

CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DA BACIA DO RIO MATHIAS ALMADA EM FOZ DO IGUAÇU/PR

Danieli Cristina Cassuli

Mestra em Geografia pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná- UNIOESTE/MCR
dani_cassuli@hotmail.com

Julio Cezar de Freitas

Mestrando em Geografia Universidade Estadual do Oeste do Paraná- UNIOESTE/MCR
jcezarf@hotmail.com

Vanda Moreira Martins

Professora do programa de pós graduação em Geografia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná-
UNIOESTE/MCR
mmvanda@hotmail.com

Carla Adriana Pizzaro Schmidt

Professora na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/MD

RESUMO: Levantar as características morfométricas de uma bacia hidrográfica é indispensável para a realização de estudos hidrológicos e/ou ambientais, pois, permite relacionar suas características físicas e naturais com as ações antrópicas e seus impactos no ambiente. A bacia hidrográfica do rio Mathias Almada localiza-se no município de Foz do Iguaçu e integra a Bacia do Paraná III na região Oeste do estado do Paraná. Sucessivos eventos de enchentes são registrados para além das margens do curso principal do rio Mathias Almada em seu trecho urbano. Com o objetivo de investigar a propensão natural a enchentes no trecho urbano da bacia do rio Mathias Almada foi realizada a caracterização morfométrica. Por meio da carta topográfica do município de Foz do Iguaçu (escala 1:50.000), foram calculados os parâmetros morfométricos referentes às características métricas de forma, padrão de drenagem e hierarquia hidrográfica, densidade da drenagem, densidade de cursos d'água, coeficiente de manutenção e sinuosidade dos canais, além de aspectos do relevo, como a declividade e a hipsometria e o índice de rugosidade. Foram utilizadas técnicas de geoprocessamento aplicadas dentro do programa "QGIS" e equações propostas para os fatores morfométricos. Verificou-se que a bacia tem baixa suscetibilidade natural às enchentes, pois apresenta forma próxima a de um quadrado, comprimento alongado, associado ao relevo com declividade fraca e boa drenagem. Neste contexto, a ocorrência de enchentes na área urbana da bacia está diretamente relacionada às ações antrópicas de uso e ocupação do solo inadequados.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica, atributos morfométricos, enchentes.

MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS OF MATHIAS ALMADA RIVER BASIN AT FOZ DO IGUAÇU, PARANÁ.

ABSTRACT: Set up the morphometric characteristics of a river basin is vital to perform the hydrological and environmental studies. It allows us to connect its physical and natural characteristics with anthropic activities and their impacts on the environment. The Mathias Almada River Basin is located in the city of Foz do Iguaçu and it is part of the Paraná III basin on west side of Paraná State. Successive floods are registered beyond the natural boundaries of Mathias Almada river in its urban course. In order to investigate the natural tendency of floods in Mathias Almada river urban course, the morphometric characterization of the basin was done. By means of the topographic map of Foz do Iguaçu city (scale of 1:50.000), the calculations were made on the morphometric parameters related to the metric forms characteristics, drainage pattern and hydrographic hierarchy, drainage density, waterways density, sinuosity and maintenance coefficient of the channels, in addition to the landscape aspects like the declivity and hypsometry and the roughness index. Techniques of geoprocessing inside the "QGIS" software were used and also equations proposed for the morphometric factors. It was found that the basin has low natural susceptibility to floods because it nearly has a square form, a long length associated to the relief with weak declivity and a good drainage. In this context, the occurrence of the floods on the river urban course is directly related to the anthropic actions of inappropriate land use.

Key words: River basin, morphometric attributes, floods.

Introdução

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), na forma da Lei 9433/1997, marcou o contexto da legislação sobre os recursos hídricos como um instrumento moderno e inovador para a gestão dos mesmos. Nessa lei, marcada pela gestão descentralizada, fica muito claro que a água é um recurso natural limitado e que possui valor econômico e de domínio público, além de instituir a bacia hidrográfica como unidade de estudos para planejamento e gestão (BRASIL, 1997).

O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica está diretamente relacionado com suas características morfométricas. Dessa forma, compreende-se que as interações existentes entre as características morfométricas e os processos hidrológicos de uma bacia devem ser expressos em termos quantitativos, por intermédio de dados fisiográficos (LIMA, 2000). Os dados fisiográficos são todos aqueles que podem ser obtidos por meio de mapas, fotografias aéreas e imagens de satélite (PORTO *et al.*, 1999; TEODORO *et al.*, 2007).

Caracterizar morfometricamente uma bacia é um dos primeiros e mais comuns procedimentos realizados em análises hidrológicas e/ou ambientais. A partir de tais características, é possível compreender os fenômenos passados, avaliar os impactos oriundos das ações antrópicas, na fase de escoamento superficial da água, e encontrar relações com a vazão, para compreensão da dinâmica ambiental local e regional. Nesta perspectiva, este estudo contempla a bacia do rio Mathias Almada.

As técnicas de geoprocessamento são bastante utilizadas para a obtenção e avaliação de diversos parâmetros e índices morfométricos de bacias hidrográficas, pois, ferramentas importantes na manipulação e análise das mais diversas características (PARETA; PARETA, 2011).

Assim, a proposta deste trabalho foi levantar e analisar as características fisiográficas da bacia (Kc, Kf, Re, Ic, ICO, Ds, Dd, Rb, SIN, Cm, ΔH_b , Rr e Ir) do rio Mathias Almada e seus reflexos nos processos hidrológicos, buscando a relação entre as características naturais da bacia e uma provável suscetibilidade natural a enchentes.

1. A bacia hidrográfica como unidade de estudo

Incontestavelmente o solo, a água e o ar são fundamentais para a sobrevivência de todos os seres vivos na superfície terrestre. Ao longo da história humana, a disponibilidade desses recursos para o exercício sustentável das atividades humanas vem sendo reduzida (BRADY, 2013)

A degradação dos recursos naturais ocorre, geralmente, pela má gestão e mau uso, acarretando a deterioração do ambiente e, por consequência: o assoreamento e a poluição dos recursos hídricos; prejuízos à saúde humana e animal; dificuldades na geração de energia; dificuldades na disponibilidade de água para irrigação e para o abastecimento humano; redução da produtividade agrícola; diminuição da renda e, conseqüentemente, no empobrecimento rural e danos à economia nacional (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014).

A fim de minimizar os impactos ambientais decorrentes da deterioração dos recursos naturais, a Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997 institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e coloca a bacia hidrográfica como unidade territorial para implementação de princípios e normas

para a gestão e planejamento de recursos hídricos, adotando o conceito de bacia hidrográfica como unidade de estudo (BRASIL, 1997).

A bacia hidrográfica pode ser tomada como unidade para o planejamento e gestão, pois, viabiliza a localização e a quantificação dos fluxos de água que proporcionam a compreensão dos processos geomorfológicos que agem nas transformações do relevo, sob as diversas condições de geologia e clima. Os fluxos superficiais e subsuperficiais que ocorrem na bacia hidrográfica definem os mecanismos erosivos e deposicionais resultantes da interação de fatores bióticos, abióticos e antrópicos. Alterações nestes fatores causam modificações na dinâmica espaço temporal dos processos hídricos e, conseqüentemente, no trabalho geomorfológico (SANTANA, 2003; BOTELHO, 1999) que, em algumas situações, são caracterizadas como impactos considerados indesejáveis. Os impactos não acontecem isoladamente em uma bacia hidrográfica. Derivam da relação de efeitos dos usos de água e solo e resultam em efeitos socioambientais indesejáveis (TUCCI; MENDES, 2006).

Estudos sistêmicos indicam que a bacia hidrográfica é a unidade geográfica apropriada para o planejamento, pois adota como norteadores a força gravitacional, a sustentabilidade do sistema hídrico, a questão social, econômica, política e as emergências ambientais. Sua percepção como subsistema contribui para interpretação da realidade, possibilitando analisar o comportamento energético e funcional do ambiente sob diversas situações derivadas de decisões políticas públicas e/ou privadas. Possibilita, também, o controle da quantidade e da qualidade da água, a observação sanitária e o uso econômico do seu espaço, como, a produção de alimentos e o cumprimento de leis ambientais em um mesmo sistema ambiental, que permite a interação direta entre os organizadores, os produtores e os consumidores locais (CAMPOS, 2010).

Ao longo do tempo, diversos conceitos de bacia hidrográfica foram desenvolvidos. O conceito amplamente difundido na ciência coloca que se entende por bacia hidrográfica o conjunto de canais de escoamento inter-relacionados, ou seja, a área drenada por um rio ou por um sistema fluvial, limitado pelo divisor de águas (CHRISTOFOLETTI, 1980). Corresponde a um sistema que compreende um volume de materiais, geralmente líquidos ou sólidos, delimitado interna e externamente por todos os processos que, a partir do abastecimento de água da atmosfera, influi no fluxo de matéria e energia de um rio ou de uma rede de canais fluviais (RODRIGUES; ADAMI, 2005).

Embora haja concordância sobre o conceito de bacia hidrográfica, o mesmo não ocorre quando são abordados os conceitos de microbacia e sub-bacia hidrográfica. Os conceitos apresentam abordagens que abrangem desde fatores físicos a ecológicos (TEODORO *et al.*, 2007).

As bacias hidrográficas podem apresentar diferentes tamanhos, podendo apresentar milhões de quilômetros quadrados ou mesmo alguns metros quadrados. Com diferentes dimensões, as bacias hidrográficas articulam-se a partir de divisores de água e drenam em direção a um canal, tronco ou coletor principal, compondo um sistema de drenagem hierarquicamente organizado (SANTANA, 2003). Portanto, os conceitos de bacia e sub-bacia hidrográfica estão relacionados à ordem hierárquica dentro de uma determinada malha hídrica (SOUZA; FERNANDES, 2000).

Segundo Souza e Fernandes (2000), abordagens de planejamento e de gestão por meio da bacia hidrográfica são mais ajustadas para a união da produção com a preservação ambiental, por se tratar de unidades geográficas naturais que integram características biogeofísicas e sociais locais. Quando o objetivo do estudo é o manejo de bacias hidrográficas, este deve ser iniciado, de preferência, naquelas de menor área (SANTANA, 2003), pois, apresentam escala espacial que representa um elo entre a escala micro (onde as práticas de manejo são implantadas nas propriedades rurais) e a escala macro da paisagem (onde são geradas as normas, a legislação e a política ambiental). Assim, são úteis para avaliar as imposições vindas da escala macro e a implementação de práticas de manejo no campo, na escala micro. Essa avaliação se dá por meio de indicadores sistêmicos ou de processos de manejo sustentável, levando em conta os elementos sociais e ambientais para a contínua adequação do manejo agrícola (ATTANASIO, 2004).

Os problemas se manifestam, inicialmente, em nível local, pois os moradores são, ao mesmo tempo, causadores e vítimas de boa parte dos problemas e tem interesse em resolvê-los (SOUZA; FERNANDES, 2000). Segundo Bertoni; Lombardi Neto (2014, p. 334) são objetivos dos trabalhos em bacias hidrográficas:

a) manejar adequadamente os recursos naturais renováveis, principalmente solo e água; b) incrementar a produção e a produtividade agro-silvo-pastoris; c) diminuir os riscos de secas e inundações; d) reduzir os processos de degradação do solo, principalmente a erosão; e) garantir uma maior disponibilidade e a maior qualidade de água para usos múltiplos; f) estimular o planejamento, a organização e a comercialização da produção municipal, sobretudo dos alimentos básicos; g) racionalizar os recursos materiais, financeiros e de pessoal em âmbito federal, estadual e municipal, compatibilizando e otimizando sua utilização; h) incentivar a organização associativa dos produtores rurais, visando à solução de seus problemas comuns; i) maximizar as rendas municipais e comunitárias, através da minimização de cursos de gerenciamento, de administração, de manutenção de estradas, de obras de arte, de controle da poluição, etc.; j) promover ações comunitárias visando à obtenção de benefícios nas áreas de produção, de comercialização, de saúde, de educação, de transporte, de comunicação, etc.; k) propiciar novas alternativas de exploração econômica à comunidade rural; l) participar do processo de fixação da mão-de-obra no campo.

E, para conhecer as reais potencialidades e limitações de uso e ocupação do solo nas bacias hidrográficas, faz-se necessário o levantamento dos dados básicos a respeito do clima, geologia, relevo, solos, rede de drenagem e vegetação. No caso de planejamento ambiental em microbacias ou sub-bacias hidrográficas é necessário reconhecer esses elementos na paisagem e, quando possível, realizar um levantamento detalhado de seus principais atributos. No entanto, este tipo de levantamento, em geral, não costuma existir. Então é preciso ser produzido para garantir um nível de investigação ou detalhamento equilibrado desses atributos (BOTELHO, 1999). Lançar mão do uso das geotecnologias tem sido a forma mais rápida para reunir as informações para o desenvolvimento desse tipo de estudo.

2. Material e métodos

2.1 ÁREA DE ESTUDO

O Rio Mathias Almada é comumente chamado de Rio Almada. As nascentes estão localizadas na região norte do município de Foz do Iguaçu, no bairro Três Lagoas. Sua bacia hidrográfica é tributária da Bacia do Paraná III (BPIII), localizada na mesorregião Oeste do Paraná (Figura 1). A bacia do rio Mathias Almada possui cerca de 48km de cursos fluviais que drenam uma área de 30,6km², correspondendo a 4,9% da área total do município.

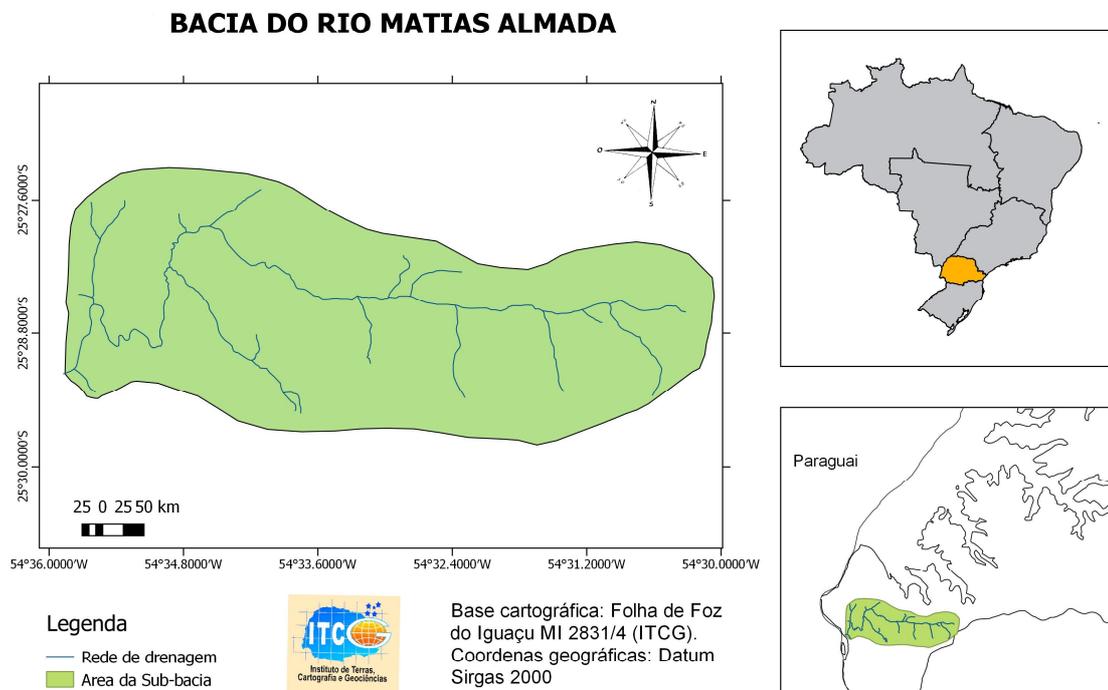


Figura 1 – Localização geográfica da bacia do rio Mathias Almada.
Fonte: elaborado pelos autores

A bacia do rio Mathias Almada está inserida em uma área de substrato geológico sustentado por rochas da bacia sedimentar Fanerozóica do Paraná, em uma unidade morfoescultural denominada Terceiro Planalto Paranaense, subunidade Planalto de Foz do Iguaçu (MAACK, 2012; SANTOS *et al.*, 2006). Predominam neste compartimento, vertentes convexas, topos aplainados e os vales em “V” aberto. Em relação a declividade, prevalecem as classes entre 0-6% e 6-12%. Quanto à altimetria, o Planalto de Foz do Iguaçu apresenta cotas que variam de 120m a 540m em relação ao nível médio do mar (SANTOS *et al.*, 2006).

A constituição geológica integra a Formação Serra Geral ou *trapp* do Paraná. Os derramamentos estão arrançados em lençóis eruptivos básicos com arenitos eólicos intercalados originados na Era Mesozóica, no período Triássico Superior (MAACK, 2001).

O clima é caracterizado como Cfa (clima temperado úmido, com verão quente), com média anual de 21,4°C, onde o mês mais quente é janeiro, com média de 25,7°C e o mais frio é

julho, com média de 16°C. Caracteriza-se como sempre úmido (KÖPPEN, 1948; EMBRAPA, 2003).

As características geológicas, juntamente com as particularidades do relevo, do clima, tempo e atividades biológicas, contribuíram para o desenvolvimento de solos profundos, bem drenados e que por derivarem de rochas magmáticas extrusivas básicas, são constituídos de elevada concentração da fração de argila. Assim, a classe de solo predominante é a do Latossolo Vermelho em áreas de relevo plano a suave ondulado (SANTOS *et al.*, 2006), ocorrendo também a classe dos Nitossolos Vermelhos, Gleissolos, Neossolos Litólicos e Cambissolos (EMBRAPA/IAPAR, 1984).

A vegetação nativa é denominada como mata pluvial-subtropical (MAACK, 2012). Na bacia os maiores fragmentos de vegetação nativa estão representados pela mata ciliar e por áreas de reserva legal.

Após passar por tratamento na estação de tratamento de esgoto (ETE – Três Lagoas), o rio Mathias Almada recebe água residual vinda de bairros de seu entorno, com vazão aproximada de 15 m³/s e enquadrada na classe II do CONAMA (2005) (PEREIRA, 2013).

Com base nos dados do cadastro do FOZHABITA e do plano diretor municipal (2006), Ribeiro (2015) identificou as áreas de ocupação irregular nas onze regiões urbanas do município de Foz do Iguaçu, sendo que duas delas encontravam-se às margens do rio Almada, ambas na região Norte-Três Lagoas. Esse tipo de ocupação irregular se iniciou na década de 1990. A ocupação irregular do Novo Mundo foi iniciada com 98 famílias e a do Jardim Santa Rita, com 20 famílias, ambas abrangendo a porção leste da bacia. A ocupação se deu a partir da planície de inundação, inexistindo mata ciliar no local. Os problemas naturais associados à ocupação irregular são o descarte inconsciente de resíduos por parte da população, além dos associados a perda de solo, erosão e alagamentos em momentos de chuvas intensas.

A economia do município, bem como da bacia do rio Mathias Almada, está baseada no turismo com destaque para o comércio e serviços. De acordo com pesquisa realizada pelo Instituto Brasileiro de Turismo (EMBRATUR) e pela Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (FIPE), de 2004 a 2011, Foz do Iguaçu foi considerado, no segmento "Lazer", o 3º destino mais visitado por turistas estrangeiros, atrás apenas da cidade do Rio de Janeiro.

2.2 MATERIAL, PROCEDIMENTOS E TÉCNICAS

Para obtenção das informações e dados geoambientais, bem como para a elaboração dos mapas temáticos de localização da bacia hidrográfica e rede de drenagem, altimetria e declividade, foi utilizado um conjunto de documentos cartográficos e SIGs, a saber:

a) Carta topográfica em escala 1:50.000 com equidistância das curvas de nível de 20 metros, referente a Folha de Foz do Iguaçu SG.21-X-D-II-4 MI – 2831/4, formulada pelo Ministério do Exército – Departamento de Engenharia e Comunicações, com cobertura da área realizada em 1995 e impressão em 1997;

b) Imagem SRTM SG-21-X-D, obtida por meio do satélite Landsat 7, com resolução espacial de 30 m, produto do projeto Brasil em Relevo, desenvolvido pela EMBRAPA (MIRANDA, 2005);

c) Programa QGIS Desktop 2.18.13;

d) Programa Grass GIS 7.2.1.

A delimitação da bacia foi realizada com base na proposta metodológica de Christofolletti (1980), de forma automática no *plugin* Grass GIS 7.2.1, associado ao software QGIS 2.18.13. As medidas de área, perímetro, extensão total dos cursos d'água, comprimento axial, comprimento do talvegue e a extensão dos cursos d'água de cada ordem, também foram obtidas com o auxílio das ferramentas de medida do referido programa.

A proposta conceitual adotada para a extensão dos cursos d'água e comprimento axial, foi a de Porto *et al.*, (1999), no qual, o primeiro conceito refere-se a soma total dos cursos d'água e o segundo, considera-se o comprimento do rio desconsiderando-se os meandros, ou seja, o comprimento que o rio adota quando há uma cheia.

O conceito adotado para a extensão dos cursos d'água foi aquele proposto por Porto *et al.*, (1999), isto é, a soma total do comprimento dos cursos d'água. Para o comprimento axial, também foi adotado o conceito proposto por Porto *et al.*, (1999), em que se considera o comprimento do rio desconsiderando-se os meandros, ou seja, o comprimento que o rio adota quando há uma cheia. Os fatores morfométricos foram calculados conforme as equações apresentadas no quadro 01.

A classificação hierárquica fluvial foi realizada manualmente com base no método proposto por Strahler (1952). Com base no mapa da rede de drenagem, previamente estabelecido, foi realizado o mapeamento da hierarquia fluvial, utilizando as ferramentas disponibilizadas no programa computacional QGIS. Posteriormente, para mensurar de magnitude da bacia hidrográfica, fez-se uso do método proposto por Shreve (1967).

A partir da imagem de satélite, SRTM SG-21-X-D, e das ferramentas disponibilizadas pelo SIG QGIS 2.18.13, foram gerados os produtos cartográficos para as classes de hipsometria, com equidistância de 100m entre as curvas em escala 1: 50.000.

Parâmetro	Equação	Em que:	Autor
Índice de compacidade	$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$	P: perímetro (Km) A: área de drenagem (Km ²)	PORTO <i>et al.</i> (1999)
Índice de conformação	$Kf = \frac{A}{L^2}$	A: área (Km ²); L: comprimento axial da bacia (Km).	PORTO <i>et al.</i> (1999)
Razão de alongação	$Re = 1,128 \cdot \frac{A^{0,5}}{L^2}$	A: área da drenagem (Km ²); L: comprimento axial da bacia (Km).	MOSCA (2003)
Índice de circularidade	$Ic = \frac{12,57A}{P^2}$	A: área de drenagem (Km ²) P: perímetro (Km)	PORTO <i>et al.</i> (1999)
Índice entre o comprimento e a área da bacia	$ICO = \frac{P}{\sqrt{A}}$	P: perímetro (Km) A: área de drenagem (Km ²)	EPAGRI (1997)
Densidade dos cursos d'água	$Ds = \frac{N}{A}$	N: número de cursos d'água A: área da bacia	PORTO <i>et al.</i> (1999)
Densidade da drenagem	$Dd = \frac{T}{A}$	T: Comprimento total dos cursos d'água (Km); A: área da bacia hidrográfica (Km ²).	PORTO <i>et al.</i> (1999)
Relação de bifurcação	$Rb = \frac{N_u}{N_{u+1}}$	N _u : número de segmentos de determinada ordem; N _{u+1} : número de segmentos da ordem imediatamente superior	HORTON (1945)
Sinuosidade do curso d'água	$SIN_1 = Lp/Lt$	Lp: comprimento do canal principal (Km); Lt: comprimento do talvegue (Km).	PORTO <i>et al.</i> (1999)
Coefficiente de manutenção	$Cm = 1/Dd$	Ds: densidade da drenagem.	Horton (1945)
Amplitude altimétrica da bacia (ΔHb), m	$\Delta Hb = Hmax - Hmin$	Hmax: altimetria máxima. Hmin: altimetria mínima	Strahler (1952)
Razão de relevo (Rr), m/m	$Rr = \Delta Hb / Lb$	ΔHb: amplitude altimétrica. Lb: comprimento axial da bacia	Schumm (1956)
Índice de rugosidade (Ir), adimensional	$Ir = \Delta Hb \cdot Dd$	ΔHb: amplitude altimétrica. Dd: densidade da drenagem.	Schumm (1956)

Quadro 1 - Parâmetros e equações para determinar as características morfométricas das bacias hidrográficas.

Fonte: elaborado pelos autores.

Para a classificação do relevo, tomou-se como base as porcentagens de declividade predominantes e sua distribuição na bacia proposta por Embrapa (1979) e que consta na tabela 1:

Tabela 1 - Classificação do relevo em relação às classes de declividade conforme EMBRAPA (1979).

Declividade (%)	Relevo
0-3	Plano
3-8	Suave-ondulado
8-20	Ondulado
20-45	Forte-ondulado
45-75	Montanhoso
>75	Forte-montanhoso

Fonte: EMBRAPA (1979)

Para auxiliar a interpretação visual das áreas de cobertura vegetal, a classificação de uso e ocupação do solo, foram utilizadas imagens do ano de 2013 do banco de imagens de satélite de alta resolução espacial disponibilizado por Google Earth PRO, foi realizada a extração e o detalhamento da rede de drenagem e o mapa de uso e ocupação do solo, utilizando-se de técnicas de fotointerpretação. As áreas de uso e ocupação foram representadas por polígonos, enquanto que a rede de drenagem por linhas. Como resultado foi obtido o mapa de uso e ocupação do solo da bacia do rio Mathias Almada em escala de 1:50.000.

3. Resultados e discussão

Os valores dos índices das características métricas e de área da bacia (Tabela 2) são pressupostos para a realização dos cálculos das demais características morfométricas.

Tabela 2 - Características morfométricas da bacia do rio Mathias Almada

Atributos	Valor do índice
Área (A)	30,6 Km ²
Perímetro (P)	24,9 Km
Comprimento Axial (L)	9,78 Km
Soma total do comprimento dos canais (T)	48 Km
Número total de canais (N)	17

Fonte: elaborado pelos autores.

A identificação do sistema de drenagem, conforme Strahler (1952), permitiu classificar a bacia do rio Mathias Almada como de 3ª ordem. Isto é, apresenta baixo grau de ramificação. Na área de estudo é comum as pequenas bacias hidrográficas, apresentarem 4ª ou menor ordem. Considera-se que, quanto mais ramificada for a rede de drenagem, mais eficiente é o sistema de drenagem, conforme ressaltam Tonello *et al.*, (2006). A bacia possui padrão de drenagem dendrítico. Sua magnitude de drenagem é de 17, representando o total de canais que contribuem para formação da bacia hidrográfica.

Os índices relacionados ao fator de forma da bacia hidrográfica, bem como, as características da rede de drenagem e a sinuosidade dos cursos d'água também estão diretamente relacionados ao escoamento superficial e à eficiência do sistema de drenagem. Na Tabela 2 encontram-se os valores encontrados para essas características na a bacia do rio Almada.

Tabela 3 - Características Morfométricas Relacionadas ao Fator Forma e a Rede de Drenagem

Característica morfométrica	Valor do índice
Índice de compacidade (Kc)	1,26
Índice de conformação (Kf)	0,32
Razão de alongação (Re)	0,64
Índice de circularidade (Ic)	0,62
ICO (índice entre o comprimento e a área da bacia)	1,43
Densidade de cursos d'água (Ds)	0,56
Densidade da drenagem (Dd)	1,57
Sinuosidade do curso d'água SIN)	0,71
Coefficiente de manutenção (Cm)	0,64

Fonte: elaborado pelos autores.

O índice de compacidade (Kc) igual a 1 (um) corresponde a uma bacia circular. Assim há o direcionamento do escoamento superficial, em um pequeno espaço de tempo, para um pequeno trecho do rio principal, causando o acúmulo de fluxo (CARVALHO; SILVA, 2006). Entende-se que Kc diz respeito a potencialidade de produção de picos de enchente. Constata-se em relação ao Kc (1,26), que a bacia do rio Mathias Almada possui tendência mediana a grandes enchentes conforme destacaram Silva e Mello (2008).

O valor de Kf (0,32), que relaciona a forma da bacia à forma de um quadrado, sugere que a bacia não está sujeita às enchentes. Isso significa que na bacia do rio Mathias Almada o número

de tributários (17), que abrange o rio principal em diferentes pontos, favorece o escoamento pluvial (VILELLA; MATTOS, 1975). Entretanto, embora as características morfométricas (Kf; T, N Dd;) indiquem que a bacia tenha baixa tendência a enchentes, isto não significa que elas não podem ocorrer em magnitudes mais intensas na bacia. As condições de uso, ocupação e manejo, por exemplo, associadas a eventos climáticos extremos, podem influenciar diretamente nesse processo. A baixa suscetibilidade a enchentes ainda é evidenciada pelos valores das características de Re, Ic e ICO (Tabela 2).

A razão de alongação (Re) evidencia a relação entre o diâmetro do círculo de área igual a da bacia e o eixo da bacia hidrográfica. Quanto maior for o valor encontrado para Re, mais a forma da bacia aproxima-se a de um círculo e, maior a suscetibilidade de ocorrência de enchentes. Quando os valores de Re são baixos, estão associados à forma mais alongada e menos suscetível às enchentes (MOSCA, 2003). O valor encontrado para Re (0,64) na bacia do rio Almada não é elevado, portanto, evidencia menor tendência às enchentes.

Valores de Ic próximos a um (1) indicam que a bacia possui forma próxima a de um círculo. Valores menores que 0,51 indicam que a bacia é alongada, o que favorece o processo de escoamento (MOSCA, 2003). O valor encontrado para Ic é 0,62, o que permite afirmar que a forma está mais próxima de um círculo (<0,51) do que para alongada, cujos valores aproximam de 1 (um).

O ICO (índice entre o comprimento e a área da bacia) é utilizado para descrever e interpretar a forma e o processo de alargamento ou alongamento da bacia hidrográfica. Quando o valor encontrado para ICO for próximo a um (1), a bacia apresenta forma igual a um quadrado. Quanto maior este valor, mais alongada será a bacia (EPAGRI, 1997). O valor de ICO para a bacia do rio Almada é 1,43. Os valores desse índice e do Re e Ic indicam que a rede de drenagem tende a ser alongada. E, quanto mais alongada for a bacia, menor o risco de enchente.

Para verificar a eficiência da rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Mathias Almada, foi utilizado o cálculo da densidade dos cursos d'água. Cabe lembrar que, as bacias com alta densidade hidrográfica possuem maior capacidade de gerar canais, independentemente de suas extensões (VEIGA *et al.*, 2013). O valor de Ds (0,56) indica que a bacia não é bem drenada, pois, uma bacia é considerada bem drenada quando possui um canal fluvial a cada quilômetro quadrado, conforme destaca Marcuzzo *et al.*, (2012). A densidade da drenagem possui relação

inversa à densidade dos cursos d'água, ao passo que, quanto mais canais existirem, menos extensos eles serão. O índice obtido para densidade da drenagem (1,57) permite concluir que a drenagem na bacia pode ser classificada como boa (CARVALHO; SILVA, 2006), numa escala cujas classes de drenagem são: pobre, regular, boa, muito boa e bem drenada.

Com base na Dd foi calculado o coeficiente de manutenção (Cm), que representa uma medida de textura do solo e serve para determinar a área mínima necessária para a manutenção de 1 (um) metro de canal de escoamento permanente. No caso na bacia do rio Almada, o valor encontrado para Cm foi 0,64 km²/Km, considerado alto por Stipp *et al.*, (2010), o que pode ser atribuído às declividades fracas e à boa capacidade de recarga hídrica.

Quanto à declividade e ao relevo na bacia hidrográfica (Figura 2), predomina as classes de 0 - 3% do modelado plano ao suave ondulado (3 - 8%), o que sugere vertentes longas, com declividades fracas, que propiciam uma boa infiltração em detrimento do escoamento superficial.

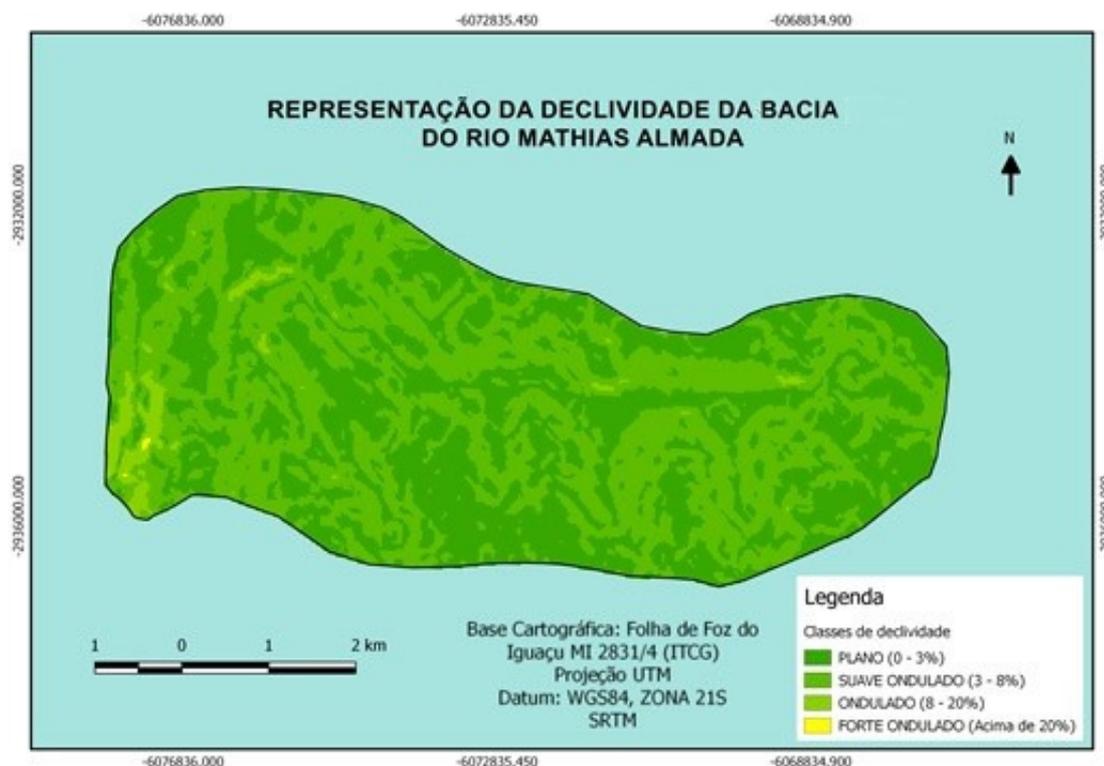


Figura 2 – Declividade na bacia do rio Mathias Almada conforme (EMBRAPA, 1979)

Fonte: elaborado pelos autores

O valor de SIN (0,71), segundo Alves e Castro (2003), indica que o canal principal tende a ser retilíneo, pois, o valor se aproxima de 1. Os valores encontrados para sinuosidade dos cursos d'água corroboram com indicativo de baixa tendência às enchentes na bacia do rio Mathias Almada. Isto porque a velocidade de fluxo de água em cursos retilíneos tende a ser maior do que em cursos sinuosos (PORTO et al., 1999).

Na bacia do rio Mathias Almada, as áreas topograficamente mais elevadas concentram-se na região leste da bacia, atingindo altitude máxima de 265m (Figura 3). As áreas de menor altitude concentram-se na região da foz do rio Mathias Almada, atingindo 118m de altitude. Dessa forma o desnível altimétrico é de 147m na bacia hidrográfica .

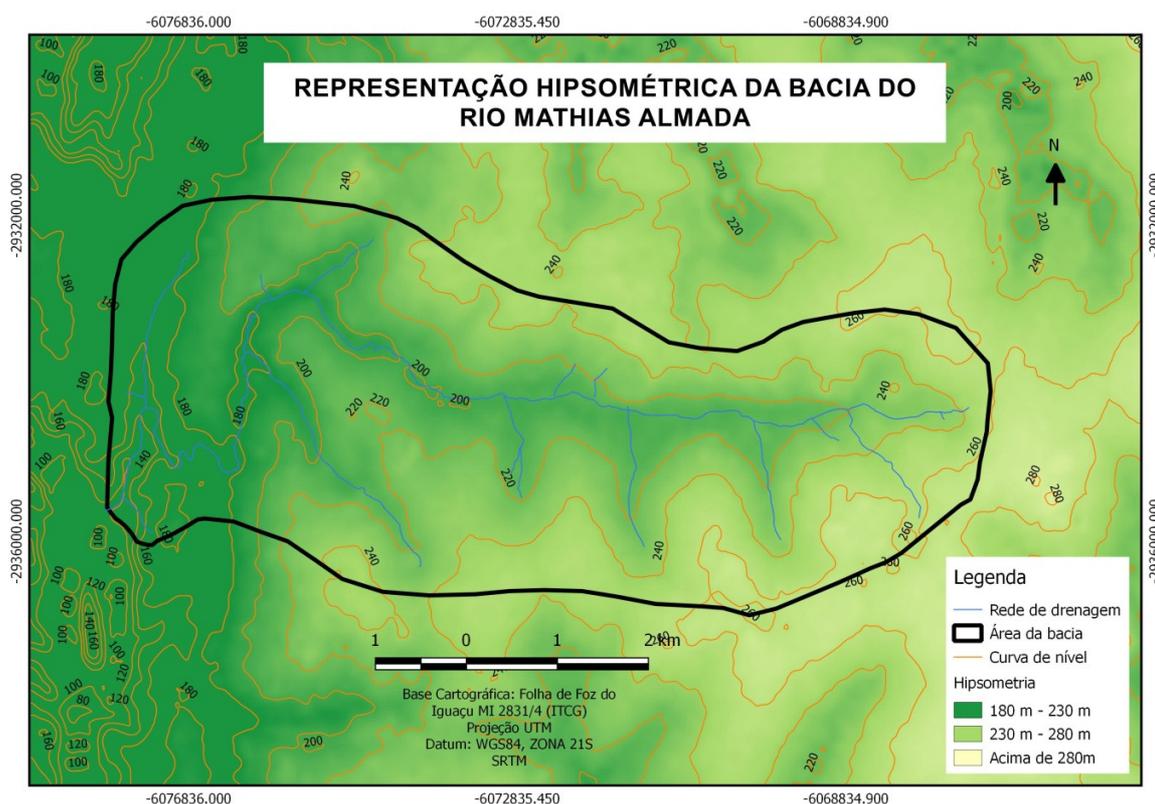


Figura 03 – Hipsometria da bacia do rio Mathias Almada.

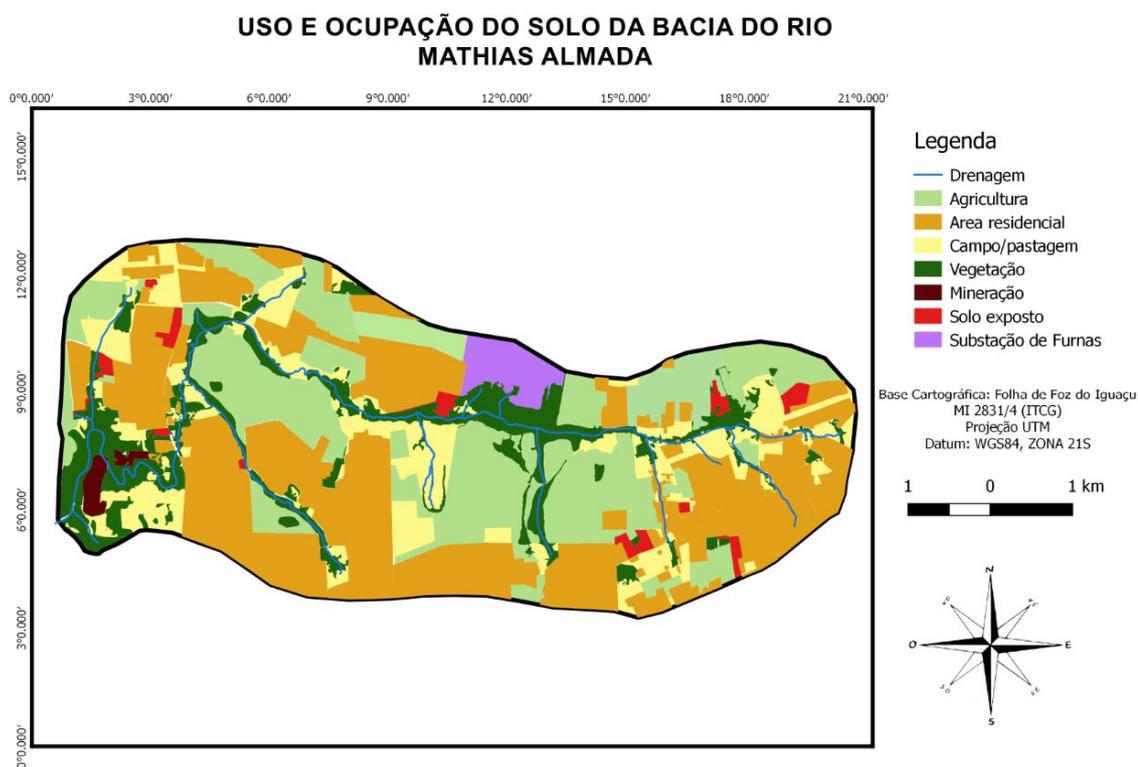
Fonte: elaborado pelos autores

Para melhor compreensão do relevo da bacia, foi calculado o índice de razão do relevo (Rr), que permite comparar a altimetria das regiões. E, quanto maior os valores encontrados, mais

acidentado é o relevo na bacia. Este índice reflete, ainda, a relação da infiltração com o deflúvio, evidenciando a interação com a densidade da drenagem (ROSSI; PFEIFER, 1999). Para a bacia do rio Almada, o valor de R_r foi 0,015 m/m, o que indica que o relevo possui altimetria predominantemente baixa e estável, com baixa movimentação topográfica.

Também foi obtido o valor referente ao índice de rugosidade (IR), que relaciona a amplitude altimétrica com a de densidade da drenagem. Quanto maior for este índice, maior será o risco de degradação na área, pois, as vertentes serão longas e íngremes (TRAJANO *et al.*, 2012). O IR encontrado para bacia do rio Almada (0,23) é considerado baixo, reforçando a possibilidade de menor risco de degradação ambiental na bacia, já que a variação topográfica do relevo é pequena, de modo que existe menor risco a enchentes.

O uso e ocupação do solo na bacia do rio Mathias Almada pode ser observado no mapa apresentado na Figura 4.



**Figura 4 – Mapa de uso e ocupação do solo na bacia do rio Mathias Almada.
Fonte: elaborado pelos autores**

Pode-se observar que as nascentes do rio ocorrem em áreas ocupadas para pastagem e também de uso urbano. Condições naturais propícias como; solos de boa fertilidade, clima com temperaturas amenas e precipitações bem distribuídas durante o ano e declividade baixa propiciam a prática da atividade agrícola (predominantemente, culturas de soja e milho) e contribui para a ocupação do solo para o uso residencial.

As áreas anteriormente citadas como de ocupação irregular estão localizadas junto a nascente localizada na região leste da bacia, na margem esquerda do rio principal, onde a mata ciliar é inexistente e a população instalou-se junto à planície de inundação dos cursos fluviais.

Na porção norte da bacia está localizada a subestação de Furnas, importante estrutura na transmissão e intercâmbio de energia entre as regiões Sul e Sudeste do país. Na porção oeste da bacia, próximo a foz, ocorre atividade mineradora com a extração de basalto. Observa-se também a ocorrência de solo exposto em locais de transição da atividade agrícola e o uso urbano.

Observa-se que o curso fluvial está sendo modificado em suas características naturais por conta manutenção insipiente da mata ciliar e da ocupação irregular de suas margens e planície de inundação em vários pontos, principalmente junto a nascentes e córregos de classe/magnitude 1. Como reflexo da ação antrópica, problemas relacionados a erosão acelerada e o descarte incorreto de resíduos compromete a qualidade da água e contribui para a ocorrência de enchentes.

Considerações finais

Nenhuma característica física ou valor obtido de índice, isoladamente, é capaz de simplificar a complexa dinâmica de uma bacia hidrográfica, porém, suas características morfométricas, quando analisadas de forma integrada são de grande valia para a avaliação de seu comportamento hidrológico. O levantamento e análise de aspectos relacionados à bacia hidrográfica (forma, hierarquia, densidade, etc), relevo (hipsometria, declividade, formas das vertentes), entre outros aspectos fisiográficos como o clima, o solo e a geologia, contribuiram para elucidar e compreender os processos relacionados à dinâmica ambiental na bacia, sobretudo no que diz respeito aos eventos de enchentes.

Os resultados do levantamento das características morfométricas, relacionadas à forma e a drenagem (Kc, Kf, Re, Ic, ICO, Ds, Dd, SIN, SIN), associados as características de solo,

geologia, relevo e uso e ocupação do solo indicaram baixa susceptibilidade da bacia hidrográfica do rio Mathias Almada, em produzir picos de enchente em condições normais de pluviosidade anual.

Neste contexto, entende-se que as sucessivas enchentes registradas na bacia hidrográfica do rio Mathias Almadadas estão associadas, principalmente aos condicionantes antrópicos como o uso, ocupação e manejo do solo no setor urbano e rural. A perda de solo, o descarte incorreto de lixo e entulhos, as ocupações irregulares e inadequadas de áreas de mananciais, Áreas de Preservação Permanente, por exemplo, são alguns dos elementos que contribuem para acentuar os picos de cheia nos períodos de chuvas mais intensas e prolongadas.

Referências

- ATTANASIO, C. M. Planos de manejo integrado de microbacias hidrográficas com uso agrícola: uma abordagem hidrológica na busca da sustentabilidade. 2004. 193 p. **Tese (doutorado)** Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2004.
- ALVES, J. M. P.; CASTRO, P. T. A. Influência de Feições Geológicas na Morfologia da Bacia do rio Tanque (MG) baseada no estudo de Parâmetros Morfométricos e Análise de Padrões de Lineamentos. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33, n. 2, p. 117-127, 2003.
- Brasil. **Lei Federal n. 9.433, de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política e Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=370>. Acesso em 20 de abr 2018.
- BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <http://ibge.gov.br/> Acesso em 13 de nov. 2013.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 9ª edição, Ícone Editora, São Paulo, 2014.
- BOTELHO, R. G. M. Planejamento ambiental em Microbacia Hidrográfica. IN: GUERRA, Antônio Teixeira, SILVA, Antônio Soares da, BOTELHO, R. G. M. (Org.). **Erosão e Conservação dos solos**. Rio de Janeiro: Bertrand, 1999.
- BRADY, N. C. EIL, R. R. **Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos**. 3ª Ed. São Paulo: Bookman, 2013.
- CAMPOS, Y. O. Gestão ambiental: complexidade sistêmica em bacia hidrográfica. 2010. 184 p. **Dissertação (mestrado)** – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010.

CARVALHO, D. F. SILVA, L. D. B. **Hidrologia**. 2006. Disponível em: www.em.ufop.br%2Fdeciv%2Fdepartamento%2F~antenorrodrigues%2F2_Bacia%2520hidrografica.pdf&ei=9N9xVYfhIYbksASirIPABQ&usg=AFQjCNGZUpUX49AWJ3bpxhmnT5l8615y5w&sig2=RsYhfV4RFg0hsuFwRLwfPA. Acessado em jan. 2015.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Blucher, 1980.

BRASIL, Resolução CONAMA nº357, de 17 de março de 2005. **Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional**. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em mai. 2018.

EMBRAPA. **Banco de Dados Climáticos do Brasil**, 2003. Disponível em: <http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br/resultados/balanco.php?UF=&COD=191>. Acessado em jan. 2015.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Súmula da 10**. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).

EMBRAPA/IAPAR - Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná. **Boletim Técnico nº 57 da EMBRAPA e Boletim Técnico nº 16 do IAPAR**, 414p., 1984.

EPAGRI – Gerência Regional da E. E. de Urussanga. **Plano de gestão e gerenciamento da bacia do Rio Araranguá – Zoneamento da disponibilidade e da qualidade hídrica. Análise das Características Físicas**. V. 3. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente/Secretaria de Estado do Desenvolvimento Rural e da Agricultura. Florianópolis – SC, 1997.

HORTON, R. E. **Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology**. Geological Society of America Bulletin, v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945. [http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606\(1945\)56\[275:EDOSAT\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2)

IPARDES – Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Caderno Estatístico: Município de São Miguel do Iguçu**, 2015. Disponível em http://www.ipardes.gov.br/index.php?pg_conteudo=1&cod_conteudo=30 Acesso em nov. 2015.

KÖPPEN, W. **Climatologia con un estudio de los climas de la tierra**. México: FCE, 1948.

LIMA, W. P.; ZAKIA M. J. B. **Hidrologia de matas ciliares**, 2000. Disponível em: <http://www.ipef.br/hidrologia/mataciliar.asp>. Acessado em 22. Jan. 2015.

MAACK, R. **Breves notícias sobre a geologia dos Estados do Paraná e Santa Catarina**. Brazilian Archives of Biology and Technology, p. 169-288, 2001

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. 4º Ed. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2012.

MARCUZZO, F. F. N., OLIVEIRA, N. L., CARDOSO, M. R. D., TSCHIEDEL, A. **Detalhamento hidromorfológico da bacia do rio Paraíba**, 2012. Disponível em: www.cprm.gov.br/publique/media/Evento_Hidro_Marcuzzo.pdf. Acesso em: jun/2015.

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>. Acesso em: 16 jul. 2015.

MOSCA, A. A. O. Caracterização Hidrológica de Duas Microbacias Visando a Identificação de Indicadores Hidrológicos para o Monitoramento Ambiental do Manejo de Florestas Plantadas. **Dissertação** (Mestrado em Recursos florestais). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba/SP. 2003.

PARETA, K.; PARETA, U. Quantitative Morphometric Analysis of a Watershed of Yamuna Basin, India using ASTER (DEM) Data and GIS. **International Journal of Geomatics and Geosciences**. V. 2, n.1, 2011. Disponível em: <<http://ipublishing.co.in/jggsvol1no12010/voltwo/EIJGGS3022.pdf>> Acesso em: 30 jun. 2014.

PEREIRA, F. J. **Qualidade Físico-química da água do rio Mathias Almada na cidade de Foz do Iguaçu após estação de tratamento de esgoto – ETE 8**. 2013. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4626/1/MD_GAMUNI_2014_2_85.pdf Acesso em mai. 2018.

PORTO, R.L; ZAHED, K. F.; SILVA R. M. Bacias Hidrográficas. São Paulo: Escola Politécnica da USP – Depto de Engenharia Hidráulica e Sanitária PHB – 307 – **Hidrologia Aplicada**, 1999.

RIBEIRO, D. G. Metamorfose da Cidade: tensões e contradições na produção e apropriação do espaço urbano em Foz do Iguaçu. **Dissertação** (mestrado em Ciências Sociais) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Toledo. 263p. 2015.

RODRIGUES, C. ADAMI, S. Técnicas Fundamentais para o Estudo de Bacias Hidrográficas IN: VENTURI, L. A. B. (Org.) **Praticando Geografia: técnicas de campo e laboratório em Geografia e análise ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**. n.8, p.63-74. 1994.

ROSSI, M.; PFEIFER, R.M. Remoção de material erodido dos solos de pequenas bacias hidrográficas no Parque Estadual da Serra do Mar em Cubatão (SP). **Bragantia**, Campinas, v. 58, n.1, p.141-156, 1999.

SANTANA, D. P. **Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo**, 2003. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 30).

SANTOS, L. C.; OKA-FIORI, C.; CANALI, N. E.; FIORI, A. P.; SILVEIRA, C. T.; SILVA, J. F.; ROSS, J. L. S. Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia** - Ano 7, nº 2 (2006). pp. 03-12.

SCHUMM, S.A. Sinuosity of alluvial rivers on the great plains. **Geological Society of America Bulletin**. v. 74, n. 9, p. 1089-1100, 1963.

SILVA, A. M.; MELLO, C. R. **Apostila de Hidrologia**. Universidade Federal de Lavras. 2008 In Site: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4626/1/MD_GAMUNI_2014_2_85.pdf. Acesso em www.deg.ufla.br/Irriga%C3%A7%C3%A3o/Disciplinas/ENG%20170/hidrologia_eng_170.htm. Acesso em 02 de out. 2014.

SOUZA, E. R.; FERNANDES, M. R. Sub-bacias hidrográficas: unidades básicas para o planejamento e a gestão sustentáveis das atividades rurais. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v. 21, n. 207, p.15-20, nov./dez. 2000.

STIPP, N. A. F.; CAMPOS, R. A.; CAVIGLIONE, J. H. Análise Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Taquara – uma contribuição para o estudo de ciências ambientais. **Portal de Cartografia**, v. 3 nº1 (2010) p.105-124.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) – analysis of erosion al topography. **Geological Society of America Bulletin**, v.63, n.10, p.1117-1142, 1952.

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, v.20, p.137-157, 2007.

TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L.; ALVARES, C. A.; RIBEIRO, S.; LEITE, F. P. Morfometria da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões – MG. **Revista Árvore**, v.30, n.5, p.849-857, 2006.

TRAJANO, S. R. R. S.; SPADOTTO, C. A.; HOLLER, W. A.; DALTIO, J.; MARTINHO, P. R. R.; FOIS, N. S.; SANTOS, B. B.O.;TOSCHI, H. H.; LISBOA F. S. Análise morfométrica de bacia hidrográfica – subsídio à gestão territorial estudo de caso no alto e médio Mamanguape. Campinas, SP: EMBRAPA, 2012. 35p. (Boletim).

VEIGA, A. M.; TRINDADE, M. C.; SOUZA, R. M.; OLIVEIRA, W. N. Caracterização hidromorfológica da bacia do rio dos Bois. In Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 10, **Anais...**Porto Alegre, 2013.

VILELLA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia Aplicada. São Paulo, McGraw-Hill, 1975.

Enviado em: 13/05/2018

Aceito em: 21/06/2018