

**ABORDAGENS METODOLÓGICAS NO ESTUDO DAS MUDANÇAS
CLIMÁTICAS EM CONTEXTOS URBANOS: UMA REVISÃO**

**METHODOLOGICAL APPROACHES TO THE STUDY OF CLIMATE CHANGE
IN URBAN CONTEXTS: A REVIEW**

**ENFOQUES METODOLÓGICOS EN EL ESTUDIO DEL CAMBIO CLIMÁTICO
EN CONTEXTOS URBANOS: UNA REVISIÓN**



10.56238/revgeov17n3-179

Taíze da Silva Sousa Doria

Doutoranda em Ciências Ambientais

Instituição: Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS)

Endereço: Bahia, Brasil

E-mail: taize.sousadoria@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3488-9541>

Elvira Catiana de Oliveira Santos Ferreira

Doutoranda em Ciências Ambientais

Instituição: Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS)

Endereço: Bahia, Brasil

E-mail: 19115041@discente.uefs.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7103-4721>

Rodrigo Nogueira de Vasconcelos

Doutor em Ecologia

Instituição: Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS)

Endereço: Bahia, Brasil

E-mail: rnvasconcelos@uefs.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1368-6721>

Aloisio Machado da Silva Filho

Doutor em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial

Instituição: Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS)

Endereço: Bahia, Brasil

E-mail: aloisioestatistico@uefs.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8250-1527>

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi mapear as metodologias que integram sensoriamento remoto e dados climáticos aplicados às mudanças climáticas em áreas urbanas, caracterizando a evolução desse campo e fornecendo fundamentos teórico-metodológicos para estudos futuros. Parte-se do diagnóstico apresentado pelo IPCC, que aponta o aquecimento acelerado da superfície terrestre e destaca o papel de padrões insustentáveis de uso da energia e do solo, bem como da urbanização, na intensificação de



riscos como inundações e ilhas de calor urbanas. Metodologicamente, adota-se uma abordagem mista, combinando revisão bibliométrica e revisão sistemática. O banco de dados foi construído a partir da base Scopus, com base em uma expressão de busca envolvendo mudanças climáticas, ambientes urbanos e sensoriamento remoto, restrita a artigos científicos publicados até 2024. Os resultados evidenciam forte expansão do campo entre 1995 e 2023, com crescimento mais acentuado a partir de 2010 e intensificação após 2018. Observa-se liderança da China e dos Estados Unidos em volume de publicações e impacto de citações, além da emergência de países como Brasil e Espanha. A análise temática dos 125 artigos mais relevantes indica predominância de estudos sobre ilhas de calor urbanas, seguidos por saúde e clima, vegetação e temperatura da superfície terrestre, risco de inundação e uso e cobertura do solo. No plano metodológico, destacam-se o uso integrado de SIG, sensoriamento remoto, análise espacial e técnicas baseadas em imagens de satélite e séries temporais. Em conjunto, os resultados evidenciam a consolidação e a crescente sofisticação metodológica do campo, apontando tendências e lacunas relevantes para pesquisas futuras.

Palavras-chave: Aquecimento Global. Emergência Climática. Infraestrutura Urbana. Centros Urbanos. Bibliometria.

ABSTRACT

The objective of this study was to map the methodologies that integrate remote sensing and climatic data applied to climate change in urban areas, characterizing the evolution of this field and providing theoretical and methodological foundations for future studies. The analysis builds on the assessment presented by the IPCC, which highlights the accelerated warming of the Earth's surface and underscores the role of unsustainable patterns of energy and land use, as well as urbanization, in intensifying risks such as flooding and urban heat islands. Methodologically, a mixed approach is adopted, combining a bibliometric review and a systematic review. The database was compiled from Scopus using a search query involving climate change, urban environments, and remote sensing, restricted to peer-reviewed journal articles published up to 2024. The results indicate a strong expansion of the field between 1995 and 2023, with more pronounced growth from 2010 onward and further intensification after 2018. China and the United States lead in publication volume and citation impact, alongside the emerging contribution of countries such as Brazil and Spain. The thematic analysis of the 125 most relevant articles shows a predominance of studies on urban heat islands, followed by health and climate, vegetation and land surface temperature (LST), flood risk, and land use and land cover. At the methodological level, the integrated use of GIS, remote sensing, spatial analysis, and techniques based on satellite imagery and time series stands out. Overall, the findings highlight the consolidation and increasing methodological sophistication of the field, pointing to relevant trends and gaps for future research.

Keywords: Global Warming. Climate Emergency. Urban Infrastructure. Urban Centers. Bibliometrics.

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue mapear las metodologías que integran la teledetección y los datos climáticos aplicados al cambio climático en áreas urbanas, caracterizando la evolución de este campo y proporcionando fundamentos teórico-metodológicos para estudios futuros. Se parte del diagnóstico presentado por el IPCC, que señala el calentamiento acelerado de la superficie terrestre y destaca el papel de patrones insostenibles de uso de la energía y del suelo, así como de la urbanización, en la intensificación de riesgos como inundaciones e islas de calor urbanas. Metodológicamente, se adopta un enfoque mixto, combinando una revisión bibliométrica y una revisión sistemática. La base de datos se construyó a partir de Scopus, con base en una expresión de búsqueda que incluye cambio climático, entornos urbanos y teledetección, restringida a artículos científicos publicados hasta 2024. Los resultados evidencian una fuerte expansión del campo entre 1995 y 2023, con un crecimiento más



acentuado a partir de 2010 y una intensificación después de 2018. Se observa el liderazgo de China y de Estados Unidos en volumen de publicaciones e impacto de citas, además de la emergencia de países como Brasil y España. El análisis temático de los 125 artículos más relevantes indica el predominio de estudios sobre islas de calor urbanas, seguidos por salud y clima, vegetación y temperatura de la superficie terrestre, riesgo de inundación y uso y cobertura del suelo. En el plano metodológico, se destaca el uso integrado de SIG, teledetección, análisis espacial y técnicas basadas en imágenes satelitales y series temporales. En conjunto, los resultados evidencian la consolidación y la creciente sofisticación metodológica del campo, señalando tendencias y lagunas relevantes para investigaciones futuras.

Palabras clave: Calentamiento Global. Emergencia Climática. Infraestructura Urbana. Centros Urbanos. Bibliometría.



1 INTRODUÇÃO

O Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) destaca que a temperatura da superfície global aumentou mais rapidamente desde 1970 do que em qualquer outro período de 50 anos, pelo menos nos últimos 2000 anos. Dentre os fatores preponderantes mencionados estão o uso insustentável de energia, uso da terra e mudanças no uso da terra, estilos de vida e padrões de consumo e produção entre regiões, entre e dentro dos países e entre indivíduos (IPCC, 2023).

Em áreas urbanas, esses desafios tornam-se ainda mais críticos. O crescimento populacional acelerado, aliado aos efeitos das mudanças climáticas, tem ampliado significativamente os riscos de inundações. Nessas regiões, a exposição da população a eventos extremos é particularmente alarmante, especialmente em áreas de baixo PIB, onde a vulnerabilidade é agravada pela falta de infraestrutura resiliente. Estudo recente destaca que, até 2100, as zonas urbanas mais pobres poderão representar 63% da população global exposta a inundações, com um aumento projetado de 150% nessa exposição (Rogers *et al.*, 2025).

Outro problema ambiental decorrente do processo de urbanização, especialmente pelo avanço da impermeabilização do solo com pavimentos asfálticos e a redução da cobertura vegetal, é a formação de ilhas de calor urbanas (Shojanoori; Shafri, 2016; Mäkiranta; Hiltunen, 2019). Esse fenômeno intensifica a retenção de calor e reduz sua dissipação, elevando o consumo energético, as emissões de CO₂ e contribuindo para o agravamento do efeito estufa. Tais alterações, por sua vez, desencadeiam efeitos negativos diretos na saúde humana (Dang *et al.*, 2018; Chen *et al.*, 2019).

As variáveis climatológicas influenciam múltiplas dimensões da vida humana, incluindo aspectos sociais, econômicos, políticos, ambientais e de saúde (Sette; Ribeiro, 2011; Santos *et al.*, 2017). Nesse contexto, as técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto têm se destacado como ferramentas essenciais, permitindo o monitoramento detalhado desses fenômenos por meio da análise de séries temporais de dados de satélites (Szabó *et al.*, 2019).

Nessa perspectiva, estudos que investiguem as tendências na evolução das publicações acadêmicas sobre metodologias de pesquisa em mudanças climáticas, com ênfase em áreas urbanas, são fundamentais para consolidar e aprofundar o conhecimento nessa área. Para isso, técnicas de revisão bibliográfica, destacam-se como ferramentas essenciais.

No âmbito dos estudos nesta área, destaca-se a adoção da abordagem mista como uma metodologia consolidada na literatura científica. Essa abordagem consiste na integração estruturada de diferentes modalidades de revisão da literatura, com o propósito de aprofundar a compreensão do objeto de estudo sob múltiplas perspectivas metodológicas. Um exemplo recorrente é a articulação entre a revisão bibliométrica e a revisão sistemática, permitindo tanto a análise quantitativa das tendências e padrões científicos quanto a avaliação qualitativa do conteúdo dos estudos selecionados.



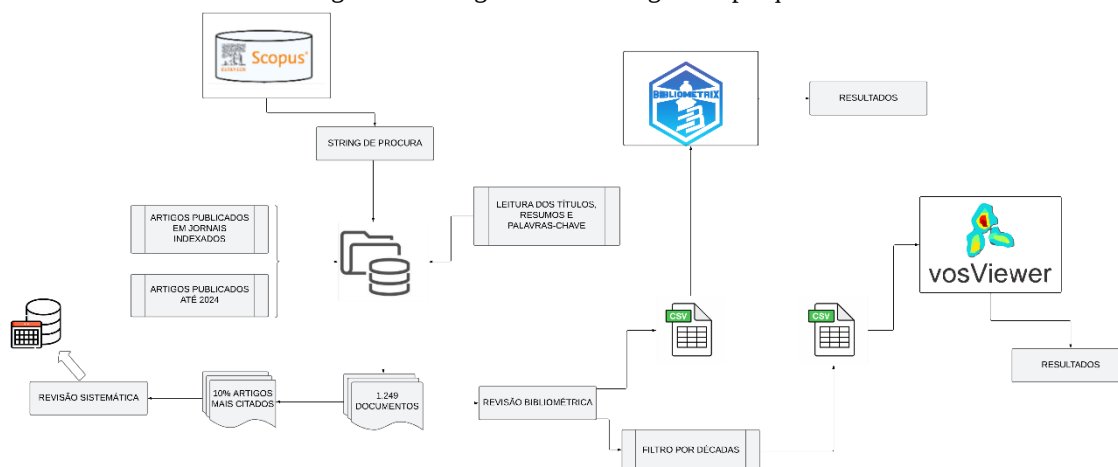
Nesse cenário, o presente estudo tem como objetivo mapear as metodologias que integram sensoriamento remoto e dados climáticos na análise das mudanças climáticas, com foco em áreas urbanas, caracterizando a evolução do campo e oferecendo fundamentos teórico-metodológicos para pesquisas futuras.

2 METODOLOGIA

A presente pesquisa está pautada na integração de análises quantitativas e qualitativas aplicadas a um banco de dados constituído por artigos científicos. Para as análises utilizou-se uma abordagem do tipo mista, no qual aborda aspectos da revisão bibliométrica e revisão sistemática.

A Figura 1 apresenta o fluxograma no qual é possível visualizar os procedimentos metodológicos adotados, bem como as bases de dados utilizadas para a realização desta pesquisa.

Figura 1. Fluxograma metodológico da pesquisa.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.

Na Tabela 1 são apresentadas as perguntas que buscou-se responder nesta pesquisa, classificadas de acordo com o tipo de estudo utilizado na investigação.

Tabela 1. Principais perguntas da pesquisa e tipo de estudo empregado na investigação.

Abordagem sistemática	Abordagem bibliométrica
1. Quais são as principais metodologias aplicadas para analisar mudanças climáticas em áreas urbanas?	6. Quais revistas mais publicam nesta área?
2. A literatura utiliza algum tipo de análise termal (UHI, SUHI/SUHII, LST) e/ou índices espectrais? Quais?	7. Quais autores mais publicam nesta área?
3. A literatura descreve quais são as variáveis (variáveis climatológicas, temperatura de superfície, cobertura vegetal, índices, LULC...) analisadas? Quais?	8. Quais artigos possuem maior impacto (número de citação)?



4. A literatura utiliza séries temporais? Quais métodos são utilizados para tratar os dados faltantes?	9. Quais países mais pesquisam nesta área?
5. Em qual local (país, estado, cidade...) a pesquisa está sendo realizada?	10. Quais instituições mais se destacam?

Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.

2.1 BANCO DE DADOS

Os artigos utilizados nesta pesquisa para constituir a base de dados foram extraídos da base de dados Scopus. A Scopus é uma das maiores bases de dados multidisciplinares de resumos e citações de literatura científica revisada por pares, abrangendo áreas como ciências, tecnologia, medicina, ciências sociais e artes e humanidades. Desenvolvida pela Elsevier, a plataforma oferece ferramentas avançadas para análise de citações e métricas de impacto, sendo amplamente utilizada em estudos bibliométricos e revisões sistemáticas devido à sua ampla cobertura e atualização constante (Elsevier, 2025).

2.2 ESTRATÉGIAS DE PESQUISA

A primeira etapa para a realização da busca dos artigos na Scopus foi constituída na seleção das palavras-chave e os principais termos de busca que respondessem à pergunta principal do artigo: quais as metodologias empregadas em pesquisas sobre mudanças climáticas, com foco na análise em áreas urbanas?

A interseção dos três conjuntos deu origem a expressão utilizada na busca: TITLE-ABS-KEY(("climate change" OR "global warming" OR "climate crisis" OR "climate emergency" OR "climatic change" OR "climate variability" OR "changing climate" OR "climatic shifts" OR "climate trends" OR "anthropogenic climate change" OR "environmental change" OR "climate impacts") AND ("urban centers" OR "urbanized spaces" OR "urban infrastructure" OR "urban" OR "city" OR "cities" OR "town" OR "metropolis" OR "municipal" OR "urban area*") AND ("remote sensing" OR "satellite imagery" OR "aerial imagery" OR "GIS" OR "geographic information system" OR "time series analysis" OR "time series climate" OR "climatological variables" OR "meteorological time series")) AND PUBYEAR < 2024 AND (LIMIT-TO (SRCTYPE , "j")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar")).

Com o conjunto de termos previamente definido, adotou-se a seguinte estratégia de busca: seleção exclusiva de documentos do tipo artigo científico, publicados em periódicos indexados. A busca final na Scopus foi realizada em 13 de junho de 2025 e limitou-se aos campos título, resumo e palavras-chave, abrangendo publicações do primeiro registro disponível até 2024. Após a aplicação desses filtros, foram identificados 3.414 artigos científicos (*N* Total). Em seguida, procedeu-se a uma



triagem criteriosa, realizada por meio da leitura detalhada dos títulos, resumos e palavras-chave, com o objetivo de excluir os documentos que não se enquadram no escopo da pesquisa.

Para a triagem que deu origem ao banco de dados final (*N* Final), foram aplicados os seguintes critérios de seleção dos artigos:

- a) O estudo utiliza dados de sensoriamento remoto e/ou dados climáticos para analisar mudanças climáticas em ambientes urbanos?
- b) O estudo tem clareza na metodologia (apresenta os dados utilizados, como foi realizada a coleta de dados, área de estudo, qual tipo de análise está sendo empregada)?
- c) A área de estudo é descrita como ambiente urbano (cidade, município, metrópole...)?

Após a triagem foram identificados 1.249 documentos que se enquadram no escopo da pesquisa. Os dados com as informações dos artigos selecionados nesta etapa foram exportados no formato .bib e CSV em dois conjuntos. Um conjunto com todos os documentos (1.249) e outro com 10% (125) destes documentos organizados por décadas. A abordagem bibliométrica foi realizada no *N* total de artigos (1.249), já a sistemática nos 10% (125) dos artigos mais relevantes (de acordo com o critério de maior número de citações observadas no dia 11 de setembro de 2025), dos quais foram retiradas informações para responder às perguntas descritas na Tabela 1.

2.3 ANÁLISE DOS DADOS

Para a análise dos resultados obtidos por meio da abordagem bibliométrica utilizou-se a linguagem de programação R (R CORE TEAM, 2020), por meio dos pacotes bibliometrix e biblioshiny (Aria; Cuccurullo, 2017). Estes pacotes estatísticos são de código aberto e estão disponíveis de forma gratuita.

Para a visualização espacial dos dados, utilizou-se o VOSviewer (Van Eck; Waltman, 2010). As redes de coocorrência foram alimentadas com a base exportada do Scopus em formato CSV, a partir de termos extraídos das palavras-chave dos artigos. No VOSviewer, adotou-se o método de contagem binária, aplicou-se um Thesaurus (dicionário de sinônimos) para unificar variantes e remover termos irrelevantes, e definiu-se 1 ocorrência mínima para inclusão de termos na rede. A análise foi estratificada por décadas (1990, 2000, 2010 e 2020).

No escopo da abordagem sistemática, adotou-se a estratégia metodológica de selecionar os 10% dos artigos com maior número de citações, com vistas à condução de uma análise qualitativa aprofundada. Tal procedimento visa subsidiar a compreensão crítica do estado da arte e possibilitar respostas fundamentadas às questões norteadoras da pesquisa.



3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 ABORDAGEM BIBLIOMÉTRICA

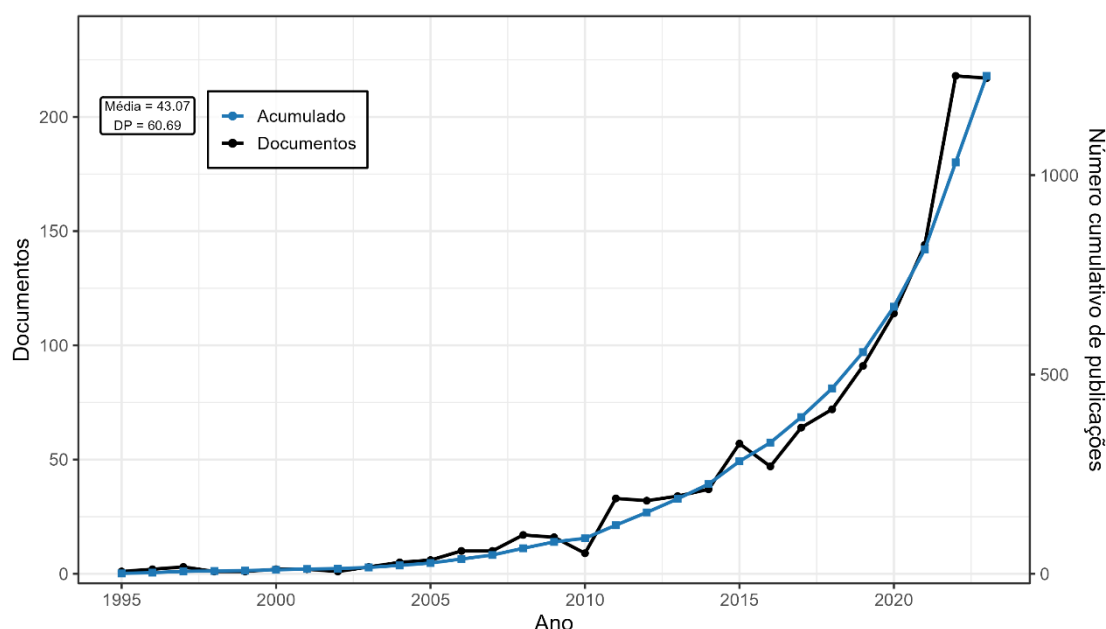
A abordagem bibliométrica foi utilizada com o intuito de fornecer percepções sobre a dinâmica e a evolução da área de pesquisa. Nesta seção será abordado os resultados obtidos após a análise dos 1.249 artigos que foram selecionados após a triagem dos documentos.

3.1.1 Tendência temporal das publicações

Na análise da tendência temporal, observa-se que as publicações tiveram início em 1995 e se estendem até 2023. A média anual foi de 43,07 publicações, com desvio-padrão de 60,69. Nota-se ainda que entre os anos de 1995 e 2005 a produção pode ser considerada muito baixa e estável (próxima de zero), seguida de um crescimento gradual, ainda com flutuações (no período de 2006–2014) e por fim, uma aceleração (2015–2023), no qual a série anual saltou de aproximadamente 50 para 215 (aproximadamente) documentos/ano (Figura 2).

Nota-se ainda uma aceleração no crescimento do número acumulado de publicações a partir de aproximadamente 2018. A curva azul é convexa (slope crescente), indicando aceleração; o ponto de inflexão visual ocorre por volta de 2018. De 2018 em diante o número de publicações responde por mais da metade do total acumulado (68,53%).

Figura 2. Comportamento da evolução das publicações entre os anos de 1995 e 2023.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.

Entre os anos de 2022 e 2023 o número de publicações atingiu o patamar mais alto da série ($\sim 200 \pm$ documentos/ano), sugerindo que o campo está em fase de expansão. Analisando de forma individual cada década, temos: 1995: 8 artigos (0,64%), 2000: 72 (5,76%), 2010: 476 (38,11%) e 2020:



693 (55,48%). A década mais recente concentra a maior parte das publicações da área, registrando alta de 45,59% em relação à década anterior.

A difusão do uso de dados de sensoriamento remoto em estudos sobre mudanças climáticas intensificou-se a partir do final dos anos 2000. Em 2008, a adoção da política de dados abertos para o acervo Landsat pelo USGS ampliou de forma decisiva o acesso e a distribuição dessas imagens via internet (Zhu *et al.*, 2019). Esse movimento se consolidou na década seguinte, sobretudo após 2010, com o lançamento do Google Earth Engine, plataforma que democratizou o processamento em larga escala de grandes volumes de dados geoespaciais (Gorelick *et al.*, 2017).

Uma explicação plausível para o salto nas publicações que aplicam sensoriamento remoto e dados climáticos em áreas urbanas, iniciado por volta de 2010 e com aceleração evidente após 2018, quando a curva acumulada dispara (Figura 2), é a difusão e maturação dessas técnicas, somadas à urgência de identificar os gatilhos da emergência climática urbana. Sem mitigação, grandes parcelas da população e a biodiversidade dentro e ao redor das cidades enfrentarão estresse existencial (SIRMACEK; VINUESA, 2022).

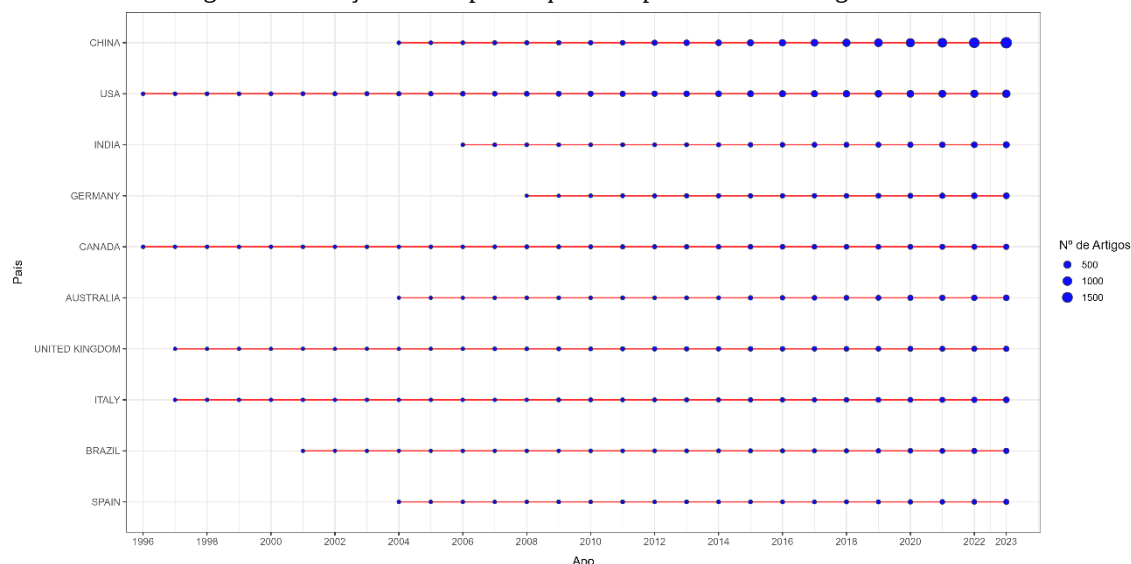
Além disso, conforme Rogers *et al.* (2025), o risco de inundações tende a aumentar por dois fatores que atuam em conjunto: a intensificação dos eventos extremos associada às mudanças climáticas e o crescimento (e a concentração) da população em áreas suscetíveis. Por isso, torna-se fundamental identificar quem são e onde estão as populações potencialmente expostas e, sobretudo, separar (decompor) o quanto da exposição total decorre da alteração do clima. Essa distinção é essencial para orientar políticas de mitigação mais relevantes e eficazes. Nesse contexto, o investimento em pesquisa torna-se fundamental para o desenvolvimento de ferramentas de avaliação e mitigação de risco.

3.1.2 Tendência espacial das publicações

Na Figura 3, observa-se a evolução anual da produção científica dos dez países que mais publicaram sobre metodologias que integram sensoriamento remoto e dados climáticos na análise das mudanças climáticas em áreas urbanas, considerando-se o país do autor correspondente. O tamanho dos círculos é proporcional ao número de artigos publicados em cada ano, sendo que maiores dimensões indicam maior produção. A linha vermelha conecta apenas os anos com registros de publicação; a ausência de linha e de círculos em determinado ano indica inexistência de publicações no período.



Figura 3. Produção dos 10 países que mais publicaram ao longo dos anos.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.

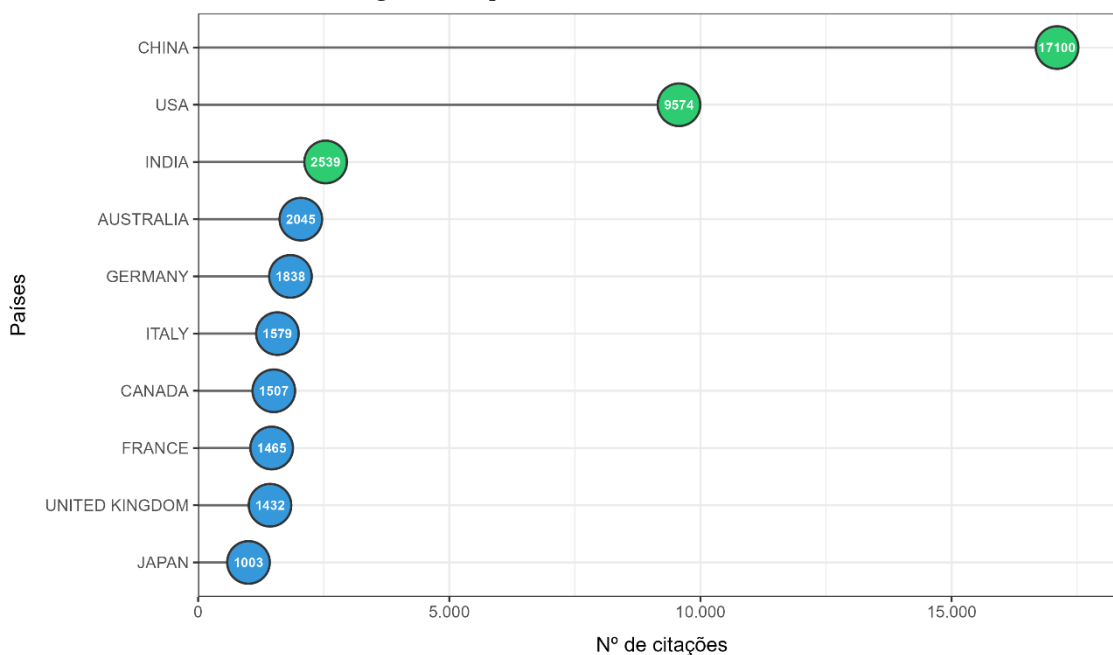
Nos anos mais recentes, observa-se a liderança da China, evidenciada pelos maiores círculos no período de 2018 a 2023, seguida pelos Estados Unidos. Índia e Alemanha apresentam crescimento consistente, especialmente a partir do intervalo entre 2008 e 2012. Canadá, Reino Unido e Austrália mantêm uma trajetória estável ao longo do tempo, sem hiatos relevantes na produção científica. Por sua vez, Brasil e Espanha configuram-se como países emergentes, com inserção no campo entre 2002 e 2005 e acentuada expansão após 2015. De modo geral, para a maioria dos países, as linhas tornam-se praticamente contínuas desde o primeiro registro até 2023, indicando atividade anual sustentada, sem anos com ausência de publicações após sua entrada na série (Figura 3).

Observa-se que a maioria dos países intensifica sua produção científica a partir de 2010, com aceleração mais pronunciada a partir de aproximadamente 2018. Esse comportamento é consistente com a crescente disponibilização de dados e plataformas de sensoriamento remoto, destacando-se a política de acesso gratuito às imagens do programa Landsat, o avanço das constelações Sentinel e o desenvolvimento de plataformas de processamento em nuvem, como o Google Earth Engine (Gorelick et al., 2017; Zhu et al., 2019). Adicionalmente, observa-se uma concentração da produção científica nos anos mais recentes, evidenciada pelas maiores bolhas no final da série temporal, indicando que a maior parte das publicações se concentra nesse período (Figura 3).

Em termos de participação e volume de publicações, observa-se a liderança da China, com 8.187 estudos (40,04%), seguida pelos Estados Unidos, com 4.870 publicações (23,82%). Em um segundo grupo, destacam-se Índia (1.297; 6,34%), Alemanha (1.056; 5,17%), Canadá (1.024; 5,01%), Austrália (1.018; 4,98%) e Reino Unido (989; 4,84%). Na sequência, aparecem Itália (936; 4,58%), Brasil (613; 3,00%) e Espanha (455; 2,23%). Em conjunto, China e Estados Unidos concentram 63,86% da produção científica analisada, evidenciando forte centralização geográfica do conhecimento no campo.



Figura 4. 10 países mais citados na área.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.

Com relação ao número de citações, os dez países com maior impacto científico na área estão representados na Figura 4. A China lidera com 17.100 citações, seguida pelos Estados Unidos, com 9.574 (23,90%). Em conjunto, esses dois países concentram aproximadamente 66,55% das citações do grupo analisado, sendo que a China, isoladamente, responde por 42,66% e supera a soma das citações dos países posicionados entre a terceira e a décima colocação (13.408). Essa liderança pode estar associada ao maior volume de publicações, ao elevado nível de colaboração internacional e à disponibilidade de financiamento para pesquisa (Figura 4).

Na terceira posição, a Índia apresenta 2.539 citações, valor significativamente inferior ao dos Estados Unidos (cerca de 3,8 vezes menor). O grupo intermediário — composto por Austrália (2.045), Alemanha (1.838), Itália (1.579), Canadá (1.507), França (1.465) e Reino Unido (1.432) — apresenta desempenho relativamente homogêneo, com valores concentrados entre aproximadamente 1,4 e 2,0 mil citações. Por fim, o Japão ocupa a décima posição, com 1.003 citações, indicando participação relevante, embora inferior à dos países do grupo intermediário (Figura 4).

3.1.3 Destaques na área: autores, instituições, revistas e artigos

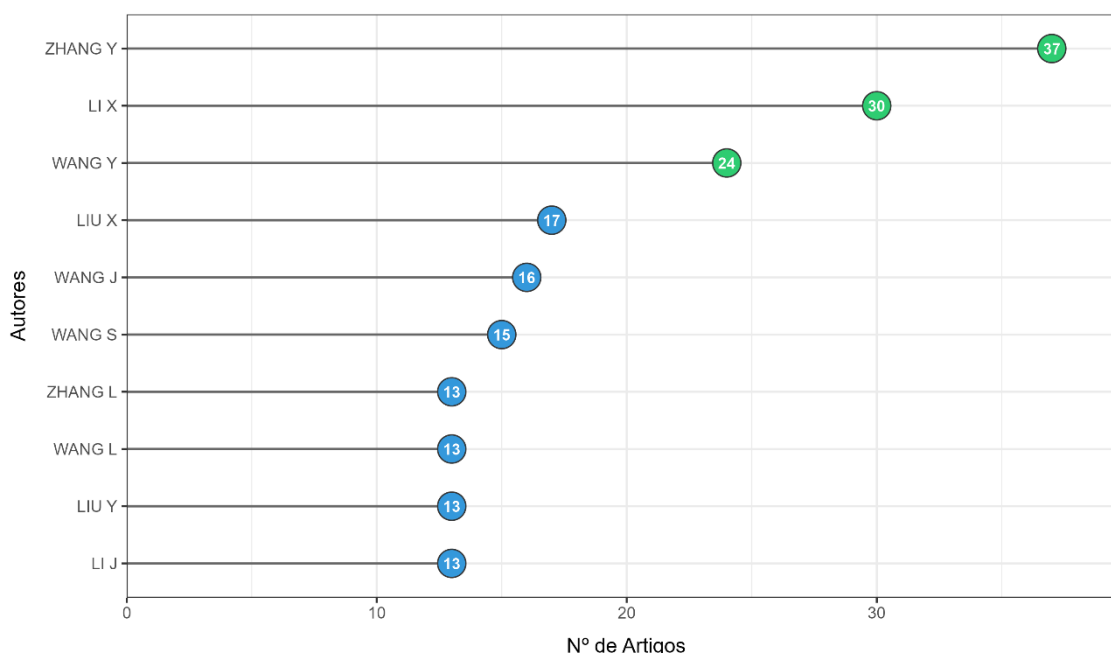
Nesta seção, são apresentados os principais autores, instituições, revistas e artigos de destaque no campo de estudo. A Figura 5 apresenta a produção dos dez autores mais produtivos.

Há uma liderança nítida de Zhang Y (37 artigos; 19,37%), seguido por Li X (30; 15,71%) e Wang Y (24; 12,57%). Na sequência aparecem Liu X (17; 8,90%), Wang J (16; 8,38%), Wang S (15; 7,85%), Zhang L (13; 6,81%), Wang L (13; 6,81%), Liu Y (13; 6,81%) e Li J (13; 6,81%). Do 7º ao



10º lugar, todos registram 13 artigos, caracterizando um platô no fim do ranking. Em conjunto, os três primeiros respondem por ~47,65% da produção do top-10 (Figura 5).

Figura 5. Produção dos 10 autores que mais publicaram na área.

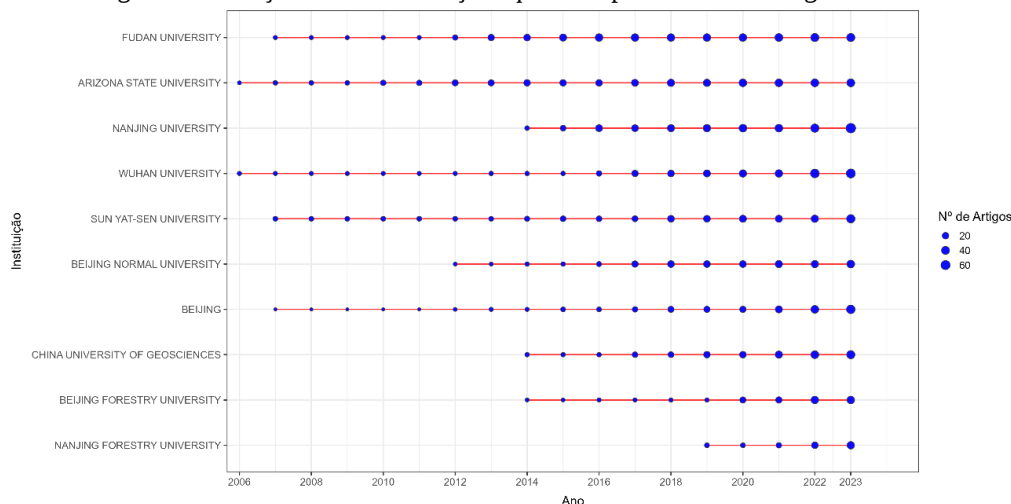


Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.

Observa-se também predominância de publicações por autores chineses: a recorrência de sobrenomes como Zhang, Li, Wang e Liu indica forte peso de autores vinculados à China, em consonância com a liderança do país vista na análise por países (Figura 5).

A Figura 6 apresenta a produção das dez instituições com maior número de publicações ao longo dos anos. O tamanho dos círculos é proporcional ao número de artigos publicados em cada ano, enquanto a linha vermelha conecta apenas os anos com produção científica.

Figura 6. Produção das 10 instituições que mais publicaram ao longo dos anos.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.

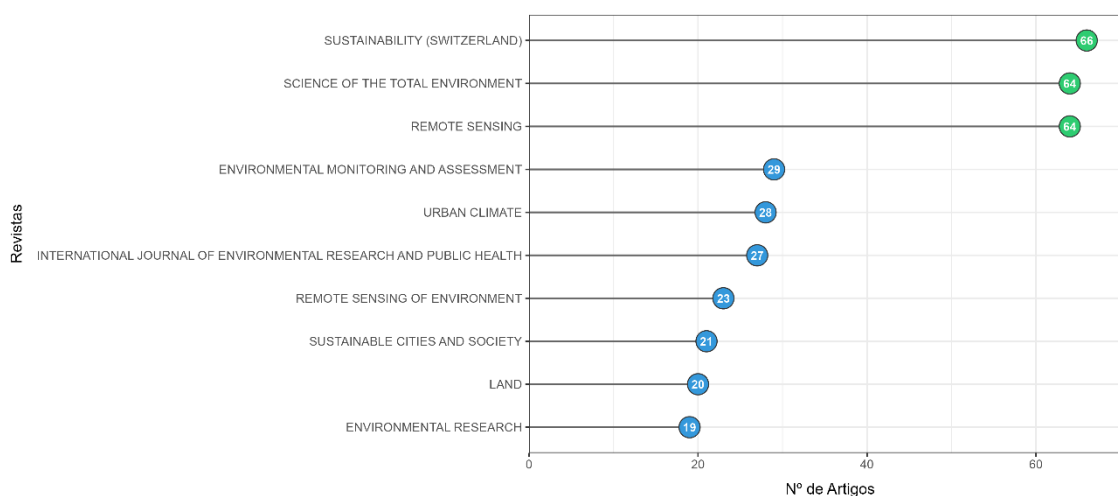


O período analisado se inicia em 2006, com 2 publicações da Arizona State University (ASU). A partir desse marco, a maioria das instituições passa a apresentar produção anual sustentada — as linhas permanecem praticamente contínuas até 2023. Observa-se um predomínio claro de instituições chinesas: 9 das 10 do ranking são da China (Fudan, Nanjing, Wuhan, Sun Yat-sen, Beijing Normal, China University of Geosciences, Beijing Forestry, Nanjing Forestry e uma entrada agregada “Beijing”); a única exceção é a ASU (EUA) (Figura 6). Esse padrão é coerente com a liderança chinesa verificada nas análises por país (Figura 4) e por autor (Figura 5).

Quanto à trajetória temporal, várias instituições já exibem produção a partir de 2007–2008 (p.ex., Fudan, Wuhan e ASU). A Beijing Normal passa a contribuir em 2012; China University of Geosciences e Beijing Forestry, por volta de 2014; e a Nanjing Forestry, apenas a partir de 2019. Há ainda uma aceleração recente, com os maiores volumes concentrados em 2018–2023, indicando que o grosso da produção ocorre no fim da série. Fudan, Wuhan, Sun Yat-sen e Nanjing exibem os incrementos mais marcantes nesse período, enquanto a ASU mantém volumes consistentes ao longo do tempo (Figura 6).

A Figura 7 apresenta a produção das 10 revistas que mais publicaram na área.

Figura 7. Produção das 10 revistas que mais publicaram na área.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.

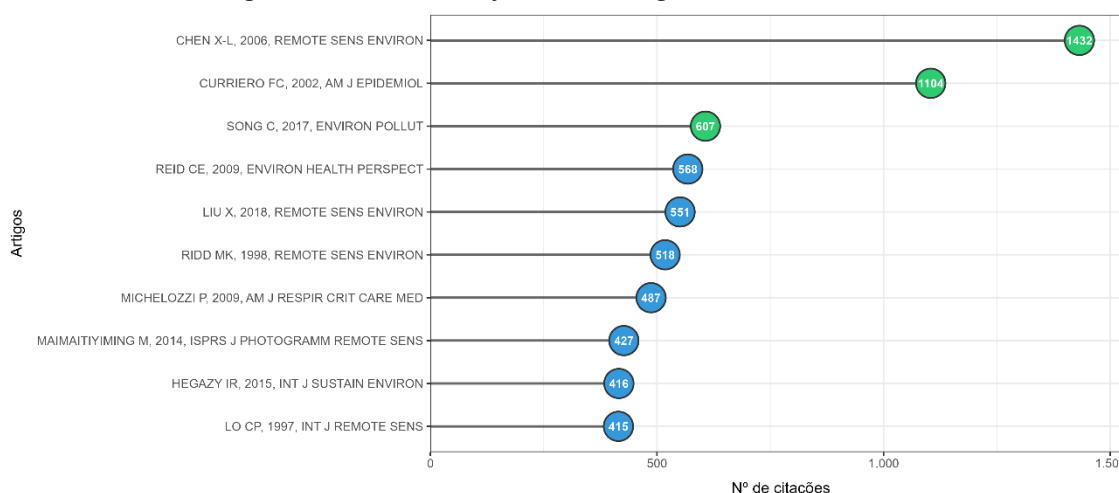
Sustainability (Switzerland) lidera com 66 artigos (18,28%), seguida por *Science of the Total Environment* e *Remote Sensing* (ambas com 64; 17,73% cada). Juntas, as três concentram 53,74% dos artigos do top-10 — forte evidência de concentração. Na sequência aparecem *Environmental Monitoring and Assessment* (29; 8,03%), *Urban Climate* (28; 7,76%), *International Journal of Environmental Research and Public Health* (IJERPH) (27; 7,48%) e *Remote Sensing of Environment* (23; 6,37%). Fecham a lista *Sustainable Cities and Society* (21; 5,82%), *Land* (20; 5,54%) e *Environmental Research* (19; 5,26%) (Figura 7).



O perfil editorial do topo combina periódicos multidisciplinares (ex.: *Science of the Total Environment*) com títulos especializados em sensoriamento remoto e clima urbano (*Remote Sensing*, *Remote Sensing of Environment*, *Urban Climate*, *Sustainable Cities and Society*). A presença marcante de periódicos open access (Ex.: *Sustainability*, *Remote Sensing*, *IJERPH* e *Land*) sugere que o acesso aberto é um canal central de difusão nesse tema.

Na Figura 8 será apresentado os 10 artigos mais relevantes na área (de acordo com o número de citação no período avaliado).

Figura 8. Número de citações dos 10 artigos mais citados na área.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.

O artigo mais citado é Chen X-L (2006), publicado em *Remote Sensing of Environment*, com 1.432 citações. Em segundo lugar, Curriero FC (2002), em *American Journal of Epidemiology*, com 1.104 citações. Juntos, somam 2.536 citações (38,87% do total do top-10, 6.525). Com o terceiro colocado é Song C (2017), em *Environmental Pollution*, 607 citações, o acumulado dos três primeiros chega a 48,18% (Figura 8).

Ao realizar uma análise exploratória dos dados (tendo como base o conjunto dos 1249 artigos), a média de citações por artigo é 46,57, a mediana é 21 e o desvio-padrão é 83,65. A mediana bem abaixo da média, combinada ao alto desvio-padrão, indica forte assimetria à direita (cauda longa): muitos artigos têm poucas citações, enquanto um pequeno grupo de outliers concentra parcela relevante do impacto.

Identifica-se que os artigos mais antigos (1997–2002) acumularam citações ao longo do tempo; contudo, trabalhos mais recentes já exibem taxas anuais muito elevadas, por exemplo, Liu (2018), Song (2017) e, mesmo não sendo recente, Chen (2006), que mantém ritmo médio alto. Em outras palavras, estudos recentes alcançam ritmo de citação comparável (ou superior) ao de trabalhos clássicos.



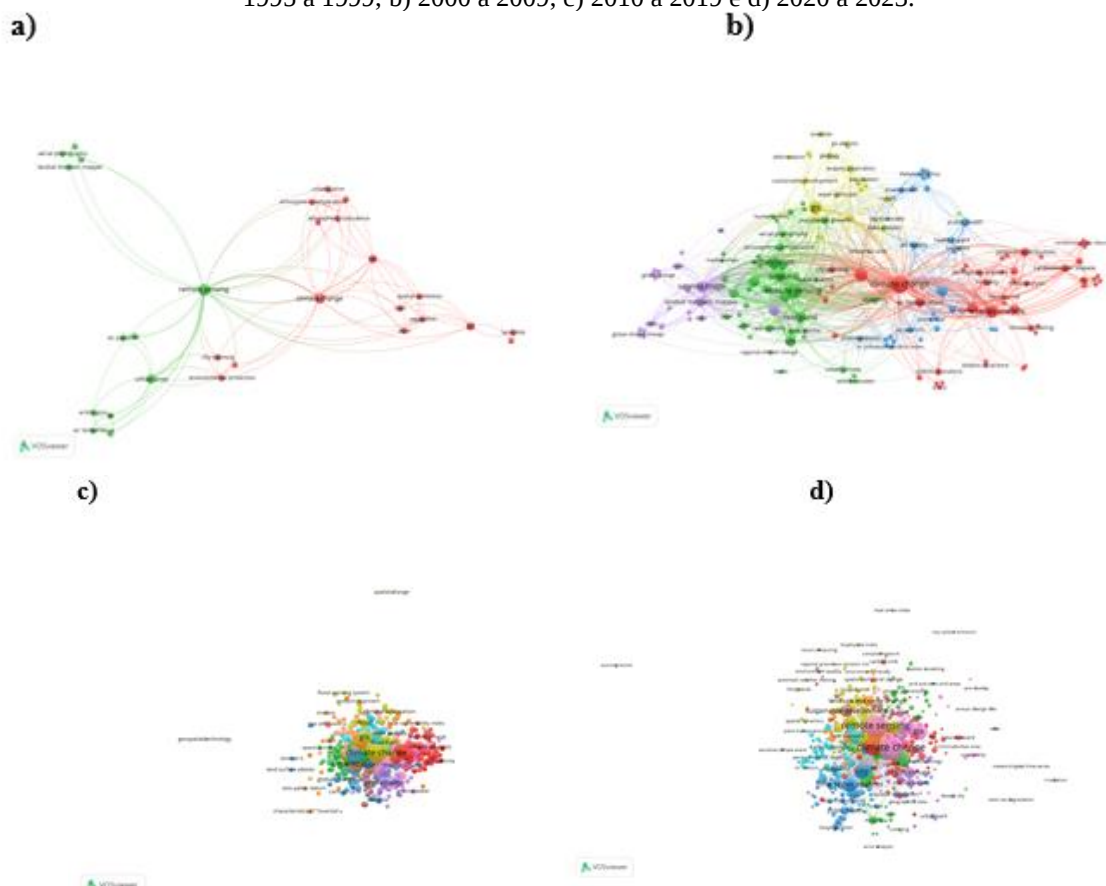
Quanto ao perfil dos periódicos, três artigos pertencem à *Remote Sensing of Environment* (30% do top-10), e há forte presença de títulos de saúde pública/epidemiologia (*American Journal of Epidemiology*, *Environmental Health Perspectives* e *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*), evidenciando a interseção entre sensoriamento remoto, exposição ambiental e saúde.

3.1.4 Tendência da evolução ao longo dos anos dos termos mais relevantes (Redes de coocorrência)

A Figura 9 apresenta as redes de coocorrência dos termos extraídos das palavras-chave, evidenciando sua evolução entre 1995 e 2023 no contexto de metodologias que integram sensoriamento remoto e dados climáticos aplicados às mudanças climáticas em áreas urbanas.

Cada círculo representa uma palavra-chave presente em ao menos um artigo, e seu tamanho é proporcional à frequência de ocorrência. As linhas (arestas) indicam coocorrência entre pares de termos em um ou mais artigos; a maior intensidade das linhas denota maior número de coocorrências. A distância entre os nós expressa a proximidade temática no espaço de mapeamento, de modo que termos posicionados mais próximos tendem a coocorrer com maior frequência e em contextos semelhantes (Figura 9).

Figura 9. Redes de coocorrência de termos retirados das palavras-chave dos artigos agrupados por décadas. (a) Década de 1995 a 1999; b) 2000 a 2009; c) 2010 a 2019 e d) 2020 a 2023.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.



A primeira década contemplada no mapa corresponde aos anos 1990 (Figura 9a). Nesse intervalo, foram mapeados 29 termos, distribuídos em dois clusters. Sobressaem-se, pelo maior número de ocorrências, *remote sensing*, seguido de *climate change*, *urban area*, GIS e UHI, com frequências entre 2 e 6 menções. As principais áreas do conhecimento associadas aos termos mais frequentes são Sensoriamento Remoto, Mudanças Climáticas, Geoinformática/SIG e Estudos Urbanos.

Na década seguinte, os anos 2000 (Figura 9b), foram registrados 166 termos agrupados em cinco clusters. Destacam-se *climate change*, *remote sensing*, GIS, *time series analysis* e *urban area*, com frequências entre 18 e 45 menções, abrangendo as áreas de Mudanças Climáticas, Sensoriamento Remoto, Geoinformática/SIG, Análise de Séries Temporais e Estudos Urbanos.

A rede de coocorrência referente à década de 2010 (Figura 9c) contempla 438 termos, organizados em 13 clusters. Nesse período, sobressaem *climate change*, *remote sensing*, GIS, *urban area* e *urbanization*, com contagens entre 107 e 295 menções, cobrindo Mudanças Climáticas, Sensoriamento Remoto, Geoinformática/SIG e Estudos Urbanos.

Para a década de 2020 (Figura 9d), foram mapeados 504 termos distribuídos em 10 clusters. Os principais termos são *climate change*, *remote sensing*, *urban area*, GIS e *urbanization*, com frequências entre 139 e 396 menções, abrangendo Mudanças Climáticas, Sensoriamento Remoto, Estudos Urbanos/Urbanização e Geoinformática/SIG.

Em síntese, observa-se, de 1990 a 2020, a consolidação do tripé mudanças climáticas – sensoriamento remoto – SIG, acompanhada de crescente ênfase no contexto urbano (da UHI e *urban area* para *urbanization*) e, nos anos 2000, a incorporação explícita de métodos quantitativos (*time series analysis*) (Figura 9).

3.2 ABORDAGEM SISTEMÁTICA

3.2.1 Microanálise

O Apêndice I sintetiza as informações dos artigos selecionados por década, incluindo título, ano de publicação e número total de citações. Para cada período, foram considerados os artigos mais citados, resultando na seguinte distribuição: 1 artigo na década de 1990, 7 na de 2000, 48 na de 2010 e 69 na de 2020, totalizando 125 artigos.

Com base na planilha Perguntas_SISTEMÁTICA_FINAL.xlsx disponibilizada como material suplementar, iremos dar início a microanálise para responder às perguntas de pesquisa da abordagem sistemática (Conforme Tabela 1). A planilha apresenta as informações dos artigos analisados na abordagem sistemática contendo a análise das questões investigadas nessa etapa da pesquisa.

A Tabela 2 apresenta uma síntese dos temas principais identificados nos artigos analisados, destacando os 10 mais recorrentes e a participação percentual de cada um no total da amostra. Ao todo, foram mapeados 53 temas distintos; contudo, para fins de síntese e comparação, a tabela reúne apenas



aqueles com maior frequência de ocorrência. A relação completa dos temas encontra-se disponível na planilha suplementar.

Tabela 2. Classificação por temas dos artigos analisados.

Tema principal	Quantidade de artigos	% em relação ao total
Ilha de calor urbana	25	20,00
Saúde e clima	11	8,80
Clima urbano: vegetação e LST	9	7,20
Mudanças climáticas: risco de inundação	9	7,20
Uso/cobertura do solo	6	4,80
Expansão urbana	4	3,20
Temperatura da superfície terrestre (LST)	4	3,20
Clima urbano: efeitos da vegetação no clima térmico urbano	3	2,40
Expansão urbana x Vegetação	3	2,40
Índice de vulnerabilidade ao calor urbano	3	2,40

Nota: A amostra analisada compreendeu 125 artigos. Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.

Com base na Tabela 2, observa-se que o tema dominante é “Ilha de calor urbana”, que corresponde a 20% do total, evidenciando foco em processos térmicos urbanos. Em seguida aparecem “Saúde e clima” (8,80%), “Clima urbano: vegetação e LST” (7,20%), “Mudanças climáticas: risco de inundação” (7,20%) e “Uso/cobertura do solo” (4,80%). Os cinco primeiros temas somam 48% do corpus; os dez primeiros, aproximadamente 61,6%. Há ainda uma cauda longa composta por 38 temas únicos (0,80% cada), sinalizando diversidade e especialização temática. O corpus é moderadamente concentrado em calor urbano e clima térmico, com diversificação para saúde, hidrologia urbana e uso do solo.

Ao dividirmos os temas por eixos temáticos temos que: Eixo 1 - Clima térmico urbano/calor: além do tema líder (ilha de calor urbana), incluem-se conforto/estresse térmico, mitigação por corredores de vento e mitigação térmica por rios, configurando um bloco robusto de exposição e mitigação do calor; Eixo 2 - Saúde e clima: presença expressiva, com conexões vegetação × LST × saúde, indicando crescente interesse nos impactos à saúde pública; Eixo 3 - Hidrologia e risco: risco de inundação e infraestrutura azul-verde (BGI) apontam integração entre eventos extremos e manejo pluvial; Eixo 4 - Uso/cobertura do solo e expansão urbana: múltiplas variações (impermeabilização, interação com vegetação, efeitos na temperatura do ar) mostram a urbanização como condicionante-chave; e por último Eixo 5 - Carbono e qualidade do ar (núcleos emergentes): tópicos dispersos sobre emissões/sequestro (bairros, florestas urbanas, sumidouros) e poluição/qualidade do ar, sugerindo um campo relevante, porém ainda fragmentado.



3.2.1.1 Metodologias/métodos para análises de mudanças climáticas em áreas urbanas

A seguir, apresenta-se a análise das metodologias/métodos utilizados nos artigos objetos do estudo. Cada metodologia foi quantificada pela sua frequência de ocorrência nos estudos, isto é, contou-se em quantos artigos a metodologia/método aparece (uma ocorrência por artigo). A proporção correspondente foi expressa em percentual, calculada por:

$$\% = (n^{\circ} \text{ de artigos em que a variável aparece} / N) \times 100. \quad (1)$$

Em que:

$N=125$ (Total de artigos avaliados).

A Tabela 3 apresenta as metodologias mais frequentes na amostra (com porcentagem em relação aos 125 artigos).

Tabela 3. Metodologias mais utilizadas nos estudos.

Metodologia/Método	Nº de ocorrências	% de ocorrências
GIS (Geographic Information System)	97	77,60
Sensoriamento remoto	94	75,20
Análise espacial de LULC	64	51,20
Análise termal de satélite	61	48,80
Índices espectrais	60	48,00
Séries temporais	60	48,00
Dados meteorológicos	27	21,60
Dados socioeconômicos	19	15,20
DEM (Digital Elevation Model)	17	13,60
Luzes noturnas: DMSP/OLS; NPP-VIIRS	10	8,00
Métricas de paisagem	6	4,80
Análise de correlação (Coeficiente de Pearson)	4	3,20
Dados de saúde	3	2,40
Meta-análise: modelos lineares de efeitos aleatórios	3	2,40



Nota: A amostra analisada compreendeu 125 artigos. Como um mesmo artigo pode empregar mais de uma metodologia, as ocorrências apresentadas não são mutuamente exclusivas (podendo totalizar mais de 125).

Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.

No conjunto analisado foram identificadas 407 metodologias distintas. Destas, 387 são mobilizadas em apenas um artigo, enquanto apenas 20 aparecem em dois ou mais estudos. Esse padrão indica que, para além de um núcleo metodológico compartilhado, existe uma cauda longa de abordagens específicas, muitas vezes ajustadas aos objetivos particulares de cada pesquisa.

Apesar dessa diversidade, observa-se um núcleo metodológico bastante consolidado, estruturado na integração entre Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e sensoriamento remoto, presentes em aproximadamente 75% dos artigos. Associam-se a esse núcleo procedimentos recorrentes como análise espacial de uso e cobertura da terra (LULC), análise termal de imagens de satélite, aplicação de índices espectrais e emprego de séries temporais, adotados em cerca de 50% dos estudos. Em torno desse eixo central gravitam ainda metodologias de apoio, tais como o uso de Modelos Digitais de Elevação (DEM), dados meteorológicos e socioeconômicos, métricas de paisagem e luzes noturnas, além de um número mais restrito de trabalhos que utilizam meta-análise, dados de saúde e métodos de apoio à decisão multicritério, como o AHP.

A seguir apresentam-se alguns exemplos de metodologias discrepantes, isto é, abordagens que aparecem em apenas um artigo do conjunto analisado, organizadas por tipo:

Abordagens de cenário e risco

- a) Construção de cenários de elevação do nível do mar;
- b) Análise de associação entre correlação e perda de valor de propriedades;
- c) Análise de forças motrizes.

Métodos estatísticos específicos

- a) Ajuste de modelo SARIMA;
- b) Análise de Componentes Principais (ACP);
- c) Análise de sensibilidade e análise de sensibilidade temporal.

Procedimentos de calibração e validação

- a) Amostragem de campo estratificada;
- b) Uso de amostras/“ground truth” a partir do Google Earth;
- c) Aplicação de algoritmos para recuperação de LST, tais como RTE (Radiative Transfer Equation), MWA (Mono-Window), SWA (Split-Window) e SCA (Single-Channel).

Análises morfológicas e de paisagem específicas

- a) Análise de padrões espaciais morfológicos (MPE);
- b) Construção de índices específicos de vulnerabilidade e/ou risco.



Essas metodologias não se repetem em outros artigos, o que indica forte especialização temática (por exemplo, estudos de risco costeiro, impacto econômico ou cenários de elevação do nível do mar) e peculiaridades metodológicas, em que cada autor combina conjuntos particulares de índices, modelos ou protocolos de análise.

Em síntese, o campo revela um padrão metodológico amplamente consolidado, estruturado na combinação de SIG, sensoriamento remoto, análise termal de imagens de satélite, índices espectrais, séries temporais e análise espacial de uso e cobertura da terra (LULC), que se configura como o “pacote metodológico” dominante para o estudo das mudanças climáticas em contextos urbanos.

Paralelamente, observa-se uma grande diversidade de métodos de nicho, em geral mobilizados apenas uma vez, associados a: modelagem estatística específica (como SARIMA, ACP e regressões particulares), avaliação de risco e de perdas, procedimentos de calibração e validação de produtos de sensoriamento remoto e construção de índices próprios de vulnerabilidade ou desempenho.

3.2.1.2 Análise termal e Índices espectrais

Dos 125 artigos, 49 (39,20%) não utilizaram análise termal e/ou índices espectrais. Em termos absolutos por década: 1990 – 1 (2,04% do total), 2000 – 5 (10,20%), 2010 – 22 (44,90%), 2020 – 21 (42,86%).

Dos 76 estudos que empregaram análise térmica e/ou índices espectrais, 13 (17,11%) utilizaram exclusivamente índices espectrais para examinar mudanças climáticas em áreas urbanas. Os índices identificados foram: NDVI (7/13; 53,85%, o mais frequente), NDWI, NDBI, NUACI, SAVI, EVI, UI e NDVImax. Outros 12 (15,79%) estudos realizaram apenas análises térmicas, baseadas na temperatura da superfície terrestre (LST) e/ou em métricas de ilha de calor (UHI, SUHI, SUHII), sem o uso de índices espectrais.

A maioria, 51 (67,11%), combinou análises térmicas e índices espectrais. Nesse grupo, apenas um estudo não empregou LST (utilizou temperatura de brilho) e 28 não calcularam explicitamente UHI/SUHI(SUHII), restringindo-se à discussão conceitual.

Para esse subconjunto, a Tabela 4 apresenta a frequência de uso dos índices espectrais, organizada em ordem decrescente. Esses resultados indicam predominância de abordagens híbridas (térmica + índices) e uma aplicação ainda desigual de métricas explícitas de ilha de calor.



Tabela 4. Índices espectrais mais utilizados nos estudos.

Índice	Contagem
NDVI	43
NDBI	9
MNDWI	6
EVI	5
SAVI	4
IBI	3
NDBSI	3
NDWI	2
NDBaI	2
WET	2
Broadband	2
SI	1
BCI	1
Normalized difference (ex.: $NIR-SWIR1 \approx NDBI$, $NIR-SWIR2 \approx inv-NBR$, $SWIR1-SWIR2 \approx NBR2$)	1
UTFVI	1
VCF	1
VrNIR-BI	1
UI	1
NDBaI	1
NDMI	1
NDISI	1
NBI	1
MNDBaI	1
LSWI	1
LAI	1
DI	1
$\Delta ndvi$	1

Nota: A amostra analisada compreendeu 125 artigos. Como um mesmo artigo pode empregar mais de um índice, as ocorrências apresentadas não são mutuamente exclusivas (podendo totalizar mais de 125). Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.

Quanto às métricas térmicas nos 51 estudos que combinaram análises, observou-se ampla adoção de LST (49/51; 96,08%). Entre os indicadores de ilha de calor, registraram-se: UHI (13; 25,49%), SUHI (7; 13,73%), SUHII (2; 3,92%), além das variantes SUHImax (1; 1,96%) e SUHImean (1; 1,96%), e UHII (1; 1,96%). Um estudo empregou temperatura de brilho em lugar de LST.

Como foi possível observar, dentre os artigos analisados, 76 empregaram análise térmica e/ou índices espectrais, o que evidencia uma forte tendência de utilização desse tipo de abordagem, fundamentada sobretudo em técnicas de sensoriamento remoto aplicadas a estudos climáticos. Tal predominância pode ser explicada, em parte, pelo fato de que as temperaturas do ar medidas pontualmente por estações meteorológicas não são suficientes para descrever adequadamente as variações locais de temperatura no interior das áreas urbanas (Alexander, 2021), reforçando a



relevância de produtos orbitais e análises espaciais de alta resolução para a investigação do clima urbano.

3.2.1.3 Variáveis ambientais

Na sequência, apresenta-se a análise das variáveis ambientais utilizadas nos artigos que compõem o corpus. Cada variável foi quantificada pela sua frequência de ocorrência nos estudos, isto é, contou-se em quantos artigos a variável aparece (uma ocorrência por artigo).

A Tabela 5 apresenta as 15 variáveis mais frequentes na amostra (com porcentagem em relação aos 125 artigos).

Tabela 5. Variáveis mais utilizadas nos estudos.

Variável	Nº de ocorrências
LULC	60
LST	59
NDVI	45
Temperatura do ar	43
Precipitação	23
Elevação	23
Umidade relativa do ar	18
Velocidade do vento	17
UHI	14
Densidade populacional	14
NDBI	9
Declividade	9
SUHI	8
EVI	8
Radiação solar global	7

Nota: A amostra analisada compreendeu 125 artigos. Como um mesmo artigo pode empregar mais de uma variável, as ocorrências apresentadas não são mutuamente exclusivas (podendo totalizar mais de 125). Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.



Observa-se um núcleo robusto de variáveis físico-ambientais, com destaque para:

- a) Uso/cobertura da terra (LULC);
- b) Temperatura da superfície (LST);
- c) Índices de vegetação (NDVI, EVI, SAVI etc.);
- d) Variáveis meteorológicas clássicas (temperatura do ar, precipitação, umidade, vento);
- e) Métricas de relevo (elevação, declividade);
- f) Indicadores de ilha de calor (UHI, SUHI).

As variáveis socioeconômicas também estão presentes, porém com menor peso agregado; por exemplo, densidade populacional aparece em 14 dos 125 artigos.

O inventário geral revela uma distribuição do tipo “cauda longa”: 391 variáveis ($\approx 88,3\%$) ocorrem uma única vez (freq. = 1 artigo), enquanto 52 variáveis ($\approx 11,7\%$) são reutilizadas em dois ou mais estudos. Isso indica elevada especificidade contextual e potencial restrição à comparabilidade entre trabalhos.

A análise temporal das quinze variáveis mais empregadas revela sua presença contínua ao longo de todo o período considerado (décadas de 1990–2020). Registra-se, inclusive, a utilização de LULC já em 1998, o que indica adoção precoce de métricas de uso e cobertura da terra e sua posterior difusão e consolidação nas décadas subsequentes.

Apenas nove estudos do conjunto analisado não mobilizam nenhuma das quinze variáveis mais frequentes (Conforme Tabela 5). Esses trabalhos, por sua vez, se distribuem em quatro frentes temáticas centrais: (i) clima térmico urbano e vulnerabilidade; (ii) poluição do ar; (iii) carbono urbano; e (iv) riscos costeiros. Neles, predominam variáveis socioeconômicas e demográficas, de saúde, de condições de moradia e conforto térmico, de estrutura urbana, de poluição do ar e de emissões/desempenho de carbono, entre outras.

Entre as variáveis de ocorrência única, destacam-se alguns exemplos sociodemográficos muito específicos: % de crianças <5 anos, % de população afro-americana, % de idosos que vivem sozinhos, % de domicílios com aquecimento, % de população hispânica, % de raça/etnia não branca, % de desempregados (18–65) e % de não-cidadãos.

Em síntese, o conjunto dos 125 artigos analisados é fortemente dominado por variáveis físico-ambientais e de uso e cobertura da terra, com destaque para LULC, LST, NDVI, temperatura do ar, precipitação e elevação. Observa-se também uma grande diversidade de variáveis socioeconômicas e de saúde; contudo, a maior parte delas apresenta baixa recorrência, desempenhando, em geral, o papel de variáveis contextuais específicas a cada estudo.

Tais resultados corroboram, mais uma vez, os achados das seções anteriores, que apontam de forma consistente para a expansão e centralidade de áreas como análise espacial, sensoriamento remoto



e climatologia enquanto ferramentas fundamentais nas análises ambientais sobre mudanças climáticas em contextos urbanos.

3.2.1.4 Séries temporais e métodos para tratar dados faltantes

Dos 125 artigos analisados, 72 (57,60%) incorporaram séries temporais às análises, enquanto 53 (42,40%) não as utilizaram. Entre os estudos que empregaram séries temporais ($n = 72$), 14 (19,44%) recorreram a mais de um tipo de série (entre 2 e 3 tipos). Ainda neste conjunto, apenas 17 (23,61%) realizaram tratamento de dados faltantes; consequentemente, 55 (76,39%) não reportaram procedimentos para lidar com ausências nos dados.

Esses resultados sugerem que, embora o uso de séries temporais seja majoritário, há subutilização de estratégias de tratamento de missing data, o que pode introduzir viés e reduzir a comparabilidade entre estudos.

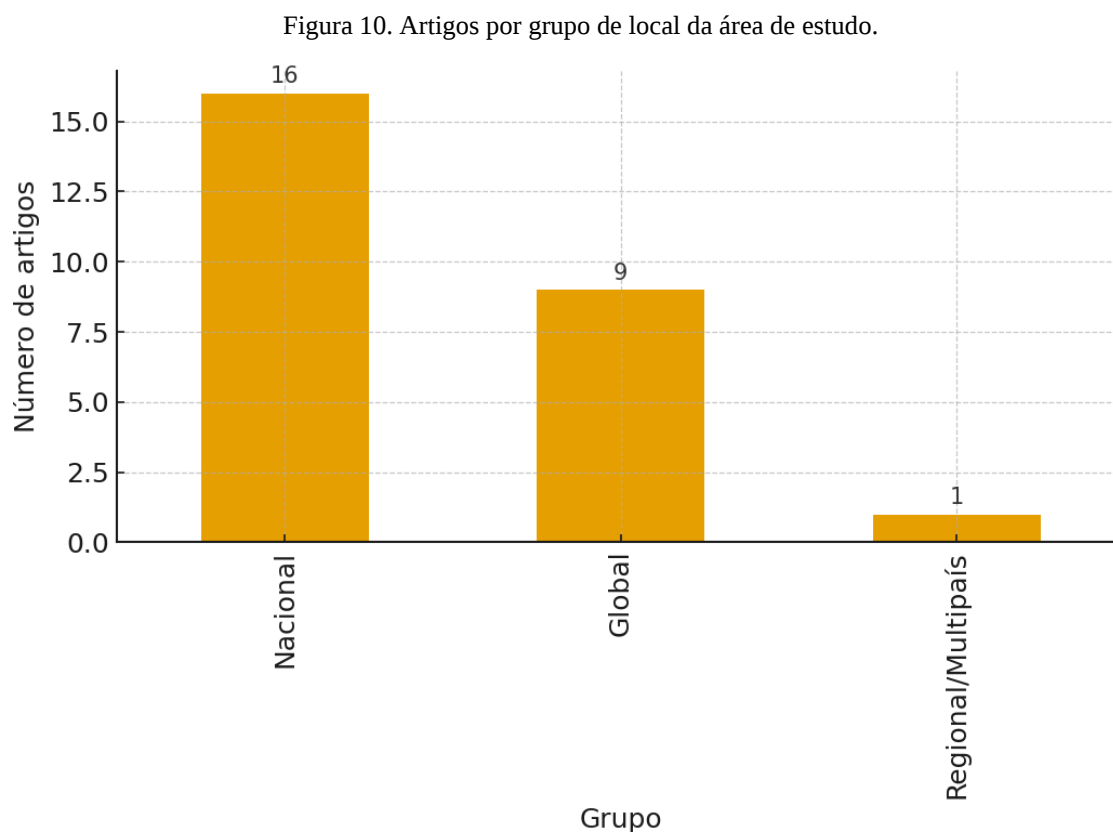
A seguir, apresentam-se os tratamentos aplicados, organizados por tipo de série temporal utilizada:

- a) Séries temporais meteorológicas: Calibração pré/pós-campo e remoção de outliers (valores além de 2,5 IQR); QC rigoroso nas estações e imputação por diferencial para a média anual das estações; krigagem espacial e data cleaning de ETL; 1 - remoção de outliers e substituição por nulos, 2 - Preenchimento com a estação meteorológica mais próxima, 3 - Busca temporal por observações recentes, 4 - KNN com $k = 2, 5$ e imputação por Random Forest; segmentação/seleção e modelagem estatística; lacunas curtas (<4 h) preenchidas por interpolação linear; exclusão de sensores/dias problemáticos.
- b) Séries temporais de satélites: exclusão de pixels sem dados + uso de máximos multi-anos e mosaicos; reconstrução temporal (Prophet) após anular gaps e remover outliers; composição mediana de céu limpo; exclusão de registros ausentes de AT e por QC do MODIS; máscaras de qualidade e critérios de exclusão; cloud-masking e interpolação linear pixel-a-pixel para escala diária.
- c) Séries temporais de concentrações de poluentes: Controle de qualidade: remoção de outliers, z-score, exigência de $\geq 80\%$ de dados válidos.
- d) Séries temporais de CO_2 : interpolação linear, por uso de CO_2 derivado de luz noturna e por um ajuste na vizinhança espacial; tratamento de lacunas por QA/QC, exclusão de blocos inválidos, agregação por ensemble e interpolação linear limitada.
- e) Séries temporais de $\text{PM}_{2.5}$: exclusão de leituras inválidas (SNO/SNA).
- f) Séries temporais de Preços de produtor: imputação de preços através da média global.
- g) Séries temporais de ET: preenchimento de lacunas com modelos de ML/DL.



3.2.1.5 Área de estudo

Dos 125 artigos analisados, 26 (20,80%) investigam fenômenos em recortes nacional, regional/multipaís ou global. Desses 26, 9 são de escala global (amostras em vários países/cidades), 2 de escala regional/multipaís (blocos de países) e 15 de escala nacional (foco em um único país). A Figura 10 apresenta um panorama geral dos locais de estudo divididos em grupos.

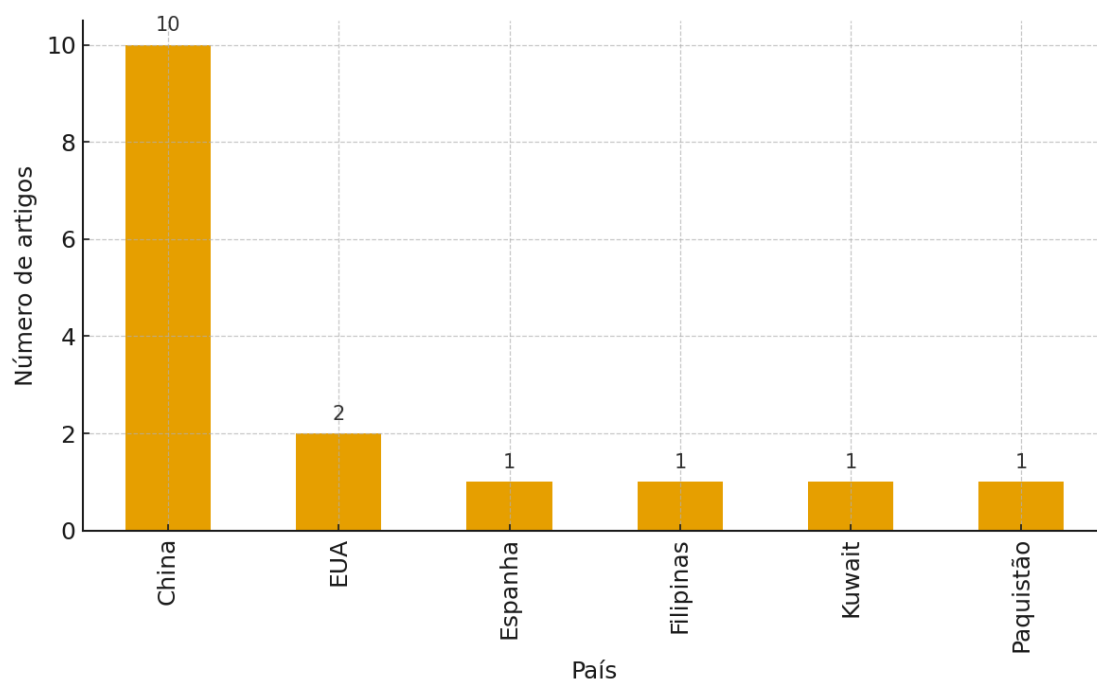


Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.

A Figura 11 sintetiza os artigos conduzidos em escala nacional, com a contagem correspondente em cada país. Entre os nacionais, a distribuição é: China (9), EUA (2), Filipinas (1), Paquistão (1), Espanha (1) e Kuwait (1). Em termos proporcionais, predominam os nacionais ($15/26 = 57,70\%$), seguidos pelos globais ($9/26 = 34,60\%$) e pelos regionais/multipaís ($2/26 = 7,70\%$).



Figura 11. Artigos em escala nacional por país.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.

Os 99 artigos restantes (79,20% do total) tiveram como área de estudo cidades específicas. Desses, 94 (94,95%) foram realizados em cidades de um mesmo país, enquanto 5 (5,05%) abrangeram cidades de países diferentes. A Tabela 6 apresenta a síntese da quantidade de artigos por país.

Tabela 6. Número de artigos por país em que a pesquisa foi realizada.

País	Soma de Artigos no país
China	32
EUA	14
Índia	8
Alemanha	6
Turquia	5
Bangladesh	3
Dinamarca	3
França	3
Paquistão	3
Canadá	2
Noruega	2
Bélgica	2
Arábia Saudita	1
Brasil	1
Chile	1
Coreia do Sul	1
Egito	1
Holanda	1
Inglaterra	1
Malásia	1



Portugal	1
Gana	1
Singapura	1

Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.

Observa-se forte concentração geográfica. A China lidera com 32 artigos (34,04%), seguida por EUA (14; 14,89%), Índia (8; 8,51%), Alemanha (6; 6,38%) e Turquia (5; 5,32%). Juntos, esses cinco países somam 69,14% do total. Quatro países têm 3 artigos cada: Bangladesh, Dinamarca, França e Paquistão - totalizando 12,76%. Três países têm 2 artigos: Canadá, Noruega e Bélgica - somando 6,38%. Os demais 11 países aparecem com 1 artigo cada (Arábia Saudita, Brasil, Chile, Coreia do Sul, Egito, Holanda, Inglaterra, Malásia, Portugal, República de Gana e Singapura), perfazendo 11,70%.

Os três países com maior destaque foram China, EUA e Índia. Entre as cidades estudadas, incluem-se: China - Xangai, Pequim, Xi'an e Zhengzhou; EUA - Phoenix, Baltimore, Detroit, Boston, Chicago, Washington (D.C.), Los Angeles e Nova York; Índia - Ahmedabad, Calcutá (Kolkata), Delhi, Gurugram, Nagpur, Navsari e Raipur.

Nos cinco estudos de abrangência multipaís, foram identificados os seguintes países e respectivas cidades: Espanha (Barcelona, Valência); Hungria (Budapeste); Irlanda (Dublin); Eslovênia (Liubliana); Reino Unido (Londres); Itália (Milão, Roma, Turim, Nápoles); França (Paris, Marselha, Nice, Estrasburgo); Suécia (Estocolmo); Suíça (Zurique); Dinamarca (Odense); Áustria (Viena); República Tcheca (Praga, Brno); Sérvia (Novi Sad); Portugal (Lisboa); Grécia (Atenas); Canadá (Vancouver) e EUA (Salt Lake City).

4 CONCLUSÃO

O campo de estudos sobre mudanças climáticas em contextos urbanos que integram sensoriamento remoto, dados climáticos e SIG encontra-se em fase de franca expansão e consolidação. Observou-se um crescimento expressivo da produção científica entre 1995 e 2023, com aceleração marcante a partir de 2010 e especialmente após 2018, em sintonia com a democratização de acervos de sensoriamento remoto (como Landsat e Sentinel) e o avanço de plataformas em nuvem para processamento de grandes volumes de dados. Esse movimento indica que o uso de abordagens geoespaciais se tornou central na agenda de pesquisa sobre clima urbano e emergências climáticas em cidades.

Do ponto de vista espacial e institucional, os resultados evidenciam forte concentração da produção em poucos países, notadamente China e Estados Unidos, tanto em volume de publicações quanto em impacto de citações, seguidos por um bloco intermediário de países e pela emergência de contextos como Brasil e Espanha. A mesma concentração se reproduz no nível de autores e instituições, com destaque para pesquisadores e universidades chinesas, o que sugere a existência de polos



hegemônicos de produção e difusão do conhecimento na interface entre clima urbano, sensoriamento remoto e SIG. Ao mesmo tempo, a participação ainda reduzida de diversos países, sobretudo do Sul Global, revela uma assimetria geográfica importante, com implicações para a representação de diferentes realidades urbanas e vulnerabilidades climáticas.

A análise temática dos artigos mais citados mostra que o núcleo da pesquisa está fortemente ancorado em processos térmicos urbanos, com predomínio de estudos sobre ilhas de calor urbanas, seguidos por temas de saúde e clima, risco de inundação, uso e cobertura da terra e expansão urbana. Em paralelo, emergem tópicos associados a carbono urbano, qualidade do ar, serviços ecossistêmicos e infraestrutura azul-verde, ainda que de forma mais dispersa. Essa configuração revela um campo moderadamente concentrado em calor urbano e clima térmico, mas que vem se diversificando para abarcar dimensões hidrológicas, ecológicas e de saúde pública, reforçando o caráter multidimensional dos impactos da crise climática nas cidades.

No plano metodológico, os resultados evidenciam a existência de um “pacote” amplamente consolidado, estruturado na combinação de SIG, sensoriamento remoto, análise espacial de uso e cobertura da terra (LULC), análise termal de imagens de satélite, índices espectrais e séries temporais, frequentemente articulados a modelos digitais de elevação, dados meteorológicos e variáveis socioeconômicas. Ao lado desse núcleo, identificou-se uma cauda longa de métodos de nicho, tais como modelagens estatísticas específicas, protocolos de calibração e validação, índices próprios de vulnerabilidade e desempenho, entre outros; que, em geral, aparecem uma única vez. Esse padrão aponta, simultaneamente, para um grau elevado de consolidação metodológica e para forte especialização temática, muitas vezes ligada a contextos urbanos, riscos e objetivos analíticos particulares.

Por fim, a revisão contribui ao sistematizar esse núcleo metodológico dominante, explicitar lacunas e fragilidades, como a dispersão de estudos sobre carbono urbano, qualidade do ar e riscos hidrológicos, a sub-representação de determinados contextos geográficos e a raridade de procedimentos robustos de tratamento de dados faltantes em séries temporais; e reforçar a necessidade de integrar, de maneira mais consistente, dados ambientais, socioeconômicos e de saúde. Tais avanços são fundamentais para subsidiar o planejamento urbano, o desenho de políticas públicas e estratégias de adaptação e mitigação orientadas à redução de vulnerabilidades e desigualdades em face da emergência climática.



AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio do Programa Nacional de Cooperação Acadêmica da FAPESB - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia/Brasil e ao programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais da Universidade Estadual de Feira de Santana. Ao grupo de Pesquisa Modelagem e análise de dados: Teorias e Aplicações da Universidade Estadual de Feira de Santana.



REFERÊNCIAS

- ALEXANDER, CICI. Influence of the proportion, height and proximity of vegetation and buildings on urban land surface temperature. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**. V. 5, p. 102265. Doi: 10.1016/j.jag.2020.102265. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2020.102265>, 2021.
- ARIA, M.; CUCCURULLO, C. Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, 11(4), p. 959–975. Doi: doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007, Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>, 2017.
- CHEN, R., & YOU, X. YI. (2019). Redução da ilha de calor urbana e estufa associada Emissão de gases. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 25 (4), 689–711. <https://doi.org/10.1007/s11027-019-09886-1>.
- DANG, T.N., VAN, D.Q., KUSAKA, H., SEPOSO, X.T., & HONDA, Y. (2018). Espaço verde e mortes atribuíveis ao efeito da ilha de calor urbana na cidade de ho chi minh. **American Journal of Public Health**, 108(S2), S137 – S143. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2017.304123>.
- ELSEVIER. *Scopus: content coverage guide*. Elsevier, 2025. Disponível em: <https://www.elsevier.com/solutions/scopus>. Acesso em: 9 jun. 2025.
- GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. V. 202, P. 18–27, **Remote Sensing of Environment**. Doi: 10.1016/j.rse.2017.06.031, Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>, 2017.
- IPCC, 2023: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001.
- MÄKIRANTA, A.; HILTUNEN, E. Utilizing Asphalt Heat Energy in Finnish Climate Conditions. **Energies**, [S. l.], v. 12, n. 11, p. 2101, jun. 2019. ISSN 1996-1073. DOI: 10.3390/en12112101. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/en12112101>.
- R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria, 2020.
- ROGERS, J. S.; MANETA, M. P.; SAIN, S. R.; MADAUS, L. E.; HACKER, J. P. The role of climate and population change in global flood exposure and vulnerability. **Nature Communications**, 16(1), 1287, (2025). <https://doi.org/10.1038/s41467-025-56654-8>.
- SANTOS, M. R. S; VITORINO, M. I.; PIMENTEL, M. A. S. Vulnerabilidade e mudanças climáticas: análise socioambiental em uma mesorregião da Amazônia. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 12, n. 5. Doi:10.4136/ambi-agua, 2017.
- SETTE D. M., RIBEIRO, H. Interações entre o clima, o tempo e a saúde humana. **InterfacEHS-saúde, meio ambiente e sustentabilidade**, v. 6, n. 2, p. 37-51, 2011.
- SHOJANOORI, R.; SHAFRI, H. Revisão sobre o uso de sensoriamento remoto para floresta urbana monitoramento. **Arboricultura e silvicultura urbana**, 42, 400–417. <http://10.48044/jauf>. 2016.034, 2016.



SIRMACEK, B.; VINUESA, R. Remote sensing and AI for building climate adaptation applications. **Results in Engineering**, v. 15, p. 100524. DOI: 10.1016/j.rineng.2022.100524, 2022.

SZABÓ, S.; LÁSZLÓ, E.; KOVÁCS, Z.; PÜSPÖKI, Z.; KERTÉSZ, Á.; SINGH, S. K.; BALÁZS, B. NDVI dynamics as reflected in climatic variables: spatial and temporal trends – a case study of Hungary. **Giscience and Remote Sensing**, 57: Article In Press pp. 1-21, 2019.

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **Scientometrics**, 84(2), p. 523–538. Doi: doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>, 2010.

ZHU, Z.; WULDER, M. A.; ROY, D. P.; WOODCOCK, C. E.; HANSEN, M. C.; RADELOFF, V. C.; HEALEY, S. P.; SCHAAF, C.; HOSTERT, P.; STROBL, P.; PEKEL, JEAN-FRANCOIS; LYMBURNER, L.; PAHLEVAN, N.; SCAMBOS, T. A. Benefits of the free and open Landsat data policy. **Remote Sensing of Environment**, v. 224, p. 382–385. Doi: 10.1016/j.rse.2019.02.016, Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2019.02.016>, 2019.



APÊNDICE I

Apêndice 1. Títulos, ano de publicação e total de citações dos artigos mais relevantes agrupados por décadas.

ID do Artigo	Década	Título	Ano de publicação	Total de citações
1	1995 a 1999	A comparison of four algorithms for change detection in an urban environment	1998	520
2	2000 a 2009	Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes	2006	1435
3	2000 a 2009	Temperature and mortality in 11 cities of the eastern United States	2002	1107
4	2000 a 2009	Mapping community determinants of heat vulnerability	2009	573
5	2000 a 2009	High temperature and hospitalizations for cardiovascular and respiratory causes in 12 european cities	2009	487
6	2000 a 2009	Regional relationships between surface temperature, vegetation, and human settlement in a rapidly urbanizing ecosystem	2007	357
7	2000 a 2009	Mitigation of the heat island effect in urban New Jersey	2005	354
8	2000 a 2009	The time course of weather-related deaths	2001	352
9	2010 a 2019	Air pollution in China: Status and spatiotemporal variations	2017	609
10	2010 a 2019	High-resolution multi-temporal mapping of global urban land using Landsat images based on the Google Earth Engine Platform	2018	551
11	2010 a 2019	Effects of green space spatial pattern on land surface temperature: Implications for sustainable urban planning and climate change adaptation	2014	427
12	2010 a 2019	Monitoring urban growth and land use change detection with GIS and remote sensing techniques in Daqahlia governorate Egypt	2015	418
13	2010 a 2019	Changing urban forms and carbon dioxide emissions in China: A case study of 30 provincial capital cities	2015	360
14	2010 a 2019	The impact of heat islands on mortality in Paris during the August 2003 heat wave	2012	357
15	2010 a 2019	Dynamics of land use and land cover change (LULCC) using geospatial techniques: a case study of Islamabad Pakistan	2016	341
16	2010 a 2019	Assessing climate change impacts, sea level rise and storm surge risk in port cities: A case study on Copenhagen	2011	341



17	2010 a 20019	Analysis of land use/land cover change, population shift, and their effects on spatiotemporal patterns of urban heat islands in metropolitan Shanghai, China	2013	333
18	2010 a 20019	China's urban expansion from 1990 to 2010 determined with satellite remote sensing	2012	323
19	2010 a 20019	Spatial prediction of flood susceptibility using random-forest and boosted-tree models in Seoul metropolitan city, Korea	2017	314
20	2010 a 20019	CFD simulation and validation of urban microclimate: A case study for Bergpolder Zuid, Rotterdam	2015	311
21	2010 a 20019	Including the urban heat island in spatial heat health risk assessment strategies: A case study for Birmingham, UK	2011	303
22	2010 a 20019	Optimizing green space locations to reduce daytime and nighttime urban heat island effects in Phoenix, Arizona	2017	293
23	2010 a 20019	Observed surface warming induced by urbanization in east China	2011	290
24	2010 a 20019	Remotely sensed assessment of urbanization effects on vegetation phenology in China's 32 major cities	2016	270
25	2010 a 20019	A new method to quantify surface urban heat island intensity	2018	258
26	2010 a 20019	A global map of urban extent from nightlights	2015	258
27	2010 a 20019	Temporal trends of surface urban heat islands and associated determinants in major Chinese cities	2017	255
28	2010 a 20019	Statistical Analysis for Change Detection and Trend Assessment in Climatological Parameters	2015	253
29	2010 a 20019	Carbon storage and sequestration by urban forests in Shenyang, China	2012	238
30	2010 a 20019	Sustainability of urban coastal area management: A case study on Cide	2016	235
31	2010 a 20019	The Impacts of Rapid Urbanization on the Thermal Environment: A Remote Sensing Study of Guangzhou, South China	2012	235
32	2010 a 20019	Dynamics of land use/cover changes and the analysis of landscape fragmentation in Dhaka Metropolitan, Bangladesh	2012	225
33	2010 a 20019	Extraction of urban water bodies from high-resolution remote-sensing imagery using deep learning	2018	219
34	2010 a 20019	An urban heat island study in Nanchang City, China based on land surface temperature and social-ecological variables	2017	204



35	2010 a 20019	Impact of urbanization and land-use/land-cover change on diurnal temperature range: A case study of tropical urban airshed of India using remote sensing data	2015	204
36	2010 a 20019	Variation in the urban vegetation, surface temperature, air temperature nexus	2017	202
37	2010 a 20019	Monitoring patterns of urban heat islands of the fast-growing Shanghai metropolis, China: Using time-series of Landsat TM/ETM+ data	2012	200
38	2010 a 20019	How urban characteristics affect vulnerability to heat and cold: A multi-country analysis	2019	194
39	2010 a 20019	Environmental degradation in the urban areas of China: Evidence from multi-source remote sensing data	2017	190
40	2010 a 20019	Impact of synoptic weather patterns and inter-decadal climate variability on air quality in the North China Plain during 1980-2013	2016	183
41	2010 a 20019	A Global Geospatial Ecosystem Services Estimate of Urban Agriculture	2018	179
42	2010 a 20019	Temperature-related mortality in 17 large Chinese cities: How heat and cold affect mortality in China	2014	179
43	2010 a 20019	Urban vegetation classification: Benefits of multitemporal RapidEye satellite data	2013	178
44	2010 a 20019	Determining the bioclimatic comfort in Kastamonu City	2015	177
45	2010 a 20019	Land use change modelling using a Markov model and remote sensing	2014	176
46	2010 a 20019	Managing climate change in cities: Will climate action plans work?	2012	175
47	2010 a 20019	Using watered landscapes to manipulate urban heat island effects: How much water will it take to cool phoenix?	2010	174
48	2010 a 20019	Comparison of the impacts of urban development and climate change on exposing European cities to pluvial flooding	2017	171
49	2010 a 20019	Acute impacts of extreme temperature exposure on emergency room admissions related to mental and behavior disorders in Toronto, Canada	2014	171
50	2010 a 20019	A heat vulnerability index: Spatial patterns of exposure, sensitivity and adaptive capacity for Santiago de Chile	2016	170
51	2010 a 20019	Land use patterns, temperature distribution, and potential heat stress risk - The case study Berlin, Germany	2014	163
52	2010 a 20019	Detecting change in urban areas at continental scales with MODIS data	2015	159
53	2010 a 20019	Mapping heatwave health risk at the community level for public health action	2012	159



54	2010 a 20019	Validation of modeled carbon-dioxide emissions from an urban neighborhood with direct eddy-covariance measurements	2011	159
55	2010 a 20019	Inter-/intra-zonal seasonal variability of the surface urban heat island based on local climate zones in three central European cities	2019	158
56	2010 a 20019	The role of vegetation in mitigating urban land surface temperatures: A case study of Munich, Germany during the warm season	2015	151
57	2020 a 20023	Heat health risk assessment in Philippine cities using remotely sensed data and social-ecological indicators	2020	253
58	2020 a 20023	Urban Heat Management and the Legacy of Redlining	2020	206
59	2020 a 20023	Urban heat islands and their effects on thermal comfort in the US: New York and New Jersey	2023	180
60	2020 a 20023	Normalised difference spectral indices and urban land cover as indicators of land surface temperature (LST)	2020	177
61	2020 a 20023	Night and day: The influence and relative importance of urban characteristics on remotely sensed land surface temperature	2020	176
62	2020 a 20023	Planning green infrastructure to mitigate urban surface water flooding risk – A methodology to identify priority areas applied in the city of Ghent	2020	173
63	2020 a 20023	Hyperlocal mapping of urban air temperature using remote sensing and crowdsourced weather data	2020	168
64	2020 a 20023	Depth prediction of urban flood under different rainfall return periods based on deep learning and data warehouse	2020	168
65	2020 a 20023	Exploring the spatial heterogeneity of urban heat island effect and its relationship to block morphology with the geographically weighted regression model	2022	167
66	2020 a 20023	Linking green infrastructure to urban heat and human health risk mitigation in Oslo, Norway	2020	155
67	2020 a 20023	Assessing the impacts of vegetation cover loss on surface temperature, urban heat island and carbon emission in Penang city, Malaysia	2022	154
68	2020 a 20023	Inundation risk assessment based on G-DEMATEL-AHP and its application to Zhengzhou flooding disaster	2022	150
69	2020 a 20023	Climate comfort depending on different altitudes and land use in the urban areas in Kahramanmaraş City	2020	144
70	2020 a 20023	A multi-layer urban canopy meteorological model with trees (BEP-Tree): Street tree impacts on pedestrian-level climate	2020	144



71	2020 a 2023	Spatially-optimized urban greening for reduction of population exposure to land surface temperature extremes	2023	138
72	2020 a 2023	The effects of night-time warming on mortality burden under future climate change scenarios: a modelling study	2022	135
73	2020 a 2023	Exploring the impacts of urban expansion on green spaces availability and delivery of ecosystem services in the Accra metropolis	2021	122
74	2020 a 2023	Time Series Analysis and Forecasting of Air Pollution Particulate Matter (PM _{2.5}): An SARIMA and Factor Analysis Approach	2021	119
75	2020 a 2023	Detecting ecological spatial-temporal changes by Remote Sensing Ecological Index with local adaptability	2021	118
76	2020 a 2023	Land use and land cover change modeling and future potential landscape risk assessment using Markov-CA model and analytical hierarchy process	2020	117
77	2020 a 2023	AHP and TOPSIS based flood risk assessment- a case study of the Navsari City, Gujarat, India	2022	112
78	2020 a 2023	Impact of vegetation cover loss on surface temperature and carbon emission in a fastest-growing city, Cumilla, Bangladesh	2022	112
79	2020 a 2023	Spatio-temporal evolution and trend prediction of urban carbon emission performance in China based on super-efficiency SBM model	2020	111
80	2020 a 2023	Promoting sustainable carbon sequestration of plants in urban greenspace by planting design: A case study in parks of Beijing	2021	110
81	2020 a 2023	A mixed approach for urban flood prediction using Machine Learning and GIS	2021	108
82	2020 a 2023	Quantifying the contribution of diminishing green spaces and urban sprawl to urban heat island effect in a rapidly urbanizing metropolitan city of Pakistan	2022	99
83	2020 a 2023	Influence of the proportion, height and proximity of vegetation and buildings on urban land surface temperature	2021	93
84	2020 a 2023	A methodology for comparing the surface urban heat Island in selected urban agglomerations around the world from Sentinel-3 SLSTR data	2020	85
85	2020 a 2023	A CNN-LSTM Model for Soil Organic Carbon Content Prediction with Long Time Series of MODIS-Based Phenological Variables	2022	83



86	2020 a 2023	Divergent urbanization-induced impacts on global surface urban heat island trends since 1980s	2023	82
87	2020 a 2023	Generating annual high resolution land cover products for 28 metropolises in China based on a deep super-resolution mapping network using Landsat imagery	2022	82
88	2020 a 2023	How can urban parks be planned to maximize cooling effect in hot extremes? Linking maximum and accumulative perspectives	2022	81
89	2020 a 2023	Evaluation of an urban drainage system and its resilience using remote sensing and GIS	2021	80
90	2020 a 2023	The impacts of the expansion of urban impervious surfaces on urban heat islands in a coastal city in China	2020	79
91	2020 a 2023	Effects of landscape composition and patterns on land surface temperature: Urban heat island case study for Nigde, Turkey	2020	78
92	2020 a 2023	Assessing and optimizing the hydrological performance of Grey-Green infrastructure systems in response to climate change and non-stationary time series	2023	76
93	2020 a 2023	Carbon emission prediction model of prefecture-level administrative region: A land-use-based case study of Xi'an city, China	2023	75
94	2020 a 2023	Spatio-temporal variation of seasonal heat islands mapping of Pakistan during 2000–2019, using day-time and night-time land surface temperatures MODIS and meteorological stations data	2022	74
95	2020 a 2023	Exploring the effect of urban sprawl on carbon dioxide emissions: An urban sprawl model analysis from remotely sensed nighttime light data	2022	73
96	2020 a 2023	Evaluation of the Climate Change Impact on Urban Heat Island Based on Land Surface Temperature and Geospatial Indicators	2021	73
97	2020 a 2023	Relationship of surface urban heat island with air temperature and precipitation in global large cities	2020	72
98	2020 a 2023	Impacts of vegetation and topography on land surface temperature variability over the semi-arid mountain cities of Saudi Arabia	2020	72
99	2020 a 2023	Urban heat island intensity and its mitigation strategies in the fast-growing urban area	2020	72
100	2020 a 2023	Spatio-temporal changes in urban green space in 107 Chinese cities (1990–2019): The role of economic drivers and policy	2021	71
101	2020 a 2023	Beyond intensity of urban heat island effect: A continental scale analysis on land surface temperature in major Chinese cities	2021	71



102	2020 a 2023	Using Remote Sensing to Quantify the Joint Effects of Climate and Land Use/Land Cover Changes on the Caatinga Biome of Northeast Brazilian	2022	70
103	2020 a 2023	Mapping the urban forest in detail: From LiDAR point clouds to 3D tree models	2022	69
104	2020 a 2023	Wind environment assessment and planning of urban natural ventilation corridors using GIS: Shenzhen as a case study	2022	69
105	2020 a 2023	Spatiotemporal evolution of urban carbon emission performance in China and prediction of future trends	2020	68
106	2020 a 2023	Impact of Urbanization on Urban Heat Island Intensity in Major Districts of Bangladesh Using Remote Sensing and Geo-Spatial Tools	2022	66
107	2020 a 2023	Contrasting patterns of temperature related mortality and hospitalization by cardiovascular and respiratory diseases in 52 Spanish cities	2021	66
108	2020 a 2023	Urban green space optimization based on a climate health risk appraisal – A case study of Beijing city, China	2021	65
109	2020 a 2023	How do urban spatial patterns influence the river cooling effect? A case study of the Huangpu Riverfront in Shanghai, China	2021	65
110	2020 a 2023	Spatial distribution of land surface temperatures in Kuwait: Urban heat and cool Islands	2020	64
111	2020 a 2023	Urban green space and albedo impacts on surface temperature across seven United States cities	2023	63
112	2020 a 2023	Urban heat health risk assessment in Singapore to support resilient urban design — By integrating urban heat and the distribution of the elderly population	2023	63
113	2020 a 2023	Local climate zones in five southern European cities: An improved GIS-based classification method based on Copernicus data	2020	62
114	2020 a 2023	A geographic information systems and remote sensing–based approach to assess urban micro-climate change and its impact on human health in Bartın, Turkey	2023	61
115	2020 a 2023	Disaggregating climatic and anthropogenic influences on vegetation changes in Beijing-Tianjin-Hebei region of China	2021	61
116	2020 a 2023	Extreme heat and acute air pollution episodes: A need for joint public health warnings?	2021	61
117	2020 a 2023	Restoration and renewal of ecological spatial network in mining cities for the purpose of enhancing carbon Sinks: The case of Xuzhou, China	2022	60



118	2020 a 2023	A comparative analysis of retrieval algorithms of land surface temperature from landsat-8 data: A case study of Shanghai, China	2021	60
119	2020 a 2023	Carbon sinks/sources' spatiotemporal evolution in China and its response to built-up land expansion	2022	58
120	2020 a 2023	Blue-Green Infrastructure (BGI) network in urban areas for sustainable storm water management: A geospatial approach	2022	57
121	2020 a 2023	Satellite-based evidence highlights a considerable increase of urban tree cooling benefits from 2000 to 2015	2023	56
122	2020 a 2023	Modeling urban evapotranspiration using remote sensing, flux footprints, and artificial intelligence	2021	56
123	2020 a 2023	Climate change impact assessment on pluvial flooding using a distribution-based bias correction of regional climate model simulations	2021	56
124	2020 a 2023	A preliminary exploration of the cooling effect of tree shade in urban landscapes	2020	56
125	2020 a 2023	Land cover affects microclimate and temperature suitability for arbovirus transmission in an urban landscape	2020	56

Nota O número de citações apresentado nesta tabela corresponde ao contabilizado em 11 de setembro de 2025.

Fonte: Base de dados Scopus (2025). Dados processados pelos autores.

