www.ser.ufpr.br/geografar
ISSN: 1981-089X

Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Geografia - UFPR

UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE INDICADORES DE SAÚDE E MUDANÇAS CLIMÁTICAS

A LITERATURE REVIEW ON HEALTH INDICATORS AND CLIMATE CHANGE

(Recebido em 26-11-2025; Aceito em: 26-06-2026)

Bruno Henrique Costa Toledo
Doutor em Geografia pelo Programa de Pós-graduação da Universidade Estadual do Centro-Oeste
brunhct@gmail.com

Tatiellen Cristina Prudentes
Doutora em Geografia pelo Programa de Pós-graduação da Universidade Estadual do Centro-Oeste
tatiellencristina@hotmail.com

Valéria Ghisloti Iared
Doutora em Ciências pela Universidade Federal de São Carlos
Professora Adjunta do Departamento de Biodiversidade da Universidade Federal do Paraná
valiared@yahoo.com.br

Resumo

Este artigo analisa as interconexões entre as mudanças climáticas e a saúde pública, com ênfase na identificação de indicadores utilizados na literatura científica internacional. A pesquisa baseia-se em uma revisão sistemática da literatura realizada na base Web of Science, abrangendo o período de 1996 a 2024, e fundamenta-se em análises bibliométricas e temáticas. Foram analisados artigos que abordam a relação entre mudanças climáticas e saúde com o uso de indicadores. O presente estudo tem por objetivo sistematizar indicadores baseados na literatura, visando reconhecer os elementos centrais para a compreensão da interface entre mudanças climáticas e saúde humana, conforme delineado pelos estudos subsequentes. Os resultados revelam a predominância de estudos voltados a países de alta renda e climas temperados, com destaque para indicadores relacionados a ondas de calor, mortalidade, doenças transmitidas por vetores e vulnerabilidade urbana. Evidenciam-se limitações significativas em contextos tropicais e de baixa renda, o que limita a generalização das evidências globais. A análise aponta a necessidade de indicadores sensíveis às especificidades territoriais e comparáveis entre diferentes contextos, capazes de subsidiar políticas públicas de mitigação e adaptação. No contexto brasileiro, a consolidação desses indicadores representa um avanço estratégico para o fortalecimento do Sistema Único de Saúde (SUS) e para a formulação de políticas de adaptação e mitigação mais eficazes e socialmente justas. Conclui-se que o enfrentamento dos impactos das mudanças climáticas na saúde humana requer abordagens interdisciplinares e territorialmente orientadas, políticas públicas integradas e baseadas em evidências, pautadas pela justiça climática e pela promoção do direito à saúde, reforçando o papel dos indicadores como instrumentos estratégicos de gestão e planejamento no fortalecimento do SUS e das respostas à crise ambiental global.

Palavras-chave: Mudanças climáticas; Saúde pública; Indicadores; Vulnerabilidade; Justiça Climática.

Abstract

This article analyzes the interconnections between climate change and public health, with an emphasis on identifying indicators used in the international scientific literature. The research is based on a systematic literature review conducted in the Web of Science database, covering the period from 1996 to 2024, and is supported by bibliometric and thematic analyses. Articles addressing the relationship between climate change and health through the use of indicators were analyzed. The present study aims to systematize indicators derived from the literature in order to identify the central elements for understanding the interface between climate change and human health, as outlined in subsequent studies. The results reveal a predominance of studies focused on high-income countries and temperate climates, highlighting indicators related to heatwaves, mortality, vector-borne diseases, and urban vulnerability. Significant gaps are evident in tropical and low-income contexts, limiting the generalization of global evidence. The analysis emphasizes the need for robust indicators that are sensitive to territorial specificities and comparable across different contexts, capable of supporting public policies for mitigation and adaptation. In the Brazilian context, consolidating these indicators represents a strategic advancement for strengthening the Unified Health System (SUS) and for designing more effective and socially equitable adaptation and mitigation policies. It is concluded that addressing the impacts of climate change on human health requires interdisciplinary and territorially oriented approaches, integrated and evidence-based public policies, guided by climate justice and the promotion of the right to health, reinforcing the role of indicators as strategic instruments for management and planning in strengthening SUS and responses to the global environmental crisis.

Keywords: *Climate change; Public health; Indicators; Vulnerability; Climate justice.*

Introdução

As mudanças do clima causadas pelas ações antrópicas estão gerando extremos meteorológicos e climáticos em todas as regiões do mundo, levando a impactos adversos difundidos na saúde humana, na economia e na sociedade (IPCC, 2023). A crise climática, ao aprofundar questões já existentes, impõe desafios inéditos à saúde pública diante do surgimento de novos riscos e da amplificação de vulnerabilidades intrínsecas a esse novo cenário global.

No contexto latino-americano, Hartinger *et al.* (2024) destacam que a região tem enfrentado, nas últimas décadas, uma crescente incidência de eventos climáticos extremos de magnitude sem precedentes. Entre esses eventos, sobressaem-se as inundações súbitas, ondas de calor anômalas durante o inverno, secas prolongadas, bem como o aumento na frequência e intensidade de ventos fortes e tempestades severas. A convergência desses fenômenos ocasiona impactos diretos e indiretos sobre ecossistemas, população e infraestrutura, acarretando prejuízos econômicos expressivos e colocando em risco os significativos avanços sociais conquistados nos países da região ao longo dos anos.

Neste contexto, destaca-se o papel da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), instituída pela Lei nº 12.187/2009, que define diretrizes estratégicas para a integração intersetorial de ações voltadas à adaptação e mitigação dos efeitos das mudanças climáticas no Brasil. A partir da PNMC, o Plano Setorial da Saúde para Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima (PSMC – Saúde) foi desenvolvido, contemplando o monitoramento sistemático de indicadores de impacto sobre a saúde

humana. Este plano visa a formulação de diretrizes, metas e estratégias nacionais que potencializem medidas de mitigação e orientem iniciativas de adaptação adotadas pelo Sistema Único de Saúde (SUS), com vistas à preparação e resposta frente aos desafios impostos pelas alterações climáticas (Brasil, 2013).

O PSMC – Saúde (2013, p. 32) define indicadores como "parâmetros, ou valor derivado de parâmetros, que indica, fornece informações ou descreve o estado de um fenômeno, área/ambiente, com maior significado que aquele apenas relacionado diretamente ao seu valor quantitativo", evidenciando a imprescindibilidade de instrumentos qualitativos e quantitativos para um acompanhamento sensível e consistente das transformações em curso.

Diante do exposto, o presente estudo tem por objetivo sistematizar indicadores baseados na literatura, visando reconhecer os elementos centrais para a compreensão da interface entre mudanças climáticas e saúde humana, conforme delineado pelos estudos subsequentes.

Palmeiro Silva *et al.* (2024) argumentam que as mudanças climáticas representam desafios significativos para a saúde pública, exigindo uma gestão eficaz dos riscos relacionados ao clima. Destacam diversas correlações entre mudanças climáticas e indicadores de saúde, incluindo o aumento do risco de doenças transmitidas por vetores, alimentos e água, bem como resultados de saúde relacionados à temperatura, demostrando que o uso de indicadores são ferramentas cruciais para monitorar e mitigar os impactos das mudanças climáticas na área da saúde.

Os autores Van de Vuurst e Escobar (2023) apresentam uma revisão sistemática da literatura realizada entre 2015 e 2020 sobre as relações entre mudanças climáticas e doenças infecciosas. Os autores identificaram tendências e limitações significativas na pesquisa, como o predomínio de estudos sobre doenças transmitidas por vetores, especialmente aquelas que afetam humanos, e a concentração de pesquisas em países de alta renda e climas temperados, negligenciando regiões tropicais e de baixa renda. Esses dados evidenciam a insuficiente cobertura de estudos, principalmente para a área de estudo desta pesquisa.

A análise de Palmeiro Silva *et al.* (2024) sobre a importância dos indicadores na gestão dos riscos climáticos para a saúde pública se alinha com a necessidade identificada por Van de Vuurst e Escobar (2023) ao expandir o escopo das pesquisas sobre mudanças climáticas e doenças infecciosas. Ambos os estudos ressaltam a importância de uma abordagem abrangente que considere tanto a diversidade geográfica quanto a variedade de doenças afetadas pelas mudanças climáticas, destacando a necessidade de dados consistentes e indicadores precisos para orientar políticas eficazes.

Kovats e Leonardi (2023), no estudo de indicadores para o Reino Unido, destacam diversas correlações entre as mudanças climáticas e indicadores de saúde, incluindo a relação da temperatura

ao aumento do risco de mortalidade e morbidade, o risco de impactos adversos na saúde mental (associados a eventos hidrometeorológicos extremos, especialmente inundações, incluindo ansiedade, sofrimento psicossocial e transtorno de estresse pós-traumático (TEPT) o aumento da incidência de doenças transmitidas por vetores e os efeitos na segurança alimentar.

Como mencionado, a revisão sistemática de Van de Vuurst e Escobar (2023) revela limitações significativas na pesquisa, especialmente em regiões tropicais e de baixa renda, o que contrasta com o foco de Kovats e Leonardi (2023) que estudou países de alta renda como o Reino Unido. Este contraste evidencia a necessidade de uma distribuição mais equitativa dos esforços de pesquisa, para que os impactos das mudanças climáticas na saúde sejam compreendidos de maneira global e inclusiva.

Di Napoli *et al.* (2022) argumentam que os indicadores de impactos, exposições e vulnerabilidades às mudanças climáticas são ferramentas cruciais para monitorar os efeitos na saúde humana, capturando as interações complexas entre as mudanças climáticas e a saúde. O estudo destaca diversas correlações entre mudanças climáticas e indicadores de saúde, abrangendo desde os impactos das ondas de calor na mortalidade cardiovascular até as consequências de inundações e secas na saúde humana.

O estudo de Kovats e Leonardi (2023) sobre os impactos das mudanças climáticas no Reino Unido complementa as conclusões de Di Napoli *et al.* (2022), que destacam a importância dos indicadores para monitorar os efeitos na saúde humana. Ambos os estudos enfatizam a complexidade das interações entre clima e saúde, sublinhando a necessidade de ferramentas analíticas que possam capturar essas dinâmicas.

Em síntese, a literatura converge para: (i) o reconhecimento de assimetrias geográficas e temáticas que limitam a generalização de evidências; (ii) a valorização de indicadores consistentes, comparáveis e sensíveis ao território; e (iii) a urgência de integrar agendas de pesquisa e políticas públicas. Tais diretrizes, especialmente em contextos como o brasileiro, onde a vigilância em saúde ambiental precisa ser fortalecida, sublinham a importância de identificar e analisar os indicadores que estão sendo propostos e utilizados globalmente para orientar respostas efetivas na redução de vulnerabilidades.

Diante da centralidade crescente do debate sobre mudanças climáticas e saúde e das desigualdades observadas na distribuição da produção científica internacional, o objetivo do presente estudo é realizar uma revisão sistemática da literatura para identificar, sistematizar e analisar os indicadores de saúde e riscos climáticos utilizados na produção científica internacional. Tais indicadores constituem ferramentas essenciais para o mapeamento de vulnerabilidades e para a identificação de

variáveis-chave que orientam o delineamento e a efetividade das políticas públicas de mitigação e adaptação na área da saúde.

Conforme evidenciado na revisão da literatura, destaca-se a importância da identificação e do monitoramento de indicadores capazes de avaliar a relação entre mudanças climáticas e saúde. No Brasil, iniciativas como o Observatório Clima e Saúde da Fiocruz vêm desenvolvendo esse monitoramento há mais de uma década, contribuindo para o mapeamento de vulnerabilidades e para a identificação de variáveis-chave que orientam o delineamento e a efetividade das políticas públicas de mitigação e adaptação na área da saúde. Contudo, persistem desafios relacionados à ampliação, integração e territorialização desses indicadores, especialmente em contextos de maior vulnerabilidade socioambiental.

Procedimentos Metodológicos

A busca por artigos científicos foi conduzida na *Web of Science Core Collection* (WOS), adotada como fonte primária em razão de sua ampla cobertura temática, padronização de metadados, relevância na indexação de periódicos de alto impacto e oferta de funcionalidades robustas para exportação e análise bibliométrica. O recorte temporal contemplou o período de 1996 a 2024, e a seleção restringiu-se a publicações em inglês, com vistas à padronização terminológica e à comparabilidade dos descritores empregados na construção e no uso de indicadores de saúde.

A estratégia de busca foi cuidadosamente delineada para capturar a complexidade e a diversidade de estudos situados na interseção entre mudanças climáticas e saúde humana, contemplando termos amplos e específicos capazes de recuperar pesquisas relevantes e, simultaneamente, excluir revisões e meta-análises a fim de focalizar estudos originais. Utilizou-se o campo Tópico (TS), conforme a sintaxe do *Advanced Search da WOS*, com operadores booleanos e de proximidade para assegurar pertinência e precisão semântica dos resultados. A consulta final foi:

TS=((“climate change” OR “greenhouse effect” OR “global warm” OR “warming climate”) AND (impact OR vulnerability OR “environment risk” OR stress*) AND (indicator* OR index) NOT (review OR “meta-analys*” OR synthesis) AND (“human welfare” OR “public health” OR “human health” OR “population vulnerability” OR “health hazards” OR “urb* health”)).*

O refinamento da busca foi empregado para maximizar a sensibilidade e a especificidade do escopo. Adotaram-se como critérios de inclusão: artigos originais em língua inglesa; população humana; avaliação explícita da relação entre mudanças climáticas e saúde humana por meio de indicadores, índices ou métricas quantitativas (incluindo indicadores compostos). Foram excluídos: revisões (narrativas, sistemáticas ou de escopo), meta-análises, editoriais, cartas, notas, anais e resumos de

conferências, protocolos e estudos sem uso explícito de indicadores/índices; além de estudos que não abordassem saúde humana ou que não estabelecessem relação explícita com mudanças climáticas.

Os resultados foram exportados da WOS em formato *Plain Text (Full Record and Cited References)* e, em seguida, importados no software R para remoção de duplicatas. Posteriormente, procedeu-se à extração padronizada de informações, por meio de formulário estruturado, contemplando metadados (ano, periódico, país/afiliação), delineamento do estudo, unidade e resolução espacial, e tipologia do indicador empregado (exposição, sensibilidade, capacidade adaptativa; *hazard, exposure, vulnerability, risk*). A organização dos dados visou à identificação de agrupamentos analíticos e à comparabilidade entre estudos, ao passo que as sínteses foram conduzidas de forma descritiva, com categorização por tipo de impacto na saúde.

Para mapear a produção científica e evidenciar os termos-chave como insumos primários para o delineamento de indicadores específicos, realizou-se um mapeamento bibliométrico. A análise bibliométrica, entendida como a aplicação de métodos estatísticos para elucidar a estrutura de campos científicos por meio de medidas de desempenho e de relacionamento, fundamentou o procedimento metodológico adotado (Silva; Correia; Oliveira, 2022). Com o objetivo de identificar domínios temáticos e assimetrias na produção científica, empregou-se o pacote *Bibliometrix (R),* via interface *Biblioshiny.* A base para a bibliometria incluiu títulos, resumos e palavras-chave dos autores (*Author Keywords*) dos estudos selecionados. O pré-processamento textual abrangeu a normalização para letras minúsculas, remoção de *stopwords,* harmonização ortográfica e unificação de sinônimos (por exemplo, "*heat stress"/"thermal stress"; "vector-borne"/"vector borne")*. Adotou-se como limiar mínimo de ocorrência cinco aparições de termos compostos por duas palavras (bigramas), e a detecção de comunidades foi realizada por meio do algoritmo de agrupamento *Louvain,* conforme implementado no pacote, com o propósito de mapear a estrutura intelectual do campo. Esse procedimento alinha-se às diretrizes metodológicas e às boas práticas descritas por Cobo *et al.* (2011), Aria e Cuccurullo (2017) e Aria, Misuraca e Spano (2020).

Resultados e discussões

Os resultados serão apresentados em duas seções. A primeira seção aprofunda-se nos principais temas que emergem na interface crítica, baseada no levantamento da literatura, entre as mudanças climáticas e a saúde humana. A segunda seção adotará uma perspectiva intrinsecamente interdisciplinar para analisar a vulnerabilidade climática em saúde pública. Esta abordagem destaca a exposição a riscos ambientais e as complexas dimensões socioeconômicas.

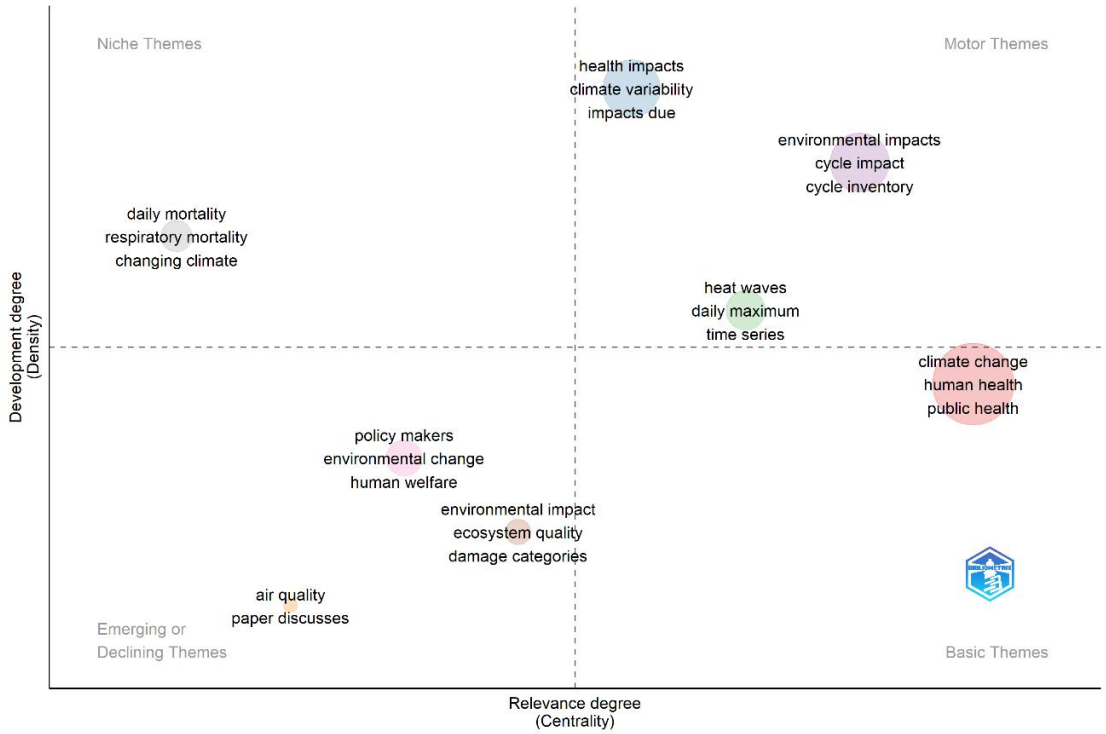
Temas Centrais entre Mudanças Climáticas e Saúde

A análise derivada da revisão sistemática na *Web of Science* abrangeu 1.338 artigos, revelando uma taxa média de crescimento anual do tema de 16%. Cada artigo apresentou, em média, 31,88 citações, o que sinaliza a centralidade e o impacto da agenda de pesquisa no campo. Foram identificadas 3.932 palavras-chave, que estruturam a categorização dos tópicos principais e emergentes, e contabilizados 6.256 autores, indicador de colaboração ampla e diversificada.

A análise inicial permite compreender o contexto geral da produção, bem como a organização dos temas por relevância e grau de desenvolvimento, conforme representado na Figura 1, que projeta um mapa de quadrantes a partir da centralidade (*relevance degree*) e da densidade (*development degree*) das palavras-chave. Nesse arranjo, os descritores foram agrupados em quatro quadrantes: "*Motor Themes", "Basic Themes", "Niche Themes" e "Emerging or Declining Themes".*

No quadrante *"Basic Themes",* identificam-se tópicos estruturantes como *"climate change", "human health" e "public health*", cuja elevada centralidade e densidade expressam a natureza transversal da relação entre mudanças do clima e impactos diretos e indiretos sobre a saúde humana. A categorização dos tópicos confirma que os estudos estão norteados por conceitos-âncora que permeiam os campos e sustentam a utilização de indicadores e índices, como instrumentos consistentes para captar interações multiescalares entre clima e saúde.

Figura 1: Mapa de temas na literatura sobre mudanças climáticas e saúde humana, com base na centralidade e densidade temática.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A Figura 1 indica um quadrante denominado "*Basic Themes*", o qual identificam-se tópicos estruturantes como *"climate change*", "*human health*" e "*public health*", cuja centralidade e densidade expressam a natureza transversal da relação entre mudanças do clima e impactos diretos e indiretos sobre a saúde humana. Em contraste, o quadrante "*Niche Themes*" reúne tópicos de alta densidade e menor centralidade, tais como "*respiratory mortality*", "*daily mortality*" e "*changing climate*". Esses termos denotam especializações consolidadas, com forte desenvolvimento metodológico, porém com integração parcial ao corpo mais amplo do campo. O padrão sugere a existência de clusters temáticos focados em mortalidade e desfechos respiratórios, com potencial para expansão geográfica e contextual, notadamente em regiões tropicais e de baixa renda, onde ainda se observam deficiências de cobertura.

O quadrante "*Emerging or Declining Themes*" apresenta baixa centralidade e densidade, com termos como "*air quality*", "*environmental change*", "*policy makers*", "*human welfare*", "*environmental impact*", "*ecosystem quality*" e "*damage categories*". A presença de vocábulos genéricos ou meta-discursivos (por exemplo, "*paper discusses*") sugere tópicos em fase de emergência, ainda em busca de consolidação conceitual, ou, alternativamente, em declínio de atenção relativa. Trata-se de um espaço promissor para o avanço de interfaces entre políticas públicas, bem-estar humano e qualidade ambiental, potencialmente decisivas para o desenho de indicadores de governança e de avaliação de impactos.

Por sua vez, o quadrante "*Motor Themes*" concentra descritores de alta centralidade e elevada densidade, como "*health impacts*", "*climate variability*", "*environmental impacts*" e "*heat waves*", além de termos técnicos associados a séries temporais e medidas térmicas (por exemplo, "*daily maximum*", "*time series*"). Esses tópicos constituem pilares conceituais e metodológicos do campo, expressando áreas com amadurecimento conceitual sobre os temas, nas quais se destacam os efeitos diretos da variabilidade e do aquecimento sobre desfechos de saúde, bem como a operacionalização de indicadores climáticos.

A leitura conjunta dos quatro quadrantes reforça que o campo se estrutura sobre bases conceituais sólidas (*Basic e Motor Themes*), ao mesmo tempo em que abre frentes de especialização (*Niche Themes*) e de desenvolvimento incipiente com forte potencial avanço no conhecimeto (*Emerging or Declining Themes*). Tal configuração fornece elementos para a sistematização de indicadores, com vistas a capturar dimensões de exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa, bem como para qualificar análises de risco e vulnerabilidade em saúde pública.

O reconhecimento dos campos "*heat waves*", "*health impacts*" e "*climate variability*" como temas relevantes (alta densidade e centralidade) com a ênfase em desfechos sensíveis à temperatura, mortalidade e morbidade, saúde mental associada a inundações, doenças transmitidas por vetores e

segurança alimentar, tal como sublinhado em estudos recentes sobre indicadores climáticos. O predomínio de temas relacionados a doenças vetoriais e desfechos térmicos dialoga com a constatação de tendências e desigualdades geográficas, notadamente a concentração de pesquisas em países de alta renda e climas temperados e a insuficiente cobertura de regiões tropicais e de baixa renda. Esse desbalanceamento reforça a necessidade de ampliar abordagens contextualizadas para a América Latina, onde a intensificação de extremos meteorológicos e climáticos tem imposto novos riscos e exacerbado vulnerabilidades preexistentes, com impactos diretos e indiretos sobre ecossistemas, populações e infraestruturas.

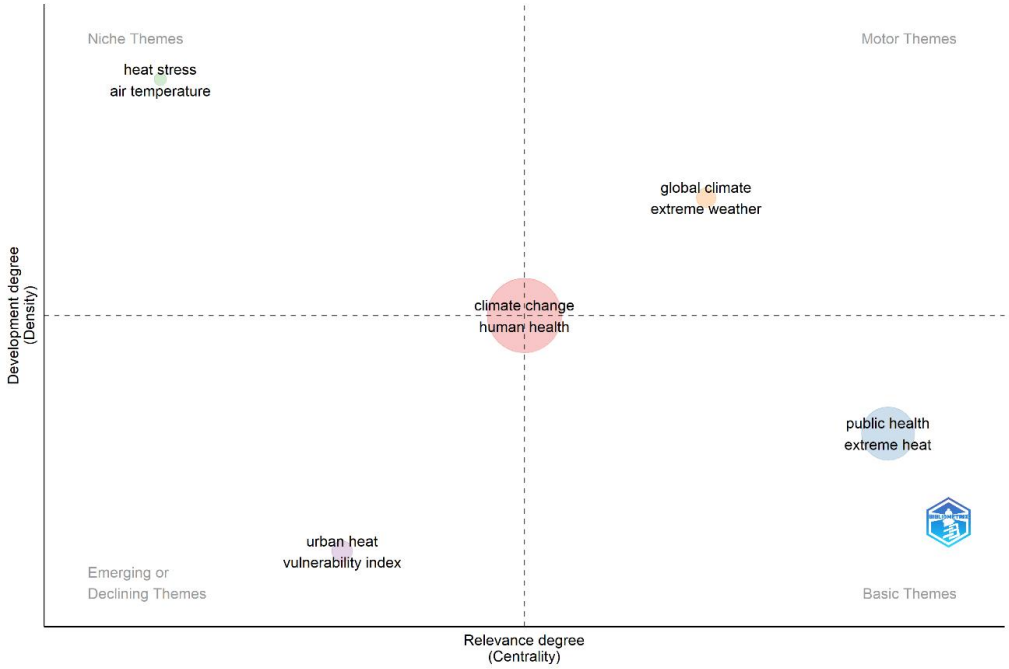
Nesse sentido, a articulação entre os resultados da análise temática e as diretrizes de políticas públicas se mostra particularmente oportuna para o contexto brasileiro. A PNMC e o PSMC -Saúde destacam a importância do monitoramento sistemático por indicadores para orientar estratégias de mitigação e adaptação no âmbito do SUS. A emergência de descritores como "*policy makers*" e "*human welfare*" no quadrante de temas emergentes/declinantes, encontrado nos estudos, sugere uma agenda em processo de consolidação, na qual indicadores de governança, equidade e bem-estar podem desempenhar papel estratégico para qualificar respostas sistêmicas, reduzir vulnerabilidades socioespaciais e orientar intervenções setoriais e intersetoriais.

A análise dos dados classificados como termos relacionados a indicadores (Figura 2) evidencia a complementaridade e a interdependência entre mudanças climáticas e saúde, reiterando o papel central dos indicadores enquanto objetos estruturantes dos estudos, além de constituírem instrumentos operacionais para monitoramento e avaliação de risco dos impactos a saúde. Observa-se a consolidação de um núcleo temático ancorado em métricas de exposição e impacto como: estresse térmico (*heat stress*), temperatura do ar (*air temperature*), ondas de calor e morbimortalidade associada, que confere coerência conceitual ao campo. Em paralelo, emergem frentes de especialização metodológica que sofistica(m) a mensuração de riscos e a modelagem de interações múltiplas (clima–ambiente–população), ainda que, em alguns casos, mantenham menor integração às discussões principais sobre a interface clima–saúde.

Essa perspectiva converge com o conceito de Saúde Única (*One Health*), que compreende a saúde humana, animal e ambiental como dimensões interdependentes e indissociáveis. No contexto das mudanças climáticas, essa abordagem torna-se particularmente relevante ao evidenciar que alterações ambientais, eventos climáticos extremos e degradação dos ecossistemas influenciam diretamente a dinâmica de doenças, a segurança alimentar, a disponibilidade hídrica e as condições de vida das populações, exigindo respostas integradas, intersetoriais e territorialmente contextualizadas.

Essa configuração dialoga com o diagnóstico de organismos internacionais e literatura recente, segundo os quais as mudanças climáticas de origem antrópica intensificam extremos meteorológicos e climáticos em todas as regiões do globo, produzindo impactos adversos difusos na saúde humana, na economia e na organização social (IPCC, 2023). Nesse contexto, a utilização de indicadores consistentes, sensíveis e comparáveis torna-se condição necessária para captar evidências iniciais, quantificar danos, orientar intervenções e avaliar a efetividade das medidas de adaptação.

Figura 2: Mapa temático com foco em indicadores relacionados ao calor e à saúde.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Di Napoli *et al.* (2022) destacam a centralidade dos indicadores na detecção e no monitoramento dos efeitos do calor extremo sobre a saúde, sublinhando a importância de métricas que combinem exposição térmica, vulnerabilidade populacional e desfechos sanitários. Em convergência, Kovats e Leonardi (2023), ao examinarem os impactos das mudanças climáticas no Reino Unido, evidenciam tanto a complexidade das interações clima–saúde quanto a necessidade de ferramentas analíticas capazes de apreender dinâmicas não lineares, efeitos defasados no tempo e heterogeneidades espaciais. Em termos operacionais, isso implica aprimorar a resolução espaço-temporal dos dados, integrar bases climáticas, ambientais e epidemiológicas, e incorporar dimensões de equidade, governança e capacidade adaptativa às avaliações de risco.

O mapeamento temático (Figura 2) dos indicadores sinaliza prioridades e desafios ainda pouco explorados. Temas estruturantes, como “calor extremo” e “saúde pública”, sustentam a agenda de pesquisa e de políticas, ao passo que termos associados à ilha de calor urbana (*urban heat*) e a índices

de vulnerabilidade (*vulnerability index*) apontam campos em processo de consolidação, com elevado potencial para inovação metodológica e aplicação em contextos urbanos complexos e desiguais.

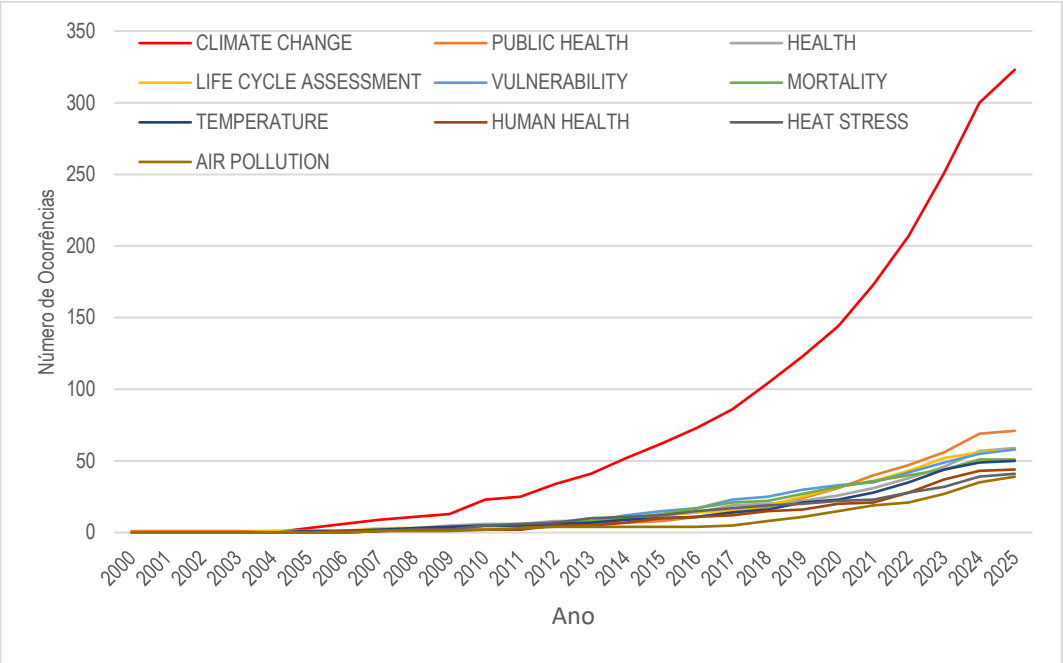
A qualificação desses indicadores, por exemplo, por meio da combinação de métricas de exposição térmica com variáveis socioeconômicas, demográficas e urbanísticas, e do emprego de modelos espaço-temporais capazes de capturar efeitos de curto e médio prazos, é utilizado como estratégica para reduzir incertezas, aprimorar o direcionamento territorial das ações e fortalecer a capacidade de resposta em saúde coletiva.

Em síntese, os resultados convergem para a necessidade de uma arquitetura de indicadores que seja conceitualmente sólida, tecnicamente rigorosa e operacionalmente útil, ancorada em dados de alta qualidade e em métodos capazes de refletir a natureza multiescalar e multicausal dos riscos climáticos. Ao articular estudos como os de Di Napoli *et al.* (2022) e Kovats e Leonardi (2023) com o quadro de referência do IPCC (2023), o campo avança no sentido de instituir sistemas de vigilância e avaliação que, para além da quantificação dos impactos imediatos, sustentem estratégias de adaptação justas, territorialmente sensíveis e orientadas à proteção das populações mais expostas

A partir da evolução temporal dos temos em estudos observa-se um adensamento e uma reorientação da produção científica, com transformação nítida a partir dos anos 2000. Esse movimento resulta tanto da pressão imposta pela maior recorrência e severidade de eventos extremos, quanto da institucionalização de índices de vulnerabilidade e da incorporação progressiva da saúde nas agendas climáticas internacionais, fatores que reconfiguram prioridades dentro do campo de pesquisa. Assim, a evolução temporal das palavras-chave, dá materialidade a esse processo de maturação conceitual e metodológica, como evidencia a Figura 3, na qual o crescimento acelerado de estudos indica a convergência entre demanda social, avanços analíticos e urgências de políticas públicas em saúde frente às mudanças climáticas.

Constatou-se um incremento expressivo dos termos a partir de 2015, com ênfase particular na intensificação de estudos mudança climática e saúde pública. A literatura recente, no entanto, não se limita a termos generalizados: amplia-se o escopo para múltiplos perigos climáticos e vias etiológicas, incluindo os impactos cardiovasculares e respiratórios de fumaça de incêndios florestais, os efeitos agudos e crônicos de inundações e secas sobre doenças transmissíveis e não transmissíveis, a expansão ou redistribuição espacial de doenças vetoriais, além de repercussões em saúde mental, segurança alimentar e qualidade da água. Essa diversificação temática tem sido acompanhada por avanços metodológicos, com a incorporação de modelos não lineares abordagens hierárquicas, estudos de caso e o uso integrado de dados meteorológicos e sensoriamento remoto, séries históricas de morbimortalidade e índices compostos de vulnerabilidade socioambiental.

Figura 3: Evolução temporal das palavras-chave sobre mudanças climáticas e saúde (2000–2025)



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Os termos ao enfatizarem a complexidade e a multicausalidade das interações clima–saúde sublinham a urgência de fortalecer a governança de dados, padronizar métricas comparáveis entre regiões e construir painéis de indicadores que sustentem decisões em saúde pública, planejamento urbano e gestão de desastres, ampliando a capacidade de prevenção e de proteção de populações mais expostas.

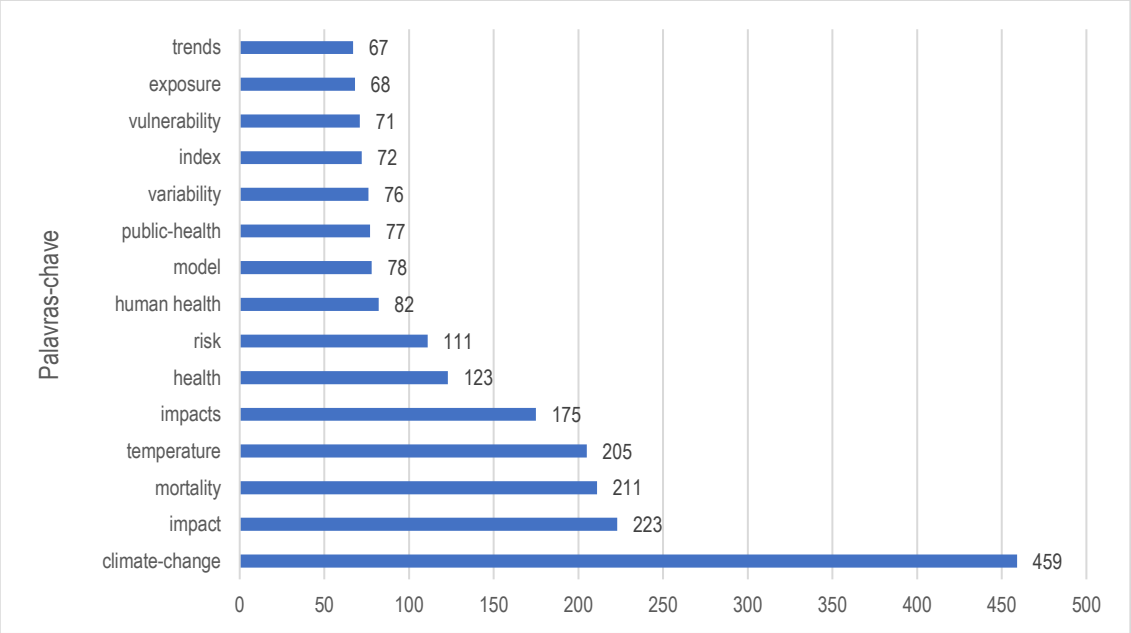
A Figura 4 apresenta os termos mais recorrentes na literatura analisada, destacando "*climate change*" como a palavra-chave de maior frequência (459 ocorrências). Termos como "*impact", "mortality" e "temperature*" também se evidenciam, sinalizando a centralidade da mensuração de indicadores capazes de quantificar e avaliar os efeitos das mudanças climáticas sobre a saúde pública. A distribuição quantitativa das palavras-chave explicita uma conexão robusta entre impactos climáticos, oscilações de temperatura e taxas de mortalidade.

A leitura temática corrobora a centralidade das interações entre mudanças climáticas e vulnerabilidade humana nos estudos recentes. A presença de termos como *"model", "temperature" e "risk*" evidencia a adoção de instrumentos analíticos quantitativos voltados tanto à estimativa de impactos quanto à projeção de cenários futuros, o que denota um avanço metodológico substantivo no campo. Esse movimento é convergente com as conclusões de Van de Vuurst e Escobar (2023), que enfatizam a necessidade de bases de dados robustas e metodologias abrangentes para captar a complexidade das dinâmicas climáticas e seus desdobramentos socioambientais

A análise bibliométrica indica um campo em franca expansão e amadurecimento, no qual a articulação entre saúde e mudanças climáticas assume posição estratégica. A predominância de *"climate*

change", "human health" e "public health" no quadrante dos *Basic Themes* sugere que tais tópicos conformam o núcleo estruturante da produção científica recente. Em paralelo, o aparecimento de termos como *"urban heat" e "vulnerability index*" no quadrante de temas emergentes ou em declínio sinaliza a abertura de novas frentes investigativas, orientadas à leitura das desigualdades territoriais e à construção de indicadores sensíveis a contextos específicos, com ênfase particular em países tropicais e em desenvolvimento.

Figura 4: Evolução quantitativa das palavras chaves



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Essa assimetria na distribuição da produção científica ecoa o alerta de Van de Vuurst e Escobar (2023) sobre o predomínio de estudos desenvolvidos em países de alta renda e clima temperado, em detrimento de regiões tropicais e de baixa renda, como a América Latina. O desequilíbrio acarreta implicações diretas para a formulação de políticas públicas aderentes às realidades locais, tornando premente o fortalecimento de agendas de pesquisa dedicadas à elaboração de indicadores de vulnerabilidade climática ajustados à diversidade socioambiental dos territórios. Nesse quadro, o Brasil, dada sua elevada heterogeneidade ecológica e suas desigualdades históricas, desponta como espaço prioritário para o desenvolvimento de métricas e diagnósticos integrados, ancorados em escalas intraurbanas e inter-regionais.

Os resultados apontam que eventos extremos de temperatura, especialmente ondas de calor, constituem o principal nexo causal entre a variabilidade climática e desfechos adversos em saúde. A intensificação da frequência de termos como "*heat stress", "temperature" e "mortality*" no corpo de palavras-chave indica a consolidação desses eventos como marcadores críticos. Embora necessário, esse foco também revela uma limitação persistente: a tendência a tratar os impactos de maneira setorial

e fragmentada, com menor incorporação de abordagens integradas que articulem clima, território, desigualdade socioespacial e capacidade dos sistemas de saúde.

Diante desse cenário, impõe-se o aprofundamento da discussão sobre vulnerabilidade climática e saúde pública como desdobramento direto da análise bibliométrica. Compreender de que modo fatores socioeconômicos, ambientais e institucionais se combinam para moldar riscos à saúde em contextos de mudança do clima requer um referencial interdisciplinar, em diálogo com as ciências ambientais, sociais, saúde coletiva e geografia. Assim, a seção subsequente tomará a vulnerabilidade não apenas como resultado da exposição a eventos extremos, mas como fenômeno estrutural e historicamente determinado, cuja apreensão demanda ferramentas analíticas capazes de captar desigualdades espaciais e sociais, interseccionando escalas de análise, modos de vida e arranjos institucionais.

Os resultados da análise bibliométrica evidenciaram que os impactos das mudanças climáticas sobre a saúde não se distribuem de maneira homogênea, mas são condicionados por fatores sociais, territoriais, ambientais e institucionais que intensificam processos de vulnerabilidade. Nesse sentido, o aprofundamento da discussão sobre vulnerabilidade climática e saúde pública constitui um desdobramento necessário da análise realizada, especialmente diante da concentração de estudos em determinados contextos geográficos e da limitada incorporação de abordagens integradas sobre desigualdade socioespacial e capacidade adaptativa.

Tal perspectiva dialoga diretamente com o referencial de risco climático do IPCC, frequentemente representado pela chamada “flor de risco”, na qual o risco resulta da interação entre perigo climático (*hazard*), exposição e vulnerabilidade. Essa abordagem permite compreender que os impactos das mudanças climáticas sobre a saúde ultrapassam a ocorrência física dos eventos extremos, sendo mediados pelas condições sociais, econômicas, ambientais e institucionais que moldam a capacidade de resposta das populações e dos territórios.

Assim, a seção subsequente tomará a vulnerabilidade não apenas como resultado da exposição a eventos extremos, mas como fenômeno estrutural e historicamente determinado, cuja apreensão demanda ferramentas analíticas capazes de captar desigualdades espaciais e sociais, interseccionando escalas de análise, modos de vida e arranjos institucionais.

Vulnerabilidade Climática e Saúde Pública: Uma Abordagem Interdisciplinar

A crescente frequência e intensidade dos eventos extremos, intrinsecamente ligados às mudanças climáticas globais, têm imposto desafios sem precedentes a diversos setores da sociedade, com repercussões particularmente significativas na saúde pública (Mendonça, 2005). A escala global do problema, reforçada pela estimativa da Organização Mundial da Saúde (OMS) de que as mudanças

climáticas causarão centenas de milhares de mortes adicionais por ano entre 2030 e 2050, sublinha a urgência de uma resposta coordenada.

Nesse cenário complexo, a investigação científica tem se voltado persistentemente para a análise das vulnerabilidades climáticas, com ênfase na elaboração e implementação de indicadores metodologicamente sólidos. Tais instrumentos são essenciais para o monitoramento, a avaliação e a mitigação dos efeitos adversos sobre as populações humanas, sobretudo aquelas inseridas em territórios historicamente marcados por profundas desigualdades socioespaciais. A eficácia desses indicadores depende não apenas de sua validade e confiabilidade, mas também de sua sensibilidade para captar nuances e de sua especificidade para orientar intervenções direcionadas e eficazes.

A vulnerabilidade, no campo da pesquisa ambiental e social, constitui um construto conceitual multidimensional. Ela exprime a suscetibilidade de indivíduos, grupos ou sistemas aos impactos negativos advindos de riscos ambientais, sociais e econômicos (Almeida, 2011; Cutter, 2011). Conforme Almeida (2011: 89), “a vulnerabilidade tornou-se um conceito essencial na abordagem dos riscos e perigos, e central para o desenvolvimento de estratégias de redução e mitigação das consequências dos desastres naturais, nas diversas escalas de análise (local, regional, nacional, global)”.

No contexto das mudanças climáticas, essa condição é moldada por uma teia de fatores estruturais, como a pobreza persistente, a baixa escolaridade, a inadequação habitacional (especialmente em assentamentos precários e informais localizados em áreas de risco como encostas e várzeas), a insegurança alimentar e o acesso desigual a serviços essenciais (saúde, saneamento básico, transporte público). Essas dimensões interligadas, muitas vezes resultantes de processos históricos de exclusão e injustiça ambiental, conferem a determinados segmentos populacionais uma maior exposição aos eventos extremos e, concomitantemente, uma capacidade reduzida de adaptação frente a eles.

Cutter (2011) propõe que a vulnerabilidade seja compreendida como o potencial de perdas decorrentes da interação entre a exposição a riscos, a sensibilidade de um sistema ou população a esses riscos e sua capacidade adaptativa. Essa perspectiva integra três facetas cruciais: a exposição (a presença de pessoas, infraestruturas e bens em áreas sujeitas a ameaças ambientais, como zonas costeiras baixas ou bacias hidrográficas propensas a inundações), a sensibilidade (o grau em que uma população ou sistema pode ser afetado por um evento climático, por exemplo, idosos e crianças são mais sensíveis a ondas de calor) e a capacidade adaptativa (as condições sociais, econômicas, institucionais e físicas que determinam a aptidão para absorver, reagir e recuperar-se dos impactos, como acesso a sistemas de alerta precoce, infraestrutura de saúde resiliente ou redes de apoio social). A vulnerabilidade, assim, configura-se não como um atributo estático, mas como um processo dinâmico e relacional, intrinsecamente influenciado pelas assimetrias socioespaciais e pela distribuição iníqua de

recursos e oportunidades, que se manifesta de forma diferente em diferentes contextos geográficos e sociais.

O risco, por sua vez, é uma categoria analítica associada à probabilidade de ocorrência de eventos adversos e aos danos potenciais que eles podem causar (Almeida, 2011). Ao longo da história, o desenvolvimento humano e as transformações sociais e tecnológicas ampliaram a exposição a diferentes tipos de riscos. No cenário contemporâneo, essa exposição se intensifica frente à crise climática, exigindo uma abordagem analítica capaz de compreender a complexidade das ameaças e suas implicações para a saúde pública (Almeida, 2011).

Na literatura científica, o conceito de risco é amplamente debatido por sua aplicabilidade em diferentes disciplinas. A emergência de expressões como “áreas de risco” e “vulnerabilidade socioambiental” no discurso acadêmico e na mídia reflete uma crescente preocupação com os efeitos desiguais das ameaças ambientais. No entanto, ainda persistem desafios teóricos e metodológicos para medir e interpretar adequadamente esses riscos, especialmente quando relacionados a desigualdades históricas e estruturais.

A complexidade envolvida na análise do risco e da vulnerabilidade exige uma abordagem interdisciplinar, que integre saberes das ciências sociais, ambientais e da saúde (Almeida, 2011). Modelos quantitativos e qualitativos devem ser utilizados de forma complementar para capturar tanto os fatores objetivos quanto os contextos subjetivos que moldam a exposição e a capacidade de resposta das populações. Essa perspectiva é essencial para orientar políticas públicas mais eficazes, sensíveis às especificidades territoriais e sociais.

Conforme Linhares *et al.* (2021), o risco é compreendido como uma categoria intrinsecamente ligada às incertezas e às possíveis perdas, sejam elas econômicas, sociais ou humanas, resultantes de variados fatores, incluindo causas naturais ou tecnológicas. Essa percepção do risco como elemento científico emergiu da capacidade de quantificar eventos em determinados tempos e espaços, permitindo a avaliação de como certas adversidades poderiam ser previstas e mitigadas.

Na abordagem teórica proposta por Linhares *et al.* (2021), a questão do risco é analisada como uma dimensão intrínseca à vida humana, destacando-se pela sua complexidade e pelas múltiplas faces que assume na sociedade contemporânea. Segundo os autores, à medida que nos aproximamos de uma compreensão mais objetiva e realista sobre o grau dos problemas e a qualidade dos riscos, estes parecem se intensificar, evidenciando a inevitabilidade do risco na existência humana.

Adicionalmente, Linhares *et al.* (2021) argumentam que a forma como o risco é percebido e administrado ao longo do tempo está intrinsecamente ligada a marcos estruturais da evolução humana. O surgimento do capitalismo, os avanços científicos e tecnológicos e a consolidação de modelos

democráticos de governança não apenas redefiniram os padrões de organização espacial social, mas também transformaram as concepções de risco e vulnerabilidade. Essas transformações introduziram novas formas de exposição a perigos como riscos industriais, degradação ambiental e crises sanitárias e, ao mesmo tempo, ampliaram a capacidade de mensuração, previsão e gerenciamento desses riscos, especialmente no contexto urbano e globalizado.

Nessa perspectiva, o risco deixa de ser entendido apenas como uma ameaça imediata e passa a incorporar dimensões complexas e interdependentes, que exigem uma abordagem sistêmica e multidimensional. Conforme apresentado por Castro *et al.* (2005), o risco envolve componentes econômicos, sociais, ambientais, biológicos e tecnológicos, refletindo uma teia de interações que nem sempre são captadas por instrumentos analíticos tradicionais. Apesar dessa interligação, persiste uma limitação conceitual importante: a falta de uniformidade na definição e operacionalização do risco dificulta sua aplicação consistente em políticas públicas e processos decisórios, gerando ambiguidade e ineficiência na gestão de desastres e na formulação de estratégias de adaptação climática.

O risco pode ser compreendido como uma categoria analítica associada, de forma fundamental, às noções de incerteza, exposição ao perigo e potenciais perdas materiais, econômicas, sociais e humanas. Segundo Castro *et al.* (2005), ele resulta tanto de processos de ordem natural, como fenômenos exógenos e endógenos da Terra, quanto de dinâmicas socioeconômicas associadas ao trabalho, às condições de vida e às relações humanas. Em uma perspectiva mais ampla (*lato sensu*), o risco refere-se à probabilidade de ocorrência de eventos adversos ao longo do tempo e do espaço, os quais, por não serem constantes nem plenamente determináveis, impactam de forma variável e desigual os territórios e populações.

Nesse contexto, Linhares *et al.* (2021) reforçam que a definição de risco engloba não apenas sua probabilidade de ocorrência e os danos potenciais associados, mas também suas implicações territoriais. A espacialização do risco é um elemento central para compreender como os impactos se distribuem de forma desigual entre regiões e grupos sociais, revelando vulnerabilidades específicas. Isso implica considerar o risco como um fenômeno simultaneamente físico e social, cuja análise requer a integração de múltiplas escalas e variáveis.

A vulnerabilidade, portanto, emerge como um conceito intimamente associado ao risco, sendo fundamental para compreender as condições que tornam determinados grupos mais suscetíveis aos efeitos adversos dos eventos climáticos. Conforme argumenta Castro *et al.* (2005, p. 16), a configuração do risco está relacionada a um conjunto de elementos que influenciam as condições de ameaça e de segurança, incluindo a própria vulnerabilidade, os perigos a que se está exposto e a capacidade de intervenção e adaptação frente aos eventos. Assim, a vulnerabilidade não é apenas uma consequência

da exposição, mas um componente ativo na produção do risco, refletindo desigualdades históricas, sociais e institucionais.

Dessa forma, a análise integrada entre risco e vulnerabilidade permite avançar na compreensão das dinâmicas que agravam ou mitigam os impactos das mudanças climáticas sobre a saúde pública. Tal abordagem demanda o desenvolvimento de indicadores que contemplem não apenas variáveis ambientais e epidemiológicas, mas também determinantes sociais, territoriais e institucionais, reconhecendo que o enfrentamento da crise climática requer estratégias que sejam ao mesmo tempo técnicas, políticas e profundamente orientadas pela justiça climática.

Nesse cenário, a relação entre vulnerabilidade, mudanças climáticas e saúde deve ser compreendida de forma integrada e multifacetada. As populações socialmente mais vulneráveis, especialmente aquelas que residem em áreas urbanas periféricas ou regiões ambientalmente degradadas, estão expostas a uma combinação de riscos climáticos e estruturais (Mendonça, 2005). Esses riscos incluem a insegurança alimentar, a mortalidade infantil, a violência urbana, o saneamento básico inadequado além de desastres naturais como inundações, deslizamentos de terra e ondas de calor. Tais ameaças são intensificadas por condições de vida precárias, como a ausência de infraestrutura básica, habitações inadequadas, baixos níveis de escolaridade e acesso limitado aos serviços de saúde. Essa interseção entre fatores socioeconômicos e ambientais configura um quadro de alta vulnerabilidade, no qual a capacidade de adaptação e resiliência dessas populações é drasticamente reduzida.

Conforme argumenta Cutter (2011), a vulnerabilidade pode ser amplamente definida como o potencial para perdas decorrentes da interação entre exposição a riscos e a capacidade de resposta de indivíduos, grupos ou sistemas. Essa definição integra duas dimensões essenciais: a exposição, entendida como a presença de pessoas e estruturas em áreas sujeitas a ameaças ambientais, e a propensão, que se refere às condições sociais, econômicas, institucionais e físicas que moldam a capacidade de absorver, responder e recuperar-se dos impactos. A vulnerabilidade, portanto, não é um atributo fixo, mas um processo dinâmico e relacional, diretamente influenciado pelas desigualdades socioespaciais e pela distribuição assimétrica de recursos e oportunidades.

Mendonça (2005), salienta que a interação entre clima e saúde se revela uma das expressões mais críticas da vulnerabilidade humana, especialmente quando se considera a desigualdade no acesso aos recursos e a variabilidade das respostas fisiológicas e sociais aos eventos climáticos extremos. A literatura nacional e internacional reconhece amplamente que eventos climáticos extremos como ondas de calor, inundações, secas prolongadas e degradação da qualidade do ar exercem efeitos diretos e

indiretos sobre a saúde das populações, especialmente nas regiões tropicais e em centros urbanos densamente povoados.

Tais impactos são ainda mais severos em contextos marcados por pobreza, ausência de saneamento básico, infraestrutura deficiente e fragilidade nos sistemas de saúde pública. Estudos como os de Di Napoli *et al.* (2022) e Kovats e Leonardi (2023) reforçam essa correlação, evidenciando a urgência de políticas intersetoriais voltadas à adaptação climática com foco na equidade em saúde.

As consequências sanitárias da crise climática transcendem os efeitos imediatos associados aos desastres naturais, incorporando um conjunto amplo de impactos crônicos e sistêmicos sobre a saúde humana. O aumento da temperatura média global, por exemplo, tem sido consistentemente vinculado ao agravamento de doenças respiratórias e cardiovasculares, à intensificação da incidência de enfermidades infecciosas e vetoriais como dengue, zika e chikungunya, além do surgimento ou agravamento de transtornos mentais, como ansiedade, depressão e estresse pós-traumático, relacionados à exposição contínua a eventos ambientais adversos (Palmeiro Silva *et al.*, 2024; Di Napoli *et al.*, 2022).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) reconhece que esses impactos não se distribuem de forma equitativa, afetando de maneira mais intensa comunidades já marcadas por vulnerabilidades estruturais, como pobreza, insegurança alimentar, déficit habitacional e ausência de políticas públicas efetivas. A distribuição desigual dos efeitos das mudanças climáticas sobre a saúde reflete e ao mesmo tempo aprofunda os padrões históricos de desigualdade socioespacial. Grupos marginalizados, populações negras e indígenas, moradores de periferias urbanas e trabalhadores informais, entre outros, experimentam níveis mais elevados de exposição aos riscos climáticos e menores capacidades adaptativas.

Além disso, os sistemas de saúde, particularmente nos países de renda média e baixa, enfrentam dificuldades crescentes para responder adequadamente às novas demandas geradas pela crise climática. As infraestruturas hospitalares são frequentemente inadequadas para lidar com surtos epidemiológicos exacerbados por condições ambientais extremas, enquanto os sistemas de vigilância em saúde muitas vezes carecem de integração com dados climáticos e geoespaciais. Essa fragilidade compromete a capacidade de antecipação e resposta rápida, limitando a eficácia de intervenções preventivas e mitigatórias.

No Brasil, os efeitos das mudanças climáticas sobre a saúde humana se manifestam de maneira heterogênea, em função da diversidade ecológica e social do território. Estudos realizados em áreas urbanas evidenciam o aumento de internações hospitalares associado a eventos de calor extremo e desconforto térmico, especialmente entre populações mais vulneráveis (Silva, Ribeiro, 2012), e bem

como a ocorrência de surtos de arboviroses em regiões com saneamento precário e elevada densidade populacional (Faria et al. 2023). As evidências reforçam a necessidade de estratégias integradas de vigilância em saúde ambiental e de planejamento urbano e territorial orientado à resiliência climática.

Na atualidade, os métodos de análise da vulnerabilidade transcendem as abordagens empíricas tradicionais, constituindo hoje em uma perspectiva técnica e científica. No âmbito geográfico, a vulnerabilidade como conceito norteador, abrange os níveis sociais, econômicos, políticos e ambientais. Como exemplificação, Linhares *et al.* (2021) apresentam um exemplo de Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) divulgado pelo Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada (Ipea), construído a partir de dados dos Censos Demográficos do IBGE, especialmente das edições de 2000 e 2010. O índice considera dezesseis variáveis distribuídas em três dimensões principais: infraestrutura urbana, capital humano, renda e trabalho. Ressalta-se, entretanto, que muitos estudos e aplicações do IVS ainda não incorporam integralmente os dados mais recentes do Censo Demográfico de 2022, o que evidencia desafios relacionados à atualização e compatibilização de indicadores socioespaciais em contextos de rápidas transformações territoriais e climáticas.

O IVS serve como um exemplo que ilustra a multidimensionalidade e a flexibilidade na seleção de variáveis e critérios para medir a vulnerabilidade social. De maneira similar, outros índices de vulnerabilidade social utilizados em estudos adotam variáveis e critérios comparáveis aos empregados no IVS para desenvolver indicadores. Em certas análises, esses indicadores podem inclusive receber pesos diferentes, dependendo da abordagem ponderada que é aplicada (Linhares *et al.*, 2021).

O IVS constitui um exemplo da multidimensionalidade da vulnerabilidade social, demonstrando a flexibilidade na seleção de variáveis e critérios para mensuração de riscos e desigualdades. Entre os indicadores presentes no índice destacam-se aspectos relacionados ao acesso à infraestrutura urbana, saneamento básico, abastecimento de água, renda, escolaridade e condições de trabalho, os quais dialogam diretamente com os indicadores identificados na revisão bibliográfica sobre clima e saúde, especialmente aqueles associados à exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa das populações frente aos eventos climáticos extremos.

Como visto, a vulnerabilidade, não é uma problemática recente, mas sim um legado histórico. Este legado é compartilhado tanto pelo Brasil quanto por outras nações que ainda não promovem a redução da desigualdade e a justiça climática. Ao longo de seus mais de quinhentos anos de história, o Brasil, enfrenta continuamente desigualdades socioeconômicas significativas. A persistência deste debate, com uma atenção meticulosa e fundamentação científica, é indispensável para compreender nossa prolongada trajetória de reprodução de disparidades sociais. A compreensão detalhada dessa

dinâmica é essencial para qualquer análise geográfica que busque explorar as raízes e os impactos da vulnerabilidade dentro do contexto brasileiro.

O Brasil, com sua longa história marcada por profundas desigualdades socioeconômicas, ilustra vividamente como a exposição ao risco e a vulnerabilidade se entrelaçam como desigualdades estruturais e institucionais no contexto socioambiental. Para Cutter (2011), a ciência da vulnerabilidade, com suas ferramentas e técnicas avançadas, incluindo o cálculo de índices e modelos geoespaciais, fornece uma base sólida para a compreensão dessas interações complexas entre processos sociais e físicos. Essa abordagem é crucial, pois a gestão de risco que não considera as variáveis de desigualdade social falha em reconhecer os custos sociais diferenciados que os riscos representam (Linhares *et al.*, 2021).

As mudanças climáticas vêm se consolidando como uma ameaça crescente à saúde humana, exacerbando problemas preexistentes e introduzindo novos desafios à área da saúde pública (Mendonça, 2005). Eventos extremos como ondas de calor, inundações, precipitações irregulares e secas têm gerado impactos diretos e indiretos nos sistemas de saúde, alterando padrões epidemiológicos, agravando doenças crônicas e intensificando vulnerabilidades socioambientais já existentes. A elevação das temperaturas médias e a irregularidade no regime de chuvas, por exemplo, favorecem a proliferação de vetores de doenças infecciosas, como a dengue, ao passo que a poluição do ar intensificada por queimadas e eventos de seca prolongada contribui para o agravamento de doenças respiratórias e cardiovasculares.

Nesse contexto, a compreensão da vulnerabilidade climática associada à saúde pública demanda uma análise que vá além dos impactos físicos e diretos dos eventos climáticos. Ela exige considerar as múltiplas dimensões sociais, econômicas, ambientais e institucionais que amplificam ou mitigam esses impactos. O conceito de vulnerabilidade, tal como discutido por Cutter (2011) e Linhares *et al.* (2021), aponta para a interseção entre exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa das populações. Ou seja, não se trata apenas de onde e quando ocorrem os eventos extremos, mas de quem é afetado, como é afetado e quais são os recursos disponíveis para resposta e recuperação.

As populações mais expostas aos riscos climáticos, frequentemente situadas em áreas periféricas, com infraestrutura precária e limitado acesso aos serviços de saúde, são também as menos capazes de se adaptar às mudanças em curso. A desigualdade socioespacial, marcada por históricos processos de exclusão, torna-se, assim, um fator determinante para a produção da vulnerabilidade. Nesse sentido, o uso de indicadores compostos como índices de vulnerabilidade social e climática torna-se uma ferramenta essencial para o planejamento de políticas públicas equitativas, que considerem não apenas os riscos ambientais, mas também as condições estruturais que os potencializam.

A análise da produção científica sobre a interface entre mudanças climáticas e saúde evidencia um campo em rápida expansão, cujo crescimento reflete a urgência global de compreender os impactos do aquecimento planetário sobre as populações humanas. No entanto, interpretar essas tendências requer situá-las nas realidades territoriais e sociais específicas, especialmente no contexto latino-americano. Assim, os resultados da análise bibliométrica apresentados nesta seção não constituem um fim em si mesmos, mas um instrumento para aprofundar o debate sobre vulnerabilidade climática em saúde pública, com ênfase nos desafios enfrentados pelo Brasil.

A análise de 1.338 artigos permitiu identificar quatro quadrantes temáticos que organizam o campo científico. A interpretação desses quadrantes, à luz da literatura sobre vulnerabilidade, revela tanto áreas consolidadas quanto aspectos ainda pouco explorados. Nos *"Basic Themes*", termos como climate change, *human health e public health* formam a base conceitual do campo. Já os *"Motor Themes"*, compostos por descritores centrais como *"health impacts, climate variability e heat waves",* apontam a ênfase global nos efeitos diretos do aumento da temperatura, com destaque para os desfechos de morbimortalidade associados ao calor extremo. Contudo, a transposição desses resultados para a realidade brasileira exige uma leitura crítica. Em regiões tropicais, como observa Mendonça (2005), a interação entre clima e saúde expressa vulnerabilidades agravadas por desigualdades sociais e estruturais. Nas cidades brasileiras, os efeitos do calor extremo são intensificados pela densidade populacional, precariedade habitacional e carência de saneamento, o que reforça a necessidade de análises territoriais mais contextualizadas.

Os "*Niche Themes",* por sua vez, concentram estudos metodologicamente sofisticados, com foco em desfechos específicos como *respiratory mortality e daily mortality.* Embora fundamentais para o aprimoramento das medições, esses estudos ainda apresentam integração limitada com os determinantes sociais da saúde, o que evidencia a escassez de pesquisas aplicadas a contextos tropicais e de baixa renda (Van de Vuurst; Escobar, 2023). Para o Brasil, amplia-se a necessidade de investigar não apenas os efeitos térmicos, mas também os impactos relacionados a deslizamentos, inundações e doenças vetoriais, fenômenos fortemente associados à vulnerabilidade urbana e ao uso inadequado do solo.

Já os *"Emerging or Declining Themes*" indicam as direções futuras do campo. Termos como *air quality, policy makers, urban heat e vulnerability index* refletem a consolidação de uma agenda voltada à integração entre ambiente urbano, formulação de políticas e avaliação de risco. Essa tendência sinaliza uma mudança de paradigma: o reconhecimento de que o risco climático é, antes de tudo, uma construção social e espacial.

A capacidade de resposta do setor saúde frente às mudanças climáticas depende da compreensão e mensuração da vulnerabilidade, conceito multidimensional que expressa a suscetibilidade de populações aos impactos de riscos ambientais (Cutter, 2011). Segundo o framework proposto pela autora, a vulnerabilidade resulta da interação entre exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa.

Os resultados bibliométricos podem ser interpretados à luz desse modelo. Os "*Motor Themes*" refletem majoritariamente pesquisas sobre exposição, enquanto os *"Niche Themes"* se concentram na mensuração da sensibilidade populacional. A principal limitação, evidenciada pela baixa presença de termos relacionados a "*policy makers*" e "*adaptation*", está na dimensão da capacidade adaptativa.

Esse vazio teórico e empírico é particularmente relevante para o Brasil, onde políticas como a PNMC e PSMC–Saúde demandam suporte científico para orientar estratégias de adaptação no SUS. O risco climático, longe de ser homogêneo, reflete desigualdades históricas que determinam quais grupos sociais estão mais expostos e possuem menor capacidade de resposta.

Nesse contexto, o surgimento e a consolidação de termos como "*vulnerability index*" representam avanços importantes na compreensão das relações entre mudanças climáticas, saúde e desigualdades socioespaciais. No Brasil, experiências como o Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) do Ipea demonstram o potencial de integração de variáveis relacionadas à infraestrutura urbana, capital humano, renda e trabalho na identificação de territórios vulneráveis. Paralelamente, iniciativas como o Observatório Clima e Saúde da Fiocruz e a Plataforma AdaptaBrasil, desenvolvida pelo MCTI/INPE, vêm ampliando a produção e a sistematização de indicadores voltados à interface entre clima e saúde, incorporando dimensões epidemiológicas, socioambientais e territoriais na análise dos riscos climáticos. A articulação entre essas diferentes bases de indicadores pode fortalecer a identificação de populações prioritárias e subsidiar estratégias mais integradas de vigilância, adaptação e planejamento territorial.

A incorporação desses indicadores à saúde climática pode aprimorar a identificação de territórios e populações prioritárias, articulando métricas ambientais com dimensões sociais e demográficas. Em síntese, os resultados da análise bibliométrica, quando cruzados com o referencial teórico da vulnerabilidade, revelam um campo científico global em consolidação, mas ainda fragmentado. A produção tem avançado na quantificação dos impactos climáticos sobre a saúde, porém com menor integração entre clima, território, desigualdade socioespacial e capacidade institucional de resposta.

No contexto brasileiro, marcado por profundas assimetrias socioespaciais, ecológicas e regionais, o principal desafio reside na consolidação de sistemas integrados de indicadores capazes de apreender a complexidade das interações entre mudanças climáticas, vulnerabilidade territorial e processos saúde-doença. Tal perspectiva exige não apenas consistência conceitual e rigor

metodológico, mas também capacidade analítica para traduzir dinâmicas socioambientais em subsídios efetivos à formulação de políticas públicas de adaptação climática. Nesse sentido, a construção de indicadores territorialmente sensíveis e socialmente contextualizados constitui elemento estratégico para o fortalecimento da equidade em saúde, da justiça climática e da capacidade institucional de resposta diante da intensificação dos riscos associados à crise climática contemporânea.

Conclusões

Este estudo demonstrou que a interface entre as mudanças climáticas e a saúde pública constitui uma fronteira científica dinâmica e em rápida expansão, marcada por avanços conceituais e empíricos, mas também por desafios analíticos e metodológicos. A análise bibliométrica revelou um campo de investigação em consolidação, no qual temas como o calor extremo, a morbimortalidade e a vulnerabilidade climática configuram os principais eixos estruturantes da produção científica internacional (MENDONÇA, 2005; CUTTER, 2011). Entretanto, a articulação entre clima, território e desigualdade socioespacial permanece como um desafio central para a consolidação de abordagens analíticas capazes de integrar, de forma multiescalar e territorialmente contextualizada, os processos socioambientais que condicionam a produção das vulnerabilidades em saúde.

A articulação conceitual entre risco, exposição e vulnerabilidade, sustentada pela literatura e pelos resultados obtidos, reforça a necessidade de modelos analíticos capazes de capturar as assimetrias espaciais, sociais e institucionais que condicionam os impactos das mudanças climáticas sobre a saúde. Nesse sentido, a análise bibliométrica, quando lida através das lentes da vulnerabilidade, revela desafios críticos e direciona prioridades de pesquisa e ação para o contexto específico do Brasil, destacando a urgência de compreender a vulnerabilidade climática em sua dimensão social e territorial.

Os resultados também evidenciam a importância de sistemas de monitoramento baseados em indicadores compostos de vulnerabilidade climática e saúde, capazes de subsidiar políticas públicas de mitigação e adaptação mais eficazes e socialmente justas. A gestão do risco climático em saúde pública, portanto, deve considerar as desigualdades históricas e promover a justiça climática como eixo orientador das ações institucionais e intersetoriais.

No contexto brasileiro, a consolidação de indicadores de vulnerabilidade representa um avanço estratégico para o fortalecimento do SUS e para o aprimoramento das políticas de adaptação climática em diferentes escalas. Em síntese, a produção científica global sobre clima e saúde avança na quantificação dos impactos e na identificação de grupos vulneráveis, mas ainda carece de maior integração entre dimensões socioespaciais, institucionais e ambientais.

Pesquisas futuras devem aprofundar as dimensões socioterritoriais, epidemiológicas e institucionais das interações entre clima e saúde, ampliando a capacidade analítica de compreender como os riscos climáticos são socialmente produzidos, territorialmente distribuídos e desigualmente experienciados. Nessa perspectiva, o referencial da justiça climática obtém centralidade ao evidenciar que os impactos das mudanças climáticas tendem a incidir de forma mais intensa sobre populações historicamente vulnerabilizadas, expostas a condições precárias de infraestrutura, saneamento, moradia e acesso aos serviços de saúde. O fortalecimento de abordagens territorialmente contextualizadas e orientadas pela equidade constitui, portanto, condição estratégica para a formulação de políticas públicas de adaptação e mitigação comprometidas com a redução das desigualdades socioambientais e com a garantia do direito à saúde diante da crise climática contemporânea.

Referências

ALMEIDA, L. Q. de. *Por uma ciência dos riscos e vulnerabilidades na Geografia.* Revista Mercator, Fortaleza, v. 10, n. 23, 2011, p. 83-99.

ARIA, M.; CUCCURULLO, C. *Bibliometrix: an R-tool for comprehensive science mapping analysis.* Journal of Informetrics, v. 11, n. 4, 2017, p. 959-975.

ARIA, M.; MISURACA, M.; SPANO, M. *Mapping the evolution of social research and data science on 30 years of Social Indicators Research.* Social Indicators Research, 2020. DOI: (https://doi.org/10.1007/s11205-020-02281-3), acesso em: 10 mar. 2025.

BRASIL. *Plano Setorial da Saúde para Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima.* Disponível em: http://bibliotecadigital.economia.gov.br/handle/123456789/1015. Acesso em: 28 maio 2025.

CASTRO, C. M.; PEIXOTO, M. N. O.; RIO, G. A. P. *Riscos Ambientais e Geografia: Conceituações, Abordagens e Escalas.* Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ, Rio de Janeiro, v. 28-2, 2005, p. 11-30.

COBO, M. J.; LOPEZ-HERRERA, A. G.; HERRERA-VIEDMA, E.; HERRERA, F. *An approach for detecting, quantifying, and visualizing the evolution of a research field: a practical application to the fuzzy sets theory field.* Journal of Informetrics, v. 5, n. 1, 2011, p. 146-166.

CUTTER, S. L. *A ciência da vulnerabilidade: modelos, métodos e indicadores.* Revista Crítica de Ciências Sociais, n. 93, 2011, p. 59–69. Disponível em: (https://journals.openedition.org/rccs/165), acesso em: 19 mai. 2025.

DI NAPOLI, C. *et al. Tracking the impacts of climate change on human health via indicators: lessons from the Lancet Countdown.* BMC Public Health, v. 22, n. 663, 2022. Disponível em: (https://doi.org/10.1186/s12889-022-13055-6), acesso em: 15 mar. 2025.

FARIA, M. T. DA S. et al.. Saúde e saneamento: uma avaliação das políticas públicas de prevenção, controle e contingência das arboviroses no Brasil. Ciência & Saúde Coletiva, v. 28, n. 6, p. 1767–1776, jun. 2023.

HARTINGER, S. M. *et al. The 2023 Latin America report of the Lancet Countdown on health and climate change: the imperative for health-centred climate-resilient development.* The Lancet Regional Health – Americas, 2024, p. 100746. DOI: 10.1016/j.lana.2024.100746, acesso em: 15 mar. 2025.

IPCC. *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 e J. Romero (eds.)]. Geneva: IPCC, 2023, p. 35–115.

KOVATS, R. S.; LEONARDI, G. *Climate change and public health indicators: scoping review.* London: UK Health Security Agency, 2023. Disponível em: (https://www.gov.uk/government/publications/climate-change-and-public-health-indicators-scoping-review), acesso em: 16 mar. 2025.

LINHARES, L. I. M.; MONTEIRO, J. B.; PACHECO-GRAMATA, A. P. P. *Geografia dos riscos e vulnerabilidades: uma breve discussão teórica e metodológica.* Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS), v. 23, n. 1, 2021, p. 75–98.

MENDONÇA, F. *Clima, tropicalidade e saúde: Uma perspectiva a partir da intensificação do aquecimento global.* Revista Brasileira de Climatologia, v. 1, n. 1, 2005.

PALMEIRO SILVA, F. *et al. Climate-related health impact indicators for public health surveillance in a changing climate: a systematic review and local suitability analysis.* The Lancet Regional Health – Americas, v. 38, 100854, 2024.

SILVA, E. N.; RIBEIRO, H.. Impact of urban atmospheric environment on hospital admissions in the elderly. Revista de Saúde Pública, v. 46, n. 4, p. 694–701, ago. 2012.

SILVA, M. S.; CORREIA, S. E.; OLIVEIRA, V. M. *Mapeamento científico na Scopus com o Biblioshiny: uma análise bibliométrica das tensões organizacionais.* Contextus – Revista Contemporânea de Economia e Gestão, v. 20, n. 5, 2022, p. 54-71.

VAN DE VUURST, P.; ESCOBAR, L. E. *Climate change and infectious disease: a review of evidence and research trends.* Infectious Diseases of Poverty, v. 12, n. 1, 51, 2023.