



Avaliação da Qualidade da Rede de Drenagem Fornecida pelo *MERIT Hydro*: uma Base de Dados com a Rede Hidrográfica Disponibilizada em Escala Global

Evaluation of Drainage Network Provided by MERIT Hydro: a Database with the Hydrographic Network Available on a Global Scale

Dário Macedo Lima¹, Adriano Rolim da Paz², Aricson Garcia Lopes³, Thiago de Sá Sena⁴ e Cinthia Maria de Abreu Claudino⁵

¹ Universidade Federal da Paraíba, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, João Pessoa, Brasil. dariomacedolima@gmail.com.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3353-4848>

² Universidade Federal da Paraíba, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, João Pessoa, Brasil. adrianorpaz@yahoo.com.br.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0243-7006>

³ Universidade Federal da Paraíba, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, João Pessoa, Brasil. aricson.garcia@gmail.com.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4923-5578>

⁴ Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Fortaleza, Brasil. engthiagosena@gmail.com.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1593-3439>

⁵ Universidade Federal da Paraíba, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, João Pessoa, Brasil. [cynthiamariaac@gmail.com](mailto:cinthiamariaac@gmail.com).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4233-6082>

Recebido: 10.2021 | Aceito: 02.2022

Resumo: O mapa de representação dos rios é importante em diversos estudos e costuma ser obtido através do processamento de dados de elevação provenientes do Modelo de Digital de Elevação (MDE). Com base nisso, foi desenvolvido o *MERIT Hydro*, que fornece a rede hidrográfica de todo o globo, obtida através do processamento do MDE e de informações da posição de rios, lagos e demais corpos d'água em escala global. Nesse sentido, este trabalho avaliou a qualidade da rede de drenagem fornecida pelo *MERIT Hydro* e comparou com o desempenho da rede de drenagem obtida com o processamento do MDE disponibilizado pelo projeto *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM). Para tanto foi utilizada uma rede de drenagem de referência disponível para alguns rios das bacias hidrográficas do Rio Uruguai e do Rio São Francisco, e obtida através da digitalização manual de rios com base em imagens de satélite. Foram avaliadas métricas de comprimento da rede de drenagem, percentagem dentro do *buffer* e distância média. Os resultados mostraram que a rede de drenagem proveniente do *MERIT Hydro* representou com maior precisão os rios avaliados e o desempenho do *MERIT Hydro* foi no geral superior ao desempenho da rede obtida a partir do processamento do MDE do SRTM.

Palavras-chave: Hidrologia. Modelo Digital de Elevação. SRTM. Direção de fluxo.

Abstract: The river representation map is important in several studies, and it is usually obtained by processing elevation data from the Digital Elevation Model (DEM). The *MERIT Hydro* is a recently DEM-derived drainage network that provides the hydrographic network for the entire globe and was obtained by using the information about the position of rivers, lakes, and other water bodies on a global scale. In this sense, this study evaluated the quality of the drainage network provided by *MERIT Hydro* and compared it with the performance of the drainage network obtained by processing the DEM provided by the *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM). For that, a reference drainage network of rivers from the River Uruguai and River São Francisco basins was used. Drainage network length, percentage within the *buffer* and average distance were selected as metrics to evaluate the performances. The results showed that *MERIT Hydro* drainage network is more accurate and performed better than the drainage network obtained by processing the DEM from the SRTM.

Keywords: Hydrology. Digital Elevation Model. SRTM. Flow direction.

1 INTRODUÇÃO

O mapa de representação dos rios de uma região é uma informação importante em diversos estudos, como em modelos hidrológicos e no mapeamento de áreas inundadas, por exemplo (ZHENG et al., 2018; COSTA; PAZ; PICCILLI, 2019).

Atualmente, uma das técnicas comumente utilizadas para obter a rede de drenagem de uma região é o processamento do Modelo Digital de Elevação (MDE). O MDE, obtido através de sensores remotos, a bordo de aviões ou satélites, armazena os dados topográficos a partir da utilização de uma grade ou matriz em que cada elemento contém um valor que corresponde à altitude local. A representação mais tradicional de um MDE é através de uma imagem raster, onde cada pixel tem como atributo o valor de elevação do terreno em relação a um determinado referencial (BURROUGH; MCDONNEL, 1998).

O procedimento mais comum consiste em determinar a direção do escoamento da água (direção de fluxo) em cada pixel, considerando que cada pixel drena para um de seus oito vizinhos, e a partir da direção de fluxo, definir a rede de drenagem.

A determinação de qual direção de fluxo atribuir é normalmente feita escolhendo a direção que proporcione a maior declividade, calculada como sendo a diferença de elevação entre o pixel vizinho e o pixel central dividida pela distância entre eles, método conhecido como D8 ou *Deterministic Eight Neighbours*, e utilizado nos algoritmos apresentados por Jenson e Domingue (1988) e Planchon e Darboux (2001), por exemplo. A diferença entre tais métodos está na forma com que são tratadas as situações em que não existe uma declividade máxima única, na forma como são consideradas as regiões planas, e na forma como são resolvidas as áreas de depressões, que são regiões isoladas com cotas mais baixas que a vizinhança (BUARQUE et al., 2009).

Nesse sentido, a correta definição da posição da rede de drenagem está relacionada à determinação da direção do escoamento no pixel, que depende do método utilizado e da qualidade do MDE, que geralmente contém erros não negligenciáveis, aleatórios ou devidos à vegetação, por exemplo (BUARQUE et al., 2009). Dessa forma, rios muito pequenos, cuja largura é menor que o tamanho do pixel do MDE não são bem representados em muitos casos. Além disso, o MDE não retrata adequadamente a elevação de pontos do terreno abaixo da superfície da água, o que interfere na representação de rios largos, por exemplo (YAMAZAKI et al., 2019).

Essa dificuldade do MDE de representar adequadamente a rede de drenagem resultou no desenvolvimento de técnicas conhecidas como *stream-burning*, que se baseiam no pré-processamento do MDE através da incorporação de uma rede hidrográfica vetorial existente, deixando o MDE hidrológicamente compatível. Esse pré-processamento pode incluir, por exemplo, a impressão da rede vetorial existente no MDE, rebaixando a elevação dos pixels ao longo dessa rede. Dessa forma, as direções de fluxo entram em conformidade com a rede vetorial (CALLOW; VAN NIEL; BOGGS, 2007; BUARQUE et al., 2009).

Baseados nesses conceitos, Yamazaki et al. (2019) desenvolveram um mapa, denominado *MERIT Hydro*, que contém a rede de drenagem em escala global com resolução de 90 metros, e disponibilizaram essa informação de forma gratuita na internet (YAMAZAKI, 2019). Essa rede de drenagem foi obtida através de dados de elevação fornecidos pelo *MERIT DEM*.

O *MERIT DEM* tem resolução espacial de 90 metros, abrange todo o globo, com exceção da Antártica (entre 90° N e 60° S), foi desenvolvido por Yamazaki et al. (2017) e foi obtido através da remoção de múltiplos erros advindos do MDE com resolução de 90 metros fornecido pelo projeto *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) (FARR et al., 2007), para áreas abaixo da latitude 60° N. Para latitudes acima de 60° S, foram removidos os erros provenientes do MDE com resolução de 30 metros fornecido pelo projeto *ALOS World 3D* (AW3D) (TADONO et al., 2016).

Para gerar o *MERIT Hydro*, o *MERIT DEM* foi melhorado através de técnicas de *stream-burning* que utilizaram como rede hidrográfica de referência a combinação de bases de dados globais georreferenciados que contém a informação sobre o posicionamento de rios, lagos e demais corpos d'água no globo, são elas: *G1WBM* (YAMAZAKI; TRIGG; IKESHIMA, 2015) e o *OpenStreetMap*. Também foram combinadas informações sobre a frequência de ocorrência de água em cada pixel do globo, fornecidas pelo *GSWO* (PEKEL et al., 2016).

Nesse sentido, a rede de drenagem fornecida pelo *MERIT Hydro* tem grande potencial para ser utilizada em estudos hidrológicos, por exemplo, uma vez que pode diminuir erros na representação dos cursos d'água. Na modelagem hidrológica, erros na representação dos rios podem comprometer a estimativa de diversos parâmetros e características da drenagem, como o comprimento, sinuosidade e a localização dos pontos de confluência dos rios, assim como características da bacia hidrográfica, como a delimitação e a área da bacia. Esses erros se propagam e comprometem os resultados do modelo hidrológico, o que acaba sendo compensado na calibração dos parâmetros, fazendo com que o modelo tenha um menor embasamento físico (SOUSA; PAZ, 2017).

Diante disso, este estudo teve como objetivo avaliar a qualidade da rede de drenagem fornecida pelo *MERIT Hydro* em relação a uma rede de drenagem de referência e comparar com o desempenho da rede de drenagem obtida através do processamento do MDE de 90 metros fornecido pelo SRTM e que não sofreu alterações para entrar em conformidade com uma rede hidrográfica de referência. Dessa forma é possível comparar o *MERIT Hydro* com a rede obtida através de um procedimento mais popularizado e avaliar se existe um ganho real ao utilizá-lo.

Para tanto, foram avaliadas características como o comprimento do curso d'água em relação ao comprimento da rede de drenagem de referência e métricas como a porcentagem dentro do *buffer* (PWB) e a distância média (DM), utilizando como objeto de estudo alguns rios pertencentes às bacias do Rio Uruguai e do Rio São Francisco.

2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudo e dados disponíveis

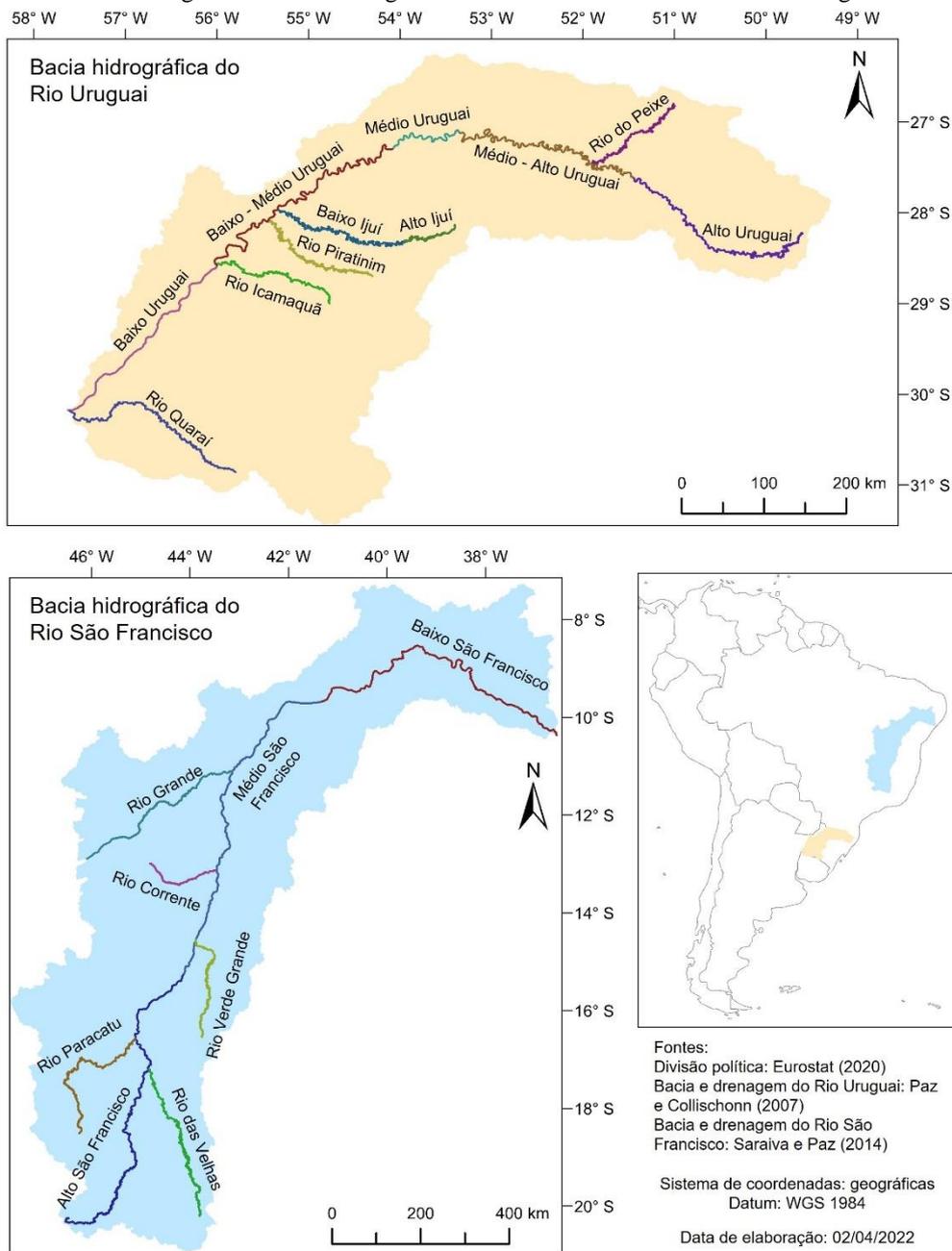
Foi utilizada como área de estudo a Bacia do Rio Uruguai e a Bacia do Rio São Francisco (Figura 1), com uma área de aproximadamente 206,000 km² e 641,000 km², respectivamente. As bacias foram escolhidas como área de estudo por causa da disponibilidade de uma rede de drenagem de referência para os rios principais e alguns de seus afluentes. Essa rede de drenagem de referência foi utilizada nos trabalhos de Paz e Collischonn (2007), Paz et al. (2008), Sousa e Paz (2017), Saraiva e Paz (2014) e foi obtida manualmente através da digitalização de linhas sobre o centro dos rios com base em composições coloridas de imagens obtidas entre 1999 e 2000 pelos sensores Landsat7 ETM + e Landsat 5 TM e que possuem uma resolução espacial de aproximadamente 0,00028° (90 m).

A rede de drenagem fornecida pelo *MERIT Hydro* para a região estudada foi obtida no endereço eletrônico do projeto (YAMAZAKI, 2019).

O MDE de 90 metros fornecido pelo SRTM foi obtido no endereço disponibilizado pelo Consortium for Spatial Information (CGIAR-CSI) (CGIAR-CSI, 2018) e não sofreu alterações para entrar em conformidade com uma rede hidrográfica de referência. A base de dados topográficos do SRTM é uma das principais fontes de aquisição do MDE atualmente. Esses dados foram obtidos através de um sensor ativo do tipo radar a bordo do ônibus espacial *Endeavour*. A missão foi realizada no ano de 2000 e os dados estão disponibilizados para 80% do globo.

A partir do MDE do SRTM foram determinadas as direções de fluxo através do algoritmo FLOW presente no *software* TerrSet, que é uma adaptação do algoritmo desenvolvido por Jenson e Domingue (1988). A partir das direções do fluxo é possível estimar a área acumulada de drenagem em cada pixel, na sequência, admite-se que existe uma área mínima de drenagem a partir da qual se formam os rios na região de estudo, possibilitando a determinação da rede de drenagem.

Figura 1 – Bacias hidrográficas do Rio Uruguai e Rio São Francisco com rede de drenagem de referência.



2.2 Principais métricas para avaliação da qualidade da rede de drenagem

2.2.1 COMPRIMENTO DO RIO

Em modelos hidrológicos ou em modelos ambientais, o comprimento de um rio é uma das características mais importantes (PAZ et al., 2008). No contexto da simulação da propagação do escoamento em cursos d’água, por exemplo, erros na determinação do comprimento do rio acabam resultando em uma estimativa incorreta do tempo de propagação do escoamento e uma previsão imprecisa em relação à atenuação de ondas de cheia (PAZ; COLLISCHONN, 2007).

Para comparar o desempenho das duas redes de drenagem (*MERIT Hydro* e *SRTM*) na estimativa do comprimento do rio foi utilizado o erro relativo (E_r), calculado de acordo com a Eq. (1).

$$E_r = \frac{L_{cal} - L_{ref}}{L_{ref}} \tag{1}$$

onde L_{cal} representa o comprimento calculado e L_{ref} o valor do comprimento da rede de drenagem de referência. Neste trabalho, esses comprimentos foram calculados com base na ferramenta “calculate geometry” do *software* ArcGis.

2.2.2 PERCENTAGEM DENTRO DO *BUFFER*

Essa métrica estima a percentagem da rede de drenagem derivada do MDE que está dentro de um *buffer* localizado em volta da rede hidrográfica de referência e é dada pela Eq. (2) (CHEN et al., 2012).

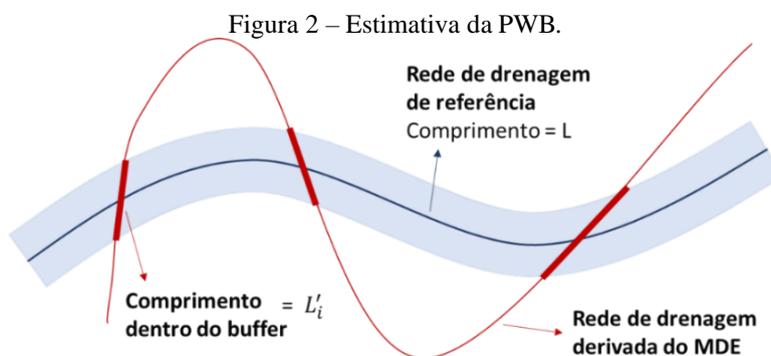
$$PWB = \frac{\sum_{i=1}^n L'_i}{L_{ref}} \cdot 100 \quad (2)$$

onde L' é o comprimento do trecho “i” pertencente à rede de drenagem derivada do MDE que está dentro do *buffer* e L_{ref} é o comprimento total da rede de drenagem de referência (Figura 2).

Para obtenção do L' foi aplicada a ferramenta “clip” do *software* ArcGis, de modo a selecionar só os partes que estavam dentro do *buffer* e assim obter o comprimento total.

Se a PWB é igual ou maior do que 100%, toda a rede de drenagem avaliada está dentro do *buffer* que envolve a rede de drenagem de referência, indicando um desempenho máximo do produto avaliado. Por outro lado, quando a PWB é 0%, toda a rede de drenagem avaliada está fora do *buffer*.

A vantagem dessa métrica é que a rede de drenagem derivada do MDE não precisa ser exatamente igual à rede de drenagem de referência para que se possa obter bons resultados, o que é razoável, considerando que a localização da rede de referência pode ser inexata já que é obtida muitas vezes através da digitalização manual do rio a partir de imagens de satélite, estando associada a erros relacionados à influência da subjetividade do operador do procedimento, por exemplo. A definição de um *buffer* também é coerente porque o caminho real do fluxo do rio engloba toda a largura do rio e não só a sua linha central (SOUSA; PAZ, 2017). Por essa razão, autores como Collischonn et al. (2010) calcularam a PWB considerando a largura do *buffer* igual à largura do rio, critério também utilizado nesse trabalho.



Fonte: Os autores (2021).

2.2.3 DISTÂNCIA MÉDIA

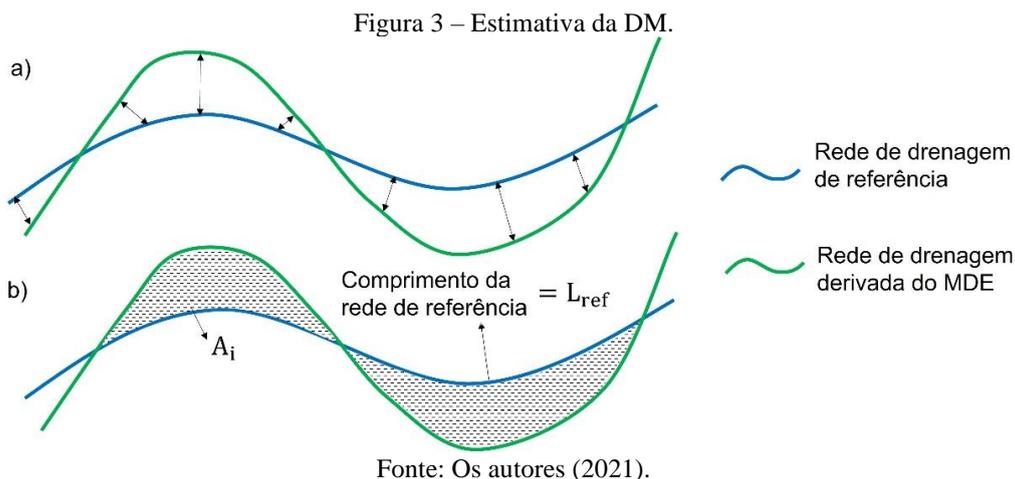
Nesse método é avaliado o grau de discordância entre rede de drenagem obtida via MDE e a rede de drenagem de referência através da estimativa da DM que separa cada ponto da rede de referência da rede que se quer avaliar (Figura 3a). Quanto maior a DM, maior é a discordância da rede avaliada em relação à rede de referência.

A DM pode ser obtida através da Eq. (3) (CHEN et al., 2012).

$$DM = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{L_{ref}} \quad (3)$$

A área formada entre os dois vetores é dada pelo somatório de cada incremento de área A_i identificado

durante o trecho avaliado (Figura 3b).



Neste trabalho, as áreas entre os dois vetores foram calculadas a partir da ferramenta “feature to polygon” disponível no software ArcGis.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Comprimento do rio

A Tabela 1 apresenta o comprimento extraído de cada trecho avaliado para a rede de drenagem de referência e para as redes de drenagem fornecidas pelo *MERIT Hydro* e obtidas pelo processamento do MDE do SRTM, assim como o erro relativo das duas redes na estimativa do comprimento em relação à rede de referência.

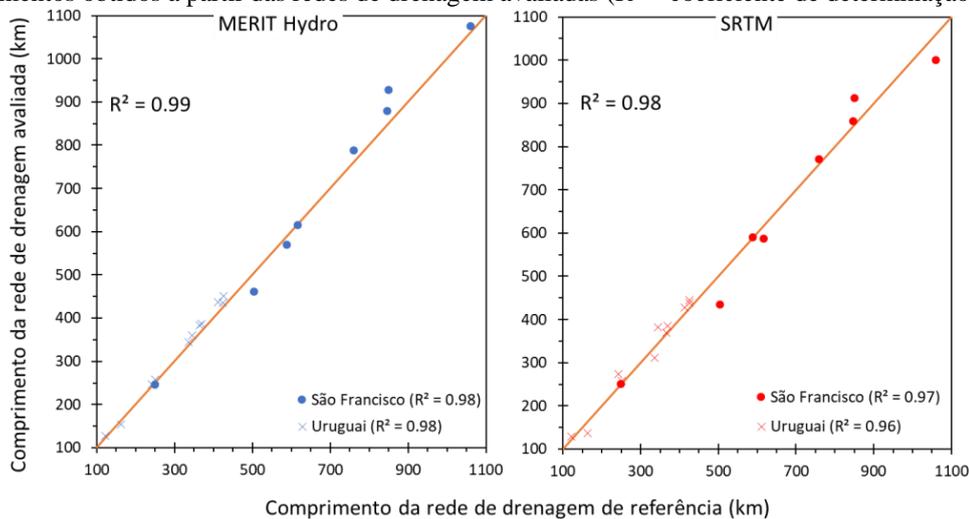
Tabela 1 - Comprimentos dos trechos da rede de drenagem avaliados e seus respectivos erros relativos em relação à rede de referência.

Bacia	Trecho	Comprimento do rio (km)			Erro relativo	
		Referência	MERIT Hydro	SRTM	MERIT Hydro	SRTM
Uruguai	Baixo Uruguai	365,2	384,4	368,9	5,2%	1,0%
	Baixo - Médio Uruguai	412,4	436,8	427,9	5,9%	3,7%
	Médio Uruguai	121,8	127,9	129,2	5,1%	6,1%
	Médio - Alto Uruguai	426,4	450,4	445,1	5,6%	4,4%
	Alto Uruguai	424,9	435,4	438,0	2,5%	3,1%
	Rio Quaraí	344,8	359,5	381,5	4,3%	10,6%
	Rio Icamaquã	242,0	246,1	274,4	1,7%	13,4%
	Baixo Ijuí	369,6	387,2	385,1	4,8%	4,2%
	Alto Ijuí	162,8	154,6	136,7	-5,0%	-16,0%
	Rio Piratinim	336,5	344,0	312,0	2,2%	-7,3%
Rio do Peixe	251,4	257,6	258,0	2,5%	2,6%	
São Francisco	Alto São Francisco	1060,4	1076,1	1001,2	1,5%	-5,6%
	Médio São Francisco	850,2	928,0	912,7	9,1%	7,4%
	Baixo São Francisco	846,6	879,6	858,5	3,9%	1,4%
	Rio Paracatu	616,7	615,5	587,9	-0,2%	-4,7%
	Rio das Velhas	759,8	788,6	770,3	3,8%	1,4%
	Rio Verde Grande	504,7	461,5	435,5	-8,6%	-13,7%
	Rio Corrente	249,4	246,5	250,3	-1,2%	0,4%
	Rio Grande	588,3	569,5	591,0	-3,2%	0,5%

Fonte: Os autores (2021).

Na Figura 4, cada ponto representa um trecho de rio. A linha que cruza o gráfico tem inclinação 1:1, isso significa que quanto mais próximo da linha, melhor foi o desempenho do trecho avaliado, ou seja, mais próximo foi o comprimento do trecho da rede de drenagem avaliada em relação ao comprimento do trecho da rede de drenagem de referência. Se o ponto se encontra acima da linha, significa que o comprimento do trecho da rede de drenagem avaliada foi superestimado, se o ponto se encontra abaixo, o comprimento foi subestimado.

Figura 4 - Correlação para cada trecho entre os comprimentos obtidos a partir da drenagem de referência e os comprimentos obtidos a partir das redes de drenagem avaliadas (R^2 = coeficiente de determinação).



Fonte: Os autores (2021).

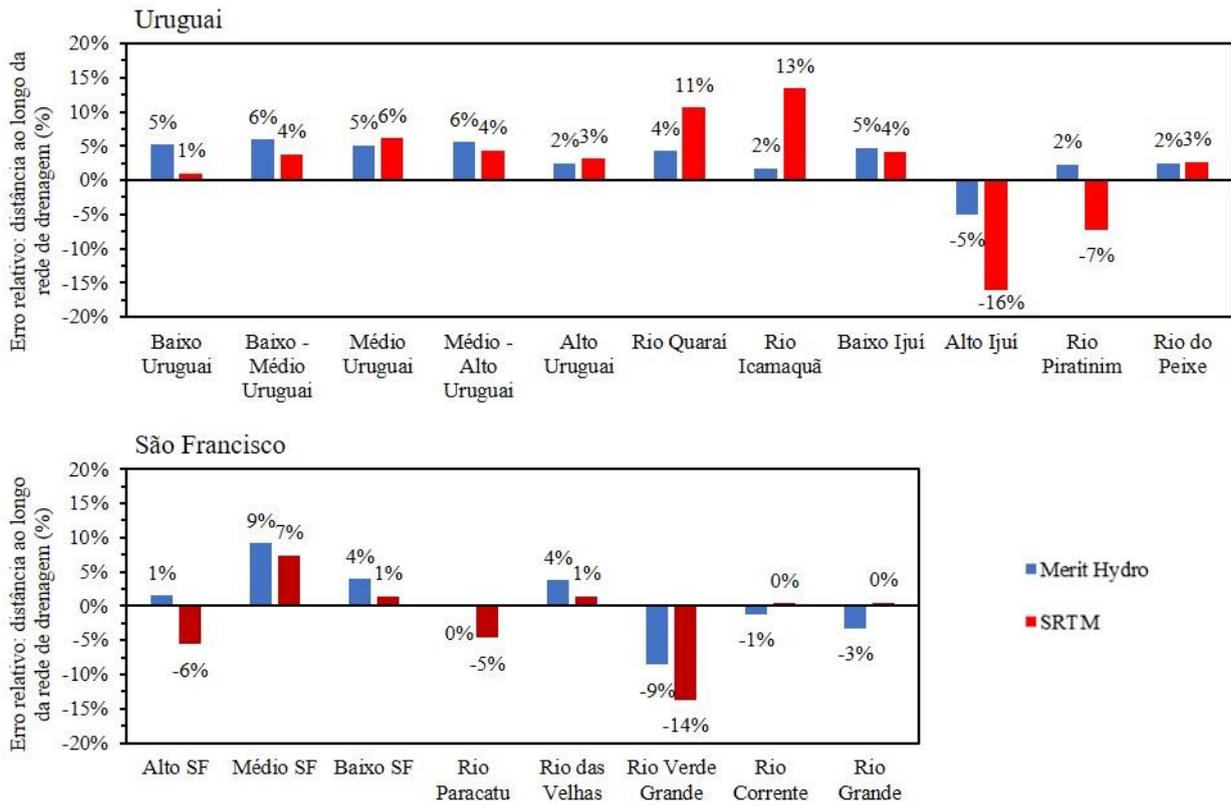
Dessa forma, é possível afirmar que tanto o *MERIT Hydro* quanto o SRTM superestimaram o comprimento do rio na maioria dos trechos. Para o Rio Uruguai, é possível verificar visualmente na Figura 4 que para o *MERIT Hydro* os pontos estão mais próximos da linha com inclinação 1:1, indicando um melhor desempenho do *MERIT Hydro* em relação ao SRTM, o que é confirmado pelo coeficiente de determinação R^2 (quanto mais próximo de 1 o coeficiente, mais próximos são os pontos da linha que cruza o gráfico e melhor é o desempenho da rede avaliada.). Para o rio São Francisco o *MERIT Hydro* também obteve melhor desempenho, mas a melhora foi mais sutil.

A Figura 5 mostra o erro relativo em relação à rede de drenagem de referência para cada trecho avaliado. Os dados mostram que o erro relativo do *MERIT Hydro* em relação ao comprimento da rede de drenagem foi menor em 10 dos 19 trechos avaliados, nos outros 9 trechos, a rede de drenagem obtida através do SRTM obteve melhor desempenho nesse quesito.

É possível observar na Figura 5 que para o Rio Icamaquã, a rede de drenagem do *MERIT Hydro* teve um desempenho consideravelmente superior à rede proveniente do processamento do SRTM, o que pode ser verificado visualmente em um trecho do Rio Icamaquã apresentado na Figura 6a.

É possível observar na Figura 6a que a rede de drenagem fornecida pelo *MERIT Hydro* (em azul) conseguiu reproduzir com fidelidade a rede de referência (tracejada). Por outro lado, a rede obtida via MDE do SRTM (em vermelho) não acompanhou satisfatoriamente as curvas da rede de referência, omitindo algumas curvas e criando outras inexistentes. Ainda na Figura 6a é possível observar que a rede em vermelho não conseguiu representar o ponto de confluência do Rio Icamaquã com o Rio Uruguai com precisão, criando um trecho de rio inexistente que acaba se encontrando com o Rio Uruguai alguns quilômetros a jusante de onde o encontro realmente acontece, o que pode interferir significativamente em estudos ambientais, em projetos de engenharia e na modelagem hidrológica, por exemplo.

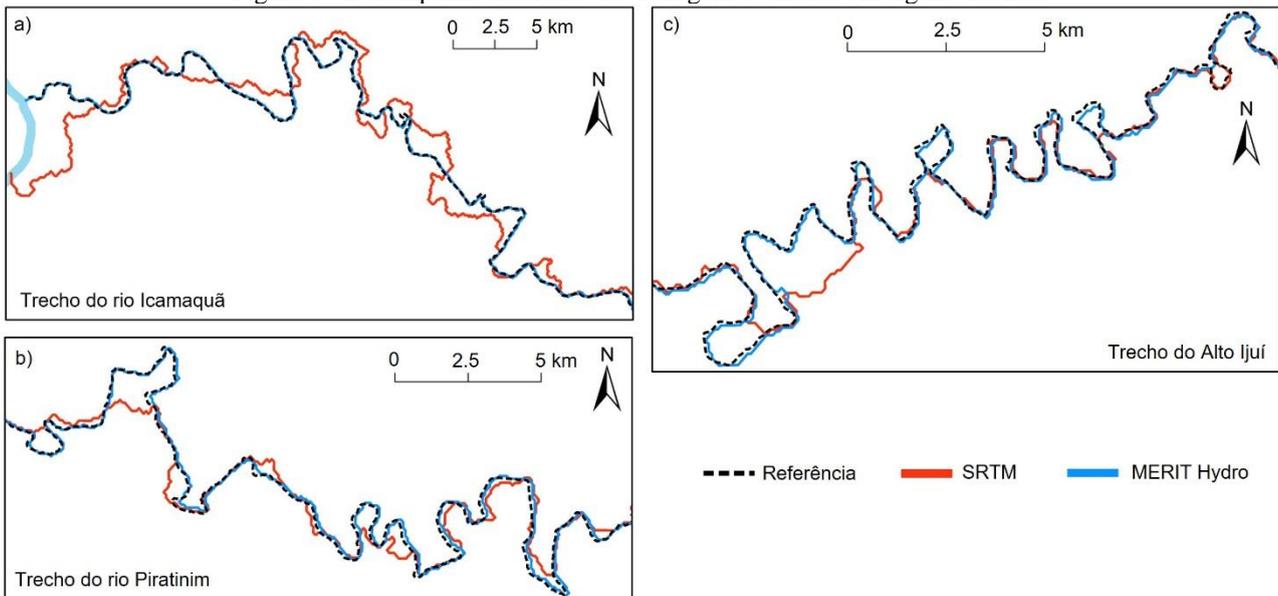
Figura 5 - Erro relativo em relação à rede de drenagem de referência para cada trecho avaliado.



Fonte: Os autores (2021).

A Figura 6b apresenta o comportamento das redes de drenagem avaliadas para um trecho do Rio Piratinim, em que a rede de drenagem do *MERIT Hydro* superestimou em 2% o comprimento do rio, enquanto a rede de drenagem obtida através do processamento do MDE do SRTM subestimou em 7% (Figura 5). Na Figura 6b é possível observar que a drenagem do MDE do SRTM omitiu uma série de curvas do rio, enquanto a drenagem do *MERIT Hydro* representou o rio com uma considerável precisão.

Figura 6 - Desempenho das redes de drenagem avaliadas em alguns trechos.



Fonte: Os autores (2021).

Outro caso que merece destaque é o do Alto Ijuí (Figura 6c), onde a rede de drenagem obtida via MDE do SRTM subestimou em 16% o comprimento do rio (Figura 5). A rede de drenagem fornecida pelo *MERIT Hydro*

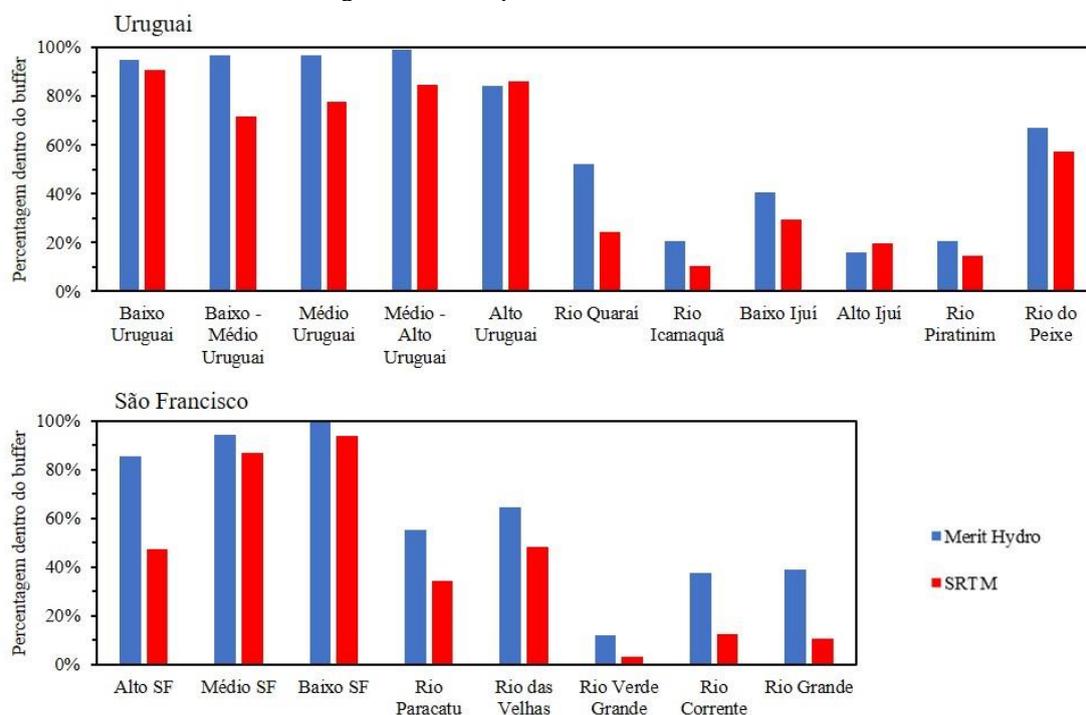
Hydro obteve um desempenho melhor e o erro relativo foi de -5%. Ainda na Figura 6c é possível notar que a drenagem do SRTM omitiu uma série de curvas do trecho avaliado.

Para realizar uma avaliação do desempenho geral das duas redes em relação à estimativa do comprimento do rio, foi calculado o módulo dos erros apresentados na Tabela 1 para cada trecho, em seguida foi determinada a média desses erros absolutos ponderada pelo comprimento dos trechos, o que resultou em um erro médio de 4% e 5% para o *MERIT Hydro* e SRTM, respectivamente. Esse resultado indica uma performance geral ligeiramente superior do *MERIT Hydro* na estimativa do comprimento do rio.

3.2 Percentagem dentro do *buffer*

A Figura 7 apresenta o resultado obtido para cada trecho avaliado em relação à PWB. Na bacia do Uruguai a rede de drenagem do *MERIT Hydro* apresentou melhor desempenho na maior parte dos trechos, com exceção dos trechos Alto Ijuí e Alto Uruguai. Na bacia do São Francisco, o desempenho do *MERIT Hydro* foi superior em todos os trechos avaliados. Já os trechos em que o desempenho da rede de drenagem foi ruim para os dois produtos são geralmente trechos onde a largura do rio é menor e consequentemente o *buffer* também.

Figura 7 – PWB para cada trecho avaliado.

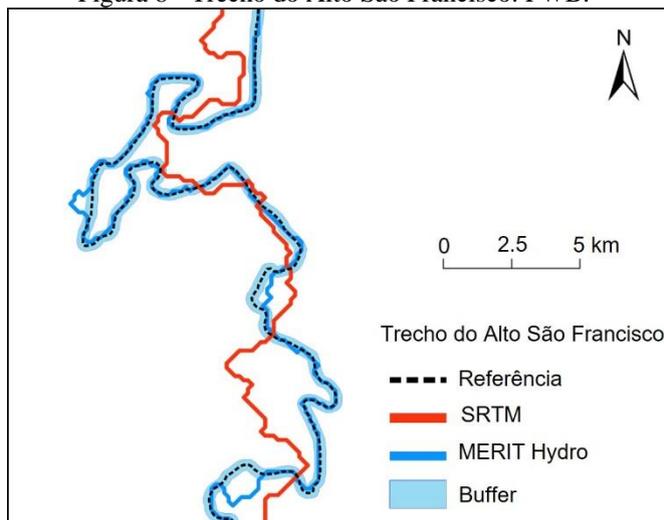


Fonte: Os autores (2021).

O Alto São Francisco foi onde o *MERIT Hydro* apresentou melhor desempenho em relação ao MDE do SRTM. Visualmente é possível verificar essa diferença através da Figura 8, onde parte do Alto São Francisco é apresentada. Enquanto o *MERIT Hydro* manteve-se dentro do *buffer* ou próximo dele durante a maior parte da trajetória, o SRTM se afastou consideravelmente.

Para avaliar a performance global dos dois modelos em relação à PWB, foi estimada uma PWB média ponderada pelo comprimento do trecho para as duas redes de drenagem avaliadas. Os resultados mostraram que de forma geral o *MERIT Hydro* (PWB média = 68%) apresentou um desempenho superior à rede obtida via SRTM (PWB média = 52%).

Figura 8 - Trecho do Alto São Francisco: PWB.

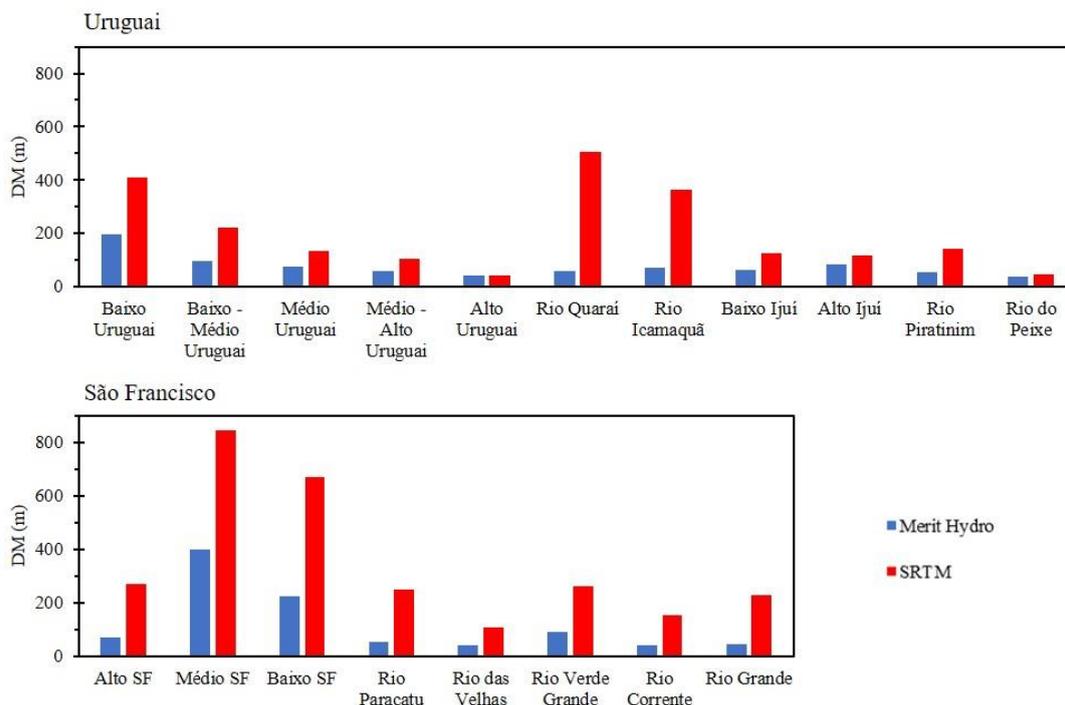


Fonte: Os autores (2021).

3.3 Distância média

A DM obtida em cada trecho e para cada produto é apresentada na Figura 9. É possível perceber que para todos os trechos, exceto para o Alto Uruguai, a rede de drenagem do *MERIT Hydro* obteve melhor desempenho do que a rede de drenagem derivada do processamento do MDE do SRTM.

Figura 9 - DM para cada trecho avaliado.



Fonte: Os autores (2021).

O melhor desempenho do *MERIT Hydro* em relação à rede derivada do SRTM foi no Médio São Francisco, muito em função da presença da Represa de Sobradinho. A rede de drenagem de referência foi orientada pelo centro da represa e a rede do SRTM teve dificuldade em se orientar por esse caminho, como é mostrado na Figura 10.

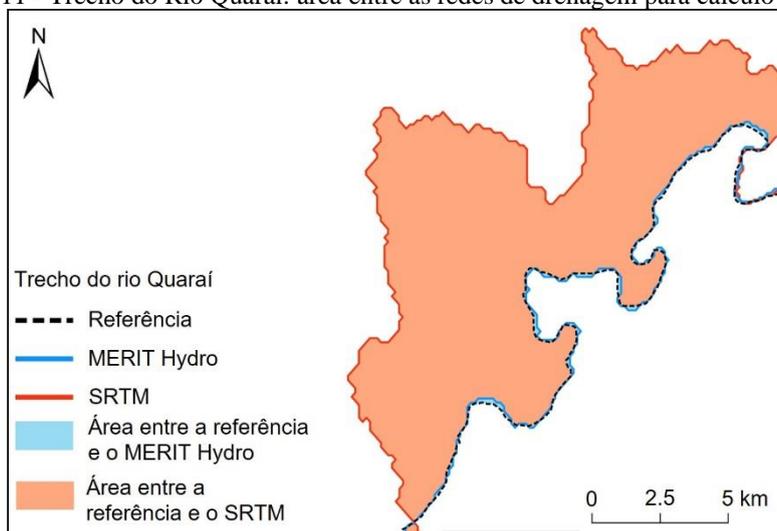
Figura 10 - Trecho do Médio São Francisco.



Fonte: Os autores (2021).

Na bacia do Rio Uruguai, o melhor desempenho do *MERIT Hydro* em relação ao SRTM foi no rio Quaraí. A Figura 11 apresenta um trecho do rio Quaraí, onde é possível verificar a melhora significativa do *MERIT Hydro* em relação ao SRTM.

Figura 11 - Trecho do Rio Quaraí: área entre as redes de drenagem para cálculo da DM.



Fonte: Os autores (2021).

Para avaliar o desempenho global das duas redes em relação à DM, foi estimada a média dos valores de DM ponderada pelo comprimento dos trechos. Os resultados mostraram que o *MERIT Hydro* obteve uma melhor performance em relação a essa métrica, apresentando uma DM média de 114 m. O SRTM apresentou uma DM média de 316 m.

4 CONCLUSÕES

Os resultados mostraram que quando a métrica é o comprimento do rio, a rede de drenagem fornecida pelo *MERIT Hydro* e a obtida via SRTM apresentaram desempenho muito semelhante (erro médio absoluto de 4% e 5% para o *MERIT Hydro* e SRTM, respectivamente), embora o desempenho do *MERIT Hydro* seja ligeiramente melhor. Esses resultados indicam que no geral ambas as redes apresentaram um erro médio relativamente pequeno, embora em alguns trechos esses erros possam ser significativos, principalmente no caso da rede obtida via SRTM.

Em relação à PWB, o *MERIT Hydro* apresentou uma melhor performance na maior parte dos trechos avaliados e em ambas as bacias hidrográficas estudadas. Em média, a drenagem do *MERIT Hydro* esteve dentro do *buffer* em 68% do comprimento do rio, enquanto para a rede obtida via SRTM esse valor ficou em torno de 52%.

O melhor desempenho do *MERIT Hydro* em ambas as bacias e para a maior parte dos trechos também foi identificado ao utilizar a DM como métrica. Os resultados mostraram que em média o *MERIT Hydro* esteve a uma distância de 114 m da rede de drenagem de referência. No caso da rede de drenagem do SRTM, essa distância foi quase 3 vezes maior (316 m).

Dessa forma, é possível dizer que no geral a rede de drenagem proveniente do *MERIT Hydro* representou com maior precisão os rios das bacias estudadas. De acordo com as métricas utilizadas e para as regiões estudadas, o desempenho do *MERIT Hydro* foi superior ao desempenho da rede obtida a partir do processamento do MDE do SRTM. Portanto, o *MERIT Hydro* coloca-se como uma alternativa valiosa em diversos estudos que utilizam a rede hidrográfica como informação de entrada.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), que concedeu bolsas no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba (PPGECAM) e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECA) da Universidade Federal de Campina Grande. As bolsas foram concedidas através dos processos 88882.440669/2019-01, 88882.440673/2019-01 e 88887.487899/2020-00.

Contribuição dos Autores

Dário Macedo Lima contribuiu na conceptualização, análise formal, metodologia, visualização e redação (minuta inicial e revisão e edição). Adriano Rolim da Paz contribuiu na conceptualização, metodologia e com recursos. Aricson Garcia Lopes contribuiu na análise formal e metodologia. Thiago de Sá Sena e Cinthia Maria de Abreu Claudino contribuíram na supervisão, visualização e redação (minuta inicial e revisão e edição).

Conflitos de Interesse

Os autores declaram que não há conflitos de interesse.

Referências

- BUARQUE, D. C.; PAZ, A. R.; COLLISCHONN, W.; FAN, M. F. Comparação de Métodos para Definir Direções de Escoamento a partir de Modelos Digitais de Elevação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 14, n. 2, p. 91–103, 2009. DOI. 10.21168/rbrh.v14n2.p91-103
- BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. **Principles of Geographical Information Systems: Spatial Information Systems and Geostatistics**. Oxford: Oxford University Press, 1998.
- CALLOW, J. N.; VAN NIEL, K. P.; BOGGS, G. S. How does modifying a DEM to reflect known hydrology affect subsequent terrain analysis?. **Journal of Hydrology**, 2007. DOI. 10.1016/j.jhydrol.2006.06.020
- CGIAR-CSI. **SRTM Data**. Disponível em: <<https://srtm.csi.cgiar.org/srtmdata/>>. Acesso em: 2 abr. 2022.
- CHEN, Y.; WILSON, J. P.; ZHU, Q.; ZHOU, Q. Comparison of drainage-constrained methods for DEM generalization. **Computers & Geosciences**, 48, 41–49, 2012. DOI. 10.1016/j.cageo.2012.05.002
- COLLISCHONN, W.; BUARQUE, D. C.; PAZ, A. R.; MENDES, C. A. B.; FAN, M. F. Impact of pit removal methods on DEM derived drainage lines in flat regions. In: SPRING SPECIALTY CONFERENCE, 6; 2010, Orlando. **Anais...Orlando: AWRA**, 2010, p. 1-6.
- COSTA, F. F.; PAZ, A. R.; PICCILLI, D. G. A. Modified NRCS-CN-TUH methods for distributed rainfall-runoff modeling. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 24, 2019. DOI. 10.1590/2318-0331.241920180104.
- DAI YAMAZAKI. **MERIT Hydro: global hydrography datasets**. Disponível em: <<http://hydro.iis.u>

tokyo.ac.jp/~yamadai/MERIT_Hydro/>. Acesso em: 2 abr. 2022.

- STATISTICAL OFFICE OF THE EUROPEAN COMMUNITIES (EUROSTAT). **Geographical Information and Maps: Countries**. Disponível em: <<https://ec.europa.eu/eurostat/web/gisco/geodata/reference-data/administrative-units-statistical-units/countries>>. Acesso em: 2 abr. 2022.
- FARR, T. G.; ROSEN, P. A.; CARO, E.; CRIPPEN, R.; DUREN, R.; HENSLEY, S.; KOBRICK, M.; PALLER, M.; RODRIGUEZ, E.; ROTH, L.; SEAL, D.; SHAFFER, S.; SHIMADA, J.; UMLAND, J.; WERNER, M.; OSKIN, M.; BURBANK, D.; ALSDORF, D. The shuttle radar topography mission. **Reviews of Geophysics**, v. 45, n. 2, 2007. DOI. 10.1029/2005RG000183.
- JENSON, S. K.; DOMINGUE, J. O. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 11, p. 1593–1600, 1988.
- PAZ, A. R.; COLLISCHONN, W. River reach length and slope estimates for large-scale hydrological models based on a relatively high-resolution digital elevation model. **Journal of Hydrology**, v. 343, n. 3–4, p. 127–139, 2007. DOI. 10.1016/j.jhydrol.2007.06.006.
- PAZ, A. R.; COLLISCHONN, W.; RISSO, A.; MENDES, C. A. B. Errors in river lengths derived from raster digital elevation models. **Computers and Geosciences**, v. 34, n. 11, p. 1584–1596, 2008. DOI. 10.1016/j.cageo.2007.10.009
- PEKEL, J. F.; COTTAM, A.; GORELICK, N.; BELWARD, A. S. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. **Nature**, 2016. DOI. 10.1038/nature20584.
- PLANCHON, O.; DARBOUX, F. A fast, simple and versatile algorithm to fill the depressions of digital elevation models. **Catena**, v. 46, n. 2-3, p. 159–176, 2002. DOI. 10.1016/S0341-8162(01)00164-3.
- SARAIVA, A. G. S.; PAZ, A. R. Multi-step change of scale approach for deriving coarse- resolution flow directions. **Computers & Geosciences**, v. 68, p. 53–63, jul. 2014. DOI. 10.1016/j.cageo.2014.04.002.
- SOUSA, T. M. I.; PAZ, A. R. How to evaluate the quality of coarse- resolution DEM-derived drainage networks. **Hydrological Processes**, v. 31, n. 19, p. 3379– 3395, 2017. DOI. 10.1002/hyp.11262.
- TADONO, T.; NAGAI, H.; ISHIDA, H.; ODA, F.; NAITO, S.; MINAKAWA, K.; IWAMOTO, H. Generation of the 30 M-MESH global digital surface model by alos prism. In: INTERNATIONAL ARCHIVES OF THE PHOTOGRAMMETRY, REMOTE SENSING AND SPATIAL INFORMATION SCIENCES, 23; 2016, Praga. **Anais...Praga: ISPRS**, 2010. p. 157-162.
- YAMAZAKI, D.; TRIGG, M. A.; IKESHIMA, D. Development of a global ~90m water body map using multi-temporal Landsat images. **Remote Sensing of Environment**, v. 171, p. 337–351, 2015. DOI. 10.1016/j.rse.2015.10.014.
- YAMAZAKI, D.; IKESHIMA, D.; TAWATARI, R.; YAMAGUCHI, T.; O'LOUGHLIN, F.; NEAL, J. C.; SAMPSON, C. C.; KANA, S.; BATES, P. D. A high-accuracy map of global terrain elevations. **Geophysical Research Letters**, v. 44, n. 11, p. 5844–5853, 2017. DOI. 10.1002/2017gl072874.
- YAMAZAKI, D., IKESHIMA, D., SOSA, J., BATES, P. D., ALLEN, G.; PAVELSKY, T. (2019). MERIT Hydro: A high-resolution global hydrography map based on latest topography datasets. **Water Resources Research**, 55, 5053–5073. DOI. 10.1029/2019wr024873.
- ZHENG, X.; MAIDMENT, D. R.; TARBOTON, D. G.; LIU, Y. Y.; PASSALACQUA, P. GeoFlood: Large-Scale Flood Inundation Mapping Based on High-Resolution Terrain Analysis. **Water Resources Research**, v. 54, n. 12, p. 10,013-10,033, 2018. DOI. 10.1029/2018wr023457.

Biografia do autor principal



Dário Macedo Lima nasceu em 1993 e é natural de São Paulo-SP. É Engenheiro Civil (2018) e mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB) (2021). Atualmente é pesquisador na área de Recursos Hídricos na Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (Funceme) e doutorando em Engenharia Civil e Ambiental também pela UFPB. Suas áreas de atuação incluem modelagem hidrológica, geoprocessamento e processamento do Modelo Digital de Elevação para representação de processos hidrológicos.



Esta obra está licenciada com uma Licença [Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.