













Características fisiográficas de sub-bacias do Alto Teles Pires por meio de diferentes modelos digitais de elevação

Jaime Wendelely da Silva ARAÚJO ¹, Rhavel Salviano Dias PAULISTA ^{2,3}, Rafaela Rocha PEREIRA ¹,
Daniela CASTAGNA ^{2,3}, Daniela Roberta BORELLA ^{2,3}, Karen Letícia da Silva BARBOSA ¹,
Cornélio Alberto ZOLIN ⁴, Eliel Alves FERREIRA ⁵, Adilson Pacheco de SOUZA ^{1,2,3},
Frederico Terra de ALMEIDA ^{*1,2}

¹ Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, MT, Brasil.

² Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, MT, Brasil.

³ Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, Brasil.

⁴ Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop, MT, Brasil.

⁵ Diretoria de Unidade Desconcentrada de Sinop, Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Sinop, MT, Brasil.

*E-mail: frederico.almeida@ufmt.br

Submetido em: 07/03/2024; Aceito em: 02/06/2024; Publicado em: 11/06/2024.

RESUMO: Objetivou-se avaliar e comparar as características fisiográficas de cinco sub-bacias do rio Teles Pires por meio de diferentes MDE, ambientes estes pertencente a região hidrográfica do Alto Teles Pires da margem direita, importante para região médio-norte do estado de Mato Grosso. Efetuou-se a delimitação das sub-bacias de forma automática com o software Qgis versão 3.22, e realizou-se os cálculos das diversas características fisiográficas, como a hierarquia fluvial, área da bacia, perímetro, comprimento axial, índices de fator de forma (Kf), coeficiente de compactidade (Kc), índice de circularidade (Ic), densidade de drenagem (Dd), sinuosidade do curso d'água principal (S) e declividade do curso d'água principal. Utilizando-se os modelos digitais de elevação (MDE) ALOS PALSAR e SRTM 30 metros, disponibilizado pelo Alaska Satellite Facility (ASF) e Google Earth Engine (GEE), respectivamente, buscando comparação e identificação das principais diferenças entre os índices estudados. Os resultados indicaram maior sensibilidade na determinação dos dados obtidos pela imagem do ALOS PALSAR devido sua melhor resolução e quantidade de pixel para a mesma área de drenagem, e o SRTM de 30 metros com menor exigência de processamento, facilitando em usos gerais e em grandes sub-bacias. As cinco sub-bacias estudadas apresentaram características semelhantes, com formatos estreitos e alongados, com boa capacidade de drenagem, e baixa potencialidade de enchentes.

Palavras-chave: sistemas de informações geográficas (SIGs); MDE; geoprocessamento; resolução espacial; planejamento de recursos hídricos; Amazônia.

Physiographic characteristics of sub-basins of Alto Teles Pires using different digital elevation models

ABSTRACT: The aim was to evaluate and compare the physiological characteristics of five sub-basins of the Teles Pires River through different MDE, environments belonging to the hydrographic region of the Upper Teles Pires on the right bank, important for the mid-northern region of the state of Mato Grosso. The sub-basins were delimited automatically with the software Qgis version 3.22, and the various physiographic characteristics were calculated, such as the river orbit, basin area, perimeter, axial length, shape factor indices (Kf), compactness coefficient (Kc), circularity index (Ic), drainage density (Dd), sinuosity of the main river (S) and slope of the main river. Using the digital elevation models (DEM) ALOS PALSAR and SRTM 30 meters, made available by Alaska Satellite Facility (ASF) and Google Earth Engine, respectively, seeking comparison and identification of the main differences between the trained indices. The results indicated greater sensitivity in determining the data obtained by the ALOS PALSAR image due to its better resolution and pixel quantity for the same deviation area and the 30-meter SRTM with lower processing requirements, facilitating general uses and large subscales. - basins. The five sub-basins studied have similar characteristics, with narrow and elongated shapes, with good drainage capacity, and low potential for flooding.

Keywords: geographic information systems (GIS); MDE; geoprocessing; espacial resolution; water resources planning; Amazon.

1. INTRODUÇÃO

A taxa de crescimento da produção do agronegócio e das indústrias no estado de Mato Grosso tem fomentado o aumento pela demanda dos recursos hídricos, seja para

umentar a capacidade energética, como construções de novas usinas hidrelétricas, ou também o aumento da produção agrícola, que pode exigir maior capacidade de irrigação.

A região médio norte de Mato Grosso se destaca pela agricultura, cujo é reconhecido pela alta produção de grãos (soja e milho), onde a utilização da irrigação vem crescendo. Nesse contexto, a cidade de Sorriso é referência no estado com 22.125,11 hectares de área irrigada e 173 pivôs (Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos - SNIRH, 2019).

Com a elevada demanda por recursos hídricos, se faz necessário o monitoramento de dados referentes as bacias hidrográficas, de modo a possibilitar que haja eficiência no manejo desses recursos, para que seja sustentável e sem degradação do meio ambiente (MOREIRA; DIAS, 2017).

O planejamento dos recursos hídricos se faz necessário para que a utilização das águas superficiais ou subterrâneas estejam de acordo com a disponibilidade hídrica, e ainda venham atender de forma sustentável e eficiente aos usos, e auxiliar no manejo dos corpos hídricos (CAMPOS et al., 2015).

O monitoramento dos recursos hídricos de bacias hidrográficas e conseqüentemente do seu comportamento, fazem parte do Plano Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/97), que busca fornecer por meio das suas políticas, informações que agreguem e possibilitam o melhor uso da água de acordo com enquadramento do corpo d'água, com base nos conhecimentos sobre a bacia hidrográfica. Além disso, entender a influência das características fisiográficas das regiões hidrográficas nas relações entre componentes do ciclo hidrológico (p. ex. a relação chuva-vazão, erosão, escoamento e infiltração) é útil na execução de trabalhos e pesquisas científicas, como a determinação das características fisiográficas ou morfométricas das bacias, de forma a fornecer dados básicos e essenciais para o desenvolvimento de novos projetos (MOREIRA; DIAS, 2017).

As características fisiográficas de uma bacia hidrográfica (forma, relevo, área, geologia, rede de drenagem, solo, dentre outros) constituem elementos de importância para avaliação de seu comportamento hidrológico, pois, ao se estabelecerem relações e comparações entre eles e dados hidrológicos conhecidos, podem-se determinar indiretamente os valores hidrológicos em locais nos quais falem dados (GEORGIN et al., 2015).

Considerando que a ocorrência dos fenômenos climáticos está associada a condições espaciais e temporais do planeta, mas que os dados hidrometeorológicos que ocorrem em uma região, quando monitorados, podem ser relacionados com as características fisiográficas de determinada sub-bacia, projetos que correlacionem dados meteorológicos com características fisiográficas das bacias, possibilitam executar o processo de regionalização de vazões.

Nesse contexto, uma região que tem demonstrado crescente demanda por irrigação, e de modo geral, aumento no consumo de água, é a região pertencente as sub-bacias hidrográficas do Alto Teles Pires, localizadas à margem direita do curso d'água principal, que compreendem as sub-bacias dos rios Celeste, Nandico, Caiabi, Preto e Rosana, e que tem sido monitorado pelo Grupo de Pesquisas Tecnologia em Recursos Hídricos no Centro-Oeste da Universidade Federal de Mato Grosso (TRESHCO - UFMT), possibilitando assim a obtenção de características específicas das relações que cada sub-bacia pode apresentar em relação aos dados hidrometeorológicos, e que podem ser usados como ferramentas de estudos para futuros trabalhos que demandam o conhecimento de dados hídricos em sub-bacias ou microbacias homogêneas a estas e sem monitoramento hidrometeorológico.

Desta forma, este trabalho teve como objetivo realizar o levantamento das características fisiográficas das sub-bacias hidrográficas dos rios Caiabi, Celeste, Nandico, Preto e Rosana, identificando as principais diferenças entre os modelos digitais de elevação do ALOS PALSAR e SRTM (Shuttle Radar Topography Mission).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A área de estudo abrange as sub-bacias hidrográficas dos rios Caiabi, Celeste, Nandico, Preto e Rosana, pertencente a região médio-norte do estado de Mato Grosso. Essas sub-bacias estão situadas na região hidrográfica do Alto Teles Pires, à margem direita do principal curso d'água, do Teles Pires (Figura 1).

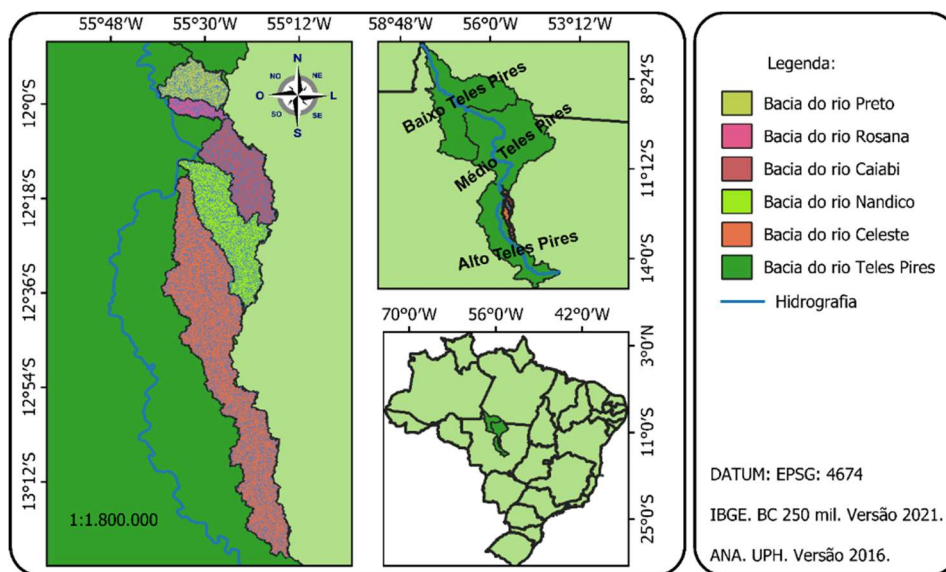


Figura 1. Mapa de localização das sub-bacias da região hidrográfica do Alto Teles Pires, Mato Grosso, Brasil.

Figure 1. Map of the location of the sub-basins of the Alto Teles Pires hydrographic region, Mato Grosso, Brazil.

2.2. Modelos digitais de elevação, ALOS PALSAR e SRTM

Para o estudo foi utilizado dois modelos digitais de elevação (MDE), sendo o ALOS PALSAR com resolução de 12,5 metros e SRTM com 30 metros de resolução, visando identificar qual dos dois possibilita a obtenção de resultados com mais acurácia nas delimitações das bacias hidrográficas e nos índices fisiográficos e facilidade para trabalho, de acordo com a necessidade de cada pesquisador.

O satélite ALOS foi desenvolvido pela empresa Japan Aerospace Exploration Agency – JAXA, com alta tecnologia de resolução, por conta do sensor PALSAR, que trabalha com frequência de 1270 mhz (banda L), capaz de obter imagens diurnas e noturnas e com qualquer condição de nebulosidade, e gerando uma resolução espacial de 12,5 x 12,5 metros. As imagens podem ser obtidas pelo site Alaska Satellite Facility (ASF) pelo link (<https://asf.alaska.edu>).

O SRTM tem disponível duas opções de resolução, sendo de 90 x 90 metros e 30 x 30 metros, pois trabalha com dois radares a bordo do satélite, alcançando comprimentos de ondas de 3,0 cm (banda X) e 5,6 cm (banda C). As imagens de satélite do SRTM 30 metros foram obtidas pelo site do Google Earth Engine (GEE), coleção de imagens SRTMGL1_003 pelo link (<https://earthengine.google.com/>).

Para a análise da comparação entre os dois modelos digitais de elevação, foi atribuído uma área de acúmulo de fluxo em comum de 0,1 km², de forma que se possa comparar as sub-bacias sem interferência da área, e de modo que tanto o ALOS PALSAR como o SRTM 30 metros estivessem nas mesmas condições de escala, pois o SRTM tem menor capacidade de resolução espacial e o ALOS PALSAR com maior capacidade de aproximação. Assim, uma área em comum que consiga uma boa representatividade das sub-bacias, pode mostrar as principais diferenças entre os dois modelos de elevação.

2.3. Área, perímetro, comprimento axial e rede de drenagem

As primeiras variáveis obtidas por meio da ferramenta do software QGIS (Figura 2) foram a área de contribuição, o perímetro, o comprimento axial e o comprimento da rede de drenagem. Após determinação destas variáveis, calculou-se os índices de formas destas, como: o fator de forma, o índice de circularidade e o coeficiente de compacidade, e posteriormente calculado a declividade, altitude, densidade de drenagem e a ordem dos cursos de água (WENZEL et al., 2018).

Estas informações fisiográficas só podem ser extraídas pelos modelos digitais de elevação e/ou calculadas após a obtenção do arquivo shapefile de uma bacia ou sub-bacia hidrográfica, e para tanto é preciso delimitá-la. As delimitações das sub-bacias foram realizadas de forma automática no software QGIS, versão 3.22, por meio do plugin WhiteboxTools, onde é possível trabalhar as imagens de satélite. Na Figura 2 é demonstrado o passo a passo para a delimitação das sub-bacias.

Após a delimitação das sub-bacias hidrográficas, juntamente com a rede de drenagem, é possível calcular a área, perímetro, comprimento axial, comprimento do talvegue e o comprimento total dos drenos, e posteriormente calculado os índices morfométricos das sub-bacias hidrográficas.

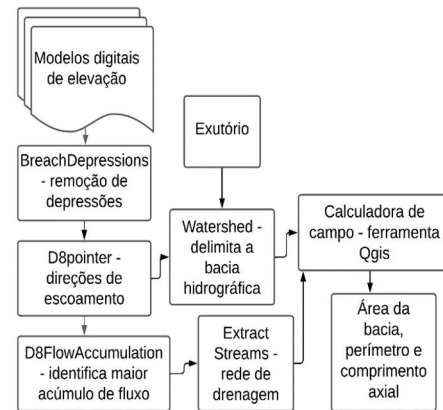


Figura 2. Fluxograma do procedimento para delimitar sub-bacias hidrográficas, utilizando o plugin WhiteboxTools.

Figure 2. Flowchart of the procedure for delineating sub-watersheds using the WhiteboxTools plugin.

2.4. Coeficiente de compacidade

Mello (2013) classifica as sub-bacias com valores de Kc acima de 1,50 com baixo risco de ocorrer enchentes e valores mais próximos de 1 com maiores propensões a enchentes. Quanto mais circular é o formato da bacia, menor será a distribuição do fluxo ao longo do canal principal, indicando congestionamento de fluxo.

O coeficiente de compacidade relaciona o perímetro da bacia hidrográfica com a área de um círculo com a mesma área da bacia (MELLO, 2013), conforme a Equação 1.

$$Kc = 0.28 * P / \sqrt{A} \quad (01)$$

em que: P o perímetro da bacia hidrográfica, em km; e A é a área da bacia, em km².

2.5. Fator de forma

O fator de forma (Kf) é o resultado da área da bacia hidrográfica dividida pelo comprimento do eixo elevado ao quadrado (HORTON, 1932) (Equação 2). Esse coeficiente é responsável por associar a forma da bacia com o risco de ocorrer enchentes, valores de Kf igual a 1 demonstram que a bacia tem um formato circular, caracterizado por ter menor tempo de concentração da água, aumentando a probabilidade de ocorrer enchentes.

$$Kf = A / L^2 \quad (02)$$

em que: A é a área da bacia hidrográfica, em km²; e L é o comprimento do maior eixo do rio, em km.

2.6. Índice de circularidade

O índice de circularidade (Ic) é importante para medir as potencialidades de inundações das bacias hidrográficas. Quando o índice Ic \geq 0,51 a bacia é circular e indica potencialidade de enchente, e se Ic < 0,51 ela é alongada e apresenta baixo potencial de inundação (SOARES; GALVINCIO, 2020). O índice pode ser calculado conforme a Equação 3.

$$Ic = 12,57 * (A / P^2) \quad (03)$$

em que: A é a área da bacia hidrográfica, em km²; e P é o perímetro da bacia, em km.

2.7. Declividade do curso d'água principal

A declividade influencia principalmente a velocidade de escoamento superficial e na capacidade de infiltração da água no solo da bacia hidrográfica. Em terrenos com maior declividade tende a ocorrer aumento da velocidade do escoamento, redução da infiltração e, conseqüentemente, aumento nas taxas de erosão, processo esse, que pode ser potencializado na ausência de práticas conservacionistas de manejo de solo (MOREIRA; DIAS, 2017).

Este fator indica a magnitude da velocidade do escoamento superficial e o tempo que um evento de precipitação pluvial leva para percorrer do ponto de interceptação da nascente até seu exutório (Equação 4).

$$S = h1/L * 100 \tag{04}$$

em que: S é a declividade do curso d'água principal, dado em porcentagem (%), h1 é a da diferença da altitude da nascente e do exutório, em km, e L é o comprimento do dreno principal, em km.

2.8. Densidade de drenagem e Ordem do curso d'água

A densidade de drenagem indica a capacidade de drenagem e da velocidade de escoamento da água pela bacia hidrográfica (CARDOSO et al., 2006). A densidade de drenagem (Dd) corresponde a razão entre o comprimento total (Lt) dos canais da bacia e a área da mesma (A), conforme Equação 5.

A Dd da bacia hidrográfica é classificada como pobre ($Dd < 0,5 \text{ km/km}^2$), regular ($0,5 \leq Dd < 1,5 \text{ km/km}^2$), boa ($1,5 \leq Dd < 2,5 \text{ km/km}^2$), excelente ($2,5 \leq Dd < 3,5 \text{ km/km}^2$), excepcionalmente bem drenadas ($Dd \geq 3,5 \text{ km/km}^2$) (SANTOS et al., 2019; BORELLA et al., 2024).

$$Dd = Lt/A \tag{05}$$

em que: Dd é a densidade de drenagem, obtido em km/km^2 , Lt é o comprimento total dos drenos, em km, e A é área da bacia, em km^2 .

As ordens dos cursos d'água foram definidas aplicado a metodologia descrita por Strahler (1957), cujo canais de 1ª ordem são as nascentes e a junção de dois trechos de mesma ordem, formam um canal de 2ª ordem e assim sucessivamente até chegar no exutório da bacia hidrográfica.

3. RESULTADOS

Nas Tabelas 1 a 5 pode-se verificar os resultados das características fisiográficas das cinco sub-bacias da margem direita da região do Alto Teles Pires, determinadas com base nas imagens ALOS PALSAR e SRTM 30, bem como a variação percentual entre os valores de cada modelo digital de elevação.

A sub-bacia do rio Preto tem a segunda menor área dentre as cinco sub-bacias do trabalho, com aproximadamente 255 km^2 (Tabela 1). O comprimento do dreno principal e o perímetro foram as principais características que apresentaram diferença entre os MDE, interferindo diretamente nos índices morfométricos, como observado na Figura 3 a diferença no perímetro e densidade de drenagem.

A menor sub-bacia deste trabalho é a do rio Rosana, com aproximadamente 96 km^2 , que teve as menores variações de resultados entre as características oriundas dos diferentes MDEs, conforme a Tabela 2, mas apresentou as principais diferenças na área da bacia, com 96 km^2 (ALOS PALSAR) e 105 km^2 (SRTM), e no comprimento total dos drenos, 286

km^2 (ALOS PALSAR) e 294 km^2 (SRTM), o modelo o SRTM apresentou valores maiores do que o ALOS PALSAR (Figura 4), diferente das demais sub-bacias apresentadas.

Tabela 1. Características fisiográficas da sub-bacia hidrográfica do rio Preto, Alto Teles Pires, MT, Brasil.

Table 1. Physiographic characteristics of the hydrographic sub-basin of the Preto River, High Teles Pires, MT, Brazil.

Características Fisiográficas	Modelo Digital De Elevação		Variação (%)
	ALOS PALSAR	SRTM	
Área de Contribuição Adotado (km^2)	0,1		
Ordem do Curso D'água	6ª		
Área Bacia (km^2)	255,39	250,76	1,84
Comprimento Axial (km)	24,10	23,98	0,50
Perímetro (km)	165,99	144,73	14,69
Comprimento Total dos Drenos (km)	765,69	708,32	8,10
Comprimento do Talvegue (km)	22,53	23,79	5,31
Comprimento do Dreno Principal (km)	45,43	39,05	16,32
Elevação Média (m)	353,18	360,48	2,03
Altitude da Foz (m)	286,83	303,00	5,34
Altitude da Nascente (m)	390,00	400,00	2,50
Fator de Forma (Kf)	0,44	0,44	0,83
Coefficiente de Capacidade (Kc)	2,91	2,56	13,65
Índice de Circularidade (Ic)	0,12	0,15	22,57
Densidade de Drenagem (Dd) (km/km^2)	3,00	2,82	6,14
Sinuosidade do Curso D'água Principal (S)	2,02	1,64	22,84
Declividade do Curso D'água Principal (%)	0,23	0,25	8,56

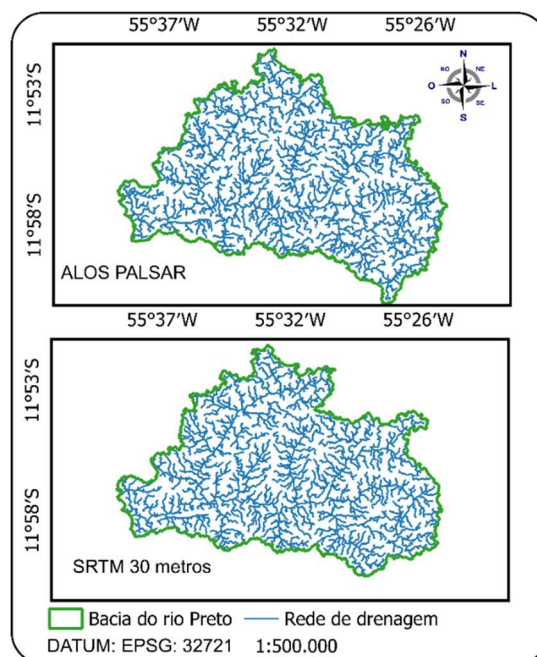


Figura 3. Comparação entre os MDEs ALOS PALSAR e SRTM para a sub-bacia do rio Preto, afluente da margem direita da região do Alto Teles Pires, MT, Brasil.

Figure 3. Comparison between ALOS PALSAR and SRTM DEMs for the sub-basin of the Preto River, a tributary of the right bank of the Upper Teles Pires region, MT, Brazil.

Tabela 2. Características fisiográficas da sub-bacia hidrográfica do rio Rosana, Alto Teles Pires, MT, Brasil.

Table 2. Physiographic characteristics of the hydrographic sub-basin of the Rosana River, High Teles Pires, MT, Brazil.

Características Fisiográficas	Modelo Digital De Elevação		Variação (%)
	ALOS PALSAR	SRTM	
	Área de Contribuição Adotado (km ²)	0,1	
Ordem do Curso D'água	5 ^a		
Área Bacia (km ²)	96,38	105,07	8,27
Comprimento Axial (km)	21,36	21,34	0,09
Perímetro (km)	109,96	109,02	0,86
Comprimento Total dos Drenos (km)	286,18	294,37	8,27
Comprimento do Talvegue (km)	20,41	19,94	0,09
Comprimento do Dreno Principal (km)	32,39	30,71	0,86
Elevação Média (m)	346,52	355,38	2,78
Altitude da Foz (m)	290,33	302,00	2,39
Altitude da Nascente (m)	392,00	401,00	5,46
Fator de Forma (Kf)	0,21	0,23	2,49
Coefficiente de Compacidade (Kc)	3,14	2,98	3,86
Índice de Circularidade (Ic)	0,10	0,11	2,24
Densidade de Drenagem (Dd) (km/km ²)	2,97	2,80	8,44
Sinuosidade do Curso D'água Principal (S)	1,59	1,54	5,31
Declividade do Curso D'água Principal (%)	0,31	0,32	9,83

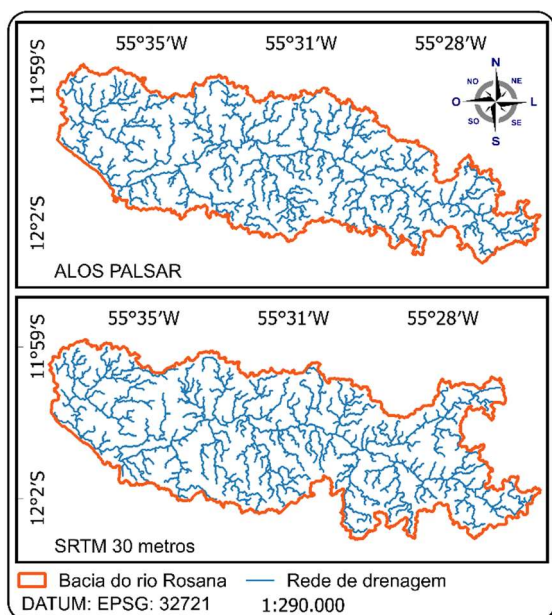


Figura 4. Comparação entre os MDEs ALOS PALSAR e SRTM para a sub-bacia do rio Rosana, afluente da margem direita da região do Alto Teles Pires, MT, Brasil.

Figure 4. Comparison between ALOS PALSAR and SRTM DEMs for the sub-basin of the Rosana River, a tributary of the right bank of the Upper Teles Pires region, MT, Brazil.

Com aproximadamente 470 km² de área, a sub-bacia do rio Caiabi apresentou características fisiográficas que demonstram baixa possibilidade de sofrer picos de enchentes devido aos índices obtidos, conforme a Tabela 3. As variações das variáveis apresentada pelos dois MDEs foram pequenas, sendo os comprimentos de drenos, o fator

responsável para a variação da densidade de drenagem e sinuosidade do dreno principal (Figura 5).

Tabela 3. Características fisiográficas da sub-bacia hidrográfica do rio Caiabi, Alto Teles Pires, MT, Brasil.

Table 3. Physiographic characteristics of the hydrographic sub-basin of the Caiabi River, High Teles Pires, MT, Brazil.

Características Fisiográficas	Modelo Digital De Elevação		Variação (%)
	ALOS PALSAR	SRTM	
	Área de Contribuição Adotado (km ²)	0,1	
Ordem do Curso D'água	6 ^a		
Área Bacia (km ²)	476,26	470,45	1,24
Comprimento Axial (km)	35,94	35,63	0,88
Perímetro (km)	255,28	246,48	3,57
Comprimento Total dos Drenos (km)	1.423,42	1.313,95	8,33
Comprimento do Talvegue (km)	35,30	35,12	0,52
Comprimento do Dreno Principal (km)	75,46	68,30	10,48
Elevação Média (m)	367,75	373,64	1,58
Altitude da Foz (m)	287,24	307,00	6,44
Altitude da Nascente (m)	409,00	418,00	2,15
Fator de Forma (Kf)	0,37	0,37	0,53
Coefficiente de Compacidade (Kc)	3,28	3,18	2,93
Índice de Circularidade (Ic)	0,09	0,10	5,62
Densidade de Drenagem (Dd) (km/km ²)	2,99	2,79	7,01
Sinuosidade do Curso D'água Principal (S)	2,14	1,94	9,91
Declividade do Curso D'água Principal (%)	0,16	0,16	0,71

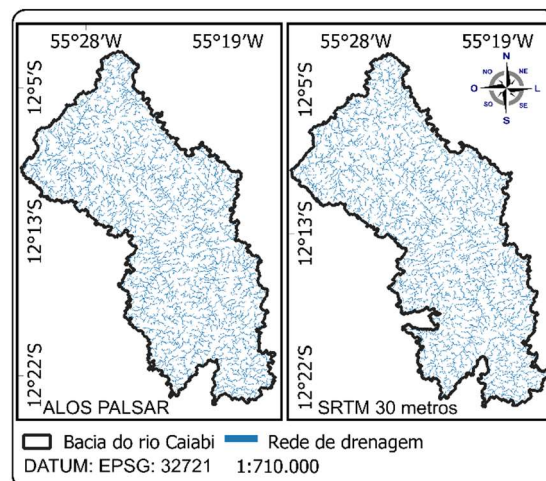


Figura 5. Comparação entre os MDEs ALOS PALSAR e SRTM para a sub-bacia do rio Caiabi, afluente da margem direita da região do Alto Teles Pires, MT, Brasil.

Figure 5. Comparison between ALOS PALSAR and SRTM DEMs for the sub-basin of the Caiabi River, a tributary of the right bank of the Upper Teles Pires region, MT, Brazil.

A segunda maior sub-bacia do trabalho é a do rio Nandico, com aproximadamente 650 km², esta apresentou índices morfométricos que indicam que a sub-bacia tem um formato mais estreito e alongado, como verifica-se na Tabela 4 e na Figura 6. É possível também observar que ocorrem maiores variações entre as características obtidas do ALOS PALSAR e do SRTM, sendo os índices de circularidade e

sinuosidade os mais afetados, pois estão relacionados ao perímetro e ao comprimento de dreno.

Tabela 4. Características fisiográficas da sub-bacia hidrográfica do rio Nandico, Alto Teles Pires, MT, Brasil.

Table 4. Physiographic characteristics of the hydrographic sub-basin of the Nandico River, High Teles Pires, MT, Brazil.

Características Fisiográficas	Modelo Digital De Elevação		Variação (%)
	ALOS PALSAR	SRTM	
Área de Contribuição Adotado (km ²)	0,1		
Ordem do Curso D'água	6 ^a		
Área Bacia (km ²)	652,86	638,93	2,18
Comprimento Axial (km)	55,52	54,66	1,57
Perímetro (km)	345,61	312,41	10,63
Comprimento Total dos Drenos (km)	1.971,20	1.817,37	8,46
Comprimento do Talvegue (km)	52,14	54,27	3,93
Comprimento do Dreno Principal (km)	93,50	82,31	13,60
Elevação Média (m)	379,93	385,09	1,34
Altitude da Foz (m)	274,44	283,64	3,24
Altitude da Nascente (m)	422,00	424,00	0,47
Fator de Forma (Kf)	0,21	0,21	0,96
Coefficiente de Compacidade (Kc)	3,79	3,46	9,44
Índice de Circularidade (Ic)	0,07	0,08	16,51
Densidade de Drenagem (Dd) (km/km ²)	3,02	2,84	6,15
Sinuosidade do Curso D'água Principal (S)	1,79	1,52	18,25
Declividade do Curso D'água Principal (%)	0,16	0,17	7,46

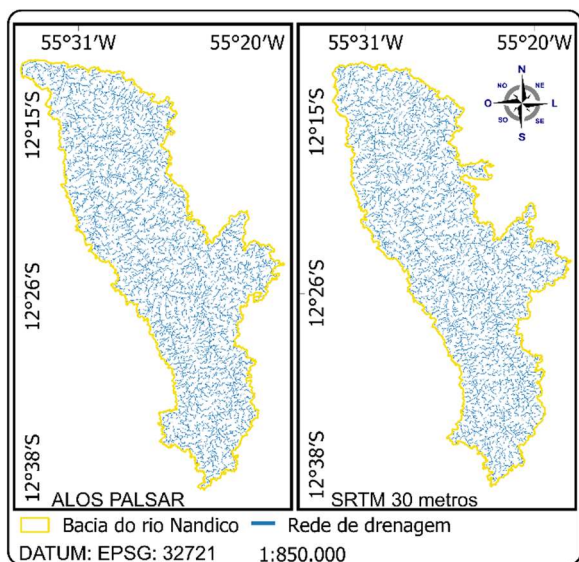


Figura 6. Comparação entre os MDEs ALOS PALSAR e SRTM para a sub-bacia do rio Nandico, afluente da margem direita da região do Alto Teles Pires, MT, Brasil.

Figure 6. Comparison between ALOS PALSAR and SRTM DEMs for the sub-basin of the Nandico River, a tributary of the right bank of the Upper Teles Pires region, MT, Brazil.

A sub-bacia do rio Celeste é a maior dentre as que já foram apresentadas, com aproximadamente 1.800 km² e pela Tabela 5 e a Figura 7 fica evidente o formato bem alongado e estreito, o que resulta numa menor possibilidade de ocorrer

enchentes. A sub-bacia mostrou comportamento similar com o rio Rosana, ou seja, a área de drenagem foi maior quando utilizados modelo SRTM, enquanto o comprimento total dos drenos foi maior aplicando o ALOS PALSAR.

Tabela 5. Características fisiográficas da sub-bacia hidrográfica do rio Celeste, Alto Teles Pires, MT, Brasil.

Table 5. Physiographic characteristics of the hydrographic sub-basin of the Celeste River, High Teles Pires, MT, Brazil.

Características Fisiográficas	Modelo Digital De Elevação		Variação (%)
	ALOS PALSAR	SRTM	
Área de Contribuição Adotado (km ²)	0,1		
Ordem do Curso D'água	7 ^a		
Área Bacia (km ²)	1.797,57	1.835,70	2,08
Comprimento Axial (km)	135,76	147,29	7,83
Perímetro (km)	781,60	659,22	18,57
Comprimento Total dos Drenos (km)	5.312,77	4.735,88	12,18
Comprimento do Talvegue (km)	135,61	147,07	7,79
Comprimento do Dreno Principal (km)	221,99	220,90	0,49
Elevação Média (m)	403,56	408,85	1,29
Altitude da Foz (m)	306,00	313,53	2,40
Altitude da Nascente (m)	476,00	492,91	3,43
Fator de Forma (Kf)	0,10	0,08	15,27
Coefficiente de Compacidade (Kc)	5,16	4,31	19,82
Índice de Circularidade (Ic)	0,04	0,05	30,34
Densidade de Drenagem (Dd) (km/km ²)	2,96	2,58	14,56
Sinuosidade do Curso D'água Principal (S)	1,64	1,50	8,99
Declividade do Curso D'água Principal (%)	0,08	0,08	5,69

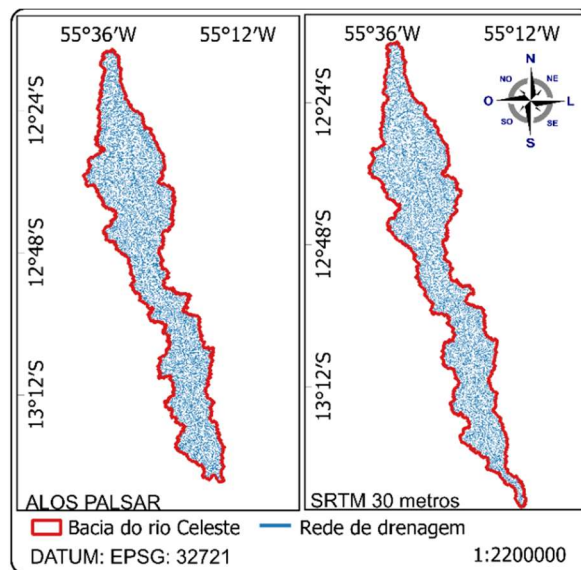


Figura 7. Comparação entre os MDEs ALOS PALSAR e SRTM para a sub-bacia do rio Celeste, afluente da margem direita da região do Alto Teles Pires, MT, Brasil.

Figure 7. Comparison between ALOS PALSAR and SRTM DEMs for the sub-basin of the Celeste River, a tributary of the right bank of the Upper Teles Pires region, MT, Brazil.

4. DISCUSSÃO

As cinco sub-bacias apresentaram Dd com classificação excelente (rio Preto, Rosana, Caiabi, Nandico e Celeste), que por sua vez potencializa maior capacidade de infiltração da água no solo e o escoamento subterrâneo.

A Dd encontrada nestas sub-bacias hidrográficas como excelente é devido a resolução utilizada e área de contribuição adotada de 0,1 km², pois a Dd está associada proporcionalmente a quantidade de drenos na bacia hidrográfica, logo aumentando a capacidade de resolução são identificados mais pontos de acúmulo de fluxo, por conta disso o ALOS PALSAR com a mesma área de contribuição apresentou maior Dd em relação ao SRTM. De acordo com o estudo de Borella et al. (2024), na sub-bacia do rio Renato pertencente a região hidrográfica do Médio Teles Pires, foi encontrado Dd de 0,505 km/km², utilizando o SRTM 90 metros, assim como no trabalho de Wenzel et al. (2018), onde foi encontrado Dd regulares na região do Médio e Alto Teles Pires, o que difere dos valores encontrados neste trabalho devido a utilização de diferentes resoluções de MDE, o que indica a relevância da resolução espacial para este índice.

A sub-bacia do rio Rosana apresentou as menores variações entre os modelos de elevação, mas com comportamentos diferentes, no caso em que a área da bacia foi o principal causador do aumento da variação dos coeficientes Kf, Ic e Dd, pois o MDE ALOS PALSAR apresentou menor área de bacia em relação ao SRTM 30 metros, justificável pelo tamanho do pixel. Como é uma bacia pequena, os pixels do SRTM ultrapassaram os limites da bacia aumentando a sua área, e o ALOS com maior quantidade de pixel e maior resolução espacial, gerou melhor delimitação.

A sub-bacia do rio Caiabi, por sua vez, apresentou diferenças no comprimento do dreno principal e do total de drenos, causando diferenças na densidade de drenagem e sinuosidade do curso d'água principal, o mesmo comportamento foi encontrado nas demais sub-bacias. Por mais que seja a mesma área de contribuição para os dois modelos de elevação, a quantidade de pixel muda, e o ALOS PALSAR apresenta seis vezes mais pixels para a mesma área do que o SRTM, sendo proporcional ao aumento de detalhamento da rede de drenagem na bacia.

As sub-bacias dos rios Celeste, Nandico e Preto tiveram em comum a variação elevada no perímetro e no comprimento total dos drenos, isso ocasionou uma alteração nos coeficientes Kc, Ic, Dd e S, sendo que o perímetro maior foi com a utilização do MDE do ALOS PALSAR, neste modelo nas bordas das sub-bacias se encontra maior número de pixel, conseqüentemente aumentando o perímetro.

O MDE do ALOS apresentou altitudes e elevações menores em todas as sub-bacias, por conta da presença do sensor PALSAR, que atua na frequência de 1.270 Mhz (banda L), que torna possível os comprimentos de ondas atravessarem as camadas vegetativas, e obter dados de elevação somente do terreno. Ainda, a maior resolução espacial deste também contribui positivamente no registro de maiores detalhes, pois aumenta a quantidade de informação por pixel, visto que enquanto o SRTM tem um pixel a cada 900 m², o ALOS tem aproximadamente seis pixels a mais para a mesma área.

As cinco sub-bacias estudadas com tamanhos e formas diferentes, mas com a mesma área de acumulação de fluxo,

de 0,1 km², mostraram que as variações nas características fisiográficas foram semelhantes. Todavia, a maior sub-bacia do estudo (Celeste) obteve maiores variações por conta de sua forma mais alongada e estreita, como visto com o menor índice Kf das cinco sub-bacias, alertando sobre a importância da resolução espacial dos MDE para estudos hidrológicos, com intuito de aumentar a acurácia nos resultados das variáveis morfométricas.

Cunha e Bacani, 2019, encontrou índices (área, perímetro e densidade de drenagem) com mais acurácias no MDE ALOS PALSAR, utilizando área de drenagem de 2 km², comparado com modelos de elevação de baixa resolução espaciais (SRTM 30 e 90 metros).

Nitheshnirmal et al. (2019) exalta a eficiência do ALOS PALSAR para determinação de índices morfométricos de bacias hidrográficas com intuito de buscar melhor resultado em identificar riscos de erosão de solo, afetando a produtividade agrícola e sustentabilidade.

Dessa forma, a análise dos resultados, em geral, indicou a importância da adoção de MDE com alta resolução, pois a utilização do MDE do ALOS PALSAR propiciou a determinação de variáveis fisiográficas mais detalhadas e provavelmente com maior acurácia. Assim, torna-se necessário definir o modelo digital de elevação que melhor se enquadre com o serviço a ser realizado. Entretanto, o inconveniente desta decisão que vale salientar é a alta demanda de processamento requerida para o estudo de bacias hidrográficas de grande porte ou com grandes áreas.

Quanto ao MDE do SRTM de 30 metros, a delimitação das sub-bacias e a determinação das características fisiográficas apresentaram processamento rápido e eficiente, todavia, por mais que a demanda de processamento seja menor, não tem a acurácia tão adequada por conta de sua baixa resolução espacial, o que interfere na obtenção de resultados mais precisos e exatos em estudos que demandam maior detalhamento, conhecimento e controle, como no caso de projetos de barragens e de irrigação, que necessitam de menor área de contribuição.

5. CONCLUSÕES

As sub-bacias hidrográficas apresentam similaridade nas características fisiográficas, com formatos estreitos e alongados, alta sinuosidade do curso d'água principal, e excelente capacidade de drenagem, indicando que as sub-bacias são pouco suscetíveis a ocorrência de enchentes e inundações. Isso implica na adequada disponibilidade dos recursos hídricos à região, desde que aplicado as boas práticas de manejo e conservação no sistema de produção agrossilvipastoril vigente.

O modelo digital de elevação ALOS PALSAR 12,5 metros é o mais preciso para caracterização das variáveis fisiográficas das cinco sub-bacias estudadas, como demonstrado nos resultados e nos mapas com mais detalhes. Já o MDE do SRTM de 30 metros tem limitações por conta da resolução espacial, em que omite o detalhamento de informações essenciais, como da área da bacia, do perímetro e dos comprimentos dos drenos, refletindo razoavelmente nos coeficientes que indicam os comportamentos hidrológicos das sub-bacias.

A área de contribuição tem impacto direto na rede de drenagem, logo pode superestimar a Dd. A busca por uma

faixa ideal que melhor represente a bacia hidrográfica, vai depender do interesse da pesquisa, a maior resolução tem alta capacidade de localizar rios intermitentes e até possíveis locais de escoamento superficial devida a uma precipitação.

A necessidade de se estudar a dependência espacial de sub-bacias hidrográficas é/está evidente no trabalho, pois de acordo com a proposta de trabalho a ser desenvolvido, a resolução espacial a ser escolhida pode demonstrar melhor os atributos que caracterizam a sub-bacia.

O sensor PALSAR se torna mais eficaz na determinação de elevação, pois utiliza a banda L, que atua com alta frequência, capazes de atravessar camadas vegetativas, obtendo valores mais verídicos de altitude, ideal para áreas de floresta.

6. REFERÊNCIAS

ANA. **Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico.**

Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/reCORDS/df48de18-753b-4789-964d-7f0967c53d08>. Acesso em: 21 Agosto 2023.

ASF. **Alaska Satellite Facility.** Disponível em: <https://asf.alaska.edu>. Acesso em: 15 Abril 2023.

BORELLA, D. R.; CASTAGNA, D.; GARCIA, A. C.; ALVES, M. A. B.; ZOLIN, C. A.; ALMEIDA, F. T. de; SOUZA, A. P. Morphometry, water availability and sediment transport in the River Renato Watershed, Southern Amazon. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 17, n. 1, p. 297-314, 2024. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v17.1.p297-314>

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a **Política Nacional de Recursos Hídricos**, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 jan. 1997.

CAMPOS, S.; FELIPE, A. C.; CAMPOS, M.; RECHE, A. M. Geoprocessamento aplicado na caracterização morfométrica da microbacia do ribeirão Descalvado – Botucatu, SP. **Irriga**, v. 1, n. 1. p. 52-65. 2015. <https://doi.org/10.15809/irriga.2015v1n1p52>

CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, v. 30, n. 2, p. 241-248, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622006000200011>

CUNHA, E. R.; BACANI, V. M. Influência da resolução do MDE na caracterização morfométrica de bacia hidrográfica. **Caderno de Geografia** v. 29, n. 59 p. 1029-1043, 2019. <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2019v29n59p1029>

GEORGIN, J.; OLIVEIRA, G. A.; ROSA, A. L. D. Estudo comparativo de índices morfométricos relacionado com cheias nas bacias hidrográficas do alto Jacuí e Vacacaí - Vacacaí Mirim - RS. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v.19, n. 2, p. 1357-1364, 2015. <https://doi.org/10.5902/2236117016834>

GOOGLE. **Google Earth Engine.** Disponível em: <https://earthengine.google.com/>. Acesso em: 15 abril 2023.

HORTON, R. E. Drainage basin characteristics. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, v. 13, p. 350-361, 1932. <https://doi.org/10.1029/TR013i001p00350>

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?edicao=33087&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: 21 agosto 2023.

JAXA **Japan Aerospace Exploration Agency.** Disponível em: https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/alos-2/a2_sensor_e.htm. Acesso em: 10 de março de 2023.

MELLO, C. R. D.; SILVA, A. M. da. **Hidrologia: princípio e aplicações em sistemas agrícolas.** Lavras: UFLA, 2013. 455p.

MOREIRA, L. L.; DIAS, R. R. Análise morfométrica na microbacia hidrográfica do córrego Manoel João, Porto Nacional (TO). **Geoambiente On-line**, n. 27, p. 18-33, 2017. <https://doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i27.40074>

NITHESHNIRMAL, S.; THILAGARAJ, P.; RAHAMAN, S. A.; JEGANKUMAR, R. Erosion risk assessment through morphometric indices for prioritisation of Arjuna watershed using ALOS-PALSAR DEM. **Modeling Earth Systems and Environment**, v. 5, p. 907-924, 2019. <https://doi.org/10.1007/s40808-019-00578-y>

SANTOS, L. L.; RIBEIRO, V. de O.; DIODATO, J. O. Morphometry of Hydrographic Basins Placed in the Urban Area of Dourados - MS – Brazil. **RAEGA – O Espaço Geográfico Em Análise**, v. 46 n. 3, p. 75-87, 2019. <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v46i3.67039>

SNIRH **Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos.** Disponível em: <http://www.snirh.gov.br>. Acesso em: 11 novembro 2023.

SOARES, G. A. S.; GALVÍNCIO, J. D. Uso do LiDAR para avaliar os padrões hídricos de bacias em áreas urbanas: Caracterização fisiográfica da bacia do Rio Beberibe, PE. **Revista Brasileira De Geografia Física**, v. 13, n. 7, p. 3659-3674, 2020. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.07.p3659-3674>

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, v. 38, n. 6, p 913-920, 1957. <https://doi.org/10.1029/TR038i006p00913>

WENZEL, D. A.; ULIANA, E. M.; ALMEIDA, F. T. de; SOUZA, A. P. de; MENDES, M. A. dos S. A.; SOUZA, L. G. da S. Características fisiográficas de sub-bacias do médio e alto Rio Teles Pires - MT. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v. 15, n. 2, p. 123-131, 2018. <https://doi.org/10.5327/rcaa.v15i2.2193>

Agradecimentos: Agradecemos a FAPEMAT pelo auxílio financeiro na forma de bolsa de iniciação científica (PIBIC / FAPEMAT); a UFMT – Campus Sinop – pelo apoio logístico e infraestrutura para desenvolvimento dos trabalhos; ao Comitê de Bacias Hidrográficas do Alto Teles Pires-Margem Direita – CBHATP – MD por toda a parceria e por intermediar e apoiar junto ao Ministério Público Estadual de MT - MPE-MT o fomento financeiro para o desenvolvimento das pesquisas em sub-bacias hidrográficas do rio Teles Pires- Projetos MONITORA I e II, e aos componentes do Grupo TRHECO – Grupo de Pesquisa: Tecnologias em Recursos Hídricos no Centro-Oeste que atua na UFMT – Campus Sinop.

Contribuição dos autores: J.W.S.A. – metodologia, investigação ou coleta de dados, redação (original), redação (original draft); R.S.D.P. - metodologia, investigação ou coleta de dados, validação; R.R.P. – metodologia, investigação ou coleta de dados, validação; D.C. - metodologia, investigação ou coleta de dados, validação; D.R.B. - metodologia, investigação ou coleta de dados, validação, redação (revisão e edição); K.L.S.B. - investigação ou coleta de dados; C.A.Z. – conceitualização, metodologia; E.A.F. – administração ou supervisão; A.P.S. – conceitualização, investigação ou coleta de dados, administração ou supervisão, redação (revisão e edição); F.T.A. - conceitualização, metodologia, investigação ou coleta de dados, administração ou supervisão, redação (original), redação (revisão e edição).

Financiamento: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) com bolsas de Iniciação Científica; Ministério Público Estadual de MT - MPE-MT – Fundação Uniselva (Projeto 4.024.074); Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), código de financiamento 001 e Processo 88887.144957/2017-00. The authors wish to thank the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) for their support with scientific initiation grants and a productivity grant

Disponibilidade de dados: Os dados desta pesquisa poderão ser obtidos mediante solicitação ao autor correspondente via e-mail.

Conflito de interesses: Os autores declaram não haver conflito de interesses. Os financiadores não tiveram nenhum papel na concepção do estudo, na coleta, análise ou interpretação de dados, na redação do manuscrito ou na decisão de publicar os resultados.