






INFLUÊNCIA DA FLORESTA URBANA NO MICROCLIMA URBANO DO MUNICÍPIO DE TUCURUÍ-PA

INFLUENCE OF URBAN FORESTS ON THE URBAN MICROCLIMATE OF THE MUNICIPALITY OF TUCURUÍ-PA

Lethicia Lima Cavalcante¹, Carlos Eduardo Aguiar de Souza Costa², Adayana Maria Queiroz de Melo³, Rodrigo Cândido Passos da Silva⁴, Maria Luiza Rodrigues Moreira⁵

RESUMO

O crescimento populacional e a expansão urbana têm intensificado as mudanças climáticas, devido ao aumento da temperatura e a retirada da vegetação que desempenha um papel fundamental na mitigação de calor. Assim, este trabalho teve como objetivo analisar a cobertura vegetal e a temperatura superficial, através do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e da Temperatura Superficial Terrestre (TST), utilizando o sensoriamento remoto. A área de estudo está localizada no município de Tucuruí-PA abrangendo 32 bairros, realizado com base em imagens captadas em 16 de julho de 2024 e 28 de julho de 2024, obtidas pelos satélites Sentinel-2 e Landsat 8. A pesquisa envolveu o processamento de imagens, análises e a correlação entre os índices para determinar a influência da arborização sobre a redução de calor urbano. Os resultados indicam que os bairros afastados do perímetro urbano, tem temperatura mais baixas, enquanto bairros centrais, registram elevadas temperatura, intensificando o fenômeno ilha de calor. Além disso, notou-se a correlação negativa entre o NDVI e TST, destacando a importância da vegetação para a redução de calor urbano. Por fim, verificou-se que as áreas de maior intensificação de calor poderão ser beneficiadas para inclusão de infraestrutura verde.

Palavras-chave: Vegetação Urbana. Planejamento Urbano. Riscos Climáticos.

ABSTRACT

Population growth and urban expansion have intensified climate change, due to rising temperatures and the vegetation removal, which plays a fundamental role in heat mitigation. Thus, this work aimed to analyze vegetation cover and surface temperature, through the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Land Surface Temperature (TST), using remote sensing. The study area is located in the municipality of Tucuruí-PA, covering 32 neighborhoods, based on images captured on July 16, 2024, and July 28, 2024, obtained by the Sentinel-2 and Landsat 8 satellites. The research involved image processing, analysis and correlation between the indices to determine the influence of afforestation on urban heat reduction. The results indicate that neighborhoods far from the urban perimeter have lower temperatures, while central neighborhoods record high temperatures, intensifying the heat island phenomenon. Furthermore, a negative correlation between NDVI and TST was noted, highlighting the importance of vegetation for reducing urban heat. Finally, it was found that areas with greater heat intensity could benefit from the inclusion of green infrastructure.

Keywords: Urban Vegetation. Urban Planning. Climate Risks

Recebido em 01.03.2025 e aceito em 28.08.2025

1 Engenheira Sanitarista e Ambiental. Mestranda em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental (PEBGA/UFPA). Universidade Federal do Pará. Tucuruí/PA. Email: lethicia.cavalcante@tucurui.ufpa.br

2 Engenheiro Sanitarista e Ambiental. Doutor em Engenharia Civil (UFPA). Professor Adjunto da Universidade Federal do Pará. Tucuruí/PA. Email: cecosta@ufpa.br

3 Engenheira Sanitarista e Ambiental. Doutora em Engenharia Civil (UFPA). Assistente Técnica II na Agência de Águas do Estado de São Paulo. São Paulo/SP. Email: adaymelo75@gmail.com

4 Engenheiro Agrícola e Ambiental. Doutor em Engenharia Civil (UFPE). Professor Adjunto da Universidade Federal do Pará. Tucuruí/PA. Email: rodrigo.passos@ufpa.br

5 Bacharela em Administração. Mestra em Administração (UFPA). Doutoranda em Ciência da Informação (PPGCI/UFPA). Belém/PA. Email: luizaraiteru@gmail.com

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e expansão das cidades intensificam as temperaturas nas áreas urbanas, promovendo alteração no uso do solo, as quais geram problemas ambientais extremos (MORAES et al., 2022). Neste sentido, Ward et al. (2016) afirmam que os espaços urbanos estão mais suscetíveis ao estresse térmico em comparação com as zonas rurais. Guilherme et al. (2022) complementam, afirmando que o microclima é influenciado pelo tipo de cobertura do solo, pois a alteração na cobertura vegetal impacta as variáveis, como a temperatura e a umidade relativa.

As mudanças climáticas, causadas pelo aumento da temperatura média global, se tornaram um desafio. O Copernicus Climate Change Service (2025) afirma que a temperatura média global ultrapassou 1,5°C em 2024, acima do nível pré-industrial. No entanto, este cenário é preocupante, tendo em vista que ultrapassa a temperatura de 1,5°C estabelecido pelo Acordo de Paris (ONU, 2015), conforme reitera o relatório Mudança do Clima no Brasil, publicado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), recorda o Acordo de Paris firmado em 2015, sobre a limitação do aumento da temperatura a 1,5°C (BRASIL, 2024). Esse aquecimento está diretamente relacionado a eventos climáticos extremos, como ondas de calor, incêndios florestais e inundações, impactando cada vez mais a sociedade e a natureza. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) destaca a urgência de estabelecer o compromisso, exigindo reduções de emissões para conter a crise climáticas (IPCC, 2023).

Nesse cenário, os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 30, estabelecidos pelas Organizações das Nações Unidas (ONU), em 2015, assumem um papel estratégico (ONU, 2015). Dentre estes se destacam o ODS 13 (Ação contra a mudança global do clima) que busca adotar medidas urgentes para mitigar os efeitos climáticos; e ODS 11 (Cidades e comunidades sustentáveis), que promove a urbanização inclusiva e sustentável.

Além disso, Instrumentos nacionais como o Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 2012) e o Estatuto da Cidade (BRASIL, 2001), desempenham uma das formas para regulamentar e preservar a biodiversidade. O Código Florestal protege as Áreas de Preservação Permanente (APPs) com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem e biodiversidade, (BRASIL, 2012). O Estatuto da Cidade, por sua vez, estabelece diretrizes como o Plano Diretor onde deve incluir a criação de espaços verdes, além do parcelamento e uso e ocupação do solo (Brasil, 2001).

Pesquisa conduzida por Porto et al. (2021), em Belém-PA, evidenciou a ocupação desordenada, resultante da mudança do clima urbano. Nesta perspectiva, o estudo relaciona o índice vegetativo ao comportamento da temperatura, identificando a ausência de vegetação em algumas áreas e observando a elevadas temperaturas. Além disso, os autores constataram a diminuição de temperatura próximo à zona de proteção ambiental.

Estudo realizado por Tavares et al. (2021), em Barcarena-PA, aponta a alteração da cobertura vegetal devido ao crescimento urbano, a partir da instalação da Albrás, empresa de produção de alumínio e de grande importância no município. De forma semelhante, a implantação da Usina Hidrelétrica em Tucuruí, no final da década de 1970, uma edificação de grande relevância, ocasionou impactos socioeconômicos e ambientais para a região sudeste do Pará. Isso pode ser verificado nas regiões de terra firme no entorno do lago da UHE de Tucuruí, as quais apresentam ação antrópica, como a substituição da floresta natural por pastagem. Essas alterações afetam a diversidade e a dinâmica do ecossistema, pois a cobertura vegetal é vital para regular a temperatura e na influência da variabilidade do clima local (SILVA, 2021).

O desenvolvimento sustentável, como a integração de soluções baseadas na natureza, fortalece a resiliência climática nas áreas urbanas (MALLICK et al., 2021). Pode-se citar como exemplo a medida de mitigação do calor urbano mediante o uso da infraestrutura verde e azul. A infraestrutura verde, inclui arborização urbana e telhados/paredes verdes, enquanto a azul, abrange recursos hídricos que atuam no resfriamento do ar por meio da evapotranspiração (KHARE; VAJPAI; GUPTA, 2021). Pesquisas realizada por Wang et al. (2024) reforçam a importância da cobertura vegetal na área urbana como uma solução para mitigar a elevação da temperatura superficial. De acordo com o estudo, a expansão da cobertura, pode influenciar no conforto térmico a nível local, com variações de 0,04°C a 0,57°C para cada 1% de expansão da vegetação urbana.

Nesta esteira, essa pesquisa por meio do sensoriamento remoto, ferramenta usada para o monitoramento da configuração da mudança e uso do solo, bem como aspecto climático e planejamento urbano, avaliou Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), possibilitando a análise a cobertura vegetal, e a Temperatura Superficial Terrestre (TST), na área urbana de Tucuruí-PA, abrangendo 32 bairros, no período 16 de julho de 2024 e 28 de julho de 2024. A partir de mapas gerados do NDVI e TST, foram calculados e correlacionados os índices de vegetação e temperatura, permitindo identificar áreas com maior e menor cobertura vegetal e seus impactos nas condições térmicas locais, determinando a influência da arborização na redução de calor urbano.

METODOLOGIA

Área de estudo

O estudo foi realizado na zona urbana do município de Tucuruí (Figura 1), a cerca de 460 km de Belém, capital do estado do Pará. A cidade pertence a Mesorregião Sudeste Paraense e situa-se, às margens do rio Tocantins, juntamente com outros seis municípios, Breu Branco, Goianésia do Pará, Itupiranga, Jacundá, Nova Ipixuna, Novo Repartimento, inserido na região de Integração do Lago de Tucuruí.

De acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), Tucuruí possui uma área territorial de 2.089,289 km² e a população residente estimada em 91.306 habitantes. Com cerca de 43,81 hab/km², caracteriza-se como a 16^a mais populosa do estado.

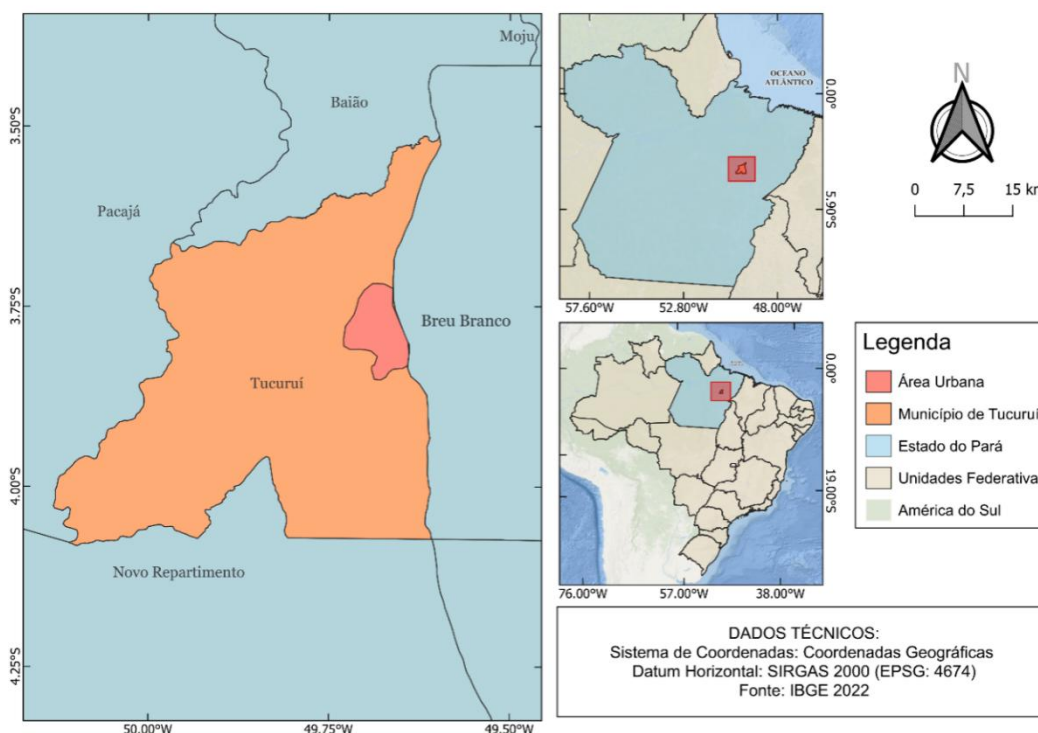


Figura 1. Mapa de localização do município de Tucuruí-PA e área urbana
Figure 1. Location map of the municipality of Tucuruí-PA and urban area

Conforme o Plano de Desenvolvimento Regional Sustentável do Lago de Tucuruí (2011), o solo predominante do município é o Argiloso Vermelho Amarelo, com a presença também do Latossolo Amarelo e do Latossolo Vermelho Amarelo. De acordo com a classificação de Köppen-Geiger, o clima do município é tropical úmido megatérmico (Am), caracterizado por um índice pluviométrico anual da ordem 2000 mm, com moderado período de estiagem (entre julho e setembro), com a precipitações inferiores a 50 mm e temperatura média anual de 27°C (PDRS, 2011).

A vegetação da região do Lago de Tucuruí tem predomínio da Floresta Amazônica de Ombrófila Densa (PDRS, 2011), características que ainda se mantêm, embora a vegetação nativa da região tem sofrido impactos significativos com a expansão urbana. Dados do MapBiomas (2023) revelam que o território municipal é majoritariamente coberto por formações florestais (85.016 ha), seguidas por áreas de uso agropecuário (68.714 ha) e, em menor área, por vegetação arbustiva e herbácea (4.499 ha). Conforme Tatagiba et al. (2022), em escala local, a cidade apresenta baixa distribuição de árvores em vias públicas. Apesar da diversidade de espécies, a arborização é desordenada com a predominância de árvores não nativas.

A ocupação e expansão do município foram impulsionadas pela extração e exportação da borracha e castanha-do-pará, por meio da Estrada de Ferro do Tocantins. Além disso, a região possui um histórico de impactos ambientais em decorrência da construção da Usina

Hidrelétrica de Tucuruí, construída em 1976. A partir dessa data, a cidade teve um grande crescimento demográfico e distribuição espacial, sendo um dos principais destinos de trabalhadores do país (PDRS, 2011). A Figura 2 apresenta o mapa da cidade, identificando a localização dos bairros no município de Tucuruí-PA. A área de estudo abrange 32 bairros (Figura 2).

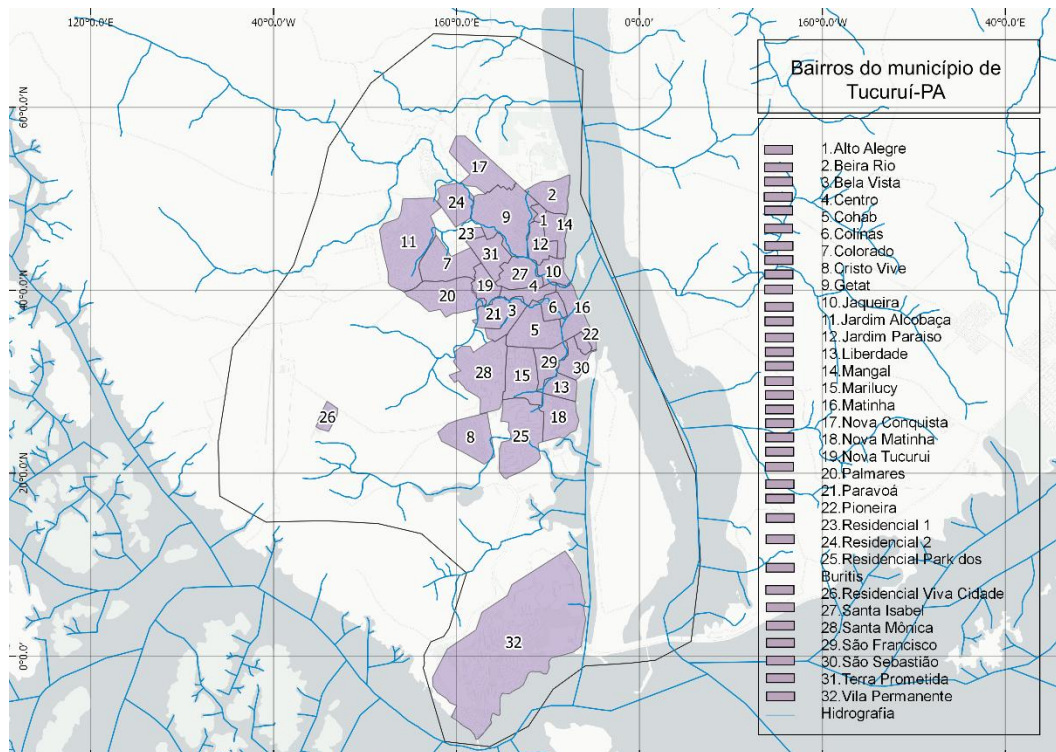


Figura 2. Localização dos bairros no município de Tucuruí-PA
Figure 2. Location of neighborhoods in the municipality of Tucuruí-PA

Obtenção de dados e processamento de imagem

Para o desenvolvimento da pesquisa foram utilizadas imagens do satélite Sentinel-2 (REZENDE; MARQUES; ROSA, 2017), as quais foram obtidas por meio do Copernicus Browser. Além disto, utilizou-se as imagens do satélite Landsat 8 através do portal *Earth Explore* do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) (ROSA; FILHO, 2023).

A escolha dos satélites foi baseada nas suas características específicas. O Sentinel-2 se destaca pela sua resolução espacial de 10 metros e o intervalo de revista de 5 dias, dependendo das condições atmosféricas. As imagens utilizadas, possuem correção atmosférica (COPERNICUS, 2024). Para calcular os NDVI, foi escolhida a imagem mais atual disponível, datada em 28/07/2024, incluindo uma cobertura de nuvens inferior a 10%.

Já para as imagens escolhidas do Landsat 8 Coleção 2 Nível 1, optou-se pela possibilidade da análise da Temperatura Superficial Terrestre (TST), através da banda térmica TIRS (banda 10) com a resolução espacial de 100 metros (USGS, 2024a). A data da aquisição de imagem é do dia 16/07/2024 com o critério de 10% de nuvens.

Após a obtenção de dados, iniciou-se a primeira etapa do processamento de imagem, que consistiu em 3 (três) etapas: delimitar a área urbana de Tucuruí, com o auxílio da função

“polígono” para criar o *Shapefile*, da área urbana; recorte da área, usando a ferramenta “extrair feições” e em seguida, usamos a ferramenta “extrair feições” para recortar a área urbana de Tucuuruí. Por fim, foi inserido o *Shapefile* de cada bairro delimitado. O software QGIS Versão 3.10 LTR, foi utilizado tanto para o processamento de dados quanto para a realização dos cálculos de NDVI e TST.

Processamento NDVI

O NDVI é a combinação das duas faixas do espectro eletromagnético, a faixa do infravermelho próximo (NIR) e a faixa do vermelho (RED). Para calcular o NDVI, torna-se necessário utilizar as imagens referentes a banda 4 (vermelha) e a banda 8 (infravermelha). Segundo Pessi et al. (2019), o NDVI avalia a atividade fotossintética, onde os valores do intervalo variam entre -1 e +1. Áreas com vegetação densa tendem valores próximos de +1, enquanto áreas hidrográficas, solo exposto e áreas construídas apresentam valores negativos ou próximo de 0. O processamento da imagem foi realizado por meio da ferramenta “calculadora raster” no QGIS Versão 3.10 LTR, aplicando a Equação 1.

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \quad [1]$$

Nesta equação, NIR representa a banda do infravermelho, enquanto RED representa a banda do vermelho.

Segundo Menezes, Oliveira e Freitas (2023), quando os valores apresentados são negativos, significa locais com baixa arborização ou nenhuma, quando os valores são positivos ou próximo a 1, apresentam áreas arborizadas.

Processamento do TST

Li et al. (2023) definem a temperatura superficial terrestre como um parâmetro essencial no processo de transferência de energia na superfície. A importância se dá pela troca direta da radiação de ondas longas e fluxos de calor na interface entre a superfície e a atmosfera, o que exige correções atmosféricas para garantir a precisão dos dados.

Para obter informações confiáveis, os sensores dos satélites captam a reflectância das imagens, mas esses dados precisam passar por um tratamento específico. Conforme Chander, Markham e Helder (2009), os sensores devem ser calibrados para garantir maior precisão, sendo essa etapa um pré-requisito para que os resultados sejam confiáveis.

Para a criação do mapa do TST, foi utilizada a banda 10 (infravermelho-termal) captada pelo do sensor Termal Infrared Sensor (TIRS). O cálculo iniciou com a Equação 2 (USGS, 2024b), a partir da conversão dos níveis de cinza da imagem (DN), que é a imagem baixada pelo satélite.

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L \quad [2]$$

Nesta equação, Q_{cal} representa a imagem DN, que é a imagem baixada pelo satélite, enquanto M_L e A_L são coeficientes que podem ser encontrados no arquivo metadados da imagem.

Após converter os números digitais (DNs) em radiância espectral, aplicou-se a Equação 3 para transformá-la em temperatura de brilho. Essa conversão tem como objetivo remover a interferência atmosférica na imagem.

A banda 10 (infravermelho-termal) por receber interferência de luz dispersa de áreas adjacentes às cenas imageadas, exige o ajuste através da equação 3 (OSCO et al., 2017). A região do infravermelho termal recebe a radiação emitida pelos objetos, sendo a temperatura captada por sensores (FERREIRA, 2021), porém varia de acordo com a sazonalidade e a incidência solar de cada região. Conforme Silva e Ribeiro (2023), para garantir a precisão das análises, foi realizada a transformação da radiância.

$$T_b = \left(\frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_\lambda}\right) + 1} \right) - 273.15 \quad [3]$$

Na Equação 3, L_λ representa a radiância espectral no topo da atmosfera, calculada anteriormente. O \ln sendo o logaritmo natural, e os coeficientes K2 e K1 podem ser encontrados no arquivo de metadados da imagem. Após a obtenção das temperaturas, estas foram convertidas de Kelvin (K) para Celsius (°C), escala de temperatura usada no Brasil.

Os valores referentes ao coeficiente calculado na conversão dos números digitais (DN) para radiância e temperatura de brilho no sensor TIRS, foram coletados no arquivo metadados, o qual foi baixado com a imagem do satélite, no portal *Earth Explore* do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), conforme consta na Tabela 1. Com o auxílio da ferramenta “Calculadora raster” do QGIS, os valores foram aplicados no processamento da imagem.

Tabela 1. Elementos e valores referentes a conversão para radiância e temperatura de brilho do Landsat 8, extraídos dos metadados

Table 1. Elements and values related to the conversion to radiance and brightness temperature of Landsat 8, extracted from the metadata

Elementos	Landsat 8
Q_{cal}	Banda 10 TIRS
M_L	0,00033420
A_L	0,10000
$K1$	774,89
$K2$	1321,08

Fonte: Adaptado Crispim et al. (2020)

Estatísticas zonais e correlação

Por fim, com o auxílio da ferramenta “Estatísticas Zonais” do Software QGIS, foi possível calcular as estatísticas da camada raster em combinação com arquivo vetorial dos

bairros (SILVA; RIBEIRO, 2023). Com a base nesta ferramenta, calculou-se os valores médios, máximos, mínimos e desvio padrão do NDVI e TST.

Essa ferramenta mostrou-se eficiente na análise comparativa da cobertura vegetal e temperatura entre os bairros, oferecendo melhor visualização e interpretação dos mapas temáticos. Esse cálculo estatístico foi obtido a partir da análise do conjunto de pixels dentro de cada delimitação dos polígonos, que representam os bairros, permitindo identificar padrões e variações na vegetação e temperatura (ZHANG; WANG; DING, 2022).

Além disso, os dados obtidos irão permitir a identificação de áreas críticas, como regiões com baixa cobertura vegetal e altas temperaturas, que podem estar relacionadas a fenômenos urbanos como os efeitos de ilhas de calor. Com essa análise, será possível propor ações de planejamento urbano que visem à melhoria da qualidade ambiental, como o aumento de áreas verdes e o uso de materiais que minimizem o aquecimento urbano.

Para determinar a correlação entre o NDVI e a TST, nos 32 pontos de amostragem, com diferentes tipos de uso do solo, realizou-se um cálculo estatístico, sendo gerado o gráfico de dispersão, com o auxílio do Microsoft Excel. Os cálculos partiram dos valores médios do NDVI e TST, obtidos por meio da ferramenta Estatísticas Zonais, de cada bairro estudado. Esses dados foram exportados para o cálculo do coeficiente de correlação e coeficiente de determinação (R^2). Assim, foi possível visualizar a tendência proporcional entre as variáveis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Vegetação e temperatura no perímetro urbano

Os valores apresentados na Tabela 2, demonstram os diferentes níveis de cobertura vegetal, sendo apresentados em função dos valores médios, da variabilidade dentro de cada bairro, e dos valores extremos, como mínimo e máximo. A média do NDVI para o município foi de 0,22. O NDVI é um parâmetro biofísico gerado por meio do sensoriamento remoto, capaz destacar a diferença entre áreas com vegetação e solo exposto, apresentando valores com variação de -1 a 1 (SANTOS et al., 2024). Assim, a arborização foi considerada de forma abrangente, representada pelos valores de NDVI obtidos, que expressam densidade de cobertura vegetal independentemente do tipo de vegetação presente.

Observando a Tabela 2 e Figura 3, é possível identificar que os bairros afastados do perímetro central apresentaram índices mais elevados de atividade fotossintética, como a Vila Permanente (0,35), Palmares (0,27) e Residencial Park dos Buritis (0,27). Em contrapartida, notou-se que as menores médias foram registradas nos bairros mais centrais, como o Centro (0,12) e Cohab (0,15). O solo coberto por vegetação apresenta temperaturas médias mais baixas em comparação às áreas com solo exposto, isso está associado com o resfriamento. Esse efeito acontece quando a evaporação transforma a energia solar em vapor d'água, ao invés de gerar calor, ajudando a manter a temperatura mais baixa, promovendo sombras reduzindo o calor (GOMES, 2020).

Tabela 2. Valores referente ao NDVI em cada bairro do município do Tucuruí-PA
Table 2. Values referring to NDVI in each neighborhood of the municipality of Tucuruí-PA

Bairros	NDVI 2024			
	Média	Desvio Padrão	Mín.	Máx.
Alto Alegre	0,20	0,11	0,04	0,61
Beira Rio	0,20	0,12	0,00	0,59
Bela Vista	0,22	0,15	-0,02	0,65
Centro	0,12	0,11	-0,04	0,63
Cohab	0,15	0,11	-0,09	0,62
Colinas	0,23	0,15	-0,03	0,62
Colorado	0,21	0,12	-0,07	0,65
Cristo Vive	0,26	0,14	0,01	0,64
Getat	0,24	0,14	-0,04	0,65
Jaqueira	0,22	0,15	-0,06	0,66
Jardim Alcobaça	0,25	0,12	0,00	0,66
Jardim Paraiso	0,20	0,15	-0,03	0,61
Liberdade	0,21	0,12	0,00	0,60
Mangal	0,22	0,15	-0,03	0,61
Marilucy	0,22	0,16	-0,05	0,69
Matinha	0,22	0,13	0,00	0,66
Nova Conquista	0,25	0,12	0,00	0,61
Nova Matinha	0,17	0,09	-0,05	0,58
Nova Tucuruí	0,20	0,12	-0,01	0,62
Palmares	0,27	0,14	0,03	0,66
Paravoá	0,26	0,16	-0,01	0,65
Pioneira	0,21	0,10	0,00	0,58
Residencial 1	0,16	0,10	0,01	0,53
Residencial 2	0,26	0,14	-0,01	0,65
Residencial Park dos Buritis	0,27	0,15	-0,04	0,64
Residencial Viva Cidade	0,21	0,09	0,01	0,54
Santa Isabel	0,19	0,13	-0,05	0,66
Santa Mônica	0,20	0,13	-0,03	0,64
São Francisco	0,26	0,16	-0,16	0,67
São Sebastião	0,26	0,16	0,01	0,65
Terra Prometida	0,20	0,13	-0,04	0,64
Vila Permanente	0,35	0,17	-0,06	0,68

Isso reforça a importância da sustentabilidade ambiental aplicada ao ambiente urbano, evidenciando o efeito positivo da vegetação no clima local especialmente em bairros centrais com baixa cobertura vegetal. O planejamento voltado para a sustentabilidade está relacionado ao desenvolvimento social e infraestrutural e meio ambiente. Silva, Lima e Daminieli (2024) desenvolveram um estudo sobre estratégia de resiliência às mudanças climáticas para uma cidade de pequeno porte, no qual mencionam que a aplicação da infraestrutura verde deve ser integrada à cidade, como um parque ecológico, áreas para atividades recreativas e corredor ecológico. Com essa base, observou-se que além do seu valor estético, a arborização modifica o microclima das cidades melhorando o conforto térmico.

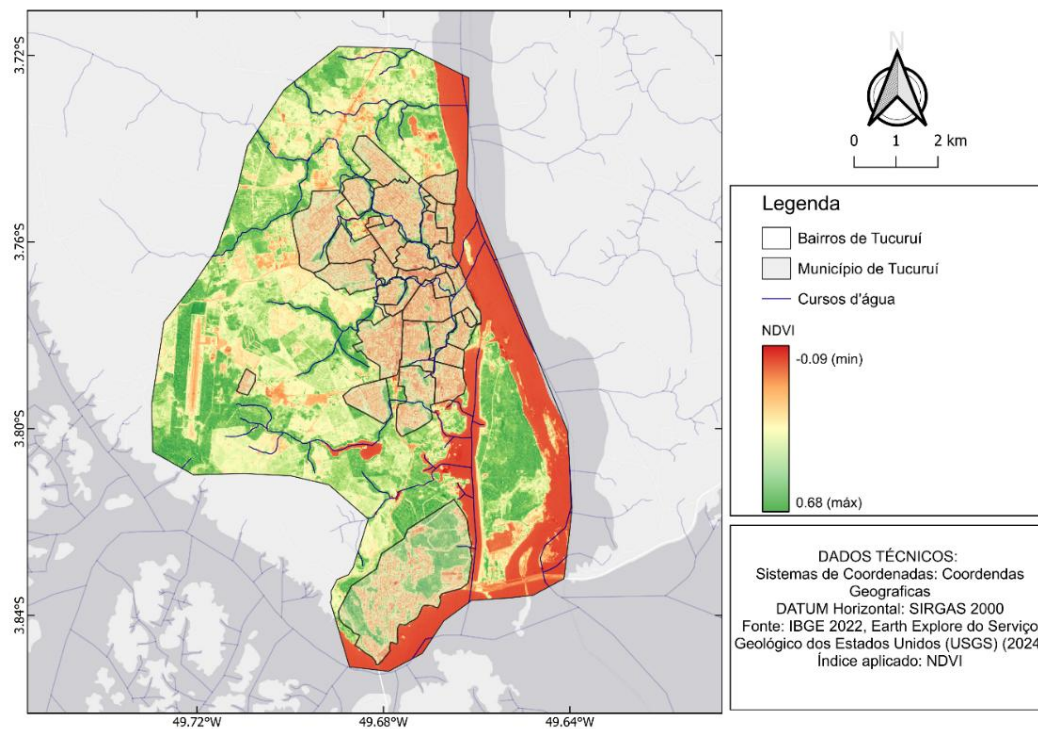


Figura 3. Índice de vegetação por diferença normalizada distribuída na área urbana de Tucuruí-PA
Figure 3. Normalized difference vegetation index distributed in the urban area of Tucuruí-PA

Em relação ao valor mínimo do NDVI observado é de -0,16 no bairro de São Francisco (-0,16), e o máximo de 0,69 no Centro. Essa diferença indica uma grande divergência entre padrões espectrais de elementos, o que requer análise mais aprofundadas. O NDVI negativo está associado a ausência ou redução da vegetação. A baixa variação dos valores de NDVI indica elementos com padrões espectrais semelhantes. Desta forma, áreas com alta variação, ocorre quando há expansão de áreas urbanizadas, desmatadas, corpos hídricos e área com vegetação densa (SILVA; RIBEIRO, 2023).

A análise da Figura 4 mostra a espacialização das temperaturas de superfície no perímetro urbano de Tucuruí-PA, cuja temperatura média registrada no município foi de 29°C. A temperatura mínima observada foi de 23,60°C e a máxima de 33,49°C. As áreas com maior retenção de calor estão centralizadas na região de maior movimentação e aglomeração de construções, além da ausência de áreas verdes, o que elevam a temperatura. Esta elevação está diretamente relacionada a substituição de áreas naturais por superfícies como concreto e asfalto, elevando a temperatura por absorve mais calor. Além disso, a mortalidade das árvores, e a ocorrência de incêndios, aumentam a concentração do dióxido de carbono (CO₂), de metano (CH₄), de óxido nitroso (N₂O), e de ozônio (O₃). Estes gases absorvem a radiação infravermelha emitida pelo planeta, e ao interceptar a atmosfera, armazenam o calor, contribuindo para o aumento da temperatura da Terra (ARTAXO, 2020).

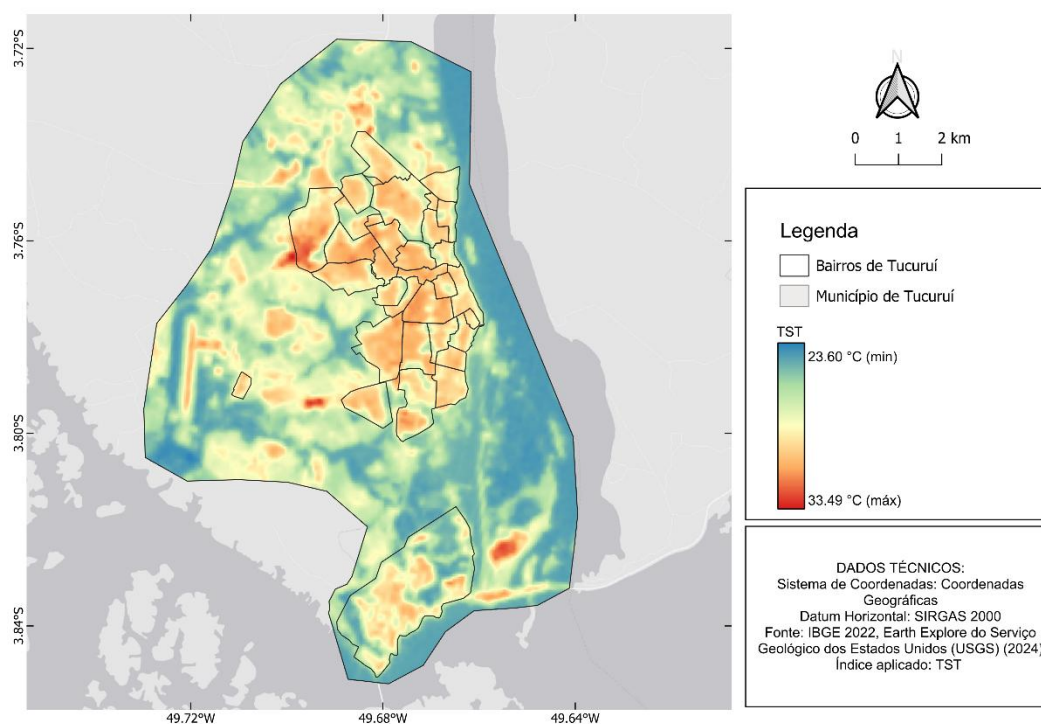


Figura 4. Temperatura da superfície terrestre (TST) em cada bairro do município do Tucuruí-PA
Figure 4. Earth surface temperature (TST) in each neighborhood of the municipality of Tucuruí-PA

Com base na análise das Tabelas 2 e 3, é possível identificar a influência da área vegetada na temperatura da superfície. A média da temperatura registrada na área de estudo foi de 29°C, refletindo uma média significativa de aquecimento. No entanto, ao considerar as diferenças entre os bairros, o impacto da vegetação torna-se ainda evidente, a formação de ilha de calor. Neste sentido, notou-se no bairro da Cohab (30,48°C), uma das temperaturas mais elevadas do município, cenário decorrente da carência de áreas verdes. Por outro lado, a Vila Permanente (27,49°C), apresentou uma temperatura relativamente mais amena, o que pode ser atribuído a maior presença de vegetação local. Estes dados ressaltam a importância das áreas verdes como elemento-chave para a mitigação de elevadas temperaturas urbanas, impactando diretamente o conforto térmico da população residente naquela região.

Em relação aos bairros com baixa temperatura, notou-se a presença de igarapé, além da vegetação densa, tanto ao redor quanto cortando alguns bairros da cidade, a saber: Mangal, Jaqueira, Beira Rio, Park dos Buritis e Jardim Paraíso (Figura 2). Guha et al. (2018) destacam que a presença de corpos hídricos ajuda a mitigar o efeito do calor, diminuindo, portanto, a temperatura. Isto ocorre devido a capacidade térmica da água, a qual absorve o calor. Deste modo, a evaporação da água contribui para o resfriamento do ambiente.

Dentre os 10 bairros que registraram maiores médias de temperatura superficial terrestre, seis destacaram-se pelo registro de menor média do NDVI, evidenciando baixa cobertura vegetal, intensas áreas construídas ou solo exposto. Esses bairros são: Cohab, Centro, Residencial 1, Santa Isabel, Santa Mônica e Terra Prometida. Esta homogeneidade, reflete o valor do desvio padrão das amostras dos pixels desses bairros, mostrando a

variabilidades dos valores de TST e NDVI, diretamente associados à configuração urbana desordenada contribuindo para a formação da ilha de calor.

Tabela 3. Valores referente a Temperatura da superfície terrestre (TST) em cada bairro do município
 Table 3. Values referring to Earth's surface temperature (TST) in each neighborhood of the municipality

Bairros	TST 2024			
	Média	Desvio Padrão	Mín.	Máx.
Alto Alegre	29,34	0,57	27,60	30,10
Beira Rio	28,62	1,03	25,23	30,44
Bela Vista	29,39	1,04	26,57	31,12
Centro	30,32	0,62	27,70	31,35
Cohab	30,48	0,72	27,82	31,47
Colinas	29,51	0,94	27,34	31,03
Colorado	30,18	1,14	27,09	31,68
Cristo Vive	28,97	1,45	25,25	30,93
Getat	29,24	1,23	25,79	31,31
Jaqueira	28,58	0,96	26,32	29,99
Jardim Alcobaça	29,82	1,40	25,66	32,71
Jardim Paraíso	29,23	1,63	25,80	30,58
Liberdade	29,59	0,79	27,26	31,01
Mangal	28,52	1,23	25,48	30,44
Marilucy	29,78	1,22	26,11	31,59
Matinha	29,08	0,78	26,44	30,49
Nova Conquista	29,08	0,90	26,61	30,97
Nova Matinha	29,48	0,59	26,84	30,47
Nova Tucuruí	30,00	0,84	27,19	30,99
Palmares	29,48	0,99	27,00	31,46
Paravoá	28,98	1,12	26,40	30,58
Pioneira	29,15	0,51	28,09	29,95
Residencial 1	29,60	0,83	27,92	30,74
Residencial 2	29,04	1,24	25,90	30,71
Residencial Park dos Buritis	28,93	1,28	25,68	31,60
Residencial Viva Cidade	29,33	0,72	26,89	30,55
Santa Isabel	29,96	1,13	26,21	31,33
Santa Mônica	29,75	1,32	25,19	31,43
São Francisco	29,03	0,89	26,51	30,65
São Sebastião	28,93	1,06	23,00	30,68
Terra Prometida	30,06	0,92	26,43	31,71
Vila Permanente	27,49	1,73	24,36	31,51

Fonte: Autores, 2024

Entende-se que esse fenômeno é caracterizado pelo clima urbano, que é influenciado por fatores locais, morfologia urbana, tem como alguns atributos a alta taxa de albedo, redução de áreas verdes e alta densidade de edificações (MENDES; AMOND; SILVA, 2022). Com esses dados pode-se supor a formação de ilhas de calor na área, as quais comprometem a saúde e o bem-estar dos indivíduos. Pesquisas afirmam há evidências sobre o aumento de

hospitalizações, levando a mortalidade, devido à relação entre altas temperaturas e o risco de doenças cardiovasculares, cerebrovasculares, respiratórias e renais (ANAY; VISBAL; MIÑO, 2024).

Em contrapartida, ao analisar os 10 bairros com menores médias nos valores de TST, observou-se que 7 destacam-se com os maiores valores médios de NDVI, os quais são: Cohab, Centro, Terra Prometida, Nova Tucuruí, Santa Isabel, Santa Mônica e Residencial1. Além disso, os desvios padrões tendem a ser mais elevados, o que pode estar relacionado à presença de bairros recentes, como Cristo Vive e Park dos Buritis, ou bairros planejados paisagisticamente, como a Vila Permanente. Nestas áreas, a presença da cobertura arbórea e de espaços abertos, de áreas pavimentadas, de edificações e outros elementos, torna a superfície heterogênea.

Com o desenvolvimento socioeconômico, a urbanização tem acelerado as superfícies impermeáveis, trocando as áreas naturais por áreas construídas de difícil permeabilidade; além de promover a circulação de veículos e pedestres, motivando a migração populacional. Este processo tem aumentado a heterogeneidade da superfície, com a mudança do uso e ocupação do solo e da configuração espacial. Conseqüentemente, o TST muda rapidamente no espaço e tempo, elevando a temperatura em áreas urbanas (CHAO et al., 2020).

Análise da Correlação entre NDVI e TST

A correlação entre as variáveis TST e NDVI, como esperado, apresentou o padrão negativo, a diminuição de áreas com cobertura vegetal implica no aumento da temperatura. Este comportamento inversamente proporcional, pode ser observado no gráfico de dispersão na Figura 5, que apresenta uma tendência ao valor negativo. O coeficiente de correlação foi de -0,70 com concentração de dados, indicando forte correlação, enquanto o coeficiente de determinação R^2 foi de 0,49. Segundo Hendges, Follador e Andres (2020), os valores de correlação estão divididos nos seguintes intervalos: fraca correlação (0,01 a 0,39), média correlação (0,40 a 0,69) e forte correlação (0,70 a 0,99).

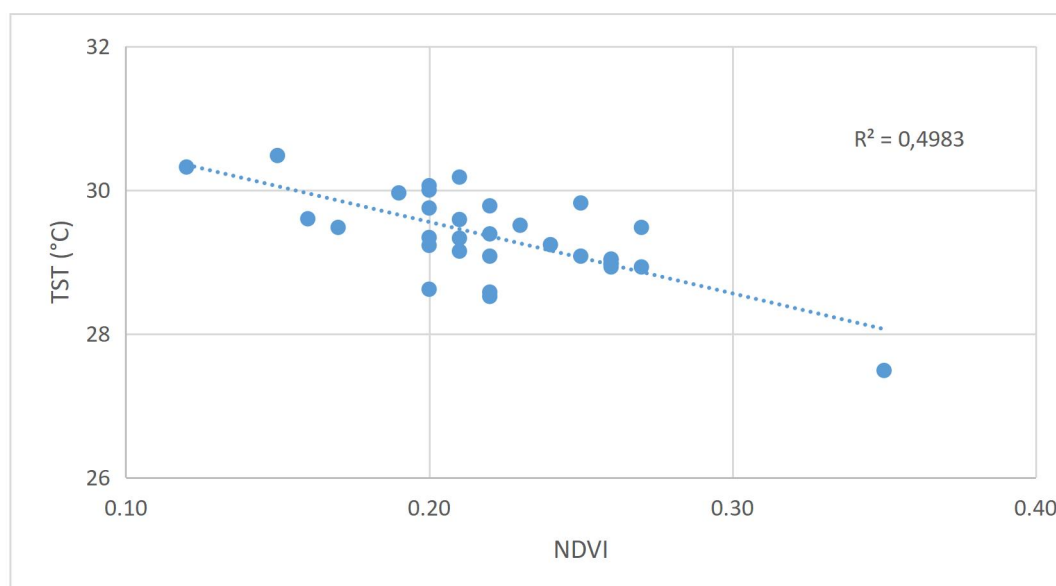


Figura 5. Correlação entre NDVI e a Temperatura Superficial dos bairros de Tucuruí-PA
Figure 5. Correlation between NDVI and Surface Temperature in the neighborhoods of Tucuruí-PA

Os resultados obtidos nesta pesquisa reforçam o papel da vegetação na mitigação da temperatura superficial, as áreas com maior cobertura vegetal tendem a apresentar temperatura baixas, haja vista que absorve a radiação solar. Ullah et al. (2023), ao avaliar zonas urbanas e rurais do baixo Himalaia, Paquistão, identificaram correlações negativas em áreas de ambiente construído (-0,52; $R^2=0,27$). Este estudo foi realizado com base numa abordagem de classificação por máxima verossimilhança (MaxVer), diferente do presente estudo, que utilizou a média central.

A partir do gráfico de dispersão (Figura 5) obteve-se o coeficiente de correlação de -0,70, com os concentração de dados, que pode indicar que os bairros têm a distribuição moderada da vegetação. Em estudo realizado por Reis et al. (2022), foram encontrados resultados semelhantes ao analisar a forte correlação negativa, verificando a diminuição dos valores do NDVI com o aumento da temperatura da superfície, salientando a importância de áreas verdes para o conforto térmico da população residente. Esse resultado reflete com clareza o papel da vegetação na redução do efeito ilha de calor. Rupard (2019) reforça a criação de espaços verdes, onde há arborização predominante, ajudando diminuir a temperatura da superfície através do sombreamento e evapotranspiração, tornando eficaz na redução das ilhas de calor urbana.

Os efeitos das mudanças climáticas são preocupantes, especialmente no Norte do Brasil, que é uma das regiões mais suscetíveis, o que pode impactar diretamente os recursos hídricos e o acesso a água. Estudos realizado por Costa, Blanco e Oliveira (2021) evidenciam a preocupação com a Amazônia futuramente e compreende os efeitos da variabilidade climática, através de modelos hidrológicos baseado em cenários futuros. Diante disto, o cenário se torna ainda mais alarmante, pois as mudanças climáticas possivelmente irão influenciar no clima urbano de Tucuruí.

Os dados revelados por Costa et al. (2024) mostram a queda nos índices umidade relativa para o município e projetam cenários futuros em que a umidade relativa registrará valores decrescente ao longo dos anos, enquanto as máximas temperaturas alcançarão valores acima de 32°C. Em virtude disso, torna-se indispensável a implantação de planejamento urbano voltado para as soluções urbanísticas alinhadas a sustentabilidade, contribuindo para Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), como o ODS 11, que busca tornar as cidades sustentáveis e resilientes.

Bairros consolidados, como Cohab e o Centro, apresentam baixa cobertura vegetal, com NDVI médios de 0,15 e 0,12, e temperaturas médias mais elevadas de 30,48°C e 30,32°C, respectivamente, são exemplos claros de áreas que poderiam se beneficiar da implantação de infraestrutura verde. Uma possível solução seria a presença de espaços verdes, aderindo um estilo de vida mais saudável e sustentável, aumentando a qualidade de vida no meio urbano do município (Parada, 2022).

Essas intervenções aplicadas de forma adequada, não apenas promovem o resfriamento e melhora do microclima, mas também trazem benefícios como bem-estar, sociais

e econômicos, devido à relação equilibrada entre a vegetação urbana e infraestrutura, tornando cidades mais sustentáveis e preparadas para desafios climáticos.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos ao longo deste trabalho reforçam a importância da cobertura vegetal na mitigação das temperaturas elevadas, destacando o papel da arborização urbana no conforto térmico e no bem-estar da população. Por meio do sensoriamento remoto e da observação dos mapas temáticos, foi possível analisar a distribuição espacial da vegetação e identificar uma correlação direta entre a cobertura vegetal e a temperatura superficial. Isso reflete os impactos da expansão urbana desordenada, devido à impermeabilização do solo e a concentração de infraestruturas associadas ao desenvolvimento socioeconômico.

As análises realizadas evidenciaram que as áreas com maior cobertura vegetal, como a Vila Permanente e o Park dos Buritis, apresentaram temperaturas médias mais baixas. Em contraste, regiões como a Cohab e o Centro, com menor arborização, registraram temperaturas mais elevadas. A correlação negativa entre o NDVI e o TST, com o coeficiente de -0,70, reforça que o aumento da vegetação é uma estratégia mitigadora e eficaz para a redução de ilhas calor urbano, principalmente em cenários futuros de redução da umidade relativa e de elevação da temperatura.

Dessa forma, torna-se necessário a implementação de medidas mitigadoras, como corredores ecológicos, arborização urbana e o planejamento sustentável das cidades. O monitoramento por sensoriamento remoto não apenas identifica áreas vulneráveis, mas também auxilia no planejamento urbano, promovendo cidades sustentáveis alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), como estratégia para reduzir a vulnerabilidade climática.

REFERÊNCIAS

ANAY, O. P. VISBAL, J. H. W. MIÑO, L. A. Ondas de calor no Caribe colombiano: um problema de saúde pública? **Revista Cuidarte**, v. 15, n. 1, p. e3199, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.15649/cuidarte.3199>.

ARTAXO, P. As três emergências que nossa sociedade enfrenta: saúde, biodiversidade e mudanças climáticas. **Estudos avançados**, v. 34, p. 53-66, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2020.34100.005>.

BRASIL. Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa**. 2012. Diário Oficial da União, Brasília, DF. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm

BRASIL. Lei n. 10.257, de 10 de julho de 2001. **Regulamenta e estabelece diretrizes da política pública**. 2001. Diário Oficial da União, Brasília, DF. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10257.htm

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Mudança do Clima no Brasil – Atualizada e Perspectivas para Decisões Estratégicas**. Brasília, DF, 11 de nov. 2024. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/cgcl/arquivos/Relatorio_Mudanca_Clima_Brasil.pdf .

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; HELDER, D. L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote sensing of environment**, v. 113, n. 5, p. 893-903, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.01.007>.

CHAO, Z.; WANG, L.; CHE, M.; HOU, S. Effects of different urbanization levels on land surface temperature change: Taking Tokyo and Shanghai for example. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 12, n. 12, p. 2022, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12122022> .

COPERNICUS. Copernicus Climate Change Service. **Global Climate Highlights 2024**. 2025. Disponível em: <https://climate.copernicus.eu/global-climate-highlights-2024>. Acesso em jan. 2025.

COPERNICUS. Copernicus Climate Change Service. **Missão S2**. Disponível em: <https://sentiwiki.copernicus.eu/web/s2-mission>. Acesso em nov. 2024.

COSTA, C. E. A. S.; BLANCO, C. J. C.; OLIVEIRA, J. J. F. Impact of climate change in the flow regimes of the Upper and Middle Amazon River. **Climatic Change**, v. 166, n. 3, p. 45, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03141-w>.

COSTA, C. E. A. S.; SÁ, A. S.; CRUZ, M. E. P.; SANTOS, V. C.; SANTANA, L. R. Índice de desconforto térmico e sua projeção para cenários futuros no município de Tucuruí-PA. **Revista Ouricuri**, Juazeiro, Bahia, v. 14, n. 2, p. 03-26, jul./dez., 2024. DOI: <https://doi.org/10.59360/ouricuri.vol14.i2.a19525>.

FERREIRA, D.G. **A influência da superfície urbana na variação da temperatura de superfície: uma proposta metodológica de análise**. 2021. Tese (Doutorado em Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.

GOMES, E. L. M. **Análise do comportamento da temperatura de superfície terrestre (TST) no período de 1997 a 202 como subsídio para o estudo do clima urbano de Maracanaú-CE**. Orientador: Marta Celina Linhares Sales. 2020. TCC (Graduação)- Curso de Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

GUHA, S.; GOVIL, H.; DEY, A.; GILL, N. Analytical study of land surface temperature with NDVI and NDBI using Landsat 8 OLI and TIRS data in Florence and Naples city, Italy. **European Journal of Remote Sensing**, [s.l.], v. 51, n. 1, p. 667-678, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1474494> .

GUILHERME, A. P.; BIUDES, M. S.; MOTA, D. S.; MUSIS, C. R. Relação entre tipo de cobertura do solo e temperatura de superfície. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia – MG, v. 32, p. 539-550, 2022. DOI: <https://doi.org/10.14393/SN-v32-2020-47462> .

HENDGES, E. R. FOLLADOR, F. A. C. ANDRES, J. Estudo de correlação entre o uso e cobertura da terra com a temperatura de superfície registrada pelo satélite Landsat 8. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 338-347, 2020. DOI: <https://doi.org/10.14393/SN-v32-2020-42828> .

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estatísticas das cidades: Tucuruí, Pará**. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/tucuruui.html>.

IPCC. **Climate Change 2023: Synthesis Report**. [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 184 pp., doi: 10.59327/IPCC/AR6-97892916916.

Disponível em:

https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf .

KHARE, V. R.; VAJPAI, A.; GUPTA, D. A big picture of urban heat island mitigation strategies and recommendation for India. **Urban Climate**, [s.l.], v. 37, p. 100845, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100845> .

LI, Z. L.; WU, H.; DUAN, S. B.; ZHAO, W. H.; REN, H. LIU, P. L.; TANG, R.; YE, X.; ZHU, J.; SUN, Y.; SI, M.; LIU M.; LI, J.; ZHANG, X.; SHNG, G.; TANG, B. H.; YAN, G.; ZHOU, C. Satellite remote sensing of global land surface temperature: Definition, methods, products, and applications. **Reviews of Geophysics**, [s.l.], v. 61, e2022RG000777, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1029/2022RG000777> .

MALLICK, S. K.; DAS, P.; MAITY, B.; RUDRA, S.; PRAMANIK, M.; PRADHAN, B.; SAHANA, M. Understanding future urban growth, urban resilience and sustainable development of small cities using prediction-adaptation-resilience (PAR) approach. **Sustainable Cities and Society**, [s.l.], v. 74, p. 103196, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103196>.

MAPBIOMAS. Mapeamento anual de cobertura e uso da terra no Brasil. **Coleção 9: Uso e cobertura da terra**. 2023. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/o-projeto/> .

MENDES, J. V. AMOND, N. B. SILVA, L. C. B. Ilhas de calor urbanas de superfície, ondas de calor e de frio no município do Rio de Janeiro–RJ (2015-2019). **Revista Brasileira de Climatologia**, [s.l.], v. 30, p. 133-155, 2022. DOI: <https://doi.org/10.55761/abclima.v30i18.14908> .

MENEZES, M. C.; OLIVEIRA, J. H. M.; FREITAS, D. D. O. S. Análise do NDVI nos municípios de Canudos, Jeremoabo e Uauá (Setor Sul Do Polo Jeremoabo–Bahia) como subsídio à caracterização do uso do solo e cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, [s.l.], v. 4, n. 2, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10440514>.

MORAES, B. C. SODRÉ, G. R. C. CARDOSO, A. C. D. JÚNIOR, A. R. S. Crescimento urbano e suas implicações para o tempo e clima da região metropolitana de Belém do Pará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 4, p. 2045-2060, 2022.

ONU. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Acordo de Paris sobre o Clima**. Brasília, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/88191-acordo-de-paris-sobre-o-clima>.

OSCO, L. P.; JUNIOR, J. M.; RAMOS, A. P. M.; CRESTE, J. E. Análise comparativa entre métodos de correção atmosférica de imagem Landsat 8 para a extração da Temperatura Superficial e do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada. **Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**. 2017.

PARADA, V. J. C. **O papel da morfologia e dos espaços verdes nas dinâmicas da Ilha de Calor Urbano. O exemplo da cidade de Coimbra**. 2022. UC - Dissertação de Mestrado – Coimbra, Portugal. 2022.

PDRS. Plano de Desenvolvimento Regional Sustentável do Lago de Tucuruí. 2011. Disponível em: https://seplad.pa.gov.br/wp-content/uploads/2015/07/pdrs_lago_de_tucurui.pdf.

PESSI, D. D.; PIMENTEL, C. F.; CÂNDIDO, A. K. A. A.; JUNIOR, P. L. M.; SILVA, N. M. Análise da relação entre NDVI e a temperatura da superfície terrestre como técnica no planejamento urbano dos municípios. **Revista Terra Plural**, [s.l.], v.13, n.3, p. 237-251, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5212/TerraPlural.v.13i3.0016>.

PORTO, A. L. G.; MAUÉS, L. M.; VERBICARO, C. C.; RABELO, M. L. G. Uso de geotecnologias na análise da relação entre o índice de vegetação e a temperatura de superfície na cidade de Belém-PA. **SIMPÓSIO NACIONAL DE GESTÃO E ENGENHARIA URBANA**, Maceió, v. 3, p. 105-113, 2021. DOI: <https://doi.org/10.46421/singurb.v3i00.1153>.

REIS, W. K. B.; MOREIRA, R. M.; SANTOS, B. C.; SOUZA, P. H. Análise da correlação entre cobertura vegetal e temperatura de superfície na área urbana do município de Ji-Paraná, RO, Amazônia Ocidental entre 1990 e 2020. **Revista de Geociências do Nordeste**, Caicó v. 8, n. 2, p. 172-188, 2022. DOI: <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2022v8n2ID27951>.

REZENDE, P. S.; MARQUES, D. V.; ROSA, R. Uso de dados do Sentinel-2 para cálculo de NDVI com base nos valores da reflectância aparente e de superfície. **Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**. 2017. Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marte2/2017/10.27.13.43/doc/59546.pdf>.

ROSA, H. A.; FILHO, R. F. F. Influência da vegetação na temperatura da superfície em áreas urbanas por meio de imagens do satélite Landsat 8. **E&S Engineering and Science**, [s.l.], v. 12, n. 2, p. 1-18, 2023. DOI: <https://doi.org/10.18607/ES20231215245>. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/eng/article/view/15245>.

RUPARD, M. **Urban Heat Islands: Causes, Impacts, & Mitigation (Senior Project)**. 2019. Disponível em: <https://digitalcommons.calpoly.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1200&context=crpsp>.

SANTOS, G. G.; OLINDA, D. R.; NERIS, J. P. F.; RODRIGUE, M. S.; NARUSAWA, I. D. D.; SILVA, W. R.; SOUZA, I. N. G.; SANTOS, G. G.; SANTOS M. G. Análise do uso e cobertura do solo utilizando Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) no município de Nova Ipixuna, Pará, Amazônia. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 22, n. 10, p. e7345-e7345, 2024. Disponível em: <https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/7345/4577>

SILVA, G. F.; LIMA, J. B.; DAMINELI, B. L. Estratégias de resiliência às mudanças climáticas: possíveis aplicações no município de Santa Rosa (RS). **Labor e Engenharia**, Campinas, SP, v. 18, n. 00, p. e024013, 2024. DOI: <http://doi.org/10.20396/labore.v18i00.8676738>.

SILVA, J. P. L. S.; RIBEIRO, D. D. M. Temperatura Superficial Terrestre e NDVI dos bairros da área urbana de Arapiraca – AL: uma análise a partir das estatísticas zonais. **Revista Caminhos da Geografia**, Uberlândia-MG, v. 24, n. 92, p. 343–355, 2023. DOI: <http://doi.org/10.14393/RCG249264151>.

SILVA, R. A. D. **Dinâmica temporal da cobertura vegetal da Comunidade Água Fria na RDS Alcobaça em Tucuruí-PA**. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental) – Universidade Federal do Pará, 2021.

TATAGIBA, S. D.; RIBEIRO, D. F.; NEPOMUCENO, L. A.; SILVA, S. S. OLIVEIRA, I. G. L. Inventário quali-quantitativo da arborização na avenida Perimetral de acesso viário ao centro urbano do município de Tucuruí, Pará. **Scientific Electronic Archives**, v. 15, n. 7, 2022. Disponível em: <https://scholar.archive.org/work/4wra24bv6vd3fmcntbc4moiogq/access/wayback/https://sea.ufr.edu.br/SEA/article/download/1560/1620>

TAVARES, L. C.; COSTA, J. A.; ROCHA, A. A. R.; GARCIA, F. H. M.; SILVA, C. F.; AMARAL, A. P. M.; BRAGA, E. O.; GARCIA, T. S. O uso do índice de vegetação por diferença normalizada na análise multitemporal da cobertura vegetal no complexo industrial do município de Barcarena–Pará-Brasil. **Research, Society and Development**, v. 10, n.7, e23010715470, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i7.15470>.

ULLAH, W.; AHMAD, K.; ULLAH, S.; TAHIR, A. A.; JAVED, M. F.; NAZIR, A. ABBASI, A. M. AZIZ, M. MOHAMED, A. Analysis of the relationship among land surface temperature (LST), land use land cover (LULC), and normalized difference vegetation index (NDVI) with topographic elements in the lower Himalayan region. **Heliyon**, v. 9, n. 2, e13322, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13322>.



USGS. Earth Explore portal de dados do Serviço Geológico dos Estados Unidos. 2024a. **Landsat 8-9 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS) Collection 2 Level-1 15- to 30-meter multispectral data**. Disponível em: <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-landsat-archives-landsat-8-9-operational-land-imager-and#overview>. Acesso em 14 de nov.2024.

USGS. Earth Explore portal de dados do Serviço Geológico dos Estados Unidos. **Usando o produto de dados USGS Landsat nível1**. 2024b. Disponível em: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/using-usgs-landsat-level-1-data-product> . Acesso em 14 de nov.2024.

WANG, J.; ZHOU, W.; PICKETT, S. T.; QIAN, Y. A scaling law for predicting urban trees canopy cooling efficiency. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 121, n. 46, p. e2401210121, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.2401210121>.

WARD, K.; LAUF, S.; KLEINSCHMIT, B.; ENDLICHER, W. Heat waves and urban heat islands in Europe: A review of relevant drivers. **Science of the Total Environment**, v.569, p.527-539, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.119>.

ZHANG, Y.; WANG, Y.; DING, N. Spatial Effects of Landscape Patterns of Urban Patches with Different Vegetation Fractions on Urban Thermal Environment. **Remote. Sensing**, v. 14, n. 22, p. 5684, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14225684>.