

SISTEMAS DE ALERTA PARA ONDAS DE CALOR E SAÚDE: PANORAMA INTERNACIONAL E DESAFIOS PARA ADAPTAÇÃO DO SUS NO CONTEXTO DE MUDANÇA DO CLIMA

HEATWAVE AND HEALTH WARNING SYSTEMS: INTERNATIONAL OVERVIEW AND CHALLENGES FOR THE ADAPTATION OF THE BRAZILIAN UNIFIED HEALTH SYSTEM (SUS) IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE

Eliane Lima e Silva

Universidade de Brasília, Laboratório de Geografia, Ambiente e Saúde, Brasília, DF, Brasil
elianelima26@gmail.com

Helen Gurgel

Universidade de Brasília, Laboratório de Geografia, Ambiente e Saúde, Brasília, DF, Brasil
helen.gurgel@unb.br

Caio Martins Leal

Universidade de Brasília, Laboratório de Geografia, Ambiente e Saúde, Brasília, DF, Brasil
leal.martins@aluno.unb.br

Bruno Lofrano Porto

Universidade de Brasília, Laboratório de Geografia, Ambiente e Saúde, Brasília, DF, Brasil
bruno.porto@unb.br

Hendesson Alves Pereira

Universidade de Brasília, Laboratório de Geografia, Ambiente e Saúde, Brasília, DF, Brasil
hendesson.pereira@aluno.unb.br

Amarilis Bahia Bezerra

Universidade de Brasília, Laboratório de Geografia, Ambiente e Saúde, Brasília, DF, Brasil
amarilis.bezerra@unb.br

RESUMO

A intensificação das ondas de calor, no contexto da mudança do clima, impõe desafios crescentes à saúde pública, especialmente em territórios marcados por desigualdades socioambientais. Este estudo tem como objetivo analisar sistemas de alerta internacionais para ondas de calor e saúde, com foco em seus parâmetros, modelos operacionais e formas de governança, visando subsidiar a formulação de um protocolo nacional adaptado ao Sistema Único de Saúde (SUS). Trata-se de uma análise documental de natureza descritivo-analítica, baseada em 18 sistemas implementados em diferentes países, considerando dimensões como critérios de ativação, escala territorial, temporalidade, comunicação de risco e protocolos de resposta. Os resultados evidenciam diversidade de modelos, com predominância de abordagens intersetoriais, integração entre dados meteorológicos e de saúde, e crescente adoção de sistemas baseados em impacto. Observa-se, contudo, baixa representação da América Latina e ausência de diretrizes nacionais estruturadas no Brasil. Conclui-se que a efetividade desses sistemas depende de sua territorialização, da integração institucional e da incorporação das desigualdades socioespaciais, configurando-se como instrumento estratégico para a adaptação do SUS frente à emergência climática.

Palavras-chave: Ondas de calor. Sistemas de alerta. Saúde pública. Vigilância em saúde. Mudança do clima.

ABSTRACT

The intensification of heatwaves in the context of climate change poses increasing challenges to public health, particularly in territories marked by socio-environmental inequalities. This study aims to analyze international heat-health warning systems, focusing on their parameters, operational models, and governance arrangements, in order to support the development of a national protocol adapted to the Brazilian Unified Health System (SUS). This is a descriptive-analytical documentary study based on 18 systems implemented across different countries, considering dimensions such as alert criteria,

Recebido em: 30/04/2026

Aceito para publicação em: 30/07/2026.

territorial scale, temporal dynamics, risk communication, and response protocols. The results reveal a diversity of models, with a predominance of intersectoral approaches, integration of meteorological and health data, and a growing adoption of impact-based systems. However, Latin America remains underrepresented, and Brazil lacks structured national guidelines. The study concludes that the effectiveness of these systems depends on their territorial adaptation, institutional integration, and consideration of socio-spatial inequalities, positioning them as strategic tools for strengthening SUS adaptation in the context of climate change.

Keywords: Heatwaves. Warning systems. Public health. Health surveillance. Climate change.

INTRODUÇÃO

A mudança do clima, intensificada por atividades antrópicas, tem produzido alterações substantivas na frequência, intensidade, duração e distribuição espacial dos eventos climáticos extremos, entre os quais se destacam as ondas de calor (IPCC, 2023). Esses eventos, definidos como períodos de temperaturas anormalmente elevadas em relação às condições climatológicas locais, configuram-se como fenômenos complexos, cuja ocorrência e impactos resultam da interação entre variáveis atmosféricas, condições ambientais e processos sociais historicamente constituídos (ebi et al., 2021; Iöhmus, 2018; WMO; WHO, 2015). Nessa perspectiva, as ondas de calor não podem ser compreendidas apenas como eventos naturais, mas como expressões de uma realidade socioespacial produzida, na qual o clima atua em articulação com as formas de organização do território.

A partir da geografia crítica, o território é entendido como uma construção social, resultado da ação de múltiplos agentes e marcado por relações de poder, desigualdades e usos diferenciados do espaço (SANTOS, 1996). Nesse sentido, a produção do espaço urbano, caracterizada por processos de segregação socioespacial, desigual acesso à infraestrutura e intensa transformação dos ambientes naturais, desempenha papel central na amplificação dos riscos associados às ondas de calor. A intensificação do efeito de ilha de calor, a impermeabilização do solo, a redução de áreas verdes e a precariedade das condições habitacionais configuram contextos territoriais nos quais a exposição ao calor extremo se torna mais intensa e persistente, especialmente para populações socialmente vulnerabilizadas.

No campo da saúde coletiva, evidências científicas demonstram que a exposição ao calor extremo está associada ao aumento da mortalidade e da morbidade por doenças cardiovasculares, respiratórias, metabólicas, mentais e renais, além de agravar condições crônicas preexistentes (Li et al., 2015; Mason et al., 2022; Song et al., 2021). Tais efeitos decorrem da sobrecarga dos mecanismos fisiológicos de termorregulação, podendo levar a desidratação, estresse cardiovascular e falência orgânica (OPAS, 2021). Contudo, a distribuição desses impactos é profundamente desigual, sendo mediada por determinantes sociais da saúde e pelas condições territoriais de vida, o que evidencia a centralidade do conceito de vulnerabilidade socioambiental na análise das ondas de calor.

A vulnerabilidade, nessa abordagem, não se restringe à exposição ao evento climático, mas resulta da combinação entre exposição, sensibilidade e capacidade de resposta, sendo fortemente condicionada por fatores como renda, acesso a serviços, redes de proteção social e qualidade do ambiente construído. Assim, grupos como idosos, crianças, trabalhadores expostos ao ar livre e populações residentes em áreas periféricas e precárias apresentam maior risco de adoecimento e morte durante eventos de calor extremo (WMO; WHO, 2015). Essa desigualdade na distribuição dos riscos expressa, em última instância, as formas desiguais de apropriação e uso do território, reforçando a necessidade de abordagens que articulem clima, espaço e saúde.

Para além dos efeitos diretos sobre os indivíduos, as ondas de calor impactam a estrutura e o funcionamento dos sistemas de saúde e das infraestruturas urbanas, ao aumentar a demanda por serviços de emergência, hospitalizações e atendimentos pré-hospitalares, além de pressionar sistemas de energia e abastecimento de água (Turner; Connell; Tong, 2013; Wondmagegn et al., 2019). Esses eventos evidenciam fragilidades estruturais e institucionais, revelando a necessidade de estratégias de adaptação que considerem não apenas o evento climático em si, mas também as condições territoriais que moldam sua ocorrência e seus efeitos.

Nesse contexto, os sistemas de alerta precoce para ondas de calor e saúde (Heat Health Warning Systems – HHWS) têm sido destacados como instrumentos estratégicos para a redução de riscos. Esses sistemas integram informações meteorológicas, climáticas e epidemiológicas com o objetivo de antecipar eventos críticos e orientar ações de prevenção e resposta (Lowe; Ebi; Forsberg, 2011; Casanueva et al., 2019). Entretanto, sua efetividade depende da capacidade de incorporar as especificidades territoriais, reconhecendo que os limiares de risco, os padrões de vulnerabilidade e as respostas institucionais variam conforme o contexto socioespacial (WMO; WHO, 2015). Diretrizes internacionais indicam que tais sistemas devem estar articulados a estratégias mais amplas de adaptação, incluindo vigilância em saúde, comunicação de risco, planejamento urbano e ações intersetoriais (OPAS, 2021).

No Brasil, embora o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima para o Setor Saúde (AdaptaSUS) reconheça os riscos associados aos extremos de temperatura, a implementação de sistemas estruturados de alerta para ondas de calor ainda é incipiente e fragmentada. A ausência de protocolos nacionais integrados ao Sistema Único de Saúde (SUS) evidencia uma lacuna importante na capacidade de resposta institucional frente à crescente intensificação desses eventos, especialmente em um país marcado por profundas desigualdades territoriais e socioambientais.

Diante desse cenário, torna-se fundamental analisar experiências internacionais de sistemas de alerta para ondas de calor e saúde, buscando identificar parâmetros, modelos operacionais e formas de governança que possam subsidiar a construção de estratégias adaptadas ao contexto brasileiro. Tal análise, orientada por uma perspectiva territorial e crítica, permite não apenas identificar boas práticas, mas também problematizar seus limites de transferibilidade, considerando as especificidades da produção do espaço e das vulnerabilidades no Brasil.

Assim, o presente artigo tem como objetivo analisar sistemas de alerta internacionais para extremos de temperatura, com ênfase em seus parâmetros, modelos operacionais e formas de integração com o setor saúde, de modo a contribuir para a formulação de um protocolo nacional adaptado ao SUS, fundamentado em princípios de equidade, territorialização e justiça socioambiental.

METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma análise documental de natureza descritivo-analítica, centrada na investigação de sistemas de alerta para ondas de calor com interface na saúde pública, a partir de documentos institucionais produzidos por organismos governamentais e multilaterais. A pesquisa teve como objetivo identificar, sistematizar e analisar criticamente experiências internacionais e nacionais, com vistas a compreender seus parâmetros operacionais, arranjos institucionais e potencial de adaptação ao contexto brasileiro, particularmente no âmbito do SUS.

A estratégia metodológica baseou-se na coleta e análise de documentos técnicos, incluindo protocolos operacionais, planos de contingência, manuais, diretrizes e relatórios institucionais relacionados à implementação e operação de sistemas de alerta para ondas de calor e saúde. Foram consultadas fontes oficiais de organismos internacionais, como a Organização Mundial da Saúde (WHO), Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS), Organização Meteorológica Mundial (WMO) e Escritório das Nações Unidas para Redução do Risco de Desastres (UNIDRR), bem como portais institucionais de serviços nacionais de meteorologia, ministérios da saúde e agências governamentais responsáveis pela gestão de riscos e emergências em saúde pública.

A partir desse levantamento, foram analisados 18 sistemas de alerta, implementados em diferentes países, abrangendo contextos climáticos e institucionais diversos. A seleção dos casos considerou a disponibilidade de informações sobre o funcionamento dos sistemas, seus critérios de ativação e sua articulação com o setor saúde, priorizando experiências com algum grau de formalização institucional e operacionalização documentada.

Para a análise comparativa, foram definidas dimensões analíticas orientadas pelo objetivo do estudo e pelas diretrizes internacionais para sistemas de alerta, incluindo: (i) parâmetros utilizados para definição dos alertas, tais como temperaturas extremas, limiares relativos e índices biometeorológicos; (ii) escala territorial de atuação (local, regional ou nacional); (iii) periodicidade e antecedência de emissão dos alertas; (iv) arranjos institucionais e modelos de governança; (v) estratégias de comunicação de risco; e (vi) protocolos de resposta associados aos diferentes níveis de alerta. As informações foram sistematizadas em matrizes comparativas, permitindo identificar padrões recorrentes, variações contextuais e lacunas operacionais entre os sistemas analisados.

A análise foi conduzida a partir de uma perspectiva territorial, considerando que os sistemas de alerta são produzidos em contextos socioespaciais específicos, nos quais se articulam condições climáticas, capacidades institucionais e diferentes níveis de vulnerabilidade socioambiental. Assim, buscou-se interpretar os modelos operacionais à luz das categorias de território e produção do espaço, reconhecendo que a efetividade desses sistemas depende de sua capacidade de responder às desigualdades que estruturam os espaços e influenciam a distribuição dos riscos à saúde.

Como elemento de contextualização nacional, foi incluída a análise de documentos referentes à experiência do município do Rio de Janeiro, considerada a mais estruturada no país, bem como materiais técnicos vinculados ao projeto “Indicadores espaciais e sistema de alerta para ondas de calor para a saúde pública nas regiões metropolitanas brasileiras” (Projeto Geocalor) (Gurgel, 2025). Esses documentos foram utilizados como referência para discutir as possibilidades e limitações da implementação de sistemas de alerta no contexto brasileiro.

Por fim, os achados foram interpretados à luz de critérios de aplicabilidade ao SUS, considerando aspectos como viabilidade técnica, capacidade de integração entre setores, sensibilidade às condições territoriais e aderência aos princípios da vigilância em saúde, da equidade e da adaptação à mudança do clima. Como limitação, destaca-se a heterogeneidade dos documentos analisados e a disponibilidade desigual de informações detalhadas sobre os sistemas, o que pode influenciar o grau de comparabilidade entre os casos.

RESULTADOS

Caracterização e análise comparativa dos sistemas de alerta para ondas de calor e saúde

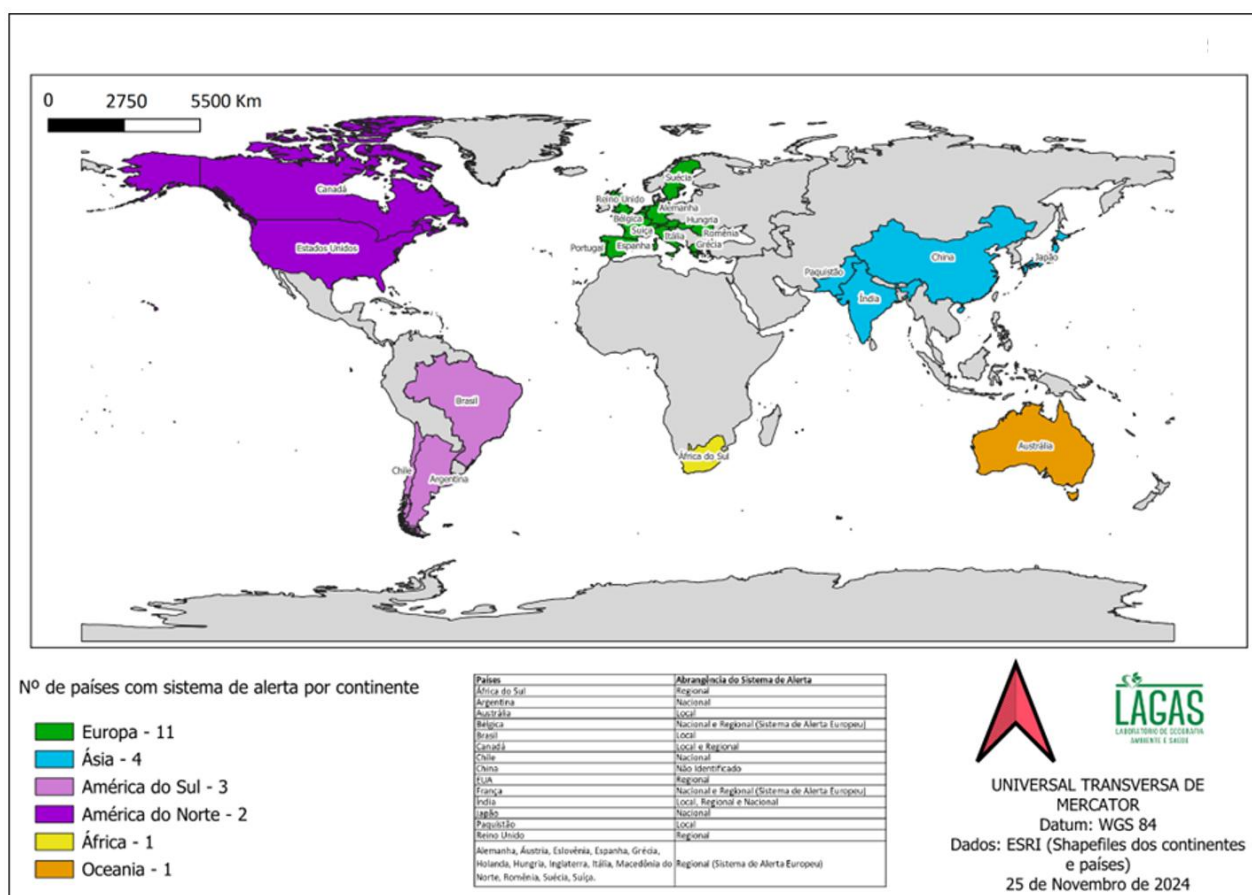
Distribuição geográfica e características gerais dos documentos

A análise documental evidenciou forte heterogeneidade entre os sistemas de alerta para ondas de calor e saúde, tanto em relação aos parâmetros utilizados quanto às escalas territoriais e aos arranjos de governança. Considerando os 18 registros válidos analisados, observa-se uma distribuição geográfica relativamente concentrada, com predominância de documentos oriundos da Ásia e da Europa, cada uma correspondendo a 27,8% do total. A América do Sul representa 16,7% dos casos, incluindo experiências do Brasil, Argentina e Chile, enquanto América do Norte (11,1%), África (5,6%), Oceania (5,6%) e iniciativas globais vinculadas à OMS/OMM (5,6%) aparecem de forma mais pontual (Figura 1).

Essa distribuição revela não apenas a maior institucionalização desses sistemas em determinadas regiões, mas também desigualdades na produção e disseminação de instrumentos operacionais de adaptação à mudança do clima no campo da saúde. Países como Índia, França, Reino Unido, Estados Unidos e Canadá apresentam sistemas mais consolidados e documentados, enquanto experiências da América Latina, África e partes da Ásia aparecem de forma mais fragmentada ou recente. Documentos globais e regionais, como os guias da Organização Mundial da Saúde (OMS) e da Organização Meteorológica Mundial (OMM), desempenham papel estruturante ao oferecer diretrizes para países em processo de desenvolvimento desses sistemas (WHO, 2021; WMO, 2015).

Esse padrão evidencia que a existência e a robustez dos sistemas de alerta não são determinadas apenas pela exposição climática, mas também por fatores como capacidade institucional, infraestrutura de dados, organização dos sistemas de saúde e inserção na agenda global de adaptação à mudança do clima.

Figura 1 – Mapa dos países que possuem sistemas de alerta para ondas de calor e saúde



Fonte: Elaborado pelos autores com base nos documentos analisados

Parâmetros utilizados para definição dos alertas

A temperatura constitui variável universal, presente em 100% dos sistemas analisados, confirmando sua centralidade como indicador primário de risco térmico. No entanto, observa-se uma diferenciação relevante na sofisticação dos critérios adotados. Metade dos sistemas incorpora a duração do evento como elemento adicional, especialmente em experiências como França, Reino Unido, Espanha, Portugal, Austrália e Índia, nas quais a persistência do calor é reconhecida como fator crítico para o agravamento dos impactos à saúde (France, 2017; Espanha, 2021; Portugal, 2010; United Kingdom, 2024; South Africa, 2016; Índia, 2021).

Apenas 33,3% dos sistemas incluem indicadores de saúde, como morbidade, mortalidade ou demanda assistencial, com destaque para França, Canadá, Estados Unidos, Índia e diretrizes internacionais da OMS e OPAS, evidenciando a transição para modelos baseados em impacto (Canada, 2012; CDC, 2025; WHO, 2021). Por sua vez, 27,8% utilizam índices biometeorológicos, como Heat Index, Humidex ou WBGT, observados em países como Canadá, Estados Unidos, Japão e Austrália (Canada, 2012; United States, 2024; Australia Bureau of Meteorology, 2018). Apenas um sistema incorpora variável de qualidade do ar, como ozônio, caso do plano federal da Bélgica, que associa calor e poluição atmosférica (Belgique, 2019).

Esses resultados indicam um gradiente de complexidade, no qual sistemas mais avançados tendem a integrar variáveis climáticas, ambientais e epidemiológicas, aproximando-se de modelos orientados por risco e impacto.

Escala territorial de atuação

A análise da escala territorial revela predominância de sistemas operando em nível local ou municipal (44,4%), seguidos por sistemas nacionais ou globais (27,8%) e regionais (16,7%). Esse padrão confirma que, embora diretrizes sejam frequentemente estabelecidas em níveis nacionais, a operacionalização dos alertas ocorre majoritariamente em escalas territoriais mais finas.

Planos nacionais, como os da Índia e da África do Sul, estabelecem diretrizes estruturantes e responsabilidades institucionais (Índia, 2021; South Africa, 2020). Já iniciativas regionais, como as da Austrália e de estados indianos, articulam coordenação intermediária e adaptação às condições climáticas e institucionais locais (Índia, 2019; 2021; South Africa, 2016).

Entretanto, é na escala local que os sistemas assumem maior densidade territorial. Experiências como Ahmedabad, Karachi, Buenos Aires e Rio de Janeiro incorporam variáveis urbanas, vulnerabilidades socioespaciais e organização dos serviços (Índia 2019; Pakistan-Karachi, 2017; Buenos Aires, 2021; Rio De Janeiro, 2024). Nesses contextos, o risco térmico é influenciado por fatores como densidade urbana, ilhas de calor, acesso à água, moradia e infraestrutura.

Essa multiescalaridade reforça que os sistemas de alerta devem ser compreendidos como redes territoriais articuladas, nas quais a eficácia depende da capacidade de traduzir diretrizes gerais em ações contextualizadas.

Periodicidade e antecedência dos alertas

A maioria dos sistemas apresenta atualização diária (77,8%), evidenciando dependência de monitoramento contínuo e previsões meteorológicas de curto prazo. A antecedência dos alertas varia entre 0 e 7 dias, com maior concentração em sistemas que operam com previsão de até cinco dias.

O sistema britânico destaca-se pela integração entre monitoramento contínuo, alertas escalonados e boletins prospectivos de até 30 dias (United Kingdom, 2024). Já o modelo de Ahmedabad prioriza ativação rápida e comunicação imediata (Índia, 2019), enquanto sistemas australianos e norte-americanos consideram a persistência de dias consecutivos acima de limiares (United States, 2024; South Africa, 2016).

Essa variabilidade indica que a antecedência dos alertas depende tanto da capacidade técnica quanto das estratégias institucionais. Do ponto de vista territorial, a efetividade da antecipação está condicionada ao acesso à informação, à infraestrutura e à capacidade de resposta local.

Modelos operacionais

Observa-se predominância de modelos probabilísticos (61,1%), seguidos por modelos mistos e determinísticos. Sistemas como os do Reino Unido, Estados Unidos e Canadá utilizam previsões meteorológicas e modelagem de risco (United Kingdom, 2024; CDC, 2025; Health Canada, 2012), enquanto outros mantêm abordagens baseadas em limiares fixos.

Os modelos mistos, que combinam dados observados e previstos, apresentam maior potencial para integração com sistemas de saúde, pois permitem antecipação associada a monitoramento em tempo real. Já modelos mais simples predominam em contextos com menor capacidade técnica, evidenciando desigualdades na produção e uso de informação.

Arranjos institucionais e governança

Os sistemas analisados apresentam forte caráter intersetorial. Em 55,6% dos casos, a liderança está vinculada ao setor saúde, como na Índia, França, Espanha e África do Sul (Índia, 2021; France, 2017; España, 2021; South Africa, 2020).

Outros modelos atribuem protagonismo à defesa civil ou à meteorologia, como nos Estados Unidos, Austrália e Bélgica (United States, 2024; Australia Bureau of Meteorology, 2018; Belgique, 2019). Em nível local, cidades como Ahmedabad, Karachi e Rio de Janeiro adotam governança intersetorial territorializada, envolvendo saúde, planejamento urbano, energia, transporte e assistência social.

Diretrizes internacionais (WHO, 2021; WMO, 2015) reforçam a necessidade de coordenação institucional formal, definição de responsabilidades e integração entre setores

Estratégias de comunicação de risco

A comunicação de risco constitui elemento central dos sistemas, com predominância de plataformas digitais (50,0%), seguidas por comunicação institucional, mídia e campanhas educativas.

Sistemas como os do Reino Unido, Índia e Argentina utilizam níveis de alerta por cores para facilitar a compreensão (United Kingdom, 2024; Índia, 2019; Argentina, s.d.). O Chile e o Canadá destacam-se por estratégias educativas voltadas à população (Chile, s.d.; Health Canada, 2012), enquanto os Estados Unidos utilizam plataformas digitais de monitoramento em tempo real (CDC, 2025).

A efetividade da comunicação depende da capacidade de adaptação às condições territoriais, incluindo acesso à informação, redes comunitárias e desigualdades socioespaciais.

Protocolos de resposta associados aos níveis de alerta

Os sistemas estruturam respostas escalonadas conforme níveis de alerta, organizadas em três estágios: preparação, resposta e emergência.

Planos como os de Ahmedabad e Karachi associam cada nível de alerta a ações específicas, incluindo abertura de centros de resfriamento, mobilização de serviços e medidas de proteção social (Índia, 2019; Pakistan-Karachi, 2017). Na Europa, planos como os da França, Espanha e Portugal articulam vigilância, assistência e proteção social (France, 2017; España, 2021; Portugal, 2010).

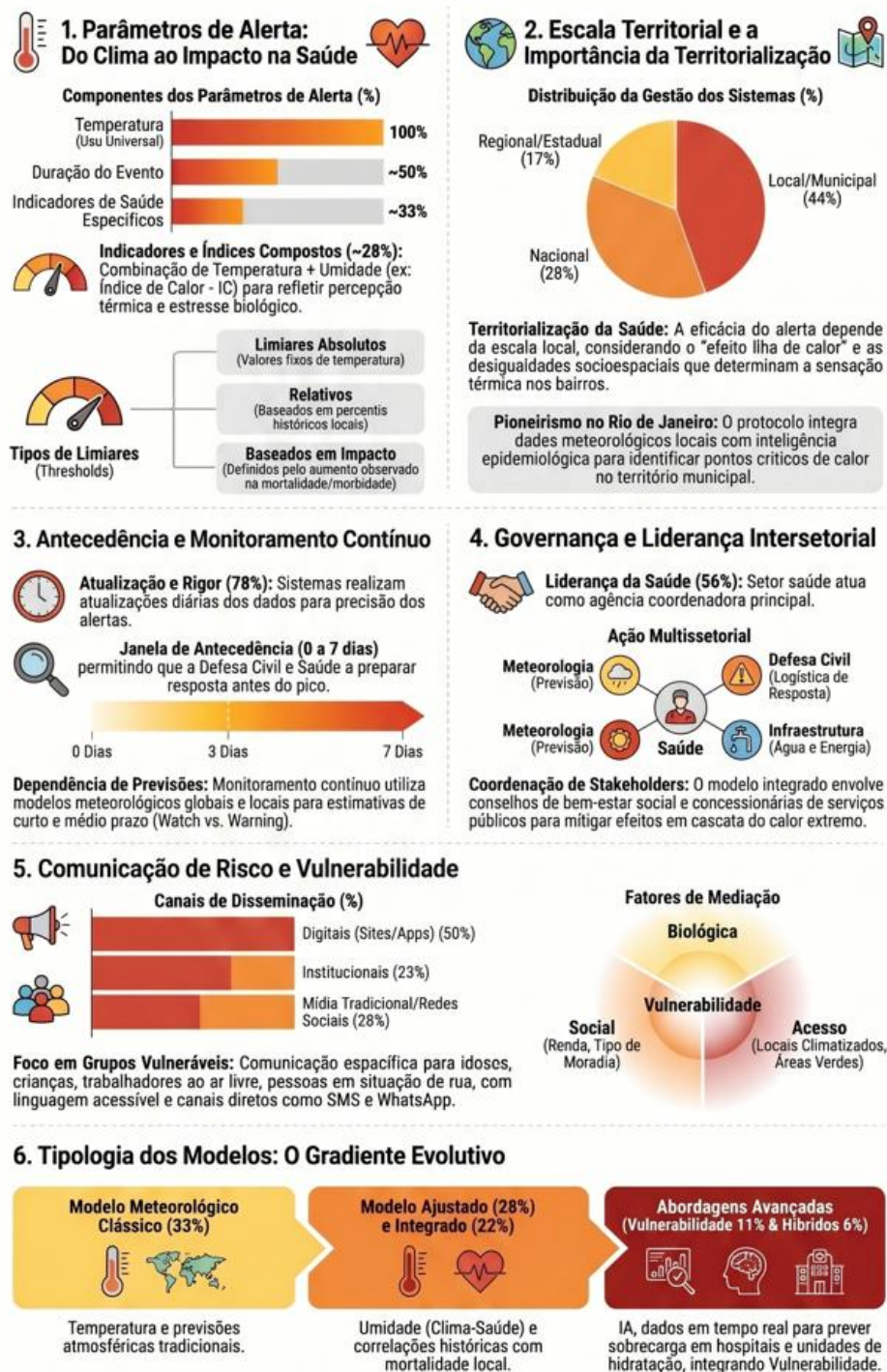
Diretrizes internacionais (WHO, 2021; OPAS) reforçam a integração entre vigilância epidemiológica, assistência e comunicação como base da resposta.

A experiência do Rio de Janeiro destaca-se por integrar monitoramento climático, dados de saúde e ações escalonadas, evidenciando avanço na territorialização da resposta (Rio de Janeiro, 2024)

Os resultados evidenciam que os sistemas de alerta para ondas de calor e saúde encontram-se em diferentes estágios de desenvolvimento, variando de modelos meteorológicos a abordagens integradas baseadas em impacto. A análise indica que a efetividade desses sistemas depende da articulação entre clima, saúde e território. Mais do que instrumentos técnicos, os sistemas de alerta configuram-se como dispositivos de gestão territorial do risco, cuja eficácia está diretamente relacionada à capacidade de reconhecer e enfrentar desigualdades socioambientais.

O aumento das ondas de calor exige uma evolução nos sistemas de alerta precoce, transitando de modelos puramente meteorológicos para sistemas de alertas integrados intersetorialmente. Essa mudança prioriza a saúde pública e a governança intersetorial, reconhecendo que a vulnerabilidade varia conforme o design urbano e a infraestrutura social, necessitando de comunicação direcionada e tecnologias de monitoramento para planos de contingência eficazes. Os principais achados da pesquisa estão sintetizados na Figura 2.

Figura 2 – Sistemas de alerta para ondas de calor e saúde: padrões globais, territorialização e modelos operacionais



Fonte: Elaborado pelos autores com base nos documentos analisados e apoio de ferramenta de inteligência artificial (NotebookLM) para síntese gráfica.

Quadro 1 – Síntese dos sistemas de alerta para ondas de calor e saúde

Dimensão	Tipologias predominantes	Exemplos	Síntese
Parâmetros	Temperatura; duração; índices; impacto em saúde	Índia, França, Reino Unido, Canadá, Brasil	Evolução de modelos meteorológicos para sistemas baseados em impacto
Escala territorial	Nacional; regional; local (predominante)	Índia, Austrália, Rio de Janeiro, Ahmedabad	Efetividade depende da territorialização e adaptação às desigualdades
Temporalidade	Monitoramento contínuo; previsão de curto prazo (0–7 dias)	Reino Unido, Austrália, EUA	Antecedência condiciona capacidade de resposta em saúde
Modelos operacionais	Determinístico; probabilístico; misto (predominante)	França, Canadá, Reino Unido	Integração entre dados observados e previsão melhora a resposta
Governança	Saúde; meteorologia; intersetorial	França, Índia, Austrália, Brasil	Sistemas eficazes dependem de coordenação intersetorial
Comunicação	Multicanal; segmentada; institucional	Reino Unido, Índia, Chile, Canadá	Comunicação acessível é central para proteção de vulneráveis
Resposta	Protocolos escalonados por níveis de alerta	França, Índia, Brasil, Karachi	Integra vigilância, assistência e proteção social

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos documentos analisados

No campo da geografia da saúde, essa evidência reforça que os impactos das ondas de calor são socialmente produzidos e espacialmente diferenciados, exigindo respostas igualmente territorializadas, intersetoriais e orientadas pela equidade.

DISCUSSÃO

A concentração geográfica dos sistemas de alerta em regiões como Europa, América do Norte e partes da Ásia evidencia desigualdades estruturais na capacidade de resposta aos riscos climáticos, refletindo assimetrias históricas em infraestrutura de dados, governança e organização dos sistemas de saúde. Do ponto de vista da aplicabilidade, essa concentração limita a transferibilidade direta dos modelos para regiões como América Latina e África, onde contextos socioambientais e padrões de vulnerabilidade são distintos. A literatura aponta que sistemas eficazes devem ser territorialmente adaptados, incorporando determinantes locais de exposição e vulnerabilidade (Kovats; Hajat, 2008). Ademais, a ausência de estudos sistematizados para a América do Sul reforça a necessidade de produção de conhecimento regional, especialmente para subsidiar políticas públicas no Brasil, onde a intensificação das ondas de calor já impacta a morbimortalidade e a demanda por serviços de saúde. Nesse contexto, a geografia da saúde oferece um referencial analítico essencial ao evidenciar como a distribuição desigual de recursos e condições socioespaciais condiciona tanto a exposição quanto a capacidade de resposta.

A predominância da temperatura como variável central nos sistemas analisados demonstra sua relevância como indicador de risco, porém a incorporação de variáveis adicionais — como duração do evento, índices biometeorológicos e indicadores de saúde — revela avanços na direção de modelos baseados em impacto. Do ponto de vista da aplicabilidade, sistemas que integram dados epidemiológicos tendem a apresentar maior capacidade preditiva e relevância operacional, permitindo acionar respostas proporcionais ao risco real à saúde (WHO, 2021). A literatura evidencia que os efeitos do calor não são lineares e dependem de limiares específicos, variáveis conforme o contexto climático e populacional (Kovats; Hajat, 2008). Assim, a definição de parâmetros deve considerar não apenas condições meteorológicas, mas também características demográficas, epidemiológicas e socioambientais, reforçando a importância de abordagens territorializadas e interdisciplinares.

A predominância de sistemas locais indica que a efetividade dos alertas depende da capacidade de adaptação às especificidades territoriais. Em termos de aplicabilidade, sistemas operados em escala municipal ou metropolitana tendem a ser mais sensíveis às variações intraurbanas de temperatura e às desigualdades socioespaciais, como a presença de ilhas de calor, padrões de ocupação e acesso a serviços. A evidência internacional demonstra que a vulnerabilidade ao calor é profundamente influenciada por fatores como habitação, infraestrutura urbana e redes de apoio social (WHO, 2021). Nesse sentido, a geografia da saúde contribui ao evidenciar que o risco térmico não é homogêneo, sendo mediado por processos territoriais que exigem respostas igualmente diferenciadas. Sistemas nacionais são fundamentais para coordenação e diretrizes, mas sua eficácia depende da capacidade de tradução em ações locais.

A atualização diária e a antecedência de curto prazo observadas nos sistemas analisados são coerentes com a dinâmica dos eventos extremos de calor, que exigem monitoramento contínuo e respostas rápidas. No entanto, a aplicabilidade desses sistemas depende da capacidade institucional de transformar previsões em ações concretas. A literatura indica que a antecipação é um fator crítico para reduzir impactos à saúde, permitindo a mobilização de serviços e a adoção de medidas preventivas (WHO, 2021). Contudo, a efetividade dessa antecipação está condicionada à integração entre sistemas de informação, serviços de saúde e estratégias de comunicação. Em contextos com limitações estruturais, a simples emissão de alertas pode não ser suficiente para produzir efeitos concretos, evidenciando a necessidade de articulação institucional.

A predominância de modelos probabilísticos e mistos reflete o avanço técnico na modelagem de riscos, permitindo maior precisão na previsão de eventos críticos. No entanto, sua aplicabilidade depende da disponibilidade de dados e da capacidade analítica dos sistemas de saúde. Modelos mais complexos tendem a ser mais eficazes, mas também mais exigentes em termos de infraestrutura e governança. A literatura indica que sistemas baseados apenas em limiares fixos apresentam limitações na captura de variações contextuais e impactos reais à saúde (WHO, 2021). Assim, a escolha do modelo deve equilibrar sofisticação técnica e viabilidade operacional, especialmente em países de média renda. A geografia da saúde contribui ao destacar a importância da integração entre dados ambientais e sociais na modelagem do risco.

A diversidade de arranjos institucionais evidencia que a governança dos sistemas de alerta é um fator determinante para sua efetividade. Sistemas coordenados pelo setor saúde tendem a apresentar maior integração com ações de vigilância e assistência, enquanto modelos centrados na meteorologia ou defesa civil podem ter maior capacidade de previsão, mas menor articulação com o cuidado. A literatura aponta que a governança intersetorial é condição essencial para a implementação de planos de ação eficazes (WHO, 2021). Do ponto de vista da aplicabilidade, isso implica a necessidade de mecanismos institucionais que articulem diferentes setores e escalas de gestão. A geografia da saúde reforça essa perspectiva ao considerar o território como espaço de integração entre políticas públicas e determinantes sociais.

A comunicação de risco emerge como elemento central para a efetividade dos sistemas de alerta, pois traduz informações técnicas em orientações compreensíveis e acionáveis pela população. No entanto, a literatura evidencia que a eficácia das estratégias comunicacionais depende da adequação aos contextos sociais e culturais, bem como do acesso desigual à informação (WHO, 2021). Estudos indicam que, embora os sistemas reduzam mortalidade, sua capacidade de alterar comportamentos ainda é limitada. Assim, a aplicabilidade dessas estratégias requer abordagens inclusivas, que considerem vulnerabilidades sociais e desigualdades digitais. A geografia da saúde contribui ao evidenciar a importância das redes territoriais de comunicação e das dinâmicas locais de acesso à informação.

A existência de protocolos escalonados de resposta representa um avanço na operacionalização dos sistemas de alerta, permitindo a articulação entre diferentes níveis de risco e ações específicas. Do ponto de vista da aplicabilidade, esses protocolos são fundamentais para orientar a atuação dos serviços de saúde, especialmente em contextos de sobrecarga assistencial. A literatura demonstra que ondas de calor podem levar ao colapso de serviços de saúde, como observado em eventos históricos (Kovats; Hajat, 2008). Assim, a definição clara de responsabilidades e ações é essencial para reduzir impactos. A geografia da saúde reforça a necessidade de considerar as capacidades locais dos serviços e as desigualdades territoriais na implementação dessas respostas.

No contexto brasileiro, a implementação de sistemas de alerta para ondas de calor apresenta elevada relevância estratégica, especialmente diante da intensificação dos eventos extremos e de suas

implicações para a saúde pública. O SUS, pela sua capilaridade e princípio da universalidade, possui potencial para atuar como eixo estruturante na gestão de riscos associados ao calor extremo. No entanto, a ausência de um sistema nacional integrado de alerta limita a capacidade de antecipação e resposta.

O Plano AdaptaSUS reconhece o calor extremo como risco emergente, destacando a necessidade de fortalecer a vigilância em saúde ambiental, integrar dados climáticos e epidemiológicos e desenvolver sistemas de alerta precoce. A literatura internacional indica que sistemas eficazes podem reduzir mortalidade e demanda por serviços, especialmente quando articulados a ações de saúde pública e proteção social (WHO, 2021).

Sob a perspectiva da gestão de riscos de emergência em saúde pública, os sistemas de alerta devem ser compreendidos como instrumentos estruturantes, capazes de subsidiar decisões, orientar ações intersetoriais e reduzir vulnerabilidades. A geografia da saúde assume papel central nesse processo, ao permitir a identificação de áreas de maior risco, a análise de desigualdades socioespaciais e a definição de estratégias territorializadas. Assim, a adaptação do SUS às mudanças climáticas passa necessariamente pela incorporação desses sistemas, articulando ciência, território e política pública na proteção da saúde da população.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise desenvolvida evidenciou que os sistemas de alerta para ondas de calor e saúde constituem instrumentos estratégicos de adaptação às mudanças climáticas, com potencial significativo para reduzir impactos sobre a morbimortalidade e sobre a demanda por serviços de saúde. Os achados demonstram que tais sistemas são mais eficazes quando estruturados a partir de modelos integrados que articulam dados meteorológicos, epidemiológicos e socioambientais, associados a estratégias de comunicação de risco e protocolos operacionais claros. Observou-se, ainda, que a efetividade desses sistemas depende fortemente de sua adaptação às especificidades territoriais, incluindo padrões de vulnerabilidade, características urbanas e capacidades institucionais locais. No entanto, persistem lacunas importantes, especialmente no que se refere à escassez de evidências provenientes de países da América do Sul e à limitada integração entre sistemas de alerta e políticas públicas de saúde, o que restringe sua plena operacionalização.

No campo das políticas públicas, os resultados reforçam a centralidade dos sistemas de alerta como componente estruturante das estratégias de adaptação do setor saúde à mudança do clima. Sua implementação deve ser compreendida não apenas como ferramenta técnica, mas como parte de um arranjo institucional mais amplo, que envolve governança intersetorial, fortalecimento da vigilância em saúde e integração com políticas urbanas, ambientais e de proteção social. No contexto brasileiro, a incorporação desses sistemas no âmbito do SUS apresenta elevada relevância, sobretudo diante da necessidade de antecipar riscos, otimizar a alocação de recursos e reduzir desigualdades em saúde. A articulação com instrumentos como o Plano AdaptaSUS e com políticas territoriais é fundamental para garantir respostas coordenadas e eficazes frente aos eventos extremos.

A urgência dessa agenda é amplificada pelo contexto da emergência climática, caracterizado pelo aumento da frequência, intensidade e duração das ondas de calor, com impactos crescentes sobre populações vulneráveis e sistemas de saúde. Evidências indicam que, sem medidas de adaptação robustas, os efeitos do calor extremo tendem a se intensificar nas próximas décadas, agravando desigualdades socioespaciais e pressionando ainda mais os serviços de saúde. Nesse cenário, a inação ou a implementação fragmentada de estratégias de resposta pode resultar em perdas evitáveis de vidas e em sobrecarga dos sistemas assistenciais, reforçando a necessidade de respostas estruturadas, baseadas em evidências e orientadas pelo princípio da equidade.

Por fim, destaca-se a necessidade de avançar em uma agenda de pesquisa que amplie o conhecimento sobre sistemas de alerta em contextos de média e baixa renda, com especial atenção à América Latina. São prioritários estudos que avaliem a efetividade desses sistemas em diferentes realidades territoriais, investiguem a integração com serviços de saúde e explorem abordagens inovadoras que incorporem dados em tempo real, modelagem espacial e participação social. Adicionalmente, é fundamental aprofundar a análise das dimensões socioespaciais do risco térmico, fortalecendo o diálogo com a geografia da saúde e contribuindo para o desenvolvimento de estratégias territorializadas de adaptação. Essa agenda deve também contemplar avaliações de custo-efetividade, barreiras institucionais e mecanismos de governança, de modo a subsidiar a formulação de políticas públicas mais robustas e resilientes frente aos desafios impostos pela mudança do clima.

REFERÊNCIAS

- ARGENTINA. SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL. **Sistema de Alerta Temprana por Olas de Calor y Salud (SAT-OCS)**. Buenos Aires: SMN, [s.n.]. Disponível em: <https://repositorio.smn.gob.ar/handle/20.500.12160/772>. Acesso em: 12 maio 2025.
- AUSTRALIA BUREAU OF METEOROLOGY. **Thermal Comfort Observations**. [Melbourne]: BOM, 2018. Disponível em: http://www.bom.gov.au/info/thermal_stress/. Acesso em: 04 jun. 2025.
- BELGIQUE. Service Public Fédéral Santé publique, Sécurité de la Chaîne alimentaire et Environnement. **Plan forte chaleur et ozone fédéral 2019**. Bruxelles: SPF, 2019. Disponível em: <https://www.health.belgium.be>. Acesso em: 22 mar. 2025.
- BUENOS AIRES (Cidade). **Climate Action Plan 2050: City of Buenos Aires**. Buenos Aires: Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2021. Disponível em: <https://www.smn.gob.ar>. Acesso em: 18 abr. 2025.
- CANADA. Health Canada. **Heat Alert and Response Systems to Protect Health: Best Practices Guidebook**. Ottawa: Health Canada, 2012. Disponível em: <https://www.canada.ca>. Acesso em: 30 maio 2025.
- CASANUEVA, A. et al. **Overview of existing Heat-Health Warning Systems in Europe**. International Journal of Environmental Research and Public Health, Basel, v. 16, n. 15, p. 2657, 2019.
- CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION (CDC). **Heat & Health Tracker**. Atlanta: CDC, 2025. Disponível em: <https://ephtracking.cdc.gov>. Acesso em: 02 abr. 2025.
- EBI, K. L. et al. **Hot weather and heat extremes: health risks**. The Lancet, v. 398, n. 10301, p. 698–708, 2021.
- ESPAÑA. Ministerio de Sanidad. **Plan Nacional de Actuaciones Preventivas de los Efectos del Exceso de Temperaturas sobre la Salud**. Madrid: Ministerio de Sanidad, 2021. Disponível em: <https://ghhin.org>. Acesso em: 27 mar. 2025.
- FRANCE. Ministère des Solidarités et de la Santé. **Instruction Interministérielle relative au Plan National Canicule 2017**. Paris: Santé Gouv, 2017. Disponível em: <https://sante.gouv.fr>. Acesso em: 09 jun. 2025.
- GURGEL, H. da C. et al. **Relatório Parcial – Projeto Indicadores Espaciais e Sistema de Alerta para Ondas de Calor para a Saúde Pública nas Regiões Metropolitanas Brasileiras**. Brasília: Universidade de Brasília, 2025.
- INDIA. National Centre for Disease Control. **National Action Plan on Heat Related Illnesses**. New Delhi: Ministry of Health and Family Welfare, 2021. Disponível em: <https://ncdc.mohfw.gov.in>. Acesso em: 20 abr. 2025.
- INDIA. National Disaster Management Authority. **National Guidelines on Preparation of Action Plan: Prevention and Management of Heat Wave**. New Delhi: NDMA, 2019. Disponível em: <https://nidm.gov.in>. Acesso em: 14 maio 2025.
- IPCC. **Climate Change 2023: Synthesis Report, Summary for Policymakers**. Geneva: IPCC, 2023. Disponível em: <https://www.ipcc.ch>. Acesso em: 12 maio 2025.
- JAPAN. Ministry of the Environment. **Wet Bulb Globe Temperature (WBGT)**. Tokyo: MOE, [s.d.]. Disponível em: <https://www.wbgt.env.go.jp>. Acesso em: 05 jun. 2025.
- LI, T. et al. **Mortality risks associated with high and low ambient temperature: a multi-country study**. The Lancet, London, v. 386, n. 9991, p. 369–375, 2015.
- LÖHMUS, M. **Possible biological mechanisms linking air pollution and climate change to mental health**. International Journal of Environmental Research and Public Health, Basel, v. 15, n. 11, p. 2476, 2018.
- LOWE, D.; EBI, K. L.; FORSBERG, B. **Heatwave early warning systems and adaptation advice to reduce human health consequences of heatwaves**. International Journal of Environmental Research and Public Health, Basel, v. 8, n. 12, p. 4623–4648, 2011.

MASON, L. D. et al. **The Excess Heat Factor as a metric for heat-related health risk in Australia.** Environmental Health, London, v. 21, n. 1, p. 1–13, 2022.

OPAS. **Olas de calor: guía para acciones basadas en la salud.** Washington, D.C.: OPAS, 2021.
<https://doi.org/10.37774/9789275324080>

PAKISTAN (Karachi). **Karachi Heatwave Management Plan: A Guide to Planning and Response.** Karachi, 2017. Disponível em: <http://www.lead.org.pk>. Acesso em: 02 fev. 2021.

PORTUGAL. Direção-Geral da Saúde. **Plano de contingência para ondas de calor 2010.** Lisboa: DGS, 2010.

RIO DE JANEIRO (Cidade). Secretaria Municipal de Saúde. **Plano de Contingência para Enfrentamento do Calor Extremo no Município do Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro: SMS, 2024. Disponível em: <https://epirio.svs.rio.br>. Acesso em: 25 abr. 2025.

SANTOS, Milton. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção.** São Paulo: Hucitec, 1996.

SONG, X. et al. **Impact of ambient temperature on morbidity and mortality.** Environmental Health Perspectives, v. 125, n. 6, p. 067002, 2021.

SOUTH AFRICA. National Department of Health. **South Africa National Heat Health Action Guidelines.** Pretoria, 2020. Disponível em: <https://ghhin.org>. Acesso em: 15 mar. 2025.

TURNER, L. R.; CONNELL, D.; TONG, S. **The effect of heat waves on ambulance attendances in Brisbane, Australia.** Prehospital and Disaster Medicine, v. 28, n. 5, p. 482–487, 2013.

UNDRR; WMO. **Global Status of Multi-Hazard Early Warning Systems: Target G.** Geneva: UNDRR, 2023. Disponível em: <https://www.undrr.org>. Acesso em: 12 maio 2025.

UNITED KINGDOM. UK Health Security Agency. **Weather-Health Alerting System User Guide.** London: UKHSA, 2024. Disponível em: <https://www.gov.uk>. Acesso em: 16 mar. 2025.

UNITED STATES. National Oceanic and Atmospheric Administration. **Heat Watch/Warning/Advisory Products.** Silver Spring: NOAA, 2024. Disponível em: <https://www.weather.gov>. Acesso em: 03 maio 2025.

WONDMAGEGN, M. et al. **The impact of heatwaves on public health and emergency services.** International Journal of Disaster Risk Reduction, v. 39, 101224, 2019.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Heat-health action plans: guidance.** Copenhagen: WHO, 2021. Disponível em: <https://iris.who.int>. Acesso em: 28 abr. 2025.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). **Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development.** Geneva: WMO, 2015. Disponível em: <https://library.wmo.int>. Acesso em: 01 jun. 2025.