








ARTÍCULO ORIGINAL

Geoespacialización, tendencia y factores relacionados con la interrupción del tratamiento de la tuberculosis: un estudio ecológico

HIGHLIGHTS

1. Se identificó un aumento de la interrupción del tratamiento en el Centro-Oeste y el Norte.
2. Se encontraron conglomerados relevantes en el Sudeste y Mato Grosso.
3. La vulnerabilidad social mostró asociación con la pérdida de seguimiento del tratamiento.
4. La mayor cobertura de la atención primaria redujo la discontinuidad en el tratamiento.

Maria Izabel Félix Rocha¹ 
Thatiana Araújo Maranhão² 
Maria Madalena Cardoso da Frota³ 
Jaiana Nascimento Albuquerque² 
Joana Nágila Ribeiro Figueira⁴ 
Aline Miranda de Abreu⁵ 
George Jó Bezerra Sousa⁶ 

RESUMEN

Objetivo: Analizar los patrones espaciales, temporales y los factores asociados con la interrupción del tratamiento de la tuberculosis en Brasil entre 2010 y 2020. **Método:** Estudio ecológico con uso de geoprocuremento. Se utilizó el método Joinpoint para el análisis temporal. La autocorrelación espacial y el rastreo scan identificaron conglomerados. Modelos de regresión espacial y no espacial, considerando $p < 0,05$, detectaron factores asociados con el desenlace. **Resultados:** Se observó una tendencia estacionaria en la interrupción del tratamiento de la tuberculosis en el país, con crecimiento en las regiones Centro-Oeste y Norte. Los indicadores socioeconómicos asociados fueron: Índice de Gini, densidad domiciliaria > 2 , tasa de retratamiento, índice de vulnerabilidad social, tasa de analfabetismo, porcentaje de personas en situación de extrema pobreza y cobertura de la Estrategia de Salud de la Familia. **Conclusión:** La interrupción del tratamiento presentó una tendencia estacionaria. La regresión espacial mostró que los indicadores de vulnerabilidad socioeconómica influyen en el desenlace, positiva o negativamente, según el territorio, lo que demanda la intensificación de acciones de prevención y control en esos lugares.

DESCRIPTORES: Tuberculosis; Epidemiología; Interrupción del Tratamiento; Análisis Espacial; Determinantes Sociales de la Salud.

CÓMO REFERIRSE A ESTE ARTÍCULO:

Rocha MIF, Maranhão TA, da Frota MMC, Albuquerque JN, Figueira JNR, de Abreu AM, et al. Geoespacialización, tendencia y factores relacionados con la interrupción del tratamiento de la tuberculosis: un estudio ecológico. Cogitare Enferm [Internet]. 2026 [cited "insert year, month and day"];31:e100798es. Available from: <https://doi.org/10.1590/ce.v31i0.100798es>

¹Universidade Federal do Piauí, Programa de Residência em Enfermagem Obstétrica, Teresina, PI, Brasil.

²Universidade Estadual do Piauí, Departamento de Enfermagem, Parnaíba, PI, Brasil.

³Universidade Federal do Maranhão, Programa de Pós-graduação em Saúde Coletiva, São Luis, MA, Brasil.

⁴Universidade Estadual do Piauí, Residência Multiprofissional em Saúde da Família, Teresina, PI, Brasil.

⁵Universidade Federal do Ceará, Programa Uniprofissional em Enfermagem Obstétrica, Fortaleza, CE, Brasil.

⁶Ministério da Saúde, Coordenação Geral de Vigilância da Hanseníase e Doenças em Eliminação, Brasília, DF, Brasil.

INTRODUCCIÓN

La Tuberculosis (TB) es una enfermedad infecciosa de notificación obligatoria, causada por el bacilo *Mycobacterium tuberculosis*, que se presenta en forma pulmonar y extrapulmonar. Esta infección tiene prevención y cura; sin embargo, aún es prevalente en condiciones sociales de vulnerabilidad y contribuye al mantenimiento de la desigualdad social¹⁻².

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), se estima que, en 2023, 10,8 millones de personas enfermaron de TB y 1,25 millón fallecieron en el mundo. En las Américas, se estima que ocurren alrededor de 900 casos y 100 muertes diarias por TB, siendo Brasil uno de los únicos países con alta carga de la enfermedad en la región³⁻⁴.

Cabe destacar que, en 2024, Brasil presentó más de 84 mil casos nuevos y un coeficiente de incidencia de 39,7 casos por 100 000 habitantes. Además, registró 6.025 defunciones y un coeficiente de mortalidad de 2,8 óbitos/100 000 habitantes⁵. En comparación con 2023, la incidencia y la mortalidad aumentaron un 5% y un 40%, respectivamente, lo que revela una tendencia creciente en el país⁶.

La interrupción del tratamiento de la TB es una de las principales limitaciones para el control y la cura de la enfermedad, ya que, además de elevar los costos del tratamiento, contribuye al aumento de la morbimortalidad, la recidiva y la resistencia farmacológica del bacilo. Además, refleja barreras sociales y estructurales, evidenciando posibles fallas en las estrategias de prevención y tratamiento, así como en el desempeño de los servicios de salud. En Brasil, se considera interrupción del tratamiento cuando el paciente no asiste a la unidad de salud por más de 30 días consecutivos después de la fecha prevista de retorno⁷.

En Brasil, el tratamiento anti-TB está estandarizado, tiene una duración de seis meses y es ofrecido gratuitamente por el Sistema Único de Salud (SUS). En 2023, el 15,3% de los casos nuevos de TB por criterio laboratorial fueron cerrados como interrupción del tratamiento, más del doble del límite del 5,0% definido por la Estrategia Global para el Fin de la TB. Los mayores porcentajes ocurrieron en las regiones Sudeste (15,6%) y Norte (15,0%), ambos por encima del promedio nacional (14,2%)⁵.

Aunque existe un número creciente de estudios sobre la incidencia y las implicaciones de la TB en algunas regiones brasileñas^{1-2,4,7}, pocos trabajos nacionales utilizan el enfoque ecológico para verificar los factores asociados. En este contexto, los estudios temporales y espaciales son esenciales para identificar conglomerados con altos números de casos de interrupción del tratamiento y comprender los factores socioeconómicos asociados, proporcionando subsidios para orientar estrategias de enfrentamiento en los territorios más afectados. Por tanto, el objetivo de este estudio fue analizar los patrones espaciales y temporales, así como los factores asociados con la interrupción del tratamiento de la TB en Brasil de 2010 a 2020.

MÉTODO

Se trata de un estudio ecológico cuya área geográfica de interés fueron los municipios de Brasil. El país está compuesto por 5.570 municipios, 27 unidades federativas y cinco macrorregiones (Nordeste, Norte, Centro-Oeste, Sudeste y Sur)⁸

La población del estudio incluyó todos los casos de interrupción del tratamiento de la TB notificados en Brasil en el período 2010-2020 en cada municipio. Cabe señalar

que la interrupción de las series en 2020 está relacionada con el hecho de que la investigación fue iniciada en 2022 y, durante la recolección de datos, se observó que 2021 presentaba un número inferior de notificaciones, posiblemente relacionado con la ausencia de consolidación de las notificaciones en el Sistema de Información de Agravios de Notificación (SINAN) para el año completo.

Los criterios de inclusión adoptados fueron: que el caso hubiera sido notificado en el período de 2010 a 2020 e ingresado al sistema durante el período analizado, de acuerdo con el municipio de residencia, y que presentara en la variable situación de cierre la categoría abandono. La población en riesgo utilizada en el denominador es aquella que estaba en tratamiento para la TB al momento de la recolección de datos. Por el contrario, no se incluyeron los casos cuya situación de cierre fue óbito, así como los siguientes tipos de ingreso: por recidiva, reingreso tras interrupción del tratamiento y transferencia.

Se utilizaron datos secundarios provenientes del SINAN para TB, compilados en el sitio electrónico del Departamento de Informática del Sistema Único de Salud (DATASUS). Los casos fueron estratificados por sexo (masculino; femenino), edad (0 a 19 años; 20 a 39 años; 40 a 59 años; ≥ 60), escolaridad (en años de estudio completos: ninguno; 1 a 4; 5 a 8; 9 a 12; 12 o más), raza/color (blanca; amarilla; parda o negra; indígena), región de notificación (Sudeste; Nordeste; Sur; Norte; Centro-Oeste), tipo de ingreso (caso nuevo), forma de la enfermedad (pulmonar; extrapulmonar; pulmonar + extrapulmonar), realización de los exámenes de VIH y sida (sí; no), diabetes (sí; no), alcoholismo (sí; no) y trastorno mental (sí; no).

Las variables sociodemográficas, de naturaleza categórica, fueron descritas en función de las frecuencias absolutas y relativas. A continuación, para el análisis temporal simple, se calculó la proporción de casos año a año de la interrupción del tratamiento de la TB, para Brasil y sus cinco regiones, conforme a la fórmula que se presenta a continuación:

$$\text{Proporción de interrupción del tratamiento de la TB} = \frac{\text{N.º de casos de interrupción del tratamiento de la TB}}{\text{N.º de casos de TB}} \times 100$$

Para el análisis temporal, se utilizó el *software Joinpoint Regression Program* versión 4.6.0.0[®], con el que se evaluó si uno o más puntos debían añadirse al modelo lineal mediante permutación de Monte Carlo. El mismo *software* fue utilizado para calcular la Variación Porcentual Anual (*Annual Percentage Change - APC*) y la Variación Porcentual Anual Media (*Average Annual Percentage Change - AAPC*), considerando un intervalo de confianza del 95% (IC95%).

El APC es una medida estadística utilizada para evaluar la tendencia temporal de una tasa a lo largo de varios años. Indica, en promedio, cuánto aumenta o disminuye esa tasa por año, en términos porcentuales. Mientras el APC muestra la variación anual dentro de un tramo específico de la serie temporal, el AAPC resume el período en un único valor, a partir de un promedio ponderado, incluso cuando se han producido cambios en las tendencias a lo largo de los años.

El modelo fue ajustado considerando de cero (un segmento) a dos puntos de inflexión (tres segmentos), evaluando si múltiples segmentos describen mejor la tendencia que

una única recta. En todos los modelos, se consideró la autocorrelación de primer orden (AR=1) de los errores, ya que los datos en salud presentan dependencia temporal.

Los valores negativos del APC y del AAPC significan tendencia decreciente y, cuando positivos, indican tendencia creciente. Cuando no hay significancia estadística ($p > 0,05$), la tendencia es estacionaria. Cada punto de inflexión añadido al modelo indica un cambio en la tendencia lineal⁹.

Se definió como variable independiente el año de ocurrencia de los casos de interrupción del tratamiento anti-TB y, como dependiente, la proporción de pérdida de seguimiento entre los casos, calculadas en el programa y estandarizadas mediante logaritmización.

Para el análisis espacial, se calculó la tasa media estandarizada de la interrupción del tratamiento anti-TB en cada municipio brasileño. La estandarización ajusta diferencias demográficas, lo que permite comparaciones más precisas¹⁰. Para ello, se utilizó como numerador el número de casos nuevos de TB cerrados como abandono, dividido por la cantidad de años estudiados (11 años), dividido por la población del año central de la serie temporal (2015) y multiplicado por 100. A partir de este cálculo, la variable dependiente se expresó en porcentaje (%), ya que los valores fueron calculados con base en 100 habitantes.

Tasa Media Estandarizada =

$$\frac{\text{N.º de casos de interrupción del tratamiento de la TB} / \text{N.º de años estudiados (11 años)} \times 100}{\text{Población del año central (2015)}}$$

Cabe destacar que los intervalos de las clases del mapa de la Tasa Media Estandarizada fueron definidos manualmente, con base en la distribución de los valores observados y en criterios de claridad visual, con el fin de facilitar la interpretación de los patrones espaciales. Se hizo especial énfasis en la primera categoría de la leyenda, que señala los municipios que no notificaron la interrupción del tratamiento de la TB y que, por tanto, presentan una proporción de casos igual a cero.

Para identificar conglomerados espaciales, se construyó primero la matriz de vecindad espacial. Para ello, se adoptó el criterio de contigüidad tipo *rook*, asignando valor igual a 1 a los municipios que comparten fronteras y 0 a los que no las comparten. Así, se consideraron únicamente las fronteras compartidas entre polígonos adyacentes.

A continuación, se aplicaron los Índices de Moran Global y Local y la técnica *Getis-Ord Gi**. Tras comprobar la autocorrelación global, se utilizó el Índice de *Moran Local* (LISA) para verificar conglomerados y cuantificar la asociación espacial en cada municipio brasileño. Los resultados se presentaron en dos mapas: el primero muestra gráficamente la similitud entre vecinos, con cuatro patrones: alto/alto y bajo/bajo (asociación positiva, vecinos con valores similares) y alto/bajo y bajo/alto (asociación negativa, vecinos con valores diferentes)¹¹.

Por su parte, la técnica *Getis-Ord Gi** crea *z-scores* que permiten identificar conglomerados. Valores elevados de *z-scores* muestran áreas de altas proporciones de casos agrupadas con áreas similares (áreas calientes - *hotspots*); mientras que valores bajos de *z-scores* muestran áreas de baja proporción de casos rodeadas de áreas similares (áreas frías - *coldspots*)¹².

Cabe señalar que, para esta investigación, se optó por no utilizar la suavización de las tasas mediante el método bayesiano empírico global o local, a fin de preservar la variabilidad observada en las tasas originales. Además, es preciso aclarar que las pruebas de asociación espacial local (LISA y *Getis-Ord Gi**) no fueron ajustadas para el control de múltiples pruebas.

Se aplicó también la estadística *Scan* puramente espacial, cuya ventana de rastreo abarcó el 50% de la población en riesgo y *clusters* circulares. Se utilizó el municipio como unidad espacial mínima en el análisis de rastreo mediante el *software SaTScan*, configurado para el modelo de *Poisson* discreto, el cual ajusta automáticamente el análisis según la población residente, asumiendo como esperado el número de casos proporcional a la población de cada unidad. Este ajuste tiene como objetivo controlar la influencia de la variación poblacional entre los municipios, evitando que los *clusters* sean identificados únicamente en función de contingentes poblacionales mayores. La estadística *Scan* posibilitó el cálculo del riesgo relativo (RR), en el que los municipios con valores > 1 presentan un riesgo relativo de interrumpir el tratamiento anti-TB superior al riesgo del país en su conjunto¹³.

Para investigar los factores relacionados con la interrupción del tratamiento de la TB, se utilizó el modelo de regresión no espacial *Ordinary Least Squares* (OLS). Los indicadores obtenidos del Atlas de Desarrollo Humano de Brasil fueron: tasa de analfabetismo en personas de 18 años o más (T_ANALF18M), Índice de Gini (GINI), proporción (%) de personas en situación de extrema pobreza (PIND), porcentaje (%) de la población en viviendas con densidad >2 (T_DENS), Índice de Desarrollo Humano Municipal (IDHM), renta *per capita* (RDPC) y porcentaje (%) de la población en viviendas con baño y agua corriente (T_BANAGUA). A través del DATASUS, se obtuvo la Cobertura de la Estrategia de Salud de la Familia (COBERT_ESF) y la Tasa de retratamiento (TX_RETRATAMIENTO). El índice brasileño de privación (IBP) fue extraído del Centro de Integración de Datos y Conocimientos para la Salud (CIDACS) y el Índice de Vulnerabilidad Social (IVS) del sitio del Instituto de Investigación Económica Aplicada (IPEA).

En el OLS, las variables explicativas fueron seleccionadas por *backward selection*, y la multicolinealidad fue evaluada por el *Variance Inflation Factor* (VIF). Las que permanecieron en el modelo final con $p < 0,05$ fueron incluidas en los modelos geográficos globales (*Spatial Lag* y *Spatial Error*). Se verificaron los supuestos de la regresión lineal y la prueba de Moran de los residuos no indicó autocorrelación espacial, confirmando la adecuación del modelo OLS.

El *Spatial Lag* atribuye autocorrelación espacial a la variable dependiente, mientras que el *Spatial Error* presupone dependencia espacial por variables no incluidas¹⁴. Los modelos OLS, *Spatial Lag* y *Spatial Error* se refieren a toda la región analizada (Brasil)¹⁵. La comparación entre los modelos se basó en el mayor R^2 ajustado y el menor *Akaike Information Criterion* (AIC).

Cabe destacar que, para los análisis sociodemográficos, se excluyeron los registros cuyas variables de interés estaban clasificadas como ignorado o no informado en las fichas de notificación, realizándose el análisis por casos completos, sin imputación de valores. En cuanto a los análisis espaciales y temporales, se excluyeron los registros sin información sobre el municipio de residencia, ya que esa variable es esencial para la geocodificación y la construcción de las unidades espacio-temporales de análisis.

La prueba de autocorrelación espacial fue calculada en el *software* TerraView 4.2.2®. La técnica *Getis-Ord Gi** y las regresiones *Spatial Lag* y *Spatial Error* fueron

realizadas en el programa GeoDa 1.14[®]. La regresión OLS fue realizada en el *software Stata v.13*[®]. Todos los mapas fueron producidos en el *software QGIS. 3.16*[®].

Por tratarse de un estudio con datos secundarios de dominio público, no fue necesario someterlo a apreciación por un Comité de Ética, conforme a lo establecido en la Resolución 674/2022 del Consejo Nacional de Salud.

RESULTADOS

Se registraron 82.594 casos de interrupción del tratamiento anti-TB en el período estudiado. La mayor frecuencia ocurrió entre hombres 61.791 (74,8%) y en el grupo etario de 20 a 39 años 47.527 (57,6%). Más de la mitad eran pardos o negros 52.848 (69,8%) y con hasta ocho años de escolaridad 23.528 (70,0%). La mayor proporción de los casos se concentró en la región Sur de Brasil 39.202 (47,5%) (Tabla 1).

Tabla 1. Caracterización sociodemográfica de los casos de interrupción del tratamiento de la Tuberculosis en Brasil, 2010-2020. Parnaíba, Piauí, Brasil, 2023

Características	n	%
Sexo*		
Masculino	61.791	74,8
Femenino	20.797	25,2
Grupo etario (años)**		
0 a 19	7.191	8,7
20 a 39	47.527	57,6
40 a 59	22.186	26,9
≥60	5.649	6,8
Escolaridad (años)***		
Ninguna	3.018	5,2
1 a 4 años	14.090	24,3
5 a 8 años	23.528	40,5
9 a 12 años	14.938	25,7
≥ 12	2.517	4,3
Color de piel****		
Blanca	21.702	28,7
Parda o negra	52.848	69,8
Amarilla	569	0,8
Indígena	563	0,7
Región de notificación*****		
Sudeste	9.296	11,3
Nordeste	20.025	24,3
Sur	39.202	47,5
Norte	10.196	12,3
Centro-Oeste	3.840	4,6

Leyenda: (N = 82.594*).

Nota: *Se excluyeron seis casos por presentar el sexo como "Ignorado". **Se excluyeron 41 casos por presentar el grupo etario como "Ignorado". ***Se excluyeron 24.503 casos por presentar la escolaridad como "Ignorado". ****Se excluyeron 6.912 casos por presentar el color de piel como "ignorado". *****Se excluyeron 35 casos por estar consignados en la región de notificación como "ignorado".

Fuente: Los autores (2023).

La forma pulmonar representó 71.917 (87,1%) de los casos. Alrededor de 11.157 (13,5%) individuos vivían con VIH, de los cuales 10.128 (14,6%) presentaron criterios compatibles con sida. Aproximadamente una de cada cuatro personas hacía uso perjudicial de alcohol 20.083 (28,2%), consumía drogas ilícitas 14.566 (29,1%) y usaba tabaco 14.746 (29,4%). Se observaron proporciones menores entre personas con diabetes 3.563 (4,8%), personas con trastorno mental 1.993 (2,7%), personas privadas de libertad 5.083 (9,9%) y personas en situación de calle 4.018 (7,9%).

La proporción media de interrupción del tratamiento, según la fórmula representada anteriormente, fue de 10,4%, con aumento de 10,3% en 2010 a 11,5% en 2020. El Sudeste (10,8%) y el Sur (10,6%) tuvieron los mayores promedios regionales de casos.

El análisis por *Joinpoint* evidenció una tendencia estacionaria (AAPC:0,7; IC95%:-0,6 – 2,1; $p<0,1$) de la interrupción del tratamiento de la TB en el país. Se observó también un aumento expresivo de la interrupción del tratamiento en el Centro-Oeste (AAPC:3,9; IC95%:3,0 – 4,8; $p<0,001$), seguido de la región Norte (APC:2,6; IC95%:1,6 – 3,8; $p<0,001$) (Tabla 2).

Tabla 2. Variación porcentual anual (APC) y Variación Porcentual Anual Media (AAPC) de la interrupción del tratamiento de la tuberculosis en Brasil, 2010-2020. Parnaíba, Piauí, Brasil, 2023

Localidad	Período	APC ^a (IC 95%*) ^b	Valor de p ^c	AAPC ^d (IC 95%*)	Valor de p	Tendencia
Brasil	2010-2020	0,7 (-0,6 – 2,1)	0,255	0,7 (-0,6 – 2,1)	0,255	Estacionaria
Norte	2010-2020	2,6* (1,6 – 3,8)	< 0,001	2,6* (1,6 – 3,8)	<0,001	Creciente
Nordeste	2010-2020	-0,9 (-2,2 – 0,4)	0,138	-0,9 (-2,2 – 0,4)	0,138	Estacionaria
Sudeste	2010-2016	-1,2 (-4,1 – 1,8)	0,362	1,4 (-0,9 – 3,7)	0,1	Estacionaria
	2016-2020	5,3 (-0,3 – 11,3)	0,061			
Sur	2010-2020	-1,3 (- 4,1 – 1,6)	0,328	-1,3 (- 4,1 – 1,6)	0,328	Estacionaria
Centro-Oeste	2010-2020	3,9* (3,0 – 4,8)	< 0,001	3,9* (3,0 – 4,8)	<0,001	Creciente

Leyenda: ^aAPC: Annual Percentage Change, variación porcentual anual.

^bIC95%: Intervalo de Confianza del 95%.

^cvalor de p: probabilidad de significancia.

^dAAPC: Average Annual Percentage Change, variación porcentual anual media.

Fuente: Los autores (2023).

La Figura 1 contiene los resultados de las técnicas de detección de conglomerados espaciales. El mapa de la tasa de incidencia media estandarizada (Mapa A) señala una dispersión irregular, formando una imagen con apariencia de mosaico y con la mayoría de los municipios presentando tasas que variaron de 0,0 a 11,1% (Mapa A).

Tras comprobarse la autocorrelación espacial global significativa ($I=0,1$; $p=0,001$), se procedió al cálculo del Índice de Moran Local. El análisis de los conglomerados de interrupción señaló un patrón Alto/Alto de distribución en municipios ubicados principalmente en la región Norte, el estado de Mato Grosso do Sul (Centro-Oeste) y el litoral de la región Sudeste (Mapa B). Por su parte, el mapa C muestra la significancia estadística de los municipios que exhibieron algún patrón espacial.

Mediante la técnica *Getis-Ord Gi** (Mapa D), se confirmaron *hotspots* en los territorios con patrón Alto/Alto del Mapa B y su significancia estadística (Mapa E). Los mapas F y G muestran *clusters* espaciales y riesgo relativo (RR) de la interrupción del tratamiento en Brasil, calculados mediante la estadística de rastreo *Scan* puramente

espacial. Se identificaron 26 *clusters*, de los cuales 20 con significancia estadística ($p < 0,05$). El *cluster* primario, con menor probabilidad de ocurrencia al azar, incluyó 201 municipios, principalmente en la región Sudeste, abarcando Minas Gerais, el litoral de Rio de Janeiro y São Paulo. Los *clusters* secundarios significativos se ubican en Amazonas, Mato Grosso do Sul y Pará (Mapa F). En el mapa G, algunos municipios de Mato Grosso do Sul (color vino) presentaron los mayores RR de Brasil para la interrupción del tratamiento anti-TB ($RR = 1,7 - 2,6$).

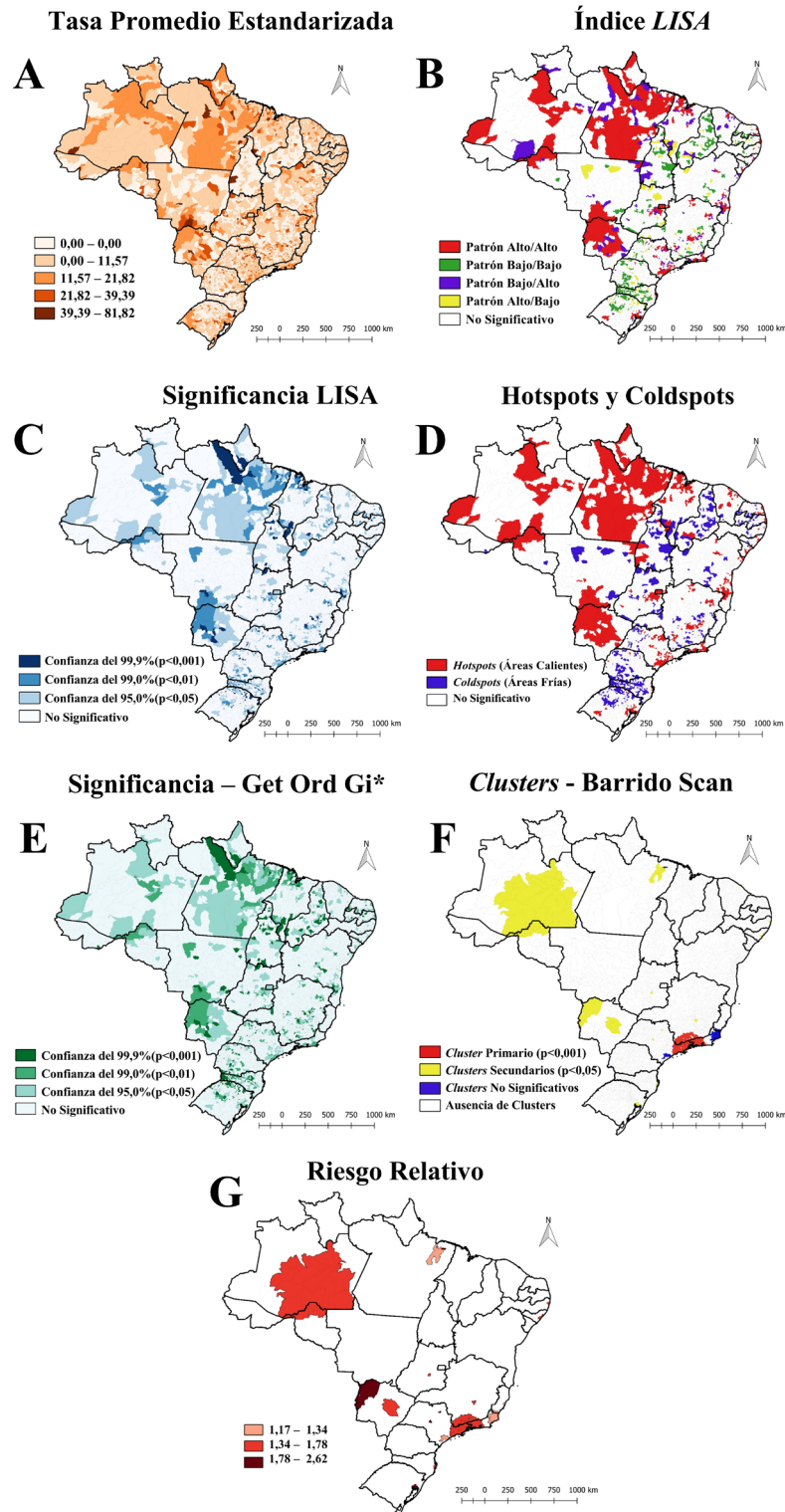


Figura 1. Distribución de la tasa de incidencia media estandarizada (A), Índice de Moran Local – Lisa Index (B), Significancia Lisa (C), Áreas calientes (*hotspots*) y áreas frías (*coldspots*) (D), Significancia – Gets Ord Gi* (E), Clusters - estadística de rastreo Scan (F), Riesgo relativo (G), 2010-2020. Parnaíba, Piauí, Brasil, 2023

Fuente: Los autores (2023).

La Tabla 3 describe la información detallada de los 26 conglomerados de interrupción del tratamiento de la TB en Brasil, de los cuales 20 obtuvieron significancia estadística y seis no, según la estadística de rastreo Scan. El cluster primario tiene un radio de 199,3 km y los municipios que lo componen presentan, en promedio, 1,5 veces más riesgo de casos de interrupción del tratamiento de la TB en comparación con los demás municipios de Brasil.

Tabla 3. Conglomerados espaciales de los casos de interrupción del tratamiento de la tuberculosis, definidos por la estadística de rastreo Scan puramente espacial en Brasil, 2010-2020. Parnaíba, Piauí, Brasil, 2023

Cluster	N.º de Municipios	Radio (Km)	N.º de casos	N.º esperado de casos	RR	LLR**	Valor de p
1	201	199,3	2747	19820,8	1,5	1801,0	<0,001
2	5	12,8	3987	1901	2,1	894,0	<0,001
3	3	10,4	9761	6378,9	1,6	846,1	<0,001
4	1	0	3191	1411,7	2,3	842,6	<0,001
5	2	13,9	9120	6113,5	1,5	700,9	<0,001
6	6	9,9	3451	1893,7	1,8	528,7	<0,001
7	5	13,6	3769	2392	1,6	348,5	<0,001
8	30	447	3997	2790,9	1,4	238,6	<0,001
9	4	13,5	1345	870,3	1,5	112,1	<0,001
10	3	13,2	666	375,3	1,7	91,7	<0,001
11	1	0	384	184	2	82,7	<0,001
12	1	0	1247	860,5	1,4	76,9	<0,001
13	5	19,6	1759	1324,6	1,3	65,6	<0,001
14	1	0	477	270,3	1,7	64,4	<0,001
15	4	90,6	638	414,4	1,5	51,9	<0,001
16	7	26,7	835	582,1	1,4	48,7	<0,001
17	1	0	524	330,5	1,5	48,2	<0,001
18	1	0	160	67,5	2,3	45,5	<0,001
19	1	0	79	30,1	2,6	27,3	<0,001
20	10	67,8	1923	1620,1	1,1	27,2	<0,001
21	1	0	41	17,9	2,2	10,8	0,085
22	1	0	169	121,3	1,3	8,3	0,507
23	1	0	25	9,7	2,5	8,2	0,535
24	1	0	211	157,9	1,3	8,0	0,586
25	7	46,8	175	131	1,3	6,6	0,966
26	20	83,5	527	452,6	1,1	5,8	0,997

Leyenda: *Riesgo Relativo; **Razón de Verosimilitud.

Fuente: Los autores (2023).

Para evaluar la influencia de los indicadores socioeconómicos en la interrupción del tratamiento anti-TB, se compararon los resultados de los modelos de regresión OLS ($R^2=0,062$; AIC=38 397,72), *Spatial Lag* ($R^2=0,069$; AIC=38408,8) y *Spatial Error* ($R^2=0,068$; AIC=38 414,4). Los modelos OLS y *Spatial Lag* mostraron mejor ajuste, dado que el OLS presentó el menor AIC y el *Spatial Lag* el mayor R^2 .

La Tabla 4 muestra las variables independientes que presentaron correlación positiva con la variable desenlace en el modelo OLS: Índice de Gini (GINI) ($\beta=4,1$; $p=0,042$), población en viviendas con densidad >2 ($\beta=0,1$; $p<0,001$), Tasa de retratamiento (TX_RETRATAMENTO) ($\beta=0,0$; $p=0,001$) e Índice de Vulnerabilidad Social (IVS) ($\beta=11,2$; $p=0,001$). Así, cuando un indicador aumenta, los casos de interrupción del tratamiento aumentan en la misma proporción. Por el contrario, los indicadores Tasa de analfabetismo en personas de 18 años o más (T_ANALF18M) ($\beta=-0,1$; $p<0,001$), Porcentaje de personas en situación de extrema pobreza (PIND) ($\beta=-0,1$; $p<0,001$) y Cobertura de la Estrategia de Salud de la Familia (COBERT_ESF) ($\beta=-1,3$; $p=0,002$) presentaron correlación negativa con el desenlace. Así, cuando un indicador aumenta, los casos de interrupción del tratamiento disminuyen.

Tabla 4. Modelos de regresión OLS, *Spatial Lag* y *Spatial Error* de los indicadores socioeconómicos que influyen en la proporción de casos de interrupción del tratamiento de la TB en Brasil, 2010-2020. Parnaíba, Piauí, Brasil, 2023

Indicadores	OLS ^a			<i>Spatial Lag</i> ^b			<i>Spatial Error</i> ^c		
	Coef.	Error Estándar	p	Coef.	Error Estándar	p	Coef.	Error Estándar	p
Constante	0	1	0,938	0,2	1	<0,001	0,4	1	0,66
T_ANALF18M	-0,1	0	<0,001	-0,1	0	0,84	-0,1	0,2	<0,001
GINI	4,1	2	0,042	3,2	1,9	<0,001	3,6	2	0,071
PIND	0	0	<0,001	0	0	0,09	-0,1	0	<0,001
T_DENS	0	0	<0,001	0,1	0	<0,001	0,1	0	<0,001
TX_RETRATAMENTO	0	0	0,001	0	0	<0,001	0	0	0,001
COBERT_ESF	-1	0,4	0,002	-1,2	0,4	0,001	-1,2	0,4	<0,001
IVS	11,2	1,9	<0,001	9,7	1,9	0,004	9,9	1,9	<0,001
LAMBDA ^d (Spatial Error)	-	-	-	-	-	-	0	0	0

Leyenda: ^aOLS: ordinary least squares regression, método de regresión lineal.

^bSpatial Lag: modelo de autocorrelación espacial a la variable dependiente.

^cSpatial Error: modelo de error espacial influenciado por variables independientes.

^dLAMBDA: dependencia espacial inherente a los datos de muestra.

Fuente: Los autores (2023).

DISCUSIÓN

El presente estudio evidenció, mediante el análisis temporal, una tendencia estacionaria en la proporción de casos de interrupción del tratamiento de la TB en Brasil a lo largo del período analizado.

De forma convergente, los análisis espaciales identificaron conglomerados con grandes proporciones de casos de interrupción concentrados principalmente en la región Norte, en el litoral de la región Sudeste y en el estado de Mato Grosso do Sul, ubicado en la región Centro-Oeste.

A partir de los modelos de regresión, se observó correlación positiva entre la interrupción del tratamiento y los indicadores socioeconómicos: índice de Gini, proporción de población residente en viviendas con densidad superior a dos habitantes por dormitorio, tasa de retratamiento e IVS. Estos hallazgos indican que, a medida que tales condiciones se intensifican, el desenlace aumenta en magnitud proporcional.

El análisis por *Joinpoint* identificó una tendencia estacionaria en la proporción de los casos de interrupción del tratamiento anti-TB en el conjunto del país; sin embargo, las regiones Norte y Centro-Oeste presentaron tendencia creciente. Un estudio brasileño señala que la región Norte posee el segundo menor promedio del índice de desarrollo humano (0,701) y la menor cobertura de atención primaria a la salud (APS), estimada en el 59,5%. Estas condiciones contribuyen al retraso en el diagnóstico, dificultan la identificación y el seguimiento de los contactos y comprometen la adherencia terapéutica, favoreciendo el mantenimiento de la cadena de transmisión de la enfermedad¹⁶.

La comprensión de los *clusters* identificados requiere el análisis de las determinaciones estructurales e históricas que moldean las condiciones de vulnerabilidad social y el acceso desigual a los servicios de salud. La región Norte presenta proporciones de interrupción del tratamiento de la TB persistentemente superiores a las recomendadas por el Programa Nacional de Control de la Tuberculosis, que busca curar al menos el 85% y tratar correctamente el 100% de los casos, evidenciando fragilidades en la continuidad del cuidado y en el seguimiento longitudinal de los pacientes¹⁷. Este escenario se agrava por las barreras geográficas, las extensas distancias y las limitaciones de la Atención Primaria a la Salud de la región, que comprometen la implementación efectiva del Tratamiento Directamente Observado (TDO)¹⁸.

En las regiones Sudeste y Sur, a pesar de la mayor concentración económica, persisten desigualdades urbanas y procesos de segregación socioespacial que condicionan una mayor incidencia de la TB y elevan el riesgo de interrupción del tratamiento. Estos hallazgos refuerzan que el desarrollo regional no se traduce necesariamente en equidad sanitaria^{13,19}. Un análisis nacional referente al período de 2012 a 2018 demostró que las regiones Sudeste (10,78%), Sur (10,70%) y Norte (10,35%) presentaron los mayores promedios de la proporción de interrupción terapéutica en el país²⁰.

Esta situación se relaciona con las condiciones de vida de la población y la organización espacial de las ciudades, especialmente en las regiones Sudeste y Sur, que concentran la producción de riqueza y la reproducción de desigualdades sociales. Estos contextos favorecen una mayor exposición a vulnerabilidades, contribuyendo al aumento de la incidencia de la enfermedad y, consecuentemente, del riesgo de interrupción del tratamiento de la TB^{1,2,19}. Estas evidencias refuerzan que la superación de la discontinuidad terapéutica requiere políticas intersectoriales capaces de enfrentar simultáneamente las desigualdades estructurales y las presiones demográficas recientes.

En la región Centro-Oeste, la persistencia de elevadas tasas de interrupción puede explicarse por vulnerabilidades estructurales relacionadas con la desigualdad de ingresos, la segregación racial, la precariedad habitacional y la heterogeneidad territorial. Los estudios indican que los municipios con mayor segregación racial y de ingresos presentan peores desenlaces terapéuticos, incluida la interrupción del tratamiento, independientemente del ingreso medio local^{16,19}.

En el estado de Mato Grosso do Sul, el elevado coeficiente de TB entre personas en situación de calle evidencia barreras de acceso a los servicios de salud y fragilidades en la cobertura de las políticas públicas²⁰. Además, las áreas más pobladas enfrentan una mayor demanda de servicios y un mayor riesgo de discontinuidad terapéutica, mientras que los municipios más pequeños tienden a mantener una mayor proximidad entre los servicios y la comunidad, lo que favorece la adherencia. Estos factores ayudan a comprender la formación de los *clusters* identificados y refuerzan la necesidad de políticas intersectoriales integradas²¹.

La tasa de analfabetismo en personas de 18 años o más y el porcentaje de individuos en situación de extrema pobreza presentaron una asociación negativa con el desenlace, resultado aparentemente paradójico frente a la literatura, que señala una mayor escolaridad como factor protector contra la interrupción del tratamiento, dado que los bajos niveles de instrucción comprometen la comprensión de las orientaciones terapéuticas^{2,7,13}.

Esta asociación inversa puede estar relacionada con la subnotificación y el llenado incompleto de las fichas de cierre, especialmente en contextos de mayor vulnerabilidad social. En estos escenarios, los individuos que interrumpen el tratamiento tienden a presentar registros incompletos en el SINAN, lo que puede subestimar tanto la magnitud del desenlace como el impacto de los beneficios sociales y las acciones programáticas²².

Otro aspecto relevante es que los municipios con peores indicadores educativos y económicos frecuentemente son priorizados por políticas públicas y programas de control de la TB, recibiendo mayor apoyo mediante el TDO y un seguimiento más cercano por parte de los equipos de atención básica^{12,22}. Así, la asociación negativa observada puede reflejar el efecto de intervenciones dirigidas, y no necesariamente una menor vulnerabilidad individual.

La literatura señala que la TB tiene raíces profundas en la pobreza, favoreciendo su transmisión, el diagnóstico tardío y la interrupción del tratamiento^{1,2,23-24}. Aunque los resultados puedan parecer paradójicos, se articulan con la organización espacial de las ciudades, dado que las áreas que concentran riqueza y desigualdad social presentan mayor exposición a vulnerabilidades, elevando tanto la incidencia como el riesgo de interrupción, como se observa en las regiones Sur (22,94%) y Sudeste (19,61%)²³.

Un estudio realizado en Perú identificó factores asociados con la interrupción del tratamiento de la TB distribuidos en diferentes dimensiones de la vida del paciente, incluidas la distancia hasta la unidad de salud, la ausencia de mejoría clínica percibida, el desconocimiento sobre la enfermedad y la falta de apoyo familiar o social. Además, se identificaron factores relacionados con los servicios de salud, como relaciones interpersonales inadecuadas con los profesionales, largos tiempos de espera y explicaciones insuficientes sobre el tratamiento²⁵.

Se observó que el aumento de la cobertura de la Estrategia de Salud de la Familia (ESF) contribuye a la reducción de la interrupción del tratamiento de la TB. Un estudio brasileño identifica la APS como marcador esencial de acceso a los servicios, especialmente considerando que gran parte de la población depende exclusivamente de ese nivel de atención. En la región Norte, la baja cobertura de la APS y la escasez de profesionales retrasan el diagnóstico y el inicio del tratamiento, favoreciendo la interrupción terapéutica¹⁶.

La ampliación de la APS, particularmente a través de la ESF, constituye un factor protector fundamental en el control de la TB en sistemas públicos universales. La evidencia indica que los territorios con mayor cobertura presentan menores tasas de incidencia y mortalidad, además de una mayor adherencia al tratamiento y menor interrupción²⁶. Estos resultados reflejan la capilaridad de los servicios y el vínculo longitudinal establecido entre los equipos y las comunidades.

En este contexto, la enfermería desempeña un papel central en la coordinación del cuidado y la vigilancia de los casos, actuando en la identificación temprana, el manejo clínico, la supervisión terapéutica y el apoyo psicosocial²⁶. Las revisiones de la literatura destacan que la actuación activa del enfermero en los equipos de la ESF favorece la

continuidad del cuidado, la efectividad de las acciones de control y el seguimiento de los grupos vulnerables^{24,27}. Así, ampliar la cobertura de la APS y fortalecer el protagonismo de la enfermería son estrategias esenciales para una respuesta integrada, equitativa y sostenible frente a la TB.

Aunque ampliamente recomendado, el TDO presenta eficacia variable, dependiente de la organización de los servicios y el compromiso comunitario. Los modelos comunitarios de TDO demuestran mejores resultados en comparación con los realizados exclusivamente en unidades de salud, al fortalecer los vínculos territoriales y reducir las barreras de acceso²⁶.

Las tecnologías digitales, como la terapia observada por video, también resultan prometedoras. Los ensayos clínicos indican una eficacia no inferior al TDO presencial, con mayor aceptabilidad, flexibilidad y menor incomodidad para los pacientes²⁷⁻²⁸. La integración de estrategias comunitarias y digitales en la APS representa un avance relevante para superar los desafíos históricos del TDO, especialmente entre las poblaciones vulnerables.

El índice de Gini presentó correlación positiva con la interrupción del tratamiento anti-TB. Un estudio realizado en Perú demostró que los individuos de bajos ingresos enfrentan mayores barreras de acceso a los servicios de salud, incluidas la pérdida de días de trabajo y los costos de transporte, lo que dificulta la adherencia al tratamiento²⁵. La desigualdad social también se asocia con la alta densidad poblacional y los intensos flujos migratorios, fenómenos que contribuyen a la criminalidad, la formación de asentamientos precarios, la pobreza y el desempleo, agravando las condiciones de vida²⁹.

En el presente estudio, las condiciones de vivienda se configuraron como factor de riesgo para la interrupción del tratamiento de la TB. Estos hallazgos corroboran investigaciones que señalan una mayor incidencia de la enfermedad en habitaciones superpobladas, escenario compatible con la naturaleza infecciosa y de transmisión aérea de la TB²⁹.

La tasa de retratamiento presentó correlación positiva con la interrupción terapéutica. Los estudios nacionales indican que el tipo de ingreso en el sistema está asociado con el aumento del abandono, especialmente entre individuos previamente curados o reingresos tras la interrupción, quienes presentan un mayor riesgo de nuevos episodios y discontinuidad del tratamiento^{6,22,24}. Estas situaciones favorecen la transmisión y la aparición de cepas resistentes, dificultando el manejo clínico³⁰.

Se identificó también una correlación positiva entre el IVS y la interrupción del tratamiento. Este índice abarca dimensiones relacionadas con el capital humano, los ingresos, la infraestructura urbana y el trabajo; la ausencia o insuficiencia de estas condiciones indica un bajo nivel de vida y dificultad de acceso a los derechos sociales²⁹⁻³⁰. Los estudios nacionales refuerzan que los factores socioeconómicos impactan la calidad de los servicios de salud, resultando en diagnóstico tardío, mayor riesgo de interrupción y muertes por TB, lo que constituye una barrera importante para el control de la enfermedad^{1-2,7,21}.

Este estudio presenta limitaciones por utilizar datos agregados, lo que dificulta las inferencias individuales en los resultados. Cabe señalar que no fue posible incluir datos posteriores a 2020 en los análisis. Durante la etapa de obtención de la información (realizada en 2022), se identificó que el año 2021 presentaba un volumen de notificaciones inferior al esperado, posiblemente porque el sistema aún no disponía del registro

completo para ese período. Esta defasaje podría comprometer la consistencia de los resultados, razón por la cual se optó por no utilizar ese intervalo.

Además, la utilización de datos secundarios puede estar sujeta a inconsistencias debido a subnotificaciones y llenados inadecuados. Al basarse en el llenado de la ficha de notificación, algunas variables clínicas que serían importantes para el análisis no forman parte de la ficha o no se completan de manera adecuada, lo que limita los resultados.

Por otra parte, los resultados del análisis multivariado deben interpretarse con cautela debido a la naturaleza proporcional de la variable dependiente. Por ello, existen restricciones teóricas en cuanto a su uso en modelos lineales, ya que el desenlace está limitado entre 0 y 100, lo que puede afectar la normalidad de los residuos y la homocedasticidad. Sin embargo, los porcentajes observados variaron dentro de un rango intermedio, sin valores extremos, lo que reduce el riesgo de distorsiones asociadas a la naturaleza limitada de la variable, y el análisis de los residuos no indicó violaciones graves de normalidad u homocedasticidad.

La opción por la regresión lineal (OLS) tuvo una finalidad esencialmente exploratoria, con el objetivo de identificar asociaciones y patrones espaciales globales y locales, sin estimar efectos marginales precisos ni realizar inferencias predictivas. Así, los coeficientes deben interpretarse principalmente en cuanto a la dirección y la significancia de las asociaciones, y no como medidas exactas de la magnitud del efecto. Los estudios futuros podrán emplear modelos más adecuados para desenlaces proporcionales, como GLM binomial o beta, con el fin de profundizar y refinar las estimaciones observadas en este estudio. Finalmente, aunque la Tasa de retratamiento mostró significancia en el modelo OLS, sus coeficientes próximos a cero indican un efecto pequeño sobre el desenlace.

Finalmente, se destaca la necesidad de cautela en la interpretación de los resultados, dado que el uso de datos agregados puede conducir a inferencias que no representan necesariamente relaciones válidas en el nivel individual.

CONCLUSIÓN

La proporción de los casos de interrupción del tratamiento de la TB se mantuvo estacionaria en los años analizados, excepto en las regiones Centro-Oeste y Norte, que presentaron una tendencia de aumento. Los análisis espaciales identificaron conglomerados de casos en la región Norte, Mato Grosso do Sul y el litoral del Sudeste. La regresión espacial mostró que los indicadores de vulnerabilidad socioeconómica influyen en el desenlace, positiva o negativamente, según el territorio.

Ante esto, se recomiendan implicaciones prácticas orientadas a los factores socioeconómicos que afectan la salud, especialmente de las poblaciones más afectadas, para prevenir la propagación de la TB y la interrupción del tratamiento. Es fundamental que los profesionales de salud comprendan las influencias territoriales, identificando vulnerabilidades en el proceso salud-enfermedad, con el fin de hacer las acciones más eficaces. También es esencial invertir en acciones educativas en la atención primaria sobre la importancia del tratamiento y los riesgos de su interrupción, aumentando las posibilidades de curación.

Se sugiere, además, el desarrollo de investigaciones futuras que adopten diferentes enfoques metodológicos, como modelos GLM binomial o beta, capaces de profundizar

la comprensión sobre los factores que influyen en la interrupción del tratamiento de la TB. Se señala también la necesidad de explicitar esta limitación metodológica en la presente discusión, con el fin de orientar investigaciones posteriores y contribuir al mejoramiento de las estrategias de vigilancia, prevención y control de la enfermedad.

REFERENCIAS

1. Sousa GJB, Maranhão TA, Leitão TMJS, de Souza JT, Moreira TMM, Pereira MLD. Prevalence and associated factors of tuberculosis treatment abandonment. *Rev Esc Enferm USP* [Internet]. 2021 [cited 2024 Mar 20];55:e03767. Available from: <https://doi.org/10.1590/S1980-220X2020039203767>
2. Santos DAS, Marques ALA, Goulart LS, Mattos M, de Olinda RA. Factors associated with abandonment of pulmonary tuberculosis treatment. *Cogitare Enferm* [Internet]. 2021 [cited 2024 Mar 20];26:e72794. Available from: <https://doi.org/10.5380/ce.v26i0.72794>
3. World Health Organization (WHO). Global Tuberculosis Report 2024 [Internet]. Geneva: WHO; 2024 [cited 2025 Jan 30]. Available from: <https://www.who.int/teams/global-tuberculosis-programme/tb-reports/global-tuberculosis-report-2024>
4. Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS). Organização Mundial da Saúde (OMS). Dia Mundial da Tuberculose 2025 [Internet]. Washington, DC: OPAS; 2025 [cited 2025 Nov 2]. Available from: <https://www.paho.org/pt/campanhas/dia-mundial-da-tuberculose-2025#mensajes>
5. Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde e Ambiente. Departamento de HIV, Aids, Tuberculose, Hepatites Virais e Infecções Sexualmente Transmissíveis. Boletim epidemiológico: tuberculose 2025 [Internet]. Brasília: Ministério da Saúde (BR); 2025 [cited 2025 Nov 2]. Available from: <https://www.gov.br/aids/pt-br/central-de-conteudo/boletins-epidemiologicos/2025/boletim-epidemiologico-tuberculose-2025/view>
6. Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde e Ambiente. Departamento de HIV, Aids, Tuberculose, Hepatites Virais e Infecções Sexualmente Transmissíveis. Boletim epidemiológico: tuberculose 2024 [Internet]. Brasília: Ministério da Saúde (BR); 2024 [cited 2024 Jun 28]. 72 p. Available from: <https://www.gov.br/aids/pt-br/central-de-conteudo/boletins-epidemiologicos/2024/boletim-epidemiologico-tuberculose-2024/view>
7. Poersch K, Costa JSD. Fatores associados ao abandono do tratamento da tuberculose: estudo de casos e controles. *Cad Saúde Colet* [Internet]. 2022 [cited 2024 Mar 28];29(4):485-95. Available from: <https://doi.org/10.1590/1414-462X202129040>
8. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Conheça o Brasil - território [Internet]. Rio de Janeiro: IBGE; 2022 [cited 2022 Mar 25]. Available from: <https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/territorio/20644-clima.html>
9. Division of Cancer Control & Population Sciences. Joinpoint Trend Analysis Software [Internet]. Bethesda (MD): National Cancer Institute; 2022 [cited 2024 Jun 28]. Available from: <https://surveillance.cancer.gov/joinpoint/>
10. Sousa GJB, Garces TS, Pereira MLD, Moreira TMM, da Silveira GM. Temporal pattern of tuberculosis cure, mortality, and treatment abandonment in Brazilian capitals. *Rev Latino-Am Enfermagem* [Internet]. 2019 [cited 2024 Apr 5];27:e3218. Available from: <https://doi.org/10.1590/1518-8345.3019.3218>
11. Vach W, Wehberg S, Luta G. Do common risk adjustment methods do their job well if center effects are correlated with the center-specific mean values of patient characteristics? *Med Care* [Internet]. 2024 [cited 2024 Apr 6];62(11):773-81. Available from: <https://doi.org/10.1097/mlr.0000000000002008>
12. Arcêncio RA, Berra TZ, Terena NFM, Rocha MP, Alecrim TFA, Kihara FMS, et al. Spatial clustering and temporal trend analysis of international migrants diagnosed with tuberculosis in Brazil. *PLoS One* [Internet]. 2021 [cited 2024 Apr 10];16(6):e0252712. Available from: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0252712>

13. Silva TL, Maranhão TA, Sousa GJB, da Silva IG, Lira Neto JCG, Araujo GAS. Spatial analysis of suicide in Northeastern Brazil and associated social factors. *Texto Contexto Enferm*. [Internet]. 2022 [cited 2024 Apr 12];31:e20210096. Available from: <https://doi.org/10.1590/1980-265X-TCE-2021-0096>
14. Anselin L. *An Introduction to Spatial Data Science with GeoDa. Volume 1: exploring spatial data*. New York: Chapman and Hall/CRC; 2024. 416 p.
15. Charlton M, Fotheringham S, Brunsdon C, Jacobs D. Geographically Weighted Regression [Internet]. 2006 [cited 2024 Apr 10];48(1). Available from: https://www.researchgate.net/publication/228709187_Geographically_weighted_regression
16. Cortez AO, de Melo AC, Neves LO, Resende KA, Camargos P. Tuberculosis in Brazil: one country, multiple realities. *J Bras Pneumol*. [Internet]. 2021 [cited 2024 Apr 12];47(2):e20200119. Available from: <https://www.scielo.br/j/jbpneu/a/DsDmc6KJFtcCxG8tfkBcGLz/?lang=en>
17. Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância Epidemiológica. Coordenação Geral de Doenças Endêmicas. Programa Nacional de Controle da Tuberculose. Plano Estratégico para o Controle da Tuberculose, Brasil 2007-2015. Brasília: MS; 2006. Available from: <https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/ProgramaTB.pdf>
18. Garrido MS, Penna ML, Perez-Porcuna TM, de Souza AB, Marreiro LS, Albuquerque BC et al. Factors associated with tuberculosis treatment default in an endemic area of the Brazilian Amazon: a case-control study. [Internet]. *PLoS One*. 2012 [cited 2024 Apr 29];7(6):e39134. Available from: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0039134>
19. Hall Q, de Sousa Filho JF, Guimarães JMN, Malta DC, Romero-Sandoval NC, Hargreaves S, et al. Associations of municipality-level income and racial segregation with individual-level tuberculosis treatment outcomes in Brazil: a nationwide cohort study (2010-2019). *J Epidemiol Community Health* [Internet]. 2025 [cited 2025 May 4];79(10):779-786. Available from: <https://doi.org/10.1136/jech-2024-223465>
20. Prado PAM, Pequeto DCT, Pando SC, Oda JMM. Perfil socioepidemiológico de tuberculose em Mato Grosso do Sul (2018-2023). *J Health NPEPS* [Internet]. 2025 [cited 2025 May 4];10(1). Available from: <https://doi.org/10.30681/2526101013554>
21. Soeiro VMS, Caldas AJM, Ferreira TF. Abandono do tratamento da tuberculose no Brasil, 2012-2018: tendência e distribuição espaço-temporal. *Ciênc Saúde Colet* [Internet]. 2022 [cited 2024 May 4];27(3):825-36. Available from: <https://doi.org/10.1590/1413-81232022273.45132020>
22. Pavinati G, de Lima LV, Ferreira MRL, Zanatta STP, Magnabosco GT. Trends and clusters of tuberculosis treatment interruption among people experiencing homelessness in Brazil: influence of individual, social and programmatic factors. *Rev Bras Epidemiol* [Internet]. 2025 [cited 2025 May 4];28:e250041. Available from: <https://doi.org/10.1590/1980-549720250041>
23. de Lima LV, Pavinati G, Palmieri IGS, Vieira JP, Blasque JC, Higarashi IH, et al. Factors associated with loss to follow-up in tuberculosis treatment in Brazil: a retrospective cohort study. *Rev Gaúcha Enferm* [Internet]. 2023 [cited 2024 Apr 29];44:e20230077. Available from: <https://doi.org/10.1590/1983-1447.2023.20230077.en>
24. de Lucena LA, Dantas GBS, Carneiro TV, Lacerda HG. Factors associated with the abandonment of tuberculosis treatment in Brazil: a systematic review. *Rev Soc Bras Med Trop* [Internet]. 2023 [cited 2024 Apr 29];56:e0155-2022. Available from: <https://doi.org/10.1590/0037-8682-0155-2022>
25. Rivera O, Benites S, Mendigure J, Bonilla CA. Abandono del tratamiento en tuberculosis multirresistente: factores asociados en una región con alta carga de la enfermedad en Perú. *Biomédica* [Internet]. 2019 [cited 2024 Apr 29];39(Suppl 2):44-57. Available from: <https://doi.org/10.7705/biomedica.v39i3.4564>
26. Jesus GS, Pescarini JM, Silva AF, Torrens A, Carvalho WM, Junior EPP, et al. The effect of primary health care on tuberculosis in a nationwide cohort of 7.3 million Brazilian people: a quasi-experimental study. *Lancet Glob Health* [Internet]. 2022 [cited 2024 Apr 30];10(3):e390-e397. Available from: [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(21\)00550-7](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(21)00550-7)

27. Makabayi-Mugabe R, Musaazi J, Zawedde-Muyanja S, Kizito E, Fatta K, Namwanje-Kaweesi H, et al. Community-based directly observed therapy is effective and results in better treatment outcomes for patients with multi-drug resistant tuberculosis in Uganda. BMC Health Serv Res [Internet]. 2023 [cited 2024 May 2];23:1248. Available from: <https://doi.org/10.1186/s12913-023-10120-7>
28. Chen EC, Owaisi R, Goldschmidt L, Maimets IK, Daftary A. Patient perceptions of video directly observed therapy for tuberculosis: a systematic review. J Clin Tuberc Other Mycobact Dis [Internet]. 2023 [cited 2024 May 2];35:100406. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jctube.2023.100406>
29. Mendonça SA, Franco SC, Vieira CV, Do Prado RL. Análise espacial da tuberculose em Santa Catarina correlacionando com determinantes sociais e de saúde. Rev Bras Geog Fís [Internet]. 2020 [cited 2024 May 5];13(7):3159-76. Available from: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.07.p3159-3176>
30. de Almeida FA, Gonçalves MJF. Factors associated with unsuccessful tuberculosis treatment in Manaus, Amazonas, from 2011 to 2021. Rev Esc Enferm USP [Internet]. 2024 [cited 2026 Apr 7];58:e20240431. Available from: <https://doi.org/10.1590/1980-220X-REEUSP-2023-0431en>

Geospatial mapping, trends, and factors associated with tuberculosis treatment interruption: an ecological study

ABSTRACT

Objective: To analyze the spatial and temporal patterns and factors associated with tuberculosis treatment interruption in Brazil from 2010 to 2020. **Method:** Ecological study using geoprocessing. The Joinpoint method was used for temporal analysis. Spatial autocorrelation and scan statistics identified clusters. Spatial and non-spatial regression models, considering $p < .05$, detected factors associated with the outcome. **Results:** A stationary trend in tuberculosis treatment interruption was observed across the country, with increases in the Central-West and North regions. Associated socioeconomic indicators included the Gini index, household density > 2 , retreatment rate, social vulnerability index, illiteracy rate, percentage of individuals in extreme poverty, and Family Health Strategy coverage. **Conclusion:** Treatment interruption showed a stationary trend. Spatial regression showed that socioeconomic vulnerability indicators influence the outcome, positively or negatively, depending on the region, which calls for intensified prevention and control efforts in those areas.

DESCRIPTORS: Tuberculosis; Epidemiology; Treatment Interruption; Spatial Analysis; Social Determinants of Health.

Recibido en: 08/08/2025

Aprobado en: 17/02/2026

Editor asociado: Cremilde Aparecida Trindade Radovanovic

Autor correspondiente:

Jaiana Nascimento Albuquerque

Universidade Estadual do Piauí

Av. Nossa Sra. de Fátima, s/n - Nossa Sra. de Fátima, Parnaíba - PI, 64202-220

E-mail: jaiana.nascimento1920@gmail.com

Contribución de los autores:

Contribuciones sustanciales a la concepción o diseño del estudio; o la adquisición, análisis o interpretación de los datos del estudio -

Rocha MIF, Maranhão TA, da Frota MMC, Albuquerque JN, Sousa GJB. Elaboración y revisión crítica del contenido intelectual del estudio - **Rocha MIF, Maranhão TA, Sousa GJB.** Responsable de todos los aspectos del estudio, asegurando las cuestiones de precisión o integridad de cualquier parte del estudio - **Rocha MIF, Maranhão TA, da Frota MMC, Albuquerque JN, Figueira JNR, de Abreu AM.** Todos los autores aprobaron la versión final del texto.

Conflicto de intereses:

Los autores no tienen conflictos de intereses que declarar.

Disponibilidad de datos:

Los autores declaran que todos los datos están completamente disponibles en el cuerpo del artículo.

ISSN 2176-9133



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).