Revista Eletrônica
Acervo Saúde
Electronic Journal Collection Health ISSN 2178-2091

Leishmaniose e vigilância digital na Amazônia

Leishmaniasis and digital surveillance in the Amazon

Leishmaniasis y vigilancia digital en la Amazonia

Amanda Neves de Souza[1], Taíssa Alexandrina de Jesus Nascimento[1], Pedro Henrique Costa de Souza[1], Lorena Oliveira Tannus[1], Camila de Cássia Castello de Sousa[1], Luzana Nascimento Barros da Silva[1], Alisson Rangel Albuquerque[1], Milene Silveira Ferreira[1], João Vitor Dias Pereira[1].

RESUMO

Objetivo: Identificar as ferramentas digitais utilizadas para aprimorar a detecção precoce e a notificação de casos de leishmaniose, considerando seu potencial de integração à vigilância epidemiológica digital e de fortalecimento das ações de controle na região amazônica. **Métodos:** Trata-se de uma revisão integrativa da literatura, realizada nas bases PubMed, SciELO, ScienceDirect e LILACS, utilizando descritores DeCS/MeSH combinados por operadores booleanos AND e OR. A seleção seguiu critérios de inclusão e exclusão previamente definidos, com triagem realizada por meio do software Rayyan e organização do processo conforme o fluxograma PRISMA 2020. **Resultados:** Os estudos analisados demonstram que ferramentas digitais e geoespaciais, como sistemas de informação geográfica, análises espaciais e modelagens automatizadas, contribuem para a identificação de áreas prioritárias, antecipação de riscos e apoio à tomada de decisão em saúde pública, especialmente quando aplicadas em escala municipal. **Considerações finais:** As ferramentas digitais apresentam elevado potencial para fortalecer a vigilância epidemiológica da leishmaniose na Amazônia, sobretudo na detecção precoce de áreas de risco. Contudo, persistem limitações relacionadas à qualidade dos dados e à integração dos sistemas de informação.

Palavras-chave: Leishmaniose, Vigilância epidemiológica digital, Análise geoespacial, Inteligência artificial, Amazônia.

ABSTRACT

Objective: To identify the digital tools used to improve the early detection and notification of leishmaniasis cases, considering their potential for integration into digital epidemiological surveillance and strengthening control actions in the Amazon region. **Methods:** This study is an integrative literature review conducted in the PubMed, SciELO, ScienceDirect, and LILACS databases. Searches were performed using DeCS/MeSH descriptors combined with Boolean operators AND and OR. Predefined inclusion and exclusion criteria were applied, and the screening process was carried out using the Rayyan software. The study selection followed the PRISMA 2020 flowchart to ensure methodological transparency. **Results:** The analyzed studies indicate that digital and geospatial tools, such as geographic information systems, spatial analysis techniques, and

[1] Universidade do Estado do Pará, Campus VIII, Marabá – PA.

Programa de Educação pelo Trabalho para a Saúde – PET Saúde: Informação e Saúde Digital; Projeto Informação e Saúde Digital: Sistema Integrado de Análise e Monitoramento Epidemiológico de Doenças Tropicais com atualização Contínua.

SUBMETIDO EM: 8/2026 | ACEITO EM: 9/2026 | PUBLICADO EM: 11/2026

automated predictive models, contribute to identifying priority areas, anticipating epidemiological risks, and supporting public health decision-making. These tools are particularly effective when applied at the municipal scale, allowing more precise territorial analyses. **Final considerations:** Digital tools show strong potential to strengthen epidemiological surveillance of leishmaniasis in the Amazon, especially for early risk detection. However, limitations related to data quality, system integration, and underreporting remain challenges.

Keywords: Leishmaniasis, Digital epidemiological surveillance, Geospatial analysis, Artificial intelligence, Amazon.

RESUMEN

Objetivo: Identificar las herramientas digitales utilizadas para mejorar la detección temprana y la notificación de casos de leishmaniasis, considerando su potencial de integración en la vigilancia epidemiológica digital y el fortalecimiento de las acciones de control en la región amazónica. **Métodos:** Se trata de una revisión integrativa de la literatura realizada en las bases de datos PubMed, SciELO, ScienceDirect y LILACS. Se utilizaron descriptores DeCS/MeSH combinados con operadores booleanos AND y OR. La selección de los estudios siguió criterios de inclusión y exclusión previamente definidos, con el proceso de cribado realizado mediante el software Rayyan y organizado conforme al diagrama de flujo PRISMA 2020. **Resultados:** Los estudios analizados muestran que las herramientas digitales y geoespaciales, como los sistemas de información geográfica, los análisis espaciales y los modelos predictivos automatizados, contribuyen a la identificación de áreas prioritarias, la anticipación de riesgos y el apoyo a la toma de decisiones en salud pública. Estas herramientas presentan mejores resultados cuando se aplican a escala municipal. **Consideraciones finales:** Las herramientas digitales presentan un alto potencial para fortalecer la vigilancia epidemiológica de la leishmaniasis en la Amazonía, especialmente en la detección temprana de áreas de riesgo. No obstante, persisten limitaciones relacionadas con la calidad de los datos y la integración de los sistemas de información.

Palabras clave: Leishmaniasis, Vigilancia epidemiológica digital, Análisis geoespacial, Inteligencia artificial, Amazonía.

INTRODUÇÃO

A leishmaniose é uma doença infecciosa causada por protozoários do gênero *Leishmania* que são transmitidos pela picada da fêmea infectada do mosquito-palha (*flebotomíneo)* (OMS, 2023).A leishmaniose representa um importante problema de saúde pública e manifesta-se predominantemente nas formas tegumentar (LT), responsável pela maioria dos casos, e visceral (LV), considerada a mais grave (SANTIAGO AS, et al., 2021).

No Brasil, a expansão geográfica da leishmaniose deu-se de forma progressiva, com registros de casos autóctones em 19 unidades federativas na década de 1980 e, a partir de 2003, em todo o território nacional (VIANA MB, et al., 2024). Dados recentes do Ministério da Saúde evidenciam que a região Norte continua concentrando elevada carga da leishmaniose tegumentar, reforçando a necessidade de estratégias de vigilância epidemiológica capazes de integrar informações espaciais e ambientais para subsidiar ações de prevenção e controle (BRASIL, 2024).Nesse contexto, a região Amazônica apresenta as maiores taxas de incidência e mortalidade pela doença, associadas a condições socioambientais precárias e ao avanço desordenado das atividades humanas (RIBEIRO EA, et al., 2023).

A leishmaniose configura-se como uma das Doenças de Notificação Compulsória (DNC), na qual é obrigatória a notificação e investigação de todos os casos confirmados pelos serviços de saúde, por meio da ficha de investigação padronizada do Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN) (BRASIL, 2024). Dessa forma, a notificação constitui um instrumento essencial de comunicação às autoridades competentes, contribuindo para o monitoramento e prevenção de surtos e epidemias, bem como para a promoção, proteção e recuperação da saúde (DA COSTA LÉL, et al., 2024).

Apesar de sua relevância para a vigilância epidemiológica, o processo de notificação ainda enfrenta obstáculos para sua efetivação na região amazônica (OLIVEIRA PHS e MARTINS EC, 2026). Entre os principais desafios, destacam-se a persistência de limitações relacionadas à disponibilidade, integração e usabilidade de ferramentas digitais que facilitem a notificação, a omissão voluntária dos profissionais de saúde no registro dos casos e o desconhecimento técnico acerca do processo, fatores que favorecem a subnotificação e comprometem a compreensão da real situação epidemiológica da região (TEIXEIRA HPF, et al., 2025).

Nesse cenário, a incorporação de tecnologias digitais à vigilância epidemiológica tem sido apontada como estratégia prioritária para o enfrentamento das doenças tropicais negligenciadas. Ferramentas como Sistemas de Informação Geográfica (SIG), sensoriamento remoto, inteligência artificial e algoritmos de aprendizado de máquina permitem integrar informações epidemiológicas, ambientais e climáticas, favorecendo a identificação precoce de áreas de risco, o monitoramento da dinâmica de transmissão e o direcionamento mais eficiente das ações de controle. Além disso, essas tecnologias apresentam potencial para reduzir o impacto da subnotificação e apoiar a tomada de decisão em saúde pública, especialmente em regiões extensas e de difícil acesso, como a Amazônia brasileira (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2024; PAHO, 2023).

Diante desse contexto, torna-se essencial identificar ferramentas digitais utilizadas para aprimorar a detecção precoce e a notificação de casos de leishmaniose. Para tanto, este estudo propõe identificar e analisar as ferramentas baseadas em análise geoespacial, séries temporais e inteligência artificial, destacando seu potencial de integração à vigilância epidemiológica digital no Sistema Único de Saúde (SUS) e sua contribuição para o fortalecimento das ações de prevenção, monitoramento e controle da leishmaniose na região amazônica.

MÉTODOS

O presente estudo trata-se de uma Revisão Integrativa da Literatura (RIL). Para o levantamento das publicações foram utilizados os Descritores em Ciências da Saúde (DeCS/MeSH): leishmaniose; análise espacial; tecnologia digital; saúde pública digital; monitoramento epidemiológico; inteligência artificial; sistemas inteligentes; ecossistema amazônico; SUS; e diagnóstico, bem como seus correspondentes em inglês e espanhol. Os descritores foram combinados por meio dos operadores booleanos AND e OR e aplicados nas bases National Library of Medicine (PubMed), Scientific Electronic Library Online (SciELO), Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS) e Science Direct.

Para elaboração dessa RIL, seguiu-se as seguintes etapas: (1) identificação do problema e definição do tema; (2) formulação da pergunta norteadora; (3) estabelecimento dos critérios de inclusão e exclusão; (4) seleção das bases de dados e definição da estratégia de busca; (5) avaliação crítica dos estudos incluídos; e (6) síntese e a apresentação dos resultados.

Assim, definiu-se a seguinte pergunta norteadora: “Como ferramentas digitais de análise geoespacial e predição automatizada têm sido aplicadas para detecção precoce da leishmaniose na região amazônica, e quais são seus resultados e contribuições para a vigilância epidemiológica digital?”

A busca foi realizada em janeiro de 2026. Os critérios de inclusão adotados foram: artigos científicos publicados entre 2015 e 2025, nos idiomas português, inglês e espanhol, estudos originais ou relatórios técnicos que descrevessem ferramentas digitais voltadas à detecção precoce, previsão de surtos ou análise espacial da leishmaniose, realizados em municípios da Amazônia legal ou Pan-Amazônica, com ênfase em áreas urbanas e periurbanas.

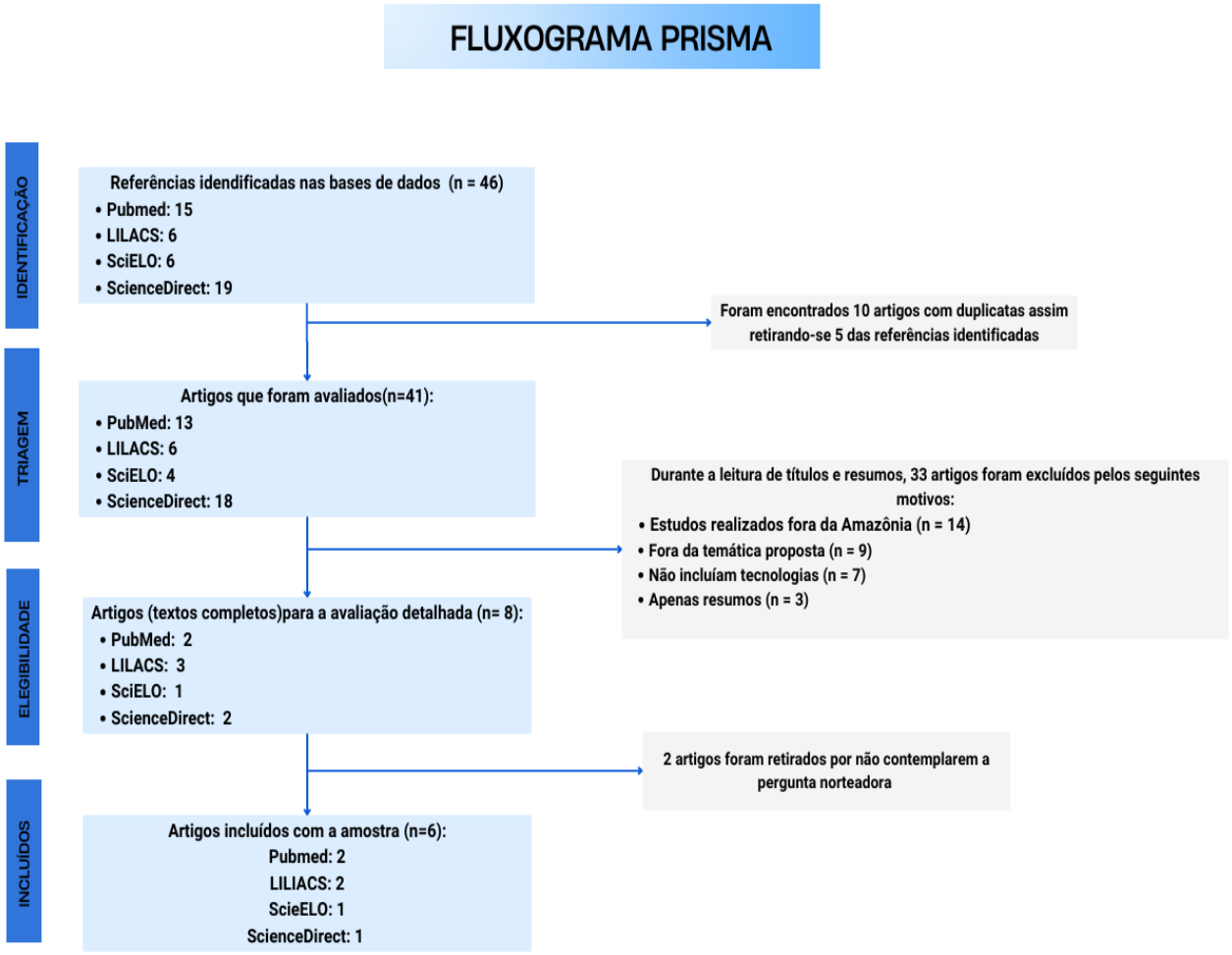
Como critérios de exclusão, foram descartados estudos que não apresentassem componente digital, preditivo ou geoespacial, pesquisas desenvolvidas fora do contexto amazônico, bem como revisões de literatura, editoriais, cartas ao editor e estudos incompletos ou sem dados primários relevantes.

Para a análise e triagem dos estudos, foi utilizado o software Rayyan, ferramenta que auxiliou na identificação, exclusão de duplicatas e triagem. Em etapa subsequente, procedeu-se à leitura integral dos artigos previamente selecionados. Ao final desse processo, foram excluídos os estudos que não estavam alinhados ao objetivo do estudo.

Por se tratar de um estudo baseado exclusivamente em dados secundários, não houve necessidade de submissão ao Comitê de Ética em Pesquisa nem de autorização institucional, em conformidade com as normas vigentes para pesquisas que não envolvem diretamente seres humanos ou animais.

O processo de seleção dos estudos ocorreu conforme o fluxograma *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (*PRISMA 2020), assegurando a transparência e a rastreabilidade do processo metodológico conforme apresentado na **Figura 1**.

Figura 1 - Fluxograma do processo de seleção dos estudos.



Fonte: Souza AN, et al., 2026.

RESULTADOS

A partir da aplicação criteriosa das etapas previstas no fluxograma PRISMA 2020, foi possível identificar, selecionar e analisar os estudos que compõem o corpo final desta revisão. O processo de triagem assegurou a inclusão apenas de pesquisas alinhadas ao objetivo do estudo, considerando critérios de elegibilidade previamente definidos, bem como a exclusão de duplicatas e de artigos que não atendiam à temática proposta. Dessa forma, os seis estudos selecionados refletem o estado atual do conhecimento científico acerca da leishmaniose e das estratégias de vigilância digital no contexto amazônico.

O **Quadro 1** reúne essas informações, permitindo uma visão integrada da produção científica sobre o tema e facilitando a identificação de tendências, lacunas e contribuições para o fortalecimento da vigilância epidemiológica na Amazônia. Em seguida, o **Quadro 2** faz o comparativo com os achados seguindo os tópicos: Consenso, divergência, potencialidade e limitações referentes às evidências encontradas nos artigos.

Quadro 1 - Síntese dos principais achados sobre leishmaniose e vigilância digital na Amazônia.

N	Autores (Ano)	Título	Principais achados
1	RIBEIRO EA, et al.(2023)	Panorama clínico, epidemiológico e espacial da ocorrência de leishmaniose visceral no estado do Pará, Amazônia brasileira.	**Tipo de estudo:** Ecológico, analítico e observacional, baseado em dados secundários do SINAN (Sistema de Informação de Agravos de Notificação) no período de 2016 a 2020. **Cenário da amostra:** Associação da doença, ao desmatamento e a distribuição espacial da leishmaniose visceral em 15 municípios do 12º Centro Regional de Saúde do sudeste do Pará. **Principais resultados:** Foram notificados 415 casos. A incidência da doença foi maior no ano 2017 e nos municípios com maiores índices de desmatamento. **Conclusão:** O uso de ferramentas digitais de análise espacial contribui para a identificação de áreas de risco, subsidiando a vigilância epidemiológica e o planejamento de ações de controle, embora não utilize modelos de predição automatizada.
2	RIBEIRO SF, et al. (2021)	Representação Espacial das Doenças Negligenciadas no Estado do Tocantins	**Tipo de estudo:** Ecológico observacional descritivo, baseado em dados secundários do Sistema de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS), no período de 2013 a 2017. **Cenário da amostra:** A pesquisa analisou a distribuição espacial das doenças negligenciadas no estado do Tocantins, com ênfase na hanseníase, leishmaniose tegumentar americana, leishmaniose visceral e tuberculose. **Principais resultados:** Foi evidenciada distribuição heterogênea dos casos no território, com maior concentração em municípios com piores condições socioeconômicas e estruturais. O uso do georreferenciamento permitiu identificar áreas prioritárias para intervenção em saúde, reforçando sua importância como ferramenta estratégica para o planejamento, vigilância epidemiológica e tomada de decisão na Atenção Básica. **Conclusão:** O estudo destaca que a análise espacial contribui significativamente para o fortalecimento das ações da Estratégia Saúde da Família (ESF), possibilitando o direcionamento mais eficaz de políticas públicas, ações de prevenção, controle e redução dos agravos relacionados às doenças negligenciadas no estado.
3	MIRANDA CSC, et al. (2021)	Spatial distribution of human visceral leishmaniasis cases in Cametá, Pará, Eastern Amazon, Brazil	**Tipo de estudo:** Estudo ecológico baseado em dados oficiais brasileiros que empregou geotecnologias para a vigilância espacial da leishmaniose visceral humana em Cametá, Pará. **Cenário da amostra:** Foram utilizados dados de uso e cobertura do solo do projeto Terra Clas (projeto de classificação de terras do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais em conjunto com o Governo Federal) associados à análise de densidade por kernel e ao Índice Global Bivariado de Moran, para identificar padrões espaciais e a autocorrelação entre casos da doença e áreas de desmatamento. **Principais resultados:** As análises evidenciaram autocorrelação espacial direta e significativa, indicando sobreposição entre altos índices de desmatamento e maior ocorrência da doença. **Conclusão:** O uso dessas ferramentas demonstrou potencial para identificação de áreas de risco e apoio à vigilância epidemiológica e à detecção precoce de áreas prioritárias para intervenção.

N	Autores (Ano)	Título	Principais achados
4	SERVADIO JL, et al. (2020)	Information differences across spatial resolutions and scales for disease surveillance and analysis: The case of Visceral Leishmaniasis in Brazil	**Tipo de estudo:** Estudo metodológico e ecológico **Cenário da amostra:** Foram aplicadas ferramentas de análise geoespacial e modelagem probabilística para avaliar a precisão da vigilância da leishmaniose visceral no Brasil, **Principais resultados:** O uso de sistemas de análise automatizada permitiu identificar que a detecção de padrões da doença é altamente sensível à escala, revelando que a agregação de dados em níveis estaduais gera uma perda de informação superior a 40% em comparação à análise municipal. **Conclusão:** As ferramentas contribuem para a vigilância epidemiológica digital ao evidenciar que a predição precoce depende da alta resolução espacial e da calibração local dos modelos, permitindo que gestores identifiquem com maior precisão os territórios prioritários e evitem interpretações errôneas causadas pela escala dos dados.
5	SANTOS MF, et al. (2024)	Análise espacial da leishmaniose cutânea americana no estado do Amazonas	**Tipo de estudo:** Estudo ecológico de análise espacial. **Cenário da amostra:** As variáveis explicativas analisadas foram o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), desmatamento, sexo, idade, cor, área de residência, ano e município. Essas variáveis foram transformadas em logaritmo para proporcionar um melhor ajuste do modelo. **Principais resultados:** Esses fatores contribuem para modificações no ambiente natural, favorecendo alterações no habitat dos vetores e ampliando o contato entre humanos e os insetos transmissores da doença. Diante desse contexto, a incidência da LCA (Leishmaniose Cutânea Americana) foi adotada como variável resposta do estudo e submetida à transformação logarítmica, com o objetivo de reduzir valores discrepantes e aproximar a distribuição da normalidade. **Conclusão:** A ocorrência da LCA (Leishmaniose Cutânea Americana) está fortemente associada a fatores socioeconômicos e ambientais, como pobreza, desigualdade social, baixos índices de desenvolvimento humano e desmatamento.
6	LOPES LC, et al. (2023)	Perfil epidemiológico, padrões espaciais e áreas prioritárias para vigilância e controle da leishmaniose na faixa de fronteira brasileira, 2009–2017	**Tipo de estudo:** Métodos de geoprocessamento e análise espacial foram empregados para identificar dependência espacial e agrupamentos geográficos das taxas de incidência. **Cenário da amostra:** O Índice Global de Moran foi utilizado para avaliar a autocorrelação espacial global, enquanto os Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA) permitiram identificar clusters locais e áreas prioritárias de risco. **Principais resultados:** Os resultados foram classificados em quadrantes que indicam áreas de alta, baixa ou intermediária prioridade. **Conclusão:** Os mapas temáticos e análises espaciais foram elaborados com os softwares GeoDa e TerraView, utilizando bases cartográficas do IBGE, adotando nível de significância de 5%.

Fonte: Souza AN, et al., 2026.

Quadro 2 - Síntese comparativa dos artigos selecionados e analisados.

Aspecto	Evidências encontradas
Consenso	Todos os estudos demonstram importância da análise espacial.
Divergência	Diferenças na resolução espacial, métodos estatísticos e variáveis ambientais utilizadas.
Potencialidade	Geotecnologias permitem identificar áreas prioritárias e subsidiar ações preventivas.
Limitação	Pouca utilização de IA, aprendizado de máquina e sistemas de alerta em tempo real.

Fonte: Souza AN, et al., 2026.

DISCUSSÃO

Os achados desta RIL evidenciam que a análise espacial e o uso de ferramentas digitais ocupam posição estratégica no fortalecimento da vigilância epidemiológica da leishmaniose na região amazônica, ao permitirem a compreensão da distribuição territorial da doença e sua relação com fatores ambientais, sociais e econômicos. Entretanto, a literatura analisada revela heterogeneidade quanto ao nível de incorporação tecnológica e ao grau de sofisticação analítica, possibilitando a organização dos estudos em um gradiente conceitual que abrange análises retrospectivas, iniciativas de modelagem preditiva e, ainda de forma incipiente, experiências de vigilância digital operacional. Essa diferenciação é fundamental para qualificar a discussão científica, uma vez que nem toda utilização de geotecnologias implica, necessariamente, avanço na capacidade de antecipação do risco ou de resposta oportuna dos sistemas de saúde.

No eixo das análises retrospectivas concentram-se a maioria dos estudos incluídos nesta revisão, caracterizados pelo uso de dados secundários provenientes de sistemas oficiais de informação, especialmente o SINAN/DATASUS, com o objetivo de descrever padrões espaciais, temporais e epidemiológicos da leishmaniose. Esses estudos utilizam técnicas de georreferenciamento e estatística espacial para mapear a distribuição da doença e identificar áreas de maior ocorrência, contribuindo de forma significativa para a compreensão da dinâmica territorial do agravo. No entanto, seu enfoque permanece predominantemente descritivo, centrado na análise de eventos já registrados, o que limita sua capacidade de apoiar ações prospectivas de vigilância.

Nesse contexto, Ribeiro et al.(2023) realizaram uma análise aprofundada da leishmaniose visceral no sudeste do estado do Pará, evidenciando uma distribuição espacial heterogênea, marcada pela formação de aglomerados de alta incidência em municípios submetidos a intensos processos de desmatamento e transformação do uso e cobertura do solo. O estudo demonstra que a fragmentação florestal, associada à expansão urbana desordenada, à precariedade das condições socioambientais e ao avanço de atividades econômicas predatórias, favorece a adaptação do vetor ao ambiente periurbano e amplia o contato entre humanos, reservatórios animais e flebotomíneos. A utilização de ferramentas de análise espacial permitiu identificar territórios prioritários para intervenção, reforçando o potencial dessas abordagens para subsidiar o planejamento das ações de controle. Todavia, apesar de sua robustez metodológica e relevância epidemiológica, a análise permanece restrita à interpretação de padrões históricos, não incorporando modelos preditivos ou sistemas de alerta precoce capazes de antecipar riscos e orientar intervenções preventivas em tempo oportuno.

Dessa forma, percebe-se que o avanço do desmatamento modifica a dinâmica ambiental e pode contribuir para o aumento da transmissão de doenças ao aproximar vetores e reservatórios das populações humanas, tornando o monitoramento dessas áreas uma estratégia relevante para a vigilância epidemiológica (CHAVES ICS, et al., 2026). Como destacam Gonçalves IG e Ferreira MDP (2023) os modelos de previsão aplicados aos sistemas de monitoramento representam ferramentas estratégicas para a gestão ambiental, pois permitem antecipar a ocorrência de novos eventos de desmatamento. Essas estimativas fornecem informações que subsidiam o planejamento das ações de fiscalização, favorecendo a identificação de áreas prioritárias e o direcionamento de medidas de controle.

No estudo de Ribeiro et al. (2021), a análise espacial das doenças tropicais negligenciadas no estado do Tocantins, incluindo a leishmaniose, permitiu evidenciar a persistência de padrões endêmicos fortemente

associados a contextos estruturais de vulnerabilidade social e territorial. A partir do uso de dados secundários provenientes de sistemas oficiais de informação em saúde, especialmente o DATASUS, aliados a técnicas de georreferenciamento e cartografia temática, os autores conseguiram identificar áreas com elevada concentração de casos ao longo de diferentes períodos, demonstrando a estabilidade espacial da transmissão e a manutenção histórica do agravo em determinados municípios e regiões do estado. Esses achados indicam que a leishmaniose se estabelece de forma contínua em territórios marcados por desigualdades persistentes, mais do que por eventos epidêmicos pontuais.

O estudo destaca que fatores como pobreza, baixa cobertura de saneamento básico, urbanização desordenada, limitações no acesso aos serviços de saúde e fragilidade da Atenção Primária, especialmente da ESF, atuam de forma sinérgica na manutenção do ciclo de transmissão da doença. A utilização de sistemas de informação geográfica possibilitou uma visualização qualificada da distribuição espacial dos casos, favorecendo a identificação de áreas prioritárias para ações de controle e o direcionamento de políticas públicas. Entretanto, apesar de seu valor para o planejamento em saúde, a abordagem adotada permanece essencialmente retrospectiva e descritiva, baseada na análise de registros consolidados. O estudo não incorpora mecanismos automatizados de análise, modelos preditivos ou ferramentas digitais capazes de antecipar riscos, detectar precocemente surtos ou qualificar a notificação em tempo oportuno, evidenciando lacunas importantes para o avanço da vigilância epidemiológica digital da leishmaniose.

Adentrando de forma mais aprofundada o contexto amazônico, Santos et al. (2024) ampliaram a compreensão da dinâmica territorial da leishmaniose cutânea americana ao analisar sua distribuição espacial no estado do Amazonas e sua relação com variáveis ambientais, socioeconômicas e demográficas. O estudo integrou dados epidemiológicos com indicadores como o desmatamento, o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) o perfil sociodemográfico dos indivíduos acometidos, permitindo uma leitura mais abrangente dos determinantes da transmissão. Os autores identificaram maior concentração de casos em municípios marcados por intensa atividade antrópica, expansão de frentes econômicas e proximidade de áreas florestais degradadas, evidenciando o papel dos processos de ocupação territorial e alteração ambiental na manutenção do ciclo da doença. Observou-se ainda maior vulnerabilidade entre homens em idade produtiva, frequentemente envolvidos em atividades rurais, extrativistas, madeireiras e de fronteira econômica, o que reforça a relação entre exposição ocupacional e risco de infecção. A análise espacial possibilitou a delimitação de áreas prioritárias de risco, contribuindo para o planejamento das ações de vigilância e controle. Contudo, apesar de sua relevância para o entendimento do território amazônico, o estudo permanece ancorado em uma abordagem retrospectiva, sem avançar na incorporação de tecnologias digitais automatizadas, sistemas de monitoramento contínuo ou ferramentas voltadas à detecção precoce e qualificação da notificação dos casos.

Em um segundo nível do gradiente analítico, destacam-se estudos que avançam da descrição retrospectiva para a modelagem preditiva, ao integrar variáveis epidemiológicas e ambientais por meio de ferramentas analíticas mais sofisticadas, Miranda et al. (2021)exemplificam esse avanço ao empregar geotecnologias como os dados de uso e cobertura do solo do projeto Terra Class, a análise de densidade por Kernel e o Índice Global de Moran para investigar a autocorrelação espacial entre desmatamento e incidência da leishmaniose visceral no município de Cametá, no estado do Pará. Ao correlacionar alterações ambientais com padrões espaciais da doença, o estudo demonstra que a análise geoespacial pode ultrapassar o caráter meramente descritivo e assumir uma função preditiva, transformando variáveis ambientais em indicadores antecipados de risco. Essa abordagem permite a identificação de áreas com maior probabilidade de ocorrência de casos antes da intensificação da transmissão humana, representando um avanço relevante em relação à vigilância epidemiológica tradicional, predominantemente reativa. Ao fornecer subsídios técnicos para intervenções preventivas territorialmente direcionadas, o estudo contribui para o fortalecimento da vigilância epidemiológica digital na Amazônia, ainda que não configure plenamente um sistema operacional de alerta em tempo real. Os dados provenientes do Terra Class e do Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES)permitem acompanhar a evolução do desmatamento e identificar modificações ambientais associadas à expansão da transmissão da doença (INPE, 2024).

Nesse sentido, plataformas nacionais de monitoramento ambiental, como o Map Biomas, representam importante complemento às análises epidemiológicas ao disponibilizarem informações atualizadas sobre alterações da cobertura vegetal, expansão urbana e uso do solo. A integração dessas informações aos sistemas de vigilância pode contribuir para identificar áreas prioritárias de intervenção antes da ocorrência de aumento expressivo dos casos (MAPBIOMAS, 2024).

De acordo com De Almeida CA et al. (2025) destacam que o Projeto Terra Class, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, disponibiliza informações sobre o uso e a cobertura da terra em áreas desmatadas previamente identificadas pelo Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES).Esses dados permitem acompanhar as transformações no uso do solo ao longo do tempo, constituindo uma importante fonte de informações para o monitoramento ambiental e para o desenvolvimento de estratégias de planejamento e gestão territorial. Embora os dados ambientais constituam importantes subsídios para o monitoramento da leishmaniose, sua aplicação na vigilância epidemiológica depende da integração com informações epidemiológicas consistentes. A ocorrência de subnotificação e as limitações inerentes ao processo de notificação reduzem a confiabilidade desses dados, comprometendo a capacidade dos sistemas de vigilância em identificar precocemente áreas prioritárias, reconhecer mudanças no comportamento da doença e orientar a tomada de decisão em saúde pública (DA COSTA LEL, et al., 2024)

Corroborando essa perspectiva, Servadio et al. (2020) demonstram que a efetividade das análises espaciais e dos modelos preditivos em vigilância epidemiológica está diretamente associada à resolução espacial dos dados. Os autores evidenciam que análises realizadas em escalas amplas, como a estadual, podem resultar em perda significativa de informação, mascarando a heterogeneidade territorial da leishmaniose e reduzindo a acurácia na identificação de áreas prioritárias.

Em contrapartida, a utilização de escalas mais detalhadas, como a municipal ou intraurbana, permite captar com maior precisão os padrões locais de transmissão, aspecto especialmente relevante no contexto amazônico, marcado por intensas variações ambientais e sociais em curtas distâncias. Além disso, o estudo destaca que a escolha inadequada da escala pode induzir a interpretações equivocadas sobre a dinâmica da doença, comprometendo o planejamento das ações de vigilância e controle. Os autores ressaltam que a incorporação de dados em alta resolução favorece a calibração local dos modelos analíticos, aumentando sua sensibilidade para detectar mudanças sutis no risco de transmissão. Dessa forma, o trabalho contribui para o aprimoramento conceitual da vigilância epidemiológica digital, ao enfatizar que a precisão territorial é um requisito central para estratégias de detecção precoce e tomada de decisão em saúde pública.

Apesar dos avanços identificados, esta revisão evidencia uma lacuna expressiva na produção científica relacionada à vigilância digital operacional, entendida como a integração contínua e sistemática de bases de dados interoperáveis, ferramentas digitais automatizadas, algoritmos de inteligência artificial e plataformas interativas capazes de apoiar a notificação precoce, o monitoramento em tempo quase real e a tomada de decisão baseada em evidências. Observa-se que a maior parte dos estudos ainda se ancora em dados secundários consolidados, provenientes de sistemas tradicionais de informação em saúde, os quais, embora essenciais, são frequentemente marcados por atrasos na alimentação, subnotificação, inconsistências e baixa granularidade espacial, especialmente em áreas remotas da Amazônia. Essas limitações reduzem a sensibilidade dos sistemas e comprometem o potencial das tecnologias digitais para antecipar riscos e responder de forma oportuna à emergência de novos focos de transmissão.

Além disso, nota-se a escassa incorporação de tecnologias emergentes, como aprendizado de máquina, análise automatizada de grandes volumes de dados, integração com informações ambientais em tempo quase real e uso de plataformas digitais para apoio à vigilância no nível local. A ausência de sistemas operacionais de alerta precoce limita a transição de uma vigilância predominantemente reativa para um modelo proativo e preditivo, capaz de orientar intervenções antes da intensificação dos casos humanos. Nesse sentido, embora a análise espacial e o uso de ferramentas digitais estejam consolidados como instrumentos relevantes para compreender a dinâmica territorial da leishmaniose, torna-se evidente a

necessidade de avançar na operacionalização dessas tecnologias na rotina dos serviços de saúde. Tal avanço é particularmente estratégico no contexto amazônico, onde a vasta extensão territorial, as dificuldades de acesso e a rápida transformação ambiental exigem soluções digitais integradas, sensíveis ao território e orientadas para a detecção precoce e o controle oportuno da doença.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os achados desta revisão integrativa evidenciam que o uso de ferramentas digitais e geoespaciais contribui de forma relevante para o fortalecimento da vigilância epidemiológica da leishmaniose na região amazônica, especialmente na identificação de áreas prioritárias e no apoio à detecção precoce de riscos. A aplicação de sistemas de informação geográfica, análises espaciais e modelos automatizados mostrou-se útil para qualificar o planejamento e a tomada de decisão em saúde pública, sobretudo quando empregada em escala municipal. Entretanto, observa-se uma lacuna significativa na literatura quanto a estudos que avaliem especificamente o uso de tecnologias digitais voltadas à melhoria da notificação precoce dos casos, com integração direta aos sistemas oficiais de vigilância em tempo oportuno. A maioria dos estudos concentra-se em análises retrospectivas, baseadas em dados secundários, evidenciando a escassez de investigações que explorem soluções tecnológicas prospectivas e automatizadas para qualificar o processo de notificação. Assim, ressalta-se a necessidade de ampliar pesquisas que integrem ferramentas digitais, inteligência artificial e sistemas de informação em saúde, visando fortalecer a notificação precoce e a resposta oportuna às doenças negligenciadas na região amazônica.

AGRADECIMENTOS E FINANCIAMENTO

Agradecemos à Universidade do Estado do Pará - UEPA, ao Ministério da Saúde e ao Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) pelo apoio financeiro concedido por meio da bolsa do Programa de Educação pelo Trabalho para a Saúde (PET Saúde Digital), fundamental para a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

1. BRASIL. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Projeto PRODES: Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite. São José dos Campos: INPE, 2024.
2. BRASIL. Ministério da Saúde. Departamento de Ações Estratégicas de Epidemiologia e Vigilância em Saúde e Ambiente. Guia de vigilância em saúde. 6. ed. rev. Brasília: Ministério da Saúde, 2024.
3. BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde e Ambiente. Boletim Epidemiológico: Leishmaniose Tegumentar- volume anual. Brasília: Ministério da Saúde, 2024.
4. CHAVES ICS, et al. Determinantes ambientais e socioeconômicos associados à leishmaniose tegumentar na Amazônia brasileira: uma revisão integrativa. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, 2026; 12(6): 1-15.
5. DA COSTA LÉL, et al. Tecnologias para efetivação do processo de notificação compulsória de doenças no contexto hospitalar: protocolo de scoping review. Development, 2024; 13(1): e5513144747.
6. DA SILVA OPH, DA COSTA ME. Desafios da vigilância epidemiológica da dengue no sistema de saúde do Amazonas. Aurum Revista Multidisciplinar, 2026; 2(4): 1-8.
7. DE ALMEIDA CA, et al. Monitoramento oficial da vegetação nativa brasileira por imagens de satélite: o programa Biomas BR e os sistemas PRODES, DETER e Terra Class. Cadernos de Astronomia, 2025; 6(1): 23-38.
8. GONÇALVES IG, FERREIRA MDP. Modelos para a previsão de alertas de desmatamento na Amazônia Legal. Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos, 2023; 17(4): 537-560.
9. LOPES LC, et al. Epidemiological profile, spatial patterns and priority areas for surveillance and control of leishmaniasis in Brazilian border strip, 2009–2017. Acta Tropica, 2023; 237: 106704.
10. MAPBIOMAS. Coleção 9 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil. São Paulo: Projeto Map Biomas, 2024.
11. MIRANDA CSC, et al. Spatial distribution of human visceral leishmaniasis cases in Cametá, Pará, Eastern Amazon, Brazil. Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical, 2021; 54: e0220-2021.

12. OMS. Leishmaniasis. Genebra: Organização Mundial da Saúde, 2023.
13. PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION (PAHO). Neglected Infectious Diseases in the Region of the Americas: Annual Report 2023. Washington, DC: PAHO, 2023.
14. RIBEIRO EA, et al. Panorama clínico, epidemiológico e espacial da ocorrência de leishmaniose visceral no estado do Pará, Amazônia brasileira. Arquivos de Ciências da Saúde da UNIPAR, 2023; 27(2): 979-995.
15. RIBEIRO SF, et al. Representação espacial das doenças negligenciadas no estado do Tocantins. Saúde em Redes, 2021; 7(1): 99-113.
16. SANTIAGO AS, et al. Tratamento da leishmaniose, limitações da terapêutica atual e a necessidade de novas alternativas: uma revisão narrativa. Research, Society and Development, 2021; 10(7): e29510716543.
17. SERVADIO JL, et al. Information differences across spatial resolutions and scales for disease surveillance and analysis: the case of visceral leishmaniasis in Brazil. PLoS One, 2020; 15(7): e0235920.
18. TEIXEIRA HPF, et al. Subnotificação e vigilância epidemiológica: estratégia para qualificação da informação em saúde. Revista Amazônica de Ciências Médicas e Saúde, 2025; 2(1): 25-30.
19. VIANA MB, et al. Perfil epidemiológico da leishmaniose tegumentar americana no estado do Pará, com ênfase na região do Baixo Amazonas. Revista Eletrônica Acervo Saúde, 2024; 24(11): e16818.
20. WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Ending the neglect to attain the Sustainable Development Goals: Global strategy on neglected tropical diseases 2021–2030: progress report 2024. Geneva: World Health Organization, 2024.