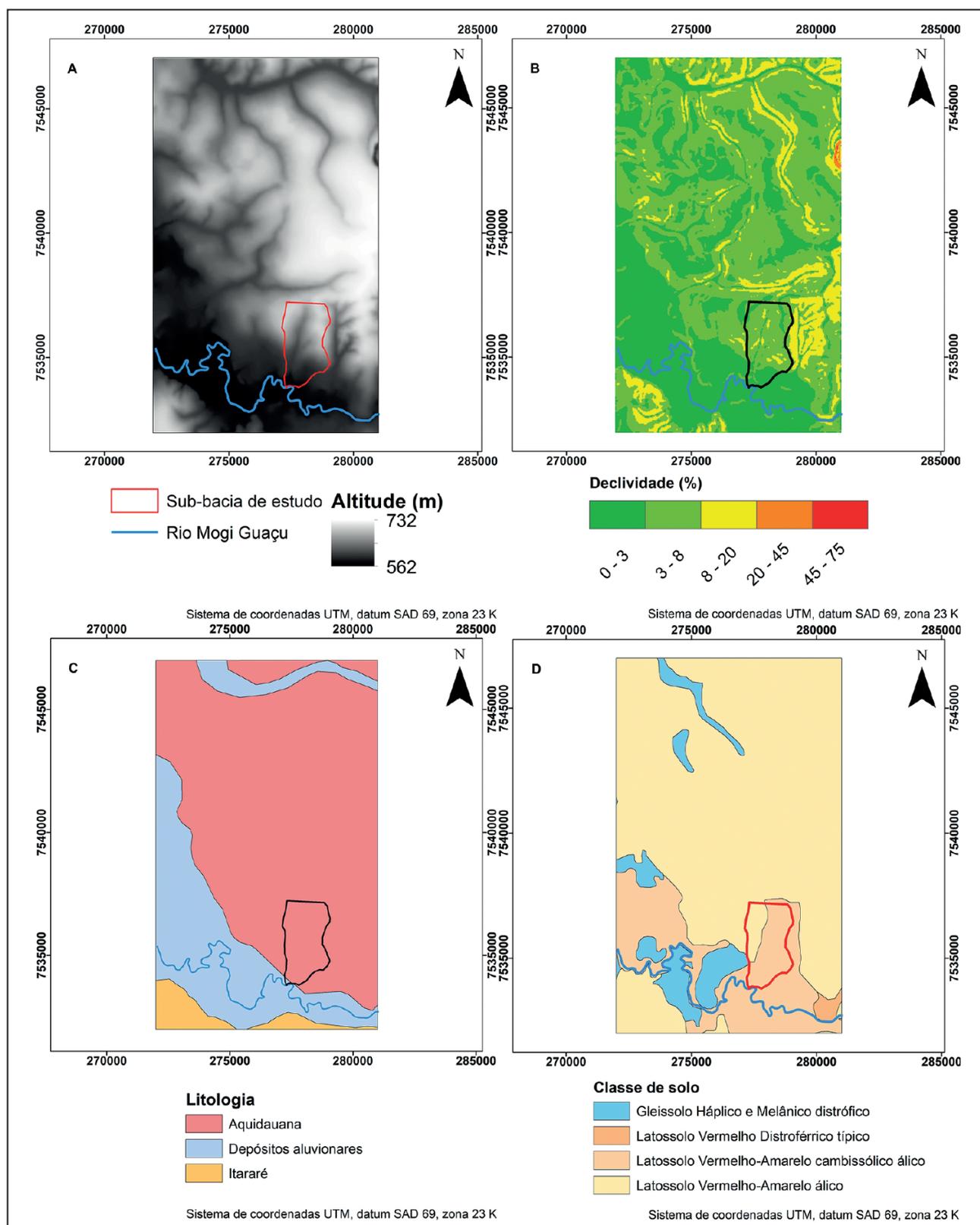


Figura 2 Principais variáveis de análise utilizadas no mapeamento geomorfológico da sub-bacia de estudo: A. Altitude; B. Declividade; C. Litologia; D. Classes de solo.

Em relação à sinuosidade dos canais, que é influenciada, entre outros fatores, pela carga de sedimentos e pela declividade dos canais (Teixeira *et al.*, 2003), o curso d'água principal apresentou valor de $S = 1,1$ o que enquadra o canal como pouco tortuoso. O perfil do curso d'água principal apresenta ainda uma variação de 52 m de altitude entre a nascente e a seção de controle, percorrendo 3,16 km, com uma inclinação média de 1,6% ($S_1=3,15\%$; $S_2=0,02\%$). O trecho de maior declividade ocorre entre 1,2 e 2,4 km, com cerca de 2,5%. Considerando a estreita relação da declividade com os parâmetros hidrológicos de infiltração da água, umidade do solo, regulação do tempo do escoamento superficial e concentração da água das chuvas no canal principal constata-se que, em declives suaves, a maior infiltração de água favorece ainda mais a redução da velocidade do escoamento superficial e, por consequência, do poder de transporte de sedimentos e matéria orgânica. Assim, apesar de ser um canal pouco tortuoso, a pequena declividade do canal (0 a 3%) favorece os processos deposicionais e denota uma área receptora de sedimentos que desagua diretamente no rio Mogi Guaçu, confirmando as observações de Zancopé *et al.* (2009) acerca da dinâmica de deposição nesta região.

De acordo com a curva hipsométrica, a sub-bacia apresenta diferença de nível total de 100 m, com altitude média de 617 m e relevo pouco movimentado, com variações entre 50 a 100 m de altitude relativa. O comprimento total das curvas de nível foi de 42 km para equidistância entre curvas de 5 m, a declividade média foi de 5,2%, caracterizando um relevo suave ondulado. Assim, devido ao relevo pouco movimentado, o escoamento superficial tende a ser lento para a maioria dos solos e o processo de infiltração é favorecido. O relevo suave potencializa também uma maior deposição de materiais na paisagem, facilitando o assoreamento. Portanto, o local apresenta uma característica deposicional, sendo os processos erosivos reservados a poucos locais de declividade mais acentuada na bacia. A presente pesquisa corrobora as análises de CPRM (2002), que também destacou um escoamento superficial lento e relevo com baixa dissecação na região da sub-bacia, além de um sistema de drenagem principal com precária capacidade de drenagem e sem restrições ao

rápido processo de assoreamento. Estas circunstâncias podem alterar a condição natural da sub-bacia quanto a baixa probabilidade de enchentes, deixando-a mais suscetível a tais ocorrências.

As características do padrão de drenagem também são importantes na análise geomorfológica em bacias hidrográficas e variam de acordo com as classes de solo, conforme verificado também nos estudos de Pissarra *et al.* (2004) e Demattê & Demétrio (1996). Em condições de relevo suave ondulado o escoamento superficial tende a ser pouco intenso. Quando estas áreas são ocupadas por Latossolos, que em decorrência do intemperismo mais avançado possuem uma superfície de maior permeabilidade, a drenagem resultante é pouco dissecada (Demattê & Demétrio, 1996). Em relação ao risco de degradação ambiental por suscetibilidade do solo à erosão hídrica, o resultado do coeficiente de rugosidade de 3,9 corroborou as observações anteriores, ou seja, o baixo risco de desenvolvimento de processos erosivos em contraponto ao processo de deposição e assoreamento.

3.2 Geomorfologia da Sub-Bacia do Rio Mogi Guaçu e Área de Entorno

O detalhamento da classificação geomorfológica resultante da análise do relevo presente na paisagem do complexo de Unidades de Conservação de Mogi Guaçu é apresentado a seguir.

1º táxon – Unidade Morfoestrutural (escala 1:500.000): Bacia Sedimentar do Paraná (IBGE, 2006).

A área de estudo está localizada dentro do município de Mogi Guaçu-SP e pertence, portanto, a Bacia Sedimentar do Paraná. No Brasil, a Bacia Sedimentar do Paraná abrange os estados de São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, com uma área aproximada de 1.600.000 Km². A bacia possui embasamento constituído em grande parte por rochas cristalinas pré-Cambrianas e, em menor, por rochas eopaleozóicas afossilíferas, sendo preenchida por depósitos marinhos e continentais datando do Siluriano Superior (Formação Furnas) ao Cretáceo (Grupo Bauru)

(Santos *et al.*, 2006). Em termos de estrutura tectônica, a Bacia é considerada o resultado final de falhamentos verticais os quais, quando profundos, se encontram em sua maioria preenchidos por diabásio, com presença abundante e extensa de soleiras (sills) (Ross & Moroz, 1996). Conforme ressaltado por Ross (1985), em bacias sedimentares os planaltos são circundados quase inteiramente por depressões periféricas.

2º táxon – Unidade Morfoescultural (escala 1:500.000): Depressão Periférica Paulista (Depressão de Mogi Guaçu) (IBGE, 2006).

Na borda leste da Bacia do Paraná, esculpida na sua quase totalidade nos sedimentos Paleomesozóicos, encontra-se a Depressão Periférica Paulista, que abrange entre outros municípios o de Mogi Guaçu e apresenta distintos modelados influenciados pelo tectonismo, litologia e graus de atuação dos processos morfodinâmicos dos diferentes ambientes pleoclimáticos (Ross & Moroz, 1996).

A Depressão Periférica Paulista apresenta densa rede de drenagem, com destaque para os rios Tietê, Paranapanema, Mogi Guaçu e Pardo. O rio Mogi Guaçu escoar até a foz sobre as rochas da Bacia Sedimentar do Paraná, onde atravessa a Depressão Periférica Paulista. A grande bacia de drenagem do rio Mogi Guaçu corta a respectiva unidade morfoescultural e constitui uma zona específica dentro da mesma, denominada Depressão de Mogi Guaçu (Ross & Moroz, 1996). Nesta área há o domínio de arenitos finos, argilitos e folhelhos (Zancopé *et al.*, 2009). O médio curso superior do rio Mogi Guaçu, onde está localizada a sub-bacia do presente estudo, escoar sobre as rochas do Grupo Itararé (Paleozoico) e neste trecho há uma mudança na morfologia do canal.

3º táxon – Unidades Morfológicas (escala 1:100.000): formas agradacionais compostas por Planícies Fluviais (Apf₁₂) e formas denudacionais de Colinas (Dc₂₂).

A Figura 3 (A) apresenta o resultado do terceiro táxon da classificação geomorfológica realizada na área de estudo. As Unidades Morfológicas encontradas na área de estudo foram Planícies Flu-

viais e Colinas. As Planícies Fluviais possuem Índice de Entalhamento de Vale (IEV) muito fraco e Índice Dimensão Interfluvial (IDI) grande, resultando no Índice de Dissecação do Relevo (IDR) = 12. Já as Colinas apresentam IEV fraco e IDI grande, com IDR = 22. O grau de dissecação é considerado médio para ambas as Unidades Morfológicas e a forma do vale encontra-se em transição entre fundo em V e fundo chato (Ross, 1985). A sub-bacia localiza-se no médio-curso-superior do rio Mogi Guaçu e, neste trecho, as planícies são extensas. As estruturas geológicas no local orientam o alinhamento do rio Mogi Guaçu, onde as intrusões básicas presentes (diques e sills) geram níveis de base locais, segmentando o canal em diferentes trechos com predomínio de sedimentação, desenvolvendo planícies fluviais. As mudanças na litologia do leito criaram níveis de base locais por erosão diferencial que promoveram bolsões de sedimentação e desenvolvimento de planícies alveolares (Zancopé *et al.*, 2009).

4º táxon – Formas de relevo dentro das Unidades Morfológicas (escala 1:25.000): Unidade Apf₁₂ (Agradacional, planície fluvial) e Unidade Dc₂₂ (Denudacional, colinas).

Dentro da Unidade Morfológica Planície Fluvial (3º táxon), a principal forma de relevo encontrada foi a Unidade Apf₁₂ (4º táxon), que ocorre em áreas de agradação, neste caso representadas por Aluviões e Terraços, ambos constituídos de sedimentos inconsolidados do Cenozoico (Figura 3 B). Dentro da Unidade Morfológica Colinas a forma de relevo dominante encontrada é a Unidade Dc₂₂ que se forma em áreas denudacionais e apresenta Colinas formadas de rochas clásticas do Paleozoico.

As colinas, aqui descritas como Unidade Dc₂₂, são uma superfície suavemente inclinada em direção ao canal fluvial, com destaque para o seu término de forma abrupta (em ruptura) avançando à montante em uma vertente de inclinação convexa.

Já os terraços aluviais constituem antigos pisos do vale fluvial. O terraço aluvial se forma por etapas de erosão que se desenvolvem ao longo do vale do rio e, portanto, reflete os períodos de rejuvenescimento. Nada impede, contudo, que a superfície do terraço seja uma área de acumulação (Thornbury,

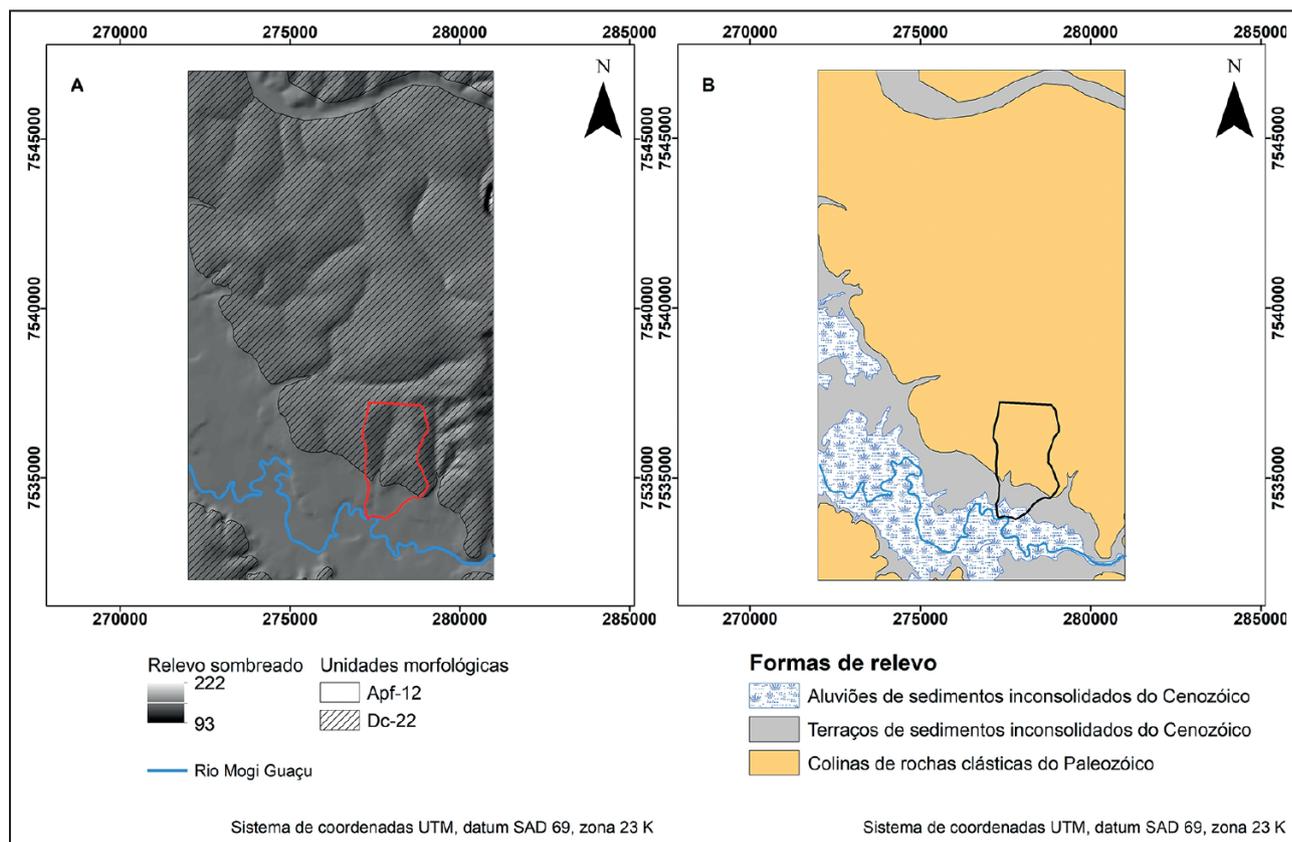


Figura 3 A. Terceiro táxon da classificação geomorfológica: Dc-22: Colina; Apf-12: Planícies Fluviais; B. Quarto táxon da classificação geomorfológica.

1966), corroborando a unidade morfológica de agração, aqui identificada como Unidade Apf-₁₂. Os aluviões recentes são correspondentes ao leito menor do rio, apresentam cobertura vegetal de mata ciliar e estão sujeitos a inundações periódicas, conforme observado nos resultados da análise fisiográfica. Assim como destacado por Perez Filho *et al.* (1980), neste estudo também foi possível distinguir ondulações superficiais no relevo desta formação, provenientes de canais de escoamento das águas após as cheias.

5º táxon – Detalhamento do relevo (tipos de vertentes) (escala 1:10.000): Aluviões, Terraços e Colinas

A classificação geomorfológica das vertentes no 5º táxon foi realizada mapeando as vertentes côncavas, convexas ou retilíneas tanto no sentido horizontal quando no sentido vertical. A classificação da área quanto à curvatura do relevo se encontra na Figura 5 (A).

Os Aluviões (Figura 3 B) encontrados são áreas planas ou de baixa declividade, de 0 a 3%, presentes nas imediações da calha principal do rio Mogi Guaçu e em altitudes abaixo de 580 m com vertentes planas e retilíneas. Um perfil típico desta situação está apresentado na Figura 4 (C). O material de origem desta forma é a Unidade Depósitos Aluvionares (Figura 2 C) e os solos predominantes são os Latossolos e Gleissolos (Figura 2 D).

Os Terraços mapeados (Figura 3 B) também apresentam áreas planas ou de baixa declividade, de 0 a 3%, porém localizadas imediatamente acima dos aluviões, ocupando a faixa altimétrica de 580 a 590 m e apresentando vertentes retilíneas e planas. Um perfil desta área está apresentado na Figura 4 (B). Possuem as mesmas origens e solos dos aluviões encontrados na área.

As Colinas presentes na área de estudo (Figura 3 B) apresentam topos amplos e arredondados,

com baixa declividade (3 a 6%) em altitudes acima de 590 m como descrito no perfil topográfico da Figura 4 (A). Com origem na Formação Aquidauana (Figura 2 C), os solos destas áreas são predominantemente planos, profundos e arenosos, normalmente da classe dos Latossolos.

Ao analisar as relações entre solos e geomorfologia em uma área de várzea inserida no Complexo de Unidades de Conservação Mogi Guaçu, Perez Filho *et al.* (1980) identificaram terraços correspondentes ao leito maior do rio Mogi Guaçu, com altitude média de 573 m, e ressaltaram a possibilidade de inundações excepcionais nestas áreas. Zancopé *et al.* (2009) destacam a influência determinante do clima no desenvolvimento de níveis de terraços uma vez que a ocorrência de mudanças climáticas afeta a magnitude e frequência das vazões. A forma do perfil longitudinal do rio é alterada com o ajuste dos processos de erosão, transporte e deposição, de forma a se adequar às novas condições climáticas.

Em estudo desenvolvido por Storani & Perez Filho (2015), foi identificado nesta sub-bacia o desenvolvimento de nível nos terraços fluviais decorrente de uma oscilação climática seca ocorrida num período pré-atual, há aproximadamente 1.900 anos. Tal oscilação foi seguida por um período mais quente e úmido que favoreceu novo entalhe do canal

fluvial, bem como a pedogênese, que por sua vez deu lugar a outra fase seca há cerca de 1.150 anos. O período atual (aproximadamente 630 anos) corresponde a um período mais quente e úmido, confirmado pelos autores e corroborado na presente pesquisa, a partir da presença da cobertura vegetal de floresta densa e do entalhamento do canal fluvial.

Perrotta *et al.* (2005) observam que os aluviões dos Depósitos Aluvionares recentes ao longo das margens e da planície de inundação do rio Mogi Guaçu são constituídos, em geral, de areias inconsolidadas de granulação variável, siltes, argilas e, subordinadamente, cascalheiras fluviais, em depósitos de calha e ou terraços. Os depósitos são resultantes de processos de erosão, transporte e deposição a partir de áreas-fonte diversas e formam solos de textura variada que podem sofrer encharcamentos ao menos durante algum período do ano.

A classe de solo predominante na sub-bacia de estudo é o Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), sendo que o LVA cambissólico álico ocupa a maior parte da sub-bacia com 267 ha e LVA álico ocorre em menor proporção, 133 ha (Figura 2 D). O local predominante de ocorrência do LVA álico na sub-bacia corresponde às áreas de aluviões e colinas, sendo o Latossolo Vermelho-Amarelo cambissólico localizado nos terraços. A partir de datação absoluta, Storani & Perez Filho (2015) esclarecem a relação entre pro-

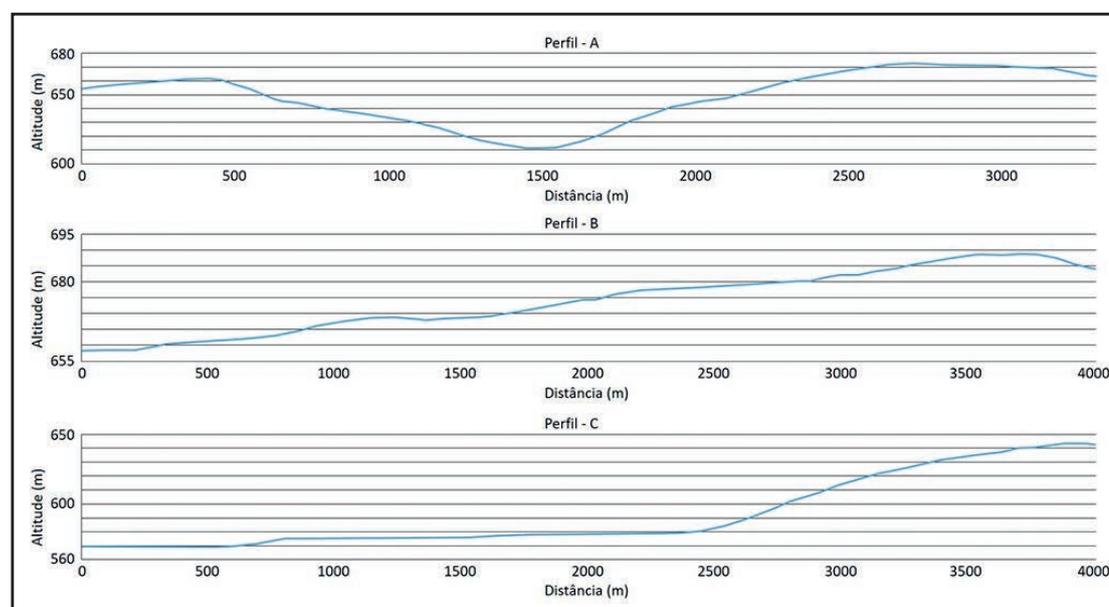


Figura 4 A. Perfil topográfico A; B. Perfil topográfico B; C. Perfil topográfico C.

priedades do solo e idade das superfícies geomorfológicas na sub-bacia. Os solos presentes nos terraços são mais novos, com 1.150 e 1.900 anos, em relação àqueles ocorrentes nas colinas, de 3.650 anos.

Na área, os LVA são formados a partir de rochas areníticas da Formação Aquidauana e de Depósitos Aluvionares (Figura 2 C) e ocorrem em unidades de mapeamento simples ou em associações com Gleissolos. São solos profundos, bem drenados, de reduzida fertilidade e com alta saturação de alumínio. No caso do LVA cambissólico álico, a distinção “cambissólico” é dada em função das propriedades intermediárias para a classe dos Cambissolos, com materiais primários alteráveis visíveis no perfil em porcentagens inferiores aos limites para a classe e relação silte/argila maior de 0,6 dentro de 200 cm da superfície do solo (EMBRAPA, 2006). A classe Gleissolo Háptico ocorre em agrupamento com os LVA e está assentado sobre Depósitos Aluvionares recentes que ocorrem sob forma de calha e ou terraços. São solos imperfeitamente drenados, de textura indiscriminada, predominando as areias e cascalhos.

Assim, é importante ressaltar que os solos da sub-bacia, bem como a sua topografia suave ondulada, são favoráveis à recarga de aquíferos subterrâneos. Ao mesmo tempo, o sistema de drenagem possui baixa capacidade de transporte de sedimentos, fato que, aliado à facilidade de desagregação do solo, contribui para a evolução do assoreamento e redução das vazões nos córregos. Este processo também foi observado por CPRM (2002) que salientou a forte tendência ao secamento de alguns cursos d'água em curto prazo. Daí a importância da conservação da vegetação arbórea em toda a área, de forma a proteger o solo direta e indiretamente contra o impacto das gotas de chuva e enxurradas.

6º táxon – Formas menores produzidas por processos atuais ou ação antrópica (escala 1:10.000): Diques e/ou Represas, Estradas, Erosão laminar e Erosão em sulcos.

Os processos erosivos e de deposição mapeados ocorrendo atualmente na área de estudo são decorrentes principalmente devido à ação antrópica e estão ligados majoritariamente a um dos fatores listados: estradas, áreas degradadas ou com baixa

cobertura vegetal, diques ou represas, córrego Campininha ou a pontos de erosão ou deposição mapeados em campo (Figura 5 B). Os diques e/ou represas referem-se aos barramentos do fluxo fluvial para fins de abastecimento doméstico, recreação e como fonte de água para animais domésticos. No caso das estradas, a localização próxima aos limites naturais das sub-bacias altera a direção normal do fluxo de água e compromete a conservação do solo, atuando como grande responsável pelo desprendimento de sedimentos no próprio leito e no entorno (Figura 6 B). É possível verificar pontos de erosão laminar causados pelo fluxo superficial das chuvas e focos de erosão em sulcos (Figura 6 A).

O processo erosivo pode afetar a qualidade e disponibilidade de água dos corpos hídricos, pois leva ao assoreamento. Os solos da sub-bacia são de grande espessura e permeabilidade, o que favorece a percolação da água em subsuperfície. Contudo, devido ao material de origem ser constituído de arenitos do Grupo Itararé e da Formação Aquidauana, os solos possuem textura mais arenosa e consequentemente baixa agregação de partículas. Esta característica favorece a evolução do processo erosivo, principalmente em maiores declividades. Na planície de inundação, onde está localizada parte da sub-bacia, há a deposição deste material transportado das encostas.

Observações de campo atestaram uma maior ocorrência de erosão nas áreas ao norte e nordeste da sub-bacia, cujo relevo mais ondulado é referente às colinas de rochas clásticas do Paleozoico, enquanto a deposição de sedimentos se concentrava principalmente na área mais plana próxima ao rio Mogi Guaçu, geomorfologicamente referente aos aluviões e terraços de sedimentos inconsolidados do Cenozoico. Outro fator associado ao relevo mais inclinado é a ocorrência do Latossolo Vermelho-Amarelo cambissólico álico, classe de solo que apresenta elevada suscetibilidade à erosão em grande parte desta região. Já às margens do rio Mogi Guaçu, apesar de ocorrer a mesma classe de solo mencionada, o relevo plano com declividade inferior a 3% não estimula o desenvolvimento do processo erosivo. As áreas planas, que abrangem cerca de 30% de toda a bacia (120 ha), são menos suscetíveis a erosão e consti-

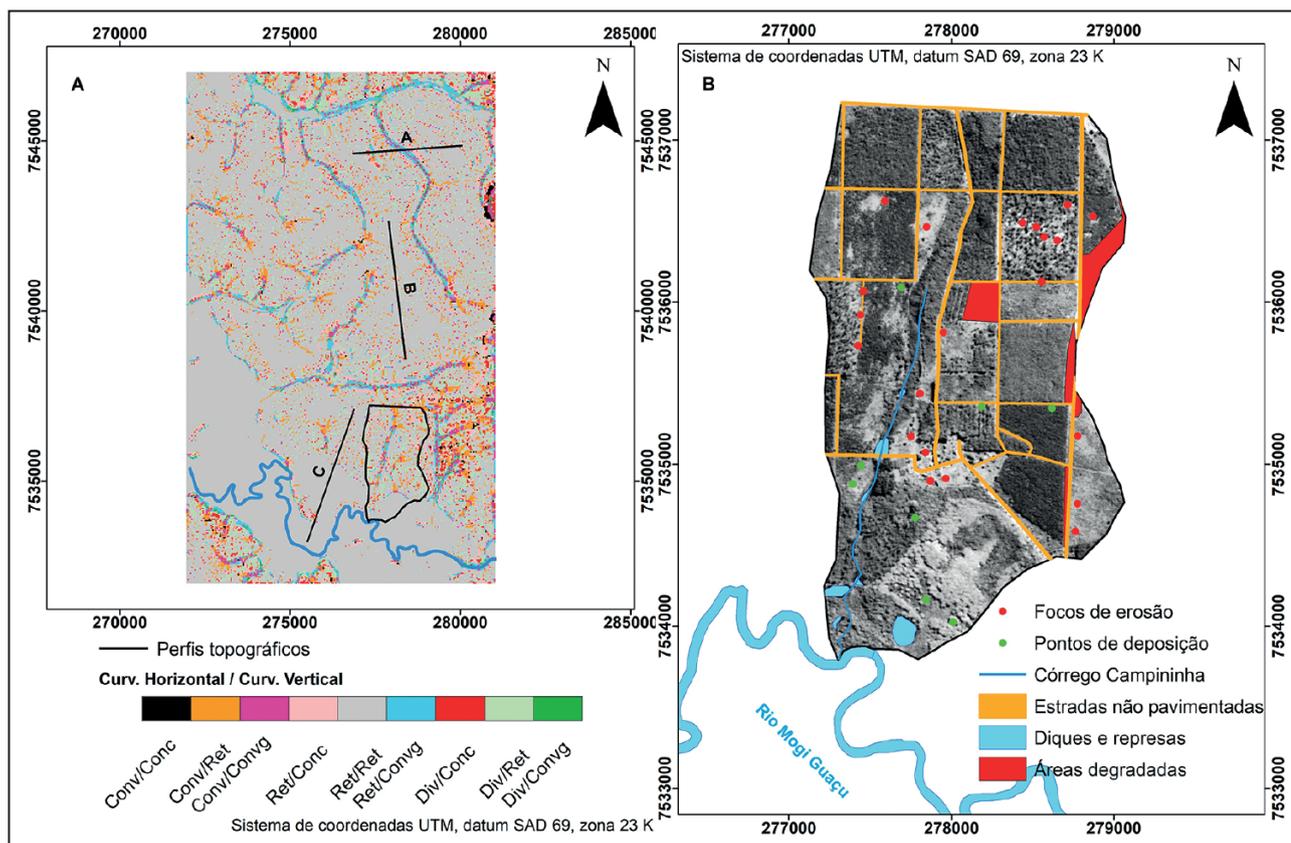


Figura 5 A. Quinto táxon da classificação geomorfológica: curvaturas horizontais e curvaturas verticais e localização dos perfis topográficos apresentados na Figura 4; B. Sexto táxon da classificação geomorfológica: processos geomórficos atuais.



Figura 6 A. Trecho com erosão na área de estudo; B. Trecho com deposição na área de estudo.

tuem, simultaneamente, locais de deposição do material erodido. Estas áreas correspondem às planícies aluviais, onde são encontrados depósitos aluvionares que sofrem inundação periódica.

A presença de espécies arbóreas potencializa a retenção de sedimentos pela mata ciliar e protege o solo do processo erosivo. Os resíduos vegetais em contato direto com a superfície do solo são muito

eficazes na redução da carga de sedimentos no escoamento superficial, pois, sob tal forma, eles formam uma intrincada rede filtrando os sedimentos em suspensão na enxurrada (Bertoni & Lombardi Neto, 2005). Ao proteger o solo contra a degradação provocada pela erosão, a água que poderia ser perdida através do escoamento superficial se infiltra no solo e percola até as camadas mais profundas, abastecendo os aquíferos. Assim, a floresta nativa colabora diretamente para que o solo mantenha a sua função de meio de entrada de água da chuva na bacia hidrográfica e conseqüentemente, interfere no sistema hidrológico local.

Neste contexto, a vegetação florestal da sub-bacia interfere no ambiente físico atuando diretamente na dinâmica das águas superficiais favorecendo a infiltração e a recarga das águas subterrâneas, bem como minimizando os processos deposicionais, principalmente o assoreamento do canal. Torna-se imprescindível, portanto, a sua preservação e recuperação nas áreas menos densas através de reflorestamento e também que se tenham cuidados com as fontes potencialmente poluidoras, a fim de que sejam tomadas medidas para diminuir o fluxo de sedimentos nos canais de drenagens, corroborando as recomendações de CPRM (2002).

4 Conclusões

O reconhecimento e compartimentação das formas e tipos distintos de relevo na região possibilitou analisar a dinâmica do fluxo superficial e, conseqüentemente, dos processos de deposição de sedimentos e recarga de água subterrânea.

A análise fisiográfica revelou uma bacia de forma alongada, com tendência natural intermediária a baixa à ocorrência de enchentes, baixa disponibilidade de nascentes e baixa densidade de drenagem, indicando uma boa permeabilidade do solo. Devido ao relevo suave ondulado, o escoamento superficial tende a ser lento, característica que facilita o processo de infiltração. A pequena declividade do canal indica uma área receptora de sedimentos (planície aluvial) e favorece os processos deposicionais, entre eles o rápido assoreamento do canal fluvial, o que aumenta a suscetibilidade da sub-bacia a enchentes.

Em contraponto a estas características fisiográficas, a vegetação arbórea ciliar protege a rede de drenagem dos sedimentos e contribui para a melhoria da qualidade da água dos corpos hídricos.

O mapeamento geomorfológico da sub-bacia e de seu entorno refinou a percepção dos processos agradacionais (planícies aluviais e terraços) e denudacionais (colinas) envolvidos na formação do relevo desde sua origem até os dias atuais. As áreas de agradação ocorrem em altitudes inferiores a 590 m, apresentando relevo plano ou com baixa declividade, com vertentes também planas e retilíneas e solos predominantemente da classe dos Latossolos ou dos Gleissolos. As formas de relevo encontradas nestas áreas são os aluviões, em altitudes inferiores a 580 metros e os terraços, localizados entre 580 e 590 metros. Já as áreas de denudação, que ocorrem na parte alta da paisagem em altitudes acima dos 590 m, apresentam o relevo dominado por colinas de baixa declividade (3 a 6%), com topos amplos e arredondados.

Em relação à classe de solo dominante na área, os Latossolos, os resultados fisiográficos refletem a textura arenosa da mesma e indicaram uma boa permeabilidade à água na bacia, contudo, devido a facilidade de desagregação deste material, também foi verificada a alta suscetibilidade ao assoreamento que conseqüentemente pode contribuir para a redução da vazão do córrego. Desta forma, o solo é transportado das áreas mais altas (colinas) e se deposita nas áreas mais baixas próximas ao rio Mogi Guaçu, correspondentes às planícies aluviais onde são encontrados depósitos de sedimentos periodicamente inundáveis (aluviões). Os processos erosivos e deposicionais observados atualmente na área de estudo encontram-se acelerados pela ação antrópica (diques e/ou represas, áreas degradadas, estradas, entre outros) e, portanto, necessitam também de medidas antrópicas de controle, de modo a reequilibrar a dinâmica hidrológica natural.

A análise da topografia e das classes de solo, associada à interação com seus usos e ocupações é uma informação fundamental para estudos e ações que visam à conservação do solo e da água, uma vez que interferem ativamente no ciclo hidrológico local.

5 Agradecimentos

À CAPES e ao CNPq, pela concessão das bolsas de estudo aos autores deste trabalho; à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento do projeto (Nº 2013/22729-2); e ao Instituto Florestal (IF-SP) pelo apoio logístico para condução do estudo.

6 Referências

- Bertoni, J. & Lombardi Neto, F. 2005. *Conservação do solo*. 5ª edição. São Paulo: Ícone, 355 p.
- Bogaart, P.W. & Troch, P.A. 2006. Curvature distribution within hillslopes and catchments and its effect on the hydrological response. *Hydrology and Earth System Sciences*, 10: 925-936.
- CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Serviço Geológico do Brasil/Coordenadoria de Planejamento Ambiental. 2002. *Atlas geoambiental das bacias hidrográficas dos rios Mogi-Guaçu e Pardo – SP: subsídios para o planejamento territorial e gestão ambiental*. CPRM/CPLA: São Paulo. 77p.
- Demattê, J.A.M. & Demétrio, V.A. 1996. Fotointerpretação de padrões de drenagem em amostras circulares na caracterização de solos basálticos do estado do Paraná. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 20(2): 109-115.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2006. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro, 306p.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2006. *Atlas Nacional do Brasil. Unidades de relevo*. 2ª edição. Rio de Janeiro.
- Perez Filho, A.; Donzelli, J.L. & Lepsch, I.F. 1980. Relação solos geomorfologia em várzea do rio Mogi Guaçu (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 4(3): 181-187.
- Perrota, M.M.; Salvador, E.D. & Sachs, L.L.B. 2005. *Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:750.000*. São Paulo: CPRM. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil.
- Pissarra, T.C.T. 2004. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico, Jaboticabal (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28(2): 297-305.
- Ross, J.L.S. 1985. Relevo Brasileiro: Uma Nova Proposta de Classificação. *Revista do Departamento de Geografia (USP)*, 4: 26-39.
- Ross, J.L.S. 1992. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. *Revista do Departamento de Geografia (USP)*, 6: 17-29.
- Ross, J.L.S. & Moroz, I.C. 1996. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. *Revista do Departamento de Geografia (USP)*, 10: 41-58.
- Santos, L.J.C.; Oka-Fiori, C.; Canali, N.E.; Fiori, A.P.; Silveira, C.T.; Silva, J.M.F. & Ross, J.L.S. 2006. Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 7(2): 3-12.
- Sparovek, G.; Van Lier, Q.J. & Dourado-Neto, D. 2007. Short Communication Computer assisted Koeppen climate classification: a case study for Brazil. *International Journal of Climatology*, 27: 257-266.
- Storani, D.L. & Perez Filho, A. 2015. Novas Informações Sobre Geocronologia na Planície de Inundação do rio Mogi Guaçu, SP, Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 16(2): 191-199.
- Strahler, A.N. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *New Haven: Transactions: American Geophysical Union*, 38: 913-920.
- Teixeira, W.; Toledo, M.C.M.; Fairchild, T.R. & Taioli, F. 2003. *Decifrando a terra*. 2ª edição. São Paulo: Oficina de Textos, 558p.
- Thornbury, W. D. 1966. *Princípios de Geomorfologia*. Kapelus: Buenos Aires, 643p.
- Tucci, C. E. M. 1997. (Org.). *Hidrologia: ciência e aplicação*. 2ª edição. Porto Alegre: Editora da Universidade, Coleção ABRH de Recursos Hídricos, 943p.
- Vilella, S. M. & Mattos, A. 1975. *Hidrologia aplicada*. São Paulo, McGraw-Hill, 245p.
- Zancopé, M.H.C.; Filho, A.P. & Júnior, S.C. 2009. Anomalias no perfil longitudinal e migração dos meandros do rio Mogi Guaçu. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 10(1): 31-42.