



ANÁLISE DA SÉRIE HISTÓRICA DE EROSÃO E SEDIMENTAÇÃO DO RIO TOCANTINS NO MUNICÍPIO DE MOCAJUBA - PA DE 1985 A 2024

Luis Waldyr Rodrigues Sadeck¹; Daniel Fernandes Rodrigues Barroso¹; Aline Maria Meiguins de Lima²; José Francisco Berredo Reis da Silva³

¹ Universidade Federal do Pará, Discente do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Belém - PA, Brasil. E-mail:

luis.sadeck@ufpa.br - <https://orcid.org/0000-0002-2337-8634>

daniel.rodrigues@ifma.edu.br - <https://orcid.org/0000-0001-9452-8356>

² Universidade Federal do Pará, Docente do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Belém - PA, Brasil. E-mail:

ameiguins@ufpa.br - <https://orcid.org/0000-0002-0594-0187>

³ Museu Paraense Emílio Goeldi, Docente do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Belém - PA, Brasil. E-mail:

berredo@museu-goeldi.br - <https://orcid.org/0000-0002-8590-2462>

RESUMEN. Este estudio analizó los procesos de erosión y sedimentación del río Tocantins en el municipio de Mocajuba, PA, a lo largo de 39 años (1985-2024). Se utilizaron imágenes de satélite Landsat para calcular la superficie de agua e identificar cambios morfológicos. La detección de cambios mostró un aumento de la superficie acuática hasta 2015, seguido de una disminución. Los procesos de erosión disminuyeron con el tiempo, mientras que la acreción aumentó, especialmente frente al centro de la ciudad. La sedimentación fue más significativa al suroeste y frente a la ciudad. El análisis subraya la importancia de la teledetección para evaluar estos procesos y sugiere la creación de colecciones de imágenes separadas para periodos secos e inundados para futuros estudios. Estos cambios están relacionados con la dinámica del paisaje, pero se necesitan más investigaciones para confirmar esta correlación. Los resultados tienen implicaciones para la gestión y conservación de los recursos hídricos de la región.

Palabras-clave: Cuenca fluvial; Erosión fluvial; Deposición de sedimentos; Teledetección; Geoprocesamiento.

RESUMO. Este estudo analisou os processos de erosão e sedimentação do rio Tocantins no município de Mocajuba, PA, ao longo de 39 anos (1985-2024). Foram utilizadas imagens de satélite Landsat para calcular a área de superfície de água e identificar mudanças morfológicas. A detecção de mudanças mostrou um aumento na área de água até 2015, seguido por uma redução. Os processos erosivos diminuíram ao longo do tempo, enquanto a acreção aumentou, principalmente em frente à sede do município. A sedimentação foi mais significativa a sudoeste e em frente à cidade. A análise destaca a importância do sensoriamento remoto na avaliação desses processos e sugere a criação de coleções de imagens separadas para períodos de seca e cheia para estudos futuros. Essas mudanças estão relacionadas à dinâmica da paisagem, mas são necessárias mais pesquisas para confirmar essa correlação. Os resultados têm implicações para a gestão e conservação dos recursos hídricos da região.

Palavras-chave: Bacia Hidrográfica; Erosão fluvial; Deposição de Sedimentos; Sensoriamento Remoto; Geoprocessamento.

ABSTRACT. This study analyzed the erosion and sedimentation processes of the Tocantins River in the municipality of Mocajuba, PA, over 39 years (1985-2024). Landsat satellite images were used to calculate the water surface area and identify morphological changes. The detection of changes showed an increase in water area until 2015, followed by a decrease. Erosion processes decreased over time, while accretion increased, especially in front of the municipal headquarters. Sedimentation was more significant to the southwest and in front of the town. The analysis highlights the importance of remote sensing in assessing these processes and suggests creating separate image collections for dry and flood periods for future studies. These changes are related to landscape dynamics, but more research is needed to confirm this correlation. The results have implications for the management and conservation of the region's water resources.

Keywords: Watershed; River Erosion; Sediment Deposition; Remote Sensing; Geoprocessing.



1. INTRODUÇÃO

O rio Tocantins é o principal rio da Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia, uma das 12 regiões hidrográficas do Brasil, definidas pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos por meio da Resolução nº 32, de 15 de outubro de 2003 (BRASIL, 2003). Historicamente, o potencial hidrelétrico dessa bacia é explorado pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL e tem atualmente sete usinas em funcionamento com capacidade instalada de 12.827,7 MW (Swanson *et al.*, 2021) somente no rio Tocantins.

A maior delas é a Usina Hidrelétrica de Tucuruí (UHT) situada no município de Tucuruí no estado do Pará (Silva *et al.*, 2021) com capacidade para 8.730 MW de potência instalada, cujo volume de reservatório é de 45 km³ (Swanson *et al.*, 2021). Esta compõe o segmento que marca o baixo curso da bacia do rio Tocantins, próximo de sua foz no estuário amazônico.

A instalação de usinas nessa bacia hidrográfica está correlacionada a danos socioambientais como consequência do barramento do curso do rio, como por exemplo: a mudança no padrão de várzea devido a perda de planícies de inundação com implicações nos processos biofísicos e ecológicos, bem como ao bem-estar e subsistência da população ribeirinha do rio Tocantins (Swanson *et al.*, 2021); aumento de processos deposicionais e erosivos em município a jusante da barragem da UHT (Bezerra, Andrade; Andrade, 2018); perda de habitat de vegetação ripária aluvial com consequências sobre a riqueza e diversidade de espécie locais (Ferreira *et al.*, 2013), além fragmentação do habitat aquático para espécies migradoras da ictiofauna, que precisam deslocar-se em longas distâncias no período de reprodução (Obeso *et al.*, 2024).

A intervenção direta nos rios como no caso de construções de hidrelétricas exige o barramento do canal fluvial bem como a inundação de uma área considerável para a formação do reservatório e estas intervenções alteram o fluxo natural da água, pois alteram a geometria e a hidrologia do canal (Junk; Nunes de Melo, 1990) com potencial consequência sobre os processos deposicionais e erosivos. Estudos de Macedo *et al.* (2007), Barata (2011), Bezerra, Andrade e Andrade (2018) e Silva *et al.* (2021) apontam esses processos na região da UHT.

Os processos de sedimentação e de erosão em bacias hidrográficas são provocados pelo desprendimento de partículas do solo causada por diversos fenômenos naturais e potencializadas por atividades antrópicas. A construção de hidrelétricas e a mudança do padrão de uso da terra podem potencializar processos erosivos naturais, principalmente se associados a variações na morfologia do canal fluvial. Como consequências têm-se a instabilidade das margens que colocam em risco as populações ribeirinhas, assim como o surgimento de locais de retenção de sedimentos, que alteram a profundidade do canal, causando transtornos para navegação.

No baixo curso do rio Tocantins a paisagem é marcada pela presença de ilhas aluviais (Mérona, *et al.*, 2010), estas têm convivido com diversos problemas decorrentes das variações de nível e vazão do rio, e dos efeitos das cheias sazonais, que recebem até certo ponto a influência das marés do estuário amazônico. Como consequência ocorre o efeito das erosões marginais, principalmente em locais onde localizam-se diversas comunidades na forma de vilas, cidades (incluindo sedes municipais) e onde também são desenvolvidas atividades rurais.

A avaliação de processos erosivos, deposicionais e transporte de sedimentos pode ser feita de diversas formas; e técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento de imagens de satélites têm sido bastante difundidas para analisar esses fenômenos em bacias hidrográficas



(Pereira, 2012; Lovric; Tosic, 2016; Langat; Kumar; Koech, 2019; Sil *et al.*, 2023; Alves e Santos *et al.*, 2024; Velastegui-Montoya *et al.*, 2024; Qiu *et al.*, 2024).

Para uso das metodologias mais utilizadas no tratamento de séries temporais hoje, está o Google Earth Engine (Gorelick *et al.*, 2017), que é uma plataforma baseada em nuvem que permite o processamento e análise de grandes quantidades de dados geoespaciais para várias aplicações, incluindo o monitoramento de mudanças na extensão da água de rios e lagos (Nagel, Darby e Leyland, 2023; Ferreira *et al.*, 2023).

O *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) é um dos processamentos digitais de imagem mais utilizados quando se trata de identificação de saúde e da densidade da vegetação (Zapata *et al.*, 2022; Rhymee *et al.*, 2023). A identificação de turbidez em rios e lagos (Chien *et al.*, 2016) constitui outro exemplo de uso do NDVI, quando associado às bandas dos satélites, principalmente Landsat e MODIS. Esta mesma aplicação também permite a identificação de áreas deposicionais ao longo dos cursos de rios, em séries temporais, que são processadas por meio de métodos de *Machine Learning* como o *Random Forest*, que pode ser aplicado tanto como classificação ou regressão sobre as imagens.

O *Random Forest* necessita de amostras de treinamento que são sorteadas aleatoriamente pelo número de árvores que serão criadas pelo algoritmo e por meio de votação os resultados finais da predição são obtidos (Li *et al.*, 2020). Além disso, técnicas de detecção de mudança baseados em dados de satélite têm sido usadas para verificação e análise da área da superfície de rios e lagos extensivamente (Bijeesh; Narasimhamurthy, 2021) ampliando a capacidade de gestores e tomadores de decisão em aplicar medidas efetivas para contenção de processos erosivos e/ou deposicionais.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho é analisar os processos de sedimentação e de erosão do rio Tocantins no município de Mocajuba, PA ao longo de uma série de 39 anos: 1985, 1995, 2005, 2015 e 2024 para avaliar a evolução dos processos deposicionais no rio e erosivos nas margens e nas ilhas fluviais. A amostra temporal analisada (39 anos) compreende o início da operação usina hidrelétrica de Tucuruí (1985) e segue até o ano atual (2024) com intervalos a cada 10 anos, com exceção do último intervalo que compreende 9 anos (2015-2024).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O município de Mocajuba localizado no baixo curso do rio Tocantins, próximo sua foz, além da parte continental, abrange um conjunto de ilhas, como as de Angapijó, Tambuaçu, do Bode, Clemência, Costa, Santana e Ilha Grande (FAPESPA, 2022), que constituíram Projetos de Assentamentos Agroextrativistas (Figura 1).

Em termos geofísicos representa uma região de cobertura de gleissolos, espodossolos e latossolos que suportam uma vegetação com aspectos de árvores de pequeno porte e caules mais finos, como a campinarana e uma vegetação de folhas extensas e perenifólios, como a floresta ombrófila densa que é encontrada nas sub formações aluviais e terras baixas.

O clima da região enquadra-se em equatorial úmido com um a dois meses seco, chegando a índices pluviométricos de até 2000 mm de chuva por ano e temperaturas que variam de 21,39° a 33,71°C (INMET, 2024).

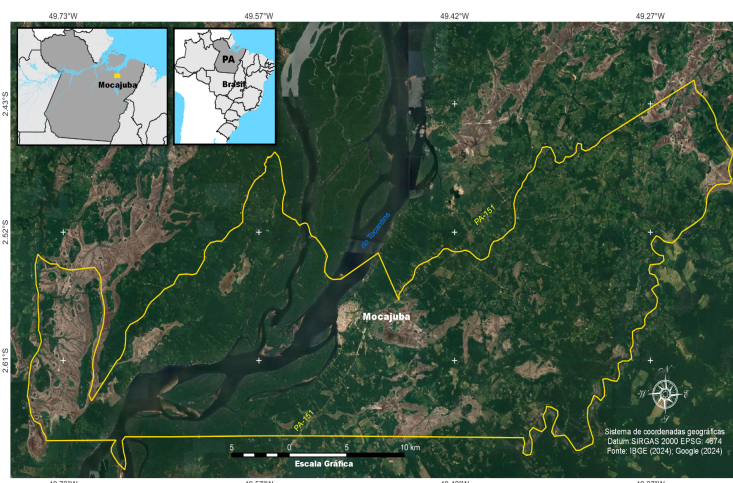


Figura 1. Localização da área de estudo, município de Mocajuba - PA.
Fonte: Elaborada pelo autor

2.2. Etapas da pesquisa

O fluxo metodológico da pesquisa (Figura 2) descreve que para seu desenvolvimento foi necessário construir duas coleções de imagem (*Landsat 5 Level 2, Collection 2, Tier 1; Landsat 8 Level 2, Collection 2, Tier 1*), com correção para reflectância de superfície, filtradas para o intervalo de tempo da pesquisa gerando uma imagem mediana por ano, não possibilitando saber a data de cada imagem nem quantas foram utilizadas pelo filtro, mas sim o ano e que a área está totalmente recoberta. Esses procedimentos foram necessários, pois o Landsat 5 deixou de funcionar ainda em 2012 sendo substituído pelo Landsat 8 em 2013.

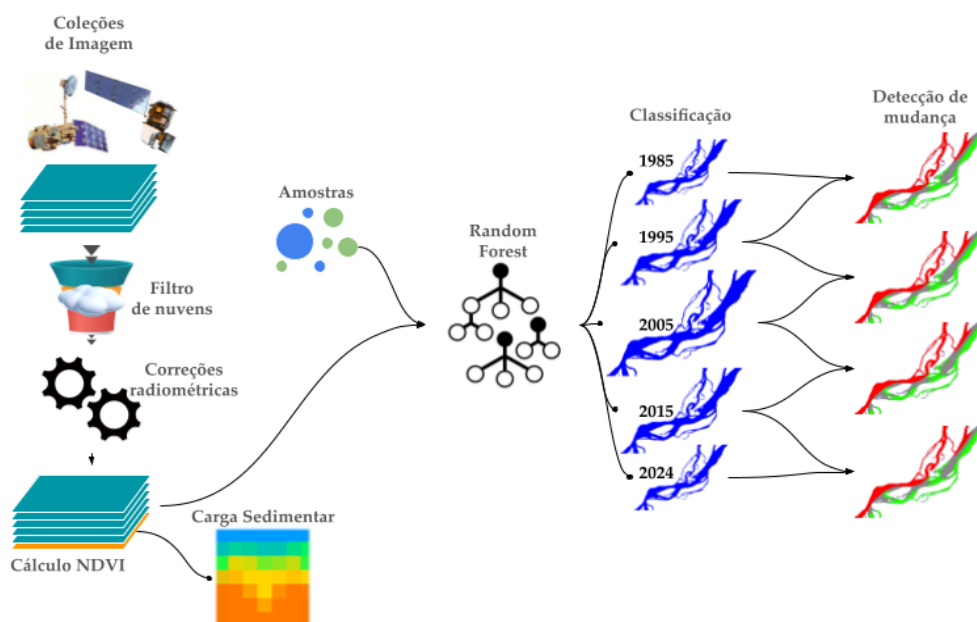


Figura 2. Fluxograma das etapas da pesquisa.
Fonte: dos autores.

Como as imagens são tomadas no espectro do visível, uma grande quantidade delas apresenta elevada cobertura de nuvens e para solucionar esse problema foi aplicada uma função para

remoção de nuvens pelo método *bitwise* sobre a imagem binária *QA_PIXEL*. Também foi aplicado pela mesma função uma correção de saturação, um ganho e um *offset* cujos valores são recomendados pela USGS sobre as imagens.

Com as coleções ajustadas, gerou-se o NDVI (equação 1). Este foi inserido como banda na coleção para servir de suporte ao cálculo da carga sedimentar em suspensão com base na relação calibrada das imagens. Chien *et al.* (2016) indicam como suporte para estimativas de carga sedimentar apenas pelo cálculo do NDVI calibrado.

$$NDVI = \left(\frac{NIR - RED}{NIR + RED} \right) \cdot (-100) \quad (1)$$

De posse das coleções e da adição do NDVI, foram coletadas amostras realizada com base em uma análise visual e espectral das imagens NDVI, garantindo a representatividade dos diferentes corpos d'água e áreas terrestres presentes na área de estudo para água foram 19 amostras e não água 27 amostras para o processo de classificação supervisionada por meio do *Random Forest*, que com 24 árvores de interação obteve seu melhor desempenho para os dados trabalhados. Para que a classificação retornasse somente a classe água, foi criada uma máscara de exclusão para a classe não água. Foram feitos o cálculo de área de superfície de água para cada ano e o dado foi exportado para um *Asset Google* do qual é requerido para a aplicação da detecção de mudanças par a par pelos referidos anos. A detecção de mudanças é feita por uma subtração do dado mais recente pelo dado mais antigo, o que retorna valores de perda e ganhos líquidos de erosão e acreção.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No município de Mocajuba a superfície de água sofreu, no padrão geral, um aumento ao longo do período analisado. Sua maior área de ocupação é registrada em 2015 com 74,19 km². As variações ocorridas destacam nos períodos entre: 1985 e 1995, um aumentou de 2,37 km²; e de 2015 para 2024 uma redução de 0,92 km² (Figura 3).

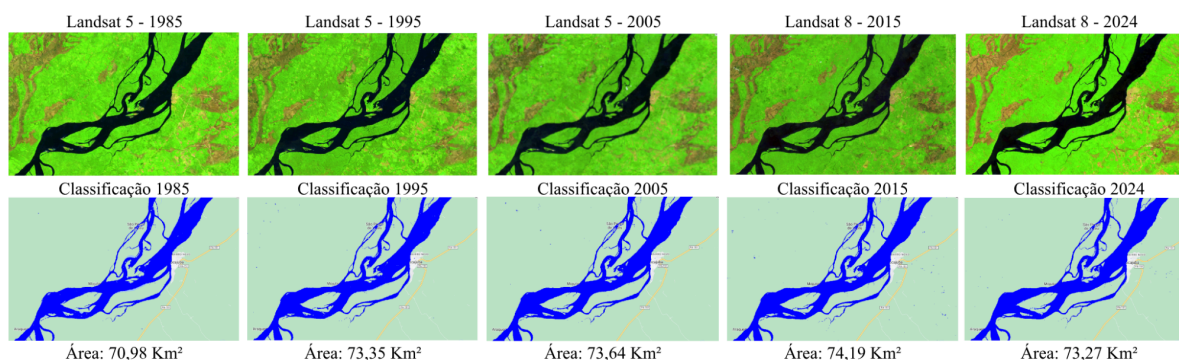


Figura 3. Classificação da superfície de água de 1985 a 1995.

Fonte: dos autores.

É importante salientar que, essas transições observadas no mapeamento têm alta probabilidade de estarem correlacionadas com a dinâmica da paisagem, mas isso só poderia ser confirmado adicionando ao estudo outros fatores ambientais como volume de precipitação média anual, uso da terra, tipos de solo entre outros, que são indicativos para aprofundamento do estudo. Outra consideração a ser feita é sobre o processamento digital aplicado na

construção das coleções de imagem, uma vez que elas retiram imagens com grande cobertura de nuvens, período de maior pluviosidade e geram mosaicos medianos de pixels, logo seria interessante em trabalhos futuros criar duas coleções, uma no período de seca e outra no período de cheia, mesmo tendo o risco de obter poucas imagens para a classificação temporal. Desta forma, se ampliaria a capacidade de identificar processos ocorrendo nesses períodos entre os anos.

A dinâmica de mudança morfológica ao longo do tempo definida pelos processos erosivos e acrecionais (Figura 4), indica uma redução das condições de erodibilidade (Tabela 1) e incremento da acreção, ambas passando por períodos de relativa estabilidade entre os anos de 1995 a 2015. As áreas de maior erodibilidade estão localizadas nas margens das ilhas por todo o trecho do rio e a área que tem apresentado maior acreção está em frente à sede do município, no Projeto de Assentamento Agroextrativista Conceição de Mocajuba.

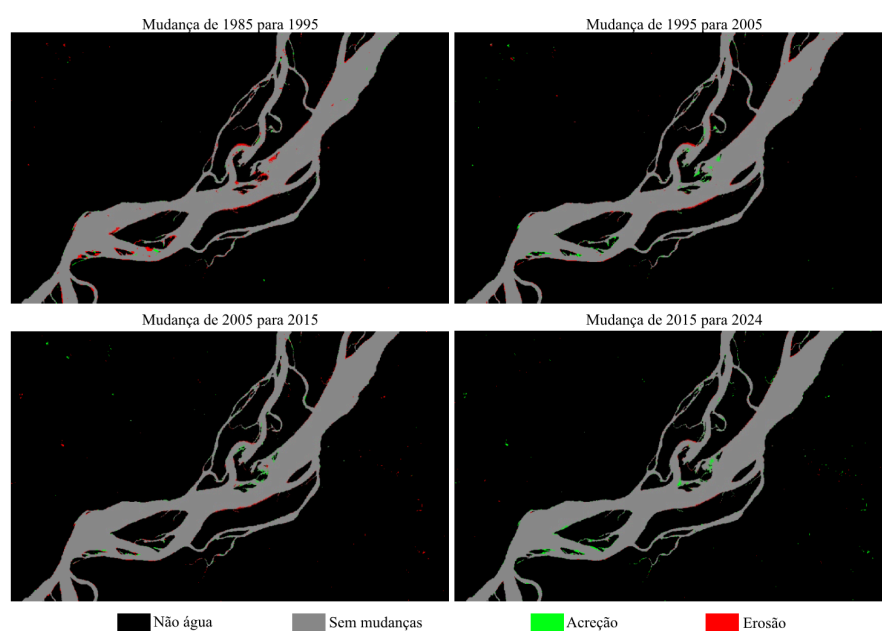


Figura 4. Mudanças morfológicas de erosão e acreção no rio Tocantins - município de Mocajuba - PA de 1985 a 2024.

Fonte: dos autores.

Observam-se processos erosivos com maior intensidade nas bordas das ilhas, como por exemplo, onde ocorrem os projetos de Assentamento Tauaré e Conceição de Mocajuba; e nos canais menores, situados entre as ilhas, de difícil detecção pela resolução adotada. Nestes casos, a erosão é causada principalmente pela passagem, de forma intensiva, de veículos aquáticos, que trafegam diariamente nesses canais fazendo o percurso ilha-cidade-ilha. A acreção está relacionada com a formação de praias ou de novas ilhas, gerando em algumas situações dificuldades para navegação, especialmente na maré baixa.

Os processos de erosão e acreção do rio Tocantins estão relacionados a diversos fatores naturais e antropogênicos, que incluem a alta carga de sedimentos, a descarga do rio, especialmente com a abertura das comportas da UHT no período chuvoso e o uso da terra em escala espacial distintas, tanto a nível da bacia hidrográfica como local. Citam-se as atividades praticadas pelos ribeirinhos, que alteram a cobertura vegetal nas ilhas, deixando-as suscetíveis à erosão. Neste aspecto, Sil *et al.* (2023) afirmam que qualquer tipo de cobertura vegetal dentro ou nas margens do rio, tem potencial de minimizar os riscos de perdas de solo



associadas. Sendo o rio Tocantins do tipo anastomosado (Oliveira, 2010), a presença de vegetação marginal é um fator de resistência a erosão na ordem 20.000 maior do que em rios com margem sem vegetação, conforme Smith (1976).

Na Tabela 1 e na Figura 5 podem ser visualizados o cenário geral, que indica uma tendência inicial de erosão de 2,72 km² no período de 1985-1995, seguida por um período de estabilidade ou erosão mínima entre 1995 a 2015, onde a maior erosão líquida foi de 0,86 km² (2005-2015), e finalmente, um período de acreção, onde há um ganho líquido de material de 1 km² (2015-2024), indicando processos de deposição, sedimentação ou acumulação de material na região.

	1985-1995	1995-2005	2005-2015	2015-2024
Acreção (km²)	0,7443	1,4346	1,1268	1,9395
Erosão (km²)	3,4632	2,0826	1,9944	0,9333

Tabela 1 - Áreas de erosão e acreção obtidas pela detecção de mudanças.

Fonte: dos autores.

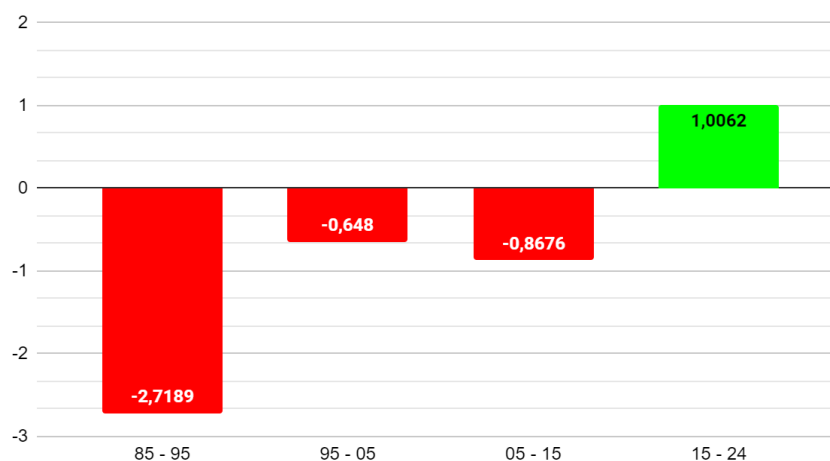


Figura 5. Cenário geral de erosão (vermelho) e acreção (verde) líquidos.

Fonte: dos autores.

A Figura 6 indica taxas de sedimentação uma mais a sudoeste, localizada na ilha que forma o Projeto de Agroextrativistas Ilha Angapijó e a outra na frente da cidade, mesma região que foi verificada alta acreção, a área do Projeto de Assentamento Agroextrativista Conceição de Mocajuba. O formato alongado no sentido do fluxo é o registro do comportamento da sedimentação, formando estruturas mais cumulativas no início da feição, quando o regime fica mais lento, e uma maior dispersão sedimentar, na parte oposta “mais fina”, com o incremento da vazão.

Observam-se que os processos de erosão e acreção estão diretamente relacionados aos fluxos sedimentares (Figura 6). Sua relação com as variações de descarga do rio favorecem a hipótese destes serem potencializados pela barragem do rio a montante de Mocajuba. Os resultados favorecem uma associação com o período de construção da UHT, pois há um padrão de aumento de erosão no início da operação da usina e da acreção, 40 anos aproximadamente, após o funcionamento. Esse processo pode estar associado a deposição de sedimentos dentro do reservatório da usina, com aumento de processos erosivos a jusante da represa (Junk e Melo, 1990). Esses dados concordam com os resultados do estudo de

Velastegui-Montoya et al. (2024), que observaram aumento de erosão como efeito da inauguração do Projeto Hidrelétrica Coca Codo Sinclair no rio Coca no Equador.

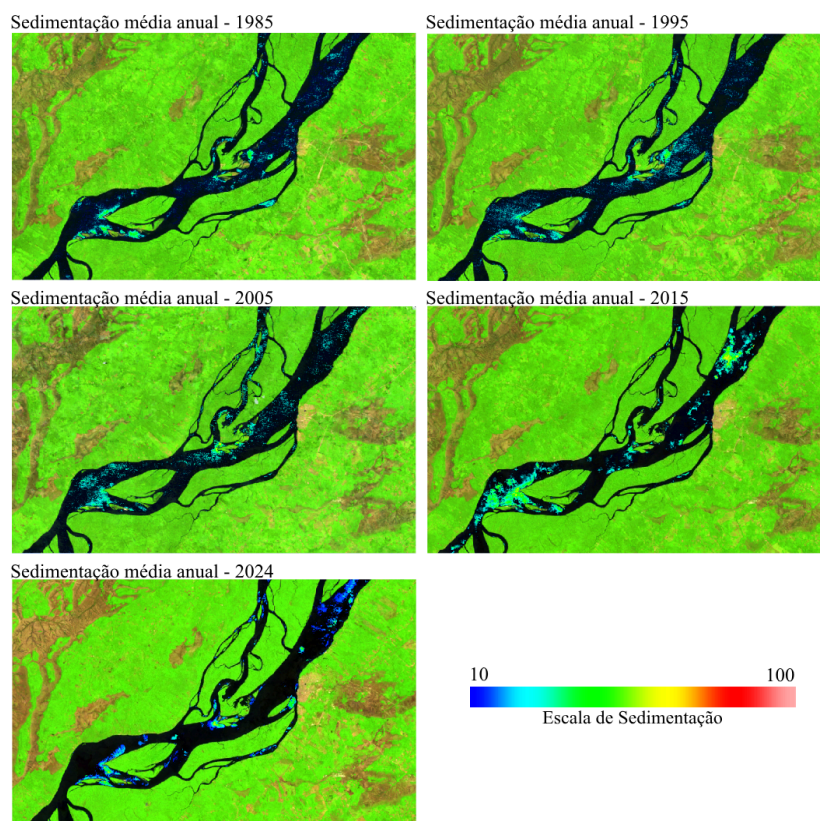


Figura 6. Sedimentação média anual do rio Tocantins no município de Mocajuba - PA entre os anos de 1985 a 2024.

Fonte: dos autores.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados registram-se, ao longo da série histórica analisada, que a hidrografia do município passou por mudanças, tendo um acréscimo na superfície de água. A dinâmica morfológica do rio Tocantins respondeu a estas variações, com o destaque para elevada sedimentação nas ilhas em frente a cidade de Mocajuba.

Tais mudanças estão provavelmente relacionadas à dinâmica da paisagem, mas para confirmar essa correlação seria necessário considerar outros fatores ambientais, como precipitação e uso da terra ampliando e aprofundando assim o estudo.

É importante notar também, no que tange o sensoriamento remoto, que o processamento digital das imagens pode influenciar os resultados, devido ao uso de imagens medianas, sendo sugerido para futuros estudos a criação de coleções de imagens separadas para períodos de seca e cheia. Isso permitiria uma melhor identificação dos processos ocorrendo em diferentes épocas do ano com períodos sazonais distintos.

REFERÊNCIAS



ALVES E SANTOS, D. R.; MARTINEZ, J-M.; OLIVETTI, D.; ZUMAC, A.; GUIMARÃES, D.; ANCIETO, K.; SEVERO, E. FERREIRA, O.; HARMEL, T.; CORDEIRO, M.; FILLIZOLA, N.; SELL, B.; FERNANDES, D.; SOUTO, C.; RIOG, H. Sentinel-2 MSI image time series reveal hydrological and geomorphological control of the sedimentation processes in an Amazonian hydropower dam. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 128, 2024.

BARATA, A. S. N. **Ambiente e ordenamento do território**: a questão ambiental dos desmatamentos em Áreas Protegidas na Amazônia. Estudo de caso na RDS (Reserva de Desenvolvimento Sustentável) ALCobaça, Tucuruí-Pará-Brasil. Universidade de Coimbra, Faculdade de Letras (FLUC), Instituto de Estudos Geográficos. Coimbra, 2011. 112p.

BEZERRA, P. E. S.; ANDRADE, Á. de S.; ANDRADE, M. M. N. Análise multitemporal do rio Tocantins no município de Baião (Pará) após a construção da barragem da Usina Hidrelétrica de Tucuruí. **InterEspaço**, v. 4, n.12, 2018, p. 174-184.

BIJEESH, T. V.; NARASIMHAMURTHY, K. N. A Generic Framework for Change Detection on Surface Water Bodies Using Landsat Time Series Data. In: **Computational Vision and Bio-Inspired Computing**. Singapore: Springer Singapore, 2021, p. 303-314.

BRASIL. **Resolução nº 32, de 15 de outubro de 2003**. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional dos Recursos Hídricos, 2003. Disponível em: <https://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CNRH/Resolucao-CNRH%2032.pdf>. Acesso em: 21 de março de 2024.

CHIEN, W.-H. et al. Study of NDVI Application on Turbidity in Reservoirs. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, v. 44, n. 5, p. 829-836, 2016.

FERREIRA B. G et al. MAPBIOMAS água: dinâmica e tendência da superfície de água no Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 20, 2023, Florianópolis. Anais eletrônicos... São José dos Campos, INPE, 2023.

FUNDAÇÃO AMAZÔNIA DE AMPARO A ESTUDOS E PESQUISAS - FAPESPA. **Estatísticas Municipais Paraenses: Mocajuba**. Belém - PA: Fapespa, 2022.

GORELICK, N. et al. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, v. 202, p. 18-27, dez. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **INMET**: Tempo. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/GraficosAnuais/>. Acesso em: 24 mar. 2024.

JUNK, W. J.; NUNES DEMELO, J. A. S. Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira. **Estudos Avançados**, v. 4, n. 6, 1990.

LANGAT, P. K.; KUMAR, L.; KOECH, R. Monitoring river channel dynamics using remote sensing and GIS techniques. **Geomorphology**, v. 325, p. 92-102, 2019.

LI, H. et al. Accretion-Erosion Dynamics of the Yellow River Delta and the Relationships with Runoff and Sediment from 1976 to 2018. **Water**, v. 12, n. 11, p. 2992, 2020.

LOVRIC, N.; TOSIC, R. Assessment of bank erosion, accretion and channel shifting using remote sensing and GIS: case study—lower course of the Bosna River. **Quaestiones Geographicae**, v. 35, n. 1, p. 81-92, 2016.

MACÊDO, I. L.; THEODORO, S. H.; HERNANDEZ, H. M. O.; CAMPAGNOLI, F. Assessment of soil loss via laminar and linear erosion in the influence area of Tucuruí hydroelectric power station reservoir, Brazil. In: **Off-Site Impacts of Soil Erosion and Sediment Transport**. Prague, Czech Republic. 2007



MÉRONA, B.; JURAS, A. A.; SANTOS, G. M.; CINTRA, I. H. A. **Os peixes e a pesca no baixo Rio Tocantins**: vinte anos depois da UHE Tucuruí. 2010, 208 p.

NAGEL, G.; DARBY, S.; LEYLAND, J. A global analysis of the timing of changes in water extents using Google Earth Engine and Landsat Time Series. [s.l.] **Copernicus GmbH**, 15 de maio de 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5194/egusphere-egu23-4438>. Acesso em: 1 abr. 2024.

OBESO, M. P.; MARQUES, E. E.; GUEDES, T. L. O.; SILVA, J. F. M.; MAKRAKIS, M. C.; CARVALHO, A. G.; MAKRAKIS, S. Hydropower Plants and Ichthyofauna in the Tocantins-Araguaia River Basin: challenges for planning and approaches Ichthyofauna conservation: **Sustainability**, v. 16, 2003, 2024.

OLIVEIRA, L. R. L. de. **Geomorfologia fluvial e navegabilidade do baixo curso do rio Tocantins**. 107f. Dissertação (mestrado em Geologia). Programa de Pós-graduação em Geologia: Universidade de Brasília: Brasília, 2010.

PEREIRA, M. D. Mapeamento de áreas de erosão e acreção no rio Tocantins: trecho compreendido entre a sua foz e a localidade de Cametá/PA. **Revista Geonorte**, v. 2, n. 4, p. 1573-1582, 2012.

QIU, Z.; LIU, D.; DUAN, M.; CHEN, P.; YANG, C.; LI, K.; DUAN, H. Four-decades of sediment transport variations in the Yellow River on the Loess Plateau using Landsat imagery. **Remote Sensing of Environment**. 306, 2024, 114147.

RHYMEE, H. et al. Application of normalized difference vegetation index in agriculture to estimate rice yield. In: BRUNEI INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING AND TECHNOLOGY. 8 2021. Anais... AIP Publishing, 2023.

SIL, B. S.; ASHWINI, K.; ANNAYAT, W.; DEBNATH, J.; FAROOQ, M.; MERAJ, G. Observing Spatiotemporal Inconsistency of Erosion and Accretion in the Barak River Using Remote Sensing and GIS Techniques. **Conservation**, v. 3, n. 1, p. 14-31, 2022.

SILVA, L. M.; OLIVEIRA, G. O. B.; NASCIMENTO, R. S.; ROZA, A. El. D.; CRISPIM, F. A.; GOUVEIA, F. P. ALENCAR JUNIOR, J. A. Avaliação diretas e indiretas da erodibilidade de solos do reservatório da Usina Hidrelétrica de Tucuruí. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 7, n. 2, 2021.

SMITH, D.G. (1976) Effect of vegetation on lateral migration of anastomosed channels of a glacial meltwater river. **Bulletin of Geological Society of America**, 87(6):857-860.

SWANSON, A. C.; KAPLAN, D.; TOH, K.; MARQUES, E. E.; BOHLMAN, S. A. Changes in floodplain hydrology following serial damming of the Tocantins River in the eastern Amazon. **Science of the Total Environment**, v. 800, 2021.

VELASTEGUI-MONTOYA, A.; GARCÍA-ROMERO, J. A.; CHUIZACA-ESPINOZA, I. A.; QUEVEDO, R. P.; SANTANA-CUNHA, C.; OCHOA-BRITO J. I.; ARIAS-HIDALGO, M. Assessing regressive erosion effects: Unveiling riverside land use land cover changes post hydroelectric project construction. **Environmental Challenges**, 15, 2024. 100882

ZAPATA, F. et al. Why normalized difference vegetation index (NDVI)? In: **Biomedical and Other Applications of Soft Computing**. Cham: Springer International Publishing, 2022. p. 83-92.