



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

EDUARDO DANILO TAVARES ÂNGELO

**ANÁLISE DA EXPANSÃO URBANA E DINÂMICA ESPACIAL DE USO E
OCUPAÇÃO DO SOLO NO MUNICÍPIO DE TUCURUÍ-PA, BRASIL**

TUCURUÍ
2026

EDUARDO DANILO TAVARES ÂNGELO

**ANÁLISE DA EXPANSÃO URBANA E DINÂMICA ESPACIAL DE USO E
OCUPAÇÃO DO SOLO NO MUNICÍPIO DE TUCURUÍ-PA, BRASIL**

Trabalho de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Civil, do Campus Universitário de Tucuruí, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Marlon Braga dos Santos

TUCURUÍ
2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD Sistema de
Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- A584a Ângelo, Eduardo Danilo Tavares.
 Análise da expansão urbana e dinâmica espacial de uso e ocupação do
 solo no município de Tucuruí-PA, Brasil / Eduardo Danilo Tavares Ângelo.
 — 2026.
 48 f. : il. color.
- Orientador(a): Prof. Dr. Marlon Braga dos Santos
 Trabalho de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Pará, Campus
 Universitário de Tucuruí, Faculdade de Engenharia Civil, Tucuruí, 2026.
1. Índice de áreas construídas por diferença normalizada. 2. Índice de compactidade. 3. Classificação segmentada. 4.
 Sensoriamento remoto. 5. UHE Tucuruí. I. Título.

CDD 621.3678

EDUARDO DANILO TAVARES ÂNGELO

**ANÁLISE DA EXPANSÃO URBANA E DINÂMICA ESPACIAL DE USO E
OCUPAÇÃO DO SOLO NO MUNICÍPIO DE TUCURUÍ-PA, BRASIL**

Trabalho de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Civil, do Campus Universitário de Tucuruí, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Data da aprovação: 21/07/2024

Conceito: Excelente

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marlon Braga dos Santos – FEC/CAMTUC/UFPA
(Orientador)

Profa. Me. Grazielle Tigre de Souza – FEC/CAMTUC/UFPA
(Examinadora Interna)

Profa. Me. Sara Katharine Melo Silva Portilho
(Examinadora Externa)

Dedico esta monografia a minha avó materna, Mariza da Silva Teixeira (in memoriam), e a minha avó paterna, Maria Martins Ângelo (in memoriam), pelo amor dedicado a mim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me proporcionar a realização de um sonho, e sustentar-me em todos os momentos.

A minha esposa, por todo amor e apoio incondicional.

Ao meu irmão Johnatan e minha mãe Sandra, pelo amor, compreensão e confiança.

Agradeço aos familiares e amigos que sempre acreditaram em mim, em especial, minha tia, Luiza Ângelo.

À Universidade Federal do Pará (UFPA), e o corpo docente, por todo conhecimento transmitido.

Ao meu orientador, Doutor Marlon Braga, pelo aceite em orientar-me neste trabalho de conclusão de curso. Obrigado!

RESUMO

O processo de urbanização alterou o uso e ocupação do solo nas cidades, causando diversos impactos diretos e indiretos sobre o meio ambiente. A implantação da Usina Hidrelétrica (UHE) de Tucuruí ocasionou diversas alterações na estrutura urbana do município, principalmente pelo intenso fluxo migratório atraído para o entorno da grande obra. O presente trabalho tem como objetivo analisar a expansão e a dinâmica do uso e ocupação do solo no município de Tucuruí-PA nos anos de 2014, 2018 e 2024. Para tanto, a metodologia avaliou as alterações nos valores do Índice de Áreas Construídas por Diferença Normalizada (NDBI) e do índice de compacidade da sede municipal, bem como realizou-se a classificação segmentada para determinar as classes de uso do solo e, por fim, analisou-se a dinâmica demográfica do município, correlacionando-a com as etapas de construção da UHE. Dessa maneira, os principais resultados apontaram que o NDBI atingiu 0,32 para seu valor máximo, enquanto seu menor valor foi de -0,88, corroborando com o índice de compacidade que passou de 0,58 em 2006 para 0,48 em 2024 indicando o espraiamento urbano. Logo, concluiu-se que apesar da tendência recente de decréscimo da população, a mancha urbana de Tucuruí continua crescendo, sobretudo para a região oeste da sede municipal, assim os dados obtidos através de indicadores derivados do sensoriamento remoto podem ser instrumentos importantes para a gestão e o planejamento da expansão urbana do município.

Palavras-chave: Índice de áreas construídas por diferença normalizada; Índice de compacidade; Classificação segmentada; Sensoriamento remoto; UHE Tucuruí.

ABSTRACT

The urbanization process has altered land use and occupation in cities, causing various direct and indirect environmental impacts. The construction of the Tucuruí Hydroelectric Power Plant (UHE) brought about significant changes to the municipality's urban structure, primarily due to the intense migratory influx drawn to the area surrounding this major project. This study aims to analyze the expansion and dynamics of land use and occupation in the municipality of Tucuruí, Pará, during the years 2014, 2018, and 2024. To this end, the methodology involved evaluating changes in the Normalized Difference Built-up Index (NDBI) and the compactness index of the municipal seat, performing a segmented classification to determine land-use categories, and analyzing demographic dynamics in relation to the hydroelectric plant's construction phases. The results indicated that the NDBI reached a maximum value of 0.32 and a minimum of -0.88; this aligns with the compactness index, which shifted from 0.58 in 2006 to 0.48 in 2024, signaling urban sprawl. Consequently, the study concludes that despite a recent downward trend in population, Tucuruí's urban footprint continues to expand—particularly toward the western region of the municipal seat—demonstrating that data derived from remote sensing indicators can serve as valuable tools for managing and planning the municipality's urban expansion.

Keywords: Normalized Difference Built-up Area Index; Compact ratio; Segmented classification; Remote sensing, HPP Tucuruí.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Expansão Urbana da Cidade de Altamira: 1960 e 2010.....	18
Figura 2 – Expansão da Malha Urbana de Tucuruí-PA.....	19
Figura 3 – Mapa de localização do município de Tucuruí-PA.....	25
Figura 4 – NDBI para a cidade de Tucuruí-PA.....	30
Figura 5 – Mapa de uso do solo de Tucuruí-PA para os anos de 2006 e 2024.....	32
Figura 6 – Expansão da mancha urbana de Tucuruí-PA de 2006 a 2024.....	34
Figura 7 – Evolução da população da cidade de Tucuruí-PA.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação do uso do solo para a cidade de Tucuruí-PA nos anos de 2006 e 2024.....	33
--	----

LISTA DE SIGLAS

A	Área urbana;
c	Índice de compacidade;
GEE	<i>Google Earth Engine</i> ;
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;
MW	Megawatts;
NDBI	Índice de Áreas Construídas por Diferença Normalizada;
NIR	Banda de infravermelho próximo;
ONU	Organização das Nações Unidas;
OTB	<i>Orfeo Toolbox</i> ;
P	Perímetro urbano;
SIG	Sistema de Informação Geográfica;
UHE	Usina Hidrelétrica;
W1R1	Banda de infravermelho médio.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivos.....	14
1.1.1 Objetivo Geral	14
1.1.2 Objetivos Específicos	15
1.2 Justificativa	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 Grandes projetos hidrelétricos na Amazônia	17
2.2 Expansão territorial urbana	19
2.3 Planejamento urbano	21
2.4 Geotecnologias aplicadas	22
3 METODOLOGIA.....	25
3.1 Caracterização da área de estudo	25
3.2 Métodos utilizados na pesquisa	26
3.2.1 Cálculo do Índice de Áreas Construídas por Diferença Normalizada (NDBI)	26
3.2.2 Classificação segmentada do uso e ocupação do solo	27
3.2.3 Cálculo do índice de compacidade	27
3.2.4 Análise de dados demográficos	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1 Índice de Áreas Construídas por Diferença Normalizada (NDBI)	30
4.2 Uso do solo	31
4.3 Índice de compacidade	33
4.4 Dinâmica populacional.....	36
5 CONCLUSÃO.....	38
REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o crescimento populacional das cidades provocou importantes transformações sociais, econômicas e políticas no espaço urbano. Esse cenário ampliou a necessidade de estudos sobre a dinâmica das cidades, reforçando a ideia de que o desenvolvimento da sociedade está cada vez mais ligado ao ambiente urbano, assim, consolida-se a perspectiva de que “o futuro é urbano” (Banco Mundial, 2020). Contudo, Lefebvre (2001, p. 11) destaca que a origem da “problemática urbana” remonta ao avanço da industrialização, responsável por impulsionar o crescimento das cidades e os desafios de planejamento que ainda se refletem na atualidade.

Logo, a urbanização modificou significativamente as formas de uso e ocupação do solo urbano, produzindo diferentes impactos ambientais. Em diversas regiões, a expansão das cidades ocorre de maneira dispersa, aumentando a pressão sobre os recursos naturais, reduzindo habitats e comprometendo a biodiversidade, os processos ecológicos e os serviços ecossistêmicos (Seto; Guneralp; Hutyra, 2012; Wolff; Haase; Haase, 2018; Wu, 2014). Além disso, a falta de planejamento urbano adequado pode intensificar problemas ambientais que, associados aos padrões de vida da população, contribuem para a formação de ilhas de calor, o aumento das emissões de carbono, a poluição atmosférica e o esgotamento dos recursos naturais (Wang; Liu; Liao, 2021; Yang; Xu; Shi, 2017).

Assim, o acompanhamento e o planejamento das diferentes formas de uso e ocupação do solo desempenham papel fundamental na formulação de políticas públicas em diversos setores, servindo de base para a gestão territorial. A análise quantitativa das alterações ocorridas no uso e na cobertura da terra constitui uma das estratégias mais eficazes para compreender e administrar essas mudanças (Talukdar *et al.*, 2020). Nesse contexto, Reis (2008) destaca a relevância do emprego do sensoriamento remoto e dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), enquanto estudos mais recentes evidenciam a crescente aplicação de técnicas de aprendizagem profunda (*deep learning*) e aprendizado de máquina (*machine learning*) na análise dessas transformações (Digra; Dhir; Sharma, 2022; Talukdar *et al.*, 2020).

Além dos aspectos relacionados ao uso e à ocupação do solo, a configuração espacial das cidades constitui um importante indicador para a gestão urbana. De acordo com Su *et al.* (2021), cidades mais dispersas e marcadas por expansão desordenada tendem a apresentar maiores temperaturas superficiais, aumento do consumo energético e deslocamentos mais longos. Esses fatores contribuem para a elevação das emissões de gases de efeito estufa. Diante desse cenário, os autores defendem a adoção de políticas públicas voltadas à compactação das

áreas urbanizadas. Dessa maneira, a análise desses indicadores pode subsidiar a formulação e o acompanhamento de estratégias urbanas voltadas ao desenvolvimento sustentável e ao fortalecimento da resiliência das cidades.

Na Amazônia brasileira, a expansão da fronteira econômica ocorre de forma desigual entre suas sub-regiões, considerando suas particularidades. Na Amazônia oriental, especialmente no estado do Pará, grandes projetos de desenvolvimento, como o Projeto Jari, Projeto Trombetas, Projeto Carajás, Projeto Albras/Alunorte e a UHE de Tucuruí, impulsionaram o crescimento urbano das áreas onde foram instalados. Em muitos casos, esse crescimento superou o da capital Belém (Trindade Júnior, 2006, p. 183). Esse processo provocou mudanças na estrutura urbana local, em função das demandas de infraestrutura dos empreendimentos. Com isso, promoveu reorganizações espaciais nas áreas sob sua influência direta.

A instalação da UHE Tucuruí, na bacia hidrográfica do rio Tocantins, gerou um intenso fluxo migratório para as áreas do entorno da obra a partir da década de 1970. Esse processo provocou mudanças significativas na dinâmica de ocupação do território, além de promover uma redistribuição espacial da população. Construída em duas fases (1976-1984 e 1998-2007), a usina passou a ter grande relevância no cenário energético nacional. Com capacidade instalada de 8.550 MW, foi a maior usina genuinamente brasileira até junho de 2019, quando foi superada pela UHE Belo Monte, também localizada no Pará (Eletronorte, 2023; Norte Energia, 2023; Rocha, 2016). Segundo Pinto (2012), a construção tinha como objetivo atender outros grandes projetos do Governo Federal na região, especialmente indústrias de alumínio de capital japonês.

Dessa forma, esta pesquisa busca empregar técnicas de sensoriamento remoto para investigar a expansão e a dinâmica do uso e ocupação do solo no espaço urbano de Tucuruí-PA ao longo das últimas décadas, com foco no período posterior à construção da UHE Tucuruí (2006-2024). Para isso, foram analisadas as variações nos valores do NDBI e do índice de compacidade da área urbana do município. Além disso, realizou-se uma classificação segmentada para identificar as diferentes classes de uso do solo. Por fim, examinou-se a dinâmica populacional do município, relacionando-a às fases de construção da usina hidrelétrica.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar a evolução espaço-temporal da expansão urbana e da dinâmica do uso e ocupação do solo no município de Tucuruí (PA), integrando indicadores espectrais, métricas morfológicas e dados demográficos, a fim de compreender os efeitos territoriais associados à implantação da Usina Hidrelétrica de Tucuruí.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar e quantificar as áreas urbanizadas por meio do cálculo do Índice de Construção Normalizado (NDBI);
- Classificar o uso e ocupação do solo utilizando técnica de segmentação;
- Avaliar a forma urbana por meio do cálculo do índice de compacidade;
- Analisar os dados demográficos do município.

1.2 Justificativa

A expansão urbana resulta em transformações socioespaciais significativas. Esse processo é particularmente evidenciado em municípios que passaram por implantação de grandes infraestruturas (Pinto; Moreira, 2022). No município de Tucuruí, a implantação da UHE de Tucuruí configurou um marco estruturante na reorganização socioespacial local, promovendo a intensificação dos fluxos populacionais, a redefinição da malha urbana e alterações significativas no uso e na ocupação do solo.

Por isso, compreender a dinâmica de uso e ocupação do solo torna-se fundamental para avaliar os impactos do crescimento urbano sobre o território (Santos; Santos; Santos, 2021), especialmente em regiões como a do presente estudo, que apresentaram expansão acelerada e com pouco planejamento urbano. Desse modo, a ausência de diagnósticos espaciais atualizados pode dificultar a formulação de políticas públicas eficazes voltadas ao ordenamento territorial e à gestão sustentável das cidades (Campos; Reichardt, 2025).

Logo, a utilização de técnicas de sensoriamento remoto é amplamente consolidada na literatura científica como ferramenta eficiente para monitoramento da degradação do solo (Wang *et al.*, 2023). Índices espectrais como o NDBI são reconhecidos por sua capacidade de discriminar áreas urbanizadas a partir de imagens orbitais (Wahid; Mushref, 2026). Além disso, a classificação segmentada e o índice de compacidade, são ferramentas capazes de conferir robustez às análises propostas.

Sendo assim, o presente estudo justifica-se pela necessidade de compreender as transformações espaciais e do solo da cidade de Tucuruí, ocasionadas pela construção de uma UHE de grande porte, empregando metodologia consolidada na literatura e articulando variáveis espectrais, morfológicas e demográficas. Os resultados poderão subsidiar políticas públicas de planejamento urbano e de gestão territorial, reforçando a necessidade de decisões baseadas em diagnósticos espaciais tecnicamente fundamentados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Grandes projetos hidrelétricos na Amazônia

O processo de desenvolvimento urbano no Brasil se desencadeou em diferentes escalas, além dos avanços dos municípios, estados e dos pequenos centros urbanos, o consumo de energia elétrica foi responsável pelo investimento nas vias, rodovias e vicinais, uma vez que a demanda por energia elétrica passou dos 24.000 megawatts (MW), em 1965, para 160.000 MW em 1984, ocasionando a necessidade de utilização de redes de distribuição por meio de vias e/ou rodovias. Logo, a energia hidrelétrica foi expandida agressivamente durante a ditadura militar (1964-1985), quando as maiores barragens do país foram construídas, nesse período, pouca atenção foi dada aos impactos socioambientais. (Santos, 1993; Hess; Ribeiro; Wieprecht, 2016).

Com isso, regiões às quais antes dispunham de grande área territorial e baixos índices de urbanização, passaram a se tornar ricas em projetos de geração de energia elétrica, as construções de Usinas Hidrelétricas (UHE) trouxeram crescimento urbano e desenvolvimento econômico (Santos, 1993). Na região Norte, a elevada disponibilidade hídrica da bacia amazônica confere à área um grande potencial para a implantação de empreendimentos hidrelétricos (Fearnside, 2019).

À vista disso, a expansão de grandes projetos hidrelétricos na Amazônia consolidou-se como um dos pilares do planejamento energético brasileiro, particularmente a partir da segunda metade do século XX, quando a região passou a ser concebida como fronteira estratégica para o aproveitamento de recursos naturais em larga escala (Moretto *et al.*, 2012). No Brasil, atualmente a energia hidrelétrica representa mais de dois terços do fornecimento energético (Winemiller *et al.*, 2016).

Usinas como Belo Monte, Tucuruí, Jirau e Santo Antônio destacam-se na Amazônia pela magnitude de sua capacidade instalada e pela relevância na contribuição ao atendimento à demanda energética do país. A UHE de Belo Monte, localizada no município de Altamira, no estado do Pará, foi construída na Volta Grande do rio Xingu, um afluente do rio Amazonas (Franco; Souza; Lima, 2018). É considerada a terceira maior hidrelétrica do mundo (com potência instalada de 11.000 MW), atrás apenas da usina de Itaipu e da usina chinesa Três Gargantas (Ferreira; Carvalho, 2021; Silva; Paula; Veloso, 2024). Também, é considerada a maior obra de infraestrutura do Brasil, com alto investimento financeiro (Fearnside, 2018).

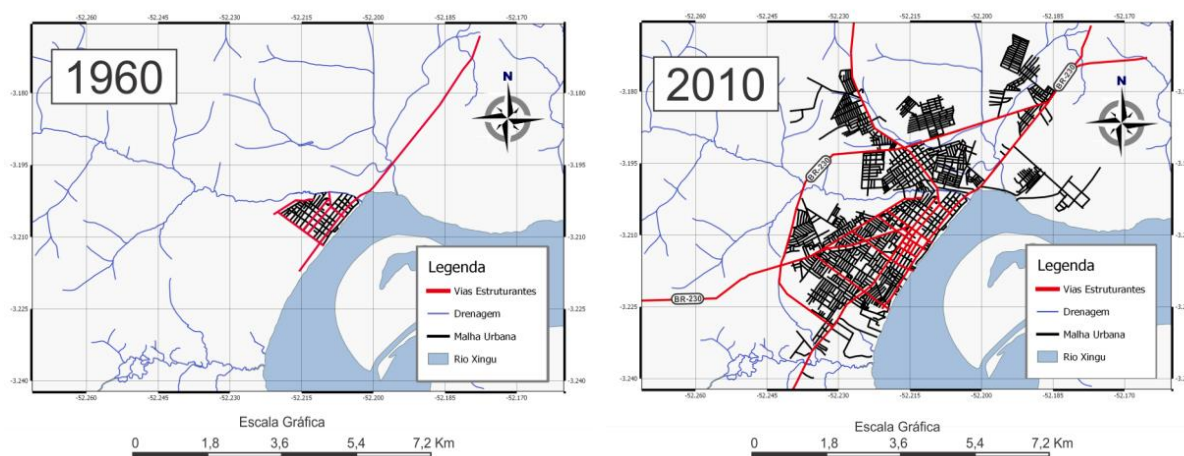
A UHE de Tucuruí, implantada no rio Tocantins, no estado do Pará, teve sua primeira fase concluída na década de 1980 e possui capacidade instalada superior a 8.000 MW, sendo

uma das maiores do país e um marco histórico da política energética nacional (Fearnside, 2001; Bermann, 2007). Por outro lado, as usinas de Jirau e Santo Antônio, localizadas no rio Madeira, em Rondônia, foram construídas no início do século XXI, com capacidades instaladas de aproximadamente 3.750 MW e 3.150 MW, respectivamente, integrando o complexo hidrelétrico do Madeira e ampliando significativamente a oferta de energia no Brasil (ANEEL, 2020; Zhouiri; Oliveira, 2007).

Então, observa-se que o elevado potencial hídrico consolidou a região Amazônica como eixo estratégico para a expansão da geração elétrica no Brasil. Entretanto, a relevância dessas usinas não se restringe à capacidade instalada, mas também às transformações territoriais, ambientais e sociais associadas à sua implantação. Diante disso, confirma-se a necessidade de um planejamento energético mais integrado, que considere não apenas a eficiência na geração de energia, mas também a sustentabilidade e a gestão equilibrada dos recursos amazônicos.

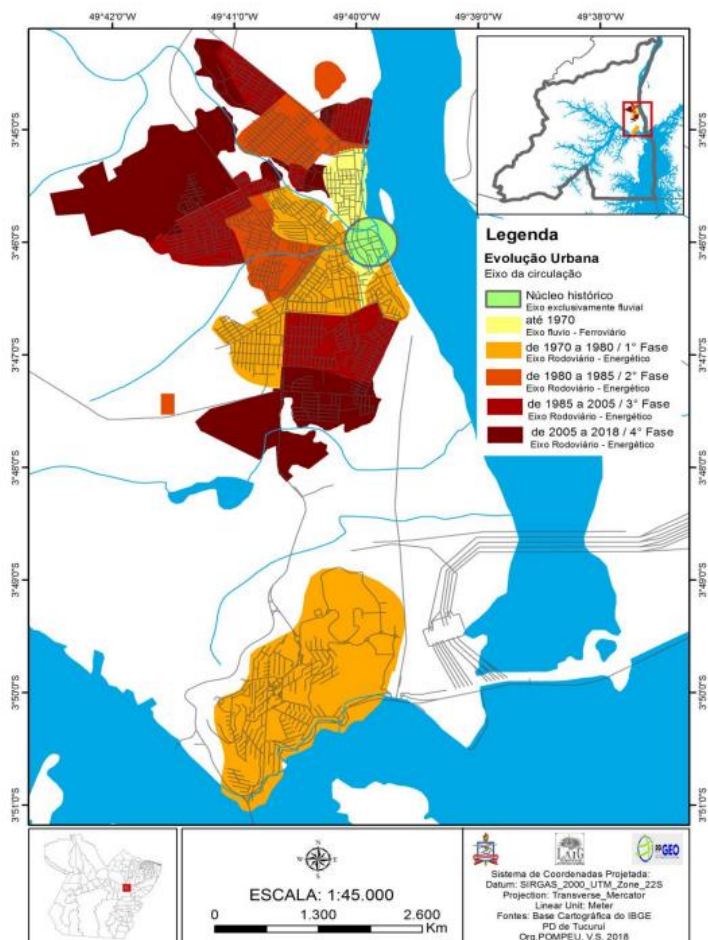
Logo, a construção de Usinas Hidrelétricas (UHE) impacta diretamente no processo de desenvolvimento urbano de uma região, uma vez que os municípios não dispõem de grande quantidade de mão de obra, assim surge a necessidade de trazer novos residentes para o município. Com isso, além de trabalhadores e/ou operários, as famílias também se deslocam para as cidades, ocasionando assim um processo de desenvolvimento acelerado. Sendo assim, o processo de expansão urbana decorrente da construção de UHE em municípios paraenses pode ser observado nas Figuras 1 e 2.

Figura 1: Expansão Urbana da Cidade de Altamira: 1960 e 2010.



Fonte: Neto e Herrera (2017).

Figura 2: Expansão da Malha Urbana de Tucuruí-PA.



Fonte: Pompeu (2020).

2.2 Expansão territorial urbana

O processo de expansão territorial urbana está diretamente relacionado com o crescimento populacional, pesquisas realizadas pela Organização das Nações Unidas (ONU) no ano de 2014 apontaram que em 1950 a população da área urbana correspondia à apenas 30%, entretanto, as projeções realizadas evidenciaram uma estimativa de 66% para o ano de 2050. No mundo, as regiões mais urbanizadas estão localizadas na América do Norte, América Latina e o Caribe, e a Europa, em contrapartida regiões como a África e a Ásia estão entre as áreas menos urbanizadas. No Brasil, a expectativa é de que as cidades tenham, para os próximos 30 anos, aproximadamente 30 milhões de habitantes a mais (Silva; Romero, 2015; Pedro; Silva; Portugal, 2017).

Logo, a urbanização traz inúmeros desafios no que se refere à moradia, ao transporte urbano, à infraestrutura e aos serviços sociais. Ademais, esta consome 2/3 da energia mundial

e emite mais de 70% dos gases poluentes, com isso, para que o processo de expansão urbana se desencadeie de maneira adequada são necessárias políticas integradas que contribuam para melhorar a qualidade de vida da população (ONU, 2014; Pedro; Silva; Portugal, 2017).

Nesse contexto, a expansão territorial urbana pode ser compreendida como a extensão física das áreas urbanizadas em direção ao espaço rural adjacente, abrangendo cidades e regiões metropolitanas (Angel, 2023). Diferentemente do planejamento urbano, esse processo tende a ocorrer de forma desordenada, sendo particularmente recorrente em países em desenvolvimento, como o Brasil (Dhanaraj; Angadi, 2021). Posto isto, a expansão urbana configura-se como um fenômeno que altera significativamente o uso do solo e a organização espacial das cidades.

A quantificação da expansão urbana constitui uma etapa fundamental para a análise das transformações na estrutura da paisagem, permitindo não apenas identificar mudanças no uso do solo, mas também avaliar seus impactos ambientais e subsidiar estratégias de planejamento territorial sustentável (Ren *et al.*, 2025). Dessa forma, a mensuração desse processo torna-se essencial para a compreensão de suas dinâmicas e implicações.

Nesse cenário, o sensoriamento remoto desempenha papel central na análise da expansão urbana, ao viabilizar a obtenção de dados espaciais que permitem mapear, caracterizar e compreender sua complexidade. Por meio dessa tecnologia, é possível identificar padrões e fases de crescimento urbano, contribuindo de maneira significativa para o planejamento do uso do solo, especialmente diante do crescimento acelerado e frequentemente desordenado das cidades (Dhanaraj; Angadi, 2021).

No contexto histórico do município de Tucuruí, a expansão urbana foi inicialmente impulsionada por atividades econômicas relacionadas à extração e exportação da borracha e da castanha-do-pará, associadas à Estrada de Ferro do Tocantins (Lima; Santos, 2023). Diferentemente do observado em grandes centros metropolitanos, essa expansão não resultou na formação expressiva de favelas urbanas, tendo ocorrido predominantemente em direção aos rios e igarapés, com destaque para os igarapés Santos e Santana (Pimentel; Ravena; Trindade, 2022).

Diante do exposto, a expansão territorial urbana configura-se como um processo dinâmico e multifacetado, associado a transformações no uso do solo e na organização espacial. No contexto de Tucuruí, esse processo apresenta especificidades relacionadas à sua formação histórica e à dinâmica de ocupação. Assim, o sensoriamento remoto constitui uma abordagem amplamente empregada na análise das transformações espaciais, possibilitando a identificação de padrões e processos de crescimento urbano.

2.3 Planejamento urbano

Em decorrência do crescimento populacional não planejado ocorrido, as cidades brasileiras não foram capazes de promover o desenvolvimento com qualidade de vida à população. No país, foi instituída a política de que áreas mais distantes do centro urbano apresentavam menores valores imobiliários, além de maior deficiência no que tange a infraestrutura, ocasionando um processo de estruturação baseada na dicotomia centro-periferia/rico-pobre (Ojima; Monteiro; Nascimento, 2015; Pedro; Silva; Portugal, 2017).

Para Balbo (1993) e Harvey (2014), em um mundo de desenvolvimento, a cidade está dividida em diferentes partes, estas são denominadas “microestados”. Onde os bairros ricos, contam com todos os tipos de serviços, tais como escolas exclusivas, quadras de tênis, campos de golfe e patrulhas de policiamento 24 horas, veem-se sendo cercados por assentamentos ilegais. Os novos assentamentos e/ou invasões não dispõem de serviços de saneamento e a eletricidade é apenas para uma pequena parte “privilegiada” ao qual é originária de fontes ilegais/pirateadas, levando a população a viver a condições extremas de sobrevivência no período da ética neoliberal individualista.

As diferentes fases de desenvolvimento urbano levaram a necessidade de estruturação dos pequenos, médios e grandes centros urbanos, de modo que as cidades passassem por uma fase de planejamento urbano. Sendo assim, o planejamento consiste em alcançar deliberadamente um objetivo por meio de ações organizadas em uma sequência ordenada. O planejamento urbano, por sua vez, refere-se ao planejamento que incorpora um componente espacial ou geográfico, voltado à organização, gestão e transformação do uso do solo (Hall; Tewdwr-Jones, 2010). Este envolve aspectos sociais, econômicos, ambientais e institucionais, buscando orientar o uso e a ocupação do solo de forma racional e sustentável, em consonância com as demandas da população e as dinâmicas urbanas.

Para Harvey (2014) e Jacobs (2011), a cidade é o lugar onde as pessoas de todos os tipos de classe, gênero e etnias se misturam ainda que não concordem entre si, mas apesar dos conflitos e discordâncias estes dispõem do mesmo objetivo, produzir uma vida em comum. Daí surge a necessidade de estruturação e planejamento dos espaços urbanos. Assim, o objetivo do planejamento urbano é estruturar os espaços urbanos, a fim de promover a melhoria de sistemas que apresentam declínio, bem como aplicar novos instrumentos para alcançar resultados satisfatórios (Rattner, 1974). Nesse sentido, observa-se que não se limita à organização física

do território, mas envolve também a implementação de mecanismos que visem à maior eficiência na gestão urbana.

Contudo, a história do planejamento no Brasil é marcada por desigualdades e pela ausência de inclusão social (Pereira, 2013), inclusive no município de Tucuruí, que de acordo com (Acsegrad, 1991), teve um planejamento autoritário, marcado por desordem socioambiental, principalmente em virtude da inundação de florestas no período da construção da hidrelétrica e o consequente deslocamento compulsório de indígenas. Tais fatos evidenciam que, apesar dos conceitos existentes, a aplicação nem sempre resulta em benefícios equitativos para a população. Essa contradição também é corroborada pela perspectiva de Cruz (2011), que identifica três faces do planejamento urbano: o planejamento ideológico, o planejamento utópico e o planejamento praticado.

Diante disso, o planejamento urbano apresenta-se como um instrumento fundamental para a organização das cidades, ao mesmo tempo em que revela limitações relacionadas à sua aplicação prática, especialmente em contextos marcados por desigualdades. Esses aspectos reforçam a necessidade de maior alinhamento entre teoria e prática, de modo a promover intervenções urbanas mais eficazes e socialmente inclusivas.

2.4 Geotecnologias aplicadas

Compreende-se as geotecnologias são o conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e oferta de informações com referência geográfica. Dentre as geotecnologias podemos destacar: sistemas de informação geográfica, sensoriamento remoto, cartografia digital, topografia, dentre outros. Desta maneira, as geotecnologias são comumente aplicadas em atividades de uso e ocupação do solo, (Rosa, 2005; Prestes; Lopes; Sacramento, 2015).

Logo, o geoprocessamento se coloca como um importante conjunto de tecnologias de apoio ao processo de desenvolvimento. De maneira geral, as fontes de dados geotécnicos podem ser categorizadas da seguinte forma: (1) Dados de sensoriamento remoto; (2) Investigações e levantamentos de campo; (3) Testes de laboratório; (4) Monitoramento estrutural; (5) Registros históricos e relatórios; e (6) Formatos de dados padronizados (Campos; Campos; Campos, 2020; Satipaldy; Marzhan; Damira, 2021). Neste estudo, focou-se em técnicas de sensoriamento remoto.

De acordo com Khorram *et al.* (2012), o sensoriamento remoto caracteriza-se como uma aquisição e/ou medição de informações sobre determinadas propriedades de um objeto,

fenômenos ou materiais através de um dispositivo de registro ao qual não está em contato físico com os elementos que serão avaliados. Baseia-se na detecção e medição da radiação eletromagnética refletida ou emitida pela superfície da Terra. Dentre as muitas aplicações, é uma técnica essencial para avaliar a estabilidade do solo e desenvolver estratégias de gestão de riscos, como observado em estudos relacionados a expansão urbana e ao uso do solo (Verma, 2025; Sánchez *et al.*, 2019).

As imagens obtidas por sensoriamento remoto têm se mostrado ferramentas eficazes para o mapeamento e o monitoramento do uso e da cobertura do solo em ambientes urbanos. Seu uso tem se ampliado devido à constante atualização dos dados e à capacidade de fornecer uma visão abrangente da área analisada (Amini *et al.*, 2022; Darby; Turner, 2008; Yin *et al.*, 2021; Zha; Gao; Ni, 2003; Zhu *et al.*, 2022). Além disto, índices derivados das respostas espectrais de imagens de satélite contribuem para a análise espaço-temporal dessas áreas. Entre eles, destaca-se o Índice de Áreas Construídas por Diferença Normalizada (NDBI), desenvolvido por Zha, Gao e Ni (2003).

O Índice de Áreas Construídas por Diferença Normalizada (NDBI) consiste em um índice espectral amplamente utilizado para a identificação de superfícies urbanizadas. Esse índice se baseia na combinação de bandas espectrais do infravermelho próximo e do infravermelho de ondas curtas, permitindo o realce de áreas construídas em detrimento de outros alvos, como vegetação e corpos hídricos (Zha, Gao; Ni, 2003; Chen *et al.*, 2014).

Uma das principais vantagens do NDBI é sua baixa sensibilidade às variações sazonais, já que a reflectância das áreas urbanas tende a permanecer estável ao longo do tempo. No entanto, sua aplicação apresenta algumas limitações, especialmente em locais com coberturas sazonais, como a vegetação, que podem interferir nos resultados. Além disso, o índice pode apresentar dificuldades para diferenciar áreas urbanizadas de superfícies áridas, como praias arenosas, devido à semelhança de suas respostas espectrais (Zha; Gao; Ni, 2003). Apesar dessas restrições, o NDBI é amplamente utilizado no monitoramento da expansão urbana e no mapeamento de áreas construídas, contribuindo para o planejamento e a gestão das cidades (Ali; Hasim; Abidin, 2019; Badlani; Patel; Kalubarme, 2017; Rahnama; Wyatt; Shaddel, 2020).

Sendo assim, a classificação do uso e ocupação do solo constitui uma etapa fundamental na interpretação de imagens de sensoriamento remoto, permitindo a categorização das diferentes classes presentes na superfície terrestre (Blaschke, 2010). Tradicionalmente, essa classificação pode ser realizada por meio de abordagens baseadas em pixel, nas quais cada unidade é analisada individualmente, ou por métodos segmentados, também conhecidos como orientados a objetos. A classificação segmentada considera não apenas as características

espectrais, mas também atributos espaciais, como forma, textura e contexto, resultando em maior precisão e redução de ruídos (Baatz; Schäpe, 2000).

O índice de compacidade configura-se como uma métrica espacial utilizada para avaliar a forma e a configuração das áreas urbanas, permitindo distinguir padrões de ocupação mais compactos ou dispersos. Esse índice relaciona a área urbana com parâmetros geométricos, como perímetro, fornecendo uma medida da regularidade e concentração da mancha urbana (Cruz; Marins, 2017). Em termos analíticos, valores mais elevados indicam formas mais compactas, enquanto valores reduzidos estão associados à dispersão espacial (Tsai, 2005).

De forma integrada, o uso do sensoriamento remoto, aliado ao cálculo do NDBI, à classificação segmentada do uso e ocupação do solo e à análise do índice de compacidade, permite a construção de um arcabouço metodológico voltado à análise da expansão urbana e do uso e ocupação do solo. Essas técnicas atuam de maneira complementar, possibilitando a identificação de áreas construídas, a categorização das classes de uso do solo e a avaliação da forma urbana (Herold; Goldstein; Clarke, 2003).

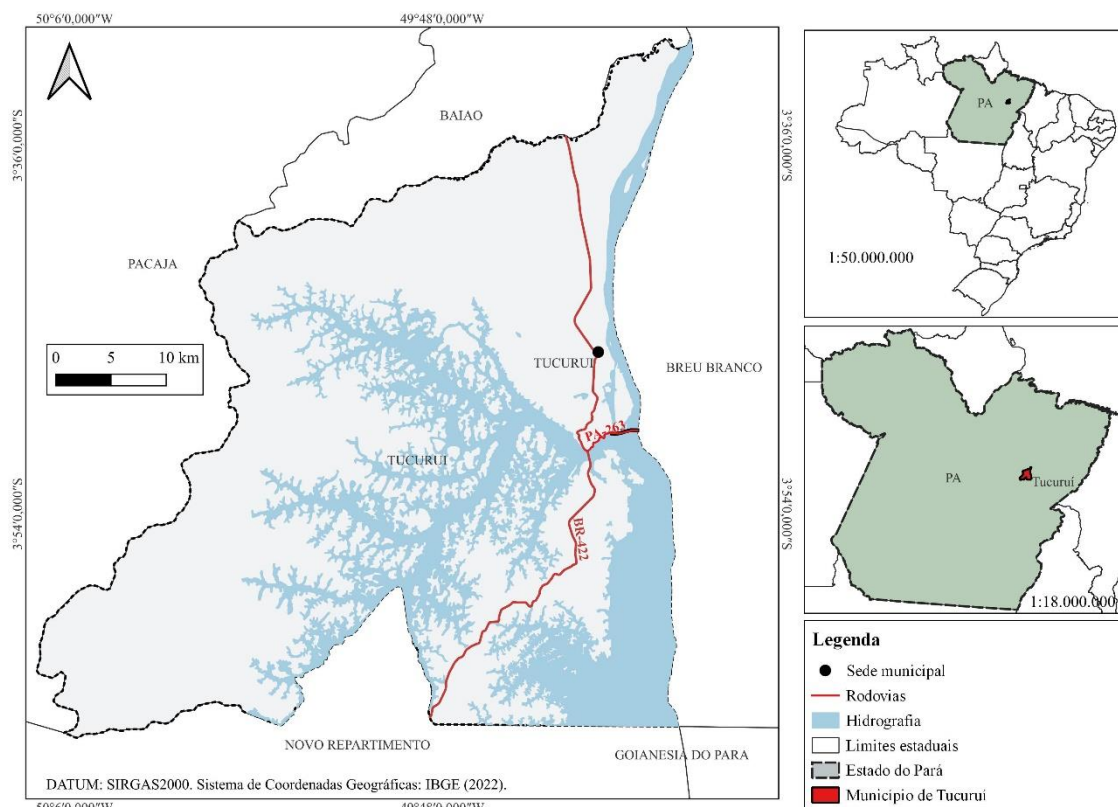
3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização da área de estudo

O município de Tucuruí está situado na região geográfica intermediária de Marabá e região geográfica imediata de Tucuruí no estado do Pará (IBGE, 2017), às margens do rio Tocantins, distante 380 km da capital do estado, Belém (Figura 1). Tem uma população de 91.306 habitantes, em uma área territorial de 2.084,289 km² e, em 2022, a densidade demográfica registrada foi de 43,81 habitantes/km² (IBGE, 2023).

Após a conclusão da segunda etapa da UHE Tucuruí e do sistema de transposição de desnível, em 2007 e 2010, respectivamente, as intervenções do Governo Federal, por meio de grandes obras de infraestrutura, apresentaram redução de centralidade na dinâmica de desenvolvimento da cidade. Em 2021, segundo o IBGE, a base da economia eram as indústrias, o setor de serviços de administração, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social, e com menor expressividade, a agropecuária. Além disso, houve desaceleração dos fluxos migratórios registrados anteriormente, acompanhada de inflexão da dinâmica demográfica, com tendência à retração populacional.

Figura 3– Mapa de localização do município de Tucuruí-PA.



Fonte: Autor, 2026.

3.2 Métodos utilizados na pesquisa

A pesquisa apresenta método de pesquisa qualitativo com a finalidade de entender, interagir e interpretar as motivações ao longo do processo de desenvolvimento urbano (Lakatos; Marconi, 2017). Desta forma, para a elaboração deste estudo, também foi realizada uma pesquisa documental e bibliográfica, por meio de livros, periódicos e artigos, cujo principal intuito foi observar outros autores acerca da temática.

Neste sentido, a pesquisa envolveu quatro etapas para coleta e análise dos dados. O tratamento dos dados foi composto pelas seguintes atividades: (I) cálculo do Índice de Áreas Construídas por Diferença Normalizada (NDBI); (II) classificação segmentada do uso e ocupação do solo; (III) cálculo do índice de compactidade; (IV) análise de dados demográficos relacionando com as fases de construção da UHE Tucuruí.

3.2.1 Cálculo do Índice de Áreas Construídas por Diferença Normalizada (NDBI)

Para a obtenção e tratamento dos dados necessários ao cálculo do NDBI, utilizou-se o *Google Earth Engine* (GEE), uma plataforma de análises geoespaciais que armazena e processa dados em nuvem a partir de um código editor baseado na *Web*, possibilitando a escrita e execução de *scripts*. A partir do *script* disponível em <https://code.earthengine.google.com/c5ca30a6e5cd05865ad5910e886a8be6>, foram obtidas as imagens do satélite LANDSAT/LC08/C02/T1_RT_TOA, série 5, 8 e 9.

Após a escolha do satélite, foi feita a exportação do recorte da área de estudo para a plataforma do GEE, o que facilitou a obtenção dos dados para a área desejada. Desta forma, foi criado em uma linha de código a otimização de datas/períodos das imagens de satélite, levando em consideração que seriam trabalhados dados multitemporais de 3 anos diferentes, sendo esses: 2014, 2018 e 2024 em decorrência dos mesmos apresentarem menor incidência de nuvens durante as análises dos satélites. Com isso, foi possível alterar a data desejada para obtenção das imagens de maneira simples e automática.

Para gerar os dados de NDBI, realizou-se a escolha das bandas da imagem de satélite, para serem inseridas na expressão $(\text{swir} - \text{nir}) / (\text{swir} + \text{nir})$, sendo o nir: ('B5') e o swir: ('B6'). Após esse processo, foi gerada uma linha de código para a importação dos dados obtidos, enviados para a plataforma do *Google Drive* para posteriormente serem tratados no *software* Qgis 3.34.4.

3.2.2 Classificação segmentada do uso e ocupação do solo

Para o mapa de uso e ocupação do solo de Tucuruí-PA, foi utilizada a metodologia de aplicação feita por Silva, Paula e Veloso (2024), na qual se utiliza a segmentação de imagem de satélite para definir as classes de uso do solo por um processo visual de classificação das classes a partir da composição de banda colorida RGB.

O banco de dados geográficos foi construído com imagens de satélite da família LANDSAT, séries 5, 8 e 9, além dos dados vetoriais que serviram como complemento para a composição da cartografia final, como o do limite da área de estudo, limites municipais e estaduais, entre outros dados complementares. Em seguida, iniciou-se o processamento das imagens, sendo a composição colorida das bandas 6, 5 e 2 dos canais de cor RGB. Esse processo viabilizou a interpretação visual das classes presentes na área, além do conhecimento já existente.

Com a utilização do limite da área de estudo foi possível fazer o recorte das imagens *rasters* para a área de interesse, em seguida ao processo, os *rasters* passaram por classificação segmentada no *software* Qgis 3.34.4, para esse processo, foi utilizado o *plugin* Orfeo Toolbox (OTB), disponibilizado em <https://www.orfeo-toolbox.org/>. O *plugin* foi utilizado para o processo de segmentação das imagens usando o parâmetro *Watershed*, que tem a finalidade de ajustar a precisão dos polígonos a partir da rugosidade e coloração das imagens de satélite por pixel, a partir de parâmetros impostos pelo OTB como o valor e a escala, separando por feições enumeradas na tabela em ordem crescente.

Após o resultado da segmentação, foi dado início à classificação de imagem, resultando nas classes finais de uso do solo. A classificação passou por um processo de avaliação visual, com o intuito de verificar a existência de possíveis inconsistências na classificação. Todo o processo de classificação foi feito no *software* Qgis 3.34.4, desde a composição das bandas RGB até a confecção do mapa de uso do solo.

3.2.3 Cálculo do índice de compacidade

Foi calculado o índice de compacidade, que é um indicador da forma urbana. Para o cálculo deste índice, utilizou-se a fórmula proposta por Richardson (1973) e Cole (1964), que tem como base a relação entre a área e o perímetro urbano, conforme a Equação 2. Os dados necessários foram obtidos a partir de imagens de satélite da família LANDSAT, séries 5, 8 e 9,

para os anos de 2006 e 2024 e informações das coordenadas do perímetro urbano da Prefeitura Municipal de Tucuruí (PMT), através de seu Plano Diretor (2006).

3.2.4 Análise de dados demográficos

O primeiro indicador analisado foi o NDBI ou Índice de Áreas Construídas por Diferença Normalizada, proposto por Zha, Gao e Ni (2003). O cálculo do NDBI foi realizado através das bandas de infravermelho próximo e do infravermelho médio, conforme a Equação 1, para os anos de 2014, 2018 e 2024. O valor numérico do NDBI foi utilizado para produzir uma imagem com valores de -0,88 a +0,32. Os maiores valores foram relacionados aos pixels contidos em áreas construídas, assim como os menores representaram aqueles contidos em zonas não construídas, como vegetação ou água, conforme Sousa (2017).

$$NDBI = \frac{(SW1R1 - NIR)}{(SW1R1 + NIR)} \quad (1)$$

Onde: NDBI – Índice de Áreas Construídas por Diferença Normalizada;

SW1R1 – Banda de infravermelho médio;

NIR – Banda de infravermelho próximo.

A segunda análise realizada foi a de uso e ocupação do solo para as datas 06/12/2006 e 01/08/2024 utilizando a classificação segmentada. Em seguida, por fim, analisou-se a dinâmica demográfica de Tucuruí, com base nos censos realizados em 1970, 1980, 1991, 2000, 2010 e 2022, obtidos através de consulta ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Realizou-se a verificação das taxas de crescimento da população no município, relacionando-as com os períodos de construção da UHE Tucuruí.

Para a análise do cálculo de compactidade do solo, assumiu-se que a Equação 2 tem como base de cálculo a forma circular:

$$c = 2 \times \sqrt{\pi \times A} / P \quad (2)$$

Onde: c – Índice de compactidade;

A – Área urbana (m²);

P – Perímetro urbano (m).

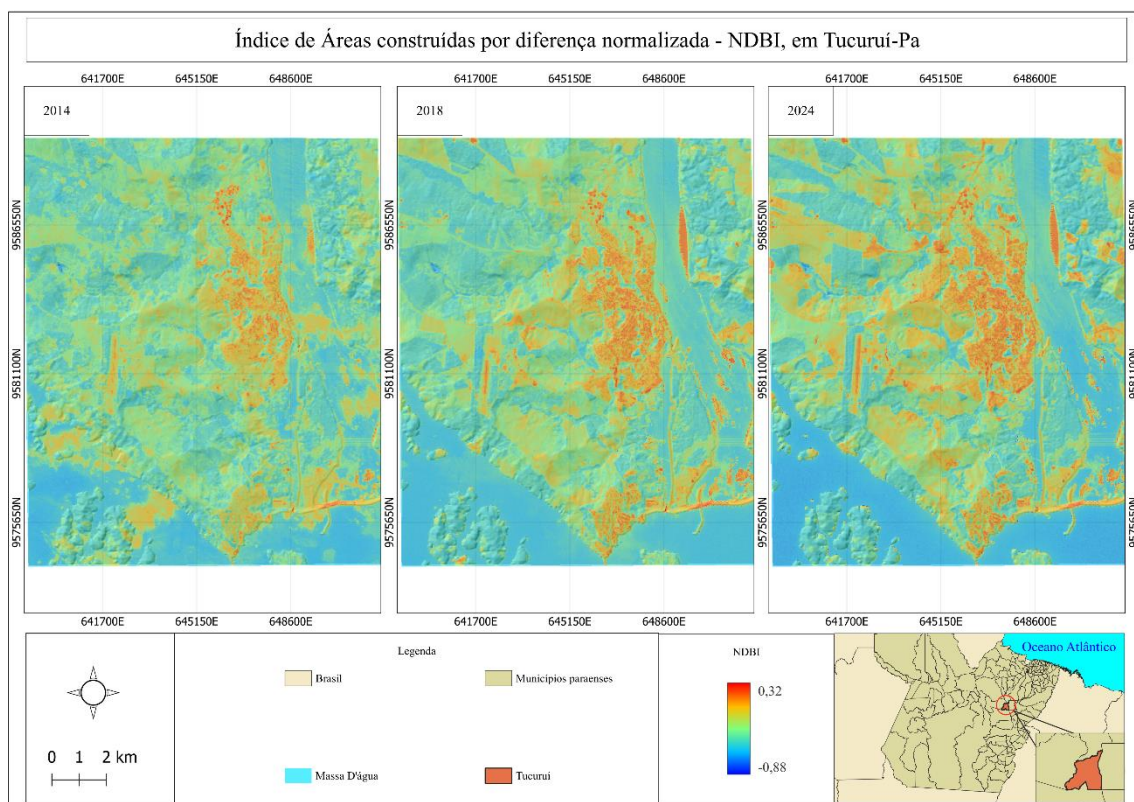
Quando o índice apresenta o valor de 1,0 significa que a cidade apresenta a sua forma mais compacta (circular), enquanto valores inferiores indicam uma cidade com forma mais dispersa ou menos compacta. Para essa pesquisa, adotou-se a classificação proposta por Lu e Liu (2016), na qual as cidades podem ser categorizadas como compactas, quando $c > 0,5$; pouco compactas ($0,2 < c < 0,5$); dispersas ($0,15 < c < 0,2$); e muito dispersas ($c < 0,15$). Após a análise comparativa dos índices para os anos de 2006 e 2024, verificou-se quais os tipos de crescimento apresentados para a cidade, conforme classificação de Pereira *et al.* (2022).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Índice de Áreas Construídas por Diferença Normalizada (NDBI)

O valor máximo do índice atingiu 0,32 (Figura 4), o que indica a presença de áreas construídas, como a zona urbana de Tucuruí, além da identificação de áreas de solo exposto, especialmente na margem direita do rio Tocantins. Já os menores valores de NDBI, próximos de -0,88, estão associados a superfícies de água, observadas principalmente nas porções sul e leste da imagem, onde se encontram o lago da UHE Tucuruí e o próprio rio Tocantins. As áreas com valores próximos de zero correspondem, em sua maioria, à cobertura vegetal, localizadas sobretudo na parte oeste das imagens. Também se destaca na região sudeste uma feição linear com elevados valores de NDBI, correspondente à crista da barragem da UHE Tucuruí.

Figura 4 – NDBI para a cidade de Tucuruí-PA.



Fonte: Autor, 2026.

Ao analisar a evolução temporal entre 2014 e 2024, observou-se um aumento dos valores de NDBI em direção ao oeste, acompanhando a tendência de expansão urbana nesse sentido. Em 2014, a maior concentração de áreas construídas se localizava na região central do mapa, além das porções sul e sudeste. Já em 2018, nota-se a ampliação dessas áreas para a zona oeste da área central, bem como o surgimento de novos pontos ao longo das margens do rio

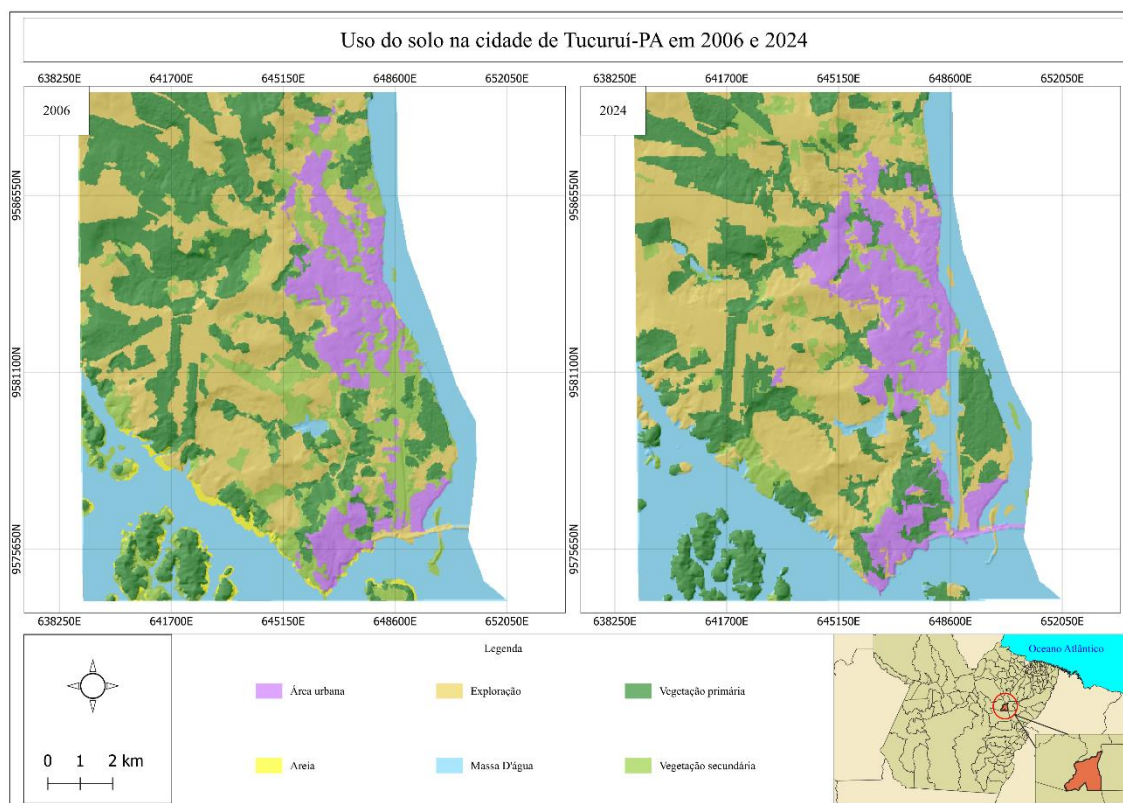
Tocantins. Essas ocorrências podem estar relacionadas ao período de aquisição da imagem (08/2018), correspondente à estação de vazante e seca (junho a setembro), quando a redução do nível da água favorece a formação de bancos de areia nas margens do rio.

Em 2024, os valores de NDBI evidenciam uma expressiva expansão das áreas construídas, bem como a ocupação de vazios urbanos, especialmente nas regiões mais a oeste, próximas ao aeroporto municipal, e ao norte, onde houve a implantação de novos loteamentos e bairros residenciais. Na área central situada mais ao sul do mapa, correspondente à Vila Permanente, observam-se inicialmente valores mais baixos de NDBI, os quais aumentam em 2024, indicando maior presença de áreas construídas ou solo exposto. Apesar dessas mudanças nos valores do índice, a forma e o arranjo espacial dessa área permanecem praticamente inalterados ao longo do período analisado.

4.2 Uso do solo

A análise do uso do solo na sede municipal de Tucuruí permitiu a identificação de seis classes principais, sendo elas: vegetação primária, vegetação secundária, áreas de exploração, corpos d'água, areia e áreas construídas. A Figura 5 apresenta os mapas de uso e cobertura do solo referentes aos anos analisados. Em 2006, observa-se predominância das classes de vegetação primária e áreas de exploração. Nesse período, a área urbana aparece concentrada na margem esquerda do rio Tocantins e na porção sul da imagem. Também são identificados pequenos bancos de areia ao longo do lago da UHE Tucuruí e em algumas ilhas localizadas mais ao sul da área estudada.

Figura 5 – Mapa de uso do solo de Tucuruí-PA para os anos de 2006 e 2024.



Fonte: Autor, 2026.

Em 2024, observa-se um aumento das áreas construídas, associado à expansão da malha urbana em direção ao oeste e à redução de extensões de vegetação primária e secundária, em função do avanço das áreas de exploração nas zonas periurbanas. Nota-se ainda a formação do canal intermediário das eclusas de Tucuruí, localizado na porção sudeste da imagem, bem como o aumento de áreas de vegetação primária entre a sede municipal e a Vila Permanente. Essa última alteração está relacionada à desmobilização das obras das eclusas e à desativação de vilas temporárias. Destaca-se também a permanência de pequenos fragmentos de vegetação primária e secundária no interior da área urbana, associados às margens dos igarapés que atravessam o centro da cidade.

Os dados apresentados na Figura 5 foram quantificados e organizados na Tabela 1, que traz os valores de área em km² e suas respectivas porcentagens para cada classe de uso e cobertura do solo nos anos analisados. Em 2006, observa-se que a classe predominante na área de estudo era a de “vegetação primária”, ocupando 49,41 km² (28,38%). Em seguida, destacava-se a classe “exploração”, com 45,41 km² (26,08%), seguida por “massa d’água”, com 35,33 km² (20,29%), e “vegetação secundária”, com 25,45 km². As classes “área construída” e “areia” apresentaram menores extensões, com 16,15 km² (9,27%) e 2,37 km² (1,36%), respectivamente. A presença da classe “areia” está relacionada ao nível do reservatório da UHE Tucuruí na data

analisada (06 de dezembro de 2006), quando a cota de 60,80 m favoreceu a formação de bancos de areia nas margens.

Tabela 1 – Classificação do uso do solo para a cidade de Tucuruí-PA nos anos de 2006 e 2024.

Cobertura do solo	Área em 2006		Área em 2024	
	km ²	%	km ²	%
Vegetação primária	49,41	28,38	42,27	24,31
Exploração	45,41	26,08	56,81	32,67
Massa d'água	35,33	20,29	41,97	24,13
Vegetação secundária	25,45	14,62	11,36	6,53
Área construída	16,15	9,27	21,49	12,36
Areia	2,37	1,36	0,00	0,00
Total	174,12	100,00	173,90	100,00

Fonte: Autor, 2026.

Em 2024, observa-se uma redução expressiva das classes “vegetação secundária” e “vegetação primária”, que passaram a ocupar, respectivamente, 11,36 km² (6,53%) e 42,47 km² (24,30%) da área total. Em contrapartida, a classe “área construída” apresentou um aumento de aproximadamente 33%, alcançando 21,49 km² (12,35%). As demais classes também registraram expansão, como “exploração”, que passou a abranger 56,81 km² (32,66%), e “massa d'água”, com 41,97 km² (24,13%) da área total. A classe “areia” não foi identificada nesse ano, o que pode ser explicado pelo nível do reservatório da UHE Tucuruí na data analisada (01 de agosto de 2024), quando a cota de 71,30 m, próxima da máxima (74,00 m), reduziu a exposição de áreas marginais e ilhas.

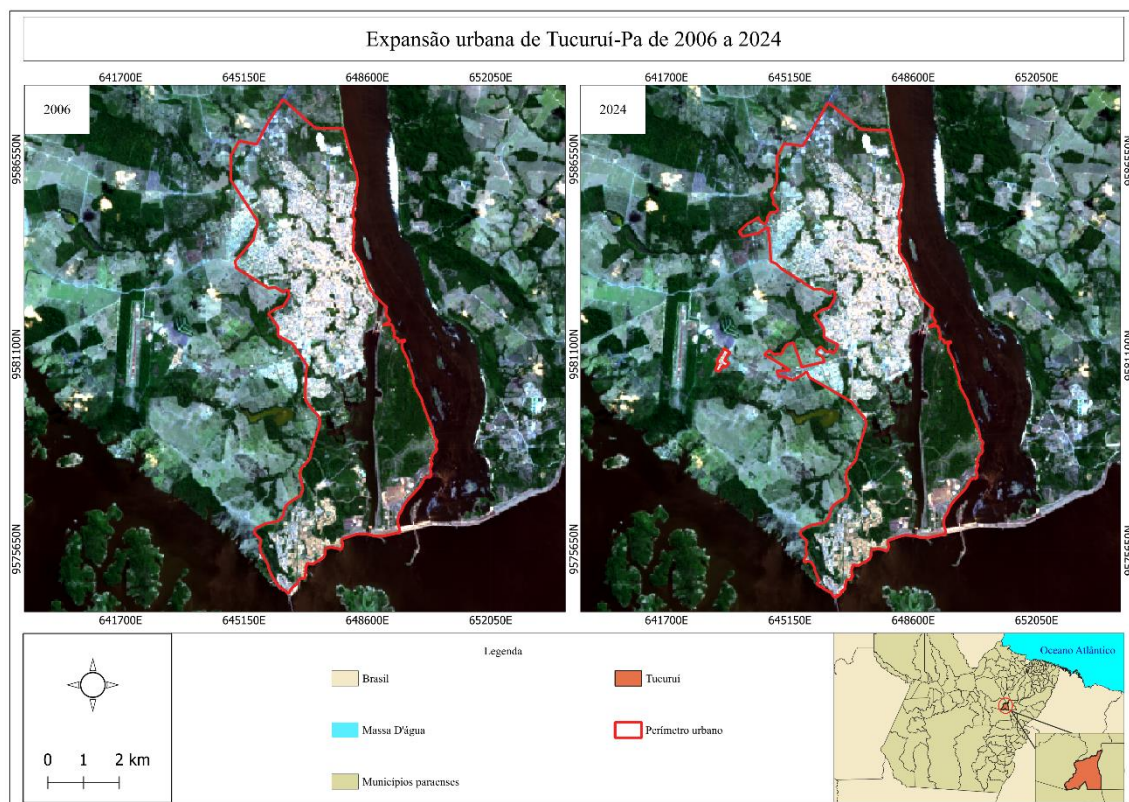
4.3 Índice de compactidade

Em 2006, a área urbana da sede municipal de Tucuruí, delimitada pelo plano diretor municipal, apresentava extensão de 38,623 km² e perímetro de 37,997 km. Com base nesses dados, o índice de compactidade (c) calculado para o período foi de 0,58, indicando que a cidade era classificada como compacta ($c > 0,5$), conforme a definição de Lu e Liu (2016). Destaca-se que essa estimativa inclui a *company town* Vila Permanente, que na época era administrada pela Eletronorte, responsável pela oferta de serviços públicos. Sua proximidade com a UHE Tucuruí contribuiu significativamente para a ampliação da área urbana considerada.

Em 2024, a cidade de Tucuruí apresentou uma área urbana de 42,099 km², com perímetro de 48,066 km. O índice de compactidade obtido para esse ano foi de 0,48, o que

classifica o município como pouco compacto ($0,20 < c < 0,50$). Esse resultado indica que o processo de expansão urbana modificou a configuração da cidade, tornando-a mais dispersa e reduzindo o índice de compacidade em 17,47%. A Figura 6 compara a delimitação da área urbana entre 2006 e 2024, evidenciando o adensamento da área central e a expansão em direção ao oeste, com a incorporação de novos bairros mais afastados do núcleo urbano. Ressalta-se ainda que, a partir de 2022, a Vila Permanente passou a ser integralmente administrada pela Prefeitura Municipal de Tucuruí (PMT).

Figura 6 – Expansão da mancha urbana de Tucuruí-PA de 2006 a 2024.



Fonte: Autor, 2026.

No período analisado, observa-se que a cidade de Tucuruí apresentou diferentes padrões de crescimento urbano, conforme a classificação proposta por Pereira *et al.* (2022), incluindo o adensamento (*densification*), caracterizado pelo crescimento dentro de áreas urbanas já consolidadas; o espalhamento por extensão (*extension*), que ocorre em áreas contíguas à malha urbana existente; e o crescimento do tipo *leapfrog*, marcado pela ocupação de áreas desconectadas do tecido urbano. Diante desse cenário, reforça-se a importância de buscar um modelo de cidade mais compacto. Esse formato tende a trazer benefícios sustentáveis, como a concentração de serviços e equipamentos em áreas menores, redução das necessidades de

deslocamento motorizado e maior proximidade entre pessoas, empregos e oportunidades (Pereira *et al.*, 2022).

Em suas análises, Santos (1993) e Hess, Ribeiro e Wieprecht (2017) afirmaram que o processo de desenvolvimento urbano e/ou expansão da mancha urbana está diretamente relacionado com a necessidade da população, em Tucuruí assim como em outras regiões do Brasil as instalações de UHE foram responsáveis pelo processo de desenvolvimento acelerado. Contudo, em grande parte dos casos, o crescimento populacional é maior do que a infraestrutura urbana, com isso, além de condições de vida inadequadas à população, ainda está sujeita às condições socioambientais.

Nesse contexto, Santos (1993) discorre sobre as diferentes etapas do processo de urbanização, porém o mesmo afirma que as regiões que mais sofrem com desenvolvimento urbano são regiões com vastas áreas territoriais, Tucuruí quando comparado aos Estados citados estava dentro de uma região muito populosa, mas pouco desenvolvida, a UHE do município de Tucuruí trouxe para a região crescimento urbano e populacional.

A Figura 6, demonstra como o processo de expansão se deu no município no período de 2006 a 2024, de acordo com o mapa o município após as obras da usina, a cidade se expandiu desenfreadamente, o que ocasionou um maior consumo de energia elétrica. Os resultados quando comparados com Santos (1993), retrata que assim como na década de 1960, a alta demanda por eletricidade leva os municípios a produzirem mais energia e principalmente a implantarem mais rotas de distribuição.

Por outro lado, assim como nas pesquisas de Balbo (1993) e Harvey (2014) ao qual apresentavam diferenças em valores de áreas imobiliárias em virtude da distância, o município de Tucuruí apresenta características semelhantes, apesar do grande aumento urbano, populacional e econômico devido a UHE, a cidade ainda detém de áreas urbanas distantes do grande centro urbano o que caracteriza as regiões em áreas mais desvalorizadas, sem acesso infraestrutura urbana e com valor de mercado abaixo dos demais bairros centrais, a incidência dessas áreas podem ser observadas na Figura 6, no mapa referente ao ano de 2024.

Com isso, os resultados quando comparados a outras pesquisas evidenciam que com o passar dos anos, o processo de expansão territorial tende a aumentar, uma vez que após a instalação de um grande empreendimento o município ainda está sujeito a altas taxas de crescimento urbano e populacional. Entretanto, quanto maior a expansão do município maiores são as demandas por qualidade de vida e principalmente por mobilidade urbana, visto que quanto mais longe a nova área urbana, maior a necessidade de deslocamento da população (Pedro; Silva; Portugal, 2017).

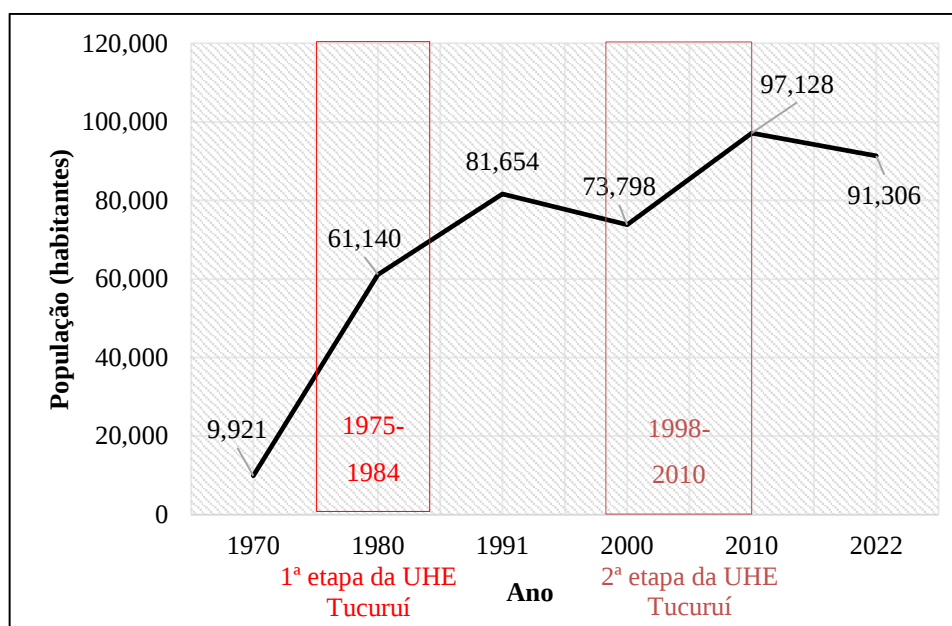
4.4 Dinâmica populacional

Conforme os censos demográficos do IBGE, a população de Tucuruí em 1970 era de cerca de 9.921 habitantes, dos quais 5.628 viviam na área urbana. Em 1980, o município registrou um expressivo aumento populacional, atingindo 61.140 habitantes, o que corresponde a um crescimento de 516,3%. Nesse período, a população rural ainda predominava, com 33.879 pessoas (55,4%), enquanto a população urbana somava 27.261 habitantes. Após a inauguração da primeira etapa da UHE Tucuruí, em 1984, o censo de 1991 apontou uma população de 81.623 habitantes, representando um crescimento de 33,5% no período. Nesse cenário, destaca-se a mudança na estrutura demográfica, com a população urbana passando a corresponder a 56,4% do total do município.

No censo de 2000 (IBGE, 2000), Tucuruí apresentou uma redução no total de habitantes, passando a registrar 73.798 pessoas, das quais 60.918 (82,5%) residiam na área urbana e 12.880 na zona rural. Em contrapartida, o censo de 2010 revelou um novo aumento populacional, com crescimento de 31,6% em relação ao período anterior. Nesse cenário, o município já se consolidava como essencialmente urbano, totalizando 97.109 habitantes. Desses, 92.433 indivíduos, correspondendo a 95,2% da população, viviam na área urbana delimitada pela sede municipal.

No último censo demográfico divulgado pelo IBGE em 2023, referente ao período de 2010 a 2022, o município de Tucuruí apresentou uma taxa de crescimento geométrico negativa de -0,51%, o que resultou na redução de sua população para 91.304 habitantes. Esse comportamento demográfico contrasta com as tendências observadas no Brasil (+0,52%), na região Norte (+0,75%) e no estado do Pará (+0,57%), todas caracterizadas por crescimento populacional no mesmo período. Portanto, enquanto essas escalas territoriais registraram aumento populacional, Tucuruí seguiu uma trajetória oposta, com declínio no número de habitantes. Os resultados podem ser observados na Figura 7:

Figura 7 – Evolução da população da cidade de Tucuruí-PA.



Fonte: Autor, 2026.

A Figura 5 mostra o gráfico da evolução histórica da população de Tucuruí com base nos censos demográficos do IBGE, no qual se observa um forte crescimento populacional nas décadas de 1970 e 1980, caracterizado por um aumento de 51.219 habitantes. Também são evidenciados períodos de redução populacional entre 1991 e 2000 e entre 2010 e 2022. Esses momentos de queda coincidem com a finalização da primeira etapa da UHE Tucuruí, em 1984, e com o término das obras das Eclusas de Tucuruí, em 2010, respectivamente.

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos nesta pesquisa reforçam a necessidade de aprofundamento dos estudos sobre a expansão urbana e as transformações no uso e ocupação do solo, uma vez que esse processo se caracteriza por constantes mudanças na organização espacial das cidades. A análise dos resultados, em consonância com a literatura, evidencia que o crescimento urbano promove a incorporação de novos padrões de ocupação, influenciando diretamente a mobilidade urbana, a oferta de infraestrutura e a qualidade de vida da população.

O padrão de ocupação da cidade de Tucuruí foi impulsionado pelo intenso fluxo migratório direcionado ao entorno da obra da UHE Tucuruí. Onde, a dinâmica de uso e ocupação do solo acompanhou as principais etapas de construção do empreendimento e, atualmente, após sua conclusão ocorreu a redução do fluxo migratório, a cidade apresenta novas características em seu processo de desenvolvimento urbano.

Na análise do NDBI, o valor máximo encontrado foi de 0,32, ainda distante do limite superior do índice (1,0), mas representativo de áreas urbanizadas e de maior exposição do solo na cidade. Em contrapartida, os menores valores foram registrados em superfícies alagadas, como o lago da UHE Tucuruí, o rio Tocantins e os igarapés, com índices próximos de -0,88. A partir da evolução do NDBI entre 2018 e 2024, observou-se uma tendência de expansão das áreas construídas em direção ao oeste da sede municipal, indicando um processo de espraiamento urbano. Esse padrão tem afastado novos bairros e ocupações das margens do rio Tocantins. Tal direcionamento para o oeste também se destaca por corresponder a áreas de maior altitude.

A análise do uso e ocupação do solo na sede municipal de Tucuruí entre 2006 e 2024, realizada por meio de classificação segmentada, evidenciou mudanças significativas ao longo do período. Observou-se um aumento de 33% na classe “área construída”, que em 2024 passou a abranger 21,49 km² (12,35%). Em relação à forma urbana, o município passou de uma configuração classificada como “compacta” para “pouco compacta”, indicando um processo de expansão mais disperso da área urbana. Nesse contexto, destacam-se os padrões de crescimento associados ao adensamento, ao espalhamento por extensão e ao crescimento do tipo *leapfrog*.

Por fim, constatou-se que a dinâmica populacional de Tucuruí foi fortemente condicionada pelos fluxos migratórios de trabalhadores envolvidos na construção da UHE Tucuruí. Nas décadas de 1970 e 1991, observou-se um expressivo crescimento populacional, associado à implantação da primeira etapa do empreendimento. Situação semelhante ocorreu entre 2000 e 2010, período correspondente à construção da segunda etapa e das eclusas, quando

se registrou uma elevada taxa de crescimento. Após 2010, entretanto, o município passou a apresentar uma taxa de crescimento geométrico negativa de -0,51%, coincidindo com a redução e finalização dos grandes investimentos federais na região.

Nesse contexto, embora haja uma tendência recente de diminuição da população, a área urbanizada de Tucuruí segue em expansão, especialmente em direção ao oeste da sede municipal. Nesse contexto, a pesquisa demonstrou que o monitoramento contínuo do uso e ocupação do solo pode orientar estratégias voltadas à contenção do espraiamento urbano e ao incentivo do adensamento das áreas já consolidadas, favorecendo um modelo de desenvolvimento urbano mais compacto, sustentável e eficiente, em consonância com os princípios de gestão territorial.

Além de contribuir para o planejamento urbano de Tucuruí, a metodologia proposta pode ser aplicada em outros municípios amazônicos influenciados por grandes empreendimentos hidrelétricos, permitindo o monitoramento da expansão urbana e apoiando a formulação de políticas públicas baseadas em evidências espaciais.

Portanto, sugere-se para trabalhos futuros integrar outros indicadores ambientais e socioeconômicos às análises espaciais, como: Temperatura da Superfície Terrestre (LST), impermeabilização do solo, mobilidade urbana, infraestrutura, renda e acesso a serviços públicos. Outra perspectiva relevante, é o estudo comparativo entre Tucuruí e outros municípios amazônicos que também passaram pelo processo de urbanização associados a grandes empreendimentos hidrelétricos, como Altamira (UHE Belo Monte) e Porto Velho (UHE Jirau e Santo Antônio).

REFERÊNCIAS

- ACSELRAD, H. Planejamento autoritário e desordem socioambiental na Amazônia: crônica do deslocamento de populações em Tucuruí. **Revista de Administração Pública**, v. 25, n. 4, p. 53–68, 1991. Disponível em: <https://periodicos.fgv.br/rap/article/view/8897/7788>. Acesso em: 11 mar. 2026.
- ALI, M. I.; HASIM, A. H.; ABIDIN, M. R. Monitoring the Built-up Area Transformation Using Urban Index and Normalized Difference Built-up Index Analysis. **International Journal of Engineering**, v. 32, n. 5, p. 647-653, 2019. DOI: 10.5829/ije.2019.32.05b.04. Acesso em: 10 mar. 2026.
- AMINI, S.; SABER, M.; RABIEI-DASTJERDI, H.; HOMAYOUNI, S. Urban Land Use and Land Cover Change Analysis Using Random Forest Classification of Landsat Time Series. **Remote Sensing**, v. 14, n. 2654, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14112654>. Acesso em: 05 jan. 2026.
- ANGEL, S. Urban expansion: theory, evidence and practice. **Buildings and Cities**, v. 4, n. 1, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5334/bc.348>. Acesso em: 12 fev. 2026.
- BAATZ, M.; SCHÄPE, A. Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. In: STROBL, J.; BLASCHKE, T.; GRIESSEBNER, G. (org.). **Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII**. Karlsruhe: Wichmann, 2000. p. 12–23.
- BADLANI, B. PATEL, A. N.; KALUBARME, M. H. Urban Growth Monitoring using Remote Sensing and Geo-Informatics: Case Study of Gandhinagar, Gujarat State (India). **International Journal of Geosciences**, v. 8, n. 4, p. 563-576, 2017. DOI: <https://doi.org/10.4236/ijg.2017.84030>. Acesso em: 10 jan. 2026.
- BALBO, M. Urban Planning and the Fragmented City of Developing Countries. **Third World Planning Review**, v. 15, n. 1, p. 23-35, 1993. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/279154317_Urban_Planning_and_the_Fragmented_City_of_Developing_Countries. Acesso em 03 mai. 2026.
- BANCO MUNDIAL. **Demographic trends and urbanization**. Washington, DC: World Bank, 2021.
- BERMANN, C. Impasses e controvérsias da hidreletricidade. **Estudos Avançados**, v. 21, n. 59, p. 139–153, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/PHk7yHnkGkM6DzytNpNT8WB/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 12 dez. 2025.
- BLASCHKE, T. Object based image analysis for remote sensing. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 65, n. 1, p. 2–16, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.06.004>. Acesso em: 10 jan. 2026.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Banco de Informações de Geração – BIG**. Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br>. Acesso em: 19 mar. 2026.

CAMPOS, M.; CAMPOS, S.; CAMPOS, M. Geotecnologias aplicada nos conflitos de uso do solo em áreas de preservação permanente no município de Barra Bonita/SP. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 14, n. 2, p. 140-151, 2020. Disponível em: <https://seer.tupa.unesp.br/BIOENG/article/view/890>. Acesso em: 30 jun. 2026.

CAMPOS, R. F. F.; REICHARDT, L. G. Diagnóstico do uso e ocupação do solo da Área de Preservação Permanente (APP) do perímetro urbano do município de Ouro (Santa Catarina). **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, v. 6, n. 3, 2025. DOI: <https://doi.org/10.66205/rbsr.v6i3.211>. Acesso em: 10 fev. 2026.

CHEN, X. et al. A new index for mapping built-up and bare land areas from Landsat imagery. **Remote Sensing Letters**, v. 5, n. 4, p. 300–309, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202560703005.org/>.

COLE, J. Study of Major and Minor Civil Divisions in Political Geography. In: The 20th International Geographical Congress. Sheffield, Inglaterra, 1964.

CRUZ, D. A. M. O. As faces do planejamento urbano. **PEGADA – A Revista da Geografia do Trabalho**, v. 12, n. 2, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/329926743_AS_FACES_DO_PLANEJAMENTO_URBANO. Acesso em: 05 mar. 2026.

CRUZ, R. B. C.; MARINS, K. R. de C. C. Avaliação do índice de compacidade nas subprefeituras do município de São Paulo. **REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 13, n. 2, 2017. DOI: 10.5216/reec.v13i2.44964. Acesso em: 22 mai. 2026.

DARBY, F.A.; TURNER, R.E. Below- and Aboveground *Spartina alterniflora* Production in a Louisiana Salt Marsh. **Estuaries and Coasts: JCERF**, v. 31, p. 223–231, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12237-007-9014-7>. Acesso em: 15 jan. 2026.

DHANARAJ, K.; ANGADI, D. P. Urban expansion quantification from remote sensing data for sustainable land-use planning in Mangaluru, India. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 23, p. 100602, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100602>. Acesso em: 03 mar. 2026.

DIGRA, M.; DHIR, R.; SHARMA, N. Land use land cover classification of remote sensing images based on the deep learning approaches: a statistical analysis and review. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 15, n. 1003, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12517-022-10246-8>. Acesso em: 20 fev. 2026.

ELETROBRAS ELETRONORTE. **História**. Disponível: <https://www.eletronorte.com.br/historia/>. Acesso em: 19 nov. 2024.

FEARNSIDE, P. M. Environmental impacts of Brazil's Tucuruí Dam: unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia. **Environmental Management**, v. 27, n. 3, p. 377–396, 2001. DOI: <https://link.springer.com/article/10.1007/s002670010156>. Acesso em: 10 nov. 2025.

FEARNSIDE, P. M. **Hidrelétricas na Amazônia**: impactos ambientais e sociais na tomada de decisões sobre grandes obras. Manaus: Editora do INPA, 2019, v. 3, 148 p. Disponível em: https://philip.inpa.gov.br/publ_livres/2019/Hidro-v3/Livro_Hidrel%C3%A9tricas_Vol_3.pdf. Acesso em: 22 jan. 2026.

FEARNSIDE, P. M. Belo Monte: atores e argumentos na luta sobre a barragem amazônica mais controversa do Brasil. **Revista NERA**, n. 42, p. 162-185, 2018. DOI: <https://doi.org/10.47946/rnera.v0i42.5691>. Acesso em: 15 fev. 2026.

FERREIRA, L. F.; CARVALHO, C. X. Hidrelétricas na Amazônia: uma discussão dos impactos de Belo Monte à luz do licenciamento ambiental. **Revista Tempo do Mundo**, n. 27, p. 385–421, dez. 2021. DOI: <https://doi.org/10.38116/rtm27art14>. Acesso em: 02 mar. 2026.

FRANCO, V. S.; SOUZA, E. B.; LIMA, A. M. M. Cheias e vulnerabilidade social: estudo sobre o rio Xingu em Altamira/PA. **Ambiente & Sociedade**, v. 21, p. e01573, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc0157r3vu18L1AO>. Acesso em: 03 fev. 2026.

HALL, P.; TEWDWR-JONES, M. **Urban and Regional Planning**. 5 ed. [S. l.]: Routledge, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.4324/9780203861424>. Acesso em: 10 abr. 2026.

HARVEY, D. **Cidades rebeldes**: do direito à cidade à revolução urbana. São Paulo: Martins Fontes, 2014.

HEROLD, M.; GOLDSTEIN, N. C.; CLARKE, K. C. The spatiotemporal form of urban growth: measurement, analysis and modeling. **Remote Sensing of Environment**, v. 86, n. 3, p. 286–302, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00075-0](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00075-0). Acesso em: 06 jan. 2026.

HESS, C. E. E.; RIBEIRO, W. C.; WIEPRECHT, S. Assessing Environmental Justice in Large Hydropower Projects: The Case of São Luiz do Tapajós in Brazil. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 37, p. 91-109, maio 2016. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/made/article/view/45273/28091>. Acesso em: 28 abr. 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo demográfico de 1970**. Rio de Janeiro: IBGE, 1970.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo demográfico de 1980**. Rio de Janeiro: IBGE, 1980.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo demográfico de 1991**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo demográfico de 2000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo demográfico de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo demográfico de 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>. Acesso em: 01 jul. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Divisão regional do Brasil em regiões geográficas imediatas e regiões geográficas intermediárias: 2017**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017.

JACOBS, J. **Morte e vida de grandes cidades**. 3. ed. São Paulo: WMF Martins Fontes, 2011. 532 p.

KHORRAM, S. *et al.* **Remote sensing**. New York: Springer Science & Business Media, 2012.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. D. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 7.ed. São Paulo: Atlas, 2017.

LEFEBVRE, H. **O direito à cidade**. São Paulo: Centauro, 2001. Disponível em: https://monoskop.org/images/f/fc/Lefebvre_Henri_O_direito_a_cidade.pdf. Acesso em: 29 mar. 2026.

LIMA, M. M.; SANTOS, L. A. Acumulação por espoliação, cidades e (geo)grafias do comum no médio curso do rio Tocantins. **ACTA Geográfica**, v. 17, n. 43, p. 59–81, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5654/acta.v17i43.7253>. Acesso em: 10 fev. 2026.

LU, C.; LIU, Y. Effects of China's urban form on urban air quality. **Urban Studies**, v. 53, n. 12, p. 2607–2623, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1177/0042098015594080>. Acesso em: 20 dez. 2025.

MIRANDA NETO, J. Q.; HERRERA, J. A. Expansão urbana recente em Altamira (PA): novas tendências de crescimento a partir da instalação da UHE Belo Monte. **Ateliê geográfico**, v. 11, n. 3, p. 34-52, 2017. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/atelie/article/view/33766>. Acesso em: 25 jul. 2026.

MORETTO, E. M. GOMES, C. S.; ROQUETTI, D. R.; JARDÃO, C. O. Histórico, tendências e perspectivas no planejamento espacial de usinas hidrelétricas brasileiras: a antiga e atual fronteira Amazônica. **Ambiente & Sociedade**, v. 15, n. 3, p. 141–164, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/7fk7SbTFMD6KbhDSFMVRr8C/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 abr. 2026.

NORTE ENERGIA S. A. **A história de Belo Monte – Cronologia**. Disponível: <https://www.norteenergiasa.com.br/uhe-belo-monte/>. Acesso em: 19 nov. 2024.

OJIMA, R.; MONTEIRO, F. F.; NASCIMENTO, T. C. I. Urbanização dispersa e mobilidade no contexto metropolitano de Natal: a dinâmica da população e a ampliação do espaço de vida. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 7, n. 1, p. 9-20, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/urbe/a/Y4XPJ6Z4zqJHjFJYxLXkXbH/?lang=pt>. Acesso em: 28 abr. 2026.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **World urbanization prospects: the 2014 revision: highlights**. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. New York: United Nations, 2014. Disponível em: <https://www.un.org/pt/desa/2014-revision-world-urbanization-prospects>. Acesso em 30 abr. 2026.

PEDRO, L. M.; SILVA, M. A. V.; PORTUGAL, L. S. Desenvolvimento e mobilidade sustentáveis. In: PORTUGAL, L. S. **Transporte, mobilidade e desenvolvimento urbano**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

PEREIRA, E. M. **Planejamento urbano no Brasil: conceitos, diálogos e práticas**. Chapecó: Argos, 2013.

PEREIRA, R. H. M.; PARGA, J. P.; SARAIVA, M.; BAZZO, J. P.; TOMASIELLO, D. B.; SILVA, L.P.; NADALIN, V.; BARBOSA, R. **Forma urbana e mobilidade sustentável: evidências de cidades brasileiras**. Texto para discussão – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Rio de Janeiro: IPEA, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.38116/td2802>.

PIMENTEL, C. A. C.; RAVENA, N.; TRINDADE, J. R. B. Da estrada de ferro Tocantins à hidrelétrica de Tucuruí: uma leitura baseada no conceito de ambiente construído. **Papers do NAEA**, v. 1, n. 1, 2022. Disponível em: <https://periodicos.ufpa.br/index.php/pnaea/article/view/12670/8749>. Acesso em: 25 fev. 2026.

PINTO, L. F. De Tucuruí a Belo Monte: a história avança mesmo? **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Cienc. Hum.**, v. 7, n. 3, p. 777-782, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1981-81222012000300010>. Acesso em: 30 jan. 2026.

PINTO, N. T.; MOREIRA, G. L. Expansão urbana e problemas ambientais: o caso do bairro Teotônio Vilela, Ilhéus, Bahia. **Geopauta**, v. 6, p. e10067, 2022. DOI: <https://doi.org/10.22481/rg.v6.e2022.e10067>. Acesso em: 28 jan. 2026.

POMPEU, V. S. **Entre os eixos da circulação: as faces-fases da produção do espaço urbano de Tucuruí-PA**. 2020. 260f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal do Pará, Belém, 2020. Disponível em: file:///C:/Users/angelo/Downloads/Dissertacao_EntreEixosCirculacao.pdf. Acesso e: 25 jul. 2026.

PRESTES, F. S. T.; LOPES, G. S.; SACRAMENTO, I. C. C. Análise do uso e ocupação do solo: uma caracterização histórica a partir das geotecnologias. **Revista Engenharia e Construção Civil**, v. 3, n. 2, 2015. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/recc/article/view/6648/4806>. Acesso em: 30 jun. 2026.

RAHNAMA, M. R.; WYATT, R.; SHADDEL, L. A spatial-temporal analysis of urban growth in Melbourne; Were local government areas moving toward compact or sprawl from 2001–2016? **Applied Geography**, v. 124, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102318>. Acesso em: 22 fev. 2026.

RATTNER, H. **Planejamento urbano e regional**. 1 ed. São Paulo: Nacional, 1974.

REIS, S. Analyzing Land Use/Land Cover Changes Using Remote Sensing and GIS in Rize, North-East Turkey. **Sensors**, v. 8, n.10, p. 6188-6202, 2008. DOI: <https://doi.org/10.3390/s8106188>. Acesso em: 11 mar. 2026.

REN, Y. *et al.* Evaluating the effects of urbanization on land use and landscape patterns in southern China (1990–2020). **Scientific Reports**, v. 15, n. 4, p. 42220, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-26368-4>. Acesso em: 22 mai. 2026.

RICHARDSON, H. W. **The Economics of Urban Size**. Westmead: Saxon House, 1973.

ROCHA, G. M. Hidrelétrica, dinâmica populacional e mudança espacial na Região de Integração Lago Tucuruí (1970-2010). In: ROCHA, SOBRINHO e TEISSERENC [Org.]. **Aprendizagem territorial: dinâmicas territoriais, participação social e ação social**. Belém: NUMA/UFPA, 2016.

ROSA, R. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do departamento de geografia**, v. 16, p. 81-90, 2005. Disponível em: https://revistas.usp.br/rdg/pt_BR/article/view/47288/51024. Acesso em: 30 jun. 2026.

SÁNCHEZ, V. *et al.* Use of Geotechnologies and Multicriteria Evaluation in Land Use Policy - The Case of the Urban Area Expansion of the City of Babahoyo, Ecuador. **Sixth International Conference on eDemocracy & eGovernment (ICEDEG)**, Quito, Ecuador, p. 194-202, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICEDEG.2019.8734312>. Acesso em: 25 mai. 2026.

SANTOS, M. **A urbanização brasileira**. São Paulo: Editora Hucitec, 1993.

SANTOS, P. S.; SANTOS, M. E. G.; SANTOS, R. Uso e ocupação do solo: reflexão sobre impacto ambiental. **Agri-environmental Sciences**, v. 7, n. 1, p. 10, 2021. DOI: <https://doi.org/10.36725/agries.v7i1.5208>. Acesso em: 22 fev. 2026.

SATIPALDY, B.; MARZHAN, U. Z.; DAMIRA, G. Geotechnology in the Age of AI: The Convergence of Geotechnical Data Analytics and Machine Learning. **Fusion of Multidisciplinary Research: An International Journal**, v. 2, n. 1, p. 136–151, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/392494543_Geotechnology_in_the_Age_of_AI_The_Convergence_of_Geotechnical_Data_Analytics_and_Machine_Learning. Acesso em: 04 fev. 2026.

SETO, K. C.; GUENRALP, B.; HUTYRA, L. R. Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. **Proceedings of the National Academy of Sciences – PNAS**, v. 109, n. 40, p. 16083-16088, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1211658109>. Acesso em: 01 mar. 2026.

SILVA, G.; ROMERO, M. Sustentabilidade urbana aplicada: análise dos processos de dispersão, densidade e uso e ocupação do solo para a cidade de Cuiabá, Estado de Mato Grosso, Brasil. **EURE**, v. 41, n. 122, p. 209-237, 2015. Disponível em: https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0250-71612015000100010&script=sci_arttext. Acesso em: 10 mai. 2026.

SILVA, N. P.; PAULA, E. M. S.; VELOSO, G. A. Análise das transformações na Terra Indígena Paquichamba a partir da construção da Usina Hidrelétrica de Belo Monte/PA. **Revista Verde Grande: Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 6, n. 01, p. 247-264, 2024. DOI: 10.46551/rvg2675239520241247264. Acesso em: 06 mar. 2026.

SOUSA, M. T. **Análise do NDBI como método para classificar áreas construídas para os anos de 2000 e 2010 nos municípios de São José dos Campos, Jacaré e Arapeí, São Paulo**. Monografia (Graduação em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2017. Acesso em: 24 mai. 2026.

SU, H.; HAN, G.; LI, L.; QIN, H. The impact of macro-scale urban form on land surface temperature: An empirical study based on climate zone, urban size and industrial structure in China. **Sustainable Cities and Society**, v. 74, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103217>. Acesso em: 20 jan. 2026.

TALUKDAR, S.; SINGHA, P.; MAHATO, S.; SHAHFAHAD; PAL, S.; LIOU, Y.; RAHMAN. Land-Use Land-Cover Classification by Machine Learning Classifiers for Satellite Observations—A Review. **Remote Sensing**, v. 12, n. 7, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12071135>. Acesso em: 18 jan. 2026.

TRINDADE JUNIOR, S. C. Grandes projetos, urbanização do território e metropolização na Amazônia. **Terra Livre**, v. 1, n. 26, p. 177-194, 2006. DOI: https://doi.org/10.62516/terra_livre.2006.214. Acesso em: 19 fev. 2026.

TSAI, Y-H. Quantifying urban form: compactness versus “sprawl”. **Urban Studies**, v. 42, n. 1, p. 141-161, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1080/0042098042000309748>. Acesso em: 23 mai. 2026.

TUCURUÍ. **Lei nº 7.148, de 29 de dezembro de 2006**. Dispõe sobre o Plano Diretor Participativo do Município de Tucuruí e dá outras providências. Tucuruí: Câmara Municipal, 2006.

VERMA, P. Application of Remote Sensing and Geotechnical Data for Monitoring Environmental Impact of Urban Expansion on Soil Stability. **Journal of Remote Sensing, Environmental Science & Geotechnical Engineering**, v. 10, n. 2, 2025. Disponível em: <https://admin.mantechpublications.com/index.php/JoRSESGE/article/view/1911>. Acesso em: 11 mar. 2026.

WAHID, T. B.; MUSHREF, Z. J. Geospatial analysis of urban expansion using the NDBI spectral index and Landsat-8 data. **European Journal of Sustainable Development Research**, v. 10, n. 1, 2026. DOI: <https://doi.org/10.29333/ejosdr/17556>. Acesso em: 23 mai. 2026.

WANG, J.; ZHEN, J.; HU, W.; CHEN, S.; LIZAGA, I.; ZERAATPISHEN, M.; YANG, X. Remote sensing of soil degradation: progress and perspective. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 11, n. 3, p. 429–454, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.03.002>. Acesso em: 11 mar. 2026.

WANG, W. Z.; LIU, L. C.; LIAO, H.; WEI, Y. M. Impacts of urbanization on carbon emissions: An empirical analysis from OECD countries. **Energy Policy**, v. 151, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112171>. Acesso em: 26 fev. 2026.

WINEMILLER, K. O.; MCINTYRE, L.; CASTELLO, E.; FLUET-CHOUINARD, T.; GIARRIZZO, S.; NAM, I. G.; BAIRD, W.; DARWALL, N. K.; LUJAN, I.; HARRISON, M. L. J.; STIASSNY, R. A. M.; SILVANO, D. B.; FITZGERALD, F. M.; PELICICE, A. A.; AGOSTINHO, L. C.; GOMES, J. S.; ALBERT, E.; BARAN, M.; PETRERE JR., C.; ZARFL, M.; MULLIGAN, J. P.; SULLIVAN, C. C.; ARANTES, L. M.; SOUSA, A. A.; KONING, D. J.; HOEINGHAUS, M.; SABAJ, J. G.; LUNDBERG, J.; ARMBRUSTER, M. L.; THIEME, P.; PETRY, J.; ZUANON, G.; TORRENTE VILARA, J.; SNOEKS, C.; OU, W.; RAINBOTH, C. S.; PAVANELLI, A.; AKAMA, A.; VAN SOESBERGEN, L.; SÁENZ. Balancing hydropower and biodiversity in the Amazon, Congo, and Mekong. **Science**, v. 351, n. 6269, p. 128–129, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aac7082>. Acesso em: 14 jan. 2026.

WOLFF, M.; HAASE, D.; HAASE, A. Compact or spread? A quantitative spatial model of urban areas in Europe since 1990. **PLoS ONE**, v. 13, n. 2, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192326>. Acesso em: 03 dez. 2025.

WU, J. Urban ecology and sustainability: The state-of-the-science and future directions. **Landscape and urban planning**, v. 125, p. 209–221, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.018>. Acesso em: 29 dez. 2026.

YANG, B.; XU, T.; SHI, L. Analysis on sustainable urban development levels and trends in China's cities. **Journal of Cleaner Production**, v. 141, p. 868–808, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.121>

YIN, J.; DONG, J.; HAMM, N. A. S.; LI, Z.; WANG, J.; XING, H.; FU, P. Integrating remote sensing and geospatial big data for urban land use mapping: A review. **International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation**, v. 103, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102514>. Acesso em: 10 nov. 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. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431160304987>. Acesso em: 18 jan. 2026.

ZHOU, Y. *et al.* A new index for mapping built-up and bare land areas from Landsat-8 OLI data. **Remote Sensing Letters**, v. 5, n. 10, p. 862–871, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1080/2150704X.2014.973996>. Acesso em: 22 mai. 2026.

ZHOURI, A.; OLIVEIRA, R. Desenvolvimento, conflitos sociais e violência no Brasil rural: o caso das usinas hidrelétricas. **Revista Crítica de Ciências Sociais**, n. 2, p. 119–135, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/fvjLXvyn5chD8BJBsVrBJsS/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 25 mai. 2026.

ZHU, Q.; GUO, X.; WEIHUAN, D.; GUAN, Q. ZHONG, Y.; ZHANG, L.; LI, D. Land-Use/Land-Cover change detection based on a Siamese global learning framework for high spatial resolution remote sensing imagery. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 184, p. 63-78, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.12.005>. Acesso em: 08 dez. 2025.