

TÍTULO

Índices Espectrais no Estudo do Uso e Ocupação do Solo em Belém-PA: Aplicações de NDVI e NDWI na bacia da Estrada Nova.

**Spectral Indices in the Study of Land Use and Occupation in Belém-PA: Applications of
NDVI and NDWI in the Estrada Nova basin.**

Rodrigo Silvano Silva Rodrigues¹

Rafael do Nascimento Pires²

Moisés Gonçalves Pizon³

Lindemberg Lima Fernandes⁴

Luiza Carla Girard Mendes Texeira⁵

Danielle Grey Machado Pantoja⁶

Marco Antônio Araújo de Souza⁷

**Área Temática 5: Meio ambiente, Mudanças climáticas e Sustentabilidade
Modalidade: Artigo Científico**

Resumo

Como nas grandes capitais, Belém enfrenta diversos desafios não só urbanos como ambientais. Este estudo emprega análises geoespaciais com base em índices de sensoriamento remoto para avaliar a distribuição espacial e características ambientais em Belém em particular na bacia da Estrada Nova, onde apresenta elevada densidade populacional. Utilizando NDVI e o NDWI, examinamos a cobertura vegetal e os corpos d'água respectivamente. Os resultados revelam que Belém tem áreas predominantemente com média atividade fotossintética, correlacionadas com corpos hídricos. A Estrada Nova, densamente urbanizada, mostram proporções elevadas de áreas com baixa atividade fotossintética. O NDWI destaca desafios na avaliação de corpos hídricos em Belém, enquanto na Estrada Nova apresenta áreas mais secas. O através do NDVI, foi possível realizar uma caracterização da cobertura vegetal e densidade construtiva, essencial para orientar intervenções de preservação ambiental e ordenamento urbano. Este estudo contribui para entender dinâmicas urbanas, orientando práticas de planejamento sustentável e mitigação ambiental, especialmente em Belém, com desafios e diversidade a serem minimizadas.

Palavras-Chave: Áreas urbanas, Sensoriamento remoto, Planejamento sustentável.

Abstract

¹ UFPA; rcsr@ufpa.br

² UFPA; rafael.np29@gmail.com

³ UFPA; moisespizon20@gmail.com

⁴ UFPA; linlimfer@gmail.com

⁵ UFPA; lugirard@ufpa.br

⁶ UFPA; dgmp05@gmail.com

⁷ UFPA; marco.sousa.projetos@outlook.com

As in major capitals, Belém faces various challenges, both urban and environmental. This study employs geospatial analyses based on remote sensing indices to assess the spatial distribution and environmental characteristics of Belém, particularly in the Estrada Nova basin, an area with high population density. Using NDVI and NDWI, we examined vegetation cover and water bodies, respectively. The results reveal that Belém predominantly has areas with medium photosynthetic activity, correlated with water bodies. Estrada Nova, a densely urbanized area, shows high proportions of regions with low photosynthetic activity. The NDWI highlights challenges in assessing water bodies in Belém, while in Estrada Nova, it indicates drier areas. Through the NDVI, it was possible to characterize vegetation cover and building density, which is essential for guiding environmental preservation interventions and urban planning. This study contributes to understanding urban dynamics, guiding sustainable planning practices and environmental mitigation, especially in Belém, a city marked by challenges and diversity that need to be addressed.

Key words: Urban Areas, Remote Sensing, Sustainable Planning.

1. Introdução

Recentemente, ocorreu um acelerado crescimento na área urbana em países em desenvolvimento de forma global. Toda via, os benefícios sociais e econômicos impulsionado pela urbanização, também pode resultar em problemas ambientais e sociais. A utilização da técnica de sensoriamento remoto, incorporada ao Sistema de Informação Geográfica-SIG, oferece a capacidade de observar a superfície por meio de imagens processadas sem necessitar cursar toda a área de estudo (Rodrigues; Medeiros, 2022). Do mesmo modo, possibilita o mapeamento, análise temporais e qualificação de áreas imageadas (Dutra; Brianezi; Coelho, 2020).

O município de Belém, como outras cidades brasileiras, foi submetido a um processo de urbanização acelerada, principalmente na década de 1980 (Costa et al.; 2021). A capital paraense enfrenta desafios em relação ao ordenamento urbano e infraestruturas necessárias para o desenvolvimento municipal, abrangendo a produção de moradia sem infraestrutura. Instrumentos legais como o Plano Municipal de Saneamento Básico de Belém/PA, nem sempre são plenamente utilizados como ferramentas efetivas de planejamento.

A bacia da Estrada Nova, localizada ao sul da área urbana, possui limites em bairros ao centro do município, com elevada densidade populacional. A presença significativa de canais de macrodrenagem nesta bacia, causam reflexão sobre os impactos da urbanização em locais que antes possuíam corpos hídricos naturais.

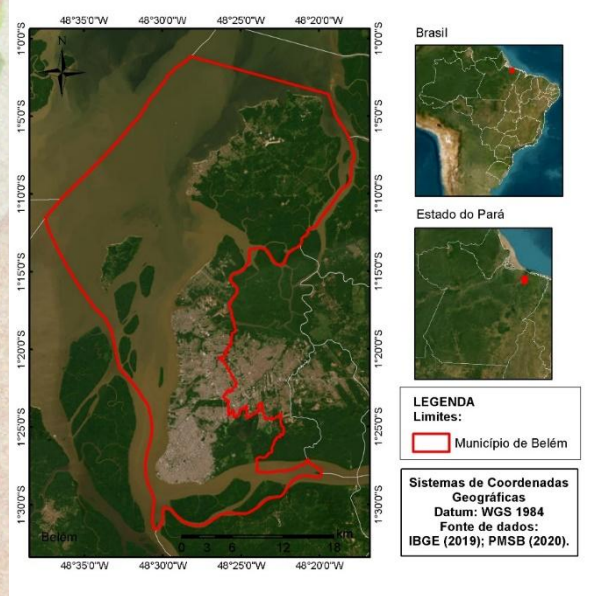
Para compreender os impactos da ausência de continuidade no planejamento urbano em Belém, foram empregados a análise dos índices espectrais NDVI e NDWI. Sendo que o NDVI possibilita avaliar a densidade vegetal e o NDWI destaca os corpos d'água. Desta forma o objetivo deste trabalho foi de avaliar o uso e ocupação do solo da bacia da Estrada Nova por meio de índices espectrais citados anteriormente.

2. Metodologia

Belém, demonstrada na figura 1, localiza-se a 160 km da linha do equador sob as coordenadas geográficas 01° 27'S e 48° 28'W. Considerada a segunda cidade mais populosa da Amazônia (IBGE, 2019; PEREIRA; VIEIRA, 2016). Com uma população estimada de 1.492.745 habitantes. A capital paraense representa 59,70% da população da Região Metropolitana de Belém - RMB, composta por sete municípios, totalizando 2.510.074 habitantes, a maioria em zonas urbanas (IBGE, 2019).

Em 2010, a população era de 1.393.399 habitantes, indicando crescimento moderado. Questiona-se se os princípios do ordenamento espacial estão sendo considerados, dada a possível pressão sobre os recursos hídricos e o comprometimento da qualidade de vida (CARVALHO; ROCHA, 2020).

Figura 1: Localização do Limite territorial da cidade de Belém.



Fonte: Autores (2024).

A capital paraense é caracterizada pela presença da Baía do Guajará a leste, acessível por embarcações até a Ilha de Marajó, e pelo rio Guamá a oeste e que conduz à região Noroeste do estado paraense. Ambas as massas d'água contribuem para paisagens fluviais marcadas por canais pavimentados, valões e esgotos a céu aberto (SOARES, 2021).

O desafio em Belém envolve áreas sem planejamento ocupadas por espaços inadequadas para construção, como terrenos rebaixados e sujeitos a fenômenos de marés, resultando na geração ou intensificação de áreas de risco. É crucial avaliar elementos socioeconômicos e biofísicos com igual peso, pois ambos orientam as transformações no espaço geográfico (Araújo Júnior; Azevedo, 2022).

Bacia da Estrada Nova

Segundo dados do PMB (2019), a bacia da Estrada Nova possui uma área de aproximadamente 998,87 ha, porém, PMB (2020) estima em 966,3 ha, totalmente inserida em áreas urbanas. A bacia é formada por 12 igarapés/canais, está nas várzeas do rio Guamá, com cotas topográficas baixas, propiciando áreas sujeitas a alagamento (TOZI, 2020). Segundo Leão (2014) enfatiza a ocupação inadequada dos cursos d'água, resultando em precariedade socioambiental e comprometendo a qualidade da água.

Processamento de imagens

A utilização de índices espectrais para avaliar o uso do solo visa confirmar as afirmações de Zaldo-Aubanell et al. (2021) e Huang e Lu (2015) sobre como as mudanças na cobertura do solo podem prejudicar a saúde humana e o clima. A obtenção do NDVI ocorreu por meio das imagens dos satélites Thematic Mapper (TM) e Operational Land Imager (OLI) do Landsat 8. A escolha das imagens seguiu critérios de qualidade e cobertura de nuvens, manipulando as imagens do Landsat 8 de 03/08/2023. O mês de agosto está inserido no período menos chuvoso, conforme definido por Moraes e Filho (2018). A utilização dessa imagem associa-se a possibilidade de analisar o período mais crítico recente.

As imagens foram adquiridas junto ao banco de dados do Serviço Geológico dos Estados Unidos, United States Geological Survey (USGS), disponíveis online (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Destaca-se que todas as imagens passaram por correções

geométricas, enquanto as cenas do satélite Landsat 8 passaram por conversão radiométrica (16 para 8 bits).

Os procedimentos para o processamento digital das imagens foram realizados com base em Zha et al. (2003), He et al. (2010) e Xu (2007).

Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).

O NDVI, derivado de dados de satélite, é essencial para analisar a dinâmica da vegetação verde em resposta à variabilidade climática (KALISA et al., 2019). Segundo Portz, Guasselli e Corrêa (2011), o NDVI é um indicador amplo que monitora o vigor da vegetação em grande escala, revelando variações na cobertura vegetal.

De maneira simplificada, o NDVI mede o verde e a densidade da vegetação em imagens de satélite. A absorção da clorofila, próxima a 0,67 µm, nas faixas de vermelho visível e infravermelho próximo é essencial para esse cálculo (GAO, 1996).

Autores como Janssen et al. (2018) e Soares et al. (2020) enfatizam a utilidade do NDVI na estimativa de parâmetros biofísicos da vegetação, minimizando efeitos topográficos, variando entre -1 e +1, sendo maior quanto maior a densidade vegetal.

O NDVI é obtido e calculado a partir das imagens de satélite com a fórmula: $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$, sendo NIR a luz refletida na faixa infravermelha e RED a luz refletida na faixa vermelha. Para os dados de Landsat 8: $(Band 5 - Band 4) / (Band 5 + Band 4)$. A classificação do NDVI é apresentada no Quadro 1.

Quadro 1: Classe de NDVI.

Intervalos do NDVI	Classes atribuídas
0,6 a 0,8	Vegetação com alta atividade fotossintética
0,4 a 0,6	Vegetação com média fotossintética
0,2 a 0,4	Vegetação com baixa atividade fotossintética
0,1 a 0,2	Vegetação com muito baixa atividade fotossintética
0 a 0,1	Solo exposto
< 0,1	Corpo hídrico

Fonte: Oliveira e Aquino (2020).

Índice Normalizado de Diferença da Água (NDWI):

O Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI) apresenta duas formulações propostas por McFeeters (1996) e Gao (1996). Pereira et al. (2018) indicam que o NDWI de Gao (1996) é mais sensível para distinguir o teor de umidade no solo em comparação com o NDWI de McFeeters (1996).

O NDWI de Gao (1996) é utilizado para estimar o teor de umidade na vegetação, calculado pela razão entre as bandas do infravermelho próximo (ρ_{nir}) e infravermelho médio (ρ_{swir}), expresso como $NDWI = (\rho_{nir} - \rho_{swir}) / (\rho_{nir} + \rho_{swir})$. Usando as Bandas 5 (NIR) e 7 (SWIR) do Landsat 8.

O resultado obtido é classificado em períodos, sendo valores inferiores a 0,52 e iguais ou superiores a 0,52 por pixel. Estes valores representam o limiar de áreas úmidas identificado por Pereira et al. (2018), onde valores iguais ou superiores a 0,52 indicam solos com alta umidade em resposta a períodos acumulados de grande precipitação. Neste estudo, a classificação adota na espacialização das informações será de acordo com o Quadro 2.

Quadro 2. Classes de NDWI.

NDWI	Grau de umidade
-0,43 a 0,1	Sem água / Severamente seco
0,1 a 0,27	Moderadamente seco
0,27 a 1	Água / Molhado

Fonte: adaptado de Ji, Zhang e Wylie (2009).

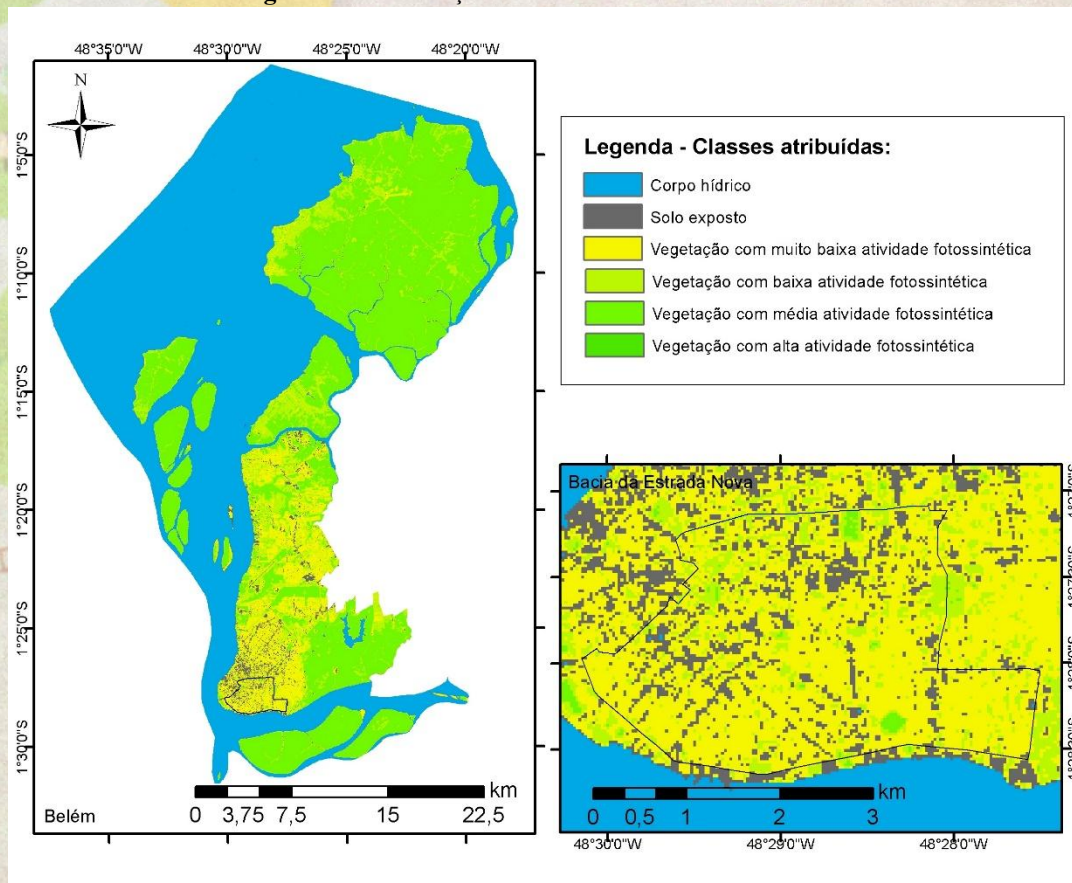
3. Resultados/Discussões

A análise do estudo apresenta uma abordagem dos resultados obtidos por meio de técnicas de sensoriamento remoto, para o município de Belém, abrindo detalhamento para a bacia Estrada Nova. Os dados obtidos através dos Índices de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice Normalizado de Diferença da Água (NDWI), fornecem informações significante sobre a distribuição espacial da cobertura vegetal e umidade do solo.

Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

No contexto do NDVI, observou-se que o município de Belém apresenta uma predominância de áreas com média atividade fotossintética, refletindo a influência de corpos hídricos e ilhas urbanas na paisagem. Em contraste, a bacia da Estrada Nova exibe proporções elevadas de áreas com baixíssima atividade fotossintética, sugerindo uma densa urbanização e possíveis impactos ambientais. Essa análise proporciona uma compreensão mais profunda da dinâmica vegetal e seu contexto urbano, conforme apresenta-se na Figura 2 e na Tabela 1.

Figura 2: Identificação do MDVI na bacia da Estrada Nova.



Fonte: Autores (2025).

Tabela 1. Resultados de NDVI para o município de Belém e bacias da Estrada Nova.

Classes atribuídas	Belém		Estrada Nova		
	Ha	%	Ha	%	%B
Vegetação com alta atividade fotossintética	1,1	0,001	-	-	-

Vegetação com média atividade fotossintética	33.231,5	31,28	8,91	0,96	0,008
Vegetação com baixa atividade fotossintética	8.821,2	8,3	107,55	11,59	0,101
Vegetação com muito baixa atividade fotossintética	7.089,3	6,67	655,38	70,65	0,617
Solo exposto	1.637	1,54	155,25	16,74	0,146
Corpo hídrico	55.466,9	52,21	0,54	0,06	0,001
Total	106.247	100	927.63	100	3,258

Fonte: Autores (2024).

O estudo analisa a distribuição da cobertura vegetal e urbanização em Belém, destacando a bacia da Estrada Nova. O local de estudo existe predominância de áreas urbanas, com extensas áreas de solo exposto, indicando desafios ambientais que também apresenta altas proporções de áreas urbanas, evidenciando suas densidades urbanas.

A presença significativa de solo exposto na Estrada Nova, evidencia possíveis desafios tanto no âmbito ambientais como na cobertura vegetal, com impactos na infiltração e escoamento de águas pluviais urbanas. A predominância de corpos hídricos em Belém confirma a influência marcante dos recursos hídricos no cenário urbana.

Considerando as classes “Vegetação com média atividade fotossintética” e “Vegetação com baixa atividade fotossintética” como cobertura vegetal. No ano de 2023, a capital paraense apresentou 82,82% de cobertura vegetal e 17,18% de áreas urbanas. Sendo que a bacia da Estrada Nova, apresentou os valores de 12,6% e 87,4% de cobertura vegetal e áreas urbanas, respectivamente.

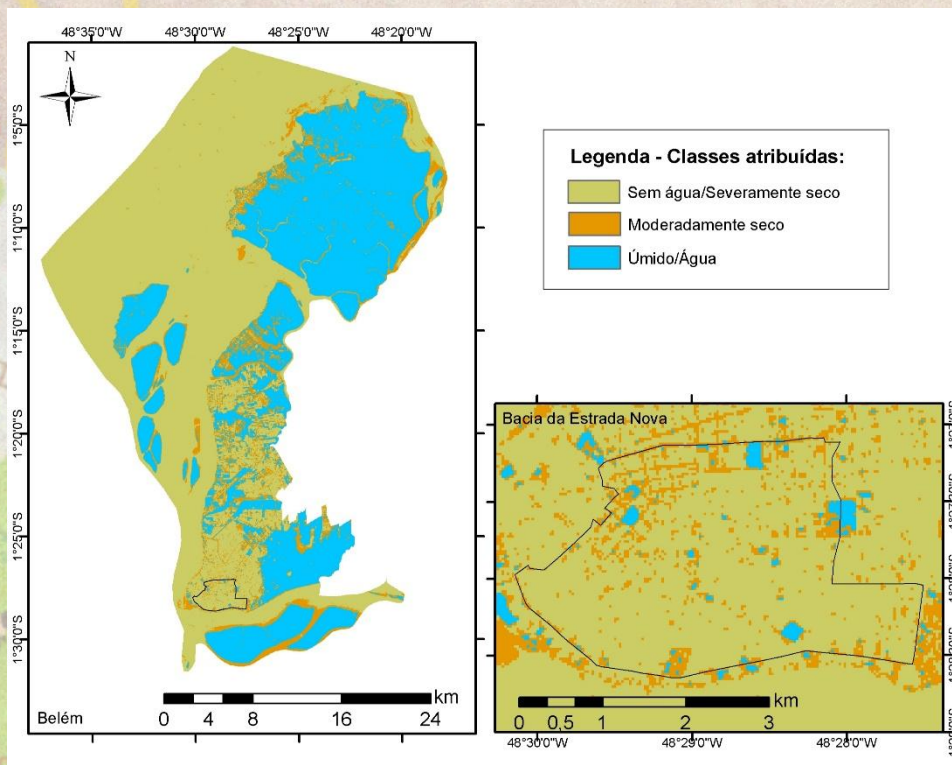
Índice Normalizado de Diferença da Água (NDWI):

Ao explorar o NDWI, destacou-se que os corpos hídricos em Belém tiveram uma classificação ambígua, indicando a necessidade de ajustes na interpretação devido à sua significativa extensão no território municipal. Na bacia da Estrada Nova, foi detectada uma predominância de áreas sem água/severamente seco.

O processamento do NDWI não foi eficaz para avaliação totalitária do município de Belém, pois os corpos hídricos, que representam a extensão territorial de aproximadamente

52% do município, são classificados como “Sem água/Severamente seco”. Afim de proceder com estimativas, a área referente aos corpos hídricos foi extraída da classe “Sem água/Severamente seco”. Os resultados são apresentados na Figura 3 e na Tabela 2.

Figura 3: Identificação do MDWI na bacia da Estrada Nova.



Fonte: Autores (2025).

Tabela 2. Resultados de NDWI para o município de Belém e bacias da Estrada Nova.

Classes atribuídas	Belém		Estrada Nova		
	Ha	%	Ha	%	%B
Sem água/Severamente seco	4.365,1	4,11	775,89	83,64	0,730
Moderadamente seco	9.386,00	8,83	124,56	13,43	0,117
Úmido/Água	37.029,00	34,85	26,64	2,87	0,025
Corpo hídrico	55.466,90	52,21	0,54	0,06	0,001
Total	106.247	100	927,63	100	0,873

Fonte: Autores (2025).

A Tabela 2 revela os resultados do NDWI para Belém e Estrada Nova. As categorias, expressas em hectares e percentagens, oferecem uma análise detalhada da distribuição espacial da umidade do solo e corpos hídricos. No território de Belém, a categoria "Sem água/Severamente seco" representa 4,11%, enquanto locais moderadamente secos e úmidos/água são 8,83% e 34,85%, respectivamente. Corpos hídricos ocupam 52,21% do território.

A bacia em estudo, áreas "Sem água/Severamente seco" predominam, atingindo 83,64%, sugerindo condição mais seca. Áreas moderadamente secas e úmidas/água têm proporções menores, indicando perfil mais árido. Belém tem distribuição equilibrada entre áreas moderadamente secas, úmidas/água e corpos hídricos. Logo, a Estrada Nova destaca-se por áreas "Sem água/Severamente seco", indicando cenário mais seco.

Margalho (2019) observa a redução de áreas verdes e corpos hídricos em Belém, associada à diminuição da umidade do solo e possível aumento de superfícies impermeáveis. Isso impacta o balanço de energia, desviando-a para aquecer a superfície, gerando calor sensível e elevando a temperatura da superfície.

4. Considerações Finais ou Conclusão

O presente estudo destaca a interconexão crítica entre as gestões hídricas, do uso e ocupação do solo, e da superfície urbana, evidenciando a necessidade de uma abordagem integrada para a implementação de estratégias de gestão personalizadas. No município de Belém, a presença marcante de corpos hídricos, influencia a predominância de áreas com atividade fotossintética moderada. Os desafios ambientais na bacia da Estrada Nova foram elucidados pelo NDWI, evidenciando áreas com baixíssima atividade fotossintética e solo exposto.

A gestão integrada de recursos hídricos, uso do solo e superfície é fundamental para abordar os desafios ambientais e urbanos. Os resultados fornecem subsídios valiosos para políticas públicas, regulamentações ambientais e estratégias de adaptação climática. A divulgação desses resultados à comunidade pode fomentar a conscientização e o engajamento em práticas sustentáveis, contribuindo para iniciativas de preservação ambiental.

A identificação discriminada de áreas verdes e urbanizadas, através do NDVI, permite uma caracterização da cobertura vegetal e densidade construtiva, essencial para orientar intervenções de preservação ambiental e ordenamento urbano.

O NDWI, ao monitorar eficazmente a umidade do solo, emerge como ferramenta crucial para identificar áreas propensas a alagamentos, informando estratégias de planejamento urbano para mitigar riscos de inundações.

Os resultados não apenas têm implicações práticas para a gestão urbana e ambiental, mas também apresentam relevância direta na formulação de políticas públicas. A capacidade dessas informações em respaldar decisões sobre o uso do solo, regulamentações ambientais e estratégias adaptativas às mudanças climáticas destaca-se como aspecto fundamental para decisões informadas e sustentáveis.

A divulgação abrangente desses resultados à comunidade não apenas aumentará a conscientização sobre questões urbanas, hidrológicas e ambientais locais, mas também promoverá um engajamento mais robusto em práticas sustentáveis, corroborando esforços coletivos em iniciativas de preservação ambiental.

5. Agradecimentos (opcional)

Agradeço a Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental-FAESA e ao Grupo de Estudo de Águas Urbanas-GEAU que nos apoiaram neste trabalho científico.

6. Referências Bibliográficas.

ARAÚJO JÚNIOR, A. C. R.; AZEVEDO, A. K. A. Bacia hidrográfica da Estrada Nova: dinâmica física e social em Belém (PA). *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 15, n. 05, p. 2178-2193, 2022.

CARVALHO, A. C. L.; ROCHA, G. M. Análise dos riscos e da vulnerabilidade socioambiental urbana, face ao desenvolvimento desordenado e a pressão aos recursos hídricos em Belém—PA. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 4, p. 18127-18142, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n4-108>.

COSTA, F. E. V. et al. A complexidade da questão dos rios urbanos nas cidades amazônicas: o caso de Belém/PA. Cidades amazônicas: formas, processos e dinâmicas recentes na região de influência de Belém. Belém: EDUEPA, p. 240-274, 2021.

DENG, C.; WU, C., BCI: A biophysical composition index for remote sensing of urban environments, *Remote Sensing Of Environment*, v. 127, p.247-259, 2012.

GAO, B. C. NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote sensing of environment**, v. 58, n. 3, p. 257-266, 1996. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3).

HUANG, Q.; LU, Y. The effect of urban heat island on climate warming in the Yangtze river delta urban agglomeration in China. **Int J Environ Res Public Health**, v.12, 2015. <https://doi.org/10.3390/ijerph120808773>.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estimativas 2019.

KALISA, W.; IGBAWUA, T.; HENCHIRI, M.; ALI, S.; ZHANG, S.; BAI, Y.; ZHANG, J. Assessment of climate impact on vegetation dynamics over East Africa from 1982 to 2015. **Scientific Reports**, n. 9, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53150-0>.

LEÃO, M. B. M. S. Macrodrenagem e Urbanização na Bacia da Estrada Nova: Conflitos Entre APP Urbana e Reassentamento em Baixadas de Belém/PA. In: VV. AA.: III Seminário Nacional sobre o Tratamento de Áreas de Preservação Permanente em Meio Urbano e Restrições Ambientais ao Parcelamento do Solo. Belém (Brasil), APP Urbana. 2014.

LU, L. et al. Monitoring bidecadal development of urban agglomeration with remote sensing images in the Jing-Jin-Tang area, China. *Journal Of Applied Remote Sensing*, v. 8, p.1-13, 2014.

MARGALHO, E. S. Avaliação da ilha de calor urbana na localidade de Belém-PA a partir de técnicas de sensoriamento remoto e dados observacionais. 2019. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande-PB.

MORAES, D.; FILHO, M. Contribuição das chuvas do período da tarde em Belém e possíveis relações com a normal climatológica. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 23, p. 18-32, 2018.

PEREIRA, L. E.; MARQUES E. A.; GRIGIO, A. M.; PARANHOS FILHO, A. C. Comparative Analysis of Normalized Difference Water Index (NDWI) Methods in Continental Wetland. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 41, p. 654- 662, 2018. https://doi.org/10.11137/2018_2_654_662.

PORTZ, L.; GUASSELLI, L.; CORRÊA, I. Variação espacial e temporal de NDVI na Lagoa do Peixe, RS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 5, p. 897-908, 2011.

RODRIGUES, J. P. B.; MEDEIROS, W. D. A. Uso e ocupação do solo no município de Mossoró/RN (1998-2018). **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 8, n. 2, 2022. <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2022v8n2ID26459>.

SOARES, J.; DANELICHEN, V. H. M.; PEREIRA, O. A.; MARTINS, A. L. Estudo da dinâmica espaçotemporal do NDVI no município de Sorriso-MT. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 2, p. 834-841, 2020.

TOZI, S. C. Conflitos Socioambientais em torno dos recursos hídricos na cidade de Belém, no Estado do Pará (Brasil). **Agua y territorio= Water and Landscape**, n. 15, p. 73-78, 2020.

XU, H. Extraction of urban built-up land features from Landsat imagery using a thematic-oriented index combination technique. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 73, p.1381-1391, 2007. <https://doi.org/10.14358/PERS.73.12.1381>

ZALDO-AUBANELL, Q.; SERRA, I.; SARDANYÉS, J.; ALSEDÀ, L.; MANEJA, R. Reviewing the reliability of Land Use and LandCover data in studies relating human health to the environment. **Environmental Research**, v. 194, p. 110578, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110578>.

ZHA, Y.; GAO, J.; NI, S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 24, n. 3, p. 583-594, 2003. <https://doi.org/10.1080/01431160304987>.

