

Viviane Capoane

Doutorado em Geografia pela Universidade Federal do Paraná (UFPR),  
Professora adjunta da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS)  
viviane.capoane@uems.br

---

# Sensibilidade geomorfométrica da drenagem e da superfície do terreno à fonte e à resolução espacial de modelos digitais de superfície e elevação

## Resumo

A determinação dos canais de drenagem e de atributos do terreno é dependente da resolução espacial de Modelos Digitais de Superfície (MDS) e Elevação (MDE) bem como da fonte dos dados altimétricos utilizados. Neste trabalho foi analisada a sensibilidade geomorfométrica da drenagem e superfície do terreno em uma bacia hidrográfica urbana-rural à resolução espacial e à fonte de MDS e MDE empregados. Foram utilizados cinco MDS obtidos via sensoriamento remoto orbital (Alos Palsar, Aster GDEM, SRTM 30 e 90, Topodata), sendo dois deles produtos de reamostragem (SRTM 90 e Topodata), com resoluções espaciais de 12,5, 30 e 90 m, e um MDE de 5 m, gerado com dados altimétricos obtidos via sensoriamento remoto aéreo. A rede de fluxo extraída do MDE 5 permitiu o delineamento mais preciso e acurado que a dos MDS para locais onde a área de contribuição era maior. Nas cabeceiras de drenagem houve incongruências para todas as bases topográficas o que é atribuído ao algoritmo de distribuição de fluxo utilizado (D8). Nos MDS de baixa resolução espacial (Alos Palsar, SRTM 30, 90, Topodata e Aster), as características topográficas não foram representadas de forma realista. Os atributos do terreno derivados do MDE de alta resolução espacial representaram de forma realista as características topográficas da bacia hidrográfica, incluindo formas de relevo antropogênicas.

**Palavras-chave:** Canais de drenagem, Acurácia, Caracterização da paisagem, MDS, MDE.

## Abstract

### GEOMORPHOMETRIC SENSITIVITY OF DRAINAGE AND TERRAIN SURFACE TO SOURCE AND SPATIAL RESOLUTION OF DIGITAL SURFACE AND ELEVATION MODELS

The determination of drainage channels and terrain attributes is dependent on the spatial resolution of Digital Surface Models (DSM) and Digital Elevation Models (DEM) as well as the source of the altimetric data used. In this work, we analyzed the geomorphometric sensitivity of drainage and terrain surface in an urban-rural watershed to the spatial resolution and source of the DSM and DEM employed. Five MDSs obtained via orbital remote sensing (Alos Palsar, Aster GDEM, SRTM 30 and 90, Topodata), two of which being resampling products (SRTM 90 and Topodata), with spatial resolutions of 12.5, 30 and 90 m, and one DEM of 5 m generated with altimetric data obtained via aerial remote sensing were used. The stream network extracted from DEM 5 allowed a more precise and accurate delineation than that of the DSM for places where the contribution area was larger. There were incongruities in the drainage headwaters for all topographic bases which is attributed to the flow distribution algorithm used (D8). In the low spatial resolution DSM (Alos Palsar, SRTM 30, 90, Topodata and Aster), the topographical features were not represented realistically. The terrain attributes derived from the high spatial resolution DEM realistically represented the topographic characteristics of the watershed, including anthropogenic landforms.

**Key-words:** Stream channel, Accuracy, Landscape characterization, DSM, DEM.

## 1. Introdução

A precisão e acurácia dos Modelos Digitais de Elevação (MDE) e de Superfície (MDS) e dos produtos derivados dependem de vários fatores, incluindo a fonte e a resolução horizontal e a precisão vertical em que os dados de elevação são representados (THOMPSON; BELL; BUTLER, 2001). Assim, a escolha de modelos altimétricos que representem as características topográficas de forma precisa e acurada é crucial para a análise digital do terreno em bacias hidrográficas.

Inúmeros trabalhos demonstraram que a fonte e a resolução de um MDE (WOODROW; LINDSAY; BERG, 2016; LIFFNER; HEWA; PEEL, 2018; SAHOO; JAIN, 2018; DAI et al., 2019; LI; ZHANG; LIU, 2021), que correspondem a um modelo altimétrico da forma da superfície terra nua, ou MDS, que corresponde a modelos altimétricos da forma da superfície incluindo vegetação, edifícios e outros objetos naturais ou construídos pelos humanos (POLIDORI; EL HAGE, 2020), podem causar variabilidade significativa

na representação topográfica, que, por sua vez, afeta a quantificação e a representação dos atributos do terreno derivados.

Dentre os atributos afetados pela resolução e pela fonte de modelos altimétricos estão o declive, a área de contribuição a montante, o índice topográfico de umidade, o índice topográfico de potência de escoamento, o índice de convergência, o comprimento e o número de canais de drenagem, a área, o perímetro e a geometria de bacias hidrográficas (ZHANG; MONTGOMERY, 1994; THOMPSON; BELL; BUTLER, 2001; SØRENSEN; SEIBERT, 2007; WU; HUANG, 2008; VAZE; TENG; SPENCER, 2010; CAPOANE, 2020).

Considerando que as características do terreno são afetadas pela resolução espacial e pela fonte dos MDS e MDE dos quais são derivadas, este trabalho objetiva analisar a sensibilidade geomorfométrica da drenagem e da superfície do terreno à resolução e à fonte de modelos altimétricos em uma bacia hidrográfica que teve os processos hidrogeomórficos alterados pela conversão de sistemas naturais em agroecossistemas e pela urbanização. A bacia hidrográfica do Córrego Lajeado encontra-se em contexto urbano (72,6%)-rural (27,4%), no planalto sul-mato-grossense e é responsável por 16% da água que abastece a cidade de Campo Grande. Dada a importância dessa bacia para a cidade, espera-se gerar informações que subsidiem os planejadores e gestores na escolha do modelo altimétrico apropriado para a tomada de decisão.

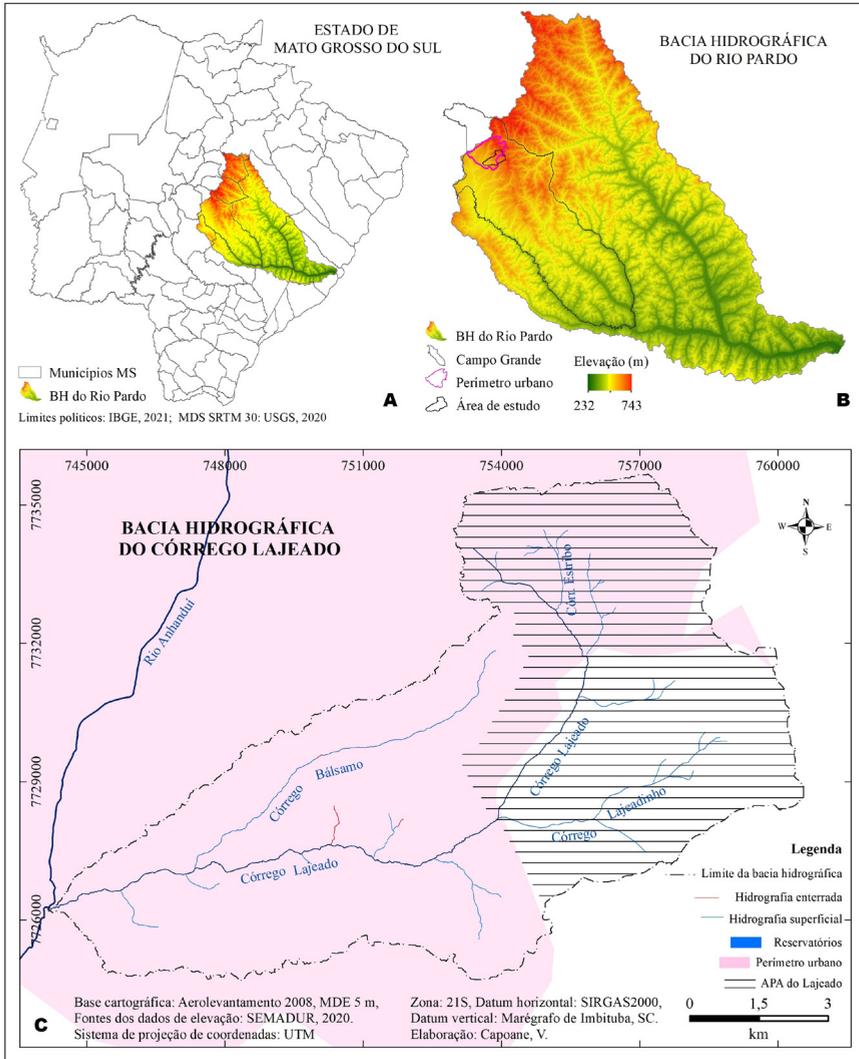
## **2. Material e Métodos**

### *2.1 Área de estudo*

A Bacia Hidrográfica (BH) do Lajeado localiza-se na transição entre a zona urbana e a rural da cidade de Campo Grande, capital do estado de Mato Grosso do Sul (figura 1). Nesta BH está inserida uma Unidade de Conservação de Uso Sustentável, a Área de Proteção Ambiental (APA) dos Mananciais do Córrego Lajeado, também denominada APA do Lajeado, que corresponde a 50,0% da área da BH. Conforme Decreto n. 8.265, de 27 de julho de 2001 (CAMPO GRANDE, 2001), a APA é “compreendida pela bacia de drenagem do Lajeado, a montante da barragem de captação”, da qual provém atualmente 16% da água que abastece Campo Grande.

**Figura 1**

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO: A) ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL COM DESTAQUE PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARDO; B) BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARDO COM DESTAQUE PARA O MUNICÍPIO DE CAMPO GRANDE, PERÍMETRO URBANO E ÁREA DE ESTUDO; C) ÁREA DE ESTUDO



A geologia da área corresponde aos basaltos da Formação Serra Geral (80,3%) e Arenitos do Grupo Caiuá, indiviso (19,7%) (IBGE, 2021). As classes de solos presentes na área são Latossolos Vermelhos Distróficos, Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos, Latossolos Amarelos Distróficos, Nitossolos Vermelhos Distróficos, Chernossolos Háplicos Férricos, Neossolos Litólicos e Regolíticos, Gleissolos Háplicos Distróficos e Neossolos Quartzarênicos Órticos (PLANURB, 2020).

No contexto geomorfológico, o município encontra-se na macroforma de relevo dos Planaltos e Chapadas da Bacia do Paraná (ROSS et al., 2019), e as Unidades Geomorfológicas presentes são: Planalto Sul-Mato-Grossense (89,2%) e Planalto de Campo Grande (10,8%) (IBGE, 2021). No contexto hidrográfico, a BH do Córrego Lajeado é tributária do rio Anhanduí, afluente do rio Pardo, que, por sua vez, deságua no rio Paraná. Os principais córregos da BH são Bálsamo, Lajeadinho e Estribo, e muitos pequenos tributários não são nomeados (figura 1).

No contexto climático, conforme trabalho de Alvares et al. (2014), há três tipos na área: o clima tropical savânico (83,1%); o tropical monçônico (16,6%) no qual as chuvas anuais variam entre 1.600 e 1.900 mm; e o clima subtropical úmido (0,3%). A precipitação acumulada para Campo Grande em 2021 foi de 1.348,6 mm, sendo janeiro o mês mais chuvoso (387,2 mm) e julho o mês mais seco (1,8 mm) (CEMTEC, 2022). A vegetação natural compõe a ecorregião do Cerrado.

## 2.2 Dados topográficos: sensoriamento remoto orbital

Os Modelos Digitais de Superfície gerados via sensoriamento orbital utilizados no presente trabalho são: Alos Palsar 12,5 m, SRTM 30 m, SRTM 90 m, Topodata 30 m e Aster G-DEM 30 m. Todos estão disponíveis gratuitamente.

A cena do radar *Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar* (Palsar), a bordo do *Advanced Land Observing Satellite* (ALOS) que cobre a BH estudada, no modo de imageamento *fine beam single* (FBS): banda L, polarização HH e resolução de pixel de 12,5 m, com data de aquisição de 03/05/2011, foi obtida no repositório da *Alaska Satellite Facility* (ASF, 2020). A cena SRTM, v. 3.0, com resolução espacial de 1 segundo de arco, foi obtida no Hub *Earth*

*Explorer* do *United States Geological Survey* (USGS, 2020). A cena SRTM 90 v. 4.1, que cobre a área de estudo, foi obtida no repositório do *Consortium for Spatial Information* (CSI-CGIAR, 2020). A cena do projeto Topodata foi obtida na Divisão de Sensoriamento Remoto do INPE (DSR, 2020). A cena ASTER G-DEM v. 3 foi obtida no repositório do *Japan Space Systems* (JSS, 2020).

Dados de elevação obtidos via sensoriamento remoto orbital estão sujeitos a imperfeições, como erros verticais e horizontais, ruído de manchas, vazios (áreas não observadas, também denotadas como buracos) e enviesamentos (deslocamentos), que podem variar regionalmente (HIRT, 2018). Para Hirt (2018), artefatos podem ser a fonte de erro mais problemática, pois influenciam nos parâmetros derivados. Para este trabalho nenhum filtro foi aplicado nos MDSs para remover vazios de dados, preenchimentos de buracos e remoção de artefatos, pois isso resulta na propagação de erros nos atributos do terreno derivados. Uma vez obtidas, todas as cenas foram reprojetadas para o Sistema de Coordenadas SIRGAS2000.

### *2.3 Dados topográficos: sensoriamento remoto aéreo*

O município de Campo Grande possui dados de elevação de grande escala obtidos pela técnica de aerofotogrametria nos anos de 2008 (município) e 2013 (perímetro urbano). No levantamento aerofotogramétrico de 2008, a escala de mapeamento para a zona rural foi de 1:10.000 (voo março de 2008, faixa 03, fotos 940 a 942) e, para o perímetro urbano, 1:2.000 (voo fevereiro de 2008, faixa 12, fotos 8.424). Na zona urbana a equidistância das curvas é de um metro e, na zona rural, cinco metros. Os arquivos com os pontos cotados contêm 79.631 pontos no perímetro urbano e 17.346 pontos na zona rural. Os pontos cotados do aerolevanteamento de 2008 foram reambulados no ano de 2013, quando da realização de um novo aerolevanteamento para o perímetro urbano de Campo Grande na escala 1:1.000 (CAMPO GRANDE, 2013), voo junho de 2013, faixa 13, fotos 859. Os dados eram disponibilizados pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Urbano (SEMADUR, 2020).

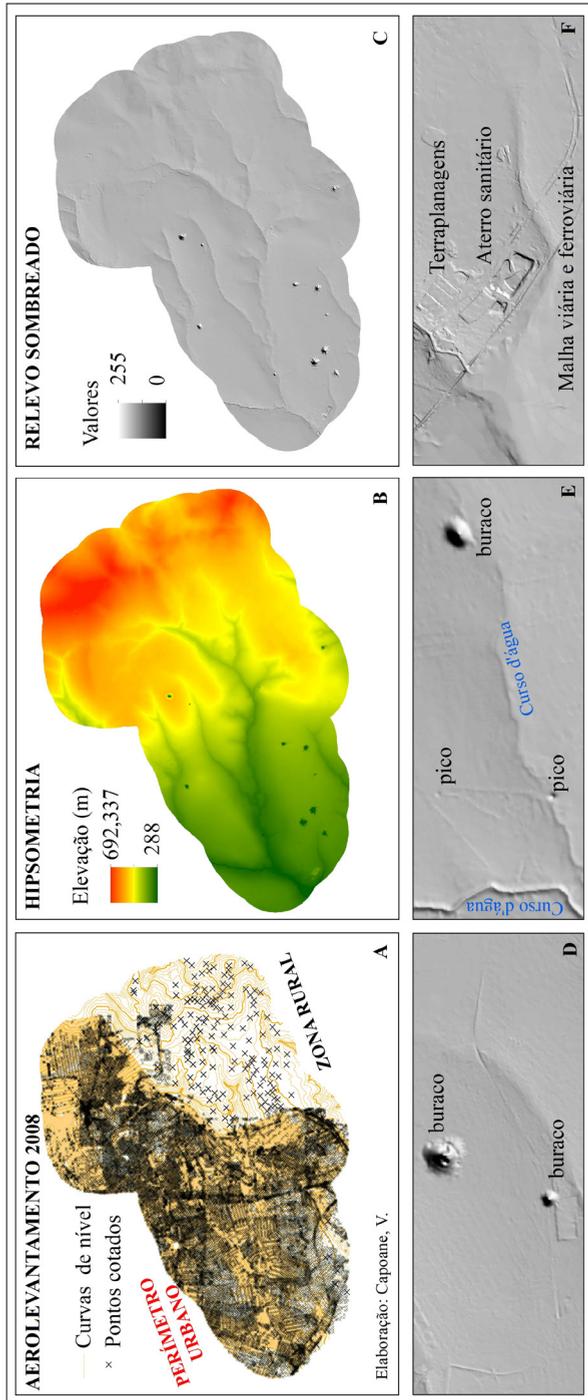
Os dados de elevação que a Semadur disponibilizava digitalmente até 2020 não continham as informações técnicas sobre os aerolevanteamentos e os arquivos vetoriais (de 2008 e 2013) eram disponibilizados em pastas

nomeadas “[...] 2013”, o que induziu usuários a erro, como o ocorrido no trabalho de Capoane e Silva (2020), que analisaram a influência da resolução espacial de três bases topográficas, sendo uma delas a do aerolevanteamento, nas características do relevo para a bacia hidrográfica do Córrego Lajeado, área de estudo do presente trabalho. Na interpolação para a geração do MDE, as autoras utilizaram as curvas de nível do aerolevanteamento de 2013 para o perímetro urbano e de 2008 para a zona rural. Os problemas identificados nas bases de dados disponibilizadas pela Semadur (identificados somente após a publicação do artigo), e a indução dos usuários a erro, foram reportados para o setor de geoprocessamento da Prefeitura Municipal de Campo Grande. Contudo, um dos *sites* onde os dados eram disponibilizados foi retirado do ar ([http://portal.capital.ms.gov.br/semadur/canaisTexto?id\\_can=5951](http://portal.capital.ms.gov.br/semadur/canaisTexto?id_can=5951)), e, no outro (<http://www.campogrande.ms.gov.br/semadur/arquivos-vetoriais-de-campo-grande/>), a maior parte das informações foram removidas. Os arquivos que estão disponíveis para *download* não contêm as informações técnicas de como os dados altimétricos foram gerados, nem a data de aquisição das informações e a escala dos levantamentos. As informações técnicas acima mencionadas como escala, data dos voos e número de fotos não são públicas e foram obtidas via troca de e-mails com o setor de geoprocessamento da Semadur.

### 2.3.1 *Interpolação dos dados do levantamento aerofotogramétrico*

As camadas, pontos cotados e curvas de nível foram recortados em um *buffer* de dois km da área de interesse (figura 2A) e interpolados no programa ArcMap 10.8.1 (licenciado para a autora). O interpolador utilizado foi o *topo to raster*, que, segundo Hutchinson (1989) e Hutchinson, Xu e Stein (2011), resulta em melhor consistência hidrológica criando uma superfície que representa mais de perto uma drenagem natural e preserva melhor as linhas de cume. Para a definição da resolução espacial de saída foi considerada a equidistância das curvas de nível da zona rural (cinco metros). Embora a resolução de saída da grade do MDE seja de cinco metros, na interpolação foram utilizadas as curvas de nível com equidistância de um metro para o perímetro urbano.

**Figura 2**  
 DADOS DE ENTRADA PARA INTERPOLAÇÃO DO MDE; HIPSOMETRIA; RELEVO SOMBREADO; E ARTEFATOS



Uma vez gerado o MDE (figura 2B), foi derivado o relevo sombreado (figura 2C) a fim de identificar a presença de artefatos, que, segundo Reuter et al. (2009), são recursos erráticos distintos, a maioria deles detectada visualmente usando sombreamento. Os artefatos identificados como cotas superiores (spire) ou inferiores (sink) aos valores das curvas de nível (figura 2CDE), foram excluídos e procedeu-se uma nova interpolação. Quando não foram mais detectados artefatos, procedeu-se à delimitação da BH.

#### 2.4 Delimitação da bacia hidrográfica

O limite da bacia hidrográfica foi delineado para as seis bases topográficas no *software* ArcMap 10.8.1. Com a ferramenta *Spatial Analyst Tools, Hydrology*, as depressões foram preenchidas (Fill) para garantir a continuidade do fluxo. Na sequência foi gerado a direção de fluxo (Flow Direction) e o fluxo acumulado (Flow Accumulation), ambos com o algoritmo D8, que rastreia e representa o fluxo de cada pixel para pixels vizinhos usando oito valores de ângulo de fluxo discretos. Na etapa *Conditional* são definidas as redes fluviais. Uma vez delineados os canais de drenagem, a camada raster foi convertida para vetor, posteriormente em pontos, e, finalmente, utilizando a função ponto, com a ferramenta *Watershed*, foi extraído o limite da bacia hidrográfica do córrego Lajeado.

Os MDSs e MDE com as depressões preenchidas (Fill) foram utilizados unicamente para a delimitação da bacia hidrográfica, pois a aplicação da função *Fill* em MDE/MDS altera significativamente a distribuição espacial e a quantificação de atributos do terreno derivados (ANTONIC; DALIBOR; RENATA, 2001; LINDSAY; CREED, 2005; WECHSLER, 2007; PIKE; EVANS; HENGL, 2009; LECOURE et al., 2017). O tratamento convencional de depressões fechadas na análise automatizada a partir de MDE/MDS raster baseia-se na eliminação de depressões por preenchimento simulado e a posterior imposição de um padrão de drenagem nas áreas planas resultantes (MARTZ; GARBRECHT, 1999). Para Martz e Garbrecht (1999), a eliminação de depressões fechadas por preenchimento pressupõe implicitamente que todas as depressões são causadas por subestimação de elevação, contudo, as depressões podem ser produzidas tanto pela superestimação quanto pela subestimação dos valores do MDE/MDS. Além disso, depressões naturais

podem ser eliminadas em MDEs de alta resolução espacial, o que afeta a análise de processos hidrogeomórficos como o acúmulo de sedimento, água sob a forma de pequenos lagos e áreas úmidas ou lagoas efêmeras (HAYASHI; VAN DER KAMP, 2000; ANTONIC; DALIBOR; RENATA, 2001).

### 2.5 *Extração da rede de drenagem*

As linhas de fluxo são dependentes da resolução espacial dos MDSs e MDEs utilizados, do algoritmo de distribuição de fluxo e do valor de limiar de acumulação de fluxo (MONTGOMERY; DIETRICH, 1992; ZHANG; MONTGOMERY, 1994; MCMASTER, 2002; WECHSLER, 2007; ARIZAVILLAVERDE; JIMÉNEZ-HORNERO; RAVÉ, 2015). Para mostrar o impacto da resolução espacial dos dados de entrada na rede de canais, foi extraída automaticamente dos modelos altimétricos a rede de fluxos utilizando o mesmo valor de limiar e, para o MDE, gerado com dados de grande escala, foram utilizados diferentes valores de limiar (10.000, 20.000, 40.000, 80.000, 160.000 e 320.000), a fim de verificar se em MDEs de grande escala a drenagem extraída se aproxima da existente.

As linhas de fluxo de referência foram vetorizadas com base nas curvas de nível do aerolevanteamento de 2008, escalas 1:2.000 e 1:10.000, imagens de alta resolução espacial do *World Imagery*, relevo sombreado e índice de convergência.

### 2.6 *Elevação e declividade do terreno*

Os atributos topográficos primários, relevo sombreado (utilizado no plano de fundo de todas as cartas temáticas), elevação e declividade foram derivados das seis bases altimétricas no *software* ArcMap. O declive foi classificado conforme intervalos propostos por Lepsch et al. (2015), apresentados na tabela 1.

Os atributos topográficos derivados do MDE 5 foram utilizados como referência para a comparação com as demais bases altimétricas (Alos Palsar, SRTM e Aster), pois este MDE foi gerado com dados de grande escala e representa de forma mais realista a topografia da bacia hidrográfica.

**Tabela 1**

CLASSES DE DECLIVIDADE, RELEVO E ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Declividade %	Classe de declive	Escoamento superficial
0 - 2	Plano ou quase plano	Muito lento ou lento
2 - 5	Inclinação suave	Lento ou médio
5 - 10	Moderadamente inclinada	Médio ou rápido
10 - 15	Muito inclinada	Rápido
15 - 45	Fortemente inclinada	Muito rápido
45 - 70	Íngreme montanhoso	Muito rápido
> 70	Escarpado	Muito rápido

### 3. Resultados e Discussões

O delineamento da bacia hidrográfica do Córrego Lajeado a partir de diferentes bases topográficas resultou em valores de área que variaram de 9.088,0 a 10.043,6 ha (tabela 2). O perímetro da bacia hidrográfica variou de 69,1 a 91,0 km (tabela 2). Quando comparada a base de maior resolução espacial e escala de mapeamento (MDE 5), SRTM e Alos subestimaram a área da BH, e Topodata e Aster a superestimaram. Para o perímetro, houve superestimativa em todas as bases topográficas analisadas em comparação com a base de maior escala.

Considerando as bases produto de reamostragem, SRTM 90, que é a versão degradada e inicialmente disponibilizada pela NASA, e Topodata, que consiste em uma reamostragem por krigagem do SRTM 90 (VALERIANO; ROSSETI, 2010), com os derivados do MDS SRTM 30, SRTM 90 subestimou a área e o perímetro, e Topodata superestimou a área e subestimou o perímetro (tabela 2).

**Tabela 2**

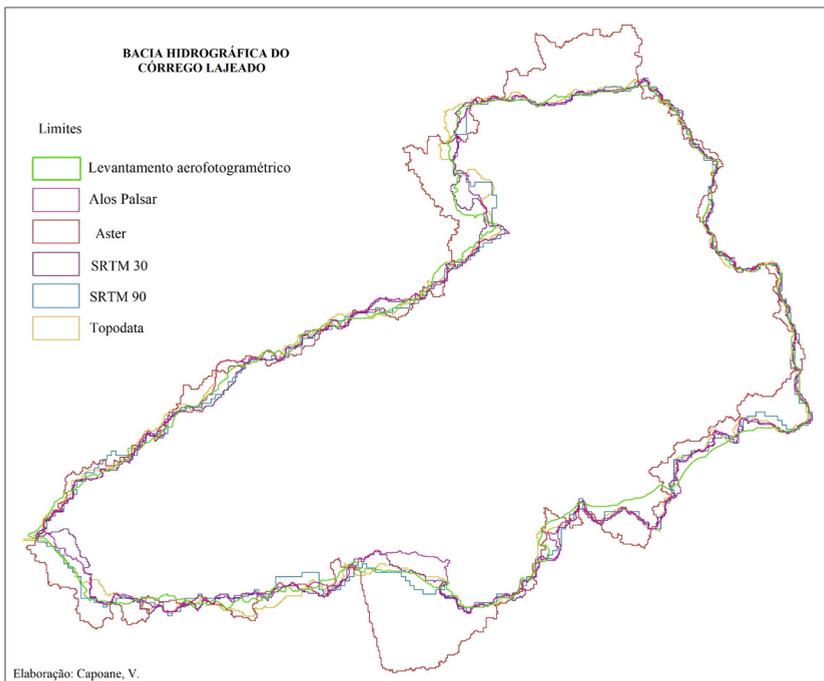
ÁREA E PERÍMETRO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO LAJEADO NAS SEIS BASES TOPOGRÁFICAS

Base topográfica	Pixel (m)	Área (ha)	Perímetro (km)
Aerolevantamento	5	9.155,7	69,1
Alos Palsar	12,5	9.088,0	77,4
SRTM	30	9.138,2	76,0
SRTM	90	9.092,5	69,1
Topodata	30	9.200,7	72,6
Aster	30	10.043,6	91,0

A área e o perímetro derivados da base Aster apresentaram a pior estimativa em comparação à base de maior escala. Como as elevações do Aster GDEM são obtidas por estereoscopia em imagens de um sensor óptico passivo, a presença de nuvens e sombras interferem no espalhamento e na absorção da radiação, restringindo a extração de elevação, o que se reflete em todos os atributos topográficos derivados.

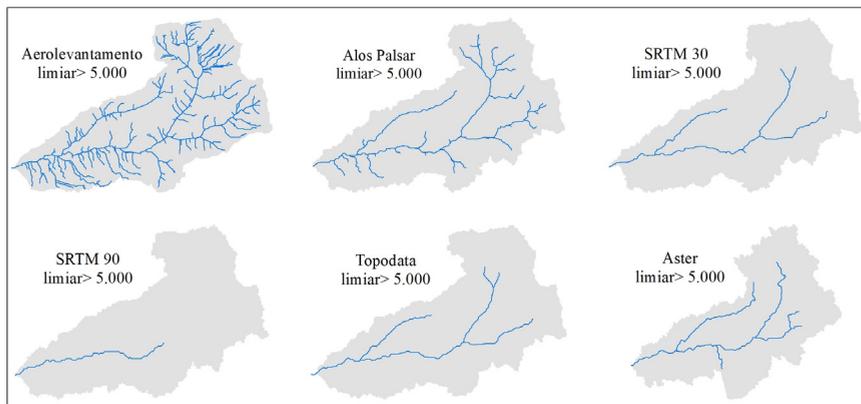
Na figura 3 observa-se o efeito da resolução espacial e da fonte dos dados topográficos na geometria da bacia hidrográfica. Estes resultados são consistentes com estudos anteriores que demonstraram que atributos topográficos são influenciados pela resolução espacial de MDE e MDS (WECHSLER, 2007; TAN, et al., 2015; CAPOANE; COSTA; KUPLICH, 2017; CAPOANE, 2020), pela fonte (LI; WONG, 2010), e pela reamostragem (WU; LI; HUANG, 2008). Dentre esses fatores, segundo Woodrow, Lindsay e Berg (2016), a fonte de dados usada para gerar um MDE ou MDS é o principal fator que determina o detalhe espacial e horizontal.

**Figura 3**  
LIMITE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO LAJEADO DELINEADO PARA AS SEIS BASES TOPOGRÁFICAS



Na figura 4 é apresentada a rede de canais derivadas das seis bases topográficas. O número, o comprimento (tabela 3) e a acurácia posicional dos canais de drenagem derivados de modelos digitais de superfície e de elevação são influenciados pela resolução espacial, pois ela afeta o declive da BH, que, por sua vez, afeta a área de contribuição específica a montante. A rede de canais também é fortemente afetada pelo algoritmo de distribuição de fluxo utilizado (*Deterministic 8*), pois ele é um componente integral para a derivação de parâmetros topográficos subsequentes, tais como limites de bacia, e redes de canais.

**Figura 4**  
REDE DE CANAIS DERIVADA DAS SEIS BASES TOPOGRÁFICAS COM MESMO VALOR DE LIMIAR



Elaboração: Capoane, V. (2022).

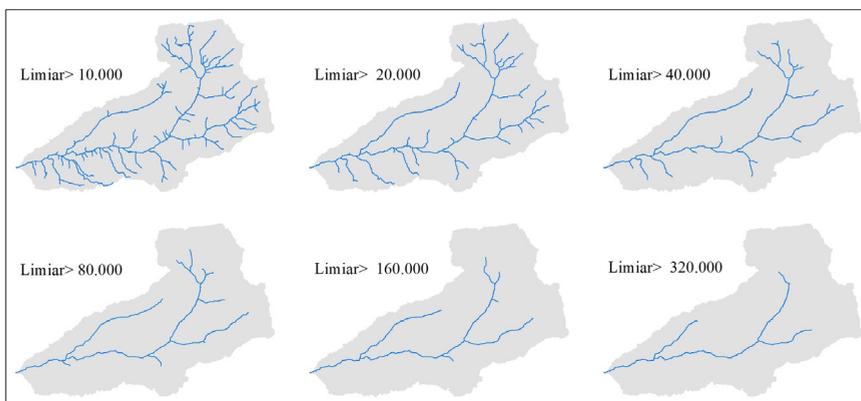
**Tabela 3**  
COMPRIMENTO DOS CANAIS EXTRAÍDOS DAS SEIS BASES TOPOGRÁFICAS COM MESMO LIMIAR 5.000

Base topográfica	Pixel (m)	Comprimento dos canais (km)
Aerolevantamento	5	180,51
Alos Palsar	12,5	67,04
SRTM	30	30,34
SRTM	90	11,33
Topodata	30	30,48
Aster	30	38,86

O método de caminho de fluxo único (D8), proposto por O'Callaghan e Mark (1984), calcula a direção do fluxo com base na direção de descida mais íngreme em uma das 8 direções de uma célula central de uma janela 3 × 3 (JENSON; DOMINGUE, 1988). Essa abordagem simplifica demais o processo de fluxo e é insuficiente para a caracterização de fluxo de células da grade (WECHSLER, 2007). Embora vários métodos de distribuição de fluxo, em todas as direções de declive possíveis, em vez de apenas uma, tenham sido desenvolvidos, como o Rho8, DEMON, D-∞ MD-∞, Mass Flux, e FD8, o algoritmo determinístico D8 é o fornecido nos pacotes de *software* convencionais.

Na figura 5 é apresentada a rede de canais derivados da base topográfica de alta resolução espacial (MDE), com diferentes valores de limiar, a fim de comparar com a base vetorizada. Um limiar menor mostra uma rede de drenagem complexa; um limiar de canal maior mostra uma rede de drenagem simples. Estes resultados demonstram que as linhas de fluxo são dependentes da resolução espacial, do algoritmo de distribuição de fluxo e do valor de limiar de acumulação de fluxo. Por isso, os usuários devem ter cautela quando forem derivar a rede de canais, pois ela pode não representar os processos geomórficos e hidrológicos que atuam nas bacias hidrográficas. O comprimento dos canais para cada valor de limiar é apresentado na tabela 4.

**Figura 5**  
REDE DE CANAIS DERIVADAS DO MDE COM DIFERENTES VALORES DE LIMIAR



Elaboração: Capoane, V. (2022).

**Tabela 4**

MORFOMETRIA DOS CANAIS DERIVADOS DO MDE 5 COM DIFERENTES VALORES DE LIMIAR

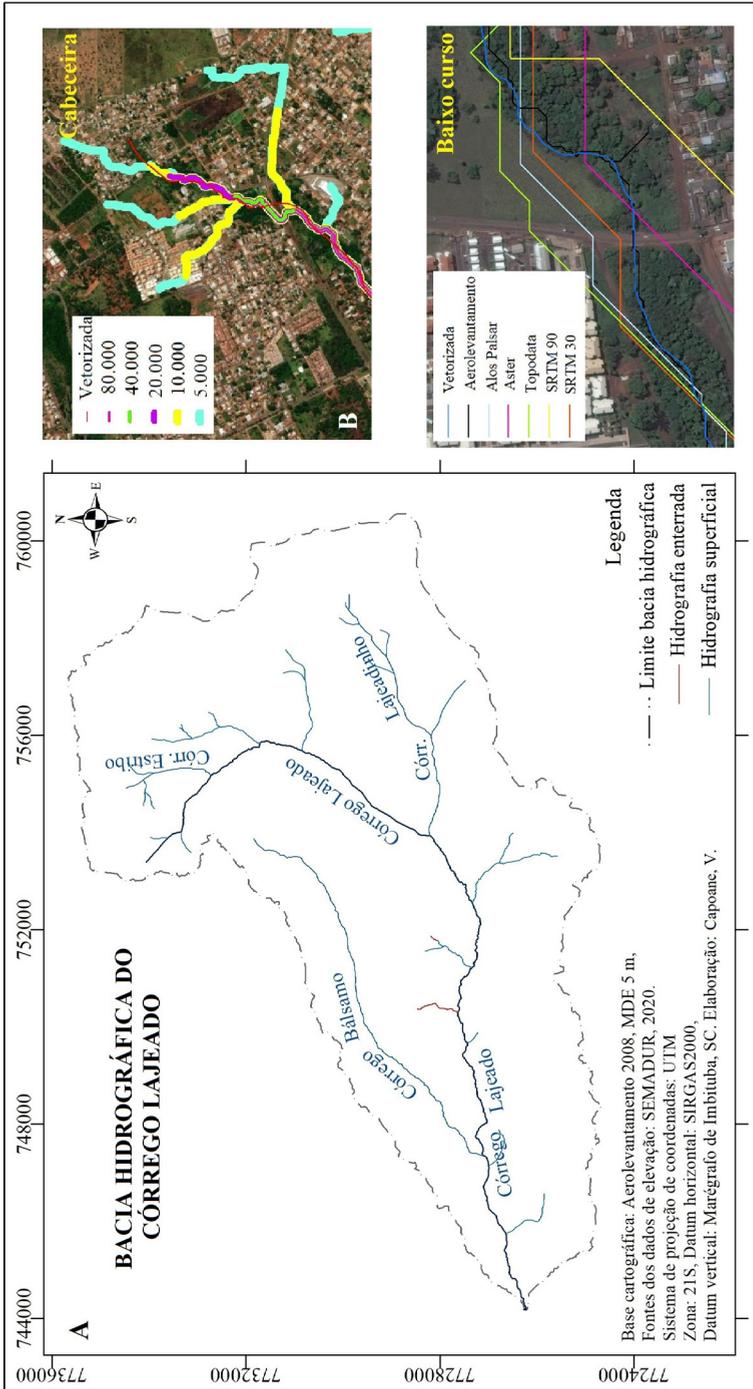
Base topográfica	Límiar	Canais km
MDE aerolevantamento 2008 pixel 5 m	> 10 mil	116,06
	> 20 mil	77,10
	> 40 mil	54,53
	> 80 mil	40,72
	> 160 mil	33,10
	> 320 mil	25,78

Comparando a rede de canais extraída automaticamente dos MDSs e MDE com a rede de drenagem vetorizada tendo como base imagens de alta resolução do *World Imagery*, em ambiente do Sistema de Informação Geográfica, as curvas de nível do aerolevantamento de 2008, o relevo sombreado e o índice de convergência, o limiar que mais se aproximou da rede de drenagem vetorizada (figura 6A) foi 40.000.

Nos recortes espaciais (figura 6BC), observa-se que, além do número de canais, a acurácia posicional é afetada, o que decorre da resolução espacial e do algoritmo utilizado para a determinação da direção e do acúmulo de fluxo. Na cabeceira de drenagem, mesmo a base de grande escala (figura 6B) não é capaz de representar de forma realista os canais de fluxo existentes, com sub ou superestimação, dependendo do valor de limiar utilizado. No baixo curso, para a base aerolevantamento (figura 7C), houve uma melhora na acurácia posicional em relação às áreas de cabeceira, o que é atribuído ao aumento da área de contribuição.

Na área urbana era esperado que, mesmo para a base de alta resolução espacial, a drenagem não fosse representada de forma realista em função da expansão urbana que modificou os processos hidrológicos e geomórficos superficiais, com drenagem e soterramento de nascentes, retificação e canalização dos cursos d'água pelo sistema de micro e macrodrenagem e extensas áreas impermeabilizadas. Para a área rural a representação mais próxima à existente ocorreu no médio e baixo cursos, reflexo da menor alteração das vertentes, em comparação ao ambiente urbanizado, e do aumento da área de contribuição. Para as cabeceiras de drenagem, o limiar que melhor representava um tributário, super ou subestimava os canais em outros. Conforme Rocha et al. (2020) as incongruências nas cabeceiras de drenagem podem ser atribuídas à falta de detalhes, às manchas e aos cálculos de direção de fluxo errados em setores mais planos da bacia hidrográfica.

**Figura 6**  
 DRENAGEM DE REFERÊNCIA (A): DIFERENTES VALORES DE LIMIAR PARA A BASE AEROLEVANTAMENTO (B); E MESMO LIMIAR (5.000) PARA AS DIFERENTES BASES TOPOGRÁFICAS (C)



**Tabela 5**

ALTIMETRIA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO LAJEADO EXTRAÍDA DAS SEIS BASES TOPOGRÁFICAS

Base topográfica	Pixel (m)	Elev. mín.	Elev. máx.	Elev. méd.	Amplitude	SD
LA	5	481,3	692,4	580,7	211,0	43,0
Alos Palsar	12,5	488,0	697,0	586,0	209,0	42,9
SRTM	30	486,0	695,0	584,5	209,0	42,9
SRTM	90	487,0	694,0	583,5	207,0	43,1
Topodata	30	486,2	694,3	583,1	208,1	43,1
Aster	30	482,0	715,0	588,2	233,0	43,9

Em relação aos efeitos nas resoluções de MDE e MDS nos fluxos superficiais, McMaster (2002) explorou os efeitos da resolução na precisão posicional de redes hidrológicas derivadas usando dois algoritmos: D8 (O'CALLAGHAN; MARK, 1984) e D8-LAT (TARBOTON, 1997). Ele e outros autores constataram que, em resoluções espaciais mais baixas, características topográficas tendem a ser eliminadas, ou reduzidas, como o armazenamento pelas depressões no terreno, o que fortalece a conectividade hidrológica e o escoamento superficial, logo na rede de canais delineada. Para Garbrecht et al. (2001), modelos altimétricos de baixa resolução espacial geralmente não podem capturar todas as variações topográficas que ocorrem dentro da paisagem, e essas deficiências podem causar discrepâncias entre o posicionamento preciso dos canais de fluxo em paisagens digitais e o mundo real. Rampi, Knight e Lenhart (2014), comparando diferentes algoritmos de distribuição de fluxo para o mapeamento de áreas úmidas, constataram que os algoritmos de direção de fluxo múltiplo representam melhor a distribuição espacial da água em comparação a algoritmos de direção de fluxo único. Os resultados obtidos pelos autores também fornecem evidências de que as áreas úmidas podem ser identificadas com precisão usando modelos altimétricos produzidos com dados de elevação acurados, como LIDAR, e que os algoritmos de direção de fluxo múltiplo devem ser preferidos aos algoritmos de direção de fluxo único.

A influência da resolução espacial no delineamento da rede de drenagem é bem documentada na literatura (KIRKBY; CHORLEY, 1967; ANDERSON; BURT, 1978; MOORE et al., 1993; MONTGOMERY; DIETRICH, 1992; McMASTER, 2002; ARIZA-VILLAVARDE; JIMÉNEZ-HORNERO;

RAVÉ, 2015; MASHIMBYE; CLERCQ; VAN NIEKERK, 2019; ROCHA et al., 2020), contudo, há décadas, alguns pesquisadores das áreas das ciências ambientais, como agricultura, hidrologia, biologia, geografia e engenharias, as quais utilizam variáveis dependentes da topografia, vêm ignorando os efeitos dos dados de elevação de entrada (fonte, resolução espacial, técnicas de amostragem), dos valores de limiar, do algoritmo de distribuição de fluxo implementado nos pacotes convencionais como ArcMap, Saga Gis, QGis, nos parâmetros hidrológicos e geomórficos derivados de modelos altimétricos. Produz-se informações que na prática têm pouca ou nenhuma utilidade no planejamento e na gestão ambientais, como, por exemplo, na modelagem hidrológica para quantificação da erosão e da definição das áreas prioritárias para implantação de práticas de manejo conservacionistas, na determinação da fragilidade e da vulnerabilidade ambientais, bem como na delimitação de Áreas de Preservação Permanente (APPs) ao longo de cursos d'água, nascentes e áreas declivosas.

As altitudes mínimas, máximas, médias e desvio padrão para as diferentes bases topográficas são apresentadas na tabela 5. Comparada à base topográfica de maior escala e resolução espacial (MDE), as elevações mínimas e máximas foram superestimadas nas demais bases, enquanto a elevação média de cada MDS mudou ligeiramente (tabela 5), o que pode ser consequência da perda de informações topográficas com o aumento da resolução do pixel, corroborando com os resultados encontrados por Zhang et al. (2014), Reddy e Reddy (2015) e Tan, Ramli e Tam (2018). Ainda, conforme Li e Wong (2010), os níveis de acurácia, incluindo horizontal e vertical, variam de acordo com o MDE/MDS utilizado, e com o método de obtenção dos quais os modelos altimétricos são gerados. Por isso, os usuários devem ter cautela na utilização e considerar as limitações de cada base topográfica.

A análise qualitativa (figura 7) e quantitativa (tabela 6) das classes de declive derivadas das diferentes bases topográficas evidencia a perda de detalhes morfológicos da superfície à medida que aumenta o tamanho do pixel, pois características do terreno são suavizadas, homogeneizadas ou eliminadas. Para os MDSs produtos de amostragem do SRTM 30 (SRTM 90 e Topodata), observa-se que a interpolação atenua o relevo e reduz a declividade sistematicamente conforme a resolução espacial diminui (aumenta

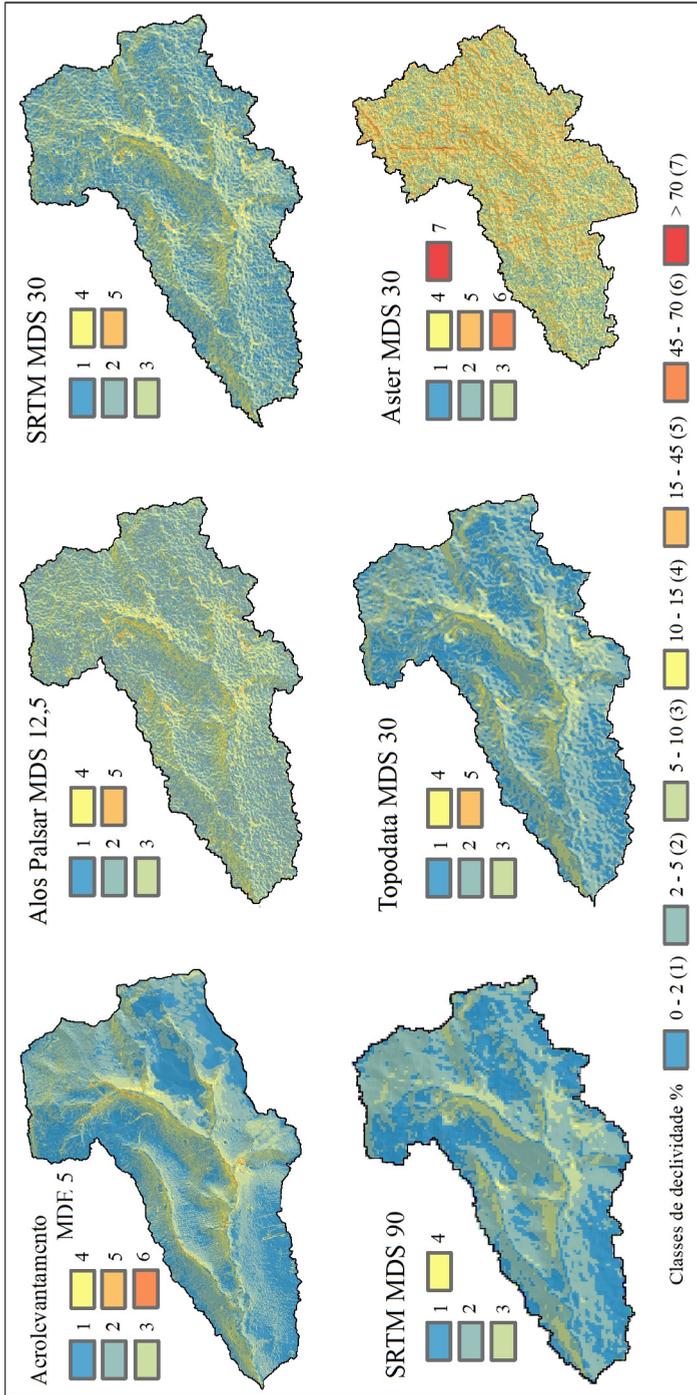
o tamanho do pixel). Em comparação com o declive derivado do MDE, a acurácia posicional foi mais afetada nas bases Aster, SRTM 30 e Alos Palsar.

O declive derivado do MDE interpolado utilizando dados de elevação obtidos por aerofotogrametria em 2008 permitiu um mapeamento mais realista das características do terreno, incluindo formas de relevo antropogênicas como aterro sanitário, cortes em vertentes para abertura de malha viária (figura 2F), elevações em cabeceiras de pontes e em trechos de vias em áreas de fundo de vale e áreas úmidas (figura 8).

Na tabela 6 são apresentados os valores mínimos, máximos, média, desvio padrão e a quantificação das classes de declividade. Considerando a base de maior resolução espacial e a escala de mapeamento, MDE 5 m, com exceção da base SRTM 90, cuja área é próxima à derivada do MDE, as demais bases de dados subestimaram a área da classe 0-2%. Para a classe 2-5%, as bases Alos Palsar e Aster subestimaram a área, e SRTM 30, SRTM 90 e Topodata superestimaram as áreas com inclinação suave. Para a classe 5-10%, as bases SRTM 90 e Topodata subestimaram a área, e Alos Palsar, SRTM 30 e Aster superestimaram as áreas moderadamente inclinadas. Para a classe 10-15%, as bases SRTM 90 e Topodata subestimaram a área, e Alos Palsar, SRTM 30 e Aster superestimaram as áreas muito inclinadas. Para a classe 15-45%, que corresponde a áreas fortemente inclinadas, a maior superestimação ocorreu na base Aster. O intervalo de classe 45-70 foi mapeado somente nas bases aerolevantamento e Aster e a classe >70 somente na Aster (tabela 6). Em função da escala de mapeamento, o MDE permite a representação mais fidedigna das características do terreno, sendo possível identificar formas de relevo antropogênicas como cortes e elevações na malha viária, terraplanagens para construção civil e reservatórios formados pela construção de barragens.

Os valores de declive derivados dos MDSs de 90, 30 e 12,5 m, obtidos via sensoriamento remoto orbital, não refletem as características topográficas e os processos que operam na bacia hidrográfica. Embora uma abordagem comum usada pela comunidade científica na análise digital do terreno é optar pela melhor resolução espacial disponível acreditando que isso sempre melhora a acurácia e a precisão das previsões, este trabalho mostra que o MDS Alos Palsar de 12,5 não fornece informações realistas sobre os processos morfodinâmicos.

**Figura 7**  
**CLASSES DE DECLIVIDADE PARA AS SEIS BASES TOPOGRÁFICAS ANALISADAS**



Elaboração: Capoane, V.

**Tabela 6**

DECLIVIDADE PARA AS SEIS BASES TOPOGRÁFICAS ANALISADAS

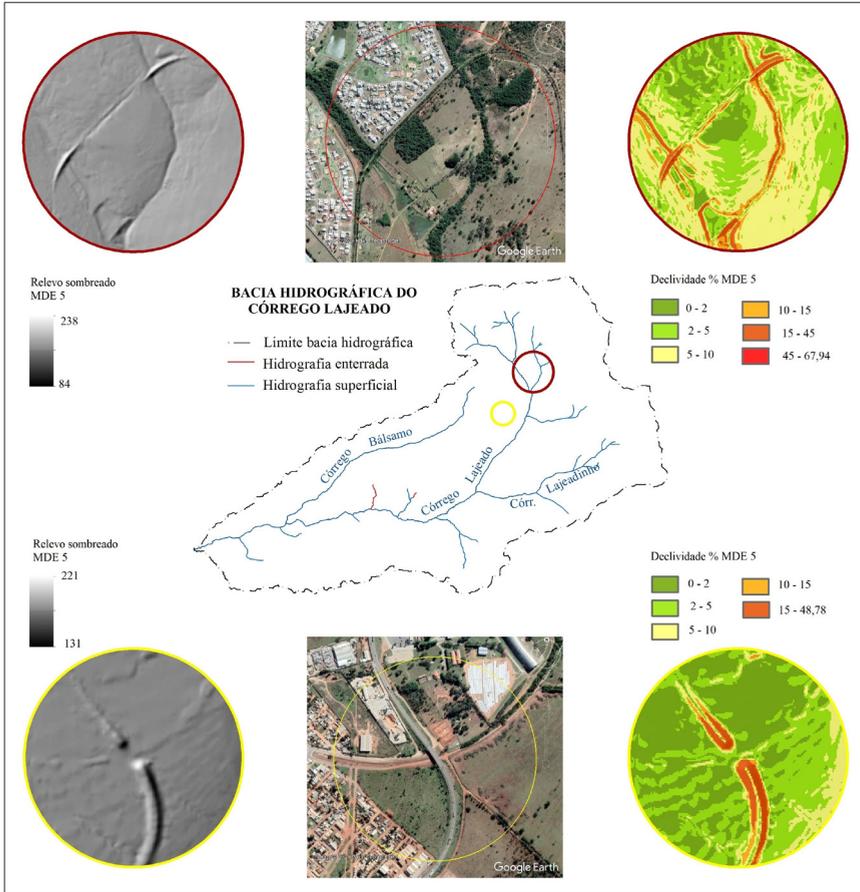
<b>Declividade %</b>	<b>Aerolevantamento</b>	<b>Alos</b>	<b>SRTM 30</b>	<b>SRTM 90</b>	<b>Topodata</b>	<b>Aster</b>	
<i>Mín.</i>	0,0	0,5	0,1	0,0	0,0	0,4	
<i>Máx.</i>	57,9	38,4	27,8	12,2	20,0	72,3	
<i>Média</i>	3,3	5,5	4,2	2,9	3,3	11,1	
<i>Desvio Padrão</i>	2,8	2,9	2,6	1,8	2,1	6,9	
Intervalo de classe	0 - 2	33,2	10,2	18,5	33,8	27,6	3,0
	2 - 5	46,3	41,2	49,7	55,3	54,3	14,5
	5 - 10	17,9	41,2	28,4	10,8	17,1	33,1
	10 - 15	1,9	6,3	3,0	0,12	0,9	24,9
	15 - 45	0,7	1,1	0,4		0,06	24,3
	45 - 70	0,002					0,14
	> 70						0,002

A resolução espacial mais adequada para análise do terreno depende da escala dos processos e estes dependem da paisagem (PAIM, 2005). Para a bacia hidrográfica do Córrego Lajeado, a resolução de pixel de 5 m, cujo MDE foi gerado com dados altimétricos de grande escala, é adequada para capturar a escala dos processos geomórficos e hidrológicos operantes na BH.

Na figura 8 são apresentados os atributos topográficos primários relevo sombreado e declividade, para dois locais da bacia hidrográfica (círculos vermelho e amarelo), a fim de ilustrar a influência antropogênica nos processos hidrogeomórficos. Na parte superior da figura 8 observa-se cortes e elevações na malha viária e declive acentuado no entorno de reservatórios formados pela construção de barragens. Na parte inferior da figura 8 é apresentada uma forma de relevo criada pela elevação da pista (BR 163) para a construção de uma ponte sobre a ferrovia.

Estes resultados mostram que MDEs gerados com dados altimétricos de grande escala, características morfológicas e sedimentares que são difíceis ou impossíveis de serem detectados a partir de Modelos Digitais de Superfície como SRTM 30 e 90, Topodata, Aster GDEM, Alos Palsar e em MDEs, gerados com informações de cartas topográficas na escala 1:100.000, mais comuns na região Centro-Oeste, podem ser mapeados e quantificados.

**Figura 8**  
 FORMAS DE RELEVO ANтропоGÊNicas OBSERVADAS A PARTIR DE ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS  
 PRIMÁRIOS DERIVADOS DO MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO DE CINCO METROS



Elaboração: Capoane, V.

Embora o município de Campo Grande possua bases cartográficas de grande escala, que custaram milhões aos cofres públicos – somente o aerolevanteamento de 2013 do perímetro urbano, na escala 1:1.000, custou R\$ 4.004.976,00 (CAMPO GRANDE, 2013 - DIOGRANDE n. 3.735, pg. 4) – os dados dos aerolevanteamentos de 2008 (zona rural, escala 1:10.000 e perímetro urbano 1:2.000) e 2013 (perímetro urbano 1:1.000), não vêm sendo utilizados pelos gestores, a exemplo do **Plano Diretor de Drenagem Urbana** de 2015 (CAMPO GRANDE, 2015), no qual consta: “As cartas topográficas, DSG/IBGE, em escala 1:100.000, serviram de base para a realização da correção geométrica (georreferenciamento) das imagens [...]” e “Na realização desse estudo, utilizou-se como base as cartas topográficas do acervo da Semadur em escala de 1:10.000, representadas por curvas de nível equidistantes 5 m, pontos cotados e hidrografia. Essas cartas foram elaboradas com base no levantamento aerofotogramétrico realizado em 1983/1984”. Ainda, “Em dezembro de 2002 a Prefeitura Municipal de Campo Grande e a de Águas Guariroba firmaram um acordo para contratação dos serviços de georreferenciamento das áreas urbana e rural do Município de Campo Grande. [...] Ortofotocarta digital da área urbana de Campo Grande, com recobrimento de 600 km<sup>2</sup>. As fotos foram tiradas na escala 1:8.000 para trabalho na escala 1:2.000”; do **Zoneamento Ecológico-Econômico do Município de Campo Grande – MS** onde não fica clara a base cartográfica utilizada: “Para elaborar o mapa de declividade foi usado um mapa topográfico gerado por SRTM [...] e também a partir das curvas de nível fruto do mapeamento aerofotogramétrico, realizado em 2008 com equidistância das curvas, de 5 metros para área rural e 1 metro para área do perímetro da sede urbana” (CAMPO GRANDE, 2015 - DIOGRANDE n. 4.313); na revisão e na atualização da **Carta Geotécnica de Campo Grande** do ano de 2020 (PLANURB, 2020), na qual também não fica clara a base cartográfica utilizada: Produto I - “Aquisição da Imagem Alos Palsar”; Produto II - “Para elaboração do Modelo Digital de Elevação (MDE) foram utilizados os arquivos vetoriais oficiais de Campo Grande disponibilizados pelo SISGRAN, mais especificamente, a delimitação da área de estudo e as curvas de nível da área urbana e da zona de expansão urbana, com 5 m de equidistância [...]”; e na revisão dos **Planos de Manejo das APAs do Guariroba e Ceroula** (PLANURB, 2021a,b).

Diante do acima exposto e considerando os resultados obtidos no presente trabalho, em locais que dispõem de uma base cartográfica de grande escala, a utilização de MDS de baixa resolução espacial não é recomendada, pois os produtos derivados não representam de forma realista as características topográficas. Por isso, os gestores e planejadores do município de Campo Grande devem utilizar os dados dos aerolevantamentos que custaram milhões aos cofres públicos, não somente para a bacia hidrográfica estudada, mas também no âmbito municipal.

#### **4. Conclusões**

Neste trabalho, os efeitos da resolução espacial, a fonte dos dados de elevação (radar, estereoscopia, fotogrametria), a reamostragem (SRTM 90 e Topodata) e os limiares para a extração dos canais de drenagem a partir de MDSs e MDE foram analisados para a bacia hidrográfica do Córrego Lajeado, inserida no município de Campo Grande-MS.

Nos MDSs de baixa resolução espacial (Alos Palsar, SRTM 30, SRTM 90, Topodata e Aster) as características topográficas não foram representadas de forma realista. Já os atributos do terreno derivados do MDE de alta resolução espacial representaram de forma realista as características topográficas da bacia hidrográfica, incluindo formas de relevo antropogênicas.

Para as redes de fluxo, o MDE gerado com dados de grande escala permitiu o delineamento mais preciso e acurado que os MDSs para locais onde a área de contribuição era maior. Nas cabeceiras de drenagem houve incongruências atribuídas ao algoritmo de distribuição de fluxo utilizado. Isso demonstra que mesmo bases de grande escala podem não oferecer os melhores resultados, principalmente para áreas onde a urbanização alterou os processos hidrogeomórficos.

Recomenda-se aos planejadores e gestores do município de Campo Grande que utilizem os dados de elevação gerados nos aerolevantamentos de 2008 (escalas 1:10.000 e 1:2.000) e 2013 (escala 1:1.000), pois, além de terem custado milhões aos cofres públicos, em MDEs gerados com dados de grande escala, os erros de estimativa dos atributos topográficos diminuem, aumentando a confiança nos produtos derivados.

## Referências

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.
- ANTONIC, O.; DALIBOR, H.; RENATA, P. DEM-based depth in sink as an environmental estimator. **Ecological Modelling**, v. 138, n. 1-3, p. 247-254, 2001.
- ASF. Alaska Satellite Facility. **Alos Palsar**. Disponível em: <https://search.asf.alaska.edu/#/>. Acesso: 20 fev. 2020.
- ANDERSON, M. G.; BURT, T. P. The role of topography in controlling throughflow generation. **Earth Surface Processes**, v. 3, p. 331-344, 1978.
- ARIZA-VILLAVERDE, A. B.; JIMÉNEZ-HORNERO, F. J.; RAVÉ, E. G. Influence of DEM resolution on drainage network extraction: a multifractal analysis. **Geomorphology**, v. 241, p. 243-254, 2015.
- CAMPO GRANDE. Diário Oficial de Campo Grande-MS. 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.
- CAMPO GRANDE. Decreto n. 12.680, de 9 de julho de 2015. **Diário Oficial de Campo Grande**, DIOGRANDE n. 4.313. Campo Grande, MS, 10 jul. 2015.
- CAMPO GRANDE. **Decreto n. 8.265, de 27 de julho de 2001**. Campo Grande, 2001.
- CAPOANE, V.; SILVA, D. A. 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. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 2, p. 674-690, 2020.
- CAPOANE, V. Implicações da resolução e fonte de modelos altimétricos na análise quantitativa de atributos geomorfométricos para bacia hidrográfica do córrego Guariroba, Campo Grande, MS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 5, p. 2417-2432, 2020.
- CAPOANE, V.; COSTA, L. F. F.; KUPLICH, T. M. Efeito da resolução de modelos digitais de elevação na derivação do índice topográfico de umidade: estudo de caso no município de Palmitinho-RS. **Geografia em Questão**, v. 10, p. 9-23, 2017.
- CEMTEC. Centro de Monitoramento do Tempo e do Clima de MS. **Banco de dados 2021**. Disponível em: <https://www.cemtec.ms.gov.br/boletins-meteorologicos/>. Acesso: 10 fev. 2022.

CSI-CGIAR. Consortium for Spatial Information - Consultative Group on International Agricultural Research. **SRTM 90 m Digital Elevation Database v. 4.1**. Disponível: <http://srtm.csi.cgiar.org/srtmdata/>. Acesso: 20 fev. 2020.

DAI, W. et al. Effects of DEM resolution on the accuracy of gully maps in loess hilly areas. **Catena**, v. 177, p. 114-125, 2019.

DSI. Divisão de Sensoriamento Remoto - INPE. 2008. **Topodata**: Projeto de dados geomorfológicos do Brasil. Disponível: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>. Acesso: fev. 2020.

GARBRECHT, J. et al. and distributed watershed models: I, Data coverages and sources, **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 6, p. 506-514, 2001.

HAYASHI, M.; VAN DER KAMP, G. Simple equations to represent the volume-area-depth relations of shallow wetlands in small topographic depressions. **Journal of Hydrology**, v. 237, p. 74-85, 2000.

HIRT, C. Artefact detection in global digital elevation models (DEMs): The Maximum Slope Approach and its application for complete screening of the SRTM v4.1 and MERIT DEMs. **Remote Sensing of Environment**, v. 207, p. 27-41, mar. 2018.

HUTCHINSON, M. F. A new procedure for gridding elevation and streamlines data with automatic removal of spurious pits. **Journal of Hydrology**, v. 106, n. 3-4, p. 211-232, 1989.

HUTCHINSON, M. F.; XU, T.; STEIN, J. A. Recent progress in the ANUDEM elevation gridding procedure. **Geomorphometry**, 19-22, 2011.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Bases cartográficas contínuas – Brasil**, 2021. Disponível em: Index of / ([ibge.gov.br](http://ibge.gov.br)). Acesso: 10 jan. 2022.

JENSON, S.; DOMINGUE, J. O. Extracting topographic structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. **Photogrammetric Eng. Remote Sensing**, v. 54, n. 11, p. 1593-1600, 1988.

JSS. Japan Space Systems. 2020. **ASTER Global Digital Elevation Model (ASTER GDEM), version 3**. Disponível: <https://ssl.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/E/>. Acesso: 20 fev. 2020.

KIRKBY, M.; CHORLEY, R. Throughflow, overland flow and erosion. **International Association of Scientific Hydrology Bulletin**, v. 12, n. 3, p. 5-21, 1967.

LECOURS, V. et al. Influence of artefacts in marine digital terrain models on habitat maps and species distribution models: a multiscale assessment. **Remote Sensing in Ecology and Conservation**, v. 3, n. 4, p. 232-247, 2017.

LEPSCH, I. F. et al. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Viçosa: SBCC, 2015.

LI, A.; ZHANG, J. X. C.; LIU, B. Effects of DEM resolutions on soil erosion prediction using Chinese Soil Loss Equation. **Geomorphology**, v. 384, p. 1-15 (107706), 2021.

LI, J.; WONG, D. W. S. Effects of DEM sources on hydrologic applications. **Computers Environment and Urban Systems**, v. 34, p. 251-261, 2010.

LIFFNER, J. W.; HEWA, G. A.; PEEL, M. C. The sensitivity of catchment hypsometry and hypsometric properties to DEM resolution and polynomial order. **Geomorphology**, v. 309, p. 112-120, 2018.

LINDSAY, J. B.; CREED, I. F. Removal of artifact depressions from digital elevation models: towards a minimum impact approach. **Hydrological Processes**, v. 19, n. 16, p. 3113-3126, 2005.

LÓPEZ-VICENTE, M.; ÁLVAREZ, S. Influence of DEM resolution on modelling hydrological connectivity in a complex agricultural catchment with woody crops. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 43, n. 7, p.1403-1415, 2018.

MARTZ, L. W.; GARBRECHT J. An outlet breaching algorithm for the treatment of closed depressions in a raster DEM. **Computers & Geosciences**, v. 25, p. 835-844, 1999.

MASHIMBYE, Z. A.; CLERCQ, W. P.; VAN NIEKERK, A. Assessing the influence of DEM source on derived streamline and catchment boundary accuracy. **Water AS**, v. 45, n. 4, p. 672-684, 2019.

McMASTER, K. J. Effects of digital elevation model resolution on derived stream network positions. **Water Resources Research**, v. 38, n. 4, p. 1-8 (1042), 2002.

MONTGOMERY, D. R.; DIETRICH, W. E. Channel initiation and the problem of landscape scale. **Science**, v. 255, p. 826-830, 1992.

MOORE, I. D. et al. Band, GIS and land-surface-subsurface process modeling. In: Goodchild, B. P., Steyaert, L. (Ed.). **Environmental Modeling With GIS**. New York: Oxford Univ. Press, 1993. p. 196-230.

O'CALLAGHAN, J. F.; MARK, D. M. The extraction of drainage networks from digital elevation data. **Computer Vision, Graphic and Image Processing**, v. 28, p. 328-344, 1984.

PAIN, C. F. Size Does Matter: Relationships Between Image Pixel Size and Landscape Process Scales. In: International Congress of Modelling and Simulation, Proceedings of the MODSIM, Sydney, Australia, 12-15 December

2005. p. 1430-1436. Disponível: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.641.3239&rep=rep1&type=pdf>

PIKE, R. J.; EVANS, I. S.; HENGL, T. Geomorphometry: a brief guide. **Developments in Soil Science**, v. 33, p. 3-30, 2009.

PLANURB. Agência Municipal de Meio Ambiente e Planejamento Urbano. 2020. **Carta Geotécnica**: revisão e atualização. Disponível: <http://www.campogrande.ms.gov.br/planurb/carta-geotecnica/>. Acesso: 10 fev. 2021.

\_\_\_\_\_. 2021a. **Plano de Manejo da Apa do Ceroula – Produto V – Versão Final**. Disponível: <http://www.campogrande.ms.gov.br/planurb/downloads/plano-de-manejo-area-de-protecao-ambiental-dos-mananciais-do-corrego-guariroba-apa-do-guariroba-1a-revisao/>. Acesso: 10 jun. 2021.

\_\_\_\_\_. 2021b. **Plano de Manejo Área de Proteção Ambiental dos Mananciais do Córrego Guariroba – Apa do Guariroba – Revisão**. Disponível: <http://www.campogrande.ms.gov.br/planurb/downloads/plano-de-manejo-da-apa-do-ceroula-produto-v-versao-final/>. Acesso: 10 jun. 2021.

POLIDORI, L.; EL HAGE, M. Digital Elevation Model quality assessment methods: a critical review. **Remote Sensing**, v. 12, n. 21, p. 1-36 (3522), 2020.

RAMPI, L. P.; KNIGHT, J. F.; LENHART, C. F. Comparison of Flow Direction Algorithms in the Application of the CTI for Mapping Wetlands in Minnesota. **Wetlands**, v. 34, n. 3, p. 513-525, 2014.

REDDY, A. S.; REDDY, M. J. Evaluating the influence of spatial resolutions of DEM on watershed runoff and sediment yield using SWAT. **Journal of Earth System Science**, v. 124, n. 7, p. 1517-1529, 2015.

REUTER, H. I. et al. Preparation of DEMs for geomorphometric analysis. **Developments in Soil Science**, v. 33, p. 87-120, 2009.

ROCHA, L. et al. The importance of high resolution digital elevation models for improved hydrological simulations of a Mediterranean forested catchment. **Remote Sensing**, v. 12, n. 20, p. 1-17 (3287), 2020.

ROSS, J. L. S. et al. Macroformas do relevo da América do Sul. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 38, p.58-69, 2019.

SAHOO, R.; JAIN, V. Sensitivity of drainage morphometry based hydrological response (GIUH) of a river basin to the spatial resolution of DEM data. **Computers & Geosciences**, v. 111, p.78-86, 2018.

SEMADUR. Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Urbano. 2020. **Arquivos vetoriais**. Disponível: <http://www.campogrande.ms.gov.br/semadur/arquivos-vetoriais-de-campo-grande/> e [http://portal.capital.ms.gov.br/semadur/canaisTexto?id\\_can=5951](http://portal.capital.ms.gov.br/semadur/canaisTexto?id_can=5951) Acesso: 23 jan. 2020.

SØRENSEN, R.; SEIBERT, J. Effects of DEM resolution on the calculation of topographical indices: TWI and its components. **Journal of Hydrology**, v. 347, n. 1-2, p. 79-89, 2007.

TAN, M. L. et al. Impacts of DEM resolution, source, and resampling technique on SWAT-simulated streamflow. **Applied Geography**, v. 63, p. 357-368, set. 2015.

TAN, M. L.; RAMLI, H. P.; TAM, T. H. Effect of DEM resolution, source, resampling technique and area threshold on SWAT outputs. **Water Resources Management**, v. 32, p.1-18, 2018.

TARBOTON, D. G. A new method for the determination of flow directions and upslope areas in griddigital elevation models. **Water Resources Research**, v. 33, n. 2, p. 309-319, 1997.

THOMPSON, J. A.; BELL, J. C.; BUTLER, C. A. Digital elevation model resolution: effects on terrain attribute calculation and quantitative soil-landscape modeling. **Geoderma**, v. 100, n. 1-2, p. 67-89, 2001.

USGS. United States Geological Survey. **Digital Elevation, SRTM, 1 Arc-Second Global**. Disponível: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso: 23 jan. 2020.

VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F. **Topodata**: Seleção de Coeficientes Geoestatísticos para Refinamento Unificado de Dados SRTM. INPE16701-RPQ/853. São José dos Campos: INPE, 2010.

VAZE, J.; TENG, J.; SPENCER, G. Impact of DEM accuracy and resolution on topographic indices. **Environmental Modelling & Software**, v. 25, n. 10, p. 1086-1098, 2010.

WECHSLER, S. P. Uncertainties associated with digital elevation models for hydrologic applications: a review. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 11, n. 4, p. 1081-1500, 2007.

WOODROW, K.; LINDSAY, J.; BERG, A. A. Evaluating DEM conditioning techniques, elevation source data, and grid resolution for field-scale hydrological parameter extraction. **Journal of Hydrology**, v. 540, p. 1022-1029, 2016.

WU, S.; LI, J.; HUANG, G. H. A study on DEM-derived topographic attributes for hydrologic applications: sensitivity to elevation data resolution. **Applied Geography**, v. 28, n. 3, p. 210-223, jul. 2008.

ZHANG, P. et al. Uncertainty of SWAT model at different DEM resolutions in a large mountainous watershed. **Water Research**, v. 53, p. 132-144, 2014.

ZHANG, W.; MONTGOMERY, D. R. Digital elevation model grid size, landscape representation, and hydrologic simulations. **Water Resources Research**, v. 30, n. 4, p. 1019-1028, abr. 1994.

Recebido em 17/02/2022

Aceito em 30/04/2022