

ANÁLISE ESPACIAL DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM BELÉM/PA: APLICAÇÃO DE NVDI E NDWI

MAPPING LAND USE PATTERNS IN BELÉM-PA USING VEGETATION (NDVI) AND WATER (NDWI) INDICES

Giovanni Max Costa Ribamar¹
Rodrigo Silvano Silva Rodrigues²
Germana Menescal Bittencourt³
Lindemberg Lima Fernandes⁴
Ana Paula Bragança da Silva⁵
Marco Antônio Araújo de Sousa⁶
Danielle Grey Machado Pantoja⁷

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

Resumo

Este estudo analisou os impactos da urbanização desordenada em Belém/PA utilizando os índices NDVI (vegetação) e NDWI (água) a partir de imagens do satélite Landsat 8 (2023), com o objetivo de avaliar a cobertura vegetal e a presença de corpos d'água para subsidiar políticas de planejamento urbano e ambiental. A metodologia incluiu processamento de imagens (bandas 4, 5 e 7 do Landsat 8) para cálculo do NDVI (saúde da vegetação) e NDWI (umidade e água), com classificação dos resultados em categorias como alta/média/baixa vegetação, solo exposto e áreas úmidas. Os resultados mostraram que 52,21% do território é ocupado por corpos d'água (rios, baías), 31,28% tem vegetação com média atividade fotossintética, enquanto apenas 0,001% apresenta alta densidade verde, e áreas urbanizadas (4,11% severamente secas) refletem impermeabilização do solo e redução de áreas verdes. Concluiu-se que a expansão urbana comprometeu a cobertura vegetal e aumentou superfícies impermeáveis, agravando ilhas de calor, com a gestão fragmentada e falta de planejamento baseado em bacias hidrográficas exigindo ações integradas. Recomenda-se políticas de infraestrutura verde (parques, drenagem sustentável), governança colaborativa entre secretarias e monitoramento contínuo via sensoriamento remoto para melhorar o planejamento urbano e ambiental em Belém.

Palavras-Chave: Sensoriamento remoto, Planejamento urbano, Impermeabilização do solo, Bacias hidrográficas.

Abstract

This study analyzed the impacts of unplanned urbanization in Belém/PA using NDVI (vegetation) and NDWI (water) indices derived from Landsat 8 satellite images (2023), aiming to evaluate vegetation cover and water bodies to support urban and environmental planning policies. The methodology included image processing (Landsat 8 bands 4, 5, and 7) to calculate NDVI (vegetation health) and NDWI (soil moisture and water), with results classified into categories such as high/medium/low vegetation, bare soil, and wet areas. Results showed that 52.21% of the territory is occupied by water bodies (rivers, bays), 31.28% has vegetation with medium photosynthetic activity, while only 0.001% shows high green density, and urbanized areas (4.11% severely dry) reflect soil sealing and reduction

¹ UFPA; gilcosta002@gmail.com

² UFPA; rssr@ufpa.br

³ UFPA; germana.menescal@gmail.com

⁴ UFPA; linlimfer@gmail.com

⁵ UFPA; paulabraganca1245@gmail.com

⁶ UFPA; ufpamarcoaraujo@gmail.com

⁷ UFPA; daniellegrey@live.com

of green spaces. The study concluded that urban expansion has compromised vegetation cover and increased impermeable surfaces, exacerbating heat islands, with fragmented management and lack of watershed-based planning requiring integrated actions. Recommendations include green infrastructure policies (parks, sustainable drainage), collaborative governance among departments, and continuous remote sensing monitoring to improve urban and environmental planning in Belém.

Keywords: Remote sensing, Urban planning, Soil sealing, Watersheds.

1. Introdução

A dinâmica da paisagem, centrada na relação entre o homem e a natureza, é central em estudos contemporâneos, destacando a análise como ferramenta para compreender transformações ao longo do tempo (Dutra; Brianezi; Coelho, 2020). A avaliação do uso do solo, prática recorrente em estudos geográficos, busca contribuir para gestão ambiental e ordenamento territorial (Rodrigues; Medeiros, 2022).

No contexto da expansão urbana e impactos na supressão da vegetação, geotecnologias como SIG e sensoriamento remoto desempenham papel crucial. Elas permitem análises temporais, mapeamento e quantificação de áreas quanto o tipo e uso das mesmas (Dutra; Brianezi; Coelho, 2020). A utilização do sensoriamento remoto, associado ao SIG, oferece capacidade de observar a superfície por meio de imagens processadas sem percorrer toda a área de estudo (Rodrigues; Medeiros, 2022). Dusi e Bueno (2016) destacam a importância de identificar a compatibilidade de usos em ambientes específicos, considerando características como tendência a inundações ou altas declividades. Estabelecer uma estrutura geral para o planejamento do uso do solo, demanda participação de diversos atores (Dusi; Bueno, 2016).

Custódio e Oliveira (2017) alertam para consequências da legislação brasileira sobre uso do solo urbano, permitindo degradação e contribuindo para o aquecimento global. O planejamento e gestão do uso do solo exigem participação mais ativa do poder público (Dusi; Bueno, 2016). Belém, como outras cidades brasileiras, foi submetida a um processo de urbanização acelerado, especialmente na década de 1980 (Costa et al., 2021). A cidade enfrenta desafios em relação ao ordenamento urbano e infraestruturas necessárias para o desenvolvimento municipal, incluindo a produção de moradias sem infraestrutura. Instrumentos legais como o Plano Municipal de Saneamento Básico de Belém/PA nem sempre são plenamente utilizados como ferramentas efetivas de planejamento.

Assim, o trabalho tem como objetivo compreender os impactos da ausência de continuidade no planejamento urbano em Belém, a partir da análise dos índices espectrais

NDVI e NDWI. Com isso, possibilitando a avaliação da densidade vegetal e a presença corpos d'água, ou seja, superfícies onde são escoadas ou acumuladas.

2. Metodologia

Belém, capital do Pará, está situada a cerca de 160 km da linha do equador sob as coordenadas geográficas $01^{\circ} 27'S$ e $48^{\circ} 28'W$. Com um terço da população estadual, é a segunda cidade mais populosa da Amazônia (IBGE, 2019; Pereira; Vieira, 2016). Com uma população estimada de 1.492.745 habitantes, Belém 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). Este estudo nos limites do município de Belém, conforme apresentado na Figura 1.

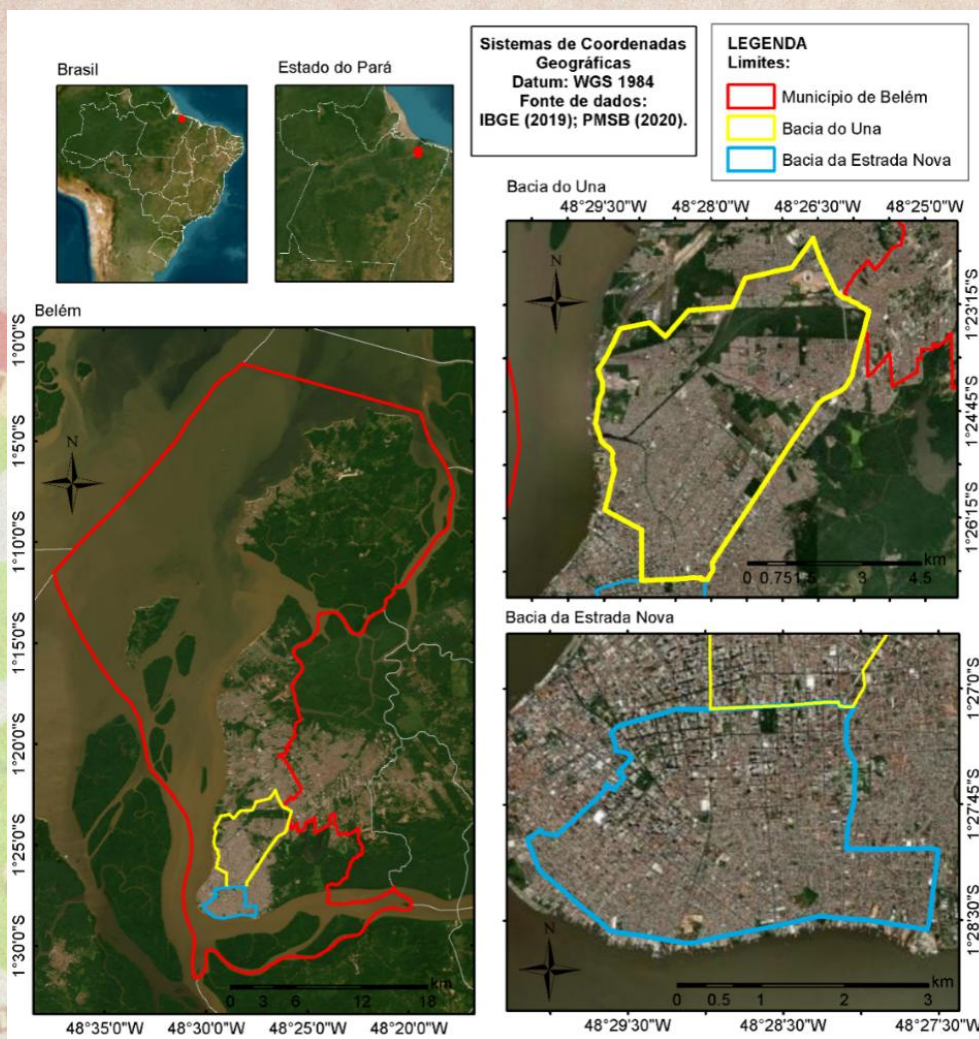


Figura 1. Mapa das áreas de estudo. **Fonte:** Autor.

O Plano Municipal de Saneamento Básico (PMB, 2014) foi elaborado para orientar ações públicas e privadas relacionadas ao saneamento básico em Belém. No entanto, falhas foram identificadas, como a não delimitação correta das bacias hidrográficas, como exemplo das bacias do Una e Estrada Nova, e a ausência de abordagem sobre manejo de resíduos sólidos, limpeza urbana e drenagem (Braga, Barbosa e Almeida, 2014).

Na versão mais recente do PMB (2020), em seu Volume IV, referente ao sistema de drenagem urbana e manejo de águas pluviais, fica expresso que Belém ainda não utiliza bacias hidrográficas como unidades de planejamento, e que falta integração entre as secretarias municipais. Conflitos nas bases de bacias hidrográficas entre a Companhia de Desenvolvimento e Administração da Área Metropolitana de Belém (CODEM) e a Secretaria Municipal de Saneamento de Belém (SESAN) também foram identificados.

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

O PMSB (2020) identificou 47 bacias hidrográficas em Belém, relacionadas aos sistemas de drenagem e à topografia, servindo como ferramenta para o planejamento urbano do município. A complexidade dos temas relacionados aos rios urbanos e bacias hidrográficas urbanas na Amazônia é reconhecida, considerando a urbanização desigual dessa região (Costa et al., 2021).

O desafio em Belém envolve áreas sem planejamento ocupadas por terrenos impróprios 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).

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 mudanças na cobertura do solo podem afetar 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. Classes 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 atividade 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

Essa análise apresenta uma abordagem dos resultados obtidos por meio de técnicas de sensoriamento remoto, para o município de Belém. Os dados obtidos através dos índices de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), Normalizado de Diferença da Água (NDWI), fornecem informações sobre a distribuição espacial da cobertura vegetal, 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. Essa análise proporciona uma compreensão mais profunda da dinâmica vegetal e seu contexto urbano, conforme apresenta-se na Figura 2 e na Tabela 1.

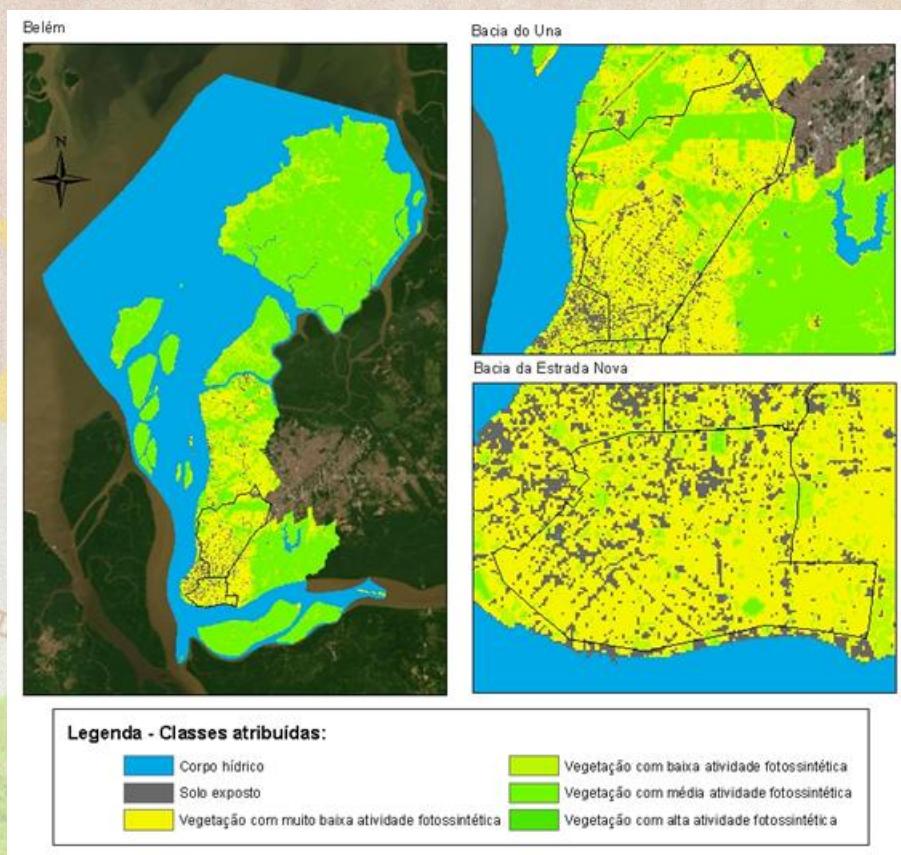


Figura 2. Mapa do NDVI das áreas de estudo. **Fonte:** Autores, 2024.

Tabela 1. Resultados de NDVI para o município de Belém

Classes atribuídas	Belém	
	Ha	%
Vegetação com alta atividade fotossintética	1,1	0,001
Vegetação com média atividade fotossintética	33.231,5	31,28
Vegetação com baixa atividade fotossintética	8.821,2	8,3
Vegetação com muito baixa atividade fotossintética	7.089,3	6,67
Solo exposto	1.637	1,54
Corpo hídrico	55.466,9	52,21
Total	106.247	100

Fonte: Autores, 2024.

O estudo analisa a distribuição da cobertura vegetal e urbanização em Belém e a predominância de corpos hídricos confirma a influência marcante dos recursos hídricos na paisagem urbana, sendo essencial para considerações ambientais e gestão urbana.

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. Com isso, o processamento do NDWI não considerou a totalidade do município de Belém, pois os corpos hídricos, representando aproximadamente 52% do município, são classificados como “Sem água/Severamente seco”. A fim de proceder com estimativas, a área referente aos corpos hídricos foi extraída da classe “Sem água/Severamente seco” para “Corpo hídrico”. Os resultados são apresentados na Figura 3 e na Tabela 2.

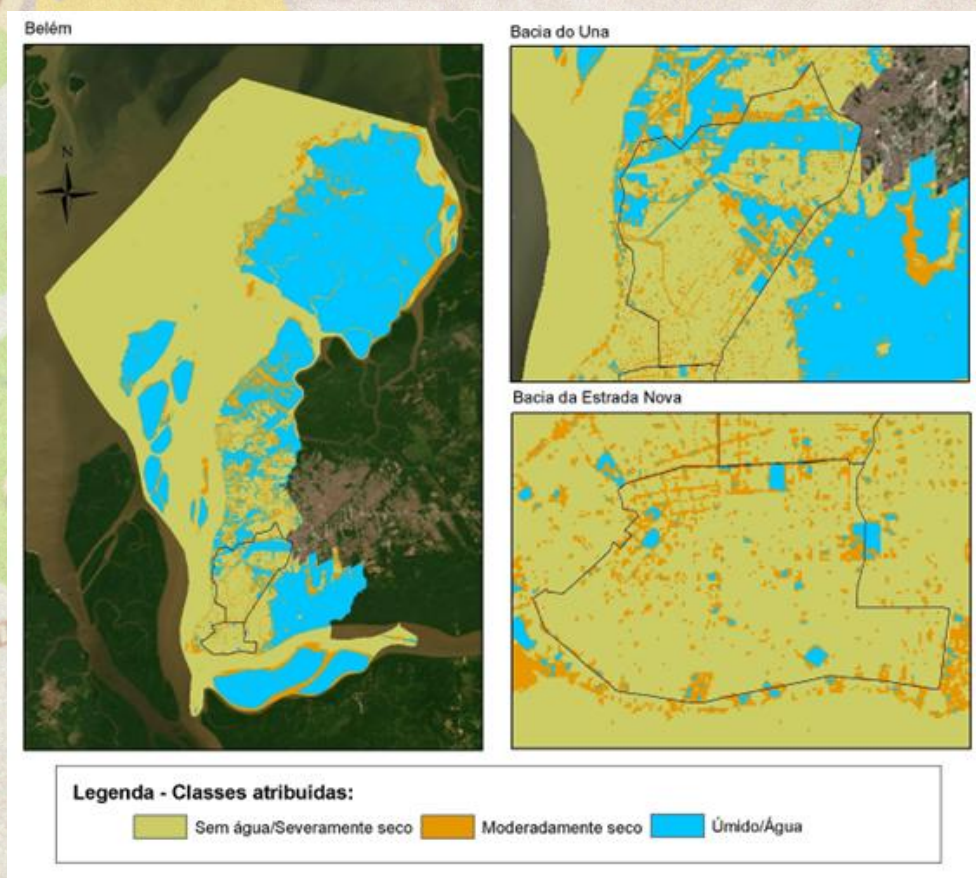


Figura 3. Mapa do NDWI das áreas de estudo. **Fonte:** Autores, 2024.

Tabela 2. Resultados de NDWI para o município de Belém. **Fonte:** Autores, 2024.

Classes atribuídas	Belém	
	Ha	%
Sem água/Severamente seco	4.365,1	4,11
Moderadamente seco	9.386,00	8,83
Úmido/Água	37.029,00	34,85
Corpo hídrico	55.466,90	52,21
Total	106.247	100

A Tabela 2 e Figura 3 revela os resultados do NDWI para Belém. As categorias, expressas em hectares e percentagens, oferecem uma análise detalhada da distribuição espacial da umidade do solo e corpos hídricos.

Considerando as classes “Vegetação com média atividade fotossintética” e “Vegetação com baixa atividade fotossintética” como cobertura vegetal, em 2023 Belém apresenta 82,82% de cobertura vegetal e 17,18% de áreas urbanas. Desconsiderando a porcentagem relacionada a corpos hídricos.

Em Belém, "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. Belém tem distribuição equilibrada entre áreas moderadamente secas, úmidas/água e corpos hídricos.

Margalho (2019) observa 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. Em Belém, a presença marcante de corpos hídricos influencia a predominância de áreas com atividade fotossintética moderada.

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.

As conclusões derivadas da análise dos índices espectrais NDVI e NDWI, destacam implicações cruciais para a gestão integrada dos aspectos urbanos e ambientais. A identificação discriminada de áreas verdes e urbanizadas, isso permite uma caracterização detalhada 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. A avaliação da intensidade construtiva pelo NDBI, mostra uma visão importantes sobre a expansão urbana e conservação de áreas verdes, é valiosa para políticas urbanísticas equilibradas.

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 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.

Belém é um município onde em seu PMSB existem críticas a própria gestão municipal, como a não utilização de bacias hidrográficas como unidades de planejamento e a falta integração entre as secretarias municipais. A orientação do planejamento de infraestrutura carece de organização e governança institucional. Essas análises proporcionam diretrizes atuais para a construção de parques, expansão de redes de drenagem e implementação de áreas verdes, essenciais para reduzir a impermeabilização do solo e promover ambientes urbanos mais saudáveis.

5. 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.

BRAGA, R. C.; BARBOSA, A. L. C.; ALMEIDA, L. S. Urbanização e áreas de alagamento sem Belém: Estudo da bacia da Estrada Nova. Anais do VII Congresso Brasileiro de Geógrafos. ISBN 978-85-98539-04-1. Vitória-ES. 2014.

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.

CUSTÓDIO, M.; OLIVEIRA, E. A legislação brasileira de uso e ocupação do solo e sua dissonância sistêmica com fatores redutores da refletância da energia solar / Legislação brasileira sobre uso e ocupação do solo e sua dissonância do sistema com fatores redutores da energia solar. **Revista de Direito da Cidade**, v. 9, p. 867-892, 2017. <https://doi.org/10.12957/rdc.2017.27045>

DUSI, L.; BUENO, L. D. O planejamento em áreas protegidas por seu valor ambiental e as ferramentas de gestão. **Ignis**, v.5, n.2, p. 44-61, 2016.

DUTRA, D. J.; BRIANEZI, D.; COELHO, C. W. G. A. Uso de geotecnologias para análise da dinâmica da vegetação da sub-bacia do Ribeirão Serra Azul, MG. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 43, n. 4, p. 283-292, 2020. http://dx.doi.org/10.11137/2020_4_283_292

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)

HE, C.; SHI, P.; XIE, D.; ZHAO, Y. Improving the normalized difference built-up index to map urban built-up areas using a semiautomatic segmentation approach. **Remote Sensing Letters**, v. 1, n. 4, p. 213-221, 2010. <https://doi.org/10.1080/01431161.2010.481681>

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.

JANSSEN, T. A. J.; AMETSITSI, G. K. D.; COLLINS, M.; ADU-BREDU, S.; OLIVERAS, I.; MITCHARD, E. T. A.; VEENENDAAL, E. M. Extending the baseline of tropical dry forest

loss in Ghana (1984–2015) reveals drivers of major deforestation inside a protected area. **Biological Conservation**, n. 218, p. 163-172, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.12.004>

JI, L.; ZHANG, L.; WYLIE, B. Analysis of dynamic thresholds for the normalized difference water index. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, n. 75, p. 1307-1317, 2009. <https://doi.org/10.14358/PERS.75.11.1307>

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>

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.

MCFEETERS, S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, v. 17, p. 1425-1432, 1996. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>

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.

OLIVEIRA, L. N.; AQUINO, C. M. S. Índice da Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) na sub-bacia hidrográfica do rio Gurguéia, Piauí-Brasil: análise do efeito da expansão agrícola. **Revista Georaguia**, v. 10, n. 2, p. 126-143, 2020.

PEREIRA, F. S.; VIEIRA, I. C. G. Expansão urbana da Região Metropolitana de Belém sob a ótica de um sistema de índices de sustentabilidade. **Ambiente e Água. An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, v. 11, n. 3, p.731-744, 2016. <https://doi.org/10.4136/ambiente.1878>

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

PMSB. Prefeitura Municipal de Belém. Plano Municipal de Saneamento Básico. 2020.

PMB. Prefeitura Municipal de Belém. Plano Municipal de Saneamento Básico de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário de Belém – Pará, 2014 a 2033. 2014.

PMB. Prefeitura Municipal de Belém. Secretaria Municipal de Saneamento (SESAN). Manual de Operação e Manutenção dos Sistemas de Saneamento Básico da Cidade de Belém. 2019.

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.

SOARES, P. P. M. A. A cidade e suas margens: memória e práticas da água na Bacia do Una, em Belém (PA). **Amazônica-Revista de Antropologia**, v. 13, n. 2, p. 577-607, 2021. <http://dx.doi.org/10.18542/amazonica.v13i2.10018>

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>