

AVALIAÇÃO DA TURBIDEZ FLUVIAL POR ÍNDICES ESPECTRAIS NO RIO VERMELHO (RONDONÓPOLIS, MATO GROSSO)

Renata Moreira Amorim Branco ¹
Ricardo Michael Pinheiro Silveira ²

INTRODUÇÃO

As análises da produção de sedimentos com emprego de produtos de sensoriamento remoto buscam correlacionar índices espectrais à carga sedimentar em suspensão e à relação com a sazonalidade da precipitação pluviométrica. O uso de estimadores indiretos emerge como uma alternativa para as interpretações multitemporais da dinâmica sedimentar (incluindo a problemática do assoreamento) e da geomorfologia fluvial.

No contexto das áreas transicionais entre os planaltos da Bacia Sedimentar do Paraná e o Pantanal, o rio Vermelho (localizado no município de Rondonópolis) é um dos principais afluentes do rio São Lourenço, localizado no estado de Mato Grosso. Este sistema fluvial é fundamental na morfodinâmica da planície inundável do Pantanal mato-grossense (PCBAP, 1997; Souza e Siqueira, 2016), por formar um megaleque fluvial (Corradini, 2011).

O rio Vermelho possui 112,5 km de extensão perpassando por áreas rurais até o os limites do município de Rondonópolis (MT), sendo importante destacar o trecho do rio Vermelho inserido no contexto do espaço urbano de Rondonópolis, visto que o crescimento da cidade e as atividades podem impactar no aporte sedimentar do rio a jusante.

De acordo com PCBAP (1997), de todos os rios da depressão pantaneira, o rio São Lourenço é o que apresenta os maiores índices de erosão para a bacia do Alto Paraguai, cuja bacia hidrográfica está sujeita tanto aos processos de erosão laminar como de erosão linear.

¹Mestranda em Geografia pelo PPGEIO da Universidade Federal de Rondonópolis - UFR, renata.amorim@aluno.ufr.edu.br;

²Doutor em Geografia e Professor do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná - UFPR, ricardomichael@ufpr.br.

Considerando a evolução dos sensores remotos (Novo, 2008), tanto para a extração de dados altimétricos quanto multi e hiperespectrais, as características das assinaturas geomorfométricas (Hengl e Reuter, 2009) e das curvas de reflectância no âmbito do Processamento Digital de Imagens têm grande potencial para a modelagem de cenários preditivos de deflagração e de caracterização de processos morfodinâmicos e mapeamento geomorfológico, tal como a produção de sedimentos.

Dentre os estudos recentes que aplicaram índices e técnicas espectrais, destacam-se as estimativas da concentração de sedimentos em suspensão com dados do satélite Sentinel-2 (sensor MSI), tal como as publicações de Zhang et al. (2022) e Sankaran et al. (2023). No Brasil, os dados do Sentinel-2 foram utilizados para a caracterização da turbidez no rio Negro, na Bacia Amazônica, por Marinho et al. (2022). Além dos índices por diferença normalizada ou composição de bandas, salientam-se as propostas de modelagem por aprendizado de máquina (machine learning), conforme apresentado por Liang et al. (2024).

Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo aplicar o Índice de Turbidez por Diferença Normalizada (NDTI) para analisar a espacialização e a sazonalidade dos sedimentos em suspensão no rio Vermelho, numa porção que centraliza a área urbana de Rondonópolis (Mato Grosso). O recorte temporal adotado contemplou 4 anos (2020 a 2023), com um processamento do NDTI realizado na estação chuvosa e outro na estação seca.

MATERIAIS E MÉTODOS

As análises sobre os sedimentos em suspensão e a turbidez fluvial nos corpos hídricos por sensoriamento remoto tiveram como base os dados do satélite Sentinel-2A (sensor MSI), com resolução espacial de 10 metros. Com a finalidade de avaliar o efeito da sazonalidade nos sedimentos em suspensão, foram selecionadas imagens de março (maior pluviosidade acumulada) e setembro (menor pluviosidade). Os processamentos foram realizados pelo software QGIS 3.22. O segmento do rio foi definido em função dos limites da faixa imageada (N0509 R024 T21KYB).

A delimitação dos leitos fluviais de vazante foi estabelecida pelo Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI), proposto por McFeeters (1996), conforme equação 1. No NDWI, o comprimento de onda verde maximiza a reflectância da superfície da água, enquanto o infravermelho maximiza a reflectância da vegetação e dos solos. Como

resultado, os valores positivos do índice representam as massas de água, a serem utilizadas como máscara para os índices sobre a dinâmica sedimentar.

$$NDWI = \frac{B3 (560 \text{ nm}) - B8 (842 \text{ nm})}{B3 (560 \text{ nm}) + B8 (842 \text{ nm})} \quad (\text{equação 1})$$

Posteriormente foi aplicado o Índice de Turbidez por Diferença Normalizada (NDTI), de Lacaux et al. (2007), que contempla o comprimento de onda do vermelho (banda 4 no Sentinel-2A) e verde (banda 3), de acordo com a equação 2, que varia de -1 a +1. A turbidez representa a suspensão de sedimentos a partir da claridade da água, cujos valores negativos indicam maior clareza do corpo hídrico.

$$NDTI = \frac{B4 (665 \text{ nm}) - B3 (560 \text{ nm})}{B4 (665 \text{ nm}) + B3 (560 \text{ nm})} \quad (\text{equação 2})$$

A turbidez representa a suspensão de sedimentos a partir da claridade da água, cujos valores negativos indicam maior clareza do corpo hídrico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

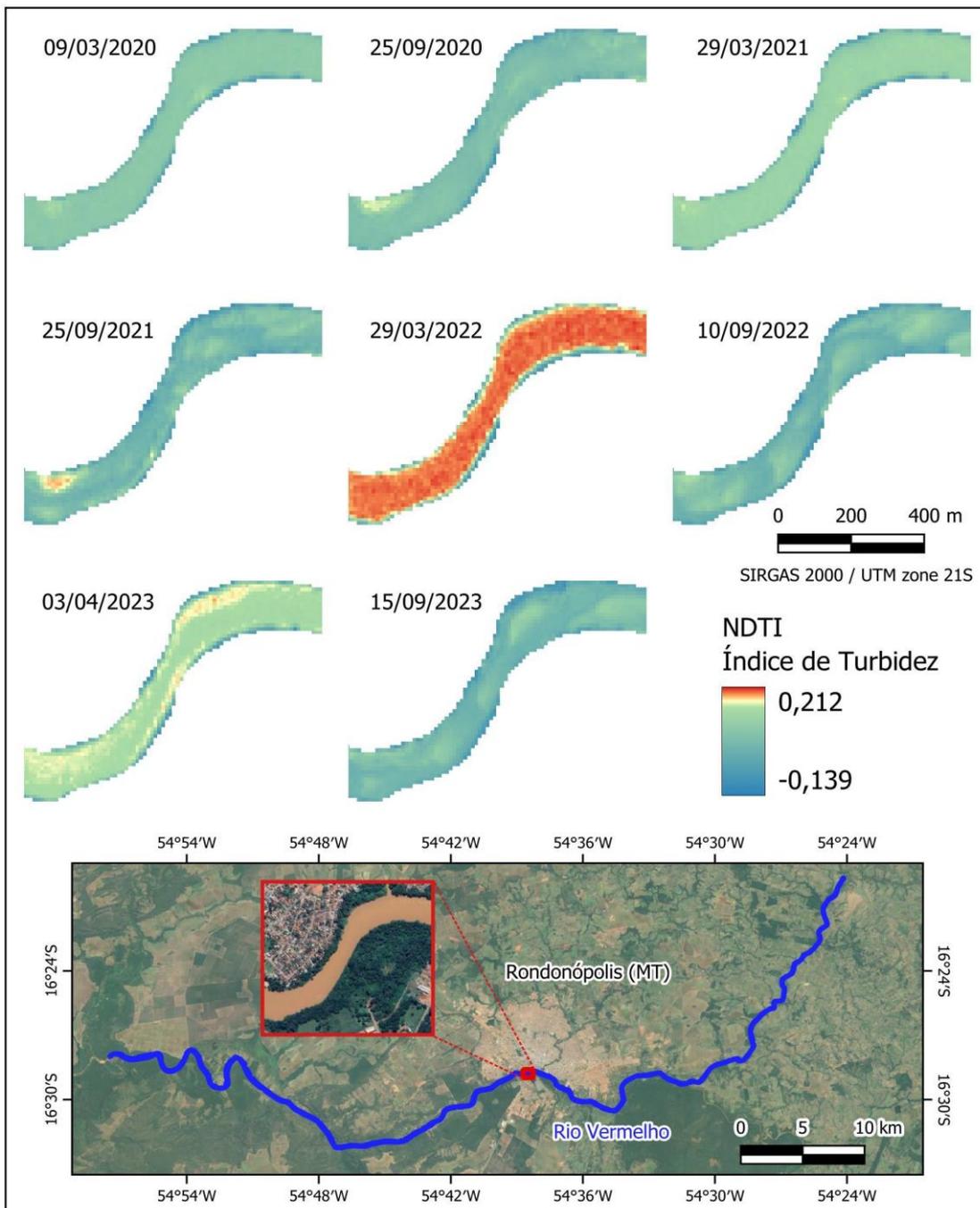
A quantificação dos resultados obtidos é apresentada pela Tabela 1, que denota a maior média da turbidez da água na estação seca em todos os cenários analisados. A figura 1 exemplifica os resultados do Índice de Turbidez por Diferença Normalizada num pequeno recorte do rio Vermelho na área urbana de Rondonópolis.

Tabela 1 – Quantificação dos resultados do NTDI

NDTI	2020		2021		2022		2023	
	09/03/2020	25/09/2020	29/03/2021	25/09/2021	29/03/2022	10/09/2022	03/04/2023	15/09/2023
Média	0,066	0,048	0,091	0,041	0,145	0,040	0,109	0,035
Mínimo	-0,123	-0,113	-0,121	-0,135	-0,139	-0,102	-0,119	-0,131
Máximo	0,143	0,170	0,171	0,177	0,212	0,171	0,179	0,164
Desvio padrão	0,029	0,033	0,036	0,040	0,051	0,040	0,045	0,038

Os maiores índices da tabela estão indicados no mês de março, devido ao período chuvoso. Observa-se que no ano de 2022 ocorreu o maior registro do índice de turbidez, que pode ser justificado em função do maior índice de chuvas na região. De acordo com as estações pluviométricas da ANA/Hidroweb, os dias que antecederam a análise de turbidez tiveram uma sequência de chuvas, sendo as mais intensas 72 horas antes, com máxima de 44,5 mm/24h no dia anterior à geração do índice.

Figura 1 – Exemplos dos resultados do NTDI em Rondonópolis (MT)



O mês de março de 2021 teve chuvas diárias de até 45,5 mm. Nos dias que antecederam a data da imagem utilizada, ressalta-se que nas 48 horas prévias não houve registro de chuva, mas em 72 horas houve o registro de 31,7 mm, que resultaram numa turbidez de 0,09 do NDTI. No registro de 03/04/2023, o alto valor do NDTI (0,1) se deve à chuva de 45,3 mm ocorrida no dia anterior.

Esses altos índices apresentados no mês de março fazem com que a mistura da terra com a água dificulte a penetração do feixe de luz na água. Com isso, eleva-se o auto índice de turbidez em pouco tempo.

O menor índice de turbidez analisado no período chuvoso (primeiro trimestre) foi em 2020, quando não ocorreu chuvas nos últimos oito dias antes da análise, o que justifica a menor taxa de turbidez no período considerado.

Os menores valores de turbidez da água foram registrados no período seco, em setembro, quando as médias não passaram de 0,050 para todos os anos. Isso ocorre porque o índice de chuva é baixo. Em 2020, por exemplo, choveu apenas 0,7 mm durante todo mês de setembro.

Destaca-se que a aplicação do NDTI também possibilita uma visualização das feições fluviais, com a formação das barras de pontal a partir dos fluxos hídricos predominantes sob determinadas condições pluviométricas. O encarte datado de 03/04/2023 na figura 1 exemplifica essa questão.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação do Índice de Turbidez por Diferença Normalizada (NDTI) foi evidenciada como uma ferramenta efetiva para as interpretações geomorfológicas multitemporais da dinâmica sedimentar fluvial. Destacou-se o efeito da sazonalidade na turbidez dos rios na transição entre o Cerrado e o Pantanal, tendo o rio Vermelho como referência.

As aplicações dos índices espectrais representam importantes informações preliminares da turbidez, cuja validação dos modelos pode ser efetivada por análises fluviométricas laboratoriais e trabalhos de campo. A análise da evolução morfodinâmica desponta como principal potencialidade, visto que os produtos de sensoriamento remoto viabilizam a visualização e a quantificação de processos sedimentares que ocorrem diretamente nos leitos menores dos rios.

Uma limitação da proposta se atém à aquisição de informações em dias com nebulosidade, devido às características espectrais do Sentinel. Os dias com chuvas, que tendem a incrementar a turbidez fluvial, podem representar lacunas nos dados multitemporais do NDTI em função da nebulosidade permanente.

Palavras-chave: Sedimentos, Geomorfologia fluvial, Sensoriamento remoto, Processamento Digital de Imagens, Assoreamento.

AGRADECIMENTOS

À CAPES pela concessão da bolsa de mestrado vinculada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Rondonópolis.

REFERÊNCIAS

CORRADINI, F. A.; ASSINE, M. L. Compartimentação geomorfológica e processos deposicionais no megaleque fluvial do rio São Lourenço, Pantanal mato-grossense. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 42, 2012.

HENGL, T.; REUTER, H. I. (eds.) **Geomorphometry - Concepts, Software, Applications**, Series Developments in Soil Science vol. 33, Amsterdam: Elsevier, pp. 3-30, 2009.

LACAUX, J. P.; TOURRE, Y. M.; VIGNOLLES, C., NDIONE, J. A.; LAFAYE, M. Classification of ponds from high-spatial resolution remote sensing: Application to Rift Valley Fever epidemics in Senegal. **Remote Sensing of Environment**, 106, p. 66-74, 2007.

LIANG, Y.; CHENG, Z.; DU, Y.; SONG, D.; YOU, Z. An improved method for water depth mapping in turbid waters based on a machine learning model. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 296, 108577, 2024.

MARINHO, R. R.; FILIZOLA JUNIOR, N. P.; MARTINEZ, J. M.; HARMEL, T. Suspended sediment transport estimation in Negro River (Amazon Basin) using MSI/Sentinel-2 data. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 23, n. 1, 2022.

McFEETERS, S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, 17:7, 1425-1432, 1996.

SANKARAN, R.; AL-KHAYAT, J.; ARAVINTH, J.; CHATTING, M. E.; SADOONI, F. N.; AL-KUWARI, H. A. Retrieval of suspended sediment concentration (SSC) in the

Arabian Gulf water of arid region by Sentinel-2 data. **Science of the Total Environment**, 904, 166875, 2023.

SOUZA, A. V. V.; SIQUEIRA, M. L. B. Da convivência do passado as transformações do presente: uma análise da bacia do rio vermelho em Rondonópolis–MT. **Biodiversidade**, v. 15, n. 1, 2016.

ZHANG, C.; LIU, Y.; CHEN, X.; GAO, Y. Estimation of Suspended Sediment Concentration in the Yangtze Main Stream Based on Sentinel-2 MSI Data. **Remote Sensing**, 14, 4446, 2022.