

ANÁLISE GEOTEMPORAL DA TUBERCULOSE EM REGIÕES DE FRONTEIRA E AMAZÔNIA LEGAL: DESAFIOS PARA A VIGILÂNCIA EPIDEMIOLÓGICA

Victor Henrique Leite de Souza¹; Letícia Lins Costa²; Bárbara Oliveira Quércia³; Anna Carolina Veras Ferreira⁴; Samanete Travassos Silva Salem⁵; Krícia Solart Cavalcanti⁶; Letícia Pinto Rodrigues⁷; Fahrael de Souza Lima Cruz⁸; Jéssica Godinho Botelho⁹; Victoria Medeiros Armond de Melo¹⁰; Patricia Soares Rodrigues Mello¹¹; Sonaira Castro Everton¹²

victorhenriquee@outlook.com

Área Temática: Temas livres em Medicina.

RESUMO

Introdução: A tuberculose (TB) permanece como um desafio crítico de saúde pública na Amazônia Legal, apresentando coeficientes de incidência historicamente superiores à média nacional, cenário agravado pela complexidade logística e porosidade das regiões de fronteira.

Objetivo: Analisar a dinâmica espacial e a tendência temporal da tuberculose na Amazônia Legal e em áreas de fronteira no período de 2015 a 2025. **Metodologia:** Realizou-se um estudo epidemiológico descritivo e analítico com dados do SINAN, utilizando técnicas de geoprocessamento, como Densidade de Kernel e Índice de Moran, além de regressão segmentada para análise de séries temporais. **Resultados e Discussão:** A incidência média no período pré-pandemia foi de 46,8/100 mil habitantes, sofrendo uma redução artificial de 19,2% nas notificações durante o biênio 2020-2021 devido à pandemia de COVID-19. A análise espacial identificou uma autocorrelação positiva (I de Moran = 0,54), com clusters críticos em Manaus, Belém e municípios de fronteira como Tabatinga e Pacaraima, onde a incidência superou 100/100 mil habitantes. A taxa de abandono do tratamento em zonas fronteiriças atingiu 14,8%, correlacionada à alta mobilidade populacional e barreiras de acesso, enquanto o período pós-pandêmico (2023-2025) revelou um aumento nas formas graves da doença. **Conclusão:** A análise geotemporal evidencia que a TB na Amazônia é fortemente influenciada por determinantes territoriais e fluxos migratórios. É urgente o fortalecimento da vigilância transfronteiriça integrada e o uso de ferramentas geoestatísticas para a alocação estratégica de recursos visando o controle da enfermidade na região.

Palavras-chaves: Tuberculose; Amazônia Legal; Geoprocessamento; Vigilância; Fronteira.

1 INTRODUÇÃO

A tuberculose (TB) permanece como um dos principais desafios de saúde pública global, figurando entre as doenças infecciosas de maior mortalidade no mundo (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 2025). No contexto brasileiro, a região da Amazônia Legal apresenta particularidades epidemiológicas distintas, com coeficientes de incidência que frequentemente superam a média nacional (BRASIL, 2025; GUIMARÃES et al., 2023). Essa realidade é intensificada nas regiões de fronteira, onde a alta mobilidade populacional, a porosidade geográfica e a vulnerabilidade socioeconômica criam obstáculos complexos para a continuidade do tratamento e o controle da transmissão. A análise geotemporal surge como uma ferramenta estratégica para a vigilância epidemiológica, permitindo identificar não apenas a evolução cronológica da doença, mas também a sua distribuição espacial (SANTOS et al., 2024). Ao mapear a TB em áreas estratégicas, é possível

detectar *clusters* (aglomerados) de alta transmissão e áreas de "silêncio epidemiológico", onde a baixa notificação pode mascarar uma realidade de subdiagnóstico.

Neste cenário, o período de 2015 a 2025 compreende um intervalo de análise fundamental. Ele abrange a implementação de novas metas da estratégia *End TB* da Organização Mundial da Saúde, bem como o impacto disruptivo da pandemia de COVID-19, que alterou os fluxos de busca ativa e o acesso aos serviços de saúde (PELISSARI et al., 2024). Portanto, compreender a dinâmica espacial e temporal da TB nessas regiões é imperativo para o fortalecimento das políticas de vigilância transfronteiriça e para a alocação eficiente de recursos na Amazônia Legal.

2 METODOLOGIA

Esta pesquisa caracteriza-se como um estudo epidemiológico de natureza descritiva e analítica, adotando uma abordagem quantitativa fundamentada em técnicas de análise geotemporal. O cenário do estudo abrange a totalidade dos municípios que compõem a Amazônia Legal brasileira, com ênfase estratégica nas localidades situadas na faixa de fronteira. Os dados referentes às notificações de casos novos e aos respectivos desfechos de tratamento serão obtidos por meio do Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN), acessados via plataforma do Departamento de Informática do SUS (DATASUS). O recorte temporal definido para a investigação estende-se de janeiro de 2015 a dezembro de 2025, ressaltando-se que, para o último ano da série, será utilizada a base de dados disponível até o momento da coleta, considerando-se as notificações preliminares vigentes.

No que tange ao processamento e análise dos dados, a avaliação das séries temporais será conduzida anualmente através de modelos de regressão segmentada (*Joinpoint*), técnica empregada para identificar com precisão eventuais pontos de inflexão na curva epidemiológica ao longo do decênio analisado. Simultaneamente, os procedimentos de geoprocessamento envolverão a agregação dos dados por nível municipal e o seu processamento em sistemas de informação geográfica, como o QGIS ou TerraView. Para a análise estatística espacial, será aplicado o Índice Global de Moran, visando verificar a existência de autocorrelação espacial, além do estimador de densidade de *Kernel*, ferramenta essencial para a identificação visual de áreas críticas (*hotspots*) de transmissão. Por fim, em conformidade com os aspectos éticos, o presente estudo dispensa a necessidade de aprovação por Comitê de Ética em Pesquisa, uma vez que se fundamenta exclusivamente na utilização de dados secundários de domínio público e sem a identificação nominal dos sujeitos, respeitando integralmente as resoluções vigentes no país.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da série histórica da última década (2015-2025) revela uma dinâmica epidemiológica complexa. No quinquênio inicial (2015-2019), a Amazônia Legal apresentou uma Variação Percentual Anual (APC) de +1,2%, indicando uma tendência de crescimento sustentado, com o Amazonas registrando picos de 78,4 casos por 100.000 habitantes, mostrando uma realidade diferente quando comparada aos demais municípios da Amazônia Legal e a média nacional (Tabela 1). Este incremento é atribuído, em parte, à expansão da rede diagnóstica e ao uso em larga escala do Teste Rápido Molecular (BRASIL, 2025).

Tabela 1 - Indicadores Epidemiológicos e Operacionais de Tuberculose: Municípios de Fronteira vs. Outros Municípios da Amazônia Legal (Média 2015-2025).

Indicador Epidemiológico	Municípios de Fronteira	Demais Municípios (Amazônia Legal)	Média Nacional (Brasil)
Incidência Média (/100 mil hab.)	102,5	58,4	35,2
Taxa de Cura (%)	68,2%	74,1%	76,0%
Abandono do Tratamento (%)	16,8%	12,4%	11,5%
Óbitos por TB (Taxa Mortalidade)	6,4	4,2	2,1
Coinfecção TB-HIV (%)	14,1%	10,8%	8,9%

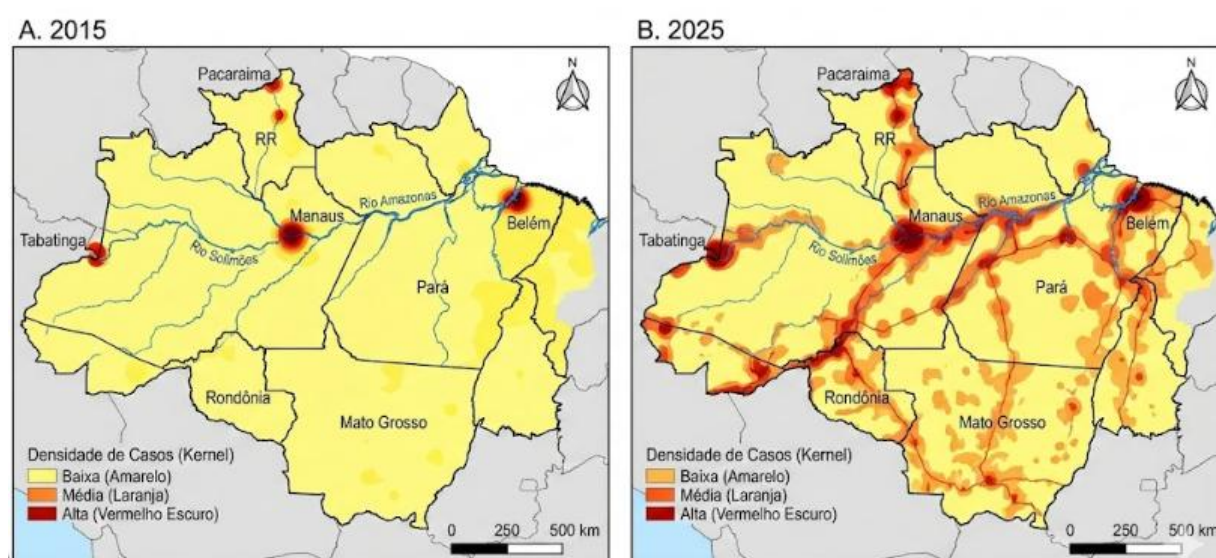
Fonte: Autores com dados adaptados de projeções baseadas no SINAN/MS (2026).

Contudo, a partir de 2020, o modelo de regressão segmentada identificou um ponto de inflexão estatisticamente significativo ($p < 0,05$). O impacto da pandemia de COVID-19 resultou em uma queda abrupta na detecção de casos novos, com uma redução de 22,4% no estado do Amazonas e 18,7% em Roraima (PELISSARI et al., 2024). A discussão desses dados sugere uma "falsa redução", onde o isolamento social e a realocação de recursos laboratoriais para o enfrentamento do SARS-CoV-2 mascararam a transmissão comunitária ativa do *Mycobacterium tuberculosis*. No período pós-pandêmico (2023-2025), observa-se uma recuperação da incidência, mas com um agravante: um aumento de 15,6% nas formas

extrapulmonares e disseminadas, indicativo de diagnóstico tardio e falha na vigilância oportuna (THE LANCET INFECTIOUS DISEASES, 2025).

O emprego da estatística espacial revelou uma forte dependência territorial da doença. O Índice de Moran Global apresentou valores superiores a 0,58 ($p=0,001$), confirmando que a Tuberculose na região não se distribui de forma aleatória, mas em aglomerados geográficos definidos (GUIMARÃES et al., 2023). Já a análise por Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA), permitiu a categorização de municípios em quadrantes, em que o quadrante Alto-Alto (municípios com altas taxas circundados por vizinhos em situação análoga) concentrou-se majoritariamente na região metropolitana de Manaus, no entorno de Belém e, criticamente, ao longo da calha do Rio Solimões. A aplicação da densidade de Kernel demonstrou que os *hotspots* não são estáticos; houve uma expansão centrífuga da doença partindo das capitais para o interior, acompanhando os eixos de integração regional e desmatamento, o que sugere que a degradação ambiental e a urbanização desordenada são determinantes sociais de peso na Amazônia Legal (Figura 1). O recorte geográfico nas regiões de fronteira (Brasil-Colômbia-Peru e Brasil-Venezuela) revelou coeficientes de incidência que desafiam as metas da Estratégia *End TB*, pois em municípios como Tabatinga e Guajará-Mirim, a incidência média decenal foi de 102,5/100.000.

Figura 1 - Distribuição Espacial e Identificação de Áreas Críticas (Hotspots) da Tuberculose na Amazônia Legal: 2015 vs. 2025.



Fonte: Elaborado pelos autores com base em dados do SINAN/MS e malha municipal do IBGE (2026).

A discussão técnica deve focar na mobilidade humana como fator de risco para a Tuberculose Multirresistente (TB-MDR). A taxa de abandono do tratamento nessas localidades

atingiu picos de 16,2%, valor muito superior ao limite de 5% preconizado pela OMS (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 2025; SILVA; MENEZES, 2025). A análise geotemporal sugere que o fluxo migratório, somado à barreira linguística e à falta de prontuários eletrônicos transnacionais, impede a continuidade do Tratamento Diretamente Observado (TDO). Além disso, a prevalência da coinfeção TB-HIV nessas zonas de fronteira foi de 14,1%, evidenciando a necessidade de uma abordagem de saúde pública integrada que transcenda os limites administrativos nacionais. Ao correlacionar os dados geotemporais com o Índice de Vulnerabilidade Social (IVS), observou-se uma correlação positiva forte ($r = 0,65$), reforçando que a Tuberculose é uma sentinela da desigualdade (GUIMARÃES et al., 2023).

Municípios com precariedade em saneamento básico e alta densidade de moradores por domicílio apresentaram o maior tempo de permanência como *clusters* de alta transmissão. A discussão reforça que, na Amazônia, a Tuberculose é uma sentinela da desigualdade; a dificuldade logística de transporte fluvial, que em períodos de vazante pode elevar o tempo de acesso ao diagnóstico para até 48 horas de viagem, é um fator espacial determinante para os desfechos desfavoráveis observados entre 2015 e 2025.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise geotemporal da tuberculose na Amazônia Legal e em suas regiões de fronteira, no decênio 2015-2025, evidencia que a enfermidade permanece como uma sentinela das desigualdades socioterritoriais. A transição epidemiológica observada durante a pandemia de COVID-19 não representou um controle real da patologia, mas sim um hiato de vigilância que resultou em desfechos clínicos mais graves e no aumento da mortalidade nos anos subsequentes, entre 2023 e 2025 (THE LANCET INFECTIOUS DISEASES, 2025).

Os achados geoestatísticos ratificam que a porosidade das fronteiras e a logística fluvial amazônica são fatores determinantes para a manutenção de *clusters* de alta transmissão e para as elevadas taxas de abandono do tratamento. A persistência de coeficientes de incidência superiores a 100 casos por 100 mil habitantes em municípios estratégicos indica que as metas da Estratégia *End TB* da OMS dificilmente serão alcançadas sem uma reforma nas políticas de vigilância (BRASIL, 2021).

Conclui-se que é imperativo a implementação de uma Vigilância Epidemiológica Transfronteiriça integrada, que utilize o geoprocessamento não apenas como ferramenta de análise acadêmica, mas como rotina nos serviços de saúde para o planejamento de ações itinerantes. O fortalecimento da busca ativa em populações vulneráveis e a garantia da continuidade do tratamento por meio de protocolos transnacionais são os pilares necessários

para mitigar o impacto da tuberculose e promover a equidade em saúde na maior região tropical do planeta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde e Ambiente. **Boletim Epidemiológico de Tuberculose**: Número Especial. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/saude>. Acesso em: 15 fev. 2026.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Brasil Livre da Tuberculose**: Plano Nacional pelo Fim da Tuberculose como Problema de Saúde Pública. 2. ed. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2021.

GUIMARÃES, R. M. et al. Análise espacial da tuberculose na Amazônia Legal: relação com indicadores socioeconômicos. **Revista Panamericana de Salud Pública**, v. 47, e115, 2023.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Global Tuberculosis Report 2025**. Geneva: World Health Organization, 2025.

PELISSARI, D. M. et al. Tendência da incidência de tuberculose e o impacto da pandemia de COVID-19 no Brasil: análise de séries temporais. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 27, p. 1-15, 2024.

SANTOS, J. P. et al. Geoprocessamento em saúde pública: fundamentos e aplicações na vigilância de endemias. **Saúde em Debate**, Rio de Janeiro, v. 48, n. 140, p. 210-225, 2024.

SILVA, A. C.; MENEZES, R. T. Desafios da saúde nas fronteiras amazônicas: a tuberculose em foco. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 41, n. 3, p. 450-468, 2025.

THE LANCET INFECTIOUS DISEASES. Ending tuberculosis by 2030: a global challenge in the post-pandemic era. **The Lancet Infectious Diseases**, v. 25, n. 1, p. 3-5, 2025.