

Vigilância em doenças tropicais e práticas de enfermagem na Amazônia: modelagem climática e inovações científicas para a saúde em tempos de mudanças globais

Tropical disease surveillance and nursing practices in the Amazon: climate modeling and scientific innovations for health in times of global change

Amauri Mesquita de Sousa¹ , Marcos Vinicius Afonso Cabral² , José Augusto Carvalho de Araújo² 

¹ Universidade Norte do Paraná, Castanhal, Pará, Brasil

² Universidade do Estado do Pará, Centro de Ciências Naturais e Tecnologia, Belém, Pará, Brasil



RESUMO

OBJETIVO: Sintetizar as evidências científicas sobre a aplicação da modelagem climática na vigilância de doenças tropicais na Amazônia, com ênfase no papel da enfermagem, visando compreender como os avanços tecnológicos podem ser traduzidos em práticas de cuidado territorializadas e humanizadas. **MATERIAIS E MÉTODOS:** Seguindo as diretrizes PRISMA, foram analisados 48 estudos publicados entre 2013 e 2023, recuperados das bases PubMed, Scopus, Web of Science, LILACS e SciELO, utilizando combinações de descritores relacionados a clima, doenças tropicais e enfermagem. A qualidade metodológica foi avaliada por ferramentas como a Newcastle–Ottawa Scale e o JBI Critical Appraisal Checklist. **RESULTADOS:** Os achados revelaram que a maioria das pesquisas concentrou-se em malária (45,8%), dengue (29,2%) e leishmaniose (16,7%), utilizando predominantemente variáveis climáticas como temperatura e precipitação. Apenas 18,8% dos estudos descreveram intervenções de enfermagem baseadas em evidências climáticas, destacando-se protocolos de notificação ampliada e educação comunitária. Barreiras significativas incluíram a fragmentação dos sistemas de vigilância (56,3%), a escassa capacitação profissional (39,6%) e a desconexão entre modelos preditivos e realidades locais. **CONCLUSÃO:** Apesar do potencial da modelagem climática para antecipar cenários de risco, sua integração à prática de enfermagem na Amazônia permanece incipiente, exigindo abordagens transdisciplinares que articulem precisão científica, saberes tradicionais e equidade em saúde. Recomenda-se o desenvolvimento de ferramentas participativas, a formação crítica de profissionais e políticas públicas sensíveis às diversidades socioculturais da região, garantindo que as inovações tecnológicas fortaleçam, e não substituam, o cuidado humanizado em contextos de vulnerabilidade.

Palavras-chave: Vigilância em saúde pública; Enfermagem; Mudança climática; Ecossistema Amazônico; Saúde pública; Epidemiologia.

ABSTRACT

OBJECTIVE: To synthesize scientific evidence on the application of climate modeling in the surveillance of tropical diseases in the Amazon, with emphasis on the role of nursing, seeking to understand how technological advances can be translated into territorialized and humanized care practices. **MATERIALS AND METHODS:** Following PRISMA guidelines, 48 studies published between 2013 and 2023 were analyzed, retrieved from PubMed, Scopus, Web of Science, LILACS, and SciELO databases, using combinations of descriptors related to climate, tropical diseases, and nursing. Methodological quality was assessed using tools such as the Newcastle–Ottawa Scale and the JBI Critical Appraisal Checklist. **RESULTS:** The findings revealed that most studies focused on malaria (45.8%), dengue (29.2%), and leishmaniasis (16.7%), predominantly using climatic variables such as temperature and precipitation. Only 18.8% of the studies described nursing interventions based on climatic evidence, highlighting expanded notification protocols and community education initiatives. Major barriers included the fragmentation of surveillance systems (56.3%), limited professional training (39.6%), and the disconnection between predictive models and local realities. **CONCLUSION:** Despite the potential of climate modeling to anticipate risk scenarios, its integration into nursing practice in the Amazon remains incipient, requiring transdisciplinary approaches that connect scientific accuracy, traditional knowledge, and health equity. The development of participatory tools, critical professional training, and public policies sensitive to the region's sociocultural diversity is recommended to ensure that technological innovations strengthen rather than replace humanized care in vulnerable contexts.

Keywords: Public Health Surveillance; Nursing; Climate Change; Amazonian Ecosystem; Public Health; Epidemiology.

Correspondência / Correspondence:

Amauri Mesquita de Sousa

Tv. Dr. Enéas Pinheiro, 2626. Bairro: Marco. CEP: 66095-015 – Belém, Pará, Brasil – Tel.: + 55 (91) 98462-2160

E-mail: amaurimesquita1904@gmail.com



INTRODUÇÃO

A Amazônia brasileira representa um dos ecossistemas mais sensíveis às mudanças climáticas globais, cenário que tem exacerbado a incidência de doenças tropicais negligenciadas na região¹. As alterações nos padrões de temperatura, umidade e precipitação criam ambientes propícios à proliferação de vetores, aumentando a carga de enfermidades como malária, dengue e leishmaniose². Nesse contexto, os sistemas tradicionais de vigilância em saúde mostram-se insuficientes para responder à complexidade desses desafios ambientais e epidemiológicos. A enfermagem, como categoria profissional mais presente nos territórios vulneráveis, enfrenta diariamente as consequências dessas lacunas na atenção à saúde. Esse cenário demanda abordagens inovadoras que integrem conhecimentos científicos avançados com práticas de cuidado territorializadas e humanizadas³.

A modelagem climática surge como ferramenta estratégica para antecipar cenários de risco e orientar políticas públicas de saúde na região amazônica⁴. Estudos recentes demonstram o potencial preditivo desses modelos para identificar áreas de maior vulnerabilidade às doenças tropicais sensíveis ao clima⁵. No entanto, há uma desconexão evidente entre a produção desses dados científicos e sua aplicação prática nos sistemas locais de vigilância e atenção à saúde. A enfermagem, com seu papel central na detecção precoce e no acompanhamento de casos, poderia ser a ponte entre esses avanços tecnológicos e as necessidades das populações amazônicas⁶. Essa integração, porém, requer revisão crítica das evidências disponíveis e adaptação às realidades socioculturais da região.

As mudanças climáticas representam não apenas uma ameaça ambiental, mas também um determinante social da saúde que amplia desigualdades históricas na Amazônia⁷. Enquanto a ciência avança no desenvolvimento de tecnologias preditivas, persiste o desafio de traduzir esses conhecimentos em ações práticas de vigilância e cuidado. A enfermagem, por sua capilaridade e relação próxima com as comunidades, possui potencial único para operacionalizar essas inovações, desde que adequadamente instrumentalizada com evidências científicas robustas^{8,9}.

A literatura existente sobre o tema encontra-se fragmentada, com estudos isolados sobre modelagem preditiva, vigilância epidemiológica e atuação da enfermagem, mas sem uma síntese crítica que articule esses conhecimentos. Há particular escassez de pesquisas que explorem como os profissionais de enfermagem podem utilizar dados climáticos para aprimorar a detecção precoce e a intervenção nas doenças tropicais. Essa lacuna justifica a necessidade de uma revisão sistemática que organize e avalie criticamente as evidências disponíveis, identificando melhores práticas e oportunidades de inovação.

O contexto amazônico impõe desafios específicos à implementação de tecnologias de vigilância

baseadas em modelagem climática, demandando abordagens sensíveis às diversidades culturais e geográficas da região¹⁰. As inovações científicas na interface clima-saúde precisam ser avaliadas quanto à sua aplicabilidade em áreas remotas, com infraestrutura limitada e populações tradicionais¹¹. A enfermagem, com seu conhecimento tácito dos territórios e sua capacidade de adaptação, emerge como ator fundamental nesse processo de tradução do conhecimento¹².

Diante desse cenário, o presente estudo tem como objetivo sintetizar as evidências científicas sobre a aplicação da modelagem climática na vigilância de doenças tropicais na Amazônia, com ênfase nas práticas inovadoras da enfermagem frente às mudanças globais.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo caracteriza-se como uma revisão sistemática conduzida segundo as diretrizes do *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (Prisma)¹³, com o objetivo de sintetizar evidências científicas sobre modelagem climática aplicada à vigilância de doenças tropicais na Amazônia, com enfoque nas práticas de enfermagem. A estratégia de busca foi desenhada para abranger artigos publicados entre 2013 e 2023 nas bases de dados Sistema Online de Busca e Análise de Literatura Médica (MEDLINE) (acesso via PubMed), Scopus, Web of Science, Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS) e Scientific Electronic Library Online (SciELO), utilizando combinações de descritores controlados (*Medical Subject Headings* (MeSH)), Descritores em Ciências da Saúde (DeCS) e palavras-chave relacionadas a: (*climate modeling OR climatic variables*) AND (*tropical diseases OR neglected diseases*) AND (*nursing OR health surveillance*) AND (*Amazon OR tropical rainforest*).

Adicionalmente, foram incluídos termos livres relacionados a inovações científicas e tecnológicas, como *technological innovation*, *digital health* e *e-health*, para capturar estudos que abordassem ferramentas ou abordagens inovadoras, mesmo que não indexados sob os descritores principais.

Para a seleção dos estudos, foram estabelecidos critérios de inclusão: (1) artigos originais ou revisões sistemáticas; (2) estudos que abordassem a aplicação de modelagem climática na vigilância de doenças tropicais; (3) pesquisas que incluíssem a atuação da enfermagem ou estratégias de vigilância em saúde aplicáveis à prática profissional; e (4) estudos realizados total ou parcialmente na região amazônica. Foram excluídos editoriais, relatos de caso e artigos sem metodologia definida.

Os dados extraídos foram organizados em uma matriz predeterminada, contendo autor, ano, desenho do estudo, objetivos, população ou área de estudo, variáveis climáticas analisadas, técnicas de modelagem utilizadas, principais resultados e contribuições para a enfermagem.

A qualidade metodológica dos estudos incluídos foi avaliada de forma independente por dois revisores, utilizando instrumentos validados internacionalmente e adaptados para contemplar as especificidades da interface clima-saúde. Para estudos observacionais, aplicou-se a escala *Newcastle–Ottawa Scale* (NOS)¹⁴, versão adaptada para estudos ecológicos e transversais, que avalia três dimensões: (i) seleção dos grupos de estudo (atribuição de até quatro estrelas); (ii) comparabilidade dos grupos (atribuição de até duas estrelas); e (iii) mensuração da exposição ou do desfecho (atribuição de até três estrelas). Estudos com pontuação ≥ 7 estrelas foram considerados de alta qualidade; 5–6 estrelas, qualidade moderada; e ≤ 4 estrelas, baixa qualidade. Para revisões sistemáticas, utilizou-se o *Joanna Briggs Institute* (JBI) *Critical Appraisal Checklist*¹⁵, que consiste em 11 itens dicotômicos (*yes/no/not applicable*), sendo estudos que atendiam a $\geq 80\%$ dos critérios classificados como de alta qualidade; 50–79%, qualidade moderada; e $< 50\%$, baixa qualidade.

Para assegurar uma recuperação abrangente e sensível da literatura pertinente, foram elaboradas estratégias de busca específicas e meticulosas para cada uma das bases de dados consultadas. Utilizaram-se combinações de descritores controlados, provenientes dos vocabulários especializados MeSH e DeCS, complementados por termos livres relevantes para a temática. Todas as estratégias foram adaptadas às particularidades sintáticas e funcionais de cada plataforma, empregando operadores booleanos (AND, OR, NOT) e truncamentos (*) para refinar a abrangência e a precisão dos resultados. As buscas abrangeram o período de janeiro de 2013 a dezembro de 2023, incluindo artigos publicados nos idiomas inglês, português e espanhol.

No PubMed/MEDLINE, a estratégia foi construída para capturar a intersecção entre os conceitos centrais do estudo. Partiu-se dos descritores MeSH mais abrangentes, como *climate change* e *meteorological factors*, combinados com termos textuais como *climate modeling* e *climatic variables*, para garantir a inclusão de estudos ainda não indexados. Para o eixo das doenças, utilizou-se o termo geral *tropical diseases* e seus específicos, *malaria*, *dengue* e *leishmaniasis*, selecionados por serem as doenças tropicais negligenciadas mais frequentes e climaticamente sensíveis na Amazônia, conforme evidenciado pela literatura prévia. Por fim, para o componente de enfermagem e vigilância, combinou-se o descritor *nursing* com *public health surveillance* e termos textuais como *health surveillance* e *nursing care*. A restrição por data e idioma foi aplicada por meio dos filtros disponíveis na plataforma.

Para a base *Scopus*, conhecida por sua ampla cobertura de literatura multidisciplinar, a estratégia foi adaptada para buscar os termos no título, resumo e palavras-chave dos artigos. A lógica booleana manteve-se similar, porém explorando a sintaxe específica da plataforma (usando *TITLE-ABS-KEY*). Incluíram-se variações de sinônimos e termos correlatos para cada conceito, como *rainfall* para precipitação

e *vector-borne diseases* para doenças tropicais, assegurando uma busca mais completa. A filtragem por período e idioma foi realizada diretamente na interface de busca avançada.

Na *Web of Science*, plataforma que indexa periódicos de alto impacto, a estratégia replicou a sensibilidade da busca realizada na *Scopus*, utilizando o campo *TS* (*Topic*), que abrange título, resumo e palavras-chave autorais. Atenção especial foi dada à inclusão de termos relacionados à Amazônia, como *Amazon rainforest* e *Amazon basin*, para contextualizar geograficamente os resultados, embora este filtro tenha sido aplicado de forma branda, a fim de incluir pesquisas metodologicamente relevantes conduzidas em outras regiões tropicais que pudessem oferecer informações transferíveis para o contexto amazônico.

Na LILACS, base essencial para a literatura latino-americana e do Caribe, a estratégia foi construída prioritariamente com os descritores extraídos do DeCS em português e espanhol. Foram também incluídos descritores nas três línguas, como: *modelagem climática*, *variáveis climáticas*, *enfermagem*, *vigilância em saúde*, *doenças negligenciadas*, *malária*, *dengue*, *leishmaniose*, *inovação tecnológica* e *saúde digital*, garantindo maior sensibilidade na captura de estudos regionais.

Por fim, na SciELO, biblioteca virtual que concentra periódicos científicos de acesso aberto, publicados por instituições da América Latina, Caribe, Espanha, Portugal e África do Sul, a estratégia priorizou uma abordagem mais simplificada, utilizando os principais termos em português, espanhol e inglês conectados pelo operador AND, com foco em capturar a produção científica local aplicada ao contexto amazônico.

Em todas as bases, os resultados iniciais foram exportados para o gerenciador de referências Rayyan, onde duplicatas foram identificadas e removidas eletronicamente antes do início do processo de triagem. A triagem inicial por título e resumo foi realizada de forma independente por dois revisores utilizando a plataforma Rayyan, com eventuais conflitos resolvidos por um terceiro revisor. A ferramenta *Parsifal* foi empregada para auxiliar no gerenciamento do fluxo de trabalho Prisma e na documentação transparente do processo de seleção, permitindo o acompanhamento sistemático das etapas de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão de estudos, conforme recomendado para revisões sistemáticas¹⁶.

Para a análise dos dados, empregou-se a síntese narrativa com abordagem temática, seguindo três etapas: (1) categorização dos estudos em eixos temáticos (aplicações da modelagem climática, desafios na integração de dados e práticas de enfermagem); (2) avaliação crítica das evidências com base em critérios predefinidos (consistência metodológica, relevância para a Amazônia e aplicabilidade na enfermagem); e (3) triangulação dos achados com literatura cinzenta, como dissertações, teses, relatórios técnicos e documentos de políticas públicas locais. A heterogeneidade metodológica, por exemplo, variação nos desenhos de estudo, métricas de impacto e

populações analisadas, impossibilitou a meta-análise, conforme recomendações do Prisma para revisões com alta diversidade de métodos¹³ optou-se, portanto, pela síntese narrativa, permitindo a integração de evidências qualitativas e quantitativas e priorizando a contextualização dos resultados à realidade amazônica.

O estudo foi conduzido com rigor ético, seguindo princípios de integridade científica. Como se trata de revisão de literatura, não houve necessidade de submissão a Comitê de Ética em Pesquisa; contudo, todos os artigos incluídos foram avaliados quanto à menção de aprovação ética em seus métodos originais. Para garantir transparência, o protocolo desta revisão foi registrado na plataforma PROSPERO sob o número CRD420251077463¹⁷, e todo o processo de seleção e análise foi documentado em fluxograma Prisma, detalhando as razões para exclusão de estudos.

Os limites do método incluem possíveis vieses de publicação, dada a escassez de estudos sobre enfermagem nesse contexto específico e a restrição a artigos em inglês, português e espanhol. Para mitigar essas limitações, realizou-se busca manual nas referências dos artigos selecionados e consulta a especialistas da área.

RESULTADOS

A busca sistemática nas bases de dados identificou 1.235 registros, sendo 482 duplicados. Após triagem por título e resumo, 187 artigos foram selecionados para leitura na íntegra, dos quais 48 atenderam aos critérios de inclusão e compuseram a análise final (Quadro suplementar S1). A maioria dos estudos (32; 66,7%) foi publicada entre 2018 e 2023, com predominância de desenhos observacionais (35; 72,9%), seguidos por modelos preditivos (9; 18,8%) e revisões sistemáticas (4; 8,3%).

O fluxograma (Figura 1) detalha o processo de seleção dos estudos, no qual 566 registros foram excluídos durante a etapa de triagem por título e resumo. O principal motivo foi a desconformidade com o escopo geográfico da revisão, com 212 estudos eliminados por abordarem outras regiões tropicais sem

apresentar dados transferíveis ou aplicabilidade direta ao contexto amazônico. Adicionalmente, 187 trabalhos foram excluídos por não estabelecerem vínculo entre a modelagem climática e as práticas de vigilância em saúde ou de enfermagem, limitando-se a aspectos puramente climatológicos ou ecológicos.

Outros 98 registros correspondiam a formatos não elegíveis, como editoriais, revisões narrativas não sistemáticas ou relatos de caso, que não atendiam aos critérios de desenho de estudo estabelecidos. Por fim, 69 estudos foram removidos por abordarem doenças fora do escopo, como enfermidades não tropicais ou tropicais não negligenciadas, sem alinhamento ao objeto de investigação. Esse processo de triagem assegurou que apenas a literatura mais pertinente e metodologicamente robusta avançasse para a fase de leitura na íntegra, garantindo a validade interna dos resultados e sua relevância para o tema central da revisão.

Quanto às variáveis climáticas analisadas, 29 estudos (60,4%) utilizaram dados de temperatura, 25 (52,1%) de precipitação e 18 (37,5%) de umidade relativa do ar. Sete artigos (14,6%) incorporaram indicadores de desmatamento ou mudanças no uso do solo. Os modelos mais frequentes foram de regressão logística (15; 31,3%), sistemas de informação geográfica (SIG) (12; 25%) e aprendizado de máquina (6; 12,5%). A Tabela 1 resume as técnicas de modelagem por doença investigada, destacando-se malária (22; 45,8%), dengue (14; 29,2%) e leishmaniose (8; 16,7%).

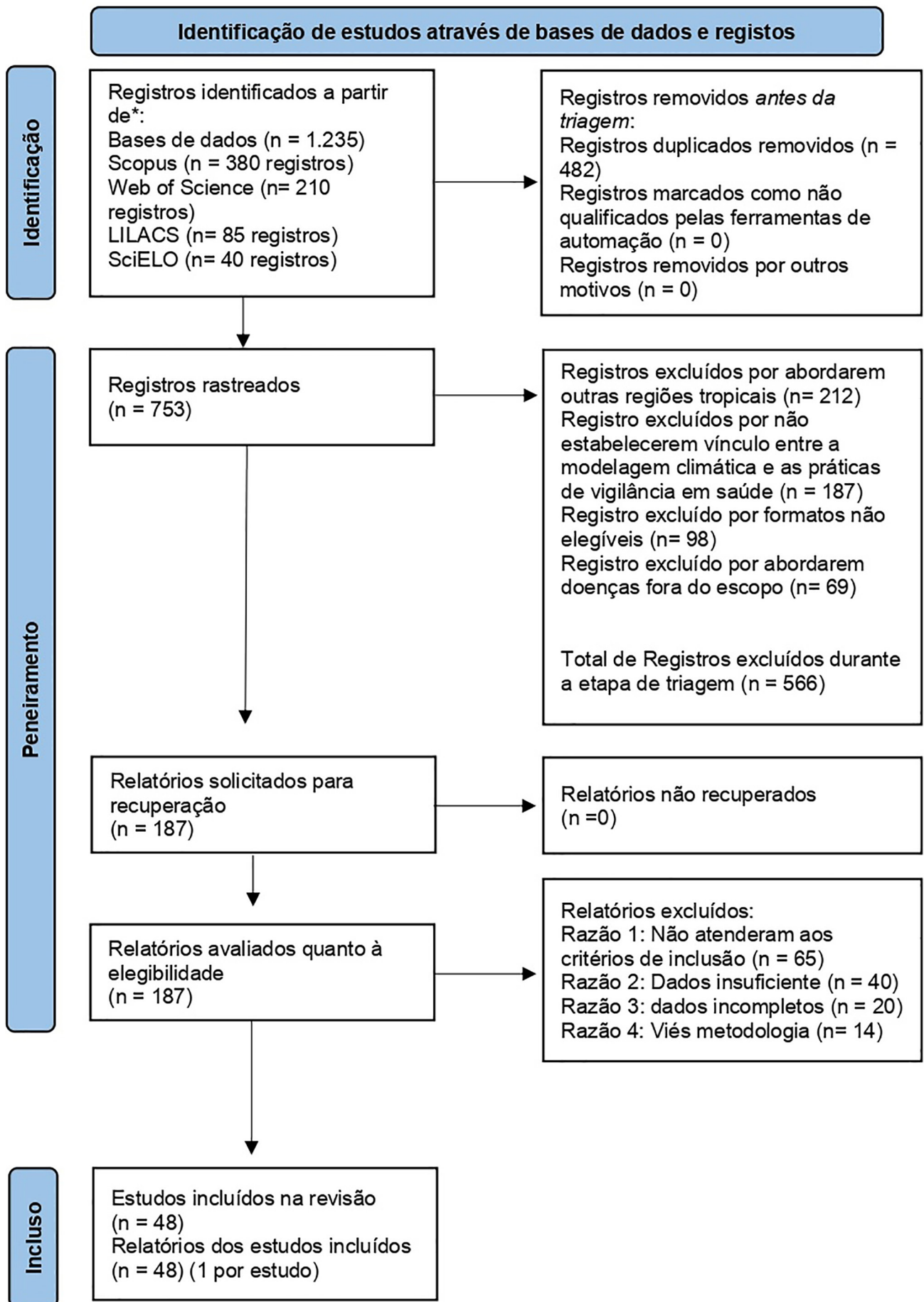
Sobre a integração com a vigilância em saúde, apenas 11 estudos (22,9%) descreveram sistemas operacionais que vinculavam dados climáticos a alertas epidemiológicos. Dentre esses, seis (54,5%) mencionaram a participação de profissionais de enfermagem na coleta ou interpretação dos dados, porém sem detalhamento das ações específicas.

As barreiras mais frequentemente relatadas nos 48 estudos analisados foram: fragmentação de bancos de dados (27; 56,3%), deficiência em capacitação técnica (19; 39,6%) e baixa resolutividade dos alertas (14; 29,2%).

Tabela 1 – Técnicas de modelagem climática por doença tropical investigada nos estudos incluídos

Doença Tropical	Estudos N (%)	Variáveis Climáticas Principais (N)	Técnicas de Modelagem (N)
Malária	22 45,8%	Temperatura (18), Precipitação (16), Umidade (12)	Regressão logística (9), SIG (7), Aprendizado de máquina (3)
Dengue	14 29,2%	Temperatura (11), Precipitação (9), Desmatamento (4)	Séries temporais (5), SIG (4), Redes neurais (2)
Leishmaniose	8 16,7%	Umidade (6), Temperatura (5)	Bayesianos (3), Regressão logística (3)
Outras	4 8,3%	Precipitação (3)	Análise de clusters (2)

SIG: sistemas de informação geográfica



Fonte: Elaborado pelos autores. Adaptado de Page et al.¹³

Figura 1 – Fluxograma Prisma da seleção de estudos

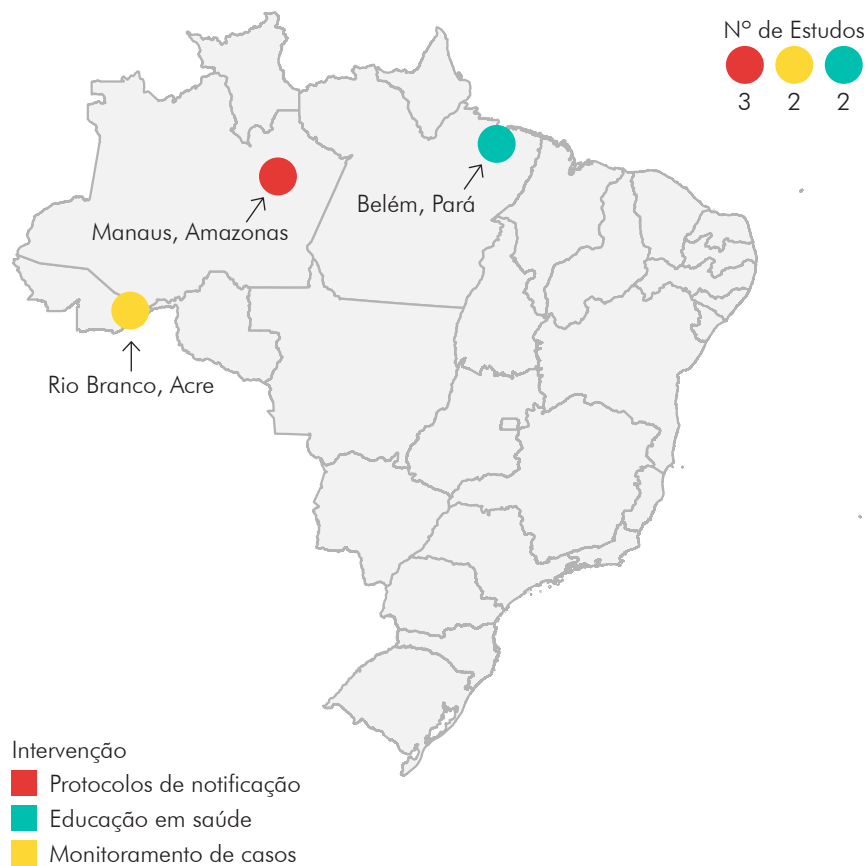


Figura 2 – Distribuição geográfica das intervenções de enfermagem baseadas em evidências climáticas na Amazônia

Quanto às práticas de enfermagem, nove artigos (18,8%) descreveram intervenções baseadas em evidências climáticas, sendo: protocolos de notificação ampliada (4), educação em saúde com comunidades (3) e monitoramento de casos suspeitos (2). Desses, sete estudos forneceram localização geográfica definida, cuja distribuição é ilustrada na Figura 2, com concentração em Manaus (3), Belém (2) e áreas rurais do Acre (2). Os demais estudos (39; 81,3%) limitaram-se a recomendar a inclusão da enfermagem em futuras estratégias, sem apresentar resultados concretos.

No contexto das inovações tecnológicas aplicadas à enfermagem, sete estudos (14,6%) avaliaram ferramentas digitais, incluindo aplicativos de notificação baseados em previsões climáticas (3), plataformas de telemonitoramento de sintomas (2) e modelos espaço-temporais de risco com alertas para unidades básicas (2) (Tabela 2).

A avaliação metodológica, sintetizada na Tabela 2, revelou que 31 artigos (64,6%) apresentaram alto risco de viés, com limitações frequentes de representatividade amostral (23) e ajuste insuficiente para covariáveis (17), enquanto apenas cinco estudos (10,4%) atenderam integralmente aos critérios de rigor metodológico (NOS/JBI).

DISCUSSÃO

O estudo revelou um cenário complexo e multifatorial sobre a relação entre mudanças climáticas, doenças sensíveis ao clima e práticas de enfermagem na Amazônia. Os estudos analisados demonstram que enfermidades como malária, dengue e leishmaniose são fortemente influenciadas por variáveis ambientais, como temperatura, precipitação e umidade relativa do ar^{18,19,20}. Essa correlação é intensificada por eventos climáticos extremos, como *El Niño* e *La Niña*, que alteram os padrões de transmissão dessas doenças²¹.

A leishmaniose, por exemplo, tem apresentado expansão territorial em áreas de baixa endemicidade, inclusive fora da Amazônia, como discutido por Curtin e Aronson²². No Brasil, Mendes et al.²³ destacam o impacto direto das mudanças climáticas sobre a incidência da doença, reforçando a necessidade de estratégias de vigilância adaptadas às novas realidades ambientais. Já a doença de Chagas, embora menos abordada, é influenciada por fatores socioambientais na Amazônia, como apontado por Cabral et al.²⁴, ampliando o escopo das doenças tropicais sensíveis ao clima.

Apesar da relevância desses achados, observa-se uma lacuna significativa na valorização da atuação da enfermagem frente aos desafios climáticos. Estudos

como os de Lima et al.²⁵ e Ferreira et al.²⁶ evidenciam o papel estratégico dos agentes comunitários de saúde e dos profissionais de enfermagem na construção de respostas locais, especialmente em territórios vulneráveis. No entanto, a maioria das pesquisas ainda sub-representação esses profissionais, negligenciando sua contribuição para a vigilância epidemiológica e o cuidado adaptado às mudanças ambientais, como apontam Machado et al.²⁷ e Silva e Machado²⁸.

Outro aspecto pouco explorado é o potencial das tecnologias emergentes para apoiar o trabalho da enfermagem e fortalecer os sistemas de saúde. A aplicação de inteligência artificial e aprendizado de máquina para o diagnóstico de arboviroses é promissora, como demonstrado por da Silva Neto et al.²⁹. Iniciativas como o aplicativo *Saúde-Pará*³⁰ e os esforços da Fiocruz em Manaus³¹ exemplificam como a inovação pode ser aliada da vigilância hospitalar e comunitária. No entanto, como alertam Cristóvam e Sousa³² e Bezerra et al.³³, é necessário cuidado para que essas tecnologias não reproduzam lógicas de colonialidade digital e epistemológica.

Quando se contrastam as inovações tecnológicas identificadas neste estudo, majoritariamente aplicativos de notificação e plataformas de telemonitoramento em fase inicial com o cenário global de saúde digital, evidencia-se um significativo potencial de avanço para a enfermagem na Amazônia³⁴. Estudos realizados em outras regiões endêmicas demonstram que a integração de sistemas de alerta precoce baseados em inteligência artificial com a atuação de enfermeiros na atenção primária pode otimizar a alocação de recursos e antecipar respostas a surtos³⁵. Da mesma forma, ferramentas de apoio à decisão clínica, que processam dados climáticos em tempo real e os traduzem em

recomendações para a prática, têm se mostrado eficazes para aprimorar a vigilância de doenças sensíveis ao clima em contextos de poucos recursos³⁶.

No entanto, a literatura também alerta para desafios comuns à implantação dessas inovações em regiões como a Amazônia, como a conectividade irregular, a baixa alfabetização digital de parte da população e dos profissionais, e a necessidade de treinamento contínuo³⁷. Portanto, a adoção de tecnologias na região deve ser pautada por modelos escaláveis, de baixo custo e de fácil apropriação pela comunidade e pelos profissionais de enfermagem, evitando a simples transposição de soluções de contextos distintos³⁸.

A interface entre saúde, clima e território também demanda abordagens intersetoriais. Abreu et al.³⁹ discutem como o uso do solo e as transformações ambientais impactam diretamente a saúde das populações amazônicas. A atuação da enfermagem nesse contexto exige práticas culturalmente sensíveis e integradas aos saberes tradicionais, como propõem Pereira de Araújo et al.⁴⁰. A tradução do conhecimento científico para a prática cotidiana é essencial para fortalecer a resposta em saúde, como defendem Lorenzini e Schmidt⁴¹.

Além disso, a migração e a mobilidade populacional representam fatores de risco adicionais. Agudelo Higuaita et al.⁴² alertam para a propagação de malária resistente à cloroquina entre migrantes em trânsito pela América Central, evidenciando a necessidade de vigilância transfronteiriça. A análise temporal da leptospirose em áreas urbanas sujeitas a inundações⁴³ e os impactos das queimadas sobre problemas respiratórios⁴⁴ reforçam a urgência de integrar saúde ambiental e vigilância epidemiológica.

Tabela 2 – Características das inovações tecnológicas em enfermagem e avaliação da qualidade metodológica dos estudos incluídos

Categoria	Subcategoria	Estudos (N)	Principais achados/limitações
Ferramentas digitais	Aplicativos climáticos	3	Alertas para surtos baseados em dados meteorológicos
	Telemonitoramento de sintomas	2	Redução de visitas hospitalares para crônicos
	Modelos de risco espaço-temporal	2	Otimização de recursos em atenção primária
Qualidade metodológica	Alto risco de viés	31	Estudos com limitações metodológicas que comprometem a validade
	Amostras não representativas	23	Validade externa comprometida
	Falta de ajuste para covariáveis	17	Viés de confusão não controlado
	Rigor científico pleno	5	Pontuação ≥ 8 (NOS) ou atendimento a $\geq 80\%$ dos critérios JBI

NOS: Newcastle-Ottawa Scale; JBI: Joanna Briggs Institute.

Diante dessas evidências, propõe-se o desenvolvimento de estudos interdisciplinares que articulem saúde coletiva, ciência climática, tecnologia e práticas de enfermagem. Investigações futuras devem explorar modelos preditivos que integrem variáveis climáticas, sociais e territoriais⁴⁵, além de metodologias participativas que valorizem os saberes locais⁴⁶. A avaliação de políticas públicas voltadas à formação e valorização dos profissionais de enfermagem em contextos de crise climática é igualmente urgente^{47,48}.

Por fim, relatórios institucionais e estudos de base, como os do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação⁴⁹ e do Ministério da Saúde⁵⁰, oferecem subsídios importantes para a construção de estratégias integradas. Como sintetiza Artaxo⁵¹, saúde, biodiversidade e mudanças climáticas são emergências interligadas que exigem respostas contextualizadas, humanas e sustentáveis. A enfermagem, nesse cenário, emerge como um campo estratégico para a construção de soluções resilientes e comprometidas com a justiça socioambiental.

CONCLUSÃO

Este estudo evidenciou que, embora exista um corpo robusto de evidências sobre a influência de variáveis climáticas na dinâmica de doenças tropicais na Amazônia, com destaque para malária, dengue e leishmaniose, a integração efetiva da modelagem climática às práticas de vigilância e, especialmente, à atuação da enfermagem permanece incipiente e fragmentada. Os resultados demonstram uma clara desconexão entre a precisão dos modelos preditivos e a realidade operacional dos serviços de saúde na região, agravada por barreiras como a fragmentação dos sistemas de informação e a insuficiência de capacitação profissional.

O estudo reforça o papel estratégico que os profissionais de enfermagem podem exercer como elo entre os avanços tecnocientíficos e as necessidades das populações amazônicas. No entanto, para que esse potencial seja concretizado, são necessárias

abordagens transdisciplinares que articulem a precisão dos dados climáticos aos saberes tradicionais e às realidades socioculturais locais. A tradução do conhecimento em práticas inovadoras de cuidado exigirá o desenvolvimento de ferramentas participativas e de baixa complexidade tecnológica, a formação crítica e permanente dos profissionais de saúde e a implementação de políticas públicas sensíveis às diversidades e vulnerabilidades da região.

As principais contribuições deste estudo residem na síntese crítica das evidências disponíveis e na identificação de lacunas prioritárias para pesquisa e ação. Investigações futuras devem focar no desenvolvimento e na validação de modelos preditivos que incorporem variáveis sociais e territoriais, na avaliação de intervenções de enfermagem baseadas em alertas climáticos e na análise de custo-efetividade de inovações tecnológicas adaptadas ao contexto amazônico. Conclui-se que a resposta aos desafios impostos pelas mudanças globais na Amazônia depende da construção de sistemas de saúde resilientes, nos quais a enfermagem, devidamente apoiada por evidências e ferramentas adequadas, ocupe um lugar central na promoção de um cuidado territorializado, equitativo e humanizado.

CONFLITOS DE INTERESSE

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

AMS: conceitualização do estudo, coordenação da revisão sistemática, redação do manuscrito (Introdução, Discussão e Conclusão), revisão crítica do conteúdo e aprovação final da versão submetida. MVAC: busca sistemática de literatura, seleção e triagem de estudos, extração e análise de dados, elaboração de tabelas e figuras, redação das seções de Métodos e Resultados. JACA: revisão técnica dos modelos climáticos aplicados, integração dos dados com práticas de enfermagem, contribuição para a redação do Resumo e revisão final do manuscrito.



REFERÊNCIAS

- 1 Organização Pan-Americana da Saúde. Ministério da Saúde (BR). Fundação Oswaldo Cruz. Mudanças climáticas e ambientais e seus efeitos na saúde: cenários e incertezas para o Brasil. Brasília: OPAS/MS/FIOCRUZ; 2008. (Série saúde ambiental; 1).
- 2 Blanco-Villafuerte L, Hartinger SM. Impacto del cambio climático en la salud de los peruanos: desafíos y estrategias para una respuesta integral. Rev Peru Med Exp Salud Publica. 2023;40(2):130-1.
- 3 Neves DG, Cunha AC, Souza EB, Barreto NJC. Modelagem climática regional durante dois anos de extremos de precipitação sobre o estado do Amapá: teste de sensibilidade aos esquemas convectivos. Rev Bras Meteorol. 2011 dez;26(4):569-78.
- 4 Coeli CM, Carvalho MS, Lima LD. A importância da pergunta de pesquisa na análise de dados epidemiológicos. Cad Saúde Pública. 2021;37(5):e00091921.

- 5 Sousa TCM, Amancio F, Hacon SS, Barcellos C. Doenças sensíveis ao clima no Brasil e no mundo: revisão sistemática. *Rev Panam Salud Publica*. 2018;42:e85.
- 6 Castro NJC, Braga Jr EJ. Enfermagem e mudanças climáticas: a inteligência artificial generativa como ferramenta para formação crítica sobre justiça climática. *Esc Anna Nery*. 2025;29:e20240117.
- 7 Brandão DO, Arieira J, Nobre CA. Impactos das mudanças climáticas na sociobioeconomia da Amazônia. *Estud Av*. 2024 set-dez;38(112):249-70.
- 8 Santos AJ, Silveira DC, Oliveira TD, Thesing NJ. Potencialidades e desafios em comunidades de populações tradicionais, ribeirinhas na Região Amazônica. *Rev Cient ANAP Brasil*. 2024;17(41).
- 9 Sheldon KS, Yang S, Tewksbury JJ. Climate change and community disassembly: impacts of warming on tropical and temperate montane community structure. *Ecol Lett*. 2011 Dec;14(12):1191-200.
- 10 Vidal-Cuellar CL, Chicmana-Zapata V, Arotoma-Rojas I, Meza G, Ford JD, Rodríguez Ferruchi H, et al. Pathways to strengthen the climate resilience of health systems in the peruvian Amazon by working with indigenous leaders, communities and health officers. *BMJ Glob Health*. 2024 Sep;8(Suppl 3):e014391.
- 11 Mitano F, Ventura CAA, Palha PF. Saúde e desenvolvimento na África Subsaariana: uma reflexão com enfoque em Moçambique. *Physis*. 2016 jul-set;26(3):901-15.
- 12 World Health Organization. Communicating on climate change and health: toolkit for health professionals [Internet]. Geneva: WHO; 2024 [cited 2025 Jun 5]. Available from: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240090224>.
- 13 Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. A declaração PRISMA 2020: diretriz atualizada para relatar revisões sistemáticas. *Epidemiol Serv Saúde*. 2022;31(2):e2022107.
- 14 Wells GA, Shea B, O'Connell D, Peterson J, Welch V, Losos M, et al. The Newcastle-Ottawa Scale (NOS) for assessing the quality of nonrandomised studies in meta-analyses [Internet]. Ottawa: Ottawa Hospital Research Institute; 2011 [cited 2025 May 2].
- 15 Joanna Briggs Institute (AU). Critical appraisal tools [Internet]. Adelaide: JBI; 2020 [cited 2025 May 2]. Available from: <https://jbi.global/critical-appraisal-tools>.
- 16 Oliveira JLC, Magalhães AMM, Matsuda LM, Santos JLG, Souto RQ, Riboldi CO, et al. *Mixed methods appraisal tool: strengthening the methodological rigor of mixed methods research studies in nursing*. *Texto Contexto Enferm*. 2021;30:e20200603.
- 17 Sousa AM, Cabral MVA. Surveillance of tropical diseases and nursing practices in the Amazon: climate modeling and scientific innovations for health in times of global change. *Prospero* 2025 CRD420251077463 [Internet]. Londres: NIHR; 2025. Available from: <https://www.crd.york.ac.uk/PROSPERO/view/CRD420251077463>.
- 18 Sousa TCM, Amancio F, Hacon SS, Barcellos C. Doenças sensíveis ao clima no Brasil e no mundo: revisão sistemática. *Rev Panam Salud Publica*. 2018;42:e85.
- 19 Mendes CS, Coelho AB, Féres JG, Souza EC, Cunha DA. Impacto das mudanças climáticas sobre a leishmaniose no Brasil. *Ciênc Saúde Coletiva*. 2016 jan;21(1):263-72.
- 20 Wolfarth-Couto B, Silva RA, Filizola N. Variabilidade dos casos de malária e sua relação com a precipitação e nível d'água dos rios no Estado do Amazonas, Brasil. *Cad Saúde Pública*. 2019;35(2):e00020218.
- 21 Moraes BC, Souza EB, Sodrê GRC, Ferreira DBS, Ribeiro JBM. Sazonalidade nas notificações de dengue das capitais da Amazônia e os impactos do El Niño/La Niña. *Cad Saúde Pública*. 2019;35(9):e00123417.
- 22 Curtin JM, Aronson NE. Leishmaniasis in the United States: emerging issues in a region of low endemicity. *Microorganisms*. 2021 Mar;9(3):578.
- 23 Mendes CS, Coelho AB, Féres JG, Souza EC, Cunha DA. Impacto das mudanças climáticas sobre a leishmaniose no Brasil. *Ciênc Saúde Coletiva*. 2016 jan;21(1):263-72.
- 24 Cabral MVA, Araújo JAC, Silva LCP, Sousa AM, Trindade VMMC, Costa RAS, et al. Incidência de doença de Chagas sob influência dos impactos socioambientais na Amazônia. *Rev Ibero-am Humanid Ciênc Educ*. 2023 set;9(9):1-13.
- 25 Lima MVM, Laporta GZ. Avaliação de modelos de predição para ocorrência de malária no estado do Amapá, 1997-2016: um estudo ecológico. *Epidemiol Serv Saúde*. 2021 fev;30(1):e2020080.
- 26 Ferreira JESM, Cavalcante TF, Moreira RP. Cuidados de enfermagem em tempos de mudanças climáticas: rumo a um futuro resiliente. *Acta Paul Enferm*. 2024;37:eEDT013.
- 27 Silva MCN, Machado MH. Sistema de saúde e trabalho: desafios para a enfermagem no Brasil. *Ciênc Saúde Coletiva*. 2020 jan;25(1):7-13.
- 28 Silva MCN, Machado MH. Sistema de saúde e trabalho: desafios para a Enfermagem no Brasil. *Ciênc Saúde Coletiva*. 2020 jan;25(1):7-13.
- 29 Silva Neto SR, Oliveira TT, Teixeira IV, Oliveira SBA, Sampaio VS, Lynn T, et al. Machine learning and deep learning techniques to support clinical diagnosis of arboviral diseases: a systematic review. *PLoS Negl Trop Dis*. 2022 Jan;16(1):e0010061.

- 30 Secretaria de Saúde Pública (PA). Sespa promove treinamento sobre o aplicativo Saúde-Pará para vigilância hospitalar da RMB. Belém: SESPA; 2025 jun 4.
- 31 Fundação Oswaldo Cruz. Fiocruz e Prefeitura de Manaus fortalecem vigilância epidemiológica. Manaus: Fiocruz; 2025 mai 5.
- 32 Cristóvam JSS, Sousa TP. Soberania tecnológica vs. colonialidade digital: Estado inteligente e políticas públicas para uma IA *Bethânia*. Sequência. 2024;45(98):e103426.
- 33 Bezerra PA, Cavalcanti P, Moura LBA. Colonialidade e saúde: olhares cruzados entre os diferentes campos. *Physis*. 2023;33:e33025.
- 34 Garcia GHP, Mineiro BVR, Penacci FA. Uso de tecnologias digitais na enfermagem: telemedicina e monitoramento remoto de pacientes. 2024;17(12):e12791.
- 35 Mategula D, Gichuki J, Barnes KI, Giorgi E, Terlouw DJ. Advancing early warning systems for malaria: progress, challenges, and future directions – a scoping review. *PLOS Glob Public Health*. 2025 May;5(5):e0003751.
- 36 Barcellos C, Monteiro AMV, Corvalán C, Gurgel HC, Carvalho MS, Artaxo P, et al. Mudanças climáticas e ambientais e as doenças infecciosas: cenários e incertezas para o Brasil. *Epidemiol Serv Saúde* [Internet]. 2009 jul-set [citado 2025 set 28];18(3):285-304. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5123/S1679-49742009000300011>.
- 37 Western MJ, Smit ES, Gültzow T, Neter E, Sniehotta FF, Malkowski OS, et al. Bridging the digital health divide: a narrative review of the causes, implications, and solutions for digital health inequalities. *Health Psychol Behav Med*. 2025 Apr;13(1):2493139.
- 38 The Lancet Digital Health. Decolonising health data. *Lancet Digit Health*. 2023 Aug;5(8):e477.
- 39 Abreu AM, Sátiro G, Litre G, Santos L, Oliveira JE, Soares D, et al. A interface entre saúde, mudanças climáticas e uso do solo no Brasil: uma análise da evolução da produção científica internacional entre 1990 e 2019. *Saude Soc*. 2020;29(2):e180866.
- 40 Araújo JP, Lobo LC, Souza RCB, Monteiro AX, Melo GZS, Machado RCF. Saberes e práticas tradicionais de saúde da população amazônica. *Saúde Coletiva* (Barueri) [Internet]. 2023 fev [citado 2025 ago 26];13(84):12220-35. Disponível em: <https://revistasauodecoletiva.com.br/index.php/saudecoletiva/article/view/3023>.
- 41 Lorenzini E, Schmidt CR. Tradução do conhecimento para o avanço das práticas em saúde e enfermagem. *Rev Enferm UFSM*. 2023 dez;13:e1.
- 42 Agudelo Higuaita NI, Franco-Paredes C, Henao-Martínez AF, Mendez Rojas B, Suarez JA, Naranjo L, et al. Migrants in transit across Central America and the potential spread of chloroquine resistant malaria-a call for action. *Lancet Reg Health Am*. 2023 Jun;22:100505.
- 43 Guimarães RM, Cruz OG, Parreira VG, Mazoto ML, Vieira JD, Asmus CIRF. Análise temporal da relação entre leptospirose e ocorrência de inundações por chuvas no município do Rio de Janeiro, Brasil, 2007-2012. *Ciênc Saúde Coletiva*. 2014 set;19(9):3683-92.
- 44 Gomes RA, Lima RB, Brasil TV. Impacto das queimadas na Amazônia com incidência de casos de problemas respiratórios na população. *Rev Foco* [Internet]. 2024 dez [citado 2025 ago 27];17(12):e7057. Disponível em: <https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/7057>.
- 45 Wang Y, Chen X, Xue. F. A review of bayesian spatiotemporal models in spatial epidemiology. *ISPRS Int J Geo-Inf*. 2024;13(3):97.
- 46 Garcia TP, Nunes V. Inovação social e mudanças climáticas: o uso de metodologias participativas de design e a geração de soluções para a crise climática [Internet]. In: 12º Encontro de Sustentabilidade em Projeto; 2024 ago 7-9; Belo Horizonte, MG. Uberlândia: Repositório UFU; 2024 [citado 2025 ago 26]. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/256968/39.pdf>
- 47 Oliveira CM, Cruz MM. Sistema de Vigilância em Saúde no Brasil: avanços e desafios. *Saúde Debate*. 2015 jan-mar;39(104):255-67.
- 48 Gomes HMS, Borgert A. Custos da saúde pública no Brasil: uma análise entre 2004 e 2021. *Ciênc Saúde Coletiva*. 2025;30(Suppl 1):e11132023.
- 49 Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (BR). Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. Modelagem climática e vulnerabilidades setoriais à mudança do clima no Brasil. Brasília: MCTI; 2016.
- 50 Ministério da Saúde (BR). Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Análise em Saúde e Vigilância de Doenças não Transmissíveis. *Saúde Brasil 2019: uma análise da situação de saúde com enfoque nas doenças imunopreveníveis e na imunização*. Brasília: Ministério da Saúde; 2019.
- 51 Artaxo P. As três emergências que nossa sociedade enfrenta: saúde, biodiversidade e mudanças climáticas. *Estud Av*. 2020 set-dez;34(100):53-66.
- 52 Lima JG, Giovanella L, Fausto MCR, Almeida PF. O processo de trabalho dos agentes comunitários de saúde: contribuições para o cuidado em territórios rurais remotos na Amazônia, Brasil. *Cad Saúde Pública*. 2021;37(8):e00247820.

- 53 Marques CA, Siqueira MM, Portugal FB. Avaliação da não completude das notificações compulsórias de dengue registradas por município de pequeno porte no Brasil. *Ciênc Saúde Coletiva*. 2020 mar;25(3):891-900.
- 54 Manzini I. Painel no SXSW discute como a IA e outras tecnologias podem ajudar no acesso à saúde de qualidade de populações vulneráveis na Amazônia [Internet]. *Futuro Saúde*; 2025 [citado 2025 nov 5]. Disponível em: <https://futurodasaude.com.br/saude-na-amazonia-sxsw-brd-einstein/>.
- 55 Guirardello EB, Jesus MVN, Vieira LC, Oliveira HC, Vergilio MSTG. Nurses' perceptions about the patient safety climate in Primary Health Care. *Rev Latino-Am Enfermagem* [Internet]. 2024;32:e4092. Available from: <https://www.scielo.br/j/rlae/a/QDWZqhWt7F5QtKnY6rwbdbJ/?lang=pt>.
- 56 Fontana MD, Moreira FA, Serrao-Neumann S, Lucertini G, Maragno D, Di Giulio GM. Integrando conhecimentos para avançar na adaptação climática no nível local. *Estud av*. 2021 mai-ago;35(102):143-57.
- 57 Fernandes MCR, Monte WS, Bezerra FSB. Avaliação do desenvolvimento tecnológico em saúde a partir da ocorrência das epidemias de zika e chikungunya no Brasil. *Cad Saúde Pública*. 2023;39(3):e00090022.
- 58 Santos RB dos, Menezes JA, Confalonieri U, Madureira AP, Duval I de B, Garcia PP, et al. Construção e aplicação de um índice de vulnerabilidade humana à mudança do clima para o contexto brasileiro: a experiência do estado do Espírito Santo¹. *Saude soc* [Internet]. 2019 Jan;28(1):299–321. Available from: <https://doi.org/10.1590/S0104-12902019180431>
- 59 Oliveira RG. Sentidos das doenças negligenciadas na agenda da saúde global: o lugar de populações e territórios. *Ciênc Saúde Coletiva*. 2018 jul;23(7):2291-302.
- 60 Cunha GB, Luitgards-Moura JF, Naves ELM, Andrade AO, Pereira AA, Milagre ST. A utilização de uma rede neural artificial para previsão da incidência da malária no município de Cantá, estado de Roraima. *Rev Soc Bras Med Trop*. 2010 set-out;43(5):567-70.

Recebido em / Received: 22/6/2025
Aceito em / Accepted: 11/10/2025

Este artigo compõe a Seção Temática "Saúde e Meio Ambiente na Pan-Amazônia: Ciência, Território e Resistência em tempos de crise climática" em alusão à 30ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP 30).

Como citar este artigo / How to cite this article:

Sousa AM, Cabral MVA, Araújo JAC. Vigilância em doenças tropicais e práticas de enfermagem na Amazônia: modelagem climática e inovações científicas para a saúde em tempos de mudanças globais. *Rev Pan Amaz Saude*. 2025;16:e202501743. Doi: <https://doi.org/10.5123/S2176-6223202501743>