

Métodos de estimativa da temperatura superficial e relação com o uso do solo urbano: uma revisão sistemática

Surface temperature estimation methods and their relationship with urban land use: a systematic review

Yasmin de Almeida Moura

Graduanda em Arquitetura e Urbanismo, Bolsista PIBIC, UFMT, Brasil.
Yasmin.moura@sou.ufmt.br

Luciane Cleonice Durante

Professora Doutora, UFMT, Brasil.
Luciane.durante@ufmt.br

Ivan Julio Apolônio Callejas

Professor Doutor, UFMT, Brasil.
Ivan.callejas@ufmt.br

RESUMO

O processo de urbanização gera impactos significativos no clima urbano, como a intensificação das ilhas de calor. Este estudo tem como objetivo revisar os métodos de estimativa da temperatura de superfície e sua relação com o uso/cobertura do solo em áreas urbanas, buscando identificar os avanços tecnológicos na elaboração dos estudos. A metodologia consiste em uma revisão sistemática de literatura em bases de dados nacionais e internacionais, com recorte das publicações dos últimos cinco anos, aplicando-se critérios de seleção que consideram a qualidade metodológica e a adequação ao tema. Os resultados destacam o uso frequente de imagens dos satélites Landsat 5 e 8, processadas em softwares de Sistema de Informação Geográfica (SIG), como ArcGIS e QuantumGIS (QGIS). Para a classificação do uso do solo, a análise tem sido realizada pelo Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) e Normalized Difference Built-up Index (NDBI), enquanto a estimativa da temperatura de superfície emprega a Equação de Planck. Avanços recentes incluem a aplicação de técnicas de aprendizado de máquina, o cálculo de novos índices biofísicos e melhorias na precisão analítica.

PALAVRAS-CHAVE: Ilhas de calor. Urbanização. Sensoriamento remoto.

ABSTRACT

The urbanization process generates significant impacts on the urban climate, such as the intensification of heat islands. This study aims to review the methods for estimating surface temperature and their relationship with land use/land cover in urban areas, seeking to identify technological advances in the development of such studies. The methodology consists of a systematic literature review in national and international databases, focusing on publications from the last five years and applying selection criteria based on methodological quality and relevance to the topic. The results highlight the frequent use of Landsat 5 and 8 satellite imagery, processed with Geographic Information System (GIS) software, such as ArcGIS and QuantumGIS (QGIS). For land use classification, analyses have been conducted using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the Normalized Difference Built-up Index (NDBI), while surface temperature estimation is performed using Planck's Equation. Recent advances include the application of machine learning techniques, the development of new biophysical indices, and improvements in analytical accuracy.

KEYWORDS: Heat islands. Urbanization. Remote sensing.

1. INTRODUÇÃO

O processo de urbanização provoca impactos significativos no território, tal como as mudanças no uso/cobertura do solo que, geralmente, ocorrem com a redução da cobertura vegetal e a expansão das áreas impermeabilizadas. Impacta, também, o clima, pela redução do albedo, que se relaciona com a capacidade de reflexão dos materiais. Consequentemente, a urbanização implica em alterações no balanço térmico urbano, no equilíbrio de radiação e nas propriedades da superfície, intensificando o efeito das ilhas de calor urbanas (Sarricolea; Meseguer-Ruiz, 2019).

O termo “Ilha de Calor Urbana” se refere ao aumento do calor atmosférico de uma área urbanizada em comparação com as regiões ao seu redor. As principais causas da ilha de calor são as diferenças estruturais e a cobertura do solo entre as áreas urbanas e rurais (Stewart; Oke, 2012).

Para realizar a identificação e a análise de ilhas de calor urbana, geralmente se utiliza a combinação das metodologias de Zonas Climáticas Locais (LCZs) e de mapas climáticos gerados a partir do conceito de climatopos. As LCZs consistem em um esquema de 17 tipos de zonas, baseadas principalmente em propriedades da estrutura da superfície urbana, como temperatura da superfície e uso/cobertura do solo, definidas por Stewart e Oke (2012). Já os climatopos são áreas homogêneas do ponto de vista físico (ocupação do solo, morfologia urbana e posição topográfica), que interagem de modo particular com a atmosfera, de forma que a cada climatempo corresponderá um clima próprio, com características específicas (Melo; Ganho, 2013). Identificados os climatopos, é possível elaborar recomendações para o planejamento urbano, visando a melhoria da qualidade de vida da população urbana.

A implementação dessas metodologias se deu a partir do surgimento das geotecnologias relacionadas aos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) também conhecidas como GIS (acrônimo em inglês de *Geographic Information System*). As geotecnologias envolvem conhecimentos e ferramentas para coleta, processamento, análise e disponibilização de informações com referência geográfica, por meio de *hardwares* e *softwares* elaborados com foco na resolução de problemas de ciências espaciais, ambientais e de gestão de recursos naturais, pela integração de dados espaciais adquiridos por meio de Sistema Global de Navegação por Satélite (*Global Navigation Satellite System* - GNSS), Aerofotogrametria, Topografia, Cartografia, Sensoriamento Remoto, entre outros. Os diversos dados são manipulados por meio de metodologias de Cartografia e Sensoriamento Remoto em GIS (Fitz, 2008a, 2008b; Tôsto *et al.*, 2014; Rosa, 2011; e Zhu *et al.*, 2018).

O sensoriamento remoto abriga os meios tecnológicos para obtenção de imagens de satélite da superfície terrestre, por meio do registro de energia eletromagnética por ela emitida, disponibilizando técnicas para análise da dinâmica entre o uso do solo e as variáveis climáticas (Leite *et al.*, 2018; Picone; Campo, 2019), dentre eles o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e o Normalized Difference Built-up Index (NDBI), calculados a partir das bandas espectrais de sensores como Sentinel-2 e Landsat-8.

O NDVI é uma medida de oscilação entre a energia absorvida e a energia emitida por objetos e superfícies na Terra. Ao aplicá-lo em áreas vegetadas, se estabelece um valor para o qual o verde é a área, ou seja, a quantidade de vegetação presente nesse ambiente e sua urbanização. É um índice adimensional e seus valores variam de -1 a +1 (Meneses-Tovar, 2011).

O NDBI, por sua vez, identifica áreas construídas. Quando combinados, esse e outros índices existentes oferecem uma visão holística da paisagem, úteis no planejamento urbano sustentável e na gestão ambiental das cidades.

O tema de interesse deste estudo é a estimativa da temperatura superficial, para a qual constata-se vários algoritmos, modelos matemáticos e métodos já desenvolvidos, como o “split-window”, que apresenta variações propostas por Becker e Li (1990), Sobrino *et al.* (1993) e Kerr *et al.* (1992 apud Gusso, 2003). Essas variações consideram, respectivamente, a combinação de valores de temperatura de brilho e emissividade; a influência da variação espacial da emissividade e dos efeitos atmosféricos; e, a integração dos efeitos atmosféricos e de emissividade para superfícies homogêneas. Outro método amplamente utilizado é a “Equação de Planck invertida”, que utiliza a radiância espectral da banda termal e a emissividade (Marham; Baker, 1987 apud Melo *et al.*, 2013).

A evolução da capacidade de processamento das máquinas, inclusive de forma remota, a melhor qualidade das imagens de satélites e as ferramentas de inteligência artificial disponibilizadas têm revolucionado os estudos de estimativa da temperatura superficial. Na perspectiva de fornecer subsídios para a atualização de estudos de estimativa da temperatura superficial já elaborados para a cidade de Cuiabá/MT, este artigo tem como objetivo identificar avanços tecnológicos nos métodos de estimativa da temperatura superficial e sua relação com o uso do solo, nos últimos cinco anos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Uma revisão sistemática visa identificar e selecionar um conjunto de publicações que atendem a critérios estabelecidos, localizadas em bases de dados, para, na sequência, avaliá-las de forma criteriosa, utilizando uma metodologia definida para uma questão de investigação e avaliando a qualidade desses artigos (Donato; Donato, 2019).

Neste estudo, adota-se a metodologia de revisão sistemática sobre as ilhas de calor urbanas, tratando dos métodos/técnicas utilizados para relacionar o uso/cobertura do solo e a temperatura superficial. Pretende-se responder à pergunta: Quais são os avanços nos métodos de estimativa da temperatura superficial do solo urbano nos últimos cinco anos?

Os dados originam-se de publicações existentes e, portanto, são dados secundários. As publicações referentes às teses e dissertações foram obtidas na base Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD); já para os artigos científicos foram utilizadas as bases SciELO (Scientific Electronic Library Online), Portal de Periódicos da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e ScienceDirect.

Os descritores foram, em português, “uso do solo”, “temperatura superficial”, “ilha de calor” e “sensoriamento remoto”. Na base ScienceDirect foram pesquisados os termos “land usage”, “surface temperature”, “urban heat island” e “remote sensing”. Para a correspondência entre os descritores, nas bases de dados SciELO e ScienceDirect utilizaram-se os operadores booleanos AND e OR. Nas demais bases foram usadas as correspondências já existentes nos sistemas de pesquisa de cada uma (Quadro 1).

Quadro 1 - Bases de dados, descritores e respectivas correspondências

Descritores	Base de dados	Correspondência
Uso do solo; Temperatura superficial; Ilha de calor; Sensoriamento remoto	BDTD	Todos os termos; Qualquer termo
	SciELO	AND; OR
	CAPES	Contém; É
“Land usage”; “Surface temperature”; “Urban heat island”; “Remote sensing”	ScienceDirect	AND

Fonte: Autoria Própria.

A pesquisa foi realizada em etapas, sendo a primeira, o processo de busca pelos descritores e respectivas correspondências e, a segunda e a terceira, com a aplicação dos filtros de busca para restringir os estudos ao período determinado (2018 a 2024 na BDTD e de 2019 a 2010 nas demais bases de dados) e a área da pesquisa (clima urbano e ilhas de calor urbana).

As publicações resultantes das buscas foram pré-selecionadas por meio da leitura de seus títulos e resumos, utilizando como critério de exclusão a irrelevância ao tema, tendo sido selecionadas apenas as que apresentaram relação com o tema da pesquisa.

Em seguida, procedeu-se à leitura das publicações com o auxílio da ferramenta NotebookLM, uma inteligência artificial da empresa Google, que realiza pesquisas nas fontes inseridas no software e sintetiza as informações presentes no arquivo. Com base no entendimento dos estudos selecionados, aderiu-se ao método da Design Science Research (DSR), seguindo os critérios de avaliação das dimensões de estudos propostos por Dresch *et al.* (2015) - dimensões de qualidade da execução do estudo, adequação à questão da revisão e adequação ao foco da revisão, seguindo as classificações alta, média e baixa (Quadro 2).

Quadro 2 - Critérios para avaliação das dimensões de qualidade de estudos primários

	Qualidade da execução do estudo	Adequação à questão da revisão	Adequação ao foco da revisão
Alta	O método proposto atende aos padrões exigidos para o tema em estudo, o estudo seguiu rigorosamente o método proposto e os resultados apoiam-se em fatos e dados.	O estudo aborda exatamente o assunto alvo da revisão sistemática.	O estudo foi realizado em um contexto idêntico ao definido para a revisão.
Média	O método proposto possui lacunas em relação aos padrões exigidos para o tema em estudo ou o estudo não demonstra ter seguido o método proposto na sua totalidade ou os resultados não se apoiam integralmente em fatos e dados.	O estudo aborda parcialmente o assunto alvo da revisão sistemática.	O estudo foi realizado em um contexto semelhante ao definido para a revisão.
Baixa	O método proposto não está de acordo com padrões exigidos para o tema em estudo ou o estudo não demonstra ter seguido o método proposto ou os resultados não se apoiam em fatos e dados.	O estudo apenas tangencia o assunto alvo da revisão sistemática.	O estudo foi realizado em um contexto diverso do definido para a revisão.

Fonte: Adaptado de Dresch *et al.*, 2015

Foi estabelecido que estudos que atendiam à adequação ao foco da revisão eram aqueles que haviam sido realizados para locais com classificação climática idêntica à de Cuiabá, no caso, o clima tropical com inverno seco - Aw, na escala Köppen-Geiger (Alvares *et al.* 2013).

Em seguida, na etapa de pós-avaliação, foram consolidadas as classificações dos estudos, baseadas em uma média ponderada das dimensões anteriores (Quadro 3).

Quadro 3. Critério de ponderação da qualidade das fontes para inclusão no estudo

Qualidade da execução do estudo	Adequação à questão da revisão	Adequação ao foco da revisão	Critério de qualidade ponderada
Alta	Alta	Alta	Alta
Alta	Alta	Média	Alta
Média	Alta	Alta	Alta
Alta	Média	Alta	Alta
Alta	Média	Média	Média
Média	Média	Média	Média
Média	Baixa	Média	Média
Média	Baixa	Baixa	Baixa
Média	Média	Baixa	Baixa
Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
Baixa	Média	Média	Baixa
Baixa	Média	Baixa	Baixa

Fonte: Adaptado de Dresch *et al.*, 2015

A análise da qualidade é um critério essencial para a inclusão dos estudos e, neste artigo, optou-se por selecionar apenas as publicações que obtiveram classificação alta no critério ponderado, conforme a Tabela 3.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na primeira pesquisa nas bases de dados, foram encontradas 43.834 publicações a utilizar os descritores e correspondentes da Tabela 1. Entretanto, os estudos identificados apresentaram divergências em relação ao objetivo da pesquisa. Para refinar os resultados, aplicaram-se filtros de ano, assunto, área e tipo de artigo, reduzindo o número de publicações para 227. Em seguida, na etapa de pré-seleção, os títulos e resumos dos estudos foram lidos, excluindo-se aqueles que não atendiam ao foco ou não abordavam os temas estabelecidos para a revisão. Ao final dessa etapa, 37 publicações foram pré-selecionadas (Quadro 4).

Na terceira pesquisa realizada na base de dados BDTD, foi utilizado o filtro de ano 2018 a 2024 pois havia uma tese publicada que atendia à todas as classificações e foi realizada no mesmo contexto na cidade de Cuiabá-MT, sendo de interesse da revisão fazer parte dos estudos selecionados. Como resultado da etapa de pós-avaliação, foram selecionados seis estudos que obtiveram a classificação alta no critério de qualidade ponderada (Quadro 4).

Para prosseguir com a análise dos seis estudos selecionados foram extraídas informações sobre as metodologias empregadas em cada trabalho, a fim de identificar os avanços tecnológicos e inovações, apresentadas, a seguir, em ordem cronológica de publicação.

Na obtenção das imagens de satélites, Brito (2018) utilizou o sensor Thematic Mapper (TM) do satélite Landsat 5. Gomes (2021) empregou imagens do satélite Landsat 8 e do satélite GOES 16, complementadas por sistemas de pontos fixos e transectos móveis, para identificar os sistemas atmosféricos atuantes nos períodos de coleta de dados. Almeida *et al.* (2021) e Lopes *et al.* (2022) também utilizaram imagens do Landsat 8, enquanto Halder *et al.* (2024) combinou dados provenientes dos satélites Landsat 5 e Landsat 8 para a derivação das variáveis analisadas. Mandal (2024) coletou imagens dos satélites Landsat 5 e 8, complementadas por dados obtidos no Google Earth, para pontos de treinamento das classes de uso e cobertura do solo (LULC).

No processamento dos dados e das imagens satelitais, o Sistema de Informação Geográfica (SIG) ArcGIS foi o mais amplamente utilizado pelos pesquisadores, embora outros softwares tenham sido incorporados em alguns estudos. Brito (2018) utilizou o software livre Quantum GIS (QGIS), aplicando um plugin desenvolvido em Python para facilitar o processamento raster, enquanto Lopes *et al.* (2022) empregaram a versão 10.7 do ArcGIS. Gomes (2021) também utilizou o Sistema de Informação Geográfica QGIS. Almeida *et al.* (2021) usou o ArcGIS versão 10.5, reprojetoando as imagens para a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), referenciadas ao Datum global WGS 1984. Halder *et al.* (2024) adotaram, além do ArcGIS, o sistema de Georreferenciamento ERDAS Imagine v14. Mandal (2024) processou os dados utilizando o Google Earth Engine (GEE), aplicando filtros de nuvens e temporal/espacial, permitindo maior precisão e automação na análise.

Tabela 1. Descritores, filtros e quantidade de material pré-selecionado nas bases de dados

Base de dados			Pré-classificados
BDTD			
Uso do solo Temperatura superficial	Todos os termos	Ano: 2019 – 2024 Assunto: sensoriamento remoto	3
Uso do solo Temperatura superficial	Qualquer termo	Ano: 2019 – 2024 Assunto: ilha de calor urbana; clima urbano	2
Ilha de calor Sensoriamento remoto Uso do solo	Todos os termos	Ano: 2018 – 2024	7
SciELO			
Uso do solo Temperatura superficial	AND	Ano: 2019 – 2024	1
Uso do solo Temperatura superficial	OR	Ano: 2019 – 2024 Áreas: engenharias; ciências exatas e da terra	2
Ilha de calor Sensoriamento remoto Uso do solo	AND	Ano: 2019 – 2024	1
CAPES			
Uso do solo Temperatura superficial	Contém	Ano: 2019 – 2024 Áreas: engenharias; ciências exatas e da terra	1
Uso do solo Temperatura superficial	É	Ano: 2019 – 2024 Áreas: engenharias	3
Ilha de calor Sensoriamento remoto Uso do solo	Contém	Ano: 2019 – 2024	4
ScienceDirect			
“Land usage” “Surface temperature”	AND	Ano: 2019 – 2024 Tipo de artigo: artigos de revisão; artigos de pesquisa Áreas: ciência ambiental; ciências da terra; engenharia	11
“Urban heat island” “Land usage” “Remote sensing”	AND	Ano: 2019 – 2024 Tipo de artigo: artigos de pesquisa Áreas: ciência ambiental; ciências da terra	2
Total de publicações			37

Fonte: Autoria Própria.

Quadro 4. Fontes identificadas e ponderação da qualidade

Busca	Autores / Ano	Qualidade da execução do estudo	Adequação à questão da revisão	Adequação ao foco da revisão	Critério de qualidade ponderada
1ª - BDTD	Costa (2019)	Alta	Média	Média	Média
	Mendes (2024)	Alta	Alta	Baixa	Baixa
	Pinheiro (2022)	Alta	Média	Média	Média
2ª - BDTD	Moreira (2021)	Alta	Média	Baixa	Baixa
	Ribeiro (2019)	Alta	Alta	Baixa	Baixa
3ª – BDTD	Margalho (2019)	Alta	Alta	Baixa	Baixa
	Brito (2018)	Alta	Média	Alta	Alta
	Pfeiff (2021)	Alta	Média	Média	Média
	Fruehauf (2020)	Alta	Média	Baixa	Baixa
	Arruda (2023)	Alta	Baixa	Média	Baixa
	Silva, G. (2020)	Alta	Média	Baixa	Baixa
	Gomes (2021)	Alta	Média	Alta	Alta
1ª – SciELO	Lopes et al. (2022)	Alta	Alta	Média	Alta
2ª – SciELO	Montazeri e Masoodian (2024)	Média	Alta	Média	Média
	Portis et al. (2020)	Alta	Baixa	Média	Baixa
3ª – SciELO	Silva, M. et al. (2021)	Alta	Média	Média	Média
1ª – CAPES	Silva, J. et al. (2021)	Alta	Média	Média	Média
2ª – CAPES	Freitas et al. (2022)	Alta	Média	Média	Média
	Paixão et al. (2020)	Alta	Baixa	Média	Baixa
	Nova et al. (2021)	Alta	Média	Média	Média
3ª – CAPES	Liguori e Monteiro (2023)	Alta	Média	Média	Média
	Romero, C. et al. (2020)	Alta	Média	Média	Média
	Magrin (2019)	Alta	Média	Média	Média
	Almeida et al. (2021)	Alta	Alta	Alta	Alta
1ª – ScienceDirect	Mandal (2024)	Alta	Alta	Média	Alta
	Sam e Balasubramanian (2023)	Média	Alta	Baixa	Baixa
	Rahaman et al. (2022)	Alta	Média	Baixa	Baixa
	Seun et al. (2022)	Média	Média	Alta	Média
	Jamali et al. (2022)	Alta	Alta	Baixa	Baixa
	Waseem e Khayyam (2019)	Média	Média	Baixa	Baixa
	Halder et al. (2024)	Alta	Alta	Alta	Alta
	Barati et al. (2023)	Alta	Baixa	Baixa	Baixa
	Wan et al. (2022)	Média	Média	Baixa	Baixa
	Liao et al. (2021)	Média	Média	Média	Média
Tariq et al. (2022)	Alta	Baixa	Baixa	Baixa	
2ª – ScienceDirect	Pigliautile e Pisello (2020)	Média	Média	Baixa	Baixa
	Guo et al. (2019)	Alta	Alta	Baixa	Baixa

Fonte: Autoria Própria

Para a classificação do uso do solo, o método predominante foi o algoritmo de máxima verossimilhança, método que atribui pixels a classes específicas com base em suas características espectrais, associado a índices espectrais, sendo o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) o mais utilizado. Brito (2018) realizou primeiramente a interpretação visual das imagens para identificar e delinear as diferentes classes de uso do solo com o auxílio do NDVI, aplicado para avaliar a densidade e a saúde da vegetação nas áreas urbanas de Cuiabá e posteriormente, seguindo para a classificação digital utilizando o algoritmo desenvolvido em código *Phyton*. Almeida et al. (2021) coletaram amostras de treinamento em forma de polígonos sobre a imagem fusionada, que representavam diferentes classes de uso do solo. Para a

classificação, empregaram o método da Máxima Verossimilhança para classificar pixel a pixel as imagens. O mapa gerado a partir da classificação foi convertido em dados raster para vetoriais do tipo polígono, permitindo a quantificação e identificação das classes. Gomes (2021) realizou a interpretação visual das imagens para classificação não supervisionada (cluster), a partir da combinação das bandas do satélite Landsat 8 e complementada pelo NDVI. Lopes *et al.* (2022) utilizaram bandas termais do satélite para calcular os índices NDVI, SAVI (Índice de Vegetação Ajustado para o Solo), NDBI (Índice de Diferença Normalizada para Áreas Construídas) e o UI (Índice Urbano), aplicados à caracterização do uso do solo por meio da análise espectral desses índices. Halder *et al.* (2024) aplicaram o método de classificação supervisionada utilizando o algoritmo de Máxima Verossimilhança para a classificação do uso do solo, selecionando amostras representativas de cada classe e treinando o classificador com essas amostras. Após o treinamento, o classificador foi aplicado às imagens de satélite para categorizar cada pixel em uma das classes de uso do solo. Os resultados da classificação foram validados usando dados de campo ou imagens de referência para garantir a precisão do mapeamento. Mandal (2024), por sua vez, utilizou as imagens coletadas no Google Earth para computar os índices biofísicos NDVI, NDBI, NDBaI, MNDWI (Índice de Diferença Normalizada de Água Modificado) e NDLI (Índice de Diferença Normalizada de Folha) a partir de bandas multiespectrais e gerar pontos de treinamento para as classes LULC. Os algoritmos de aprendizado de máquina utilizados no GEE foram Random Forest (RF), Gradient Tree Boost (GTB), Classification and Regression Tree (CART), Minimum Distant (MD) e Support Vector Machine (SVM). A precisão das classificações foi avaliada usando métricas como precisão do produtor, precisão do usuário, precisão geral e coeficiente Kappa.

A estimativa da temperatura de superfície foi realizada por Brito (2018), Almeida *et al.* (2021), Gomes (2021), Lopes *et al.* (2022) e Halder *et al.* (2024) por meio da conversão de números digitais (DN), obtidas a partir das bandas termais derivadas dos satélites Landsat, em radiância, e em seguida utilizando a equação de Planck para converter os dados em temperaturas. Mandal (2024) também derivou a temperatura de superfície a partir das bandas termais, integrando os resultados ao cálculo de uma matriz de correlação no R Studio.

Para avaliar a relação entre uso e cobertura do solo com a temperatura de superfície, diferentes métodos de correlação foram empregados. Brito (2018), na análise espacial, sobrepôs as camadas de dados de temperatura de superfície, NDVI e uso do solo usando o QGIS, para visualizar a relação entre essas variáveis. Já nas análises estatísticas, aplicou a correlação de Pearson aos dados de Ts e NDVI. Almeida *et al.* (2021) realizaram uma comparação espacial entre as classes e os valores de TST, analisando as temperaturas registradas em cada classe de uso do solo e identificaram padrões de temperatura associados a diferentes tipos de cobertura do solo. Gomes (2021) utilizou regressões lineares simples e múltipla para investigar a relação entre as intensidades das ilhas de calor e as características do uso e cobertura do solo, além de Coeficientes de Determinação (R^2), que indicaram a proporção da variabilidade da temperatura explicada pelas diferentes variáveis. Lopes *et al.* (2022) aplicaram o teste de correlação de Spearman, enquanto Halder *et al.* (2024) realizaram análises estatísticas, como correlações e regressões e utilizaram mapas temáticos gerados a partir da classificação e dos dados de temperatura da superfície para fazer o mapeamento espacial, permitindo visualizar como diferentes tipos de uso e cobertura influenciam as variações térmicas na área urbana. Mandal

(2024) aplicou a correlação de Pearson para avaliar a interação entre a LST e os índices computados.

O Quadro 5 apresenta a consolidação das metodologias praticadas nas publicações selecionadas.

Quadro 5. Quadro síntese das metodologias aplicadas nos estudos selecionados

Autor/ano	Ano de estudo	Coleta de imagens	Processamento dos dados	Classificação do uso do solo	Estimativa da temperatura superficial	Relação LUC e Ts
Brito (2018)	1990 e 2009	Landsat 5	QGIS	Interpretação visual Classificação digital	Conversão DN para radiância e Equação de Planck	Análise espacial Correlação de Pearson
Almeida <i>et al.</i> (2021)	2013 e 2020	Landsat 8	ArcGIS	Amostras de treinamento Máxima verossimilhança		Comparação espacial dos dados
Gomes (2021)	2019 e 2020	Landsat 8 GOES 16	QGIS	Interpretação visual Classificação não supervisionada		Regressões lineares e múltipla Coeficientes de Determinação (R^2)
Lopes <i>et al.</i> (2022)	2013 e 2017	Landsat 8	ArcGIS	Deteção remota Análise espectral		Correlação Spearman
Halder <i>et al.</i> (2024)	1991, 2001, 2011 e 2021	Landsat 5 e 8	ERDAS Imagine v14 ArcGIS	Classificação supervisionada com máxima verossimilhança usando amostras representativas		Correlação por análise regressiva Mapeamento espacial
Mandal (2024)	1991 a 2021	Landsat 5 e 8 Google Earth	Google Earth Engine	Pontos de treinamento e algoritmos de Machine Learning		Derivação pelas bandas termais diretamente no GEE

Fonte:Autoria Própria.

Os avanços tecnológicos observados nas metodologias apresentadas desempenham papel fundamental na evolução das pesquisas analisadas, proporcionando melhorias significativas tanto na eficiência quanto na qualidade dos resultados. A utilização de plataformas como o Google Earth Engine (GEE), por exemplo, possibilita análises geoespaciais em larga escala e em períodos temporais extensos, algo que anteriormente demandava recursos computacionais substanciais e tempo considerável. Com essa tecnologia, tarefas com complexas de processamento remoto e manipulação de grandes volumes de dados tornaram-se mais acessíveis e rápidas, permitindo que os pesquisadores dediquem maior atenção à interpretação e análise crítica dos resultados.

Além disso, os avanços nas técnicas de sensoriamento remoto, especialmente com sensores de alta resolução espacial e temporal, proporcionam um salto qualitativo na precisão e detalhamento das análises ambientais urbanas. Esse aprimoramento na resolução das imagens permite identificar com maior precisão os padrões espaciais e temporais, contribuindo para uma compreensão mais robusta e detalhada das dinâmicas urbanas e ambientais investigadas.

Outro ganho significativo proporcionado por esses avanços tecnológicos refere-se à padronização e à reprodutibilidade das análises. A automação de processos via scripts e algoritmos permite que estudos sejam replicados com maior facilidade e rigor metodológico, garantindo transparência e confiabilidade científica. Dessa forma, os avanços tecnológicos não apenas otimizam o tempo gasto nas pesquisas, mas também elevam substancialmente a qualidade, a precisão e a confiabilidade dos resultados obtidos, ampliando significativamente o potencial das contribuições científicas para o planejamento urbano e ambiental.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados da revisão sistemática permitiram identificar os principais métodos empregados para estimar a temperatura de superfície e sua relação com o uso e cobertura do solo em áreas urbanas. Entre os métodos mais recorrentes, destaca-se o uso de imagens dos satélites Landsat 5 e 8, processadas em softwares de Sistema de Informação Geográfica (SIG), como ArcGIS, QGIS e Google Earth Engine (GEE). A classificação do uso do solo é frequentemente conduzida pelo algoritmo de máxima verossimilhança, associado a índices como NDVI, SAVI, NDBI e, em estudos mais recentes, MNDWI e NDLI. A estimativa da temperatura de superfície baseia-se amplamente na equação de Planck, enquanto a análise das relações entre variáveis utiliza métodos estatísticos como correlações de Pearson e Spearman, além de regressões lineares e múltiplas.

Para responder à questão da revisão, os avanços tecnológicos observados incluem a integração de aprendizado de máquina no GEE, a diversificação de fontes de dados – como a incorporação de imagens de novos satélites – e o desenvolvimento de novos índices biofísicos, ampliando a precisão na análise de fenômenos climáticos urbanos. Esses avanços permitem compreender com maior detalhe os impactos da urbanização sobre o microclima, especialmente no efeito de ilha de calor urbana.

Apesar do progresso, permanecem lacunas significativas. A integração de dados multitemporais e multiespectrais em análises abrangentes ainda é limitada, restringindo a capacidade de prever tendências de longo prazo. Ademais, há uma carência de pesquisas em contextos urbanos diversificados, especialmente em regiões tropicais, como Cuiabá e Várzea Grande – MT, que são o foco deste estudo.

Estudos futuros devem explorar contextos urbanos diversificados e integrar tecnologias emergentes, como sensores avançados e inteligência artificial. Essas abordagens têm potencial para promover um planejamento urbano mais sustentável e contribuir para a mitigação dos impactos climáticos.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L. T. *et al.* Estudo do uso e cobertura da terra no Parque Estadual Mãe Bonifácia na Cidade de Cuiabá - MT. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 10, n. 12, p. 1-13, 24 set. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20632>. Acesso em: 17 out. 2024.
- ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [S.L.], v. 22, n. 6, p. 711-728, 1 dez. 2013. Schweizerbart. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Acesso em: 05 dez. 2024.
- ARRUDA, A. M. **Formação de Ilhas de Calor Urbano em áreas industriais**. 2023. 113 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/18972>. Acesso em: 08 out. 2024.
- BARATI, A. A. *et al.* Interactions of land-use cover and climate change at global level: how to mitigate the environmental risks and warming effects. **Ecological Indicators**, [S.L.], v. 146, p. 109829, fev. 2023. Elsevier BV.. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109829>. Acesso em: 13 nov. 2024.
- BRITO, P. V. C. **Análise espaço-temporal das ilhas de calor urbanas de superfície na cidade de Cuiabá-MT**. 2018. 106 f. Tese (Doutorado) - Curso de Física Ambiental, Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2018. Disponível em: <http://ri.ufmt.br/handle/1/2062>. Acesso em: 03 out. 2024.
- CALLEJAS, I. J. A. *et al.* Relationship between land use/cover and surface temperatures in the urban agglomeration of Cuiabá-Várzea Grande. **Journal Of Applied Remote Sensing**. Cuiabá, p. 1-15. 1 jan. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1117/1.3666044>. Acesso em: 04 out. 2024.
- COSTA, A. L. **Dinâmica do uso e ocupação do solo no município de Arcoverde - PE usando sensoriamento remoto**. 2019. 110 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2019. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/8275>. Acesso em: 08 out. 2024.
- DONATO, H.; DONATO, M. Etapas na Condução de uma Revisão Sistemática. **Acta Médica Portuguesa**. Coimbra, p. 227-235. 29 mar. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.20344/amp.11923>. Acesso em: 04 dez. 2024.
- DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. **Design Science Research: Método de Pesquisa para Avanço da Ciência e Tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 2014. 204p.
- FITZ, P. R. **Cartografia básica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008a. 144 p.
- FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008b. 160 p.
- FREITAS, C. A. S. de *et al.* Sensoriamento Remoto aplicado à análise do fenômeno de Ilhas de Calor na Cidade de Juazeiro do Norte - CE. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 11, n. 12, p. 1-12, 12 set. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i12.34265>. Acesso em: 15 out. 2024.
- FRUEHAUF, A. L. **Análise do uso da terra, campo térmico e índice de vegetação para a implantação de uma infraestrutura verde na busca da qualidade ambiental urbana na Subprefeitura de Butantã, no município de São Paulo - SP**. 2020. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Recursos Florestais, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.11.2020.tde-01102020-171031>. Acesso em: 08 out. 2024.
- GOMES, W. P. **O clima urbano em ambiente tropical: Análise do perfil térmico de Rondonópolis-MT**. 2021. 201 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2021. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/215382>. Acesso em: 11 out. 2024.
- GOOGLE LLC (org.). **NotebookLM**. Disponível em: <https://notebooklm.google.com/>. Acesso em: 11 nov. 2024.
- GUO, M. *et al.* Spatiotemporal variation of heat fluxes in Beijing with land use change from 1997 to 2017. **Physics And Chemistry Of The Earth, Parts A/B/C**, [S.L.], v. 110, p. 51-60, abr. 2019. Elsevier BV.. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2018.11.001>. Acesso em: 13 nov. 2024.

GUSSO, A. **Monitoramento de temperaturas noturnas da superfície terrestre no estado do Rio Grande do Sul com uso do sensor orbital AVHRR/NOAA**. 2003. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto Cepsrm - Ufrgs, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/5302>. Acesso em: 05 dez. 2024.

HALDER, B. *et al.* Delineating the climate change impacts on urban environment along with heat stress in the Indian tropical city. **Physics And Chemistry Of The Earth, Parts A/B/C**, [S.L.], v. 136, p. 103745, dez. 2024. Elsevier BV. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2024.103745>. Acesso em: 12 nov. 2024.

JAMALI, A. A. *et al.* Modeling relationship between land surface temperature anomaly and environmental factors using GEE and Giovanni. **Journal Of Environmental Management**, [S.L.], v. 302, p. 113970, jan. 2022. Elsevier BV. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113970>. Acesso em: 12 nov. 2024.

LEITE, M. E.; FONSECA, G. S.; SILVA, L. A.; LEITE, M. R. Geotecnologias aplicadas a estimativa da temperatura de superfície em diferentes usos e ocupações do solo na Área de Proteção Ambiental do Rio Pandeiros–Minas Gerais. **Cadernos de Geografia**, v. 28, n. 53, p. 490-509, 2018.

LIAO, W. *et al.* The effect of spatial heterogeneity in urban morphology on surface urban heat islands. **Energy And Buildings**, [S.L.], v. 244, p. 111027, ago. 2021. Elsevier BV. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111027>. Acesso em: 13 nov. 2024.

LIGUORI, I. N.; MONTEIRO, L. M. Avaliação comparativa da temperatura de superfície e indicadores geoespaciais na cidade de São Paulo. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2023, São Paulo. **ANAIS DO XVII ENCONTRO NACIONAL E XIII ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO**. São Paulo: Antac, 2023. p. 1-10. Disponível em: <https://doi.org/10.46421/encac.v17i1.4186>. Acesso em: 16 out. 2024.

LOPES, H. S. *et al.* Análise do ambiente térmico urbano e áreas potencialmente expostas ao calor extremo no município do Porto (Portugal). **Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía**, Bogotá, v. 31, n. 2, p. 281-302, 1 jul. 2022. Universidad Nacional de Colombia. <http://dx.doi.org/10.15446/rcdg.v31n2.91309>. Disponível em: <https://doi.org/10.15446/rcdg.v31n2.91309>. Acesso em: 11 out. 2024.

MAGRIN, T. B. **Análise temporal da temperatura de superfície na área urbana do município de Caxias do Sul - RS**. 2019. 71 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/11338/6252>. Acesso em: 17 out. 2024.

MANDAL, B. Leveraging machine learning for analyzing the nexus between land use and land cover change, land surface temperature and biophysical indices in an eco-sensitive region of Brahmani-Dwarka interfluve. **Results In Engineering**, Varanasi, v. 24, n. 102854, p. 1-20, dez. 2024. Elsevier BV. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102854>. Acesso em: 17 out. 2024.

MARGALHO, E. S. **Avaliação da ilha de calor urbana na localidade de Belém-PA a partir de técnicas de sensoriamento re**. 2018. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/11421>. Acesso em: 08 out. 2024.

MELO, J. A. A. *et al.* ESTIMATIVA DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE ATRÁVES DE IMAGENS ORBITAIS. In: WORKSHOP INTERNACIONAL SOBRE A ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO, Não use números Romanos ou letras, use somente números Arábicos., 2013, Campina Grande. **Anais [...]**. Campina Grande: Realize Editora, 2013. p. 1-5. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/4968>. Acesso em: 05 dez. 2024.

Melo, H. M.; Ganho, N. Esboço de definição de climatopos no espaço urbano e periurbano de Mangualde (Portugal). Aplicação ao ordenamento urbano. **Cadernos de Geografia**, n. 32, p. 95-104, 2013.

MENDES, Amanda Letícia de Meneses. **Análise espaço-temporal da evolução de ilhas de calor na APA de Itaparanga**. 2024. 59 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2024. Disponível em: <https://hdl.handle.net/11449/257044>. Acesso em: 04 dez. 2024.

MENESES-TOVAR, C. L. NDVI as indicator of degradation. **Unasyiva**. México, p. 39-46. 6 jun. 2011. Disponível em: <https://www.fao.org/4/i2560e/i2560e07.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2024.

MONTAZERI, M.; MASOODIAN, S. A. Quantifying of surface urban heat island intensity in Isfahan metropolis using MODIS\Terra\LST data. **Atmosfera**, Isfahan, v. 38, p. 410-419, 7 mar. 2024. Universidad Nacional Autonoma de Mexico. <http://dx.doi.org/10.20937/atm.53249>. Disponível em: <https://doi.org/10.20937/ATM.53249>. Acesso em: 14 out. 2024.

MOREIRA, J. L. **A ilha de calor como indicador de qualidade ambiental em Penápolis (SP)**. 2021. 210 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2021. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/210937>. Acesso em: 16 out. 2024.

NOVA, R. A. V. *et al.* Análise Temporal de Ilhas de Calor Através da Temperatura de Superfície e do Índice de Vegetação em Recife-PE, Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S.L.], v. 73, n. 2, p. 598-614, 7 abr. 2021. EDUFU - Editora da Universidade Federal de Uberlândia.. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/rbcv73n2-54522>. Acesso em: 16 out. 2024.

PAIXÃO, B. M. *et al.* ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES DE TEMPERATURA SUPERFICIAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PAIOL, IBIÚNA (SP). **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [S.L.], v. 9, p. 108-124, 21 fev. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.19177/rgsa.v9e02020108-124>. Acesso em: 16 out. 2024.

PFEIFF, G. K. **Interação das variáveis climáticas e ambientais na formação de microclimas em ambientes urbanos e rurais do Nordeste Paraense**. 2021. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emílio Goeldi, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Belém, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/15831>. Acesso em: 16 out. 2024.

PICONE, N.; CAMPO, A. M. Improving Urban Planning in a Middle Temperate Argentinian City: Combining Urban Climate Mapping with Local Climate Zones. In: ROMERO, Hugo; HENRÍQUEZ, Cristián (ed.). **Urban Climates in Latin America**. Cham: Springer Nature, 2019. Cap. 4. p. 63-81. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-97013-4_4. Acesso em: 27 nov. 2024.

PIGLIAUTILE, I.; PISELLO, A. L. Environmental data clustering analysis through wearable sensing techniques: new bottom-up process aimed to identify intra urban granular morphologies from pedestrian transects. **Building And Environment**, [S.L.], v. 171, p. 106641, mar. 2020. Elsevier BV. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106641>. Acesso em: 13 nov. 2024.

PINHEIRO, M. A. **Ilha de calor urbana no semiárido: um estudo de caso na cidade de Iguatu/Ceará**. 2022. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Geografia, Centro de Ensino Superior do Seridó, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/50920>. Acesso em: 8 out. 2024.

PORTIS, G. T. *et al.* Análise espaço temporal da alteração do uso do solo sob influência de um polo gerador de viagens em Goiânia, GO, Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p. 513-525, jul. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212020000300442>. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000300442>. Acesso em: 14 out. 2024.

RAHAMAN, Z. A. *et al.* Assessing the impacts of vegetation cover loss on surface temperature, urban heat island and carbon emission in Penang city, Malaysia. **Building And Environment**, [S.L.], v. 222, n. 109335, p. 1-19, ago. 2022. Elsevier BV. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109335>. Acesso em: 17 out. 2024.

RIBEIRO, K. C. A. **Análise da temperatura da superfície continental para o estudo da ilha de calor na Região Amazônica**. 2019. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Agronomia/Instituto Multidisciplinar de Nova Iguaçu, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2019. Disponível em: <https://rima.ufrj.br/jspui/handle/20.500.14407/13783>. Acesso em: 08 out. 2024.

ROMERO, C. W. S. *et al.* Relação entre as ilhas de calor e uso e ocupação do solo em centros urbanos de pequeno porte utilizando o sensoriamento remoto. **Geociências**, São Paulo, v. 39, n. 1, p. 253-268, 20 maio 2020. UNESP - Universidade Estadual Paulista. Disponível em: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v39i1.14399>. Acesso em: 17 out. 2024.

ROSA, R. Geotecnologias na Geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, [S. l.], v. 16, p. 81-90, 2011. DOI: 10.7154/RDG.2005.0016.0009. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47288>. Acesso em: 13 mar. 2022.

SAM, S. C.; BALASUBRAMANIAN, G. Spatiotemporal detection of land use/land cover changes and land surface temperature using Landsat a. **Geodesy And Geodynamics**, Dindigul, v. 14, n. 2, p. 172-181, mar. 2023. Elsevier BV. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geog.2022.09.002>. Acesso em: 17 out. 2024.

SARRICOLEA, P.; MESEGUER-RUIZ, O. Urban Climates of Large Cities: Comparison of the Urban Heat Island Effect in Latin America. In: ROMERO, Hugo; HENRÍQUEZ, Cristián (ed.). **Urban Climates in Latin America**. Cham: Springer Nature, 2019. Cap. 2. p. 17-32. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-97013-4>. Acesso em: 26 nov. 2024.

SEUN, A. I. *et al.* The potential impact of increased urbanization on land surface temperature over South-West Nigeria. **Current Research In Environmental Sustainability**, [S.L.], v. 4, n. 100142, p. 1-9, 2022. Elsevier BV.. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2022.100142>. Acesso em: 12 nov. 2024.

SILVA, G. H. P. **Os efeitos de áreas agrícolas urbanas na intensidade das ilhas de calor em Florianópolis - SC**. 2020. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2020. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/192773>. Acesso em: 11 out. 2024.

SILVA, J. P. S. *et al.* Análise espaço-temporal da temperatura da superfície terrestre na Cidade de Marabá, Pará, Brasil. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 10, n. 7, p. 1-14, 27 jun. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i7.16718>. Acesso em: 15 out. 2024.

SILVA, M. T. *et al.* Application of Spatial Modeling of Biophysical Variables in an Urbanized Area in the Amazon: the case of the metropolitan area of belém-pará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.L.], v. 36, n. 2, p. 271-283, jun. 2021. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0102-77863620063>. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-77863620063>. Acesso em: 14 out. 2024.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. **American Meteorological Society**. Vancouver, p. 1879-1900. 1 dez. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>. Acesso em: 27 nov. 2024.

TARIQ, A. *et al.* Land change modeler and CA-Markov chain analysis for land use land cover change using satellite data of Peshawar, Pakistan. **Physics And Chemistry Of The Earth, Parts A/B/C**, [S.L.], v. 128, p. 103286, dez. 2022. Elsevier BV. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2022.103286>. Acesso em: 13 nov. 2024.

TÔSTO, S. G. *et al.* **Geotecnologias e Geoinformação: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília: Embrapa, 2014. 248 p.

WAN, J. *et al.* Spatial and temporal analysis of the increasing effects of large-scale infrastructure construction on the surface urban heat island. **Ecotoxicology And Environmental Safety**, [S.L.], v. 237, p. 113521, jun. 2022. Elsevier BV. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113521>. Acesso em: 13 nov. 2024.

WASEEM, S.; KHAYYAM, U. Loss of vegetative cover and increased land surface temperature: a case study of islamabad, pakistan. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 234, p. 972-983, out. 2019. Elsevier BV. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.228>. Acesso em: 12 nov. 2024.

ZHU, J. *et al.* A Critical Review of the Integration of Geographic Information System and Building Information Modelling at the Data Level. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 7, p. 66, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi702006>.