ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

Avaliação de parâmetros geomorfométricos derivados de modelos altimétricos de diferentes fontes e resoluções: estudo de caso da bacia hidrográfica do córrego Lajeado, Campo Grande, MS

Viviane Capoane¹, Daiane Alencar da Silva²

¹ Dr^a. em Geografia, Professora Adjunta, Unidade Universitária Campo Grande, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Av. Dom Antônio Barbosa (MS-080), 4.155, CEP 79115-898, Campo Grande – MS. capoane@gmail.com (autora correspondente). ² Dr^a. em Geografia, Professora Adjunta, Unidade Universitária Jardim, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Av. 11 de Dezembro, 1425 - Vila Camisão, Jardim - MS, 79240-000, daianeufgd@hotmail.com

Artigo recebido em 27/11/2019 e aceito em 25/03/2020

RESUMO

Um Modelo Digital de Elevação (MDE) é uma representação computacional da superfície da Terra e fornece um conjunto de dados base a partir do qual parâmetros topográficos podem ser gerados digitalmente. Porém, os parâmetros derivados de MDEs são fortemente dependentes da resolução espacial. Diante disso, este trabalho teve como objetivo quantificar parâmetros geomorfométricos para a bacia hidrográfica do córrego Lajeado a partir de Modelos Digitais de Superfície (MDSs) e de MDEs de diferentes fontes, a fim de ilustrar o efeito da resolução nos parâmetros derivados, bem como subsidiar a escolha do modelo apropriado para orientar o planejamento e o gerenciamento dos recursos solo e água nesta bacia hidrográfica. No programa ArcMap10.3 os dados altimétricos das três bases: imagens de radar – SRTM e Alos Palsar – e, levantamento aerofotogramétrico, foram interpolados utilizando o método *topo to raster*. Os parâmetros morfométricos foram avaliados sob três perspectivas: rede de drenagem, geometria da bacia hidrográfica e características de relevo. A bacia hidrográfica do córrego Lajeado possui forma alongada e uma rede de drenagem dendrítica. As características de relevo indicam que a bacia é dissecada moderadamente. A classe de declive predominante nas três bases analisadas foi a 2-5%. O uso das bases de dados SRTM (30m) e Alos (12,5m), que apresentam resolução mais grossa que a do levantamento aerofotogramétrico (5m), subestimaram as áreas planas e superestimaram as áreas com declive superior a 5%. O trabalho mostra que MDSs com resoluções grosseiras como Alos Palsar e SRTM não são adequados para avaliações geomorfométricas, logo, não poderiam servir de subsídio para a gestão de bacias hidrográficas.

Palavras-chave: Sistema de Informação Geográfica, Relevo, Geomorfologia Fluvial.

Evaluation of geomorphometric parameters derived from altimetric models of different sources and resolutions: a case study of the córrego Lajeado watershed, Campo Grande, MS

ABSTRACT

A Digital Elevation Model (DEM), a computer representation of the Earth's surface, provides a base data set from which topographic parameters can be digitally generated. However, parameters derived from DEMs are strongly dependent on spatial resolution. This work tries to quantify geomorphometric parameters for the Lajeado watershed from Digital Surface Models (DSMs) and MDEs of different sources, in order to illustrate the effect of resolution on the derived parameters, as well as to enable the choice of the appropriate model to guide planning and management of soil and water resources in this watershed. In the ArcMap 10.3 software, the altimetric data of the three databases: satellite radar images – SRTM and Alos Palsar –, and aerophotogrammetric survey were interpolated using the *topo to raster* method. Morphometric parameters were evaluated from three perspectives: drainage network, watershed geometry and relief characteristics. The Lajeado watershed has an elongated shape basin and a dendritic drainage network. Relief characteristics indicate that the basin is moderately dissected. The predominant slope class in the three bases analyzed was 2-5%. Use of the SRTM (30m) and Alos (12.5m) databases, which feature coarser resolution than the aerophotogrammetric survey (5m), created parameters which underestimated the flat areas and overestimated the areas with a slope greater than 5%. The work shows that DEMs with coarse resolutions such as Alos and SRTM are not suitable for geomorphometric assessments and therefore could be used reliably as an instrument for watershed management.

Keywords: Geographical Information System, Relief, Fluvial Geomorphology.

Introdução

Um Modelo Digital de Elevação (MDE) é uma matriz ordenada de números que representa a distribuição espacial de elevações acima de um Datum arbitrário em uma paisagem (Moore et al., 1991), representando a topografia e as formas do relevo terrestre. Os MDEs têm sido objeto de crescente atenção e utilização nas últimas décadas, devido à relativa facilidade no delineamento, extração e cálculo de vários parâmetros geomorfológicos de drenagem e do terreno, no ambiente do Sistema de Informação Geográfica. O principal requisito de qualquer MDE é que ele tenha a precisão e a resolução desejada, e que não tenha vazios de dados (Sefercik e Alkan, 2009; Moudry et al., 2018; Ficher et al., 2019; Szypuła, 2019).

A análise hidrológica, em particular, depende fortemente dos dados de MDEs (Moore et al., 1991; Li e Wong, 2010), e a análise geomorfológica de bacias hidrográficas é uma das aplicações hidrológicas básicas. Segundo Clarke (1966), a morfometria é a medição e análise matemática da configuração, forma e dimensão da superfície da Terra. Foi introduzida por Horton (1932; 1945), para estudar a origem das redes fluviais. Trabalhos na temática também foram desenvolvidos por Strahler (1952; 1964). Com a revolução da computação nas décadas de 1970 e 1980 (Pike, Evans e Hengl, 2009), a morfometria convencional, evoluiu para a digital. Assim, a geomorfometria é uma ciência da análise quantitativa da superfície terrestre que compreende um campo interdisciplinar que se desenvolveu a partir da matemática, das ciências da terra e da ciência da computação (Pike, Evans e Hengl, 2009). Deste então, inúmeras pesquisas vêm sendo desenvolvidas na temática.

A caracterização geomorfológica de bacias hidrográficas é uma das ferramentas utilizadas para entender processos hidrológicos, características geomorfológicas, o comportamento topográfico (Miller, 1953; Angillieri, 2012; Soares e Souza, 2012; Zhang et al., 2016) e, as formas de uso e ocupação da terra (Chauhan et al., 2016; Puno e Puno, 2019; Cao, Sofia e Tarolli, 2020). Isso a torna particularmente útil para discernir o comportamento dos impactos ambientais nas bacias hidrográficas, o que pode ajudar a avaliar mudanças ambientais (Siqueira et al., 2012; Mohammed, Demissie e Dibaba, 2018; Prabhakar et al., 2019), consequentemente, subsidiar o planejamento adequado das atividades a serem desenvolvidas, através dos diagnósticos e análise dos riscos de degradação dos recursos naturais

(Altaf, Meraj e Ahmad Romshoo, 2014; Suji, Sheeja e Karuppusamy, 2015; Kadam, Umrikar e Sankhua, 2016; Prieto-Amparán et al., 2019).

Apesar da importância da análise geomorfológica para o planejamento e gerenciamento de bacias hidrográficas, em termos de Brasil, as pesquisas sobre a temática são limitadas há algumas áreas. Quando existem estas informações, na maioria dos casos, elas foram derivadas de Modelos Digitais de Superfície (MDSs) com resoluções grosseiras como SRTM (90m, mais recentemente SRTM 30m), TOPODATA (30m), Aster GDEM (30m) (Cunha e Bacani, 2016; Sousa e Paula, 2016; Batista et al., 2017; Faria et al., 2017; Sousa et al., 2017; Gerber et al., 2018; Lopes, Leal e Ramos, 2018; Silva et al., 2018; Alves et al., 2018; Cassettari e Queiroz, 2019; Pirajá e Rezende Filho, 2019; Andrade e Mendes, 2019; Bertolini, Deodoro e Boettcher, 2019), e de MDEs gerados a partir de curvas de nível e pontos cotados de cartas topográficas das décadas de 60 e 70 (Bortolini, Silveira e Silveira, 2017; Santos, Sousa e Lima, 2018). Na bacia hidrográfica do córrego Lajeado, área de estudo do presente trabalho, não existem pesquisas publicadas na temática. Os poucos trabalhos publicados sobre esta bacia hidrográfica, envolvem os impactos da urbanização (Queiroz e Silva, 2019; Bobadilha e Andrade, 2019) e, uso e cobertura da terra, estes, restritos à Área de Proteção Ambiental dos Mananciais do Córrego Lajeado (Lima e Silva, 2014; Figueiredo et al., 2016; Andrade et al., 2019), que corresponde a 55,4% da área da bacia hidrográfica.

Diante do exposto, este trabalho visa preencher esta lacuna de pesquisa para a bacia hidrográfica do córrego Lajeado, que é responsável por 16% da água que abastece a cidade de Campo Grande, quantificando parâmetros geomorfológicos a partir de modelos altimétricos de diferentes fontes, a fim de ilustrar o efeito da resolução espacial nos parâmetros derivados, bem como gerar informações que subsidiem a escolha do modelo altimétrico apropriado para orientar o planejamento e o gerenciamento dos recursos solo e água nesta bacia hidrográfica.

Material e métodos

Localização e Caracterização da Área de Estudo

A bacia hidrográfica (BH) do córrego Lajeado localiza-se integralmente no município de Campo Grande, estado de Mato Grosso do Sul e,

aproximadamente 70,1% da área da BH está inserida no perímetro urbano (Figura 1C).

Na BH há uma Unidade de Conservação de Uso Sustentável, a Área de Proteção Ambiental (APA) dos Mananciais do Córrego Lajeado, também denominada de APA do Lajeado (Figura 2D), que corresponde a 55,4% da área da bacia hidrográfica. A APA do Lajeado foi instituída pelo Poder Público Municipal através do Decreto nº 8.265, de 27 de julho de 2001 (Campo Grande, 2001). A criação da APA vinculou-se à

necessidade de recuperação e conservação do sistema produtor de água bruta para abastecimento público de Campo Grande que, à época de criação, respondia por aproximadamente 12% do abastecimento público urbano. O Reservatório Lajeado (Figura 2), está em operação desde 1969 e, atualmente, conforme a concessionária Águas Guararoba, corresponde a 16% do abastecimento de Campo Grande. Segundo a concessionária, o reservatório ocupa uma área de 9.708 m², com capacidade de acumulação de 13.052 m³.

Figura 1. A) Mato Grosso do Sul com destaque para a bacia hidrográfica do Rio Pardo; B) bacia hidrográfica do Rio Pardo com destaque para a bacia hidrográfica do córrego Lajeado; C) bacia hidrográfica do córrego Lajeado, área de estudo do presente trabalho.

O território da BH do Lajeado é composto predominantemente por rochas ígneas extrusivas da Formação Serra Geral (80,3%) e, por formações sedimentares, Unidade Caiuá (19,7%) (CPRM) (Figura 2A). Conforme dados disponíveis no repositório do IBGE na escala 1:250.000, na BH encontram-se mapeadas somente duas classes de solo, sendo elas Latossolo Vermelho Distrófico com 89,1% da área e; Neossolo Quartzarênico Órtico, com 10,9% da área da bacia hidrográfica (Figura 2C).

Na Carta Geotécnica do perímetro urbano de Campo Grande, a geologia e solos estão representadas em maior detalhe, como pode ser visualizados na Figura 2B,D. No que se refere a APA Lajeado, em trabalho desenvolvido por Oliveira et al. (2009), os autores mapearam as seguintes classes de solos: Neossolo Quartzarênico (69%); Argissolo Vermelho Distrófico e Gleissolo

Háplico Tb Distrófico (10%) e; Latossolo Vermelho Distrófico (18%).

O clima da região, conforme a classificação climática de Köppen (Alvares et al., 2014), é o monçônico (Am), com precipitação variando de 1.300 a 1.600 mm, ano⁻¹ e temperatura média anual de 22-24°C. Quanto a drenagem, o Córrego Lajeado é afluente do Rio Anhanduí, que por sua vez, deságua no rio Pardo (Figura 1B).

Os usos predominantes na BH do córrego Lajeado são: áreas urbanizadas e pastagens. Os fundos de vale caracterizam-se pela ocorrência de campos úmidos, veredas e outras formações ribeirinhas típicas do Cerrado. Na APA, conforme Oliveira et al. (2009), o território é caracterizado pela ocupação urbana e rural, e as classes de uso são compostas por pastagens (57,8%), cerrado (17,7%), cerrado (3,2%), eucalipto (0,1%), água (0,3%), área úmida (1,7%), solo exposto (1,1%) e área urbana (18,1%).

Fontes dos Dados

Neste trabalho foram utilizados modelos altimétricos de diferentes fontes: MDSs gerados a

partir de imagens de radar - SRTM e Alos Palsar (AP), e MDE gerado com dados de um levantamento aerofotogramétrico (LA) do município de Campo Grande.

Figura 2. Litologia (A, B) e Solos (C, D) da bacia hidrográfica do Córrego Lajeado.

A imagem do radar SAR da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) utilizada foi a SRTM1S21W055V3 com data de aquisição 11/02/2000 e de publicação 23/09/2014. A resolução espacial da cena é de 30 metros, 1 arco segundo. A imagem foi obtida no repositório da *United States Geological Survey*. A missão SRTM da *National Aeronautics and Space Administration* foi lançada em 11 de fevereiro de 2000 em um período de 11 dias. Foram usados radares SAR nas bandas C e X para adquirir dados topográficos em mais de 80% da área emersa da Terra, entre 60° Norte e 56° Sul (Rodriguez et al. (2006).

A imagem de radar do satélite Alos com múltipla polarização em amplitude, órbita ascendente 26796, ponto 6770, no modo de imageamento: banda L, polarização HH e tamanho do pixel de 12,5 m, com data de aquisição de 04/02/2011, foi obtida no repositório da *Alaska Satellite Facility*. O satélite Alos foi lançado pela *Japan Aerospace Exploration Agency* em 24 de janeiro de 2006 e descreve uma órbita circular e heliossíncrona a 692 km de altitude, com um

período de revisita de 46 dias. Conforme Igarashi (2001), o Palsar corresponde a um radar imageador de abertura sintética que opera com resoluções espaciais que variam entre 10 a 100m e possui três modos de imageamento: fino, ScanSAR e polarimétrico.

As informações de altimetria do LA (curvas de nível e pontos cotados) foram obtidas junto a Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Urbano de Campo Grande (SEMADUR). O levantamento foi realizado pela Empresa Base Aerofotogrametria e Projetos S.A no ano de 2013 ao custo de quatro milhões (DIOGRANDE, 2013). Na zona urbana, a equidistância das curvas é de um metro e, na zona rural, cinco metros.

Para a geração dos modelos altimétricos, as imagens de radar SRTM e Alos Palsar foram reprojadas para o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), posteriormente, a grade raster foi convertida para pontos. Para os dados obtidos junto a SEMADUR, foi necessário a checagem das cotas das curvas

nível e remoção de *sinks* e *spires* no arquivo pontos cotados. No programa ArcMap 10.3 os dados altimétricos das três bases foram interpolados utilizando a ferramenta de análise espacial *Interpolation*, método *topo to raster*. A escolha do método de interpolação baseou-se nos resultados do trabalho desenvolvido por Hutchinson (1989), que constatou que o interpolador *topo to raster* resulta em melhor consistência hidrológica. Ainda, o método de interpolação *topo to raster* é indicado para gerar modelos altimétricos acurados, já que o efeito erosivo da água altera substancialmente o contorno do relevo (Hutchinson et al., 2011). Segundo esses autores, o método foi especificamente projetado para criar uma superfície que representa mais de perto uma drenagem natural e preserva melhor as linhas de cume. A versão atual do ANUDEM (no qual o *topo to raster* é baseado) usado no ArcMap é a 5.3.

Nos MDSs SRTM e AP, foram mantidas as resoluções de 30 e 12,5 metros, respectivamente. No MDE LA, a resolução escolhida foi a de cinco metros. Optou-se pela resolução espacial, pois as curvas de nível com equidistância de cinco metros do LA cobrem mais de 90% do município de Campo Grande. Também, porque segundo Hancock et al. (2002), MDEs com 10 metros de resolução de pixel já são adequados para avaliações geomorfológicas em escala de bacia hidrográfica. Ainda, Shan, Yang e Zhu (2019), constataram que MDEs de 5 a 10m de resolução espacial são ideais para estimar a erosão em encostas, pois os valores de *Lenght* e *Slope* calculados nessa faixa foram próximos dos valores de LS medidos em campo.

Delimitação da Bacia Hidrográfica

Uma vez obtidos os MDSs e MDE, utilizando a ferramenta *Spatial Analyst Tools - Hydrology - fill* do ArcMap, foram removidas as depressões locais para garantir a continuidade do fluxo. O algoritmo D8 (O'Callaghan e Mark, 1984) foi usado para determinar a direção do fluxo de uma célula da grade (*Hydrology - Flow Direction*), onde a direção de cada célula é determinada por uma de suas oito células circundantes. Com base no número acumulado de células a montante drenando para cada célula na grade de acumulação de fluxo (*Hydrology - Flow Accumulation*), foi gerada a rede de fluxo para a bacia hidrográfica. A rede de drenagem foi melhor representada / capturada (*Spatial Analyst Tools - conditional - con*) quando o limiar de definição dos rios foi fixado em 1.000; 5.000 e; 16.000 na camada *Flow Accumulation* nas

bases SRTM; AP e LA, respectivamente. A área do limiar é um indicador médio e diferentes regiões fisiográficas podem ter limiares diferentes para a definição de rios. No presente trabalho as diferenças de limiares definidas decorrem das diferentes resoluções espaciais das bases de dados utilizadas. O limite da bacia hidrográfica do córrego Lajeado foi delineado usando a funcionalidade de delimitação de pontos das ferramentas de análise espacial (*Spatial Analyst Tools - Hydrology - watershed*). Ressalta-se que os MDSs e MDE com as depressões preenchidas “fil”, foram utilizados unicamente para a delimitação da bacia hidrográfica.

Análises Geomorfométricas

Os cálculos iniciais para quantificação dos atributos geomorfométricos foram a área da bacia hidrográfica (km²), juntamente com seu perímetro (km), elevação (m), comprimento axial da bacia (km) e comprimento da rede de drenagem (km). Essas informações são necessárias para os cálculos subsequentes (Tabela 1).

Além desses atributos, o caminho mais longo do fluxo (do ponto de saída até a nascente do canal principal) e, o perfil longitudinal foram derivados das bases SRTM, AP e LA, com o uso das ferramentas de análise espacial e a extensão 3D.

Os parâmetros geomorfométricos derivados foram avaliados sob três aspectos: rede de drenagem, geometria da bacia hidrográfica e características do relevo (Tabela 1). Os cálculos dos parâmetros geomorfométricos são baseados em equações matemáticas que podem ser visualizadas na Tabela 1.

Além dos parâmetros acima, foram modeladas topograficamente as formas de relevo da bacia hidrográfica, a partir de combinações de classes de declive, relevo e escoamento superficial, propostas por Lepsch et al. (1991), como mostra a Tabela 2. De acordo com Burrough (1986), a declividade é definida como um plano tangente a superfície, ou seja, corresponde à inclinação da superfície do terreno em relação ao plano horizontal, expresso como a mudança de elevação sobre certa distância. A inclinação das encostas influencia diretamente na velocidade do fluxo de água superficial e subsuperficial, logo, no teor da água do solo e no potencial dos processos erosivos e deposicionais. Normalmente a declividade é calculada em graus ou porcentagem.

Tabela 1. Métodos empregados para a determinação de 18 parâmetros geomorfométricos para a bacia hidrográfica do córrego Lajeado, Campo Grande, Mato Grosso do Sul.

Parâmetro geomorfométrico	Método	Referência
Rede de drenagem		
Ordem dos canais	Classificação hierárquica	Strahler (1964)
Comprimento total dos canais (L_t) (km)	$L_t = L_1 + L_2 + \dots + L_n$ L_t corresponde a $\sum$ do comprimento de todos os canais	Horton (1945)
Gradiente do canal principal (G_c)	$G_c = \frac{h_{\text{nascente}} - h_{\text{foz}}}{L_c}$ h : altitude (m) L_c : comprimento do canal principal em km	-
Densidade de drenagem (D_d)	$D_d = \frac{L_t}{A}$ L_t : comprimento total de todos os canais (km) A : área de drenagem (km ²)	Horton (1945)
Índice de Sinuosidade (I_s)	$I_s = \frac{L_c}{L_v}$ L_c : comprimento do canal principal (km) L_v : comprimento vetorial do canal principal (km)	Schumm (1963)
<i>Continuação da Tabela 1</i>		
Geometria da bacia hidrográfica		
Comprimento axial da bacia (L_b) (km)	-	Horton (1932)
Área (A) (km ²)	-	-
Perímetro (P) (km)	-	-
Fator forma (F_f)	$F_f = \frac{A}{L_b^2}$ A : área de drenagem (km ²) L_b : Comprimento axial da bacia (km)	Horton (1932)
Razão de alongação (R_e)	$R_e = \left(\frac{2}{L_b}\right) \times \left(\frac{A}{\pi}\right)^{0,5}$ L_b : Comprimento axial da bacia (km) A : área de drenagem (km ²) π : 3,14159	Schumm (1956)
Razão de circularidade (R_c)	$R_c = 4\pi \frac{A}{P^2}$ π : 3,14159 A : área de drenagem (km ²) P : Perímetro (km)	Miller (1953)
Coeficiente de compacidade (K_c)	$K_c = 0,282 \frac{P}{\sqrt{A}}$ P : Perímetro (km) A : área de drenagem (km ²)	Gravelius (1941)
Características do relevo		
Altura da foz da bacia ($Z_{\text{mín}}$) (m)	-	-
Altura máxima da bacia ($Z_{\text{máx}}$) (m)	-	-
Amplitude altimétrica (H) (m)	$H = Z_{\text{máx}} - Z_{\text{mín}}$ Z : altitude (m)	Strahler (1952)
Relação de relevo (R_h)	$R_h = \frac{H}{L_b}$ H : amplitude (km) L_b : Comprimento axial da bacia (km)	Schumm (1956)
Porcentagem de relevo relativo (R_{hp})	$R_{hp} = H \times \frac{100}{P}$ H : amplitude (km) P : Perímetro (km)	Melton (1957)
Índice de dissecação (D_{is})	$D_{is} = \frac{H}{Z_{\text{máx}}}$ H : amplitude (m) Z : altitude (m)	Gravelius (1941)

Tabela 2. Classes de declividade, relevo e escoamento superficial propostas por Lepsch et al. (1991).

Declividade %	Forma do relevo	Escoamento superficial
0 - 2	Plano (terraços)	Muito lento ou lento
2 - 5	Suave ondulado (colinas)	Lento ou médio
5 - 10	Ondulado (morros e morrotes)	Médio ou rápido
10 - 15	Muito inclinado (morros e morrotes)	Rápido
15 - 45	Fortemente ondulado (morros e serras)	Muito rápido
45 - 100	Montanhoso (montanhas e serras)	Muito rápido
> 100	Escarpado (serras e escarpas)	Muito rápido

Resultados e discussão

Os 19 parâmetros geomorfométricos foram computados para a bacia hidrográfica do córrego Lajeado. A descrição quantitativa da rede de drenagem, geometria da bacia hidrográfica e características de relevo são apresentados e discutidos nas seções a seguir.

Rede de Drenagem

O sistema de drenagem é o padrão formado por córregos, rios e lagos em uma bacia hidrográfica, sendo um componente importante na análise do terreno. Conforme Charlton (2008) vários fatores como topografia, tipo de solo, tipo de rocha, clima e cobertura vegetal, influenciam a entrada, a produção e o transporte de sedimentos e água. Como consequência, o padrão de drenagem pode refletir as características geográficas de uma rede fluvial em certa medida (Twidale, 2004). O padrão de drenagem da bacia hidrográfica do córrego Lajeado pode ser descrito como predominantemente dendrítico, que, conforme Twidale (2004), tendem a se desenvolver em áreas onde o canal do rio segue a inclinação do terreno e a geologia tem uma resistência aproximadamente igual ao intemperismo. A direção preferencial do alinhamento dos fluxos também reflete o controle de fraturas / lineamentos na rede de drenagem.

A ordem dos canais de drenagem representa uma medida da extensão da ramificação do fluxo dentro de uma bacia hidrográfica. Dessa forma, a designação da ordem dos cursos d'água é o primeiro passo na caracterização geomorfométrica das BHs. No presente estudo, a ordem dos cursos d'água foi classificada com base no método hierárquico proposto por Strahler (1964). Nesta classificação, os canais de primeira ordem não possuem tributários; os de segunda ordem tem apenas a primeira ordem como tributários, da mesma forma que os fluxos de terceira ordem têm os fluxos de primeira e segunda ordem como seus tributários e assim por diante. A ordem e o comprimento dos canais da bacia hidrográfica do córrego Lajeado são apresentados na Tabela 3. Nas bases SRTM e LA, a BH é de 4ª

ordem e na base AP, de 3ª ordem. O comprimento total dos segmentos de riachos (L_t) foi de 66,37; 70,7 e; 83,35 km nas bases SRTM, AP e LA, respectivamente (Tabela 3), dos quais os riachos de primeira e segunda ordem constituem 68,4% na base SRTM, 74,3% na base AP e, 75,6% na base LA. Ressalta-se que o L_t reflete a resolução do MDE, como mostrou o trabalho de Wu et al. (2019), em que MDEs de resolução fina melhoraram a modelagem da drenagem superficial; e o limiar escolhido para a extração da rede de drenagem.

O caminho de fluxo mais longo da bacia hidrográfica foi de 19,8 km na base SRTM; 19,6 km na base AP e, 20,2 km na base LA. O gradiente do canal principal foi de 6,61; 7,37 e; 9,48 nas bases SRTM; AP e; LA, respectivamente (Tabela 3).

O gradiente de inclinação do canal principal demonstra que a área drenada por este sistema fluvial, naturalmente não sofre uma grande pressão pela erosão fluvial, demonstrando a grande importância dos processos erosivos nas vertentes, no modelado desta rede de drenagem. Os valores do gradiente permitem observar o efeito da resolução dos MDSs e MDE, em que a resolução mais fina melhora a representação da inclinação do canal principal. O mesmo foi constatado em trabalho desenvolvido por Buakhao e Kangrang (2016), que avaliaram os impactos da resolução de MDEs na estimativa de características físicas de BHs através do modelo hidrológico SWAT - *Soil and Water Assessment Tool*. Os perfis longitudinais podem ser visualizados na Figura 3. Eles mostram que no curso superior o gradiente é íngreme, o que interfere na velocidade de escoamento superficial, assim, maior escoamento e menor tempo de permanência da água, sugerindo uma maior fragilidade natural nas cabeceiras de drenagem e, consequentemente, maior predisposição à degradação como mostram os trabalhos de Pericato e Souza (2019). Esses locais constituem as áreas prioritárias para o manejo do solo, água e proteção das margens (restauração da vegetação ciliar). No médio e baixo curso, o

gradiente diminuiu à medida que o rio erode em direção ao exutório.

Conforme Horton (1945), a densidade de drenagem é a relação entre o comprimento total de canais e a área da BH. Para Christofolletti (1970), o cálculo da densidade de drenagem é importante nas análises geomorfométricas, pois apresenta uma relação inversa com o comprimento dos rios, ou seja, ao aumentar o valor da densidade diminui proporcionalmente o tamanho dos componentes fluviais das BHs. No cálculo, são considerados todos os rios, tanto os perenes como os temporários. Hiruma e Ponçano (1994) propuseram classes de densidade de drenagem sendo: valores superiores a 2,50 - de alta densidade, entre 1,25-2,50 - média densidade valores e, abaixo de 1,25 - baixa densidade de drenagem. Nesta classificação a D_d nas três bases de dados enquadra-se como de baixa densidade de drenagem. Beltrame (1994) propôs uma classificação em quatro faixas para a densidade de drenagem: $< 0,5$ - baixa; $0,5$ a 2 - mediana; 2 a $3,5$ - alta e; $> 3,5$ - muito alta. Assim como na classificação anterior, a D_d nas três bases analisadas enquadra-se como baixa. Ainda, de acordo com Campanharo et al. (2012), os valores encontrados indicam boa capacidade de escoamento e contribuem para a não ocorrência de inundações. Cabe ressaltar que a morfologia da rede de canais na área urbanizada foi intensamente alterada (retificada, canalizada, drenada) e, mesmo que para a definição dos limiares tenham sido feitos inúmeros testes, tendo como plano de fundo no ambiente SIG imagens de satélite de alta resolução, a drenagem derivada é somente próxima a drenagem real.

O Índice de Sinuosidade é a relação entre o comprimento do canal principal e a distância vetorial do canal principal (Schumm, 1963). O I_s expressa a velocidade de escoamento e, quanto maior a sinuosidade, maior será a dificuldade de se atingir o exutório, portanto, a velocidade de escoamento será menor. De acordo com Alves e Castro (2003), valores de sinuosidade do curso d'água próximos a 1 indicam que o canal tende a ser retilíneo (alta influência da carga sedimentar) e valores acima de 2 indicam um canal tortuoso (baixa influência da carga sedimentar). Já os valores intermediários a esses limites indicam formas transicionais, regulares e irregulares, fato encontrado no presente estudo (I_s : 1,34; 1,37 e; 1,33 nas bases SRTM; AP e; LA, respectivamente - Tabela 3).

O perímetro é o limite externo da bacia hidrográfica que delimita sua área. É medido ao longo dos divisores entre bacias hidrográficas e pode ser usado como um indicador do tamanho e da forma da BH (Moore et al., 1991). Os valores encontrados do P foram: 76,62; 81,68 e; 67,71 km nas bases SRTM, AP e LA, respectivamente (Tabela 3). Considerando o LA, as bases SRTM e AP superestimaram o perímetro da BH em 13,2% e 20,6%, respectivamente. O mesmo foi detectado por Santos et al. (2017) em trabalho realizado na BH do rio Ivaí, no estado do Paraná. O desvio padrão entre os valores das três bases cartográficas analisadas foi de 7,07.

A área da bacia hidrográfica corresponde a área drenada pelo conjunto do sistema fluvial projetada no plano horizontal e, conforme Moore et al. (1991), a área da BH influencia no volume de escoamento. A área encontrada para a BH do córrego Lajeado foi de 92,69; 92,38 e; 90,00 km² nas bases SRTM, AP e LA, respectivamente (Tabela 3). Considerando o LA, as bases SRTM e AP superestimaram a área da BH em 2,04% e 1,70%, respectivamente. O desvio padrão entre as bases foi de 0,99.

A forma de uma bacia hidrográfica é controlada pela estrutura geológica, litologia, relevo e clima, variando de formas alongadas a formas circulares ou semicirculares. A forma governa principalmente a taxa na qual a água é fornecida ao canal principal sendo um parâmetro importante do ponto de vista hidrológico. No presente estudo, quatro parâmetros: fator de forma (F_f), razão de alongação (R_e), razão de circularidade (R_c), e coeficiente de compacidade (K_c), foram utilizados para a caracterização da forma bacia.

Os valores encontrados para o F_f foram 0,33; 0,33 e; 0,32; para a R_e foram 0,65; 0,65 e; 0,64; para a R_c foram 0,20; 0,17 e; 0,25 e; para o K_c foram 2,08; 2,21 e; 2,00 nas bases SRTM, AP e LA, respectivamente (Tabela 3). Com base em Schumm (1956), os valores de R_e podem ser agrupados em cinco categorias, ou seja, mais alongado ($< 0,5$), alongado (0,5-0,7), menos alongado (0,7-0,8), oval (0,8 - 0,9) e, circular (0,9 - 1,0). Para Horton (1932), quanto menor o valor de F_f ($< 0,45$), mais alongada será a BH. Os valores encontrados de R_e nas três bases altimétricas analisadas mostram que a forma da BH é alongada, ou seja, os baixos valores de F_f , e R_e e alto valor de K_c implicam que a bacia hidrográfica tem uma forma alongada.

Figura 3. Perfil longitudinal do córrego Lajeado derivado dos MDS SRTM (A) e Alos Palsar (B) e, MDE levantamento aerofotogramétrico (C).

De acordo com Thomas et al. (2012), as bacias hidrográficas com formato alongado são caracterizadas por hidrogramas planos por mais tempo, com baixa inclinação dos membros em ascensão e recessão. Além disso, os baixos valores de F_f , R_e e R_c indicam menor vulnerabilidade a inundações e, como resultado, uma gestão de inundações mais fácil do que as de BHs circulares (Pandey et al., 2004). Cabe ressaltar, no entanto, que a resposta hidrológica das bacias hidrográficas é afetada por outros fatores, como a magnitude do evento de chuva, o tipo de solo, uso e cobertura (no caso da BH do Córrego Lajeado é

predominantemente urbano, com impermeabilização do solo) e declive.

Características do Relevo

As características do relevo podem ajudar a entender as formas da superfície topográfica de uma bacia hidrográfica, o desenvolvimento da rede de drenagem, os fluxos terrestres e, as propriedades erosivas do terreno. No presente estudo, a relação de relevo (R_h), a percentagem de relevo relativo (R_{hp}) e o índice de dissecação (D_{is}) foram utilizados, pois esses parâmetros mostram o potencial de escoamento e erosão de uma bacia hidrográfica.

Conforme Schumm (1956), a relação de relevo é a relação entre a amplitude altimétrica da BH e o comprimento do canal principal. Segundo este autor, quanto maior o valor de R_h , maior será o desnível entre a cabeceira e o exutório, consequentemente, maior será a declividade média da bacia, servindo como indicador da intensidade do processo de erosão que opera nas encostas. A percentagem de relevo relativo é calculada usando o perímetro e a amplitude total da bacia hidrográfica (Melton, 1957). Conforme este autor, terrenos com grandes valores de R_{hp} são mais propensos à erosão do que aqueles com pequenos valores de R_{hp} . O Índice de Dissecção de uma região indica as etapas do desenvolvimento do relevo sob a influência do ciclo geomórfico fluvial de erosão, ou seja, revela o comportamento do escoamento superficial e o potencial de erosão de uma bacia hidrográfica (Gravelius, 1941). A R_h (0,0126; 0,0126; 0,0129), R_{hp} (0,27; 0,26; 0,32) e D_{is} (0,30; 0,30; 0,31) indicam que a bacia

Tabela 3. Resultados dos 19 parâmetros geomorfométricos derivados dos modelos digitais de superfície SRTM e Alos Palsar e de elevação - levantamento aerofotogramétrico para a bacia hidrográfica do córrego Lajeado, Campo Grande, MS.

hidrográfica do córrego Lajeado é caracterizada por baixo relevo, baixo declive e é dissecada moderadamente. Os baixos valores de R_h decorrem principalmente do predomínio de um substrato de rochas resistentes (80,3% basaltos da Formação Serra Geral e 19,7% arenitos da Formação Caiuá - CPRM) e, baixo grau de inclinação (declive médio de 3,37% - LA). Isso reflete na menor energia da BH, manifestada como baixa intensidade dos processos de erosão operando nas encostas, bem como baixa capacidade de transporte de sedimentos.

A amplitude é a diferença de elevação entre o exutório e o ponto mais alto do perímetro da BH. Conforme Patton (1998), altos valores de relevo máximo indicam poder de fluxo alto, baixa infiltração e altas condições de escoamento. Na BH do córrego Lajeado os valores encontrados foram: 210,14; 210,03; 216,93 metros nas bases SRTM, AP e LA, respectivamente (Tabela 3).

Parâmetro geomorfométrico	SRTM	*AP	**LA	Declividade (área %)	
Rede de drenagem				SRTM	
Ordem dos canais	4	3	4	0,01 - 2	18,70
Índice de Sinuosidade (I_s)	1,34	1,37	1,33	2 - 5	53,60
Comprimento dos canais (L_u) (km)	66,37	70,70	83,35	5 - 10	26,17
Densidade de drenagem	0,72	0,77	0,92	10 - 15	1,46
Gradiente do canal principal	6,61	7,37	9,48	15 - 21,40	0,07
Geometria da bacia hidrográfica				ALOS PALSAR	
Comprimento axial da bacia (L_b) (km)	16,73	16,72	16,77	0 - 2	18,47
Área (A) (km ²)	92,69	92,38	90,84	2 - 5	39,23
Perímetro (P) (km)	76,62	81,68	67,71	5 - 10	36,14
Fator forma (F_f)	0,33	0,33	0,32	10 - 15	5,43
Razão de alongação (R_e)	0,65	0,65	0,64	15 - 32,00	0,72
Razão de circularidade (R_c)	0,2	0,17	0,25		
Coeficiente de compacidade (K_c)	2,08	2,21	2,00		
Características do relevo				AEROFOTOGRAMETRIA	
Altura da foz da bacia ($Z_{\min}$) (m)	484,78	486,98	474,98	0-2	35,03
Altura máxima da bacia ($Z_{\max}$) (m)	694,92	697,01	691,91	2 - 5	44,52
Amplitude altimétrica (H) (m)	210,14	210,03	216,93	5 - 10	17,01
Relação de relevo (R_h)	0,0126	0,0126	0,0129	10 - 15	2,36
Percentagem de relevo relativo (R_{hp})	0,27	0,26	0,32	15 - 45	1,07
Índice de dissecção (D_{is})	0,30	0,30	0,31	45 - 71,00	0,01

*AP: Alos Palsar; **LA: Levantamento Aerofotogramétrico.

Além dos parâmetros geomorfométricos relacionados às características do relevo, foi feita a compartimentação geomórfica utilizando os intervalos de classes propostas por Lepsch et al. (1991). Nas bases SRTM e AP foram encontradas cinco classes de declividade e no LA, seis classes (Tabela 3, Figura 4). Na base SRTM o declive variou de 0,01 a 21,4%, com média de 3,9% e desvio padrão de 2,2; na base Alos Palsar o declive variou de 0 a 32,0%, com média de 4,9% e desvio padrão de 3,1; na base levantamento aerofotogramétrico o declive variou de 0 a 71,0%, com média de 3,4 e desvio padrão de 3,1%. Nas três bases analisadas, a classe de relevo predominante foi a suave ondulado (declive 2-5%), com 53,6; 39,2% e; 44,5% da área da BH nas bases SRTM, AP e LA, respectivamente.

Considerando a base de resolução mais fina, LA, as bases SRTM e AP subestimaram as áreas planas (declive 0-2%) em 53,4%. Na classe de relevo suave ondulado a base SRTM superestimou em 20,4% e AP subestimou em 11,9%. Nessa classe de relevo, a área da BH corresponde a 53,6; 39,2; 44,5 para as bases SRTM, AP e LA, respectivamente. Ainda, considerando a resolução mais fina, LA, as áreas com declive superior a 5% foram superestimadas em 35,5% na base SRTM e 106,8% na base AP. A distribuição espacial das classes de declividade pode ser visualizada na Figura 4 e a percentagem de área para cada classe, na Tabela 3.

Considerando o escoamento superficial, embora na classificação proposta por Lepsch et al. (1991), predomine o escoamento muito lento ou lento (declive 0-2%) e lento ou médio (declive 2-5%), com 72,3%; 57,9% e; 79,5%, nas bases SRTM, AP e LA, respectivamente, a BH do córrego Lajeado é predominantemente urbanizada (70,1%) e, à medida que o nível de

impermeabilização aumenta, mais chuvas são convertidas em escoamento.

Os valores encontrados para a compartimentação geomórfica mostram que MDSs com resoluções grosseiras como Alos Palsar e SRTM não são adequados para o planejamento de estruturas de engenharia e práticas de conservação do solo e da água em bacias hidrográficas, pois como também constataram Buakhao e Kangrang (2016), as inclinações são significativamente influenciadas pela resolução espacial do MDE. Em BHs urbanas a situação é ainda mais crítica, pois elas foram significativamente alteradas pela drenagem de áreas úmidas, retificação e canalização dos cursos d'água, supressão da vegetação ciliar, impermeabilização do solo, dentre outros. Trabalhos como os de Shan, Yang e Zhu (2019), mostram que MDEs de 5 a 10m constituem boa resolução para quantificação, por exemplo, dos fatores topográficos comprimento de rampa (Length) e declividade (Slope), pois os valores de LS calculados nessa faixa aproximaram-se dos valores de LS medidos em campo.

Os resultados obtidos no presente trabalho mostram que MDEs de alta resolução implicam em maior precisão e uma extração mais fina dos componentes da superfície terrestre, especialmente para a declividade e linhas de drenagem. Logo, para planejamento e gerenciamento da bacia hidrográfica do córrego Lajeado, o MDE que permite o delineamento mais preciso dos parâmetros geomorfométricos e a declividade é o gerado a partir das curvas de nível e pontos cotados do levantamento aerofotogramétrico do município de Campo Grande.

Figura 4. Classes de declividade nas bases SRTM (A), Alos Palsar (B) e levantamento aerofotogramétrico (C).

Conclusões

No presente estudo foram feitas análises geomorfométricas em ambiente do sistema de informações geográficas utilizando três bases de dados para derivar características físicas da bacia hidrográfica do córrego Lajeado no intuito de ilustrar o efeito da resolução espacial nos parâmetros derivados, bem como, gerar informações que subsidiem a escolha do modelo altimétrico apropriado para orientar o planejamento e o gerenciamento dos recursos solo e água nesta bacia hidrográfica.

A análise dos parâmetros geomorfométricos realizada sob três aspectos: rede de drenagem, geometria da bacia hidrográfica e características de relevo, mostra que alguns parâmetros são apenas ligeiramente diferentes entre os modelos altimétricos, enquanto outros como comprimento total dos canais, inclinação do canal principal, perímetro da bacia hidrográfica e declividade são significativamente diferentes.

Os resultados mostram que MDSs com resoluções grosseiras como Alos Palsar e SRTM, por sub e superestimarem alguns parâmetros geomorfométricos, não poderiam servir de subsídio para o planejamento e gestão de bacias hidrográficas especialmente as urbanas, que foram significativamente alteradas. Ainda, quando existem informações de altimetria de resolução mais fina, como o caso do município de Campo Grande, que possui dados de um levantamento aerofotogramétrico do ano de 2013.

Os resultados obtidos neste estudo fornecem informações básicas sobre a geomorfometria da bacia hidrográfica do córrego Lajeado que podem servir como um banco de dados de avaliação inicial para planejamento estratégico, gerenciamento e tomada de decisão, para definição de áreas prioritárias para conservação do solo e da água, estudos de erosão do solo, avaliação de perigos a inundação etc., principalmente para a APA do Lajeado que é responsável por 16% da água que abastece a cidade de Campo Grande.

Agradecimentos

As autoras agradecem à SEMADUR por ter disponibilizado os dados do Levantamento Aerofotogramétrico do município de Campo Grande.

Referências

Altaf, S., Meraj, G., Ahmad Romshoo, S., 2014. Morphometry and land cover based multicriteria analysis for assessing the soil erosion

susceptibility of the western Himalayan watershed. *Environmental Monitoring and Assessment* [online] 186. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s10661-014-4012-2>.

Acesso: 10 jan. 2020.

Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M., Sparovek, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, [online] 22. Disponível: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Acesso: 13 nov. 2019.

Alves, J.M.P., Castro, P.T.A., 2003. 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* 33, 117-127.

Alves, W.S., Martins, A.P., Scopel, I., Pereira, M.A.B., 2018. Análise morfométrica da bacia do Ribeirão da Laje, no sudoeste de Goiás, Brasil. *Geografia, Ensino & Pesquisa* [online] 22. Disponível: <https://doi.org/10.5902/2236499431129>. Acesso: 13 mar. 2020.

Andrade, M.M.N., Mendes, A., 2019. Geospatial methods for morphometric characterization of the Caxiuanã river basin, Amazon, Brazil Métodos geoespaciais para caracterização morfométrica da bacia do rio Caxiuanã, Amazônia, Brasil. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi de Ciências Naturais* 14, 271-283.

Andrade, B.S., Melo, M.R.S., Silva, M.H.S., 2019. Geoprocessamento aplicado a análise da cobertura e uso da terra na área de proteção ambiental dos mananciais do córrego Lajeado, Campo Grande – MS. *Sociedade e Território* 31, 200-221.

Angillieri, M.Y.E., 2012. Morphometric characterization of the Carrizal basin applied to the evaluation of flash floods hazard, San Juan, Argentina. *Quaternary International* [online] 253. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2011.05.011>. Acesso: 13 nov. 2019.

Anornu, G., Kabo-Bah, A., Kortatsi, B., 2012. Comparability studies of high and low resolution digital elevation models for watershed delineation in the tropics: Case of Densuwer Basin of Ghana. *International Journal of Cooperative Studies* 1, 9-14.

Batista, D.F., Cabral, J.B.P., Rocha, T., Barbosa, G.R., 2017. Morphometric characterization of the drainage basin of the Santo Antônio stream – GO. *Geoambiente* [online] 1. Disponível:

- <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v49> i2.58166.
Acesso: 24 mar. 2020.
- Beltrame, A.V., 1994. Diagnóstico do meio ambiente físico de bacias hidrográficas: modelo de aplicação. Florianópolis: UFSC.
- Bertolini, W, Z., Deodoro, S.C., Boettcher, n., 2019. Análise morfométrica da bacia do rio Barra Grande – oeste de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Geomorfologia* [online] 20. Disponível: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v20i1.1506>. Acesso: 20 fev. 2020.
- Bobadilha, S.F., Andrade, M.H.S., 2019. Ocupação urbana e a qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do córrego Lajeado, Campo Grande/MS. *Geofronter* 1, 34-51.
- Bortolini, W., Silveira, C.T., Silveira, R.M.P., 2017. Emprego de técnicas geomorfométricas na identificação de padrões de relevo. *Ra'e Ga* [online] 41. Disponível: <https://doi.org/10.5380/raega>. Acesso: 13 mar. 2020.
- Buakhao, W., Kangrang, A., 2016. DEM Resolution Impact on the Estimation of the Physical Characteristics of Watersheds by Using SWAT. *Advances in Civil Engineering* [online] 2016. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1155/2016/8180158>. Acesso: 25 mar. 2020.
- Burrough, P.A., 1986. Principles of geographical information systems for land resources assessment. Oxford: Clarendon Press.
- Campanharo, W.A., Cecílio, R.A.C., Sperandio, H.V., Hollanda, M.P., 2012. Utilização de geotecnologias para análise morfométrica e diagnóstico ambiental de microbacia hidrográfica no Espírito Santo. In: Santos, A.R., Peluzio, J.B.E., Peluzio, T.M.O., Santos, G.M.A.D.A. (Org.) *Geotecnologias aplicadas aos recursos florestais*. Porto Alegre: CAUFES.
- Cao, W., Sofia, G., Tarolli, P., 2020. Geomorphometric characterization of natural and anthropogenic land covers. *Progress in Earth and Planetary Science* 7, 1-17.
- Cassettari, G.A., Queiroz, T.M., 2019. Morphometric characterization of the hydrographic basin of Jauquara river in the transition between the Cerrado and amazon biomes in Mato Grosso-Brazil. *Floresta* [online] 49. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v49> i2.58166. Acesso: 24 mar. 2020.
- Charlton, R., 2008. Fundamentals of fluvial geomorphology. London: Rutledge.
- Chauhan, P., Chauniyal, D.D., Singh, N., Tiwari, R.K., 2016. Quantitative geo-morphometric and land cover-based micro-watershed prioritization in the Tons river basin of the lesser Himalaya. *Environmental Earth Sciences* [online] 75. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5342-x>. Acesso: 10 jan. 2020.
- Christofolletti, A., 1970. Análise morfométrica das bacias hidrográficas do planalto de Poços de Caldas (MG). Livre-Docência, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Rio Claro.
- Clarke, J.I., 1966. Morphometry from Maps In: Dury, G.H. (Ed). *Essays in Geomorphology*. London: Heinemann, 235–274.
- Cunha, E.R., Bacani, V.M., 2016. Morphometric Characterization of a Watershed through SRTM Data and Geoprocessing Technique. *Journal of Geographic Information System* [online] 8. Disponível: <http://dx.doi.org/10.4236/jgis.2016.82021>. Acesso: 24 mar. 2020.
- Das, S., Patel, P.P., Sengupta, S., 2016. Evaluation of different digital elevation models for analyzing drainage morphometric parameters in a mountainous terrain: a case study of the Supin–Upper Tons Basin, Indian Himalayas. *SpringerPlus* [online] 5. Disponível: <https://doi.org/10.1186/s40064-016-3207-0>. Acesso: 10 jan. 2020.
- Diário Oficial de Campo Grande - MS – DIOGRANDE. 2013. Extrato do contrato n. 20, celebrado em 7 de março de 2013. Disponível: <http://www.campogrande.ms.gov.br/seges/wp-content/uploads/sites/37/2017/01/20130401154027.pdf>. Acesso: 23 jan. 2020.
- Faria, M.M., Araújo, W.F., Gonçalves, R., Wankler, F.L., Evangelista, R.A.O., Sander, C., 2017. Morphometric characterization of the Igarapé basin Carrapato, Boa Vista, Roraima. *Vertices* [online] 19. Disponível: <http://dx.doi.org/10.19180/1809-2667.v19n22017p9-22>. Acesso: 24 mar. 2020.
- Ficher, K.N., Pereira, D.R., Oliveira, J. S., Almeida, A. Q., Uliana, E.M., 2019. Assessment of digital elevation models to obtain morphometric characteristics in relief transition region. *Revista Ambiente & Água* [online] 14. Disponível: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2280>. Acesso: 10 jan. 2020.
- Figueiredo, H.P., Constantino, M.A., Sanches, C.C., Costa, R.B., 2016. Environmental impacts of public policies in Campo Grande, MS: the case of Lajeado stream environmental protection area. *Interações* [online] 17. Disponível: <http://dx.doi.org/10.20435/1984->

- 042X-2016-v.17-n.4(13). Acesso: 13 nov. 2019.
- Gerber, D. Pertille, C.T., Vieira, F.S., Corrêa, B.J.S., Souza, C.F., 2018. Morphometric characterization of the Itajaí River Basin - Santa Catarina. *Acta Biológica Catarinense* [online] 5. Disponível: <http://dx.doi.org/10.21726/abc.v5i1.446>. Acesso: 24 mar. 2020.
- Gravelius, H., 1914. *Flusskunde*. Berlin: Goschen'sche Verlagshandlung.
- Hiruma, S.T., Ponçano, W.L., 1994. Densidade de drenagem e sua relação com fatores geomorfopedológicos na área do Alto Rio Pardo, SP e MG. *Revista Instituto Geológico* 15, 49-57.
- Hancock, G.R., Willgoose, G.R., Evans, K.G., 2002. Testing of the SIBERIA landscape evolution model using the Tin Camp Creek, Northern Territory, Australia, field catchment. *Earth Surface Processes and Landforms* [online] 27. Disponível: <https://doi.org/10.1002/esp.304>. Acesso: 13 nov. 2019.
- Horton, R.E., 1945. Erosional development of stream and their drainage basin. Hydrogeological approach to quantitative morphology. *Bulletin of the Geological Society of America* 56, 275-370.
- Horton, R.E., 1932. Drainage basin characteristics. *Transactions of the American Geophysical Union* 13, 350-360.
- Hutchinson, M.F., 1989. A new procedure for gridding elevation and streamlines data with automatic removal of spurious pits. *Journal of Hydrology* 106, 211-232.
- Hutchinson, M.F., Xu, T., Stein, J.A. 2011. Recent Progress in the ANUDEM Elevation Gridding Procedure. *Geomorphometry* 19-22.
- Igarashi, T. 2001. ALOS mission requirements and specifications. *Advances in Space Research* [online] 28. Disponível: [https://doi.org/10.1016/S0273-1177\(01\)00316-7](https://doi.org/10.1016/S0273-1177(01)00316-7). Acesso: 13 nov. 2019.
- Kadam A.K., Umrikar B.N., Sankhua R.N., 2016. Geomorphometric characterization and prioritization of watershed from semi-arid region, india for green growth potential. *Journal of Environmental Research and Development* 11, 417-432.
- Lepsch, I.F., Espindola, C.R., Vischi Filho, O.J., Hernani, L.C., Siqueira, D.S., 1991. Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. 4ª aproximação. Campinas: SBCC.
- Li, J., Wong, D.W.S., 2010. Effects of DEM sources on hydrologic applications. *Computers, Environment and Urban Systems* [online] 34. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2009.11.002>. Acesso: 13 nov. 2019.
- Lima, F.L., Silva, M.H.S., 2014. Avaliação das mudanças na paisagem da bacia hidrográfica do Lajeado em Campo Grande - MS, por meio de análise multitemporal. *Fórum Ambiental da Alta Paulista* 10:2, 513-524.
- Lopes, I., Leal, B.G., Ramos, C.M.C., 2018. Caracterização morfométrica de bacia hidrográfica no semiárido de Pernambuco através de dados SRTM em softwares livre. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing* 8, 31- 40.
- Melton, M.A., 1957. An analysis of the relations among elements of climate, surface properties and geomorphology. Project NR 389-042, Tech. Rept. 11, Columbia University, Department of Geology, ONR, Geography Branch, New York.
- Miller, V.C., 1953. A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristic in the Clinch, Mountain area, Verdinia and Tennesser. Project NR 389-042, Tech. Rept.3. Columbia University, Department of Geology, ONR, Geography Branch, New York. Patton.
- Mohammed, A., Demissie, T.A., Dibaba, W.T., 2018. Morphometric analysis and prioritization of watersheds for soil erosion management in Upper Gibe catchment. *Journal of Degraded and Mining Lands Management* [online] 6. Disponível: <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2018.061.1419>. Acesso: 25 mar. 2020.
- Moore, I. D., Grayson, R.B., Ladson, A.R., 1991. Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological Processes* [online] 5. Disponível: <https://doi.org/10.1002/hyp.3360050103>. Acesso: 13 nov. 2019.
- Moudryá, V., Lecoursb, V., Gdulová, K., Gábora, L., Moudrá, L., Kropáček, J., Wilda, J., 2018. On the use of global DEMs in ecological modelling and the accuracy of new bare-earth DEMs. *Ecological Modelling* [online] 383. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.05.006>. Acesso: 10 jan. 2020.
- O'Callaghan, J.F. Mark, D.M., 1984. The extraction of drainage networks from digital elevation data. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing* 28, 323-344.
- Oliveira, P.T.S., Alves Sobrinho, T., Rodrigues, D.B.B., 2009. Mapeamento do risco a erosão na Área de Proteção Ambiental do córrego Lageado, MS. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais... 4133-4140.
- Pandey, A., Chaudhary, V.M., Mal, B.C., 2004. Morphological analysis and watershed

- management using GIS. IAH's Hydrogeology Journal 27, 71-84.
- Patton, P.C., 1988. Drainage basin morphometry and floods. In: Baker, V.R., Koche, R.C., Patton, P.C. (Eds.). Flood Geomorphology. Toronto: Jhon Wiley & Sons Ltd.
- Pericato, A.J., Souza, M.L., 2019. O estudo da fragilidade potencial e emergente na bacia hidrográfica do rio das Antas, Noroeste do Paraná. Caderno de Geografia 29, 1064-1082.
- Pike, R.J., Evans, I.S., Hengl, T., 2009. Geomorphometry: A Brief Guide. Developments in Soil Science [online] 33. Disponível: [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(08\)00001-9](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(08)00001-9). Acesso: 10 jan. 2020.
- Pirajá, R.V., Rezende Filho, A.T., 2019. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do córrego Ceroula em Mato Grosso do Sul. Geofronter 5, 35-58.
- Prabhakar, A.K., Singh, K.K., Lohani, A.K., Chandniha, S.K., 2019. Study of Champua watershed for management of resources by using morphometric analysis and satellite imagery. Applied Water Science [online] 9. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s13201-019-1003-z>. Acesso: 25 mar. 2020.
- Prieto-Amparán, J.A., Pinedo-Alvarez, A., Vázquez-Quintero, G., Valles-Aragón, M.C., Rascón-Ramos, A.E., Martínez-Salvador, M., Villarreal-Guerrero, F., 2019. A multivariate geomorphometric approach to prioritize erosion-prone watersheds. Sustainability 11. Disponível: <https://doi.org/10.3390/su11185140>. Acesso: 10 jan. 2020.
- Puno, G.R., Puno, R.C.C., 2019. Watershed conservation prioritization using geomorphometric and land use-land cover parameters. Global Journal of Environmental Science and Management [online] 5. Disponível: <https://doi.org/10.22034/GJESM.2019.03.02>. Acesso: 10 jan. 2020.
- Queiroz, A.T., Silva, P.P.A.P. 2019. A evolução da urbanização na bacia do córrego lajeado em Campo Grande-MS. Geofronter 1, 59-76.
- Rodriguez, E., Morris, C.S., Belz, J.E., 2006. A global assessment of the SRTM performance. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing [online] 72. Disponível: <https://doi.org/10.14358/PERS.72.3.249>. Acesso: 25 mar. 2020.
- Santos, V.C., El Hage, M., Polidori, L., Stevaux, J.C., 2017. Effect of digital elevation model mesh size on geomorphic indices: a case study of the Ivaí river watershed – state of Paraná, Brazil. Bulletin of Geodetic Sciences [online] 23. Disponível: <https://doi.org/10.1590/s1982-21702017000400045>. Acesso: 10 jan. 2020.
- Santos, L.A., Sousa, T.M., Lima, I.M.M.F., 2018. Hydrogeomorphological characterization of the riacho Riachão do Natal River Basin, Piauí, Brazil. Revista Brasileira de Geografia Física 11, 357-370.
- Schumm, S.A. 1963. Sinuosity of alluvial rivers of Great Plains. Geological Society of America Bulletin [online] 74. Disponível: [http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606\(1963\)74\[1089:SOAROT\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1963)74[1089:SOAROT]2.0.CO;2). Acesso: 13 jan. 2020.
- Schumm, S.A., 1956. Evolution of drainage system and slope in badlands of Perth Amboy, New Jersey. Bulletin of the Geological Society of America [online] 67. Disponível: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1956\)67\[597:EODSAS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67[597:EODSAS]2.0.CO;2). Acesso: 13 nov. 2019.
- Sefercik, U.G., Alkan, M., 2009. Advanced analysis of differences between C and X Bands using SRTM data for mountainous topography. Journal of the Indian Society of Remote Sensing [online] 37. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s12524-009-0044-4>. Acesso: 13 nov. 2019.
- Shan, L., Yang, X., Zhu, Q., 2019. Effects of DEM resolutions on LS and hillslope erosion estimation in a burnt landscape. Soil Research [online] Disponível: <https://doi.org/10.1071/SR19043>. Acesso: 10 jan. 2020.
- Silva, G.C., Almeida, F.P., Almeida, R.T.S., Mesquita, M., Alves Junior, J., 2018. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do riacho Rangel-Piauí, Brasil. Enciclopédia Biosfera 15, 244-258.
- Siqueira, H.E., Tibery, L.R., Guidolini, J.F., Valle Junior, R.F., Rodrigues, V.A., 2012. Análise morfométrica e definição do potencial de uso do solo da microbacia do Rio Veríssimo, Veríssimo - MG. Enciclopédia Biosfera 8, 2236- 2248.
- Soares, M.R.G.J., Souza, J.L.M., 2012. Análise morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno em São José dos Pinhais (PR). Revista Geografia [online] 21. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5433/2447-1747.2012v21n1p019>. Acesso: 13 nov. 2019.
- Sousa, F.R.C., Paula, D.P., 2016. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Tapuio (Ceará-Brasil). Regne 2, 555-564

- Souza, C.F., Pertille, C.T., Corrêa, B.J.S., Vieira, F.S., 2017. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Ivaí – Paraná. *Geoambiente* 29, 93-110.
- Strahler, A.N., 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In: Chow, V. (ed.). *Handbook of applied hydrology*. New York: McGraw-Hill Book Co.
- Strahler, A.N., 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *GSA Bulletin* [online] 63. Disponível: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1952\)63\[1117:HAAOET\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[1117:HAAOET]2.0.CO;2). Acesso: 13 nov. 2019.
- Suji, V.R., Sheeja, R.V., Karuppasamy, S., 2015. Prioritization using morphometric analysis and land use/land cover parameters for Vazhichal watershed using remote sensing and GIS techniques. *International Journal for Innovative Research in Science & Technology* 1, 2349–6010.
- Szypuła, B., 2019. Quality assessment of DEM derived from topographic maps for geomorphometric purposes. *Open Geoscience* [online] 11. Disponível: <https://doi.org/10.1515/geo-2019-0066>. Acesso: 10 jan. 2020.
- Twidale, C.R., 2004. River patterns and their meaning. *Earth-Science Reviews* [online] 67. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2004.03.00>. Acesso: 13 nov. 2019.
- Wu, T., Li, L., Li, T., Sivakumar, B., Zhang, G., Wang, G., 2019. High-efficient extraction of drainage networks from digital elevation models constrained by enhanced flow enforcement from known river maps. *Geomorphology* [online] 340. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.04.022>. Acesso: 10 jan. 2020.
- Zhang, H., Li, Z., Saifullah, M., Li, Q., Li, X., 2016. Impact of DEM resolution and spatial scale: analysis of influence factors and parameters on physically based distributed model. *Advances in Meteorology* [online] 2016. Disponível: <https://doi.org/10.1155/2016/8582041>. Acesso: 10 jan. 2020.