

ANÁLISE COMPARATIVA DOS MDES SRTM, GLO-30 E INSAR: IMPLICAÇÕES HIDROLÓGICAS EM ÁREAS MONTANHOSAS DE ALTA DENSIDADE VEGETACIONAL

Pedro Freitas Ramos Grande ¹
Felipe Gomes Rubira ²

INTRODUÇÃO

Entre as diferentes formas de se representar a superfície topográfica, os Modelos Digitais de Elevação (MDEs) são caracterizados como matrizes compostas por várias células (Carvalho, 2015). Cada célula armazena um valor que corresponde à altitude média da área que cobre. Amplamente usados em hidrologia, planejamento territorial, agricultura, telecomunicações e geomorfologia, eles têm aplicação em diversas áreas de pesquisa (Guth et al., 2021).

Na geomorfologia, os avanços nas técnicas de representação da superfície por meio dos MDEs têm permitido a mensuração de variáveis complexas relacionadas à morfologia e morfometria dos terrenos. No contexto da geomorfologia fluvial, estes modelos possibilitam a delimitação de bacias hidrográficas, a extração da rede de drenagem e o mapeamento da disposição de *knickpoints* (Schwanghart; Scherler, 2014).

Mirosław-Swiątek et al. (2016) classificam os MDEs em Modelos Digitais de Terreno (MDTs), que medem a altitude a partir do solo, e Modelos Digitais de Superfície (MDS), que incluem dosséis, edificações e outros objetos acima do solo. Essa diferença depende do processo de aquisição das imagens (Moreira et al., 2001). Alves, Galo e Galo (2009) apresentam o processamento interferométrico de radar de abertura sintética (InSAR) como uma técnica para gerar MDEs, fundamentada no cálculo da altitude a partir da diferença de fase entre *pixels* de duas imagens SAR interferométricas.

Entre os principais MDEs disponíveis, destacam-se o SRTM (Farr; Kobrick, 2000) e o Copernicus GLO-30 (AIRBUS, 2022), ambos com resolução espacial de 30 metros. O SRTM representa a superfície referente ao ano 2000 e o GLO-30 abrange o

¹ Graduando pelo Curso de Geografia Bacharelado da Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG, pedro.freitas@sou.unifal-mg.edu.br;

² Professor orientador: Prof. Dr. Felipe Gomes Rubira, Instituto de Ciências da Natureza - ICN, Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG, felipe.rubira@unifal-mg.edu.br

período entre 2011 e 2015. Em termos de comprimento de onda, o SRTM utiliza a banda C e o GLO-30, a banda X com dados do TanDEM-X. Essas bandas, de curto comprimento de onda, têm baixa capacidade de penetração, o que afeta o MDE gerado. Moreira et al. (2001) demonstram que sensores de radar que operam em bandas de maior comprimento de onda, como P e L, têm maior capacidade de penetração na vegetação do que aqueles que operam em bandas de menor comprimento, como X e C.

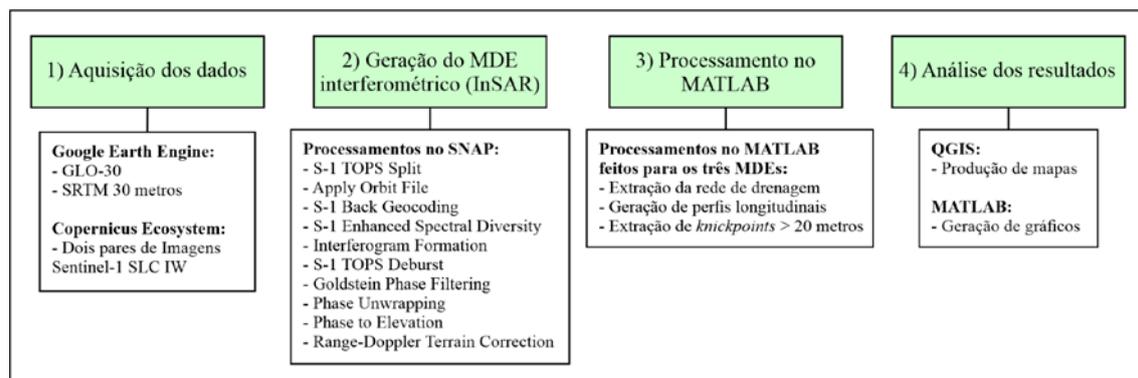
A partir dessas considerações, esta pesquisa tem como objetivo a avaliação da empregabilidade de um MDS gerado pela técnica InSAR em uma região montanhosa e de alta densidade vegetacional do Sul de Minas Gerais, Brasil. Foram executadas rotinas de processamento no MDE interferométrico para delimitar a bacia hidrográfica, extrair a rede de drenagem e medir a altura dos knickpoints. Todos os procedimentos metodológicos foram replicados nos MDEs globais SRTM e GLO-30 para comparação.

MATERIAIS E MÉTODOS

Situada no Sul do Estado de Minas Gerais (MG), Brasil, a bacia hidrográfica do rio Baependi (BHRB), é a principal contribuinte da bacia hidrográfica do rio Verde (BHRV) em termos de vazão (m^3/s) e área (km^2) (IGAM, 2009). A BHRV, por sua vez, integra a bacia hidrográfica do rio Grande, que pertence à bacia do rio Paraná.

O fluxograma metodológico se dividiu em quatro etapas: 1) aquisição dos dados; 2); geração do MDE interferométrico; 3) processamento dos MDEs no *TopoToolbox 2*, hospedado no *MATLAB v.2021a*; e 4) análise e comparação dos resultados (Figura 1).

Figura 1 - Fluxograma metodológico.



Na primeira etapa, foram adquiridos os MDEs GLO-30 e SRTM a partir dos *datasets* disponíveis no *Google Earth Engine* (Figura 1). No *Copernicus Ecosystem*, foram obtidos dois pares de imagens complexas (SLC) do Sentinel-1, da mesma órbita (53), mas de pontos diferentes (662 e 667), uma vez que a área de estudo se estende por

mais de um ponto de passagem do satélite. Os pares consistem em uma imagem capturada em 04/06/2021 e outra em 01/12/2021, obtidas no modo *Interferometric Wide Swath* (IW), com direção de voo descendente e linha de base perpendicular de 150 m.

Na segunda etapa, a geração do MDE interferométrico foi realizada no *software Sentinel Application Platform* (SNAP) e seguiu passos descritos no fluxograma (Figura 1). Para mais detalhes dos processos metodológicos da técnica InSAR, devem ser consultados Braun e Veci (2021), Yague-Martinez et al. (2016) e Ferretti et al. (2007).

A terceira etapa consistiu no processamento dos MDEs, realizado por meio de *scripts* no *TopoToolbox 2* (Schwanghart; Scherler, 2014). A drenagem dos quadrantes das imagens foi extraída utilizando o algoritmo D8 e a função *'minarea'*, com área de contribuição mínima de 1000 *pixels*. A BHRB foi delimitada com base em uma saída da drenagem selecionada manualmente pelas funções *'interactive'* e *'outselect'*. A partir das drenagens extraídas, máscaras binárias do contorno da bacia foram criadas com a função *'polygon2GRIDobj'*, e os MDEs foram recortados pela função *'crop'*. Em seguida as funções *'plotdz'*, *'knickpoint finder'* e *'point pattern on stream networks'* foram utilizadas para elaborar os perfis longitudinais, identificar os *knickpoints* e mensurar suas alturas (Schwanghart; Scherler, 2014). Os ruídos dos MDEs não foram eliminados intencionalmente para comparar a qualidade e a consistência dos modelos hidrológicos propostos. Assim, não foram aplicadas técnicas de suavização e correção hidrológica do *TopoToolbox 2*, como as funções *'imposemin'*, *'fillsinks'*, *'carve'*, *'quantcarve'* e *'crs'*. Esses procedimentos foram replicados nos três MDEs.

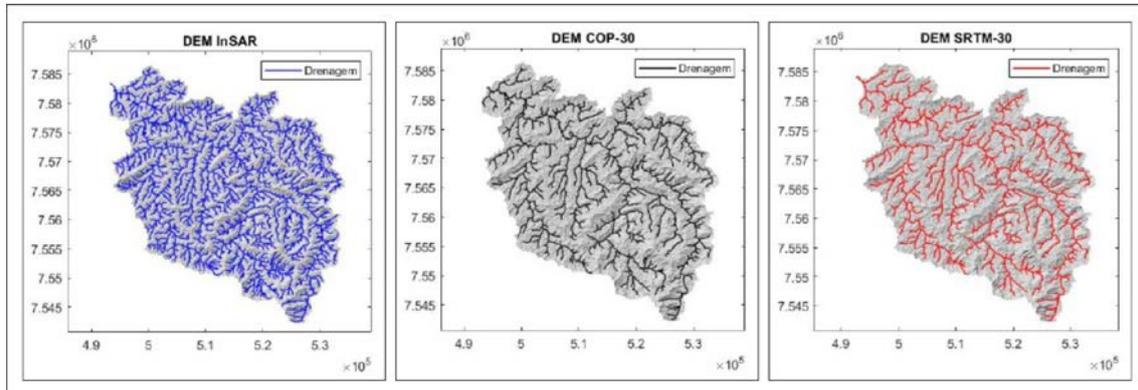
Na quarta etapa, os dados foram exportados para *software* livre QGIS v.3.34.2, onde foram elaborados mapas temáticos para a visualização da distribuição espacial dos produtos gerados. Além disso, gráficos foram desenvolvidos no *MATLAB v.2021a* para comparar os resultados entre os três modelos analisados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interferometria dos dados de radar de abertura sintética no SNAP resultou em um MDS com resolução espacial de 14,06 m, representando a superfície da BHRB em 2021, conforme a data de captura das imagens do Sentinel-1. Observou-se um maior detalhamento da drenagem extraída no MDS InSAR em comparação aos demais, apesar da utilização dos mesmos parâmetros e limiares (Figura 2). Essa resolução superior permitiu a captura de características mais sutis da drenagem, resultando em um maior

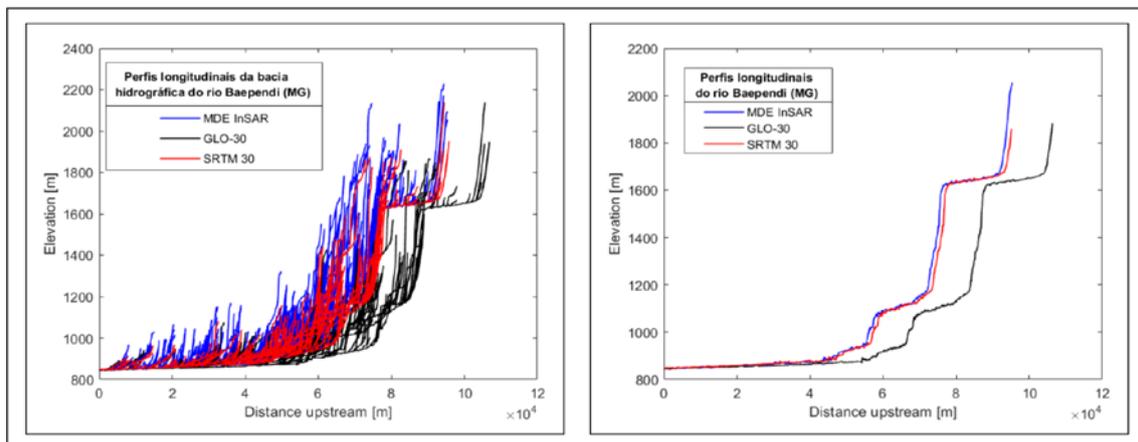
número de canais extraídos em relação ao SRTM e ao GLO-30. No entanto, não se pode afirmar que o modelo interferométrico seja consistente para análises hidrológicas apenas com base na métrica de resolução.

Figura 2 - Rede de drenagem da bacia extraída dos três MDE.



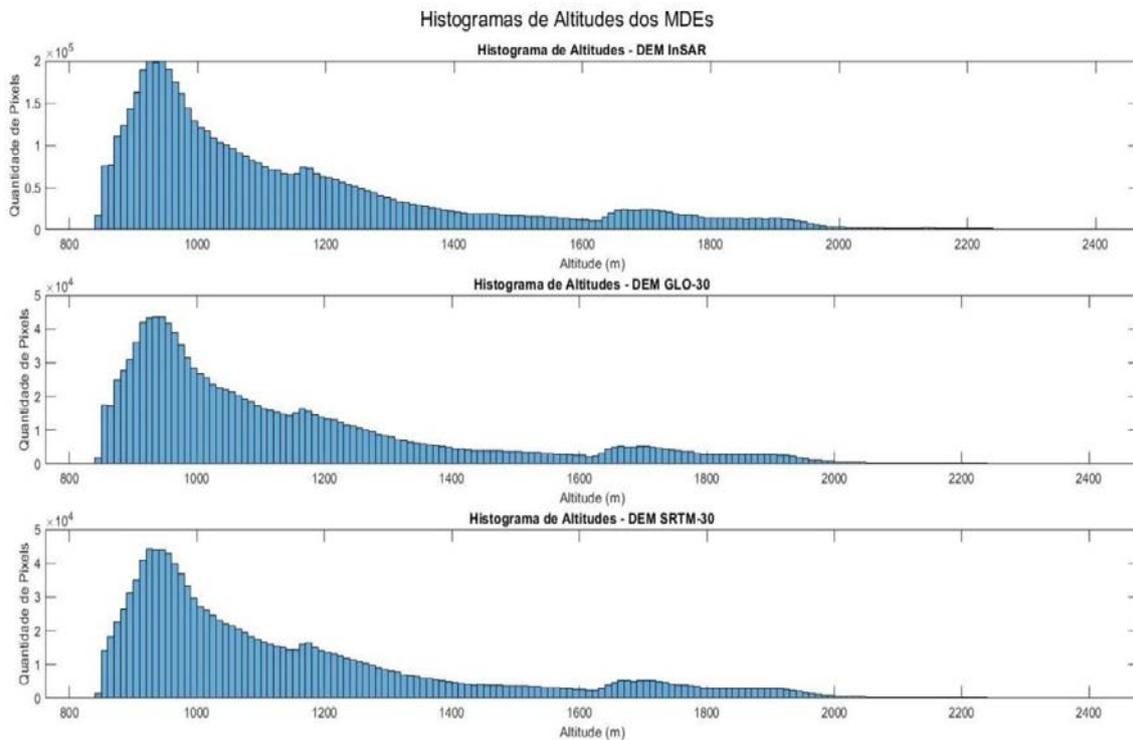
Ao extrair os perfis longitudinais, observou-se que a distância dos canais a montante da foz diverge entre os modelos (Figura 3). A análise revelou que o perfil longitudinal do GLO-30 é mais longo em comparação aos perfis do SRTM e do InSAR. Essa diferença de comprimento pode impactar a interpretação dos dados hidrológicos, pois canais mais longos podem sugerir características distintas de fluxo e escoamento.

Figura 3 - Perfis longitudinais extraídos dos três MDEs.



Embora os modelos apresentem diferenças métricas relacionadas à variação de altitudes (Figura 4), eles representam características geomorfológicas semelhantes, úteis nas análises da forma e função da rede de drenagem. O MDS InSAR teve altitude máxima de 2388 m, mínima de 841 m, média de 1155,20 m e desvio padrão de 285,55 m. O MDS GLO-30 teve altitude máxima de 2395 m, mínima de 844 m, média de 1155,31 m e desvio padrão de 285,49 m. O MDS SRTM teve altitude máxima de 2399 m, mínima de 843 m, média de 1156,08 m e desvio padrão de 285,20 m.

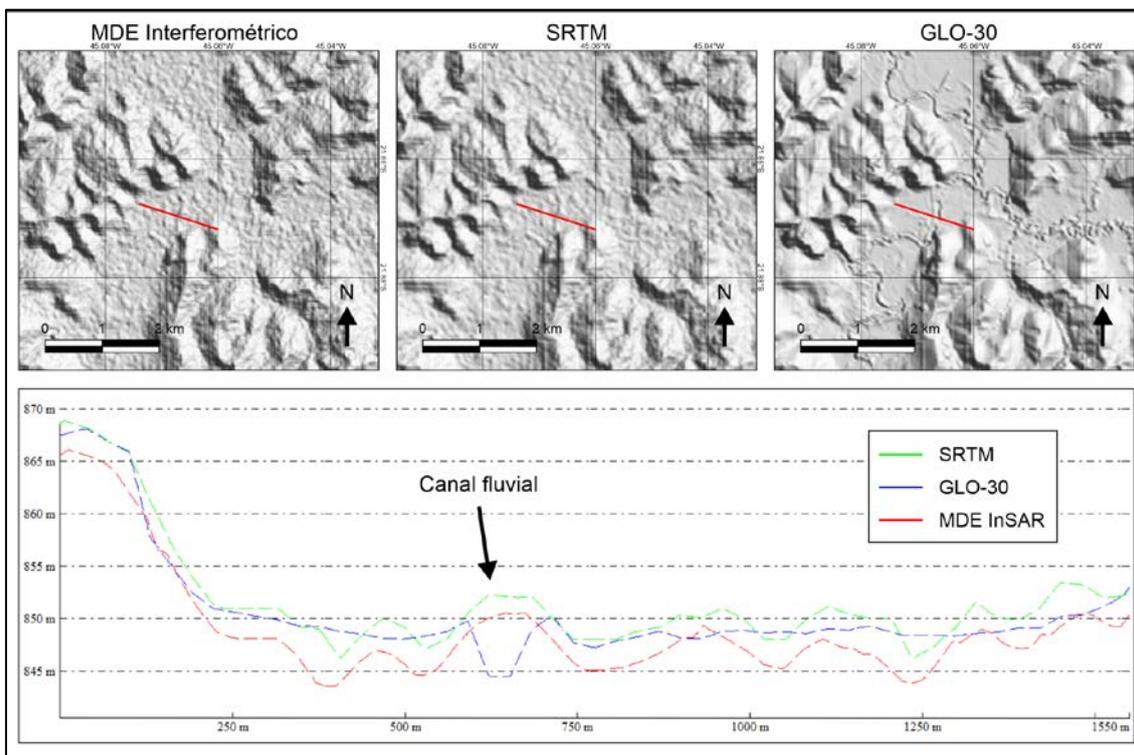
Figura 4 – Histogramas de altitudes dos MDEs.



As altitudes máximas apresentam uma diferença de 7 metros entre o MDS InSAR e o GLO-30, e de 11 metros entre o InSAR e o SRTM. A maior altitude máxima do SRTM sugere a captura de características mais elevadas em comparação aos demais. As médias das altitudes são próximas entre os três modelos, indicando uma representação semelhante do relevo geral da BHRB. Os desvios padrão são similares, mas ligeiramente maiores no InSAR, o que sugere a captura de maior complexidade topográfica e identificação de características mais detalhadas do relevo, enquanto os outros modelos podem apresentar uma representação mais uniforme.

As altitudes mínimas apresentam pouca variação, indicando que todos os modelos representam bem o relevo mais baixo, essencial para análises hidrológicas e de drenagem. No entanto, o Manual do Produto da Copernicus DEM (AIRBUS, 2022), informa que o GLO-30 é derivado de um MDS hidrológicamente consistente, o WorldDEM. Esse modelo passou por ajustes de drenagem e achatamento de áreas inundáveis e corpos d'água, como lagos e rios. Assim, a diferença no comprimento das redes de drenagem observada na figura 3 pode estar relacionada à condição meandrante do baixo rio Baependi, que é melhor ajustada no MDE da Copernicus, GLO-30. Essa relação é claramente observada ao comparar um perfil traçado em uma planície de inundação do baixo curso do rio Baependi (Figura 5).

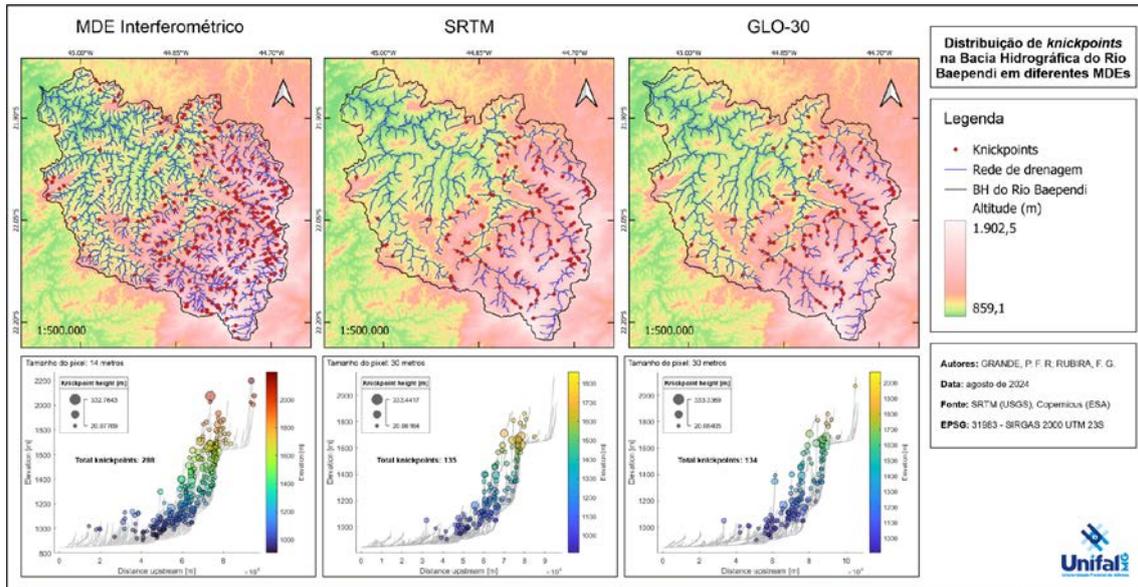
Figura 5 - Perfil topográfico transversal ao vale fluvial traçado nos três MDE.



Observa-se que as áreas próximas ao canal fluvial foram “niveladas” no MDS GLO-30, enquanto os outros dois modelos apresentam textura rugosa, comum em áreas vegetadas quando captadas por sensores ativos de banda curta. A natureza da banda C do radar, utilizada no SRTM e no MDE interferométrico, justifica o aumento na altitude dos respectivos perfis próximo ao canal fluvial, devido à sua baixa capacidade de penetrar a vegetação ciliar. A altitude dos dosséis da área de preservação permanente do canal foi contabilizada tanto no SRTM quanto no MDE interferométrico (Figura 5).

O contorno da bacia e a identificação de *knickpoints* nos três modelos apresentaram diferenças (Figura 6). A área e o perímetro da bacia extraída pelo MDS SRTM (1144,5 km² e 258,64 km) foram maiores em comparação ao InSAR (1135,6 km² e 258,36 km) e ao GLO-30 (1135,7 km² e 253 km). Em relação aos *knickpoints* com mais de 20 metros de altura, os modelos SRTM e GLO-30 identificaram 135 e 134, respectivamente, enquanto o MDE interferométrico detectou 288 (Figura 6). Embora o maior número de *knickpoints* no MDE interferométrico possa ser atribuído à sua melhor resolução espacial, é mais provável que esse resultado seja causado por ruídos no modelo, uma vez que ele não passou por filtros e ajustes aplicados ao GLO-30 e SRTM. Esses ruídos comprometem a análise hidrológica e frequentemente distorcem a morfologia real do canal fluvial.

Figura 6 - Distribuição de *knickpoints* nos três MDE.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

As diferenças observadas nas altitudes máximas, mínimas e médias, juntamente com os desvios padrão, indicam que, embora os três modelos representem características geomorfológicas semelhantes, eles têm variações que podem influenciar sua aplicação em análises hidrológicas e geomorfológicas. Apesar da melhor resolução espacial do InSAR, o modelo interferométrico não é ideal para estudos hidrológicos em áreas densamente vegetadas, pois é mais suscetível a ruídos em comparação com o SRTM e o GLO-30, que passam por processamentos adicionais de correção e suavização.

O MDS GLO-30 destacou-se entre os analisados por ser hidrológicamente consistente, pois passou por ajustes que ressaltam a rede hidrográfica em meio à vegetação, enquanto os outros MDEs contabilizaram a altitude das matas ciliares, alterando a real rede de drenagem da bacia. Essas considerações se baseiam na análise hidrológica proposta, indicando que, para objetivos de análises de outra natureza, a técnica InSAR continua sendo valiosa.

Com o lançamento de novos satélites equipados com sensores ativos de bandas longas, como as bandas L e P, os processos de geração de MDEs por interferometria de dados SAR entrarão em uma nova fase de desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

AIRBUS. Copernicus Digital Elevation Model – Product Handbook. **Airbus Defence and Space**. 2022.

ALVES, L. N.; GALO, M.; GALO, M. L. B. T. Fundamentos do processamento interferométrico de dados de radar de abertura sintética. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, INPE, p. 7227-7234, 2009.

BRAUN, A.; VECI, L. Sentinel-1 Toolbox: TOPS Interferometry Tutorial. **SkyWatch Space Applications**, 2021.

FARR, T. G.; KOBRICK, M. Shuttle radar topography mission produces a wealth of data, **Eos Trans.** AGU, 81(48), 583–585, 2000.

FERRETTI, A.; MONTI-GUARNIERI, A.; PRATI, C.; ROCCA, F. InSAR Principles: Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation. **ESA Publications**, 2007.

CARVALHO, Carlos Henrique Grohmann de. **Análise Digital de Terreno**: aplicações em Geologia e Geomorfologia. 2015. Tese (Livre Docência em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento) - Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

GUTH, P. L. et al. Digital Elevation Models: Terminology and Definitions. **Remote Sensing**. 13, 3581, 2021.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). **PDRH Rio Verde: Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Verde**. v. 3. Belo Horizonte, 2009. 308 p.

MIROSLAW-SWIATEK, D.; SZPORAK-WASILEWSKA, S.; MICHALOWSKI, R.; KARDEL, I.; GRYGORUK, M. Developing an algorithm for enhancement of a digital terrain model for a densely vegetated floodplain wetland. **Journal of Applied Remote Sensing**, v.10, n.3, 2016.

MOREIRA, J., SCHWABISCH, M., WIMMER, C., ROMBACH, M., MURA, J. Surface and ground topography determination in tropical rainforest areas using airborne interferometric SAR. In: Fritsch, D., Spiller, R. (Eds.), **Photogrammetric Week 01**. Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, São José dos Campos. 2001.

SCHWANGHART, W.; SCHERLER, D. Short Communication: TopoToolbox 2 – MATLAB-based software for topographic analysis and modeling in Earth surface sciences. **Earth Surface Dynamics**, v. 2, n. 1, p. 1–7, 15 jan. 2014.

YAGUE-MARTINEZ, N. et al. Interferometric Processing of Sentinel-1 TOPS Data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 54, n. 4, p. 2220-2234, 2016.