

## Caracterização morfométrica das microbacias hidrográficas de abastecimento hídrico de Bebedouro (SP)

Morphometric characterization of water supply watersheds of Bebedouro (SP)

Rafael Marini Pascholetti Perri dos Santos<sup>1</sup>, Adriana Cavalieri Sais<sup>2</sup>,  
Maria Leonor Ribeiro Casimiro Lopes-Assad<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós-graduação em Agricultura e Ambiente, Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, Araras, SP, Brasil.

<sup>2</sup> Departamento de Desenvolvimento Rural, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, Araras, SP, Brasil.

<sup>3</sup> Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, Araras, SP, Brasil. Autor para correspondência: assad@ufscar.br

---

### RESUMO

O uso e manejo dos recursos naturais de forma sustentável é um desafio para a sociedade atual. A microbacia hidrográfica (MBH) é uma unidade básica para o planejamento ambiental e as geotecnologias permitem inferir sobre características físicas da paisagem. Objetivou-se neste trabalho caracterizar as MBHs dos córregos da Consulta e do Retiro por meio de índices topográficos, parâmetros morfométricos e da análise do uso e ocupação dos solos. As MBHs são usadas no abastecimento público e estão localizadas no município de Bebedouro (SP). Os parâmetros envolvendo as características geométricas, de relevo e de drenagem foram determinados a partir de processamentos executados em Sistema de Informações Geográficas (SIG), tomando-se como base imagens orbitais com resoluções espaciais de 30 m e 90 m e carta topográfica do IBGE em escala 1:50.000. Os resultados permitiram evidenciar que as duas MBHs são semelhantes nos seus parâmetros físicos (fator de forma de bacia, densidade de drenagem, comprimento de canais, entre outros), na distribuição das classes de índice topográfico de umidade (ITU) e em atributos geomorfológicos. Conclui-se que a caracterização por meio de sensoriamento remoto em ambiente SIG permite subsidiar tomada de decisões para o planejamento agrícola e ambiental destas MBHs.

**Palavras-chave:** modelo digital de elevação, índice topográfico de umidade, conservação ambiental.

---

### ABSTRACT

Nowadays society has a challenge to deal with sustainable use of finite environmental resources in a growing population. So on, the watersheds are a basic unity for environmental planning and geotechnologies can help to infer about landscape environmental characteristics. This work aimed to characterize Consulta's Stream and Retiro's Stream watersheds by topographic indices, morphometric parameters and soil land use and occupation analysis. The watersheds are responsible for public water supply of Bebedouro municipality, state of São Paulo, Brazil. Morphometric parameters, topographic indices and land cover classification were processed in Geographical Information System (GIS) through 30 and 90 m resolution orbital images sensors and 1:50.000 cartographic map. Results showed physical similarities between Consulta's stream and Retiro's stream watersheds (form factor, drainage density, channel length, and others parameters). Results pointed equal Topographic Wetness Index (TWI) class distribution and geomorphologic similarities too. It is concluded that remote satellite sensing characterization in GIS offers important information for decision-making for environmental and agricultural planning of these watersheds.

**Keywords:** digital elevation model, topographic wetness index, environmental conservation.



## INTRODUÇÃO

A evolução da sociedade humana está intimamente ligada à sua habilidade de se relacionar com o ecossistema no qual está inserida. No processo de organização, regido por uma estrutura social e econômica, a qual se subsidia por recursos naturais, é fundamental a prática de um modelo de desenvolvimento sustentável, de forma a compatibilizar o uso e manejo dos recursos naturais com práticas conservacionistas que permitam a seguridade destes.

Desde 2012, municípios paulistas têm se deparado com reduções da pluviosidade que provocam impactos no abastecimento público de água. Porém, entender a crise somente a partir da perspectiva climática exclui pontos importantes relacionados com a responsabilidade dos atores e instituições envolvidas na governança da água (Jacobi et al., 2015).

Na ocupação de habitats naturais podem ocorrer vários impactos negativos, em diferentes graus, como aumento da erosão, mudanças no comportamento da água em bacias hidrográficas, diminuição da disponibilidade de água, aumento da emissão de dióxido de carbono para atmosfera, declínio da biodiversidade, entre outros (Li et al., 2009; Tan et al., 2015). As alterações do clima e do uso do solo são fatores-chave que podem modificar regimes de fluxo e disponibilidade de água (Fernandes et al., 2013; Yin et al., 2017). Mas com as mudanças nos padrões globais de precipitação (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014), ocorrem mudanças no ciclo global da água, afetando

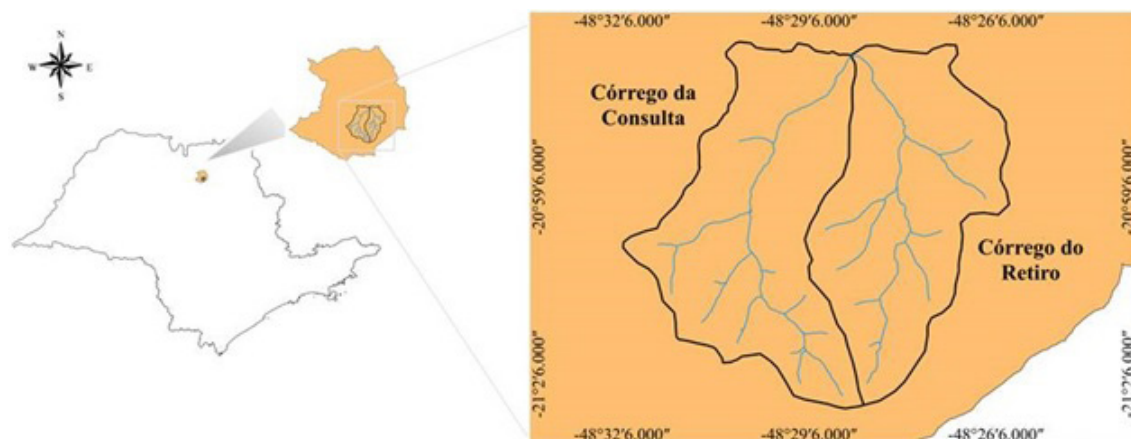
processos de interceptação, evapotranspiração, infiltração e escoamento (Sterling et al., 2012).

A microbacia hidrográfica é uma unidade básica para o planejamento sustentável regional, de acordo com as características de cada microrregião. Neste trabalho adotou-se o conceito de microbacia proposto por Calijuri e Bubel (2006) que consideram que é a área formada por canais de 1ª e 2ª ordem e, em alguns casos, de 3ª ordem, definida com base na dinâmica dos processos hidrológicos, geomorfológicos e biológicos. Seu estudo por meio de geotecnologias permite inferir características ambientais, orientar tomada de decisões para o planejamento e gestão territorial, e contribuir para o manejo de bacias hidrográficas de uma forma relativamente rápida e menos onerosa. A caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica contribui para o entendimento da dinâmica ambiental local e regional, pois permite a diferenciação de áreas homogêneas (Antoneli e Thomaz, 2007; Teodoro et al., 2007). Portanto, o objetivo deste trabalho foi estimar o índice topográfico de umidade e caracterizar a morfometria e o uso e ocupação dos solos das microbacias hidrográficas (MBHs) do Córrego da Consulta e do Córrego do Retiro, ambas responsáveis pelo abastecimento público de água do município de Bebedouro (SP).

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de Estudo

O estudo foi conduzido em duas MBHs circunvizinhas (Córrego da Consulta e Córrego do Retiro), localizadas no município de Bebedouro, São Paulo (Brasil) (Figura 1),



**Figura 1.** Localização das microbacias hidrográficas (MBHs) do Córrego da Consulta e do Córrego do Retiro, em Bebedouro (SP).

que conta com uma população de 75.035 habitantes (4,7% residentes na zona rural) (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2017). As duas microbacias estão compreendidas na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Baixo Pardo/Grande (UGRHi - 12).

Nas duas microbacias predominam atividades agrícolas, majoritariamente cana e laranja, e em menor proporção, silvicultura, hortaliças, entre outras. O mapa de solos de São Paulo, em escala 1:250.000 (Oliveira et al., 1999), indica a presença de Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho. Estão situadas no domínio fitogeográfico de transição entre Mata Atlântica e Cerrado, com vegetação remanescente formada por fragmentos de floresta estacional semidecidual, savana florestada e matas ciliares, conforme observação em campo. A média anual de precipitação para a região entre 1999 e 2015 foi de 1482 mm, apresentando dois períodos bem definidos: seco (abril a setembro) e chuvoso (outubro a março) (Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento, 2016). Na série temporal (média para 17 anos), o período chuvoso pode concentrar mais de 80% do volume total anual de precipitação e, em alguns anos, observou-se volume de precipitação muito abaixo da média anual durante um período de seis meses (período seco), registrando, por exemplo, volume de 6% em relação ao volume total anual de precipitação em 1999; 9% em 2009; e 10% em 2010 (Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento, 2016).

#### **Uso e Ocupação dos Solos**

As classes de uso e ocupação dos solos das MBHs foram obtidas por meio de classificação supervisionada em imagens *Rapideye* e da vetorização de imagem Google Earth (p. ex. corpos d'água). Corpos d'água, áreas cultivadas e de uso antrópico, área edificada, formação florestal, vegetação herbácea não cultivada e silvicultura foram as classes estabelecidas para as MBHs. Observaram-se também Áreas de Preservação Permanente (APPs) e áreas declaradas de uso consolidado em APPs em relação ao uso e ocupação. As APPs foram identificadas de acordo com as faixas de distância fixadas na Lei 12.651 (Brasil, 2012, Artigo 4º) e as áreas de uso consolidadas foram consultadas no Cadastro Ambiental Rural (2016) do município de Bebedouro (SP). As interpretações foram aferidas em duas verificações de campo na área de estudo.

#### **Morfometria**

Foram utilizados dados dos sensores orbitais SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) e ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*); Carta Topográfica na escala 1:50.000 (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1972); imagens do satélite *Rapideye* (setembro/2013 e fevereiro/2014) e imagens *Google Earth*® (disponíveis no complemento *Open Layers Plugin* do QGIS, ano 2016).

A análise morfométrica das MBHs foi feita no QGIS, utilizando-se a carta topográfica, com curvas de nível de 20 m. As observações sobre a rede de drenagem foram feitas por meio de imagens *Google Earth*®.

Para a delimitação da área de interesse, procedeu-se o processamento das classes de elevação na carta topográfica e extraiu-se o contorno dos limites topográficos das MBHs. Foram determinados os parâmetros referentes à área e perímetro das MBHs, fator de forma, índice de circularidade, coeficiente de compactidade, área total dos corpos d'água, comprimento do eixo das MBHs, comprimento do canal principal, comprimento total dos canais, densidade de drenagem, densidade hidrográfica, identificação de nascentes, número total de cursos d'água e ordem dos canais.

#### **Índices Topográficos**

Os índices topográficos determinados para a área de estudo foram o índice de declividade e o índice topográfico de umidade (ITU) [ $\ln(ac/\tan\beta)$ ]. O índice de declividade foi determinado pelo método de Zevenbergen e Thorne (1987) e as classes de declividade foram estabelecidas de acordo com Lepsch et al. (1991), usando-se o MDE-30. O ITU foi calculado conforme Beven e Kirkby (1979), considerando a tangente do índice de declividade ( $\beta$ ) e o algoritmo de acumulação de fluxos ( $ac$ ). O algoritmo  $ac$  foi calculado pelo método de Seibert e McGlynn (2007). O ITU foi agrupado em sete classes de frequência, com a classe um indicando a menor umidade e a classe sete representando a saturação hídrica.

Foram elaborados dois modelos digitais de elevação (MDE) para representação da área de estudo utilizando o programa *System for Automated Geoscientific Analyses* (SAGA). Um MDE foi obtido a partir de imagens do sensor SRTM, com resolução espacial de 90 m (MDE-90), e nele foi determinado o ITU. O segundo MDE foi elaborado

a partir de imagem do sensor ASTER, com resolução espacial de 30 m (MDE-30), e com ele foram definidas as classes de declive. Com base no plano vetorial da área de interesse, fez-se a extração das imagens SRTM e ASTER. As grades de elevação dos dois MDEs foram interpoladas para 15 m por meio da interpolação *Multilevel  $\beta$ -Spline* (Lee et al., 1997), para discretização dos índices processados. No processamento dos índices topográficos, os MDEs foram pré-processados para remoção dos sumidouros no módulo *Terrain Analysis*, no método de Planchon e Darboux (2001).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Uso e Ocupação dos Solos

As duas microbacias estão inseridas em grande parte na área rural, com apenas 6,6% da área total localizada em área urbana (Tabela 1). Por outro lado, mais de 85% da área das duas microbacias encontra-se ocupada por cultivos e uso antrópico. A classe formação florestal abrange matas ciliares e remanescentes florestais, havendo também bosques com ocorrência de espécies

exóticas. Na classe vegetação herbácea não cultivada verificou-se a presença de gramíneas de característica higrófila, tanto espécies herbáceas nativas quanto exóticas, próxima aos canais de drenagem. Essas áreas sugerem locais de intensa atividade hidrológica, desflorestadas e atualmente sem a continuidade de atividades agrícolas.

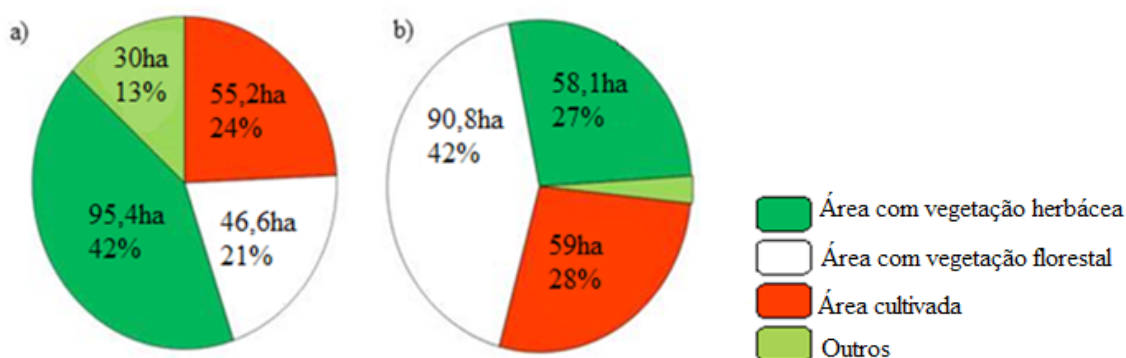
O uso e ocupação nas APPs das microbacias apontaram incompatibilidades com a legislação florestal. Uma parcela significativa das APPs das microbacias apresentou-se com uso e ocupação antrópico (Figura 2) e de vegetação herbácea não cultivada, ou seja, sem a cobertura de matas ciliares. Portanto, as APPs apresentaram um déficit de 150 ha (66%) e 117 ha (55%) de vegetação nativa nas MBHs da Consulta e MBH do Retiro, respectivamente. No entanto, 49,3 ha (18%) das APPs na MBH da Consulta e 27,5 ha (13%) das APPs na MBH do Retiro foram declaradas de uso consolidado.

### Morfometria

As MBHs dos Córregos da Consulta e do Retiro possuem características físicas semelhantes (Tabela 2), com um padrão de drenagem hidrográfica dendrítico

**Tabela 1.** Área em km<sup>2</sup>, com porcentagem entre parênteses, das classes de uso e ocupação na microbacia hidrográfica do Córrego da Consulta e do Córrego do Retiro, identificadas por meio de imagem *Rapideye*, de setembro de 2013 e fevereiro de 2014.

Classe de uso e ocupação	MBH da Consulta		MBH do Retiro	
	km <sup>2</sup> (%)		km <sup>2</sup> (%)	
Corpos d'água	0,29	(0,71)	0,11	(0,31)
Área cultivada e de uso antrópico	34,30	(85,27)	31,10	(85,93)
Área edificada	3,14	(7,81)	1,88	(5,21)
Formação florestal	1,35	(3,36)	2,47	(6,83)
Vegetação herbácea não cultivada	1,00	(2,50)	0,62	(1,72)
Silvicultura	0,15	(0,36)	0	(0)
Total	<b>40,23</b>	<b>(100)</b>	<b>36,20</b>	<b>(100)</b>



**Figura 2.** Uso e ocupação dos solos, em hectares e em porcentagem da área total, nas Áreas de Preservação Permanente das microbacias hidrográficas do Córrego da Consulta (a) e do Retiro (b). Outros inclui corpos d'água artificiais e cursos hídricos canalizados.

**Tabela 2.** Caracterização ambiental das microbacias (MBH) da Consulta e do Retiro, localizadas em Bebedouro (SP).

	MBH Consulta	MBH Retiro	MBHs juntas
	Características geométricas		
Área total (km <sup>2</sup> )	40,23	36,20	76,41
Área total de corpos d'água (km <sup>2</sup> )	0,32	0,09	0,40
Comprimento do eixo (km)	11,24	11,24	11,24
Fator de forma (Ff)*	0,32	0,29	0,6
Perímetro (km)	34,3	30,3	40,3
Índice de circularidade (IC)*	0,43	0,5	0,59
Coefficiente de Compacidade (Kc)*	1,51	1,41	1,29
Características de relevo			
Altitude média (m)	598,32	600,16	598,97
Altitude máxima (m)	678,28	663,01	678,28
Altitude mínima (m)	532,9	532,9	532,9
Declividade média (%)	7,47	7,8	7,62
Declividade mínima (%)	0	0	0
Declividade Máxima (%)	39,57	40,14	40,14
Orientação predominante	Norte	Norte	Norte
Características da rede de drenagem			
Número total de cursos d'água	16	12	28
Nascentes identificadas	14	11	25
Comprimento do canal principal (km)	13,386	11,705	13,386
Comprimento total dos canais (km)	30,58	28,20	58,78
Densidade hidrográfica (cursos/km <sup>2</sup> )	0,40	0,30	0,35
Densidade de Drenagem (km/km <sup>2</sup> )	0,76	0,78	0,77
Ordem dos Canais	3 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>
Padrão de drenagem	Dendrítico	Dendrítico	Dendrítico

\*Adimensional.

e orientação predominante no sentido Norte, reflexo do controle estrutural exercido pelo assentamento de arenitos de granulação de fina a muito fina da formação Adamantina sobre basaltos da Formação Serra Geral que possuem condições aquíferas restritas (Carlos et al., 2012). O ponto mais alto se encontra a 646 m de altitude e o mais baixo, onde está localizada a área urbana do município, se situa a 547 m, na confluência dos Córregos da Consulta e do Retiro, formando o Córrego Bebedouro, em um curso de 4<sup>a</sup> ordem, de acordo com a hierarquia de Strahler.

Com base nos valores de fator de forma (Ff), índice de circularidade (IC) e de coeficiente de compacidade (Kc) (Tabela 2), pode-se inferir que as microbacias dos Córregos da Consulta e do Retiro apresentam um tempo de concentração de médio a alto, ou seja, não sujeita a enchentes. O tempo de concentração é dado pelo tempo que a água que cai no ponto mais distante leva para chegar à foz. As MBHs apresentaram um padrão alongado de Ff, dado pela relação de área e comprimento do eixo de bacia. Valores altos sugerem maior propensão à concentração do escoamento direto e valores baixos

indicam menor influência sobre a concentração do escoamento direto, menor chance de chuvas incidirem integralmente na área total da bacia e conseqüentemente menor tendência a inundações (LIMA, 2008). Uma bacia será mais suscetível a enchentes acentuadas quando Kc e Ff forem mais próximos da unidade e o índice de circularidade for superior a 0,51 (Cardoso et al., 2006). Os parâmetros IC e Kc observados foram compatíveis com outras microbacias (Cardoso et al., 2006; Ferrari et al., 2013; Silva et al., 2014). As duas MBHs apresentaram uma baixa densidade hidrográfica, ou seja, pouco número de canais de drenagem em relação à área da bacia, sendo maior para a MBH da Consulta.

A análise conjunta das duas MBHs estudadas pode ser mais adequada para a gestão de bacias hidrográficas no âmbito regional, dada a proximidade, as similaridades geomorfológicas e a confluência de seus cursos hídricos. Esta se dá numa faixa estreita de interligação entre as duas MBHs, a jusante, em trecho de área urbana, no ponto mais baixo das duas MBHs.

Os parâmetros calculados para a área de abrangência das duas microbacias apresentaram resultados diferentes,



principalmente nos valores de IC, Ff e Kc, que indicaram um padrão mais circular para as MBHs conjuntamente do que separadamente (Tabela 2). As MBHs juntas somam uma área de contribuição relativamente grande, de 76,41 km<sup>2</sup>, com baixa densidade de drenagem e densidade hidrográfica (Tabela 2). Essas características físicas, atreladas a fatores como baixa permeabilidade em áreas edificadas, limitada capacidade de drenagem do vertedouro e, principalmente, ocorrência de precipitações

intensas, podem atribuir riscos de alagamentos e enchentes nas áreas urbanas.

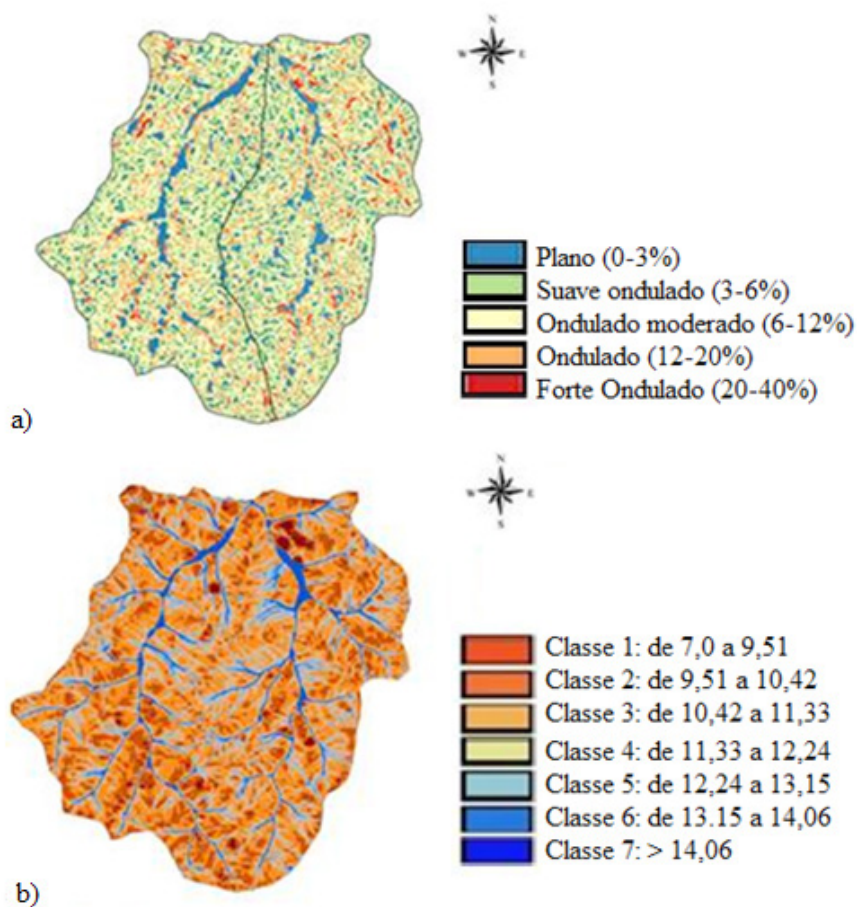
### Índices Topográficos

As MBHs da Consulta e do Retiro também apresentaram resultados semelhantes nos valores dos índices topográficos processados, ITU e classes de declividade (Tabela 3 e Figura 3).

As três classes de maior valor de ITU juntas representaram 14% (536,96 ha) da área da MBH da

**Tabela 3.** Áreas por classes de declividade e por classe de Índice Topográfico de Umidade (ITU), a partir dos resultados gerados para as Microbacias dos Córregos da Consulta e do Retiro, em Bebedouro (SP).

ITU	Declividade (%)		Área (ha)	
	Consulta	Retiro	Consulta	Retiro
1 (7 a 9,51)	70,76	74,25	592,26	533,87
2 (9,51 a 10,42)	923,47	659,36	869,03	753,31
3 (10,42 a 11,33)	1657,10	1488,80	1803,83	1545,26
4 (11,33 a 12,24)	805,39	816,73	685,41	697,28
5 (12,24 a 13,15)	292,84	306,09		
6 (13,15 a 14,06)	99,95	102,74	71,82	89,83
7 (14,06 a 24,5)	171,18	162,52		



**Figura 3.** Representações espaciais das classes de declividade: (a) mapa das classes de Índice Topográfico de Umidade (ITU); e (b) das microbacias hidrográficas da Consulta e do Retiro, em Bebedouro (SP).

Consulta e 16,8% (571, 34 ha) da MBH do Retiro. A classe de maior índice (> 14,06) correspondeu a 4,26% da área da MBH da Consulta e a 4,5% da MBH do Retiro, constituindo áreas mais propensas à condição de umidade, incluindo os cursos hídricos perenes e as áreas ripárias destas MBHs. O ITU indica também as áreas mais propensas a uma rápida saturação durante precipitações e locais onde o processo de escoamento superficial é mais atuante. Essas áreas seriam recomendadas para a conservação ambiental (por exemplo, com vegetação nativa) devido à sua importância hidrológica.

Nas duas MBHs observou-se predominância de relevo ondulado moderado (6 a 12%), representando 44% da área total da MBH da Consulta e 42% da MBH do Retiro. Áreas com declividade de 20% a 40%, que apresentam maior suscetibilidade a erosão do que as de declividade mais suave, ocuparam 1,79% da área total da MBH da Consulta e 2,48% da MBH do Retiro. São áreas que merecem atenção no uso e manejo dos solos destas MBHs.

## CONCLUSÕES

A caracterização morfométrica indica um forte controle estrutural da drenagem. Na análise conjunta, as características físicas, a baixa permeabilidade em áreas edificadas, a limitada capacidade de drenagem do vertedouro e o risco de precipitações intensas podem causar alagamentos e enchentes nas áreas urbanas. Considerando a delimitação geográfica e geomorfológica muito próxima e o papel das microbacias estudadas no abastecimento público da cidade de Bebedouro, em São Paulo, a análise conjunta das duas MBHs estudadas é mais adequada. Como as MBHs se situam integralmente nos limites municipais, confere maior autonomia no controle de uso e qualidade dos recursos hídricos, mas também implica numa maior responsabilidade das entidades públicas competentes na gestão e planejamento destas microbacias, no sentido de atender os diferentes interesses de uso dos recursos naturais, principalmente, quanto aos recursos hídricos.

## REFERÊNCIAS

ANTONELI, V. & THOMAZ, E.L., 2007. Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista - Guamiranga (PR). *Revista Caminhos da Geografia*, vol. 8, no.

21, pp. 46-58. <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/download/15570/8811>

BEVEN, K.J. & KIRKBY, M.J., 1979. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Sciences Bulletin*, vol. 24, no. 1, pp. 43-69. <http://dx.doi.org/10.1080/02626667909491834>.

BRASIL, Código Florestal. Lei 12651 de 25 de maio de 2012. *Dispõe sobre a proteção de vegetação nativa, e dá outras providências*. [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/12651.htm)

CADASTRO AMBIENTAL RURAL – CAR, 2016. [acesso em 1 novembro 2016]. *Sistema de Cadastro Ambiental Rural – SICAR-SP* [online]. Brasília. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/sicar/>

CALIJURI, M.C. & BUBEL, A.P.M., 2006. Conceituação de microbacias. In: W.P. LIMA, M.J.B. ZAKIA, orgs. *As florestas plantadas e a água. Implementando o conceito da microbacia hidrográfica como unidade de planejamento*. São Carlos: Ed. RiMA, pp. 45-60.

CARDOSO, C.A., DIAS, H.C.T., SOARES, C.P.B. & MARTINS, S.V., 2006. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. *Revista Árvore*, vol. 30, no. 2, pp. 241-248. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622006000200011>.

CARLOS, I.M., ELIS, V.R., PRADO, R.L. & PORSANI, J.L., 2012. Métodos geofísicos integrados para a caracterização hidrogeológica dos aquíferos da microbacia Andes, Bebedouro, em São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, vol. 42, no. 3, pp. 597-614. <http://dx.doi.org/10.5327/Z0375-75362012000300013>.

FERNANDES, R.P., SILVA, R.W. C., SALEMI, L.F., ANDRADE, T.M.B. & DE MORAES, J.M., 2013. Geração de escoamento superficial em uma microbacia com cobertura de cana-de-açúcar e floresta ripária. *Revista Ambiente & Água*, vol. 8, no. 3, pp. 178-190. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1236>.

FERRARI, J.L., SILVA, S.F., SANTOS, A.R. & GARCIA, R.F., 2013. Análise morfométrica da sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte, Alegre, ES. *Agrária*, vol. 8, no. 2, pp. 181-188. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v8i2a1575>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 1972 [acesso em 15 julho 2016]. *Carta do Brasil (escala 1:50.000), Bebedouro*,

- Folha SF-22-X-B-VI-3 [online]. Brasília. Disponível em: <http://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/cartas>.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2017 [acesso em 26 abril 2017]. Cidades. *Informações complementares* [online]. Brasília. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=350610&search=|inifogr%E1ficos:-informa%E7%F5es-completas>
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC, 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva, Switzerland: IPCC. 151 p.
- JACOBI, P.R., CIBIM, J. & LEÃO, R., 2015. Crise hídrica na Macrometrópole Paulista e respostas da sociedade civil. *Estudos Avançados*, vol. 29, no. 84, pp. 27-42. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142015000200003>.
- LABORATÓRIO DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS E GEOPROCESSAMENTO – LAPIG, 2016 [acesso em 1 novembro 2016]. *Mapa interativo. Camada de Chuvas do Brasil* [online]. Goiânia. Disponível em: <http://maps.lapig.iesa.ufg.br/lapig.html>
- LEE, S., WOLBERG, G. & SHIN, S.Y., 1997. Scattered data interpolation with Multilevel B-Splines. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 3, no. 3, pp. 228-244. <http://dx.doi.org/10.1109/2945.620490>.
- LEPSCH, I.F., BELLINAZZI, R., BERTOLINI, D. & ESPÍNDOLA, C.R., 1991. *Manual para Levantamento Utilitário do Meio Físico e Classificação de Terras no Sistema de Capacidade de Uso. 5ª Aproximação*. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 175 p.
- LI, Z., LIU, W.Z., ZHANG, X.C. & ZHENG, F.L., 2009. Impacts of land use change and climate variability on hydrology in an agricultural catchment on the loess plateau of China. *Journal of Hydrology (Amsterdam)*, vol. 377, pp. 35-42. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.08.007>.
- LIMA, W.P., 2008. *Hidrologia florestal aplicado ao manejo de bacias hidrográficas*. 2. ed. Piracicaba: ESALQ/USP. 245 p.
- OLIVEIRA, J.B., CAMARGO, M.N., ROSSI, M. & CALDERANO FILHO, B., 1999. *Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida*. Campinas: Instituto Agrônomo/EMBRAPA Solos. 64 p.
- PLANCHON, O. & DARBOUX, F., 2001. A fast, simple and versatile algorithm to fill the depressions of digital elevation models. *Catena*, vol. 46, no. 2-3, pp. 159-176. [http://dx.doi.org/10.1016/S0341-8162\(01\)00164-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0341-8162(01)00164-3).
- SEIBERT, J. & MCGLYNN, B.L., 2007. A new triangular multiple flow direction algorithm for computing upslope areas from gridded digital elevation model. *Water Resources Research*, vol. 43, no. 4. <http://dx.doi.org/10.1029/2006WR005128>.
- SILVA, E.R., DELGADO, R.C., SOUZA, L.P. & SILVA, I.S., 2014. Caracterização física em duas microbacias hidrográficas do Alto Juruá, Acre. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 18, no. 7, pp. 714-719. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662014000700007>.
- STERLING, S.M., DUCHARNE, A. & POLCHER, J., 2012. The impact of global land-cover change on the terrestrial water cycle. *Nature Climate Change*, vol. 3, no. 4, pp. 385-390. <http://dx.doi.org/10.1038/nclimate1690>.
- TAN, M.L., IBRAHIM, A.L., YUSOP, Z., DUAN, Z. & LING, L., 2015. Impacts of land-use and climate variability on hydrological components in the Johor River basin, Malaysia. *Hydrological Sciences Journal*, vol. 60, no. 5, pp. 873-889. <http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2014.967246>.
- TEODORO, V.L.I., TEIXEIRA, D., COSTA, D.J.L. & FULLER, B.B., 2007. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. *Revista Uniara*, vol. 11, no. 1, pp. 137-156. <http://dx.doi.org/10.25061/rebram.v11i1.236>.
- YIN, J., HE, F., XIONG, Y.J. & QIU, G.Y., 2017. Effects of land use/land cover and climate changes on surface runoff in a semi-humid and semi-arid transition zone in northwest China. *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 21, no. 1, pp. 183-196. <http://dx.doi.org/10.5194/hess-21-183-2017>.
- ZEVENBERGEN, L. & THORNE, C.R., 1987. Quantitative analysis of land surface topography. *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 12, no. 1, pp. 47-56. <http://dx.doi.org/10.1002/esp.3290120107>.