

TECNOLOGIAS DE SENSORIAMENTO REMOTO NA DETERMINAÇÃO DA LARGURA DE CANAL FLUVIAL: ESTUDO COMPARATIVO COM DADOS LIDAR E CBERS 4

Mariza Aparecida Duda do Amaral¹

Adalto Gonçalves de Lima²

1. INTRODUÇÃO

A compreensão da dinâmica dos cursos d'água é fundamental para diversas áreas do conhecimento, como a geomorfologia, a engenharia civil, e outras ciências ambientais. Uma contribuição fundamental nesse campo de estudos foi a introdução do conceito de geometria hidráulica por Leopold e Maddock (1953); esses autores propuseram que as características geométricas e hidráulicas dos canais fluviais estão relacionadas e ajustam-se de forma simultânea e interdependente, tanto em uma mesma seção transversal (*at station*) quanto ao longo do curso d'água (*downstream*). A geometria hidráulica, portanto, busca estabelecer relações quantitativas entre variáveis hidráulicas, como vazão e velocidade, e variáveis morfológicas, como largura e profundidade, proporcionando uma ferramenta eficaz para a análise e modelagem de rios. Essa abordagem permite uma compreensão mais detalhada de como as variáveis interagem entre si.

A largura do canal influencia diretamente a capacidade de fluxo, determinando a quantidade de água que ele pode transportar, sendo, portanto, um importante parâmetro (Christofolletti, 1981; Ferguson, 1986). Conhecer com precisão as variações na largura do canal, à luz da geometria hidráulica, permite a elaboração de modelos hidrológicos mais acurados, fundamentais para a gestão sustentável e a proteção de áreas urbanas e rurais contra eventos extremos (Davidson et.al.,2024; Ran et.al.,2012). Além de sua importância para a modelagem hidrológica, essa informação é vital para a conservação de ecossistemas aquáticos, fornecendo os dados necessários para o planejamento de zonas de preservação e recuperação ambiental (Junk, 2020; Pess et.al., 2023).

Tecnologias de sensoriamento remoto, aliadas às técnicas de geoprocessamento, têm facilitado a obtenção dessas métricas de forma precisa e eficiente, (Lillesand et al., 2015). Deste modo, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar, preliminarmente, as potencialidades e desafios de duas fontes de dados distintas, *LIDAR (Light Detection and*

¹Mestranda do Curso de Geografia da Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO.
mrz.duda@gmail.com

²Professor Orientador: Doutor em Geografia, Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO.
adalto@unicentro.br

Ranging) e *CBERS 4*, na análise da largura de canais fluviais de pequeno porte, em condições de cobertura vegetal heterogênea nas margens. A avaliação foi realizada em um trecho fluvial situado sobre o Planalto Basáltico, na região sul do Brasil.

A utilização do sistema *LIDAR* na geomorfologia fluvial vem se destacando, devido a acurácia dos dados. Alguns autores destacam as vantagens trazidas pelos sensores *LIDAR* para levantamento batimétrico, cálculo da taxa de erosão em rios de leito rochoso, análise 3D das geometrias dos canais em múltiplas escalas para caracterização, de unidades geomorfológicas, definição de seção transversal, perfil longitudinal, medição das tensões de cisalhamento relacionadas ao transporte de carga de fundo, erosão da margem do canal e mobilidade de rochas (Lague e Feldmann, 2020; Soares et.al., 2020).

Em relação ao *CBERS 4* (*China-Brazil Earth Resources Satellite*), trata-se de um sistema gratuito a nível global proveniente de uma parceria entre os governos brasileiro e chinês. O sensor registra imagens multiespectrais (RGB-NIR) com uma resolução espacial de 10 metros (INPE, 2021). Conforme descrito pela EMBRAPA (2020), apesar da média resolução oferecida pelo satélite, quando comparada com outros sensores de satélites de fontes gratuitas, pode-se considerar a resolução como alta. Da mesma forma que o sistema *LIDAR*, os sensores *CBERS 4*, vem sendo muito utilizado para estudos geomorfológicos (Martins, 2007; Silva, 2024)

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado em um trecho de 6 km do Rio das Pedras, no município de Guarapuava, Paraná, situado no Terceiro Planalto Paranaense. O Rio das Pedras, principal curso d'água da bacia do Rio das Pedras, é essencial para o abastecimento público de Guarapuava e região. A bacia possui uma área de drenagem de aproximadamente 330 km², e o rio tem 61 km de extensão, com leito rochoso que atravessa derrames basálticos da Formação Serra Geral. A vegetação original é de floresta subtropical perenifólia, e o uso da terra é variado, incluindo agricultura, pecuária, indústria e florestamento/reflorestamento (Lima, 1999; Maack, 1981; Thomaz et al., 2003).

2.2 Desenvolvimento

Foram utilizados dados de sensores *LIDAR* e *CBERS4* com imagens obtidas no segundo semestre de 2018. O processamento dos dados foi realizado utilizando o *software* livre *QGIS* 3.36.3, conforme descrito a seguir.

¹Mestranda do Curso de Geografia da Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO. mrz.duda@gmail.com

²Professor Orientador: Doutor em Geografia, Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO. adalto@unicentro.br

2.2.1 Processamento de Dados *LIDAR*

Primeiramente foi confeccionada a base cartográfica, a partir de dados de um aerolevanteamento com tecnologia *LIDAR*, sendo dados secundários extraídos do Diagnóstico Socioambiental da Bacia do Rio das Pedras, 2019. Com o processamento dos pontos de laser, foi possível extrair um MDT (Modelo Digital de Terreno), com resolução espacial de 2 metros, que permitiu de forma mais precisa a extração e modelagem da rede de drenagem, e na sequência a delimitação da bacia hidrográfica, e a escolha do trecho de 6 km para esse estudo.

No *software QGIS* foi gerado o *shapefile* do canal, bem como das margens. A ferramenta *perfil de elevação*, parte do complemento *LF Tools* no *software QGIS*, foi realizada para permitir a análise de perfis de elevação. Linhas transversais foram geradas perpendicularmente à direção do fluxo do rio, com um distanciamento de 100 metros entre elas. A medida da largura do canal foi calculada a partir dos pontos de intersecção obtidos entre as seções transversais e as linhas das margens. Este procedimento possibilitou a obtenção de medidas precisas da largura do canal, fundamentais para a análise morfológica e hidráulica.

2.2.2 Coleta e Processamento de Dados *CBERS 4*

Para a resolução de 10 metros, oferecida pelo *CBERS4*, foram obtidas imagens multiespectrais do dia 19 de julho de 2018. Fazendo uso do *software QGIS*, as imagens foram submetidas a um processo de correção radiométrica e atmosférica, corrigindo possíveis erros. Em seguida, foram combinadas bandas específicas com intuito de melhorar a identificação do canal fluvial. De acordo com Brenner (2015), a partir do *NDWI (Normalized Difference Water Index)* é possível ressaltar as feições de água e minimizar as outras respostas, como vegetação densa ou esparsa e solo exposto. Com base nisso, optou-se pela utilização do método que combina as bandas 3 (verde) e 5 (infravermelho próximo). Definiu-se o *NDWI* conforme Equação $NDWI = (Banda\ 3 - Banda\ 5) / (Banda\ 3 + Banda\ 5)$, destacando assim, a presença de água e facilitando a delimitação do canal.

Com o complemento *Lf tools* no *software QGIS*, foram gerados os *shapefiles* da linha central do canal, bem como das margens. Com os dados pré-definidos, foram geradas as seções transversais ao longo do trecho de 6 km, perpendicularmente ao curso do rio, com intervalos de 100 metros e a ferramenta de intersecção gerou os pontos na

¹Mestranda do Curso de Geografia da Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO. mrz.duda@gmail.com

²Professor Orientador: Doutor em Geografia, Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO. adalto@unicentro.br

interseção das seções transversais com as linhas de margens; as larguras foram mensuradas com a ferramenta *measure line*.

2.2.3 Comparação e Análise das medidas

Após o processamento inicial, as medidas de largura do trecho do rio obtidas de ambas as fontes foram compiladas em uma tabela no Microsoft Excel. Esta tabela contém um total de 61 pontos de amostragem, permitindo uma análise comparativa direta entre os dados *LIDAR* e *CBERS 4*. Para construir essa análise, foram realizados testes estatísticos para garantir uma acurácia maior nos resultados.

Inicialmente, foi aplicada uma análise estatística descritiva, na qual foram calculadas as médias, desvios padrão e quartis de ambos os métodos, permitindo uma avaliação preliminar das distribuições dos dados. Em seguida, um teste T de *Student* foi conduzido para verificar a significância das diferenças entre as médias das medidas obtidas pelos dois métodos.

Além disso, foi aplicada a correlação de Pearson, com o intuito de avaliar a relação linear entre as duas variáveis, ou seja, verificar o grau de associação entre as medidas de largura do rio obtidas por *LIDAR* e *CBERS 4*. Finalmente, para uma visualização mais clara dos dados e uma melhor interpretação das variações entre os métodos, foi desenvolvido um *boxplot*. Este gráfico permite a identificação de possíveis outliers e a comparação das distribuições dos dados de ambos os métodos.

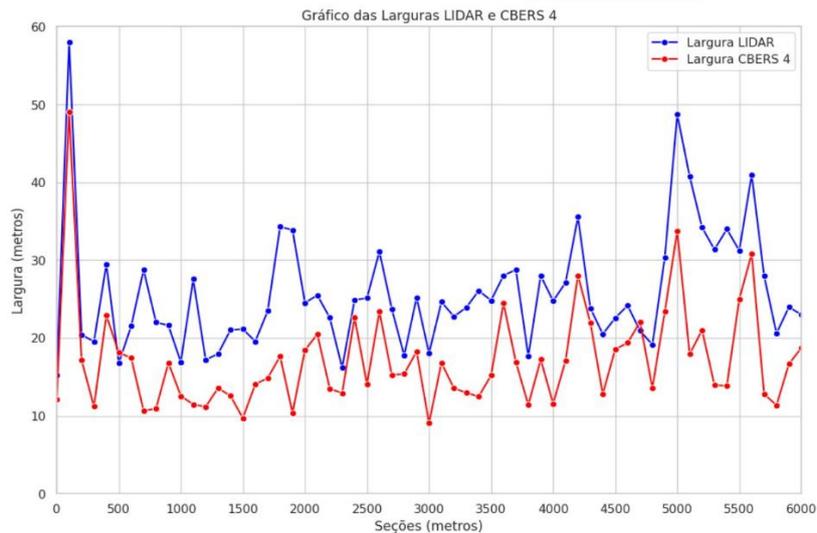
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nas 61 seções transversais (Figuras 1 e 2), verificou-se que as larguras medidas pelo *LIDAR* têm uma média de aproximadamente 25,745 metros, com um desvio padrão de 7,776 metros. Em contrapartida, as larguras obtidas pelo *CBERS 4* apresentam uma média de 17,087 metros e um desvio padrão menor, de 6,659 metros. A maior variabilidade nas medições do *LIDAR*, incluindo a presença de valores atípicos, sugere que este método captura com maior sensibilidade as variações topográficas locais e as características específicas do canal do rio.

Figura 1- Largura do canal das duas fontes de dados *LIDAR* e *CBERS4*

¹Mestranda do Curso de Geografia da Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO. mrz.duda@gmail.com

²Professor Orientador: Doutor em Geografia, Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO. adalto@unicentro.br



Fonte: Os autores

Figura 2 – Estatística descritiva das larguras obtidas

	Largura LIDAR	Largura CBERS4
Média	25,745	17,087
Desvio Padrão	7,776	6,659
Mínima	15,200	9,050
25%	20,920	12,790
50%	24,160	15,370
75%	28,760	18,710
Máxima	57,970	49,040

Fonte: Os autores

Foi realizado o teste T de *Student* para amostras emparelhadas para comparar as médias das larguras medidas pelos dois métodos. Os resultados do teste T de *Student* indicam uma diferença estatisticamente significativa entre as medições de largura obtidas pelos dois métodos ($t = 12,82$, $p < 0,00001$). Este resultado sugere que as larguras medidas pelo LIDAR são consistentemente maiores do que as obtidas pelo *CBERS 4*. A diferença sistemática pode ser atribuída à maior resolução e precisão do *LIDAR*, que é capaz de detectar variações mais sutis na morfologia do rio. O *LIDAR* emite pulsos de laser que conseguem penetrar na cobertura vegetal, permitindo a captura de dados sobre o terreno subjacente. No processamento da imagem, a cobertura vegetal pode ser filtrada, deixando apenas as informações referentes ao solo e à morfologia do rio, o que melhora a acurácia das medições. A correlação de Pearson foi analisada a fim de investigar a relação entre

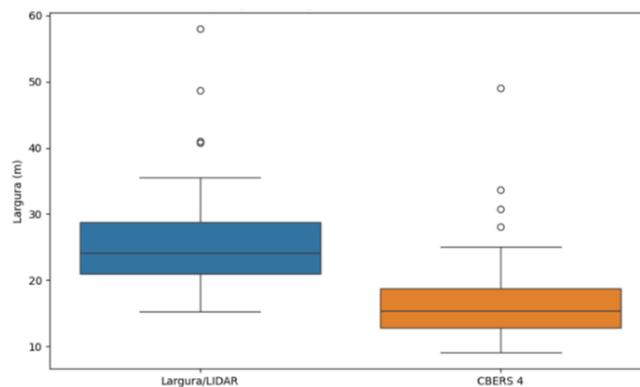
¹Mestranda do Curso de Geografia da Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO. mrz.duda@gmail.com

²Professor Orientador: Doutor em Geografia, Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO. adalto@unicentro.br

as larguras medidas pelos dois métodos. O coeficiente de correlação varia entre -1 e 1, indicando a força e a direção da relação linear entre as duas variáveis. A correlação entre as larguras medidas pelos dois métodos, avaliada pelo coeficiente de correlação de Pearson, resultou em um valor de 0,743 ($p < 0,0001$). Esta correlação positiva e significativa indica que, apesar das diferenças sistemáticas nas medições, as larguras do rio obtidas pelos dois métodos variam de maneira semelhante. Em outras palavras, ambos os métodos são eficazes em capturar as tendências gerais nas larguras do rio, ainda que o LIDAR forneça medições mais detalhadas.

Os *boxplots* das larguras (Figura 3), medidas por *LIDAR* e *CBERS 4* fornecem uma visualização clara das distribuições e das diferenças entre os métodos. Este gráfico exibe a mediana, os quartis e os valores atípicos, fornecendo uma representação clara da variabilidade e das diferenças nas medições. O *boxplot* revela que a mediana das larguras *LIDAR* é maior do que a das larguras *CBERS 4*, com uma maior dispersão de valores.

Figura 3- *Boxplot* da representação da variabilidade entre as métricas



Fonte: Os autores

No presente estudo, observou-se que as larguras dos canais fluviais medidas pelo *CBERS 4* tendem a ser significativamente subestimadas em comparação com as medidas obtidas pelo *LIDAR*. Especificamente, o *CBERS 4* subestimou as larguras em 96,77% dos casos, com uma diferença média de 8,99 metros, enquanto as superestimções ocorreram em apenas 3,23% dos casos, com uma diferença média de 1,24 metros. Esses achados indicam que o *LIDAR*, devido à sua maior sensibilidade, captura com maior precisão as variações topográficas e as características específicas dos canais fluviais, tornando-se uma ferramenta superior para a medição de larguras em estudos de geomorfologia fluvial.

As diferenças nas medidas de largura podem estar associadas a diversos fatores, incluindo a resolução espacial dos dados, a precisão dos métodos de processamento e a

¹Mestranda do Curso de Geografia da Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO. mrz.duda@gmail.com

²Professor Orientador: Doutor em Geografia, Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO. adalto@unicentro.br

presença de vegetação ou outras obstruções que podem afetar a detecção das margens dos rios.

A tecnologia *LIDAR*, possui alta resolução e capacidade de penetrar na vegetação, sendo assim, tende a fornecer medidas mais precisas das larguras dos rios, especialmente em áreas densamente vegetadas. Em contrapartida, as imagens multiespectrais do *CBERS 4*, embora abrangentes, podem ser influenciadas por sombras e reflexos na superfície da água. As diferenças observadas podem ser atribuídas à maior resolução oferecida pelo perfilamento a laser, que permite identificar detalhes das margens dos rios, incluindo pequenas variações topográficas que podem ser omitidas ou mal interpretadas pelas imagens multiespectrais do *CBERS 4*.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa demonstrou a eficácia das tecnologias de sensoriamento remoto, aliadas às técnicas de geoprocessamento, na obtenção de métricas precisas da largura dos canais fluviais. A comparação entre os dados *LIDAR* e *CBERS 4* revelou variações significativas nas medidas de largura, destacando as potencialidades e limitações de cada tecnologia. O *LIDAR*, devido à alta resolução e capacidade de penetrar na vegetação, mostrou-se superior na medição da largura dos rios em áreas densamente vegetadas. A precisão dessa fonte de dados é fundamental para análises detalhadas da geomorfologia fluvial e para a elaboração de modelos hidrológicos mais acurados. Em contrapartida, o *CBERS 4*, apesar de ser uma fonte de dados de média resolução, oferece uma boa cobertura espacial e é uma ferramenta acessível, sendo útil para análises mais gerais e abrangentes.

A escolha da tecnologia ideal depende da especificidade de cada estudo. O *LIDAR*, apesar de sua precisão, apresenta custos elevados e disponibilidade limitada. Já o *CBERS 4*, embora mais acessível, exige um processamento de dados mais complexo. Para pesquisas futuras, recomenda-se a integração de múltiplas fontes de dados e realização de trabalhos de campo para validação, além da investigação de novas tecnologias. A abordagem multidisciplinar permitirá obter resultados mais precisos e confiáveis.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto; Geometria hidráulica; Geomorfologia Fluvial; *LIDAR*; *CBERS 4*.

5. REFERÊNCIAS

¹Mestranda do Curso de Geografia da Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO. mrz.duda@gmail.com

²Professor Orientador: Doutor em Geografia, Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO. adalto@unicentro.br

- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Edgard Blücher, 1981.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Satélites-de-monitoramento/missoes/cbers.
- DAVIDSON, Sarah L.; MARIN-ESTEVE, Blanca; EATON, Brett. What controls river widening? Comparing large and extreme flood events. **Earth Surface Processes and Landforms**, 2024.
- FERGUSON, Robert I. Hydraulics and hydraulic geometry. **Progress in Physical Geography**, v. 10, n. 1, p. 1-31, 1986.
- GELELETE, G. J. A.; RIBEIRO, GILBERTO PESSANHA. Classificação digital de uso da terra e cobertura vegetal de zona costeira em Araruama (RJ) a partir de imagens sensoriais. **Projeto de Graduação, Engenharia Cartográfica (UERJ)**, 2008.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. CBERS. Disponível em < INPE/CBERS > Acesso em 01 de julho de 2024.
- JUNK, Wolfgang J. et al. Áreas alagáveis: Definições e características ecológicas gerais. **Desafios para um Manejo Sustentável**, p. 18, 2020.
- LAGUE, Dimitri; FELDMANN, Baptiste. Topo-bathymetric airborne LiDAR for fluvial-geomorphology analysis. In: **Developments in earth surface processes**. Elsevier, 2020. p. 25-54.
- LEOPOLD, L.B.; MADDOC, T. The Hydraulic Geometry of Stream Channels and Some Physiographic Implications. **USGS Professional Paper**, v. 252, 1953.
- LILLESAND, Thomas; KIEFER, Ralph W.; CHIPMAN, Jonathan. **Remote sensing and image interpretation**. John Wiley & Sons, 2015.
- LIMA, A. G. . Caracterização Geomorfológica Preliminar da Bacia do Rio das Pedras, Guarapuava-Paraná. **Geografia**, v. 24, n. 2, p. 37-51, 1999.
- MAACK, R. Geografia Física do Estado do Paraná. 3aed. Curitiba: **Imprensa oficial**, 1981, 440p.
- MARTINS, E. S. P. R. et al. Utilização de imagens CBERS para mapeamento dos espelhos d’água do Brasil. In: **Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. 2007.
- PESS, George R. et al. How does over two decades of active wood reintroduction result in changes to stream channel features and aquatic habitats of a forested river system?. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 48, n. 4, p. 817-829, 2023.
- RAN, Lishan; WANG, Suiji; LU, X. X. Hydraulic geometry change of a large river: a case study of the upper Yellow River. **Environmental Earth Sciences**, v. 66, p. 1247-1257, 2012.
- SILVA, Beatriz Leonardo da. Desafios do planejamento para conservação de pequenas áreas úmidas isoladas: uma proposta de valoração. 2024.
- SOARES, Gabriel Antonio Silva; GALVÍNCIO, Josiclêda 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. 07, p. 3659-3674, 2020.
- TAROLLI, Paolo. High-resolution topography for understanding Earth surface processes: Opportunities and challenges. **Geomorphology**, v. 216, p. 295-312, 2014.
- THOMAZ, E. L.; VESTENA, L. R. Aspectos climáticos de Guarapuava-PR. Guarapuava: UNICENTRO, 2003. 106p.

¹Mestranda do Curso de Geografia da Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO. mrz.duda@gmail.com

²Professor Orientador: Doutor em Geografia, Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO. adalto@unicentro.br