

ANALISE ESPACIAL DO USO E COBERTURA DO SOLO EM BELÉM/PA: APLICAÇÃO DE ÍNDICES ESPECTRAIS NDBI E BU NA BACIA DO UNA.

SPATIAL ANALYSIS OF LAND USE AND LAND COVER IN BELÉM/PA: APPLICATION OF NDBI AND BU SPECTRAL INDICES IN THE UNA BASIN.

Rodrigo Silvano Silva Rodrigues¹
Danielle Grey Machado Pantoja²
Giovanni Max Costa Ribamar³
Luiza Carla Girard Mendes Teixeira⁴
Germana Menescal Bittencourt⁵
Ana Paula Bragança da Silva⁶
Moisés Gonçalves Pizon⁷

Área Temática 5: Meio ambiente, Mudanças Climáticas e Sustentabilidade

Modalidade: Artigo Científico

Resumo

Este estudo analisa a distribuição espacial da ocupação urbana em Belém (PA), com foco na bacia hidrográfica do Una, por meio dos índices espectrais NDBI e Built-Up. A metodologia baseou-se em imagens Landsat 8 (OLI), com processamento digital para extração dos índices. Os resultados apontam que a bacia do Una possui uma predominância de áreas com média intensidade construtiva (64,63%), seguida de áreas com baixa intensidade (31,17%) e uma pequena fração de alta intensidade (4,12%). A análise integrada dos índices permite identificar um elevado grau de urbanização difusa, com intensa impermeabilização do solo e urbanização intermediária, configurando um cenário crítico para o planejamento urbano e ambiental. Os dados obtidos oferecem subsídios técnicos relevantes para a formulação de políticas públicas, especialmente na delimitação de zonas mais afetadas e mais suscetíveis à implantação de infraestrutura verde e controle do uso e ocupação do solo.

Palavras-Chave: Geoespacial; Sensoriamento remoto; Urbanização; Cobertura vegetal; dinâmicas ambientais urbanas.

¹ Universidade Federal do Pará; rssr@ufpa.br

² Universidade Federal do Pará; danielle.pantoja@itec.ufpa.br

³ Universidade Federal do Pará; gilcosta002@gmail.com

⁴ Universidade Federal do Pará; lugirard@ufpa.br

⁵ Universidade Federal do Pará; germana.menescal@gmail.com

⁶ Universidade Federal do Pará; paulabraganca1245@gmail.com

⁷ Universidade Federal do Pará; moisespizon20@gmail.com

Abstract

This study analyzes the spatial distribution of urban occupation in Belém (PA), focusing on the Una watershed, using the NDBI and Built-Up spectral indices. The methodology was based on Landsat 8 (OLI) images, with digital processing to extract the indices. The results show that the Una basin has a predominance of areas with medium construction intensity (64.63%), followed by areas with low intensity (31.17%) and a small fraction of high intensity (4.12%). The integrated analysis of the indices identifies a high degree of diffuse urbanization, with intense soil sealing and intermediate urbanization, creating a critical scenario for urban and environmental planning. The data obtained provides relevant technical input for the formulation of public policies, especially in the delimitation of the zones most affected and most susceptible to the implementation of green infrastructure and control of land use and occupation.

Key words: Geospatial; Remote sensing; Urbanization; Vegetation cover; Urban environmental dynamics.

Introdução

A expansão urbana tem gerado impactos significativos com a crescente demanda de recursos, impermeabilização do solo, aliada a supressão vegetal, afeta a dinâmica hidrológica e térmica urbana. Cidades amazônicas como Belém, experimentaram um intenso processo de urbanização, especialmente na década de 1980 (Costa et al., 2021). O município enfrenta dificuldades relacionadas à organização urbana e à infraestrutura básica para atender às demandas do crescimento populacional, como a construção de habitações desprovidas de serviços essenciais como saneamento básico. As ferramentas legais, como o Plano Municipal de Saneamento Básico de Belém/PA, nem sempre são efetivamente utilizadas como instrumentos de planejamento estratégico pelas autoridades competentes.

A avaliação do uso e ocupação do solo, prática comum em pesquisas geográficas, tem como objetivo contribuir para a gestão ambiental e o planejamento territorial (Rodrigues; Medeiros, 2022). Diante da expansão urbana e dos impactos associados à supressão da cobertura vegetal, tecnologias como os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e o sensoriamento remoto desempenham um papel estratégico. Essas ferramentas possibilitam análises temporais, mapeamento detalhado e a quantificação de áreas representativas e de interesse para gestão e debates sobre os usos e seus efeitos. (Dutra, 2020).

Para compreender os efeitos da descontinuidade no planejamento urbano de Belém, a aplicação de índices espectrais como o NDBI e o Built-up revela-se indispensável. O NDBI é útil para identificar áreas edificadas, enquanto o índice Built-up permite distinguir entre regiões urbanizadas e aquelas cobertas por vegetação. Desse modo, este trabalho tem como objetivo analisar espacialmente a dinâmica do uso e cobertura do solo na bacia do Una, em Belém/PA,

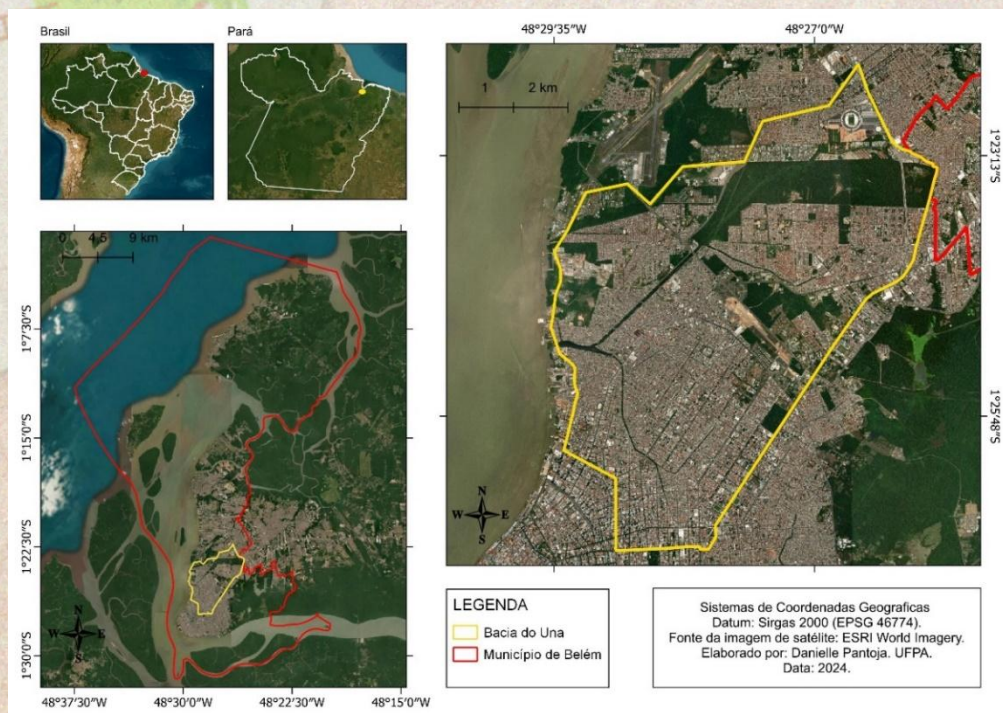
com ênfase na detecção de superfícies construídas por meio da aplicação dos índices espectrais NDBI e Built-up (BU). Oferecendo subsídios para futuras ações de planejamento sustentável na cidade, com base na análise destes índices.

1. Metodologia

Belém, capital do Pará, está localizada a cerca de 160 km da linha do Equador, nas coordenadas 01°27'S e 48°28'W. Com 59,70% da população da Região Metropolitana de Belém (RMB), composta por sete municípios e totalizando 2.510.074 habitantes (IBGE, 2019), a maioria de sua população reside em áreas urbanas.

A bacia hidrográfica do Una, uma das maiores de Belém, ocupa aproximadamente 3.805,33 ha (PMSB, 2019). Segundo o PMSB (2020), sua área urbana de 3.681ha abrigava cerca de 613.373 habitantes em 2010, representando 44% da população total da cidade. A urbanização na bacia gerou canais de macrodrenagem que correspondem a 28,7% da extensão total da cidade, com 27.035 metros de canais mapeados (PMSB, 2020). Contudo, uma parte significativa da população enfrenta condições precárias devido a questões ambientais e deficiências nas políticas públicas (Soares, 2021).

Figura 1- Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Autores, 2024.

Para estudar o uso e a ocupação do solo, foram utilizados índices espectrais com base em imagens do satélite Landsat 8 OLI, obtidas junto ao banco de dados do United States Geological Survey (USGS), adquiridas em 03/08/2023. A cena utilizada foi selecionada com base em critérios de mínima cobertura de nuvens e data representativa do período seco. As imagens, obtidas no banco de dados passaram por correções geométricas e radiométricas (16 para 8 bits). O processamento digital seguiu métodos descritos por Zha et al. (2003), He et al. (2010) e Xu (2007). As bandas espectrais utilizadas foram: Banda 5 (NIR); Banda 6 (SWIR) e Banda 10 (infravermelho termal).

O Índice de Construções de Diferença Normalizada (NDBI), desenvolvido por Zha, Gao e Ni (2003), destaca áreas construídas ao comparar o infravermelho próximo (NIR) e o infravermelho médio (SWIR). A fórmula utilizada foi adaptada às bandas 6 e 5 do Landsat 8.

$$NDBI = \frac{SWIR - NIR}{SWIR + NIR} \rightarrow Landsat 8 = \frac{B6 - B5}{B6 + B5}$$

Com precisão de mapeamento de até 92,6% (Almeida et al., 2021), os valores do NDBI variam de -1 a -0,05 (baixa intensidade), -0,05 a 0,12 (média) e 0,12 a 1 (alta).

Outro índice aplicado foi o Built-Up Index (BU), que diferencia áreas impermeáveis (NDBI positivo) de áreas vegetadas (NDVI positivo).

$$BU = NDBI - NDVI$$

Ele auxilia na classificação de áreas urbanas e solo exposto. Segundo Kshetri (2018), o método requer a criação de bandas compostas e operações complexas, cuja precisão depende do analista. As classes de intensidade de construção variam de baixa (< -0,7) a alta (> -0,2), conforme Oliveira, Cerqueira Neto e Silva (2021) Tabela1.

Tabela 1: Classes de Índice de Intensidade de Impermeabilização Urbana

BU	Intensidade de áreas construídas
< -0,7	Baixa
-0,7 a -0,5	Baixa-Média
-0,5 a -0,3	Média
-0,3 a -0,2	Média-Alta
> -0,2	Alta

Fonte: Oliveira, Cerqueira Neto e Silva (2021).

Técnicas como essas permitem avaliar o impacto da urbanização no meio ambiente, fornecendo subsídios para políticas públicas mais eficazes.

2. Resultados/Discussões

Este estudo integra um projeto de pesquisa sobre uso e ocupação do solo e apresenta uma análise dos resultados obtidos por técnicas de sensoriamento remoto, com foco no município de Belém, destacando a bacia do Una.

Índice de Construções de Diferença Normalizada (NDBI)

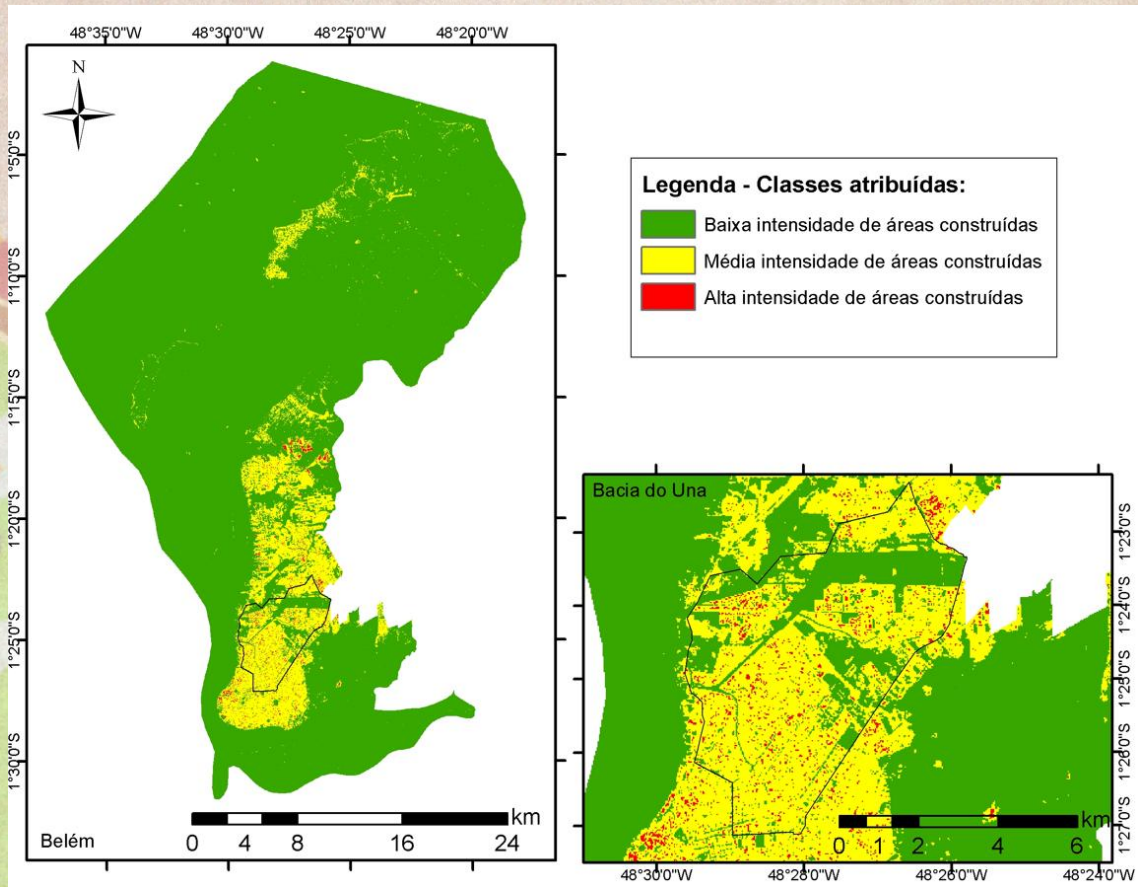
A análise do NDBI revelou que a bacia do Una apresenta uma distribuição relativamente equilibrada entre intensidades construtivas. Para estimativas mais precisas, as áreas de corpos hídricos foram extraídas da categoria “Baixa intensidade de áreas construídas”, que também engloba vegetações mais densas. A Tabela 2 reflete os resultados do Índice de Construções de Diferença Normalizada (NDBI) no município de Belém, para a bacia do Una. Esses valores, expressos em hectares (ha) e porcentagens (%), proporcionam detalhes sobre a distribuição espacial das categorias relacionadas à intensidade construtiva.

Tabela 2: Resultados do NDBI para a área de estudo, intensidade de áreas construídas:

Classes atribuídas	Área (ha)	%	%B
Baixa	1.078,83	31,17%	1,015%
Média	2.236,95	64,63%	2,105%
Alta	142,74	4,12%	0,134%
Corpos hídricos	2,52	0,07%	0,002%
Total	3.461,04	100%	3,258%

Fonte: Autores, 2024.

Figura 1- Mapa do NDBI das áreas de estudo.



Fonte: Autores, 2024.

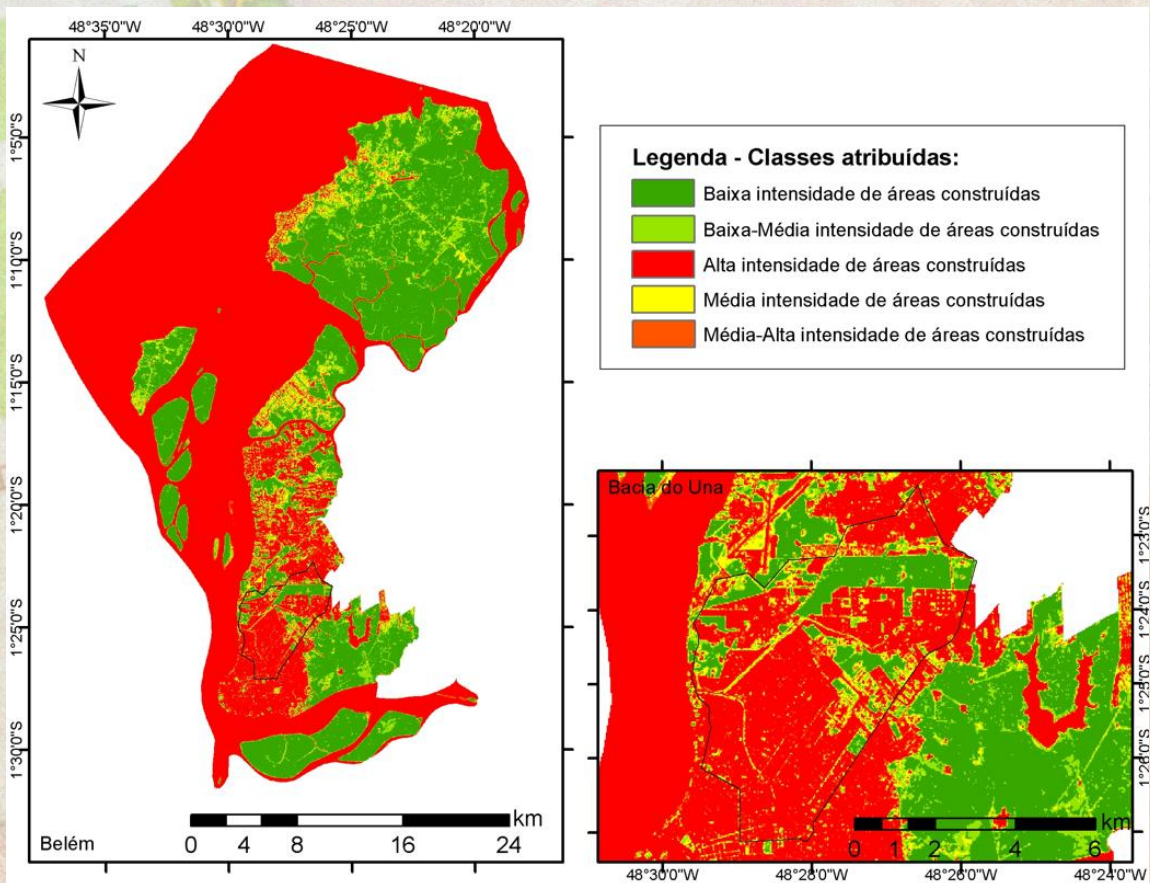
A análise do NDBI na bacia do Una evidenciou a predominância de áreas com média intensidade construtiva, que correspondem a aproximadamente 64,63% da área total (Tabela 1). Esse resultado indica um processo de urbanização consistente, mas heterogêneo. As áreas de baixa intensidade construtiva somam 31,17%, enquanto as de alta intensidade representam apenas 4,12%, sugerindo menor presença de áreas totalmente impermeabilizada. A distribuição espacial revela que as áreas mais adensadas tendem a se concentrar nas porções central e sudoeste da bacia, coincidentes com bairros consolidados como Pedreira, Sacramento e Marco. Por outro lado, as margens de canais e áreas periféricas ainda mantêm ocupações menos intensas ou em processo de expansão urbana informal. O NDBI, ao destacar essa diferenciação, revela potenciais áreas de transição urbana e vulnerabilidade.

A presença de corpos hídricos é modesta, mas relevante para a diversidade ambiental da região.

Índice de Intensidade de Impermeabilização Urbana (Buit-up)

O índice Built-up (BU) ao combinar os resultados de NDBI e NDVI, pode detalhar melhor a impermeabilização real da superfície e as intensidades construtivas. Contudo, o processamento do NDBI apresentou limitações para avaliar a totalidade do município, pois os corpos hídricos foram classificados erroneamente como "Alta intensidade de áreas construídas". Para corrigir, essas áreas foram ajustadas e extraídas dessa classificação.

Figura 3- Mapa do BU das áreas de estudo.



Fonte: Autores, 2024.

Tabela 3: Resultados de BU para a bacia do Una, intensidade de áreas construídas:

Classes atribuídas	Área (ha)	%	%B
Baixa	508,05	14,68%	0,478%
Baixa-Média	200,52	5,79%	0,189%
Média	342,45	9,89%	0,322%
Média-Alta	303,84	8,78%	0,286%
Alta	2.103,66	60,78%	1,980%
Corpos hídricos	2,52	0,07%	0,002%
Total	3.461,04	100%	3,258%

Fonte: Autores, 2024.

A predominância de áreas de "Alta intensidade de áreas construídas" (60,78%) reforça o crescimento urbano significativo. O que reduz a capacidade de infiltração do solo e eleva os riscos de escoamento superficial, alagamentos e transtornos. As demais categorias mostram uma ocupação diversificada, áreas com média-alta e média intensidade de impermeabilização somam juntas 18,67%, enquanto áreas classificadas como baixa ou baixa-média intensidade totalizam cerca de 20,47%, indicando a existência de fragmentos vegetados ou em urbanização recente. Esta heterogeneidade é relevante para ações de planejamento urbano sustentável, especialmente no contexto de mitigação dos transtornos causados pela drenagem urbana precarizada.

3. 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. 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 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. 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 não utiliza bacias hidrográficas como unidades de planejamento, além da falta de integração entre as secretarias municipais. A orientação do planejamento de infraestrutura carece de organização e governança institucional. Por fim, 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 sustentáveis.

4. Referências Bibliográficas

ALMEIDA, R. K.; SILVA, A. L. L. S.; ALMEIDA, P. M. M.; BARROS, R. S. **Estimativa de população na bacia hidrográfica da Baía de Sepetiba (RJ) através da aplicação do modelo People in Pixel.** *Revista Continentes (UFRRJ)*, Seropédica, ano 10, n. 19, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.51308/continentes.v1i19.369>. Acesso em: 10 maio 2025.

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

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*, Belo Horizonte, v. 43, n. 4, p. 283-292, 2020. Disponível em: http://dx.doi.org/10.11137/2020_4_283_292. Acesso em: 28 maio 2025.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2010.** Rio de Janeiro: IBGE, 2011.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativas populacionais para os municípios brasileiros.** Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

KSHETRI, T.- **NDVI, NDBI & NDWI Calculation using Landsat 7, 8.** *GeoWorld*, v. 2, p. 32-34, 2018.

PMB – Prefeitura Municipal de Belém. **Plano Municipal de Saneamento Básico**. Belém: PMB, 2020.

PMB – Prefeitura Municipal de Belém. Secretaria Municipal de Saneamento (SESAN). **Manual de operação e manutenção dos sistemas de saneamento básico da cidade de Belém**. Belém: PMB, 2019.

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*, Natal, v. 8, n. 2, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2022v8n2ID26459>. Acesso em: 15 maio 2025.

SOARES, P. P. M. A. **A cidade e suas margens: memória e práticas da água na Bacia do Una, em Belém (PA)**. *Amazonica – Revista de Antropologia*, Belém, v. 13, n. 2, p. 577-607, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18542/amazonica.v13i2.10018>. Acesso em: 30 maio 2025.

ZALDO-AUBANELL, Q. *et al.* **Reviewing the reliability of land use and land cover data in studies relating human health to the environment**. *Environmental Research*, v. 194, p. 110578, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110578>. Acesso em: 20 maio 2025.

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. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01431160304987>. Acesso em: 25 maio 2025.